



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Stevo Borojević

**RAZVOJ SISTEMA ZA SIMULTANO
PROJEKTOVANJE PROIZVODA I
TEHNOLOŠKIH PROCESA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2015.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	мр Стево Боројевић, дипл. маш. инж.
Ментор, МН:	Проф. др Велимир Тодић
Наслов рада, НР:	Развој система за симултано пројектовање производа и технолошких процеса
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски/Енглески
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина
Година, ГО:	2015.
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	10/260/205/27/182/0/6
Научна област, НО:	Техничко-технолошке науке, Машинско инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Производно инжењерство
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Модел, Симултано пројектовање, Технолошки процеси, CIM, CAPP, CAD/CAPP интеграција
УДК	621
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	У оквиру истраживања на предметној дисертацији приказана је анализа стања и правци развоја у области симултаног пројектовања производа и технолошких процеса. Детаљније су описане технике CAD/CAPP интеграције на бази технолошких типских форми и вјештачке интелигенције. На бази ових анализа развијен је модел симултаног пројектовања производа и технолошких процеса. На основу модела система, развијен је програмски систем за симултано пројектовање производа и технолошких процеса. Приказани су резултати примјене развијеног система на примјеру хидрауличне пресе за угаоно савијање лима, као производа, и хидрауличног цилиндра, као дијела производа. Дисертација обухвата и могуће правце будућег истраживања.
Датум прихватања теме, ДП:	28.09.2011.
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Љубодраг Тановић, редовни професор
	Члан: Др Слободан Навалушић, редовни професор
	Члан: Др Милан Зељковић, редовни професор
	Члан: Др Вид Јовишевић, редовни професор
	Члан, ментор: Др Велимир Тодић, редовни професор



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual material, printed
Contents code, CC :	Ph.D. Thesis
Author, AU :	Mr Stevo Borojević, mech. eng.
Mentor, MN :	Dr Velimir Todić, Full Professor
Title, TI :	Development of an System for Simultaneously Product and Process Planning Design
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian/English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	AP Vojvodina
Publication year, PY :	2015.
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	10/260/205/27/182/0/6
Scientific field, SF :	Technical and technological sciences, Mechanical engineering
Scientific discipline, SD :	Production Engineering
Subject/Key words, S/KW :	Model, Simultaneously design, Process Planning, CIM, CAPP, CAD/CAPP integration
UC	621
Holding data, HD :	The Library of the Faculty of Technical Sciences
Note, N :	
Abstract, AB :	The research in this dissertation encompassed state-of-the-art and future development in the field of simultaneously product and process planning design. Technics of CAD/CAPP integration based at manufacturing features and artificial intelligence are described in detail. Based on this analysis it was developed a model of simultaneously product and process planning design. Based on this model, program system for simultaneously product and process planning design was developed. Case studies were presented at the example of hydraulics press brake for sheet metal bending, as products, and hydraulics cylinder, as part of the product. In dissertation it was also suggested directions of future investigation in this field.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	28.09.2011.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Dr Ljubodrag Tanović, Full Professor
	Member: Dr Slobodan Navalusić, Full Professor
	Member: Dr Milan Zeljković, Full Professor
	Member: Dr Vid Jovišević, Full Professor
	Member, Mentor: Dr Velimir Todić, Full Professor
	Mentor's sign

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA	1
1.2 DEFINISANJE CILJEVA, METODA I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA	3
1.3 SAŽET PRIKAZ STRUKTURE RADA	5
2. RAZVOJ I PROJEKTOVANJE PROIZVODA	7
2.1 ŽIVOTNI VIJEK PROIZVODA	9
2.1.1 Idejno osmišljavanje, definisanje strategije i postavljanje zahtjeva za proizvod	10
2.1.2 Razvoj proizvoda	10
2.1.3 Tehnička priprema i realizacija proizvoda	12
2.1.4 Marketing i uvođenje proizvoda na tržište	12
2.1.5 Eksploatacija i održavanje	13
2.1.6 Povlačenje iz upotrebe i reciklaža proizvoda	13
2.2 RAZVOJNI CIKLUS PROIZVODA	13
2.3. UPRAVLJANJE RAZVOJNIM CIKLUSOM PROIZVODA	15
2.4. PRISTUPI RAZVOJU PROIZVODA	17
2.4.1 Redosljedno/sekvencijalno inženjerstvo	18
2.4.2 Simultano/konkurentno inženjerstvo	19
2.5 PROJEKTOVANJE PROIZVODA	25
2.5.1 Metode projektovanja	26
2.5.2 Modeli projektovanja proizvoda	27
2.6 ARHITEKTURE PROIZVODA	33
2.6.1 Vrste arhitekture proizvoda	34
2.6.2 Pristup projektovanju proizvoda na bazi integralne arhitekture	34
2.6.3 Pristup projektovanju proizvoda na bazi modularne arhitekture	35
2.7 MODEL I MODELIRANJE PROIZVODA	35
2.7.1 Linijsko modeliranje	36
2.7.2 Površinsko modeliranje	37
2.7.3 Zapreminsko modeliranje	39
3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA	42
3.1 PROCESI U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA	42
3.2 ELEMENTI TEHNOLOŠKOG PROCESA	42
3.3 POLOŽAJ PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA U PROIZVODNOM SISTEMU	43
3.4 AKTIVNOSTI PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA	43

3.5 VRSTE TEHNOLOŠKIH PROCESA	45
3.6 METODE PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA	47
3.7 RAČUNAROM PODRŽANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	50
3.7.1 Sistemi za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa	51
3.7.2 Kolaborativni sistemi za projektovanje tehnoloških procesa	53
4. PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TIPSKIH FORMI.....	55
4.1. UVOD	55
4.2 DEFINICIJE TIPSKIH FORMI	57
4.3 KLASIFIKACIJA TIPSKIH FORMI.....	58
4.4 ATRIBUTI TIPSKIH FORMI.....	60
4.5. TEHNOLOŠKE TIPSE FORME	60
4.5.1 Tehnološke tipske forme za projektovanje proizvoda.....	60
4.5.2 Definicije i klasifikacija tehnoloških tipskih formi.....	61
4.6 TEHNIKE KREIRANJA TIPSKIH FORMI	64
4.6.1 Interaktivno prepoznavanje tipskih formi	64
4.6.2 Automatizovano prepoznavanje tipskih formi	65
4.6.3 Projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi.....	71
4.6.4 Poređenje tehnika formiranja tehnoloških tipskih formi.....	72
4.7 MODELIRANJE NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSKIH FORMI.....	73
4.8 RAČUNAROM PODRŽANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSKIH FORMI.....	74
4.8.1 Ulazne informacije u CAPP na bazi tehnoloških tipskih formi	74
4.8.2 Modeli podataka za razvoj CAPP sistema na bazi tehnoloških tipskih formi	74
4.8.3 Primjena CAPP sistema na bazi tehnoloških tipskih formi.....	76
4.9 PREGLED ISTRAŽIVANJA SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSKIH FORMI	78
5. INTEGRACIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	83
5.1 MODELI CAD/CAPP/CAM INTEGRACIJE	85
5.2 CAD/CAPP INTEGRACIJA BAZIRANA NA PRIMJENI NEUTRALNIH STANDARDA ZA RAZMJENU PODATAKA.....	86
5.2.1 STEP standard	86
5.2.2. XML tehnologija	89

5.3 CAD/CAPP INTEGRACIJA NA BAZI APLIKATIVNOG PROGRAMSKOG INTERFEJSA	91
5.4 CAD/CAPP INTEGRACIJA BAZIRANA NA PRIMJENI VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE	92
5.4.1 CAD/CAPP integracija na bazi ekspertnih sistema	93
5.4.2 CAD/CAPP integracija na bazi vještačkih neuronskih mreža	100
5.4.3 CAD/CAPP integracija na bazi fazi logike	105
5.4.4 CAD/CAPP integracija na bazi heurističkih algoritama	107
5.4.5 CAD/CAPP integracija na bazi hibridnih tehnika vještačke inteligencije	125
5.4.6 Trenutno stanje i trendovi razvoja tehnologija na bazi vještačke inteligencije u CAD/CAPP integraciji	126
5.5 CAD/CAPP INTEGRACIJA NA BAZI AGENT TEHNOLOGIJA	127
5.5.1 Agent tehnologije	127
5.5.2 Primjena agent tehnologija u CAD/CAPP integraciji	128
5.6 TRENUTNO STANJE I TRENDVI CAD/CAPP INTEGRACIJE.....	130
6. RAZVOJ MODELA SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	132
6.1 UVOD	132
6.1.1 Svrha i cilj razvoja sistema.....	132
6.1.2 Pojednostavljena struktura razvijenog sistema	133
6.1.3 Ograničenja prilikom razvoja sistema.....	133
6.2 PRIKAZ SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	134
6.2.1 Prikaz razvoja modula za konceptualno projektovanje proizvoda.....	136
6.2.2 Prikaz razvoja modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa	138
6.2.2.1 Projektovanje dijelova i tehnoloških procesa.....	140
.1 Preliminarno projektovanje dijelova	140
.2 Detaljno projektovanje dijelova	143
.2.1. Elementarne tehnološke tipske forme	143
.2.2 Postupak detaljnog projektovanja dijelova	154
.3 Planiranje tehnoloških procesa.....	156
.3.1 Uvod.....	156
.3.2 Optimizacija redosljeda izvođenja zahvata i operacija primjenom genetskih algoritama	157
.3.3 Generisanje rezultata optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade	177

7. RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	179
7.1 PODLOGE ZA RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA	179
7.2 STRUKTURA PROGRAMSKOG SISTEMA	182
7.2.1 Razvoj programskog modula za konceptualno projektovanje proizvoda.....	185
7.2.2 Razvoj programskog modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa	190
7.2.3 Struktura izlaznih rezultata programskog sistema	205
7.2.4 Razvoj programskog modula za upravljanje bazom podataka ETTF	206
8. PRIMJENA RAZVIJENOG MODELA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA.....	212
8.1 UVOD	212
8.2 KONCEPTUALNO PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNE PRESE ZA UGAONO SAVIJANJE LIMA	212
8.3 DETALJNO PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNOG MODULA	218
8.3.1 Preliminarno projektovanje zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra	220
8.3.2 Detaljno projektovanje zapreminskog modela hidrauličnog cilindra	228
8.3.3 Planiranje tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra.....	237
9. ZAKLJUČCI	246
9.1 PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA	246
9.2 PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA	249
10. LITERATURA	251

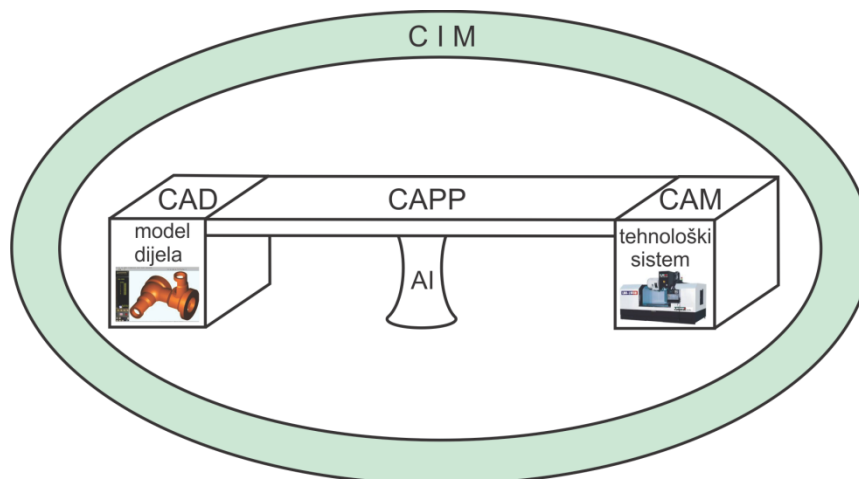
1. UVOD

1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA

U savremenom privrednom okruženju, koje se bazira na globalnom tržištu i dominaciji tehnološki visoko razvijenih društava, razvoj, proizvodnja i prodaja proizvoda predstavlja izuzetno zahtjevnu aktivnost. Samo proizvodi visokih tehničko-tehnoloških karakteristika, koji ispunjavaju zahtjeve kupaca, uz pristupačnu cijenu i rokove isporuke, mogu opstati u ovako postavljenim tržišnim zahtjevima. Menadžment proizvodnih preduzeća, da bi ostao u globalnoj utrci za kupcima i time obezbijedio egzistenciju poslovnog procesa, potrebno je da uvodi savremene metodologije u sve procese koji se odvijaju unutar preduzeća. Uvođenje savremenih metodologija u procese, počevši od službe nabave, skladištenja repromaterijala, menadžmenta ljudskim resursima, preko razvoja i projektovanja proizvoda, tehnoloških procesa, procesa proizvodnje, montaže, pa do skladištenja gotovih proizvoda, transporta, marketinga i prodaje, danas predstavlja imperativ.

Proizvodna preduzeća moraju posjedovati sposobnost da brzo razvijaju proizvode prema zahtjevima kupaca. Ovo se posebno odnosi na proizvodna preduzeća sa pojedinačnom i maloserijskom proizvodnjom, odnosno na mala i srednja preduzeća (MSP). U tu svrhu, potrebno je razvijati nove generacije sistema za razvoj i projektovanje proizvoda, tehnoloških procesa i proizvodnje. Samo novim, integrisanim, efikasnim i korisnički orijentisanim sistemima, proizvodna preduzeća mogu unaprijediti svoje sposobnosti za brzo unaprijeđenje svojih konkurentnih prednosti u svrhu zadovoljenja potreba tržišta. U tom smislu, važan aspekt istraživačko razvojnih aktivnosti predstavlja integracija svih segmenata proizvodnje i uspostavljanje računaram podržane proizvodnje (CIM).

Računaram podržana proizvodnja, sa aspekta integracije aktivnosti proizvodnih tehnologija, može se posmatrati kao integrisani skup računaram podržanog projektovanja proizvoda (CAD), računaram podržanog projektovanja tehnoloških procesa (CAPP) i računaram podržane proizvodnje (CAM) (slika 1.1)[1].



Slika 1.1. CAPP kao veza između projektovanja proizvoda i proizvodnje [2]

Računaram podržano projektovanje proizvoda predstavlja projektovanje geometrijskog modela proizvoda uz pomoć računara. CAD omogućava vezu sa računaram podržanim

sistemima za proračune (CAE) kojim se vrše analize, testiranja i optimizaciju strukture proizvoda u skladu sa funkcijom cilja [2].

Računarom podržana proizvodnja može se definisati kao računarem podržana priprema za proizvodnju, koja obuhvata prevođenje projektnih informacija u tehnološke informacije i proizvodnju sa različitim nivoima automatizacije [3].

Računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa (CAPP) je skup računarem podržanih aktivnosti koji pojednostavljaju rad tehnologa. CAPP sistemi imaju jednu od ključnih uloga u okviru računarem integrisane proizvodnje, i oni, prema slici 1.1, čine most između aktivnosti računarem podržanog projektovanja i računarem podržane proizvodnje [4].

Aktivnosti razvoja, projektovanja i proizvodnje konkurentnih proizvoda, sa aspekta proizvodnih tehnologija, mogu se podijeliti na tri grupe aktivnosti, i to:

- *Razvoj i projektovanje proizvoda,*
- *Projektovanje tehnoloških procesa i*
- *Izrada proizvoda.*

Automatizacija aktivnosti razvoja i projektovanja proizvoda, zajedno sa aktivnošću njihove izrade, danas se uspješno realizuje primjenom savremenih CAD/CAE/CAM programskih sistema [5]. Algoritamski tokovi podataka i formalizovano predstavljanje znanja, prilikom realizacije CAD/CAE/CAM programskih sistema, omogućili su veoma visok nivo automatizacije aktivnosti razvoja, projektovanja i izrade proizvoda. CAD/CAE/CAM sistemi obezbjeđuju visok kvalitet, tačnost projektovanja i izrade proizvoda.

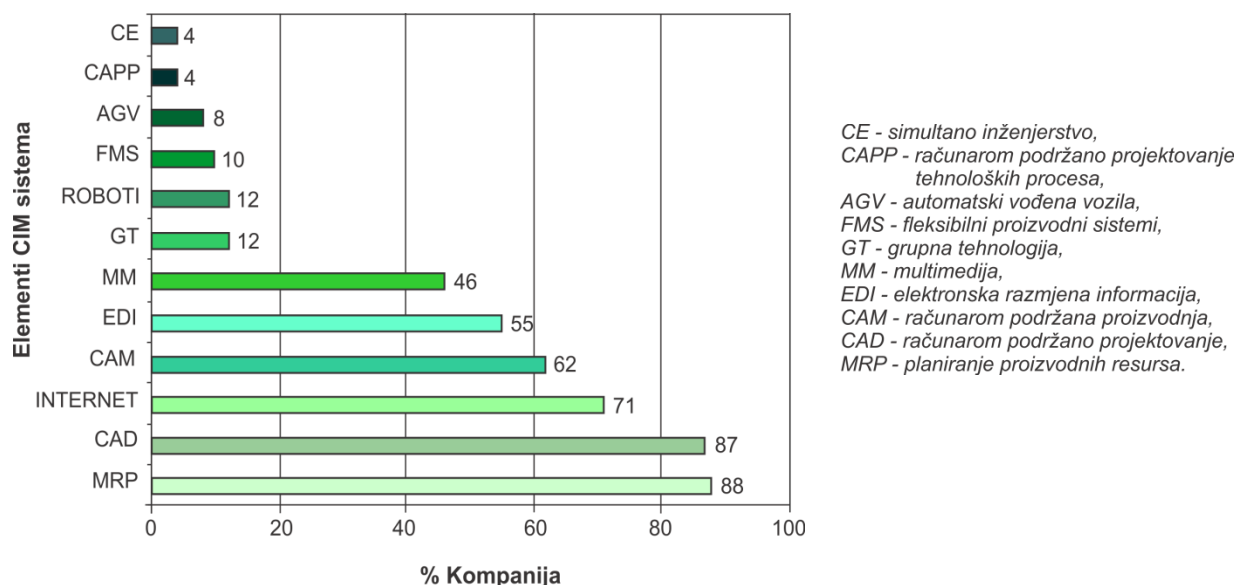
Veća složenost se pojavljuje pri automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa. Aktivnosti koje se odnose na projektovanje tehnoloških procesa, baziraju se na znanju koje se teško može algoritamski opisati uz korišćenje matematičkih relacija. Ova aktivnost se zasniva na iskustvu i intuiciji tehnologa, a dijelom i na empirijskim relacijama. Kao rezultat toga, automatizacija aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa danas se nalazi na nedovoljno visokom nivou. Uspješno se automatizuju samo pojedine aktivnosti u okviru projektovanja tehnoloških procesa. Postizanje većeg stepena automatizacije aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa zasniva se na primjeni nealgoritamskog programiranja i metoda vještačke inteligencije. Metode vještačke inteligencije (eng. *Artificial Intelligence - AI*) predstavljaju oslonac za razvoj modernih CAPP sistema i sredstvo za postizanje CIM koncepta (slika 1.2).

Visokim stepenom automatizacije aktivnosti razvoja, projektovanja i izrade proizvoda, CAD/CAE/CAM programski sistemi ostvarili su visok stepen primjene u malim i srednjim preduzećima. Zbog svoje kompleksnosti i problema, koji se javljaju prilikom automatizacije aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa, CAPP sistemi posjeduju nizak stepen primjene u malim i srednjim preduzećima. Procentualno učešće CAD i CAM programskih sistema, sa jedne strane, i CAPP sistema, sa druge strane, u proizvodnim malim i srednjim preduzećima prikazano je na slici 1.2. Evidentno je da CAPP sistemi, kao i neke druge napredne tehnologije i metodologije (CE, FMS, AVG.), predstavljaju usko grlo u konceptu računarem podržane proizvodnje [6].

Otklanjanje uskog grla u CIM konceptu moguće je izvršiti samo uz ulaganje dodatnih napora u razvoj, integraciju i automatizaciju elemenata CIM-a. Integraciju i automatizaciju elemenata CIM-a moguće je implementirati u vidu nove generacije sistema za razvoj i projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Nova generacija sistema za razvoj i projektovanje proizvoda

i tehnoloških procesa bazira se, prije svega, na implementaciji i integraciji naprednih informacionih tehnologija. Integracija aktivnosti razvoja i projektovanja proizvoda i tehnoloških, procesa pored primjene informacionih tehnologija, prema dosadašnjim istraživanjima, razvija se u nekoliko pravaca i to implementacijom:

- *Tipskih formi,*
- *Vještačke inteligencije,*
- *Programskih jezika,*
- *Internet tehnologija i*
- *Kombinacijom pomenutih elemenata.*



Slika 1.2 Primjena elemenata CIM- a malim i srednjim preduzećima [6], [7]

Prema tome, istraživanja u oblasti razvoja i projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, treba da slijede pomenute prilaze, da se fokusiraju na integraciji i automatizaciji aktivnosti koje se u tim procesima javljaju, kao i da implementiraju već razvijene i verifikovane programske metode i alate.

Predmet istraživanja u okviru ovog rada odnosi se identifikaciju i značaj integracije aktivnosti koje se javljaju prilikom razvoja i projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Pri tome, potrebno je istražiti mogućnosti i prilaze za simultano izvođenje aktivnosti razvoja i projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Predmet istraživanja odnosi se, dakle, na postavljanje, razvoj i verifikaciju opšteg modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.

1.2 DEFINISANJE CILJEVA, METODA I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Ciljevi istraživanja

Sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa potrebno je razviti u svrhu skraćanja razvojnog ciklusa proizvoda, brzog djelovanja na promjene i smanjenja troškova razvoja proizvoda. Skraćenje razvojnog ciklusa i smanjenje troškova razvoja proizvoda potrebno je obezbijediti primjenom principa simultanog inženjerstva u dijelu aktivnosti projektovanja proizvoda i projektovanja tehnoloških procesa.

U okviru predmetnog istraživanja formiraće se baze neformalizovanih i algoritamskih znanja pomoću kojih će se proces simultanog projektovanja proizvoda i tehnološkog procesa automatizovati primenom računara i odgovarajućih računarskih tehnologija, u okruženju CAD/CAM programskog sistema.

Ciljevi razvoja sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa su:

- *Razvoj modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Povećanje stepena automatizacije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti konceptualnog i detaljnog projektovanja proizvoda i*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda, projektovanja dijelova i tehnoloških procesa.*

Koncepcija rada će se bazirati na provjeri postavljenih hipoteza, koje se odnose na mogućnost i opravdanost razvoja sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. U radu će biti izložena metodologija koja podrazumijeva analizu određenih faktora koji utiču na osnovne probleme pri projektovanju proizvoda i tehnoloških procesa, primjenom računarskih tehnika i tehnologija u okviru CAD/CAM programskog sistema.

Naučne metode koje će se pri tom koristiti su metode:

- *Analize i sinteze,*
- *Indukcije/dedukcije,*
- *Računarskog modeliranja i*
- *Vještačke inteligencije.*

Posebno će biti analiziran uticaj faktora, koji se odnose na sintezu konceptualnog i detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, primenom računara i CAD/CAM programskog sistema. Kao rezultat te analize, razviće se model sistema sa neformalizovanim i formalizovanim znanjem, bazama znanja, bazama podataka i algoritamskim tokom za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Primjena modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršiće se na proizvodu iz grupe obradnih sistema i dijelu koji pripada odgovarajućoj grupi dijelova prizmatičnog oblika.

Očekivani rezultati (hipoteze)

Kao rezultat ovih istraživanja, predviđen je razvoj i primjena sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa u realnim uslovima, u okruženju izabranog komercijalnog CAD/CAM programskog sistema. Primjenom razvijenog sistema direktno će se uticati na: efikasnost projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, smanjenje troškova i vremena projektovanja, uštede u procesu proizvodnje i skraćanju vremena isporuke proizvoda. Primjenom razvijenog sistema generisaće se zapreminski konceptualni modeli proizvoda, kao i tehnološki procesi izrade na nivou određene vrste obrada i redosljeda izvođenja operacija i zahvata.

Polazeći od evidentnih zahtjeva za istraživanje i razvoj sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, postavljene su sljedeće hipoteze:

- *Moguće je razviti sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa primenom CAx tehnologija u okviru komercijalnog CAD/CAM programskog sistema i*

- *Moguće je povećati nivo automatizacije i primjene postojećih komercijalnih CAD/CAM programskih sistema.*

Definirani predmet, ciljevi i hipoteze u okviru predmetnog istraživanja verifikovani su razvojem opšteg modela simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, kao i prikazom rezultata primjene pojedinih automatizovanih aktivnosti ovog modela u realnim proizvodnim uslovima.

1.3 SAŽET PRIKAZ STRUKTURE RADA

Prema postavljenim ciljevima, u okviru predmetne disertacije istraživanja su prikazana u okviru devet poglavlja, koja se mogu grupisati u tri cjeline, i to:

- *Cjelinu, kojom se predstavlja teorijski dio disertacije, koji obuhvata analizu stanja i trendove razvoja u oblasti projektovanja proizvoda (Poglavlje 2), projektovanje tehnoloških procesa (Poglavlje 3), tehnologija projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa na bazi tipskih formi (Poglavlje 4) i integracije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa (Poglavlje 5),*
- *Cjelinu, kojom se predstavlja razvoj modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (Poglavlje 6) i*
- *Cjelinu, koja obuhvata razvoj programskog rješenja sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (Poglavlje 7) i prikaz rezultata primjene aktivnosti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa u realnim uslovima (Poglavlje 8).*

U prvom poglavlju prikazana su uvodna razmatranja, vezana za predmet, ciljeve, metode i hipoteze istraživanja, kao i sažeta struktura predmetnog istraživanja.

Drugo poglavlje obuhvata prikaz opšte prihvaćenih metoda, pristupa i modela koji se odnose na razvoj i projektovanje proizvoda. Dat je osvrt na razvojni i životni ciklus proizvoda, kao i na metode modeliranja proizvoda.

U okviru trećeg poglavlja prikazane su teorijske osnove koje se odnose na aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa, kao što su: položaj, vrste i metode projektovanja tehnoloških procesa. Poseban osvrt dat je na računarskom podržano projektovanje tehnoloških procesa.

Projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi prikazano je u četvrtom poglavlju. U okviru ovog poglavlja predstavljena je klasifikacija, metodologije, tehnike kreiranja, tehnike prepoznavanja, kao i projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi. Pregled razvijenih sistema za projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, koji se baziraju na tehnologijama tehnoloških tipskih formi, takođe su prikazani u okviru ovog poglavlja.

Tehnike i modeli integracije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa prikazani su u petom poglavlju. U okviru ovog poglavlja prikazane su tehnologije integracije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa na bazi: neutralnih standarda za razmjenu podataka, aplikativnog programskog interfejsa i primjene vještačke inteligencije. Trendovi i pregled dostignuća u oblasti integracije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, takođe su prikazani u okviru ovog poglavlja.

Kao rezultat prethodnih teorijskih razmatranja, analize literaturnih izvora i analize realnih proizvodnih uslova, u šestom poglavlju prikazan je razvoj modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, (sistem SIPROTEX). Razvoj modela SIPROTEX sistema baziran je na primjeni odgovarajućih računarskih tehnologija i automatizaciji pojedinih aktivnosti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa u okruženju CAD/CAM programskog sistema.

Razvoj programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa prikazan je u sedmom poglavlju. U okviru ovog poglavlja predstavljen je tok aktivnosti razvijenog programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa u okviru programskog sistema Solidworks[®]. Ključne tehnologije koje su omogućile realizaciju programskog sistema SIPROTEX pripadaju tehnologijama projektovanja dijelova na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi, optimizaciji redosljeda izvođenja zahvata na bazi genetskih algoritama i tehnikama objektno orijentisanog programiranja.

Na bazi razvijenog modela i programskog sistema SIPROTEX, u okviru osmog poglavlja, prikazana je primjena razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Primjena programskog sistema SIPROTEX izvršena je na pojedinim aktivnostima simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. U okviru aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda, primjena programskog sistema SIPROTEX izvršena je projektovanjem konceptualnog modela hidraulične prese za ugaono savijanje lima. Razvoj i projektovanje hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima, u okviru aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova i tehnoloških procesa, izvršena je na primjeru detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa za tijelo hidrauličnog cilindra.

Zaključna razmatranja, koja obuhvataju pregled i analizu rezultata istraživanja, kao i prikaz mogućih pravaca daljeg istraživanja, data su u devetom poglavlju.

Deseto poglavlje odnosi na pregled korišćenih i analiziranih literaturnih izvora.

2. RAZVOJ I PROJEKTOVANJE PROIZVODA

Razvoj proizvoda može se posmatrati od perioda najranijih začetaka ljudske civilizacije, pa sve do uspostavljanja globalnog tržišta, kakvo se danas poznaje. Čovječanstvo, sa jedne strane, kontinualno teži boljem, kvalitetnijem i komfornijem načinu života, što rezultuje sve strožijim zahtjevima koji se postavljaju prilikom razvoja novih proizvoda. S druge strane, upravo ti zahtjevi predstavljaju pokretačku snagu za stvaranje novih proizvoda i tehnologija. Ova međuzavisnost zahtjeva i procesa razvoja novih proizvoda rezultovala je pojavom metodologije ciklusa razvoja novih modernijih proizvoda i tehnologija. Kontinualnim ponavljanjem ciklusa razvoja novih proizvoda i tehnologija dovelo je čovječanstvo do perioda koga karakteriše globalno tržište, informacione tehnologije i proizvodi usmjereni na zadovoljavanje pojedinačnih zahtjeva kupaca. Jednom riječju, može se reći da je proizvod pokretač ljudskog razvoja i napretka kroz istoriju.

Postoji nekoliko definicija i odgovora na pitanje: “Šta je proizvod?”. Uopšteno, proizvod se može definisati kao materijalno dobro, ideja, metod, informacija, predmet ili usluga nastala kao rezultat procesa, a koji služi zadovoljavanju potreba ili želja kupaca. Proizvod posjeduje kombinaciju materijalnih i nematerijalnih atributa (benefiti, mogućnosti, funkcija, koristi) koje prodavac nudi kupcu. Materijalni atributi koje proizvod posjeduje, osim svoje prvobitne novčane vrijednosti su i druge vrijednosti koje uključuju garanciju, instalaciju, servis nakon prodaje, dodatke i pakovanje. Pored materijalnih, proizvod posjeduje i nematerijalne atribute kao što su estetske vrijednosti, statusni simbol, pouzdanost i kvalitet. Kotler (2006) [8] definiše da je proizvod sve što se može ponuditi tržištu, sa svrhom da izazove pažnju, podstakne na kupovanje, upotrebu ili potrošnju, a čime se mogu zadovoljiti želje ili potrebe. Prema [9] proizvod se može definisati kao konačni rezultat proizvodne djelatnosti koji egzistira i nakon što je dovršen proces njegove proizvodnje, te koji svojim predmetnim oblikom i svojim svojstvima zadovoljava određenu vrstu društvenih potreba. Proizvod je rezultat ljudskog rada koji sa svojim fizičkim, hemijskim, estetskim ili drugim osobinama zadovoljava ljudske potrebe bilo koje vrste i koji za čovjeka ima upotrebnu vrijednost [10]. Sa stanovišta modernih država i geopolitičkog značaja, proizvod se može definisati kao element državnosti, nezavisnosti i simbol jedne države.

Na današnjem globalnom tržištu, proizvodna preduzeća moraju posjedovati sposobnost brzog i efikasnog načina razvoja kupcima prilagođenih proizvoda, kako u pogledu kvaliteta, cijena, tako i u pogledu rokova isporuke. Preduzeća moraju konstantno unaprijeđivati postojeće proizvode, kao i uvoditi nove proizvode na tržište, kako bi zadržala i povećala svoj udio prodaje na zahtjevnom tržištu. Ovakav pristup razvoju proizvoda je od kritične važnosti za njihov opstanak na današnjem konkurentnom globalnom tržištu. Ovo je posebno izraženo za mala i srednja preduzeća, koja se baziraju na pojedinačnom i maloserijskom tipu proizvodnje.

Sa šireg stanovišta, razvoj proizvoda je moguće posmatrati iz tri generičke perspektive (slika 2.1), kao što su:

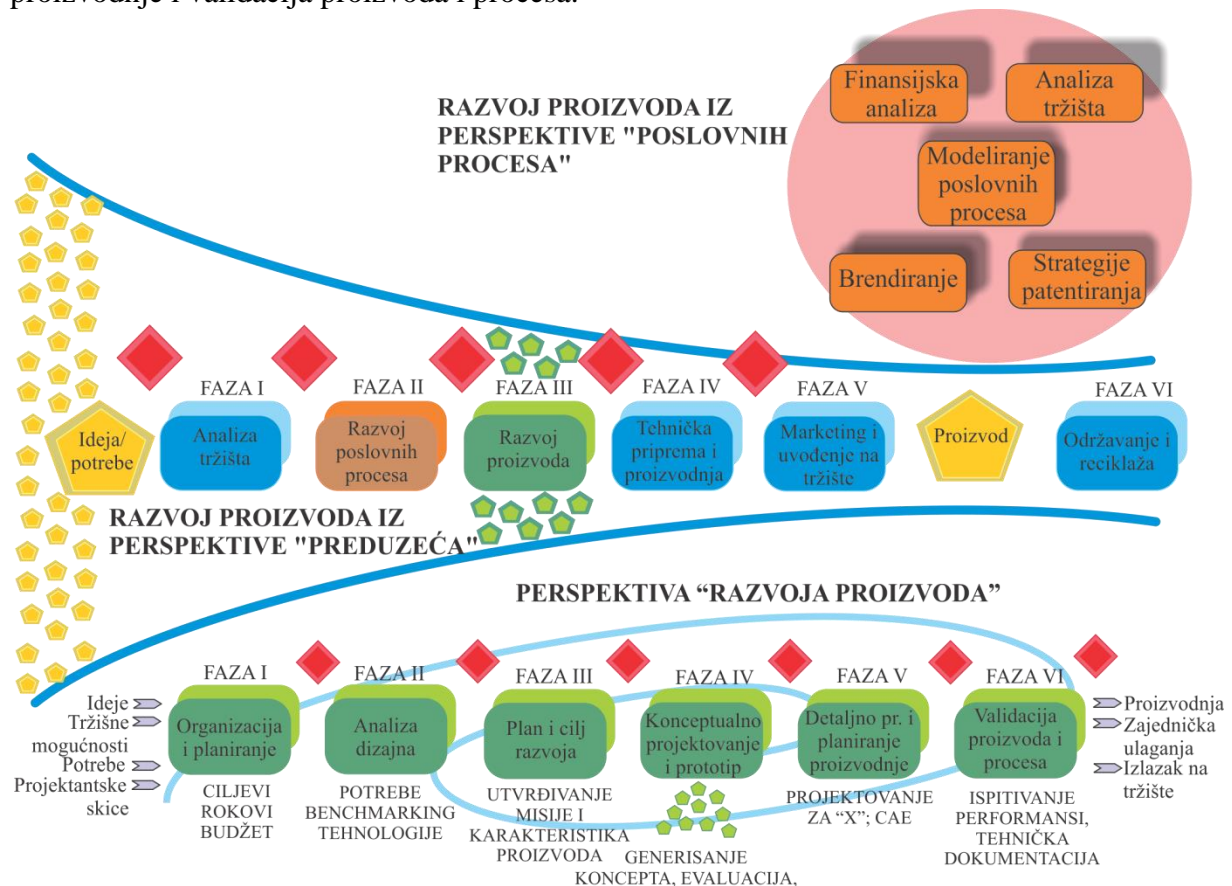
- *Perspektive „razvoja poslovnih procesa“*,
- *Perspektive „preduzeća“ i*
- *Perspektive „razvoja proizvoda“*.

Razvoj proizvoda iz perspektive „razvoja poslovnih procesa“ odnosi se na razvoj poslovnih aktivnosti vezanih za finansije, tržište, marketing i opšte poslovne procese. Razvoj proizvoda iz ove perspektive vrši se implementacijom metoda finansijske analize, modeliranja poslovnih

procesa, analize tržišta, brendiranja proizvoda i strategijama patentiranja i intelektualnog vlasništva.

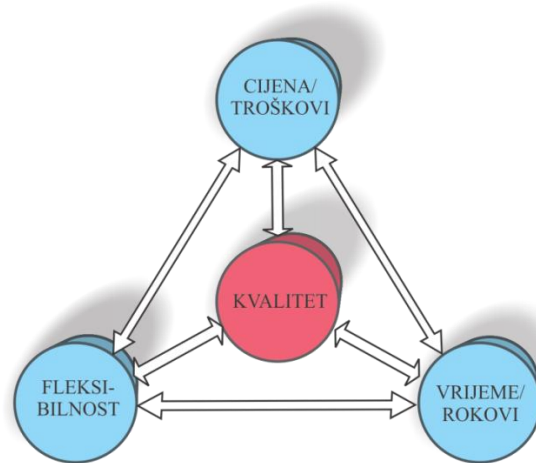
Razvoj proizvoda iz perspektive „preduzeća“ odnosi se na realizaciju aktivnosti koje se odvijaju u odjeljenjima preduzeća. Razvoj novog ili unaprijeđenje postojećeg proizvoda u okviru proizvodnog preduzeća vrši se preko odjeljenja za: istraživanje i analizu tržišta, razvoj poslovnih procesa, razvoj proizvoda, proizvodnju, distribuciju, prodaju i marketing, servis i povlačenje iz upotrebe.

Perspektiva „razvoja proizvoda“ odnosi se na aktivnosti koje je neophodno izvršiti u fazi razvoja proizvoda, kao segmenta životnog vijeka proizvoda, i to: organizacija i planiranje aktivnosti u vezi sa razvojem novog proizvoda, analiza dizajna, plan i cilj razvoja, konceptualno projektovanje i izrada prototip proizvoda, detaljno projektovanje i planiranje proizvodnje i validacija proizvoda i procesa.



Slika 2.1 Razvoj proizvoda kroz tri generičke perspektive [11]

Značaj razvoja proizvoda može se pojednostavljeno predstaviti preko trougla kvalitet – cijena - vrijeme (slika 2.2). Aktivnost razvoja proizvoda, u okviru proizvodnog preduzeća, vrši multidisciplinarni tim, koga čine eksperti iz oblasti marketinga, ekonomije, inženjerskih nauka, proizvodnje i prodaje, zajedno sa menadžmentom preduzeća. Ovako strukturisan tim eksperata ima za cilj da, kao rezultat procesa razvoj proizvoda, generiše proizvod najvišeg kvaliteta, sa najnižim tržišnim cijenama u najkraćim vremenskim intervalima. U početnim fazama razvoja proizvoda važno je otkloniti sve potencijalne greške koje se mogu javiti u kasnijim fazama razvoja proizvoda.



Slika 2.2 Značaj razvoja proizvoda [12]

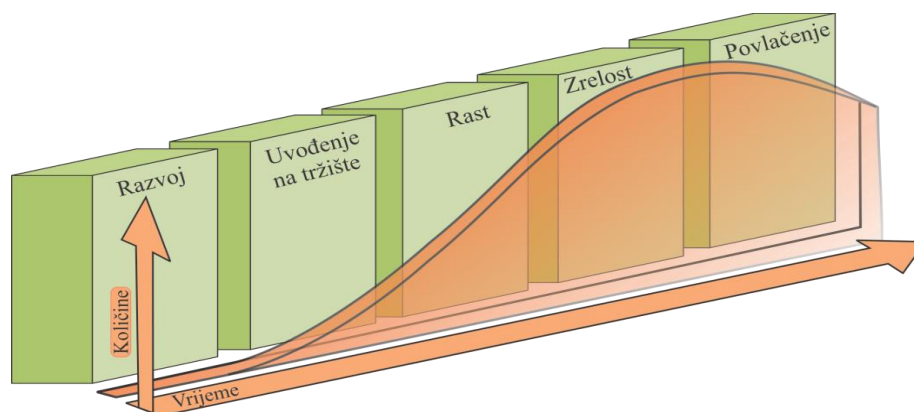
Prema istraživanjima, odnos troškova razvoja proizvoda – planiranja proizvodnje i neposredne proizvodnje proizvoda poznat je kao “poluga kvaliteta”, koja predstavlja odnos 1 prema 10 prema 100, što znači da je 1 utrošeni dolar u izmjene u fazi projektovanja, ekvivalentan utrošku 10 dolara radi otklanjanja izmjena u fazi pripreme proizvodnje i utrošku od 100 dolara radi otklanjanja izmjena u fazi proizvodnje. Dejstvom razvoja procesa na kvalitet povećava se konkurentnost i učešće proizvoda na tržištu, a dejstvom na cijene/troškove povećava se profitabilnost razvoja i proizvodnje proizvoda.

2.1 ŽIVOTNI VIJEK PROIZVODA

Iz perspektive „razvoja proizvoda“, razvoj novih i unaprijeđenje postojećih proizvoda vrši se izvršavanjem aktivnosti:

- *Idejnog osmišljavanja, definisanja strategije i postavljanja zadataka za proizvod,*
- *Razvoja proizvoda (projektovanje i konstruisanje proizvoda),*
- *Pripreme, izrade, montaže, kontrole, korekcije proizvoda,*
- *Marketinga, distribucije i prodaje,*
- *Instalacije, eksploatacije, održavanja i dogradnje i*
- *Povlačenja iz upotrebe i reciklaže.*

Navedene aktivnosti uz interakciju sa okolinom, naučno-tehnološkim resursima, sirovinsko-energetskim resursima i tržištem, predstavljaju životni vijek proizvoda (slika 2.3).



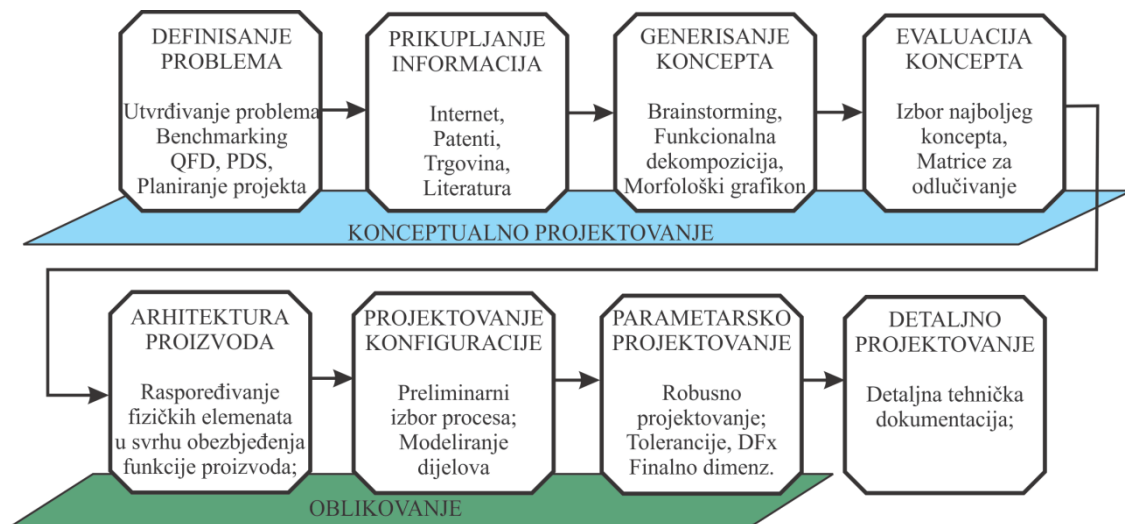
Slika 2.3 Životni vijek proizvoda

2.1.1 Idejno osmišljavanje, definisanje strategije i postavljanje zahtjeva za razvoj proizvoda

Idejno osmišljavanje i definisanje strategije za razvoj proizvoda odnosi se na začetke idejnih razmišljanja o novom ili poboljšanom proizvodu. U ovoj fazi životnog vijeka proizvoda prepoznaju se potrebe za proizvodom, definišu se idejni koncepti, strategije razvoja proizvoda i pruža se odgovor na pitanje: „Koje zahtjeve kupaca ispunjava novi ili poboljšani proizvod?“. Ideja o novom proizvodu može proisteći iz istraživanja tržišta, zahtjeva kupaca, pojavom novih tehnologija ili individualne kreativne sposobnosti pojedinca. Definisanjem zadataka i specifikacija za proizvod definišu se smjernice i zadaci koje proizvod treba da ispuni. Definiše se problem projektovanja, kao i rezultati koji se očekuju na kraju procesa razvoja proizvoda. Menadžment preduzeća, zajedno sa timom za razvoj proizvoda, pomoću tehnno-ekonomske analize ideje o novom proizvodu, donosi odluku o nastavku procesa razvoja novog proizvoda. Tehno-ekonomska analiza ideje o novom proizvodu odnosi se na tržišne potrebe, mogućnosti prodaje, mogućnost i obima novčanih ulaganja, udjela na tržištu i grubih procjena troškova razvoja, projektovanja i proizvodnje proizvoda. Ukoliko tehnno-ekonomska analiza potvrdi ideju o novom proizvodu, životni vijek proizvoda ulazi u narednu fazu, fazu razvoja novog proizvoda.

2.1.2 Razvoj proizvoda

Razvoj proizvoda obuhvata aktivnosti projektovanja i konstruisanja proizvoda. U okviru faze projektovanja, proizvod prelazi iz faze tržišne ideje u fazu vizuelizacije, oblikovanja i definisanja svih neophodnih podataka za proizvod. Potpuno definisan proizvod sa stanovišta oblika, materijala, funkcionalnosti, dimenzija i ostalih performansnih karakteristika predstavlja izlaz iz faze projektovanja proizvoda. Aktivnost projektovanja proizvoda sastoji se iz faze konceptualnog projektovanja, oblikovanja proizvoda i detaljnog projektovanja proizvoda (slika 2.4).



Slika 2.4 Faze projektovanja proizvoda [13]

U okviru konceptualnog projektovanja proizvoda identifikuju se potrebe, generiše se više konceptualnih rješenja proizvoda, vrši se analiza i bira najpovoljnije konceptualno rješenje za proizvod. Rezultat konceptualnog projektovanja proizvoda predstavlja funkcionalni koncept proizvoda koji predstavlja ulaz u fazu oblikovanja proizvoda. U okviru oblikovanja proizvoda

definiše se arhitektura proizvoda, vrši se projektovanje konfiguracije proizvoda i parametarsko projektovanje varijantnih rješenja. Detaljnim projektovanjem proizvoda vrši se potpuno definisanje svih performansnih karakteristika proizvoda, kao i generisanje izlaznih informacija iz cjelokupne faze projektovanja proizvoda.

Konceptualno projektovanje proizvoda polazi od identifikacije ulaznih zahtjeva za projektovanjem, koji se generišu u okviru prethodne faze razvojnog ciklusa proizvoda. Identifikacija ulaznih zahtjeva za projektovanje treba da pruži informacije o funkcijama, karakteristikama i performansama koje proizvod mora da ispuni. Konceptualno projektovanje proizvoda može se posmatrati preko realizacije sljedećih aktivnosti projektovanja:

- *Identifikacija potreba i zahtjeva kupaca,*
- *Identifikacija propisa i standarda koji se odnose na posmatrani proizvod,*
- *Kreiranje početnih konceptualnih rješenja konfiguracije novog ili unaprijedenog proizvoda,*
- *Analiza i vrijednovanje konceptualnih rješenja za proizvod u pogledu funkcija, performansi, efektivnosti i ekonomičnosti i*
- *Izbor najpovoljnijeg konceptualnog rješenja proizvoda.*

Oblikovanje proizvoda, koje se često naziva preliminarno projektovanje, kao ulaz koristi funkcionalni koncept proizvoda iz faze konceptualnog projektovanja. Oblikovanje proizvoda može se raščlaniti na projektovanje arhitekture proizvoda, projektovanje konfiguracije proizvoda i parametarsko projektovanje proizvoda [13].

Ako se konceptualnim projektovanjem definiše funkcionalna struktura proizvoda, onda se može reći da se projektovanjem arhitekture proizvoda određuje fizička struktura proizvoda. Projektovanjem arhitekture proizvoda definiše se oblik i opšte dimenzije proizvoda. Projektovanje oblika proizvoda odnosi se na raščlanjivanje proizvoda na sklopove, podsklopove i dijelove standardnog tipa i za specijalu namjenu. Projektovanje konfiguracije proizvoda sastoji se od:

- *Definisanja prostornih ograničenja strukture proizvoda,*
- *Kreiranja i preciziranja međusobnih veza strukture proizvoda,*
- *Uspostavljanje glavnih dimenzija strukture proizvoda,*
- *Početak razmatranja proizvodnih procesa u svrhi izrade proizvoda i*
- *Verifikacije proizvoda u smislu izvođenja opštih proračuna, simulacija i analiza.*

Prethodno utvrđeni atributi u fazi projektovanja konfiguracije proizvoda sada postaju projektantske promjenljive u fazi parametarskog projektovanja. Projektantske promjenljive mogu biti dimenzije, tolerancije, materijali, kvalitet obrađene površine i termička obrada. Cilj parametarskog projektovanja je generisanje vrijednosti za projektantske promjenljive, tako da se kao rezultat dobije najbolji mogući projekat proizvoda, s obzirom na performanske karakteristike proizvoda i zahtjeve za proizvodnju.

Oblikovanje proizvoda u kasnijim fazama razvojnog ciklusa proizvoda mora rezultovati minimalnim troškovima, zahtjevima i gubicima u procesu proizvodnje, minimalnom masom proizvoda, optimalnim rukovanjem, inovativnim izgledom, kao i zadovoljenjem ostalih zahtjeva postavljenim za proizvod. Oblikovanje proizvoda, kao faza projektovanja proizvoda, uopšteno se može posmatrati preko realizacije sljedećih koraka:

- *Generisanje oblika, opštih dimenzija i vizuelnog predstavljanja proizvoda,*
- *Definisanje materijala i sirovina,*
- *Definisanje sastavih dijelova, podsklopova i sklopova za proizvod,*
- *Identifikacija standardnih, unificiranih i tipskih komponenti za proizvod,*
- *Identifikacija mogućnosti izrade dijelova u vlastitim pogonima i angažovanje kooperacije,*
- *Razvoj varijantnih rješenja proizvoda,*
- *Verifikacija proizvoda u smislu proračuna, analiza i simulacije proizvoda i*
- *Procjena troškova realizacije proizvoda,*

Kao rezultat aktivnosti oblikovanja proizvoda može se pojaviti rješenje koje ne ispunjava u potpunosti definisane zahtjeve. U tom slučaju potrebno je obezbijediti mogućnost povratka u ranije faze razvojnog ciklusa proizvoda pomoću uspostavljanja projektantskih povratnih sprega. Ukoliko projektantsko rješenje za proizvod iz faze oblikovanja ne zadovoljava potpuno definisane zahtjeve, proces projektovanja se nastavlja preko aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda.

Detaljnim projektovanjem proizvoda u okviru razvoja proizvoda, potpuno se definišu performanske karakteristike proizvoda. Pored prethodno definisanih performansi proizvoda, u ovoj fazi projektovanja vodi se računa o dimenzionim tolerancijama, tolerancijama oblika i položaja, kvalitetu brađenih površina, površinskoj zaštiti, boji, rezervnim dijelovima, načinu pakovanja i transporta proizvoda. Detaljnim projektovanjem proizvoda donosi se odluka o potrebnim proizvodnim procesima i vrši se grubo planiranje tehnoloških procesa. U fazi detaljnog projektovanja proizvoda, kao završna aktivnost procesa projektovanja proizvoda, vrši se priprema projektne dokumentacije. Projektna dokumentacija sadrži detaljne sklopne crteže, sastavnice, radioničke crteže, virtualne modele proizvoda (dijelova), izvještaje o analizi proizvoda i izvještaje o ispunjavanju postavljenih zahtjeva.

2.1.3 Tehnička priprema i realizacija proizvoda

Izlaz iz faze projektovanja predstavlja kompletan projekat proizvoda koga čine proizvodna dokumentacija, kao i rezultati tržišnih i ekonomskih analiza. Tehnička priprema proizvodnje obuhvata aktivnosti koje su neophodne za nesmetano izvođenje procesa proizvodnje. Najvažnije aktivnosti tehničke pripreme proizvodnje odnose se na izradu i razradu konstrukcione dokumentacije i projektovanje tehnoloških procesa, a planiranje proizvodnih resursa, planiranje i raspoređivanje proizvodnih procesa, planiranje i nabavka materijala za proizvodnju, planiranje kontrole procesa proizvodnje i planiranje održavanja proizvodnih resursa pripada pripremi proizvodnje.

Završetkom aktivnosti tehničke pripreme proizvodnje, na zahtjev menadžmenta preduzeća, vrši se izrada prototipa proizvoda. Izrada prototipa proizvoda treba da verifikuje sve prethodno realizovane aktivnosti projektovanja proizvoda i tehničke pripreme proizvodnje. Prototip proizvoda je predmet fizičkih analiza i testiranja, kao podloge za uvođenje proizvoda u fazu količinske proizvodnje. Realizacijom količinske proizvodnje, vrše se posljednje korekcije na proizvodu i prelazi se na narednu fazu životnog vijeka proizvoda.

2.1.4 Marketing i uvođenje proizvoda na tržište

Marketing aktivnosti danas zauzimaju izuzetan značaj u životnom vijeku proizvoda i pažljivo se planiraju do najsitnijih detalja. Marketing proizvoda se posmatra i razvija od faze ideje o

proizvodu do faze tržišne zrelosti proizvoda. Pažljivim djelovanjem na kupce, u tačno određenim fazama životnog vijeka proizvoda, marketing proizvoda donosi velike ekonomske benefite preduzeću.

Distribucijom proizvoda preko maloprodajnih i veleprodajnih mreža, kao i realizacijom aktivnosti marketinga, proizvod dolazi u kontakt sa kupcima. U početnom periodu prodaje, količine prodatih proizvoda su niske. U nadolazećem vremenskom periodu, kao rezultat marketing kampanje i zadovoljenja zahtjeva kupaca, dolazi do povećanja količina prodatih proizvoda. Povećanje količina prodatih proizvoda traje do trenutka stabilizacije tržišnih aktivnosti, kada količine prodatih proizvoda dostižu maksimalni nivo. Količine prodatih proizvoda se na tom nivou zadržavaju kraći vremenski period, kada dolazi do pada prodaje proizvoda. Pad prodaje postojećeg proizvoda nastavlja se u narednom periodu do trenutka potpune neizainteresovanosti kupca za proizvodom. Ova faza često se naziva degeneracija proizvoda. Degeneracija proizvoda nastaje kao rezultat zasićenosti postojećim proizvodom, kao i pojavom na tržištu proizvoda viših performansnih karakteristika.

2.1.5 Eksploatacija i održavanje

Faza eksploatacije i održavanja proizvoda počinje odmah nakon distribucije proizvoda na tržište. U ovoj fazi proizvođač mora obezbijediti kvalitetnu podršku za svoj proizvod u smislu instrukcija, savjeta za korišćenje i realizaciju najvišeg stepena eksploatacije proizvoda, kao i aktivnosti redovnog i vanrednog servisiranja proizvoda. Već u ranim fazama razvoja proizvoda važno je definisati uslove eksploatacije, održavanja i servisa proizvoda. Poznavanje tačno definisanih uslova eksploatacije, održavanja i servisiranja proizvoda za preduzeće važno je sa aspekta planiranja troškova i samog procesa poslovanja, a za kupce sa aspekta očekivanja, zadovoljenja zahtjeva i upoznavanja sa performansama, radnim vijekom i troškovima eksploatacije proizvoda.

2.1.6 Povlačenje iz upotrebe i reciklaža proizvoda

Istekom radnog vijeka proizvoda, što najčešće nastaje procesom starenja i intenzivne eksploatacije, proizvođač je u današnje vrijeme obavezan da projektom predvidi povlačenje proizvoda iz upotrebe i reciklažu proizvoda. Pored ove vrste povlačenja iz upotrebe, danas se sve češće vrši i namjensko povlačenje novih, neprodatih ili nedovoljno eksploataciskanih proizvoda sa tržišta. Namjensko povlačenje proizvoda sa tržišta vrši se najčešće zbog zamjene postojećeg proizvoda novim proizvodom.

2.2 RAZVOJNI CIKLUS PROIZVODA

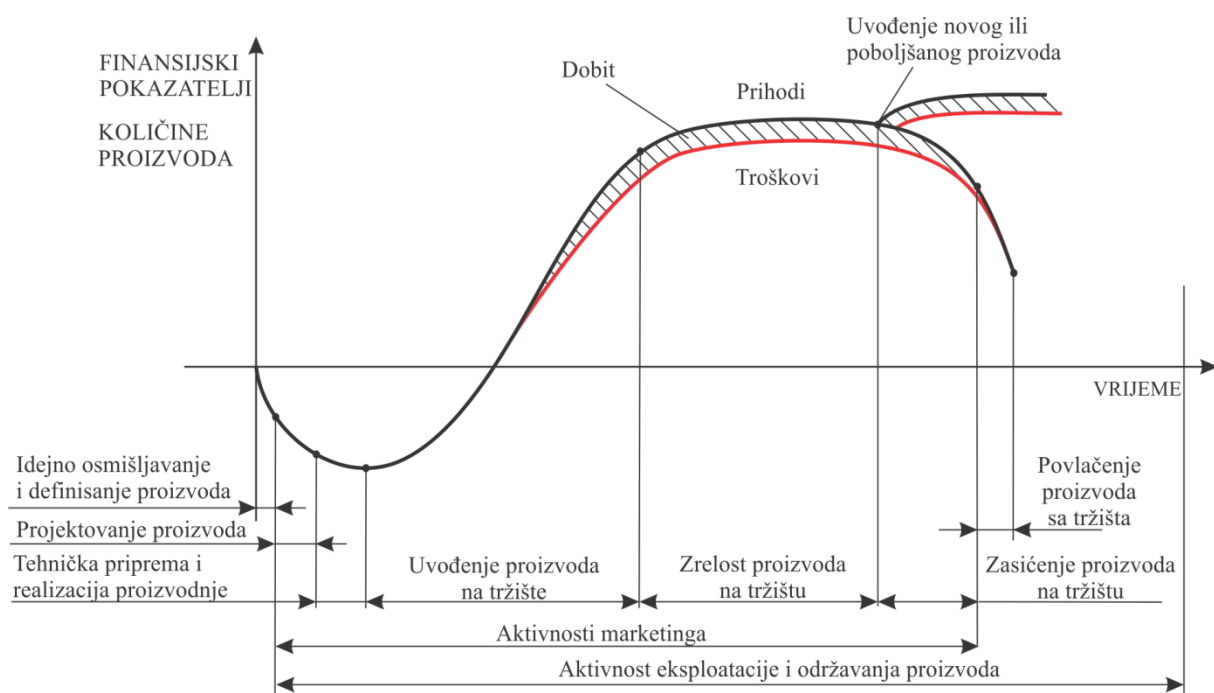
Faze razvoja proizvoda, posmatrane preko funkcija troškova, sa jedne strane, i vremena, sa druge strane, prikazane su na slici 2.5. Kriva koja prikazuje kretanje proizvoda u zavisnosti od troškova i vremena naziva se kriva ekonomskog ili razvojnog ciklusa proizvoda.

Karakteristična faze kroz koje proizvod prolazi od idejnog koncepta do polaćenja sa tržišta su:

- *Idejno osmišljavanje i definisanje proizvoda,*
- *Projektovanje (dokumentovanje) proizvoda,*
- *Tehnička priprema i realizacija proizvoda (izrada, kontrola, montaža, pakovanje),*
- *Uvođenja proizvoda na tržište,*
 - *rast prodaje proizvoda,*
 - *zrelost proizvoda na tržištu,*

- zasićenje proizvoda na tržištu,
- povlačenje proizvoda sa tržišta.
- Marketing,
- Eksploatacija i održavanje proizvoda i
- povlačenje iz upotrebe i reciklaža proizvoda.

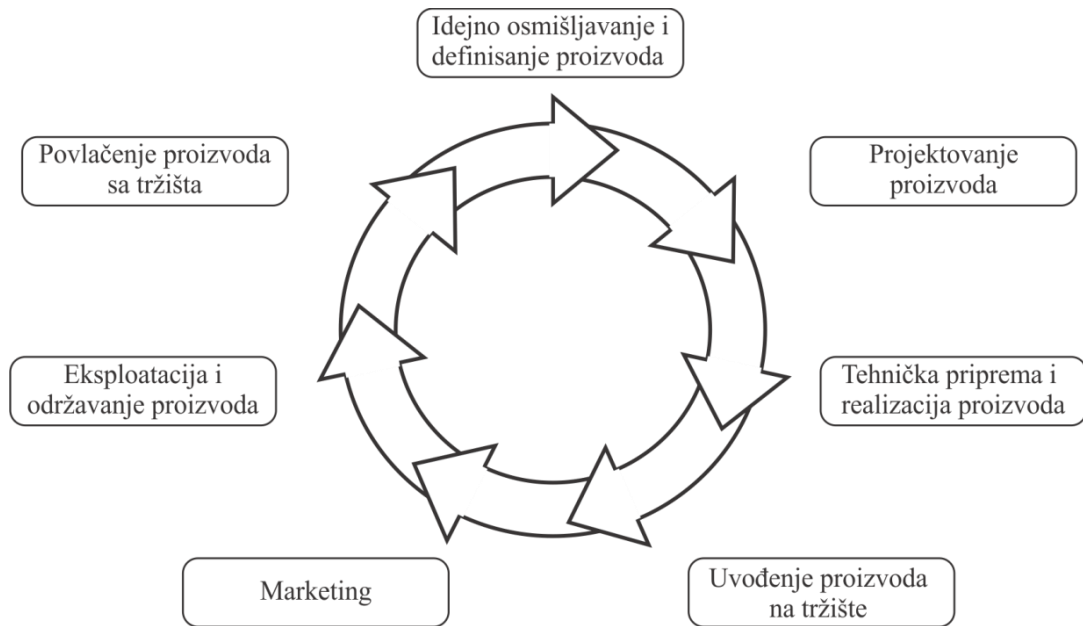
Osnovni motiv svakog preduzeća je opstanak na tržištu, povećanje tržišnog udjela i povećanje poslovnih rezultata. Negativan trend rezultata poslovanja, nastaje padom prodaje postojećih proizvoda, odnosno u fazi zasićenja tržišta proizvodom. Menadžment preduzeća, kao odgovor na pojavu ovog trenda, mora izvršiti uvođenje novog proizvoda ili unaprijeđenje postojećeg proizvoda na tržištu. Uvođenje novog ili unaprijeđenje postojećeg proizvoda vrši se već u fazi postizanja maksimalnih rezultata prodaje odnosno u fazi zrelosti proizvoda na tržištu. Nakon pada prodaje starog i uvođenja novog proizvoda, menadžment preduzeća postepeno povlači stari proizvod sa tržišta.



Slika 2.5 Kriva razvojnog (ekonomskog) ciklusa proizvoda

Novi proizvod ili unaprijeđen postojeći proizvod, rezultat je ponavljanja cjelokupnog razvojnog ciklusa proizvoda, definisanog kroz životni vijek proizvoda. Ponavljanje cjelokupnog razvojnog ciklusa proizvoda predstavlja ponavljanje aktivnosti idejnog osmišljavanja i definisanja proizvoda, projektovanja proizvoda, tehničke pripreme i realizacije proizvoda, uvođenja proizvoda na tržište, marketinga, eksploatacije i održavanja proizvoda, kao i povlačenje iz upotrebe i reciklaže proizvoda. Do narednog ponavljanja navedenih aktivnosti dolazi kad prethodno razvijeni novi ili unaprijeđeni proizvod postigne maksimalne rezultate prodaje, odnosno dostigne područje zrelosti prodaje.

Prethodno definisana metodologija razvoja proizvoda naziva se razvojni ciklus proizvoda (slika 2.6.). Implementacijom metodologije razvoja proizvoda, preko konstantnog ponavljanja aktivnosti životnog vijeka proizvoda, menadžment preduzeća obezbjeđuje stalnu potražnju za proizvodom i opstanak preduzeća na globalnom tržištu.

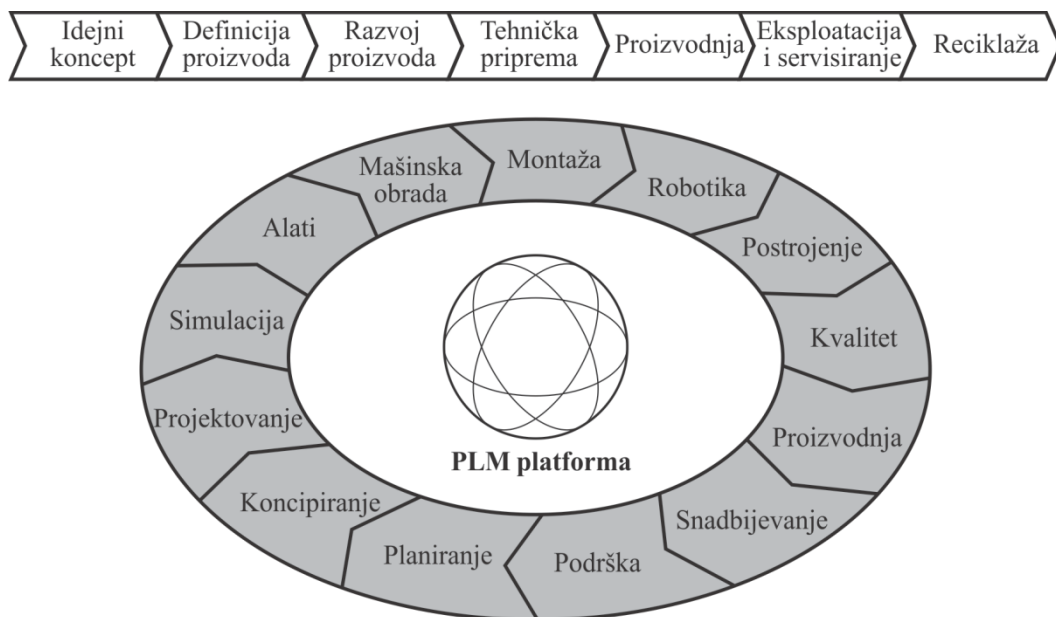


Slika 2.6 Razvojni ciklus proizvoda

2.3. UPRAVLJANJE RAZVOJNIM CIKLUSOM PROIZVODA

Razvojem informacionih tehnologija i prelaskom na sisteme upravljanja pomoću računara, upravljanje razvojnim ciklusom proizvoda dobilo je poseban značaj u poslovnom okruženju preduzeća. Danas se upravljanje razvojnim ciklusom proizvoda vrši pomoću računarom integrisanih platformi za upravljanje razvojnim ciklusom proizvoda ili PLM sistemima (*PLM* – eng. *Product Lifecycle Management*).

PLM sistemi nastali su kao podrška preduzećima u dostizanju njihovih poslovnih ciljeva kroz smanjenje troškova, poboljšanje kvaliteta, smanjenja vremena pojave proizvoda na tržištu, uz istovremenu inovaciju proizvoda i njegovo održavanje.



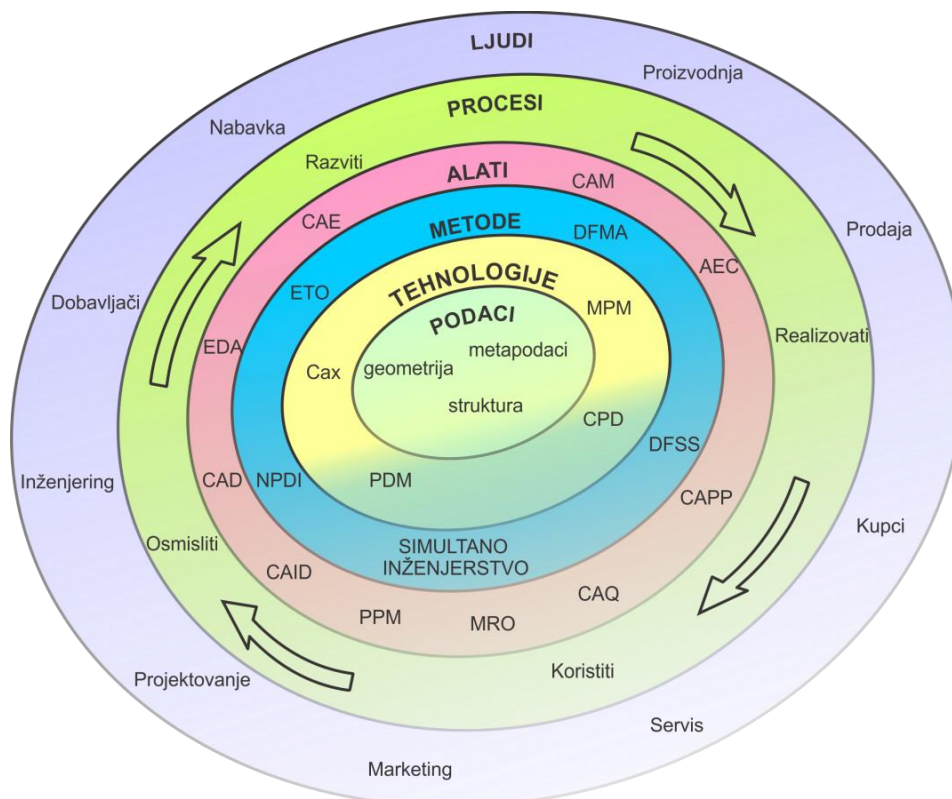
Slika 2.7 PLM platforma za razvojni ciklus proizvoda

Posmatrajući širi aspekt, PLM sistemi mogu se definisati kao sistemi koji upravljaju svim fazama razvojnog ciklusa proizvoda, od idejnog koncepta, definisanja proizvoda, preko razvoja, projektovanja i proizvodnje, sve do servisiranja, povlačenja iz upotrebe i reciklaže. (slika 2.7). Mogućnosti uticaja na proizvod u okviru proizvodnog preduzeća, mogu se svrstati u grupe aktivnosti koje su obuhvaćene spoljašnjim prstenom na slici 2.7. Da bi PLM sistem u potpunosti ispunjavao svoju namjenu, sve aktivnosti i sve mogućnosti uticaja u okviru proizvodnog preduzeća moraju biti implementirane u okviru PLM sistema.

Ciljevi implementacije PLM sistema su:

- *Integracija i kreiranje centralnih baza podataka o proizvodima i procesima, odnosno integracija svih uticajnih faktora na realizaciju proizvoda,*
- *Realizacija obimnih i unaprijeđenih veza sa kupcima, dobavljačima i poslovnim partnerima u svrhu podrške prodaje i uključivanja u proces realizacije proizvoda,*
- *Povećanje fleksibilnosti proizvoda i procesa preko interakcije sa kupcima, dobavljačima i drugim partnerima u procesu realizacije proizvoda i*
- *Unaprijeđenje kapaciteta, agilnosti i produktivnosti preduzeća kroz smanjenje vremena realizacije proizvoda, povećanja kvaliteta proizvoda, uštede u materijalu, vremenu i tokovima informacija.*

Glavni cilj implementacije PLM sistema je stvaranje centralnog sistema upravljanja svim podacima vezanim za proizvode i tehnologije, koji se koristi u svrhu pristupa informacijama i znanju. PLM je disciplina koja se može posmatrati kao integracija informacija i podataka o ljudskim resursima, procesima, alatima, metodama i tehnologijama, kroz sve etape životnog vijeka proizvoda (slika 2.8).



Slika 2.8 Koncept upravljanja životnim ciklusom proizvoda

U savremenom globalnom poslovnom okruženju, PLM sistemi predstavljaju filozofiju poslovanja i upravljanja podacima o proizvodu i razvoju proizvoda koja još uvijek nije potpuno implementirana u proizvodnim preduzećima. Zbog obimnih različitih tipova podataka i informacija autori PLM sistema nisu uvijek u mogućnosti u potpunosti da pokriju sva područja na koja se odnosi ideja o PLM sistemima.

2.4. PRISTUPI RAZVOJU PROIZVODA

Proces razvoja proizvoda, sa istorijskog aspekta, polazi od ranih pojava planova i crteža određenih aktivnosti u najranijim oblicima ljudske civilizacije. Definisane skica, crteža i modela proizvoda, kao i planiranje aktivnosti prilikom realizacije proizvoda, obuhvata aktivnost razvoja proizvoda. Razvoj proizvoda se, kroz istorijski razvoj čovječanstva sa aspekta primjenljivih tehnologija, može podijeliti na:

- *Manuelni razvoj proizvoda*
- *Virtuelni razvoj proizvoda.*

Manuelni razvoj proizvoda odnosi se na proces razvoja proizvoda u kome se rezultati razvoja u obliku planova, skica, analiza, crteža i modela, nalaze u opipljivom, čvrstom ili realnom obliku. Ovaj način razvoja proizvoda polazi od najranijih pojava skica i planova za realizaciju proizvoda, sve do pojave informacionih tehnologija u oblasti projektovanja ranih 60-tih godina prošlog vijeka.

Virtuelni razvoj proizvoda nastupio je implementacijom informacionih tehnologija u procese razvoja proizvoda. Implementacija informacionih tehnologija polazi od skromne upotrebe računara u svrhu skiciranja, preko razvoja programskih sistema za skiciranje, zapreminsko modeliranje, CAD/CAM programskih sistema, pa sve do današnjih dostignuća u vidu integracionih platformi za upravljanje životnim ciklusom proizvoda i upravljanjem cjelokupnim podacima o proizvodu (PDM sistema – eng. *PDM – Product Data Management*).

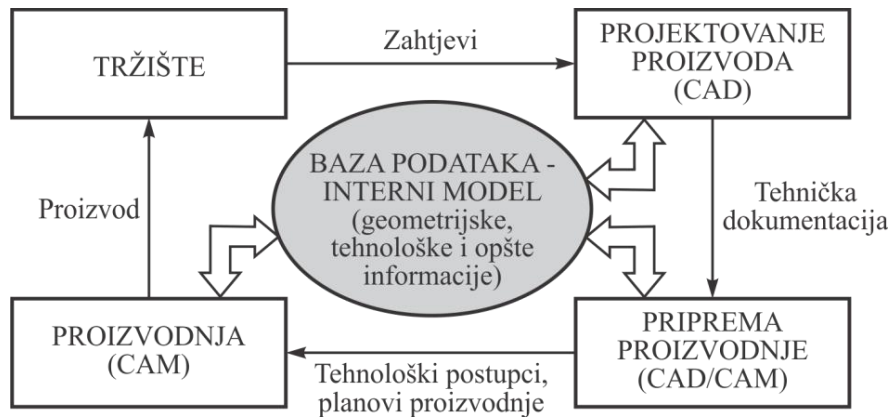
Najširu primjenu u oblasti razvoja, projektovanja i realizacije proizvoda, u okviru proizvodnih preduzeća, zauzeli su programski sistemi koji omogućavaju:

- *Automatizaciju projektovanja proizvoda primjenom računara (CAD - engl. Computer Aided Design),*
- *Unaprijeđenje i automatizaciju procesa proizvodnje primjenom računara (CAM - engl. Computer Aided Manufacturing) i*
- *Inženjerske proračune, analize i simulacije primjenom računara (CAE - engl. Computer Aided Engineering).*

Skup navedenih programskih sistema skraćeno se naziva CAD/CAM/CAE, pri čemu je uobičajeno da se inženjerstvo pomoću računara smatra kao jedna od faza u razvoju proizvoda, pa se prema tome govori o CAD/CAM sistemima.

Realizacija faza razvoja proizvoda, koje se odnose na aktivnosti projektovanja i proizvodnje proizvoda pomoću CAD/CAM programskih sistema, bazira se na primjeni digitalnih računara pri izvršavanju određenih funkcija u okviru ovih aktivnosti. U poređenju sa klasičnom načinom projektovanja, ovaj pristup projektovanju rezultuje kvalitetnijim proizvodima, kraćim vremenom razvoja proizvoda, većom produktivnosti i ukupnim smanjenjem troškova poslovanja. Navedene prednosti dobijene su prenosom inženjerskih aktivnosti sa manualnog

načina realizacije na realizaciju pomoću računara. U ovom slučaju radi se o inženjerskim aktivnostima koje se mogu algoritamski predstaviti i lako programirati. Drugi doprinos ogleda se kroz integraciju različitih inženjerskih aktivnosti nad jedinstvenom bazom podataka o proizvodu, odnosno internim računarskim modelom proizvoda (slika 2.9).



Slika 2.9 Pojednostavljen ciklus razvoja proizvoda

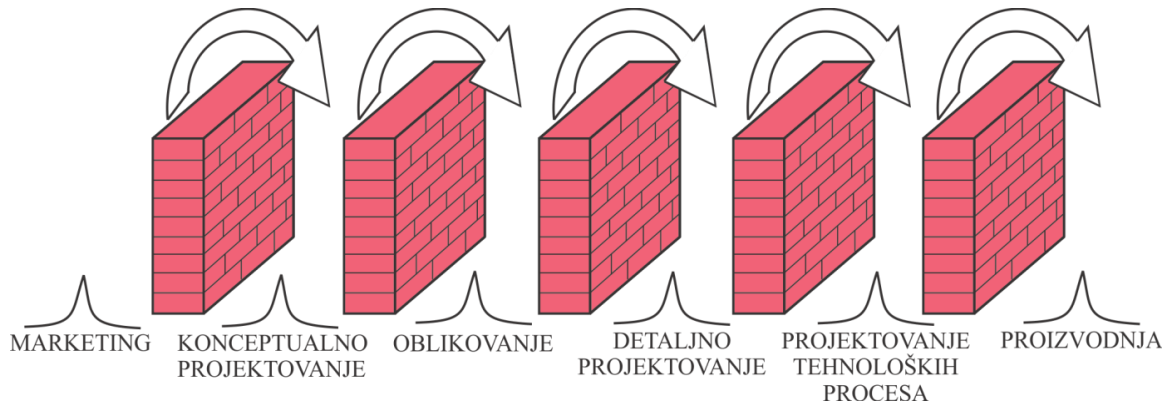
Pojednostavljeni ciklus razvoja novog ili unaprijeđenja postojećeg proizvoda prikazan je na slici 2.9. U klasičnoj, konvencionalnoj proizvodnji, tok informacija odvija se uglavnom duž spoljašnjeg prstena, u kome su se povratne sprege javljale tek nakon završetka određene faze razvoja proizvoda. Ovakav način razvoja proizvoda poznat je pod terminom redosljedno ili sekvencijalno inženjerstvo.

CAD/CAM pristup, predstavljen unutrašnjim prstenom (blok strelice) je svestraniji i kvalitetniji, jer omogućava simultani/paralelni timski rad. Jednom generisani podaci smještaju se u bazu podataka odakle se po potrebi pozivaju i koriste. Nakon definisanja zahtjeva za projektovanjem novog proizvoda, omogućava se paralelno izvođenje ostalih aktivnosti razvoja proizvoda kao što su projektovanje proizvoda, tehničke pripreme ili priprema marketing strategija. Na ovaj način omogućen je savremen prilaz inženjerskom projektovanju, poznat kao simultano/konkurentno inženjerstvo.

2.4.1 Redosljedno/sekvencijalno inženjerstvo

Ciklus razvoja proizvoda, koji podrazumijeva da se aktivnosti projektovanja proizvoda, razvoja proizvodnih procesa i pratećih aktivnosti razvoja, kvaliteta i testiranja, izvode jedne za drugom, naziva se redosljedno/sekvencijalno inženjerstvo. U okviru redosljednog inženjerstva podrazumeva se da nema interakcije između glavnih odeljenja i eksperata uključenih u proces razvoja proizvoda.

Redosljedno/sekvencijalno inženjerstvo često se naziva pristup "prebacivanja preko zida" (slika 2.10), koja predstavlja izolovani način funkcionisanja svakog odeljenja u sekvencijalnom pristupu. Svako odijeljenje za razvoj proizvoda (projektovanje, planiranje, proizvodnja i sl.) samostalno realizuje svoj dio zadatka i "prebacuje preko zida" projektne dokumente sljedećem odjeljenju. U ovom pristupu ne postoji interakcija između odjeljenja prije nego što se proces razvoja proizvoda ne završi. Ako se nedostatak ili greška u proizvodu otkrije u fazi ispitivanja, proces revizije projektne dokumentacije mora da počne od faze projektovanja, što rezultuje velikim vremenskim gubicima, značajnim troškovima i ugrožavanjem kvaliteta proizvoda.



Slika 2.10 Uzastopni/redni/sekvencijali pristup inženjerstvu

Vrijeme potrebno za razvoj proizvoda, u okviru sekvencijalnog inženjerstva, često je znatno duže nego što je predviđeno. Takođe, sporo se reaguje na česte zahteve tržišta, organizacija poslovanja je veoma troma i dolazi do pojave povratnih tokova u razvojnom ciklusu proizvoda. U doba smanjenih životnih ciklusa proizvoda, vrijeme kašnjenja između tržišne potražnje i uvođenja proizvoda na tržište mora da bude što kraće. Proces razvoja proizvoda na sekvencijalni način, ne odgovara današnjem dinamičnom globalnom tržištu.

2.4.2 Simultano/konkurentno inženjerstvo

Simultano, istovremeno ili konkurentno inženjerstvo, predstavlja metodologija restrukturiranja aktivnosti razvoja proizvoda u proizvodnim preduzećima korišćenjem timskog pristupa. Simultano inženjerstvo (SI) je tehnika koja je usvojena kako bi se unaprijedila efikasnost projektovanja proizvoda i smanjio vremenski ciklus razvoja proizvoda. SI okuplja širok spektar eksperata iz različitih oblasti projektovanja i proizvodnje proizvoda. Ekspertni tim izvršava aktivnosti razvoja proizvoda u okviru koncepta SI. Od početka realizacije zadatka vezanih za razvoj proizvoda, svi eksperti učestvuju u međusobnoj interakciji i izvršavaju zadatke na paralelan način. Aktivnosti razvoja proizvoda u okviru simultanog inženjerstva prikazane su na slici 2.11 i najčešće obuhvataju: identifikaciju i definisanje zahtjeva za novim ili poboljšanim proizvodom, konceptualno projektovanje, zapreminsko i površinsko modeliranje, analizu projekta proizvoda, proizvodne simulacije, provjeru i modeliranje procesa montaže, brzu izradu prototipa, kompletiranje tehničke i tehnološke dokumentacije, proizvodnju, marketing, održavanje i povlačenje proizvoda sa tržišta. Centralnu ulogu u konceptu SI zauzima baza podataka, koja služi kao jezgro informacija koje se koriste u svim aktivnostima razvoja proizvoda. Baza podataka sadrži informacije o zahtjevima kupaca, kao i tržišne i marketing analize potreba za novim proizvodom, konceptualne varijante proizvoda, zapreminski model proizvoda i ostale neophodne informacije koje se odnose na proizvod. Pored navedenih informacija, baza podataka sadrži informacije koje se odnose na ljudske, tehnološke i tehničke resurse preduzeća, koji su neophodni prilikom tehničke pripreme, realizacije proizvoda, uvođenja proizvoda na tržište, održavanja i povlačenja proizvoda sa tržišta.

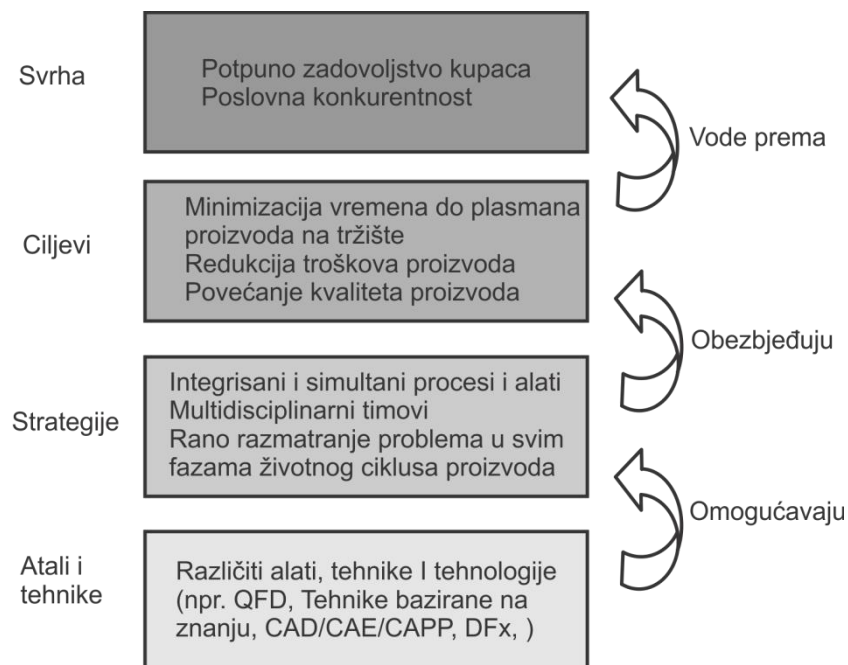
Koncept simultanog inženjerstva (SI) pojavio se 80-tih godina prošlog vijeka, kao koncept inženjerskih aktivnosti projektovanja koje se izvode na paralelan/simultan način uz integraciju svih srodnih procesa. Ovaj koncept zasniva se na opštoj pretpostavci da se različite komponente razvojnog ciklusa proizvoda moraju razmatrati zajedno i relativno rano u procesu razvoja proizvoda.



Slika 2.11 Aktivnosti razvoja proizvoda u okviru simultanog inženjerstva

Istraživači širom svijeta bavili su se konceptom simultanog inženjerstva. Neka od dostignuća u smislu definisanja, ciljeva i razumjevanja koncepta SI predstavljena su u nastavku.

Rolstadas [14] opisuje okvir za razumjevanje pristupa simultanog inženjerstva (slika 2.12.). Okvir se sastoji od alata i tehnika, strategija, ciljeva i svrhe simultanog inženjerstva. Alati i tehnike u ovom okviru obuhvataju širok spektar računarom podržanih alata, tehnika i tehnologija, kao što su QFD, agent i tehnike bazirane na znanju, CAD/CAM, DFx i drugi.



Slika 2.12 Okvir za razumjevanje pristupa simultanog inženjerstva [14]

Strategije u okviru simultanog inženjerstva odnose se na: integrisano i simultano izvršavanje procesa pri razvoju proizvoda, implementaciju pristupa na bazi ekspertnih timova, ranog

razmatranja svih problema vezanih za razvoj proizvoda i analizu unaprijed identifikovanih zahtjeva. Prijedloženi okvir SI definiše ciljeve koji se odnose na: minimizaciju vremena izlaska na tržište, redukciju proizvodnih troškova i povećanje kvaliteta proizvoda. Svrha implementacije SI prema ovom okviru odnosi se na potpuno zadovoljenje kupaca i ostvarivanje konkurentskih prednosti u poslovanju preduzeća. Prema datom okviru simultanog inženjerstva, alati i tehnike treba da omoguće realizaciju postavljenih strategija. Strategije omogućavaju isunjavanje postavljenih ciljeva, a ispunjeni ciljevi vode prema realizacije svrhe koncepta SI.

Inženjeri u okviru koncepta simultanog inženjerstva moraju koristiti različite metode i alate koji podržavaju njihove inženjerske i razvojne aktivnosti [15]. Koncept simultanog inženjerstva koji praktikuju proizvodna preduzeća, podrazumijevaju gotovo istovremen proces projektovanja proizvoda, njegov razvoj i pripremu za proizvodnju, bez obzira da li se radi o pojedinačnoj proizvodnji ili količinskoj proizvodnji [16]. Prema Willaert i sar. [17] ciljevi simultanog inženjerstva su ostvarivanje nižih troškova za proizvode kroz cjelokupni razvojni ciklus proizvoda, bolji kvalitet proizvoda, kao i kraće vrijeme razvoja proizvoda. Haque i sar. [18] navodi neke od prednosti SI, kao što su smanjenje razvojnih vremena, težnja ka decentralizovanoj organizaciji, poboljšanje performansi funkcija proizvoda, procesa i preduzeća. SI je strategija koja ima za cilj da poveća udeo na tržištu i zadovoljstvo korisnika, a smanji proizvodna i ciklusna vremena [19]. Ideja SI je istovremeno zadovoljenje važnih pitanja kao što su: funkcionalnost, pouzdanost, produktivnost i tržišna perspektiva, smanjenje vremena i troškova za razvoj proizvoda, postizanje većeg kvaliteta i vrijednosti proizvoda [20].

Definicije SI slične su po sadržaju ali postoje različiti načini posmatranja i definisanja SI. „Simultano inženjerstvo, kao što je definisao Winner i sar. [21], predstavlja sistemski pristup integrisanom, istovremenom projektovanju proizvoda i njegovim povezanim procesima, uključujući proizvodnju i podršku. Drugim rečima, SI obuhvata timski rad, konkurentnost preduzeća, komunikaciju, posvećenost, kulturu, zadovoljstvo kupaca, kao i ranu pažnju za proizvodnju, ispitivanje i pitanja podrške.“

"Simultano inženjerstvo je sistemski pristup integrisanom, istovremenom projektovanju proizvoda i njihovih povezanih procesa, uključujući proizvodnju i podršku. Ovaj pristup ima za cilj da uputi razvojne inženjere da, od samog početka, razmotre sve elemente razvojnog ciklusa proizvoda, od konceptualne ideje do odlaganja, uključujući kvalitet, troškove, proizvodnju i zahtjeve korisnika." [22]

"Simultano inženjerstvo je filozofija inženjerskog menadžmenta i skup operativnih principa koji vode proces razvoja proizvoda kroz ubrzan uspješan završetak. Ukupna filozofija SI počiva na jednom, ali moćnom principu koji promovise uključivanje proizvodnih aktivnosti u uzvodnim fazama procesa razvoja. To dovodi do kraćeg vremena razvoja, poboljšanja kvaliteta proizvoda, kao i nižih troškova razvoja i proizvodnih troškova." [23]

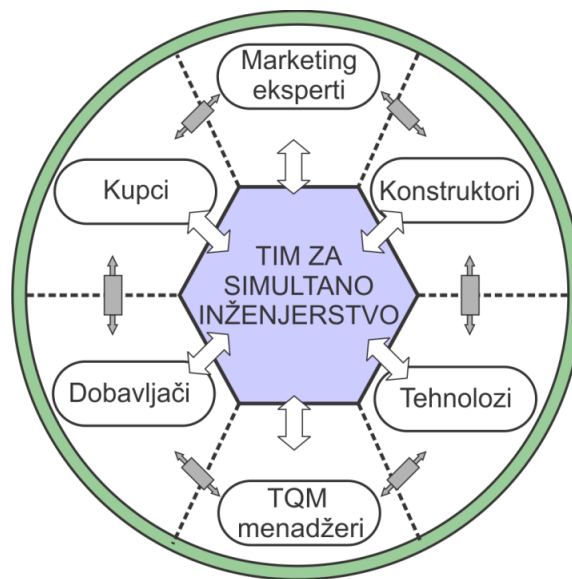
“SI je proces koji može da integriše sve korake u procesu razvoja proizvoda, uključujući faze projektovanja i proizvodnih procesa, a postavlja ih u oblik u kojem oni mogu biti istovremeno posmatrani i u kome se o njima može istovremeno razmišljati. SI ujedinjuje procese koji su uključeni u sistematizaciju projektovanja proizvoda. Višestruka domen integracija je najistaknutija karakteristika istovremenog inženjerstva.” [24]

Projektovanje proizvoda, u okviru simultanog ili konkurentnog inženjerstva, zasniva se na istovremenoj integraciji glavnih aktivnosti, kao što su [25]:

- *Konceptualizacija projektovanja i projektantskih aksioma,*
- *Identifikacija funkcija proizvoda,*
- *Modeliranje proizvoda i CAD (grafičkoj i analitičkoj reprezentaciji proizvoda);*
- *Izbor materijala,*
- *Projektovanje za efikasnu proizvodnju (projektovanje za proizvodnju i projektovanje za montažu) i*
- *Definisanje dimenzija i tolerancija (izbor mašina i opreme).*

Prema [19] ključne komponente SI su razumevanje potrebe kupca, stabilnost pri definisanju proizvoda, strukturiran i sistemski pristup razvoju proizvoda, sposobnost uspostavljanja efikasnih timova, realan i definisan proces razvoja proizvoda, dostupnost resursa, rano uključivanje svih zainteresovanih strana, dakle sve što podržava paralelno projektovanje proizvoda i procesa zajedno sa odgovarajućom tehnološkom podrškom.

Konceptualni model simultanog inženjerstva za globalnu proizvodnju, koji se može posmatrati sa ili bez implementacije informacionih tehnologija, prikazan je na slici 2.13. Prema ovom modelu, konceptom simultanog inženjerstva ostvaruje se potpuna integracija aktivnosti između dobavljača, kupaca, projektanata, proizvodnih inženjera, tehnologa, inženjera kontrole i kvaliteta, kao i marketing eksperata i ekonomista.



Slika 2.13 Konceptualni model simultanog inženjerstva za globalnu proizvodnju [19]

Karakteristike simultanog inženjerstva. U simultanom inženjerstvu funkcionalna odjeljenja kao što su projektovanje, proizvodnja i kvalitet integrisani su u kompatibilno okruženje. Integracija dolazi u vidu sažetih obezbeđenja informacija o poslovnim procesima u okviru preduzeća. Razmjena informacija u realnom vremenu omogućava timovima da projektantske modifikacije izvrše u samom početku razvojnog ciklusa proizvoda, čime se smanjuje neželjeno ponavljanje posla i izbjegavaju inženjerske promjene koje povećavaju troškove poslovanja, smanjuju kvalitet proizvoda i produžavaju vrijeme izlaska proizvoda na tržište. Simultani inženjerski pristup može se okarakterisati:

- *Integracijom razvojnih procesa, kao i logističkom podrškom,*
- *Usmjeravanjem pažnje na potrebe kupaca,*
- *Usvajanjem novih tehnologija,*

- *Kontinuiranim pregledom projekta i razvojnih procesa,*
- *Brzom i automatizovanom razmjenom informacija,*
- *Funkcionalnim timovima i*
- *Brzim razvojem prototipa proizvoda.*

Simultano inženjerstvo i informacione tehnologije. Brzi razvoj i primjena informacionih tehnologija omogućava memorisanje, čuvanje, obradu i korišćenje velikog broja različitih informacija. Promjenama se mora kontinualno upravljati u toku projektovanja, ažuriranja statusa, rješenja i njihovim efektima na trošove, isporuke i kvalitet proizvoda. Simultano inženjerstvo je koncept koji definiše kako organizovati i kako implementirati simultani tok materijala i informacija, te kako podržati i kontrolisati različite procese (donošenje odluka, projektovanje, nabavka) u fazi projektovanja i proizvodnje proizvoda. Praktično, principi i metode simultanog inženjeringa integrišu ove aktivnosti kroz informacione tehnologije (IT). Prema tome, informacione tehnologije predstavljaju okosnicu pristupa baziranog na SI. IT obezbeđuju povećanje produktivnosti i ukupno kraće vrijeme ciklusa razvoja proizvoda sa poboljšanim kvalitetom. U tabeli 2.1 dat je pregled dostupnih tehnologija u svrhu implementacije koncepta simultanog inženjerstva.

Tabela 2.1 Pregled dostupnih tehnologija u svrhu implementacije simultanog inženjerstva

Projektovanje	Planiranje/proizvodnja	Vizuelizacija/Simulacija
Zapreminsko modeliranje Površinsko modeliranje Modeliranje sklopova Projektovanje dijelova od lima Skiciranje Analiza tolerancija Projektovanje mehanizama Analiza MKE Kompleksno projektovanje Projektovanje livenja/brizganja Analiza livenja/brizganja Dinamička analiza Termička analiza Projektovanje kompozita Projektovanje cjevovoda Optimizacija Projektovanje alata Biblioteke standardnih dijelova	Projektovanje tehnoloških procesa ERP Generativna mašinska obrada Prikupljanje podataka iz pogona Praćenje poslova/narudžbi Rad na inovaciji procesa PDM, VPDM i PLM programski sistemi za: <ul style="list-style-type: none"> • EDM • žičani EDM • presovanje • brušenje • probijanje i prosjecanje 	Simulacija fabrike Programski sistemi za simulaciju: <ul style="list-style-type: none"> • Zavarivanja, • Livenja, • Plastičnog deformisanja, • Kovanja, • Brizganja plastike, • Robotskih operacija, • Mašinske obrade, • Brze izrade prototipa

Danas se projektovanje proizvoda izvodi korišćenjem širokog spektra međusobno povezanih ali ne i dovoljno integrisanih alata za podršku projektovanju. Veliki broj alata koji postoje na tržištu namijenjeni su specifičnim zahtevima pojedinih aktivnosti projektovanja. Proizvodni inženjeri danas imaju širok izbor programskih alata za realizaciju pojedinih faza razvoja proizvoda kroz upravljanje razvojnim ciklusom proizvoda. Još uvijek ne postoji koherentan pogled na strukturu aktivnosti projektovanja, kako bi se mogao obezbijediti brz protok zadovoljavajućih i verifikovanih projektnih rješenja. Simultano inženjerstvo zajedno sa računarom integrisanom proizvodnjom (*CIM – eng. Computer Intergrated Manufacturing*) na bazi integrisane platforme, ima za cilj da ukloni ove nedostatke. Na ovaj način simultano inženjerstvo pomaže da se kreira okruženje u kojem timovi proizvodnih inženjera mogu da razviju proizvode od početne ideje do prototipa i finalnog proizvoda.

Kao rezultat ovih zahtjeva, informacioni sistemi treba da integrišu različite inženjerske discipline i njihove alate za podršku, kao i da usmjeravaju konverziju trenutno usitnjenog

sekvencijalnog toka rada u simultani tok rada, sa većim stepenom paralelizma i skraćivanja vremena razvoja proizvoda.

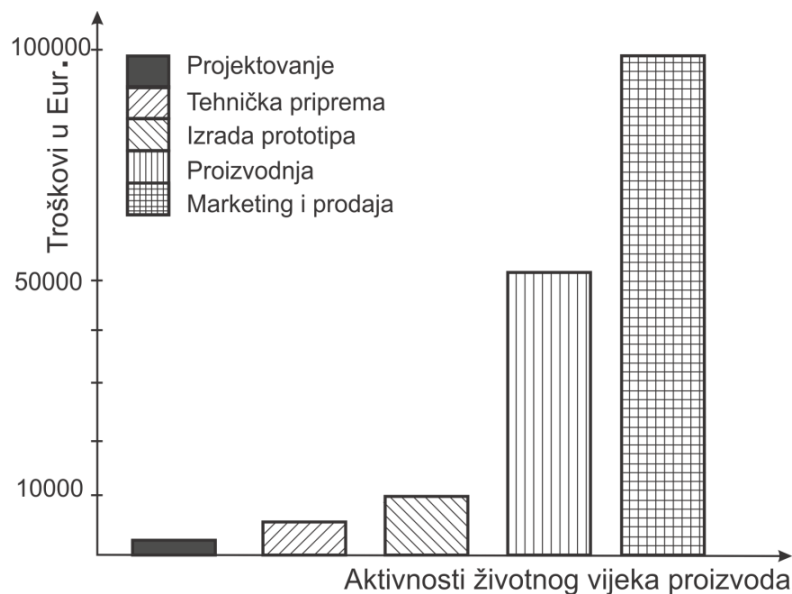
Trenutno, razni IT alati za realizaciju određenih aktivnosti simultanog inženjerstva mogu se podijeliti u sljedeće tehnološke grupe:

- Alati bazirani na znanju, proizvodni alata i komunikacioni alata,
- Sistemi za upravljanje relacionim bazama podataka,
- Alati za automatizacija toka rada i sistemi sa upravljanjem razvojnim ciklusom proizvoda,
- Sistemi za podršku odlučivanju i
- Sistemi za planiranje resursa preduzeća.

Prednost simultanog inženjerstva nad tradicionalnim sekvencijalnim inženjerstvom.

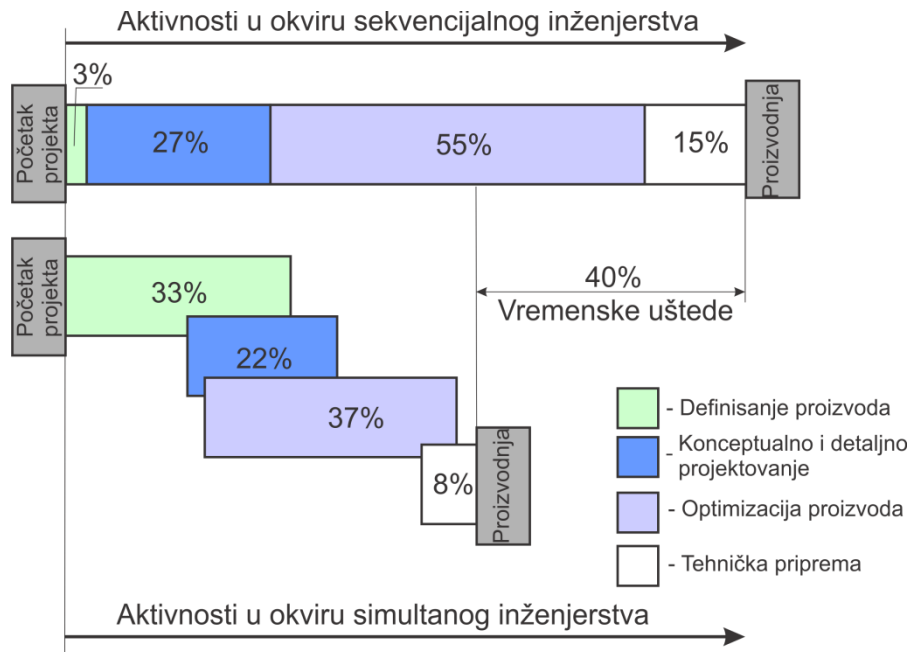
Prednost se ogleda u mogućnosti identifikacije i realizacije velikog broja izmjena, na samom početku ili u ranoj fazi razvojnog ciklusa proizvoda. Prema tome, smanjen je broj zahtjeva za izmjenama u kasnijim fazama procesa razvoja proizvoda. Sekvencijalnim inženjerstvom nedostaci i dodatni zahtjevi često se otkrivaju u kasnim fazama razvoja proizvoda, pa je njihova implementacija višestruko skuplja od implementacije u okviru simultanog inženjerstva. Simultano inženjerstvo u svim fazama razvojnog ciklusa proizvoda obezbjeđuje ranu dostupnost širokog spektra informacija koje omogućavaju efikasan, ciljno orijentisan razvoj proizvoda.

Kako razvoj proizvoda napreduje i evoluiru, od konceptualne faze do faze proizvodnje, troškovi implementacije promjene projekta proizvoda progresivno se povećavaju. Ukoliko promjena u konceptualnom 3D CAD modelu košta 100 €, ista promjena u fazi planiranja proizvodnje košta 1000 €. Ukoliko se izmjena zahtjeva u fazi izrade prototip proizvoda, troškovi se kreću oko 10000 €. Troškovi dosežu do 50 000 € ako proizvod uđe u fazu proizvodnje i pa čak i 100 000 \$ ili više ukoliko je preduzeće distribuiralo proizvod i otpočelo prodaju i marketing (slika 2.14). Troškovi zavise vrste proizvoda i grane industrije, ali cilj je da se ukaže na važnost ranog obezbjeđenja širokog spektra informacija i povratne sprege prilikom procesa projektovanja.



Slika 2.14 Troškovi izmjene na proizvodu u zavisnosti od faze implementacije izmjene

Iako simultano inženjerstvo ne mora nužno smanjiti količinu ljudskih resursa potrebnih za realizaciju projekta, ono drastično smanjuje vrijeme potrebno za razvoj, a time i vrijeme potrebno za izlazak proizvoda na tržište. Procjene vremenskih ušteda [26], koji se odnose na osnovne faze razvoja proizvoda, koje se ostvaruju simultanim inženjerstvom u odnosu na sekvencijalno inženjerstvo date su na slici 2.15.



Slika 2.15 Procjene vremenskih ušteda u zavisnosti od inženjerskog pristupa [26]

Prethodno izložene činjenice ukazuju da koncept simultanog inženjerstva predstavlja, sa jedne strane, okosnicu razvoja novih i unaprijeđenja postojećih proizvoda. Sa druge strane, proizvodna preduzeća implementacijom koncepta simultanog inženjerstva obezbjeđuju osnovni preduslov za povećanje konkurentnosti i opstanka na globalnom tržištu.

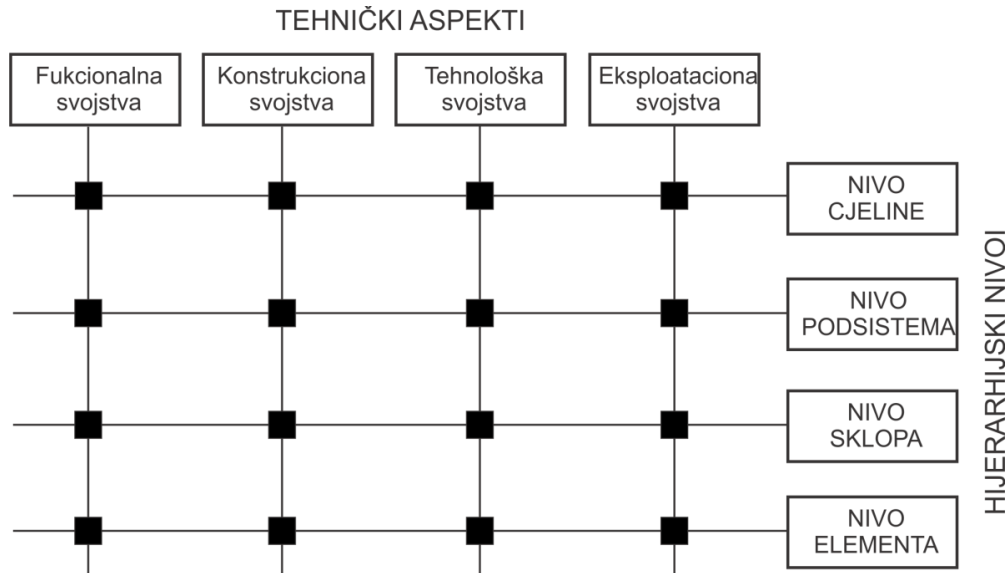
2.5 PROJEKTOVANJE PROIZVODA

Proces projektovanja proizvoda u širem smislu predstavlja proces traženja, analize i usvajanja kvalitetnog rješenja proizvoda, na bazi zahtjeva kupaca, koje se praktično može realizovati. Pri tome, takvo rješenje ili proizvod mora da zadovolji sve prethodno postavljene kriterijume (ekonomske, tehničke, estetske, vizuelne). U užem smislu, projektovanje predstavlja definisanje rješenja sa funkcionalnog, sadržajnog i konstrukcionog aspekta. Objekat projektovanja može biti proizvod, usluga ili proces.

Prilikom realizacije procesa projektovanja, neophodno je izvršiti analizu objekta projektovanja. Analiza objekta projektovanja vrši se prema tehničkim aspektima i hijerarhijskim nivoima, kao što je prikazano na slici 2.16. Tehnički aspekti definišu funkcionalna, konstrukciona, tehnološka i eksploataciona svojstva objekata. Funkcionalna svojstva definišu osnovnu funkciju proizvoda ili procesa rada, dok konstruktivna svojstva definišu sadržaj i formu objekta. Tehnološka svojstva definišu tehnološki značaj objekta, vrste procesa izrade, a eksploataciona svojstva definišu ponašanje objekta u procesu eksploatacije.

Složenost objekta projektovanja može biti veća ili manja. Otuda u okviru svakog tehničkog aspekta postoje hijerarhijski nivoi. Hijerarhijski nivoi mogu se podijeliti na nivo cjeline,

nivo funkcionalnog podsistema, nivo sklopa i nivo dijelova (elemenata). Broj hijerarhijskih nivoa, zavisi od stepena složenosti objekta projektovanja. U zavisnosti od širine hijerarhijskih nivoa, procesu projektovanja se pristupa po različitim osnovama, pri čemu ono može biti izvedeno metodama sinteze i analize. Danas se obje metode koriste u računarom podržanom projektovanju.



Slika 2.16 Struktura procesa projektovanja

2.5.1 Metode projektovanja

U tradicionalnom načinu projektovanja (bez upotrebe računara), metode sinteze koriste se selektivno, prema izgrađenom modelu znanja i uhodanom inženjerskom pristupu, dok se obje metode koriste prilikom projektovanja pomoću računara.

Metoda sinteze polazi od zadatih svojstava, funkcije, nazivnih parametara (definisanih projektnim ili istraživačkim zadatkom), a kao rezultat završnih aktivnosti generiše se geometrija i konstrukciona dokumentacija. U svrhu rada sa realnim geometrijskim veličinama, metode sinteze koriste, na svakom hijerarhijskom nivou, prethodno postavljeni opis problema projektovanja. Opis problema projektovanja generisan je iz ograničenja definisanih na početnim hijerarhijskim nivoima.

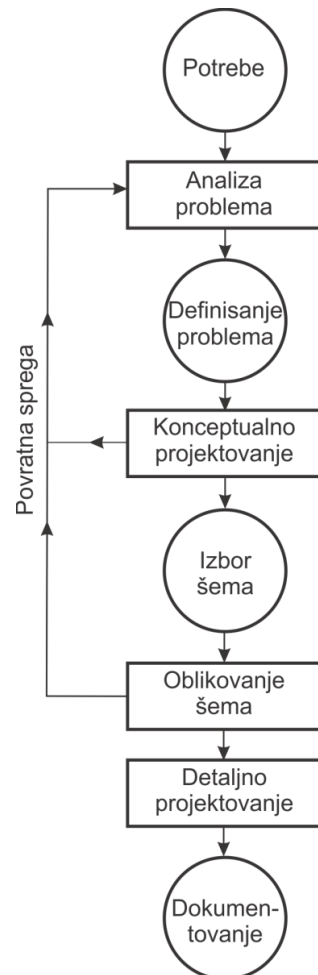
Metoda analize polazi od prethodno pretpostavljene geometrije objekta i koriste ovu pretpostavku u svrhu analize po različitim osnovama (aspektima) i na različitim hijerarhijskim nivoima. Na ovaj način verifikuje se početni geometrijski opis objekta. Uvođenjem novih ograničenja i kriterijuma, proces projektovanja pomoću metode analize se nastavlja sve do generisanja validnog rješenja.

Proces projektovanja proizvoda je aktivnost koja se ne može opisati na jednostavan način i eksplicitno definisati. To je aktivnost koju je teško formalizovati i matematički modelirati, bez jasnih pravila i krutih smjernica, najčešće baziranih na iskustvu projektanta. U dosadašnjim istraživanjima postoji mnogo pokušaja da se sačini model, obrazac ili algoritam toka projektovanja. Razvijeni modeli toka projektovanja mogu se uopšteno podijeliti na deskriptivne i perskriptivne modele. Kvalitet procesa projektovanja, bilo da se pokorava deskriptivnom i perskriptivnom modelu, mora biti na najvišem nivou, jer u suprotnom dolazi

do kašnjenja, nepotrebnih rashoda ili, čak, do potpunog neuspeha projektovanja. Primjena računara u svim faza procesa projektovanja već je značajno smanjila projektantske napore i mogućnosti generisanja grešaka. U budućnosti, integracija postojećih i razvoj novih tehnologija sve više će uticati na podizanje kvaliteta projektantskih rješenja, smanjenje vremena razvoja i projektovanja proizvoda, te mogućnost pojave greške svesti na minimum.

2.5.2 Modeli projektovanja proizvoda

Deskriptivni modeli procesa projektovanja baziraju se na identifikaciji značaja generisanja koncepta rješenja u ranoj fazi procesa projektovanja. Na ovaj način, deskriptivni modeli se fokusiraju na ljudskoj prirodi razmišljanja za projektovanje. U okviru deskriptivnih modela, konceptualna rješenja nastala procesom projektovanja, podvrgavaju se analizi, evaluaciji, poboljšanju i daljem razvoju. Ponekad, faza analize i procjene konceptata pokaže da rješenje mora biti napušteno, i u tom slučaju, ciklus projektovanja ponovo počinje i generiše se novo konceptualno rješenje. French [27] je razvio deskriptivni model procesa projektovanja, prikazan na slici 2.17, koji se sastoji od aktivnosti kao što su: analiza problema, konceptualno projektovanje, principi oblikovanja i detaljnog projektovanja. U prijedloženom dijagramu toka modela, pravougaonici predstavljaju aktivnosti projektovanja a krugovi rezultate izvršenih aktivnosti.



Slika 2.17 French-ov model procesa projektovanja [27]

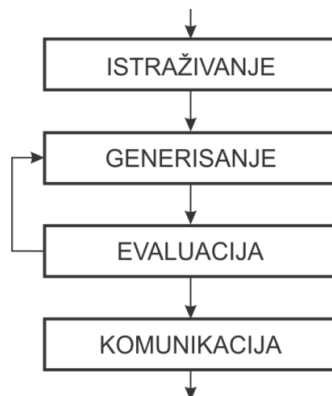
French-ov model procesa projektovanja počinje identifikacijom potreba za projektovanjem. Prva projektantska aktivnost u okviru ovog modela je analiza problema. French sugeriše da je

analiza problema mali, ali važan dio cjelokupnog procesa projektovanja. Izlaz iz ove aktivnosti predstavlja identifikaciju problema koja se sastoji od tri elementa:

- *Identifikacija adekvatno/pravilno definisanog projektantskog problema,*
- *Identifikacija ograničenja koja su postavljena za rješenje, npr. kodeksi prakse, zakonom propisani uslovi, standardi kupaca, datum završetka i*
- *Identifikacija kriterijuma izvrsnosti.*

Ova tri elementa odgovaraju ciljevima, ograničenjima i kriterijumima projektnog zadatka. U okviru konceptualnog projektovanja ili generisanja idejnog rješenja, razmatra se identifikovani problem i generiše se širok spektar rješenja. Konceptualno projektovanje je faza u kojoj inženjerske nauke, praktično znanje, metode proizvodnje i komercijalni aspekti treba da budu zajedno analizirani, vrjednovani i implementirani u vidu idejnih rješenja. Naredna faza u okviru French-ovog modela predstavlja principi oblikovanja. U ovoj fazi idejna rješenja se detaljno razrađuju i ako postoji više od jednog rješenja, vrši se konačni izbor jednog od njih. Krajnji izlaz iz ove faze predstavlja skup crteža glavnih sklopova. U ovoj fazi potrebno je uspostaviti što više povratnih sprega prema fazi konceptualnog projektovanja. Detaljno projektovanje predstavlja poslijednju fazu French-ovog modela projektovanja. U fazi detaljnog projektovanja odlučuje se o velikom broju malih, ali značajnih stavki projektantskog rješenja. Detaljnim projektovanjem vrši se razrada svih sklopova, detaljno definisanje dijelova, definisanje materijala, pakovanja, transporta i komercijalnih uslova.

Cross [28] definiše opisni model procesa projektovanja koji se sastoji od četiri osnovne faze (slika 2.18.). Četiri osnovne faze procesa projektovanja, nastale na bazi aktivnosti koje obavlja projektant, su: istraživanje, generisanje, evaluacija i komunikacija. Projektant u fazi istraživanja definiše problem i prostor rješenja, iz kojeg generiše skup konceptualnih rješenja za postavljeni problem projektovanja. U fazi evaluacije, u okviru Cross-ovog modela, projektant vrši ocjenu i verifikaciju konceptualnih rješenja iz prethodne faze.



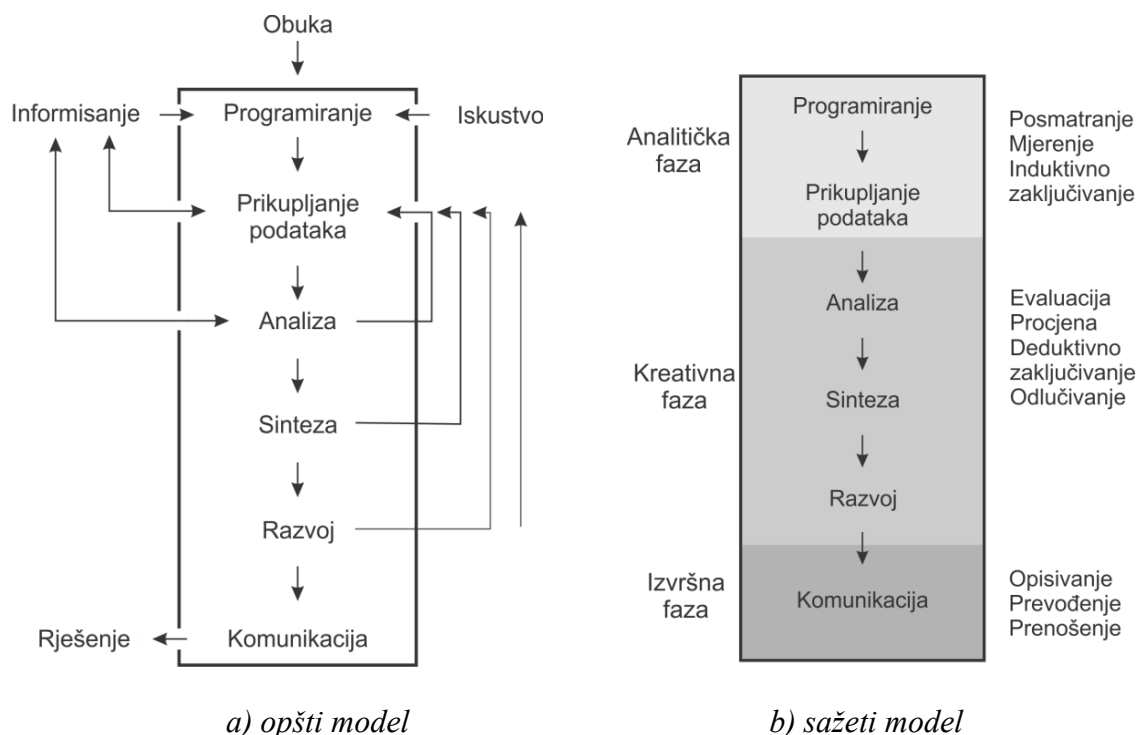
Slika 2.18 Cross-ov model procesa projektovanja [28]

Iterativna povratna sprega uspostavljena je pod pretpostavkom da faza procjene ne vodi uvijek direktno u fazu komunikacije sa konačnim projektom. Ponekad je potrebno izabrati novo konceptualno rješenje i ponovo izvršiti procjenu novog rješenja. Ukoliko ocjena i verifikacija rješenja zadovoljava postavljena ograničenja i uslove, projektno rješenje prelazi u narednu fazu koju Cross naziva faza komunikacije. U fazi komunikacije odvijaju se neophodne aktivnosti procesa projektovanja proizvoda sve do faze „spreman za proizvodnju“.

Perskriptivni modeli procesa projektovanja oslonjeni su na heurističku analizu toka procesa projektovanja. Cilj autora ovih modela bilo je ekzaktno modeliranje i identifikacija svih faza procesa projektovanja. Ovi modeli su se bavili pokušajima da ubijede ili podstaknu projektante da slijede tačno propisane korake i način rada pri procesu projektovanja. Ovi modeli nude algoritamsku, sistemsku proceduru koju treba slijediti, a često se smatra da pružaju određenu metodologiju procesa projektovanja. Mnogi perskriptivni modeli naglašavaju potrebu za više analitičkim radom, koji prethodi stvaranju koncepta rešenja. Ovi modeli omogućavaju da se identifikuje pravi problem, da se taj problem projektovanja u potpunosti razumije i da nijedan njegov važan element ne bude izostavljen. Ovi modeli imaju tendenciju da sugerišu rješenje na osnovnu strukture procesa projektovanja tj. na osnovu procesa analize-sinteze-evaluacije. Ovi stadijumi su definisani od strane Jones-a [29] koji definiše u svom perskriptivnom modelu procese analize-sinteze-evaluacije kao:

- *Proces analize predstavlja smanjenje projektantskih zahtjeva iz liste ukupnih projektantskih zahteva u svrhu definisanja skupa logično zavisnih performansnih specifikacija,*
- *Proces sinteze predstavlja pronalaženje mogućih rješenja za svaku pojedinačnu performansnu specifikaciju i kreiranje cjelokupnog projekata, sa što manjim kompromisom i*
- *Proces evaluacije predstavlja ocjenu tačnosti sa kojom alternativni projekti ispunjavaju performansne zahtjeve za vršenje rada, proizvodnje i prodaje, prije nego što završni projekat bude izabran.*

Detaljniji perskriptivni model razvio je Archer [30] (slika 2.19.). U okviru ovog modela Archer uključuje i interakciju sa okolinom izvan samog procesa projektovanja, kao što su zahtjevi klijenta, obuke i iskustva projekatanta. Različiti ulazi i izlazi prikazani su u dijagramu toka, kao spoljni uticaji na proces projektovanja.



Slika 2.19 Archer-ov model procesa projektovanja [30]

U procesu projektovanja, Archer identifikuje šest vrsta aktivnosti:

- *Aktivnost programiranja, u kojoj se identifikuju ključna pitanja i prijedlaže pravac djelovanja,*
- *Aktivnost prikupljanja podataka u kojoj se podaci prikupljaju, klasifikuju i čuvaju,*
- *Aktivnost analize u kojoj se identifikuju sub-problemi, pripremaju projektantske specifikacije, preispituje prijedloženi program i vrši procjena,*
- *Aktivnost sinteze u kojoj se vrši priprema okvirnog prijedloga projekta,*
- *Aktivnost razvoja u kojoj se vrši razvoj prototipa projekta, priprema i vrši validacija studije i*
- *Aktivnost komunikacije u kojoj se generiše proizvodna dokumentacija.*

Archer sažeto dijeli ovaj proces u tri šire faze: analitičku, kreativnu i izvršnu (slika 2.19b). Analitička faza, sa kojom sve počinje, zahtijeva posmatranje cilja i induktivno rezonovanje, dok osnova kreativne faze zahtijeva angažovanje, subjektivne procjene i deduktivno rezonovanje. Kada se donesu ključne odluke, proces projektovanja se nastavlja preko izvršne faze, odnosno izrade radioničkih crteža, planova i programa.

Pahl i Beitz [31] daju sveobuhvatan model procesa projektovanja koji se zasniva na slijedećim fazama projektovanja (slika 2.20):

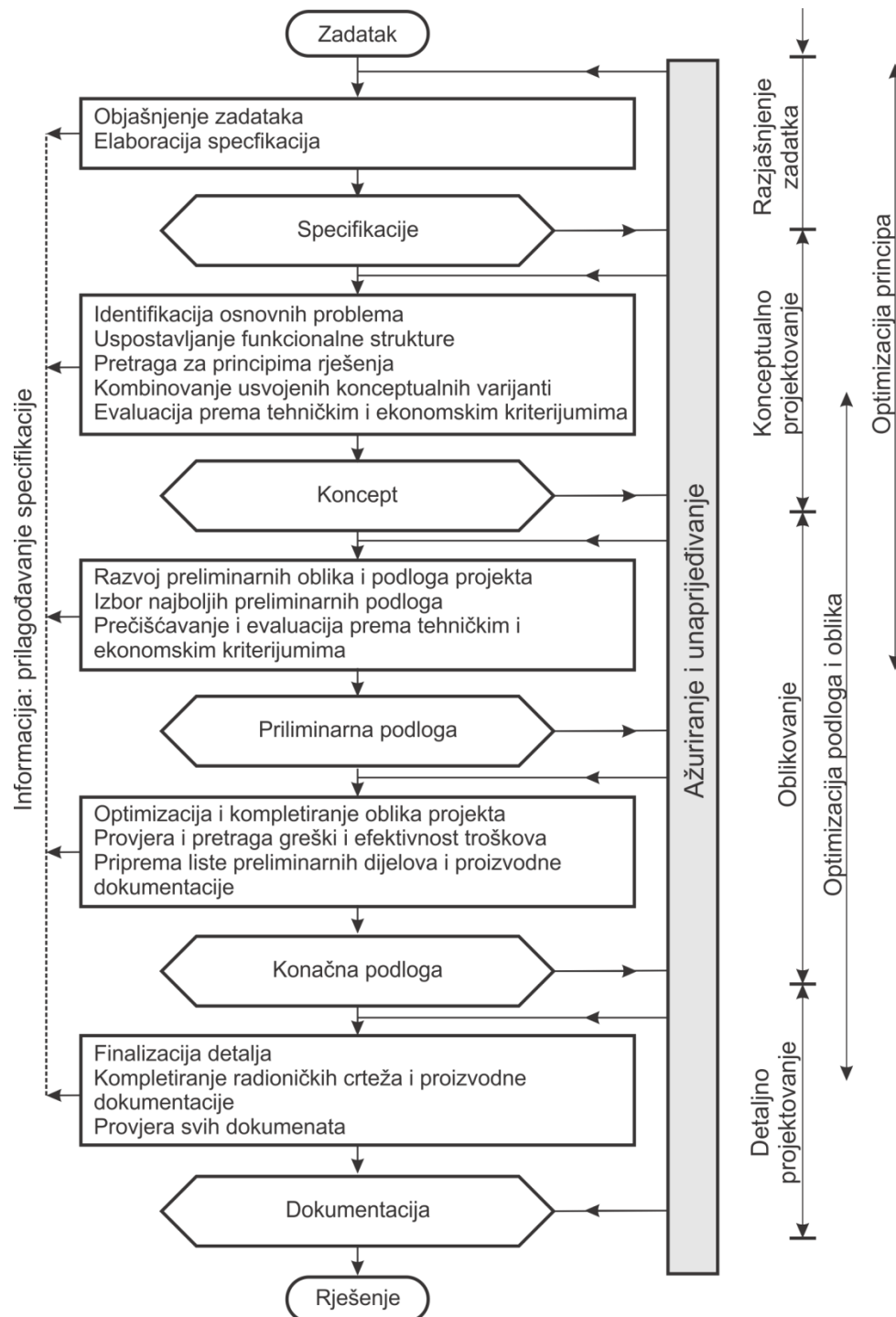
- *Faza definisanja zadatka u kojoj se prikupljaju informacije o zahtjevima koji treba da budu sadržani u rješenju i o ograničenjima,*
- *Faza konceptualnog projektovanja gdje se uspostavlja funkcija strukture, vrši potraga za odgovarajućim principima rješenja i kombinovanje u konceptualne varijante,*
- *Faza projektovanja oblikovanjem, u kojoj počevši od koncepta, projektant određuje raspored i oblike, te razvija tehnički proizvod ili sistem u skladu sa tehničkim i ekonomskim razmatranjima i*
- *Faza detaljnog projektovanja gdje se definiše sklop, forma, dimenzije i osobine svih pojedinačnih dijelova, definišu materijali, provjerava tehnička i ekonomska izvodljivost rješenja, izrađuju svi crteži i ostala proizvodna dokumentacija.*

Značajan rad na perskriptivnim modelima i drugim aspektima racionalizacije procesa projektovanja učinjen je u Nemačkoj. Društvo profesionalnih inženjera „VDI – njem. Verein Deutscher Ingenieure“, generisalo je veliki broj VDI smjernica u ovoj oblasti, uključujući VDI 2221: Sistemski pristup projektovanju tehničkih sistema i proizvoda [32]. Ova smjernica, koja se odnosi na sistematski pristup po kojem je "proces projektovanja, kao dio stvaranja proizvoda, podijeljena je na opšte faze rada, čineći pristup projektovanju transparentnim, racionalnim i nezavisnim od specifične grane industrije".

Struktura ovog opšteg pristupa projektovanju prikazana je na slici 2.21, a zasniva se na sedam faza, svaka sa određenim izlazom. Izlaz iz prve faze, faze specifikacija, smatra se posebno značajnim i kontinualno se razmatra, ažurira i koristi kao referenca u svim narednim fazama. Druga faza procesa sastoji se od utvrđivanja i definisanja potrebne funkcije projektovanja. U trećoj fazi vrši se pretraga principa rješenja za svaku pod-funkciju, koje se kasnije kombinuju u saglasnosti sa ukupnom strukturom funkcije glavnog rješenja. Ovaj proces je razložen u okviru četvrte faze na ostvarive module i module strukture. Ovi moduli predstavljaju osnovne sklopove, kao razložena rješenja. Ključni moduli se razvijaju u petoj fazi, kao niz preliminarnih projektantskih podloga i rješenja. U okviru šeste faze vrši se analiza i

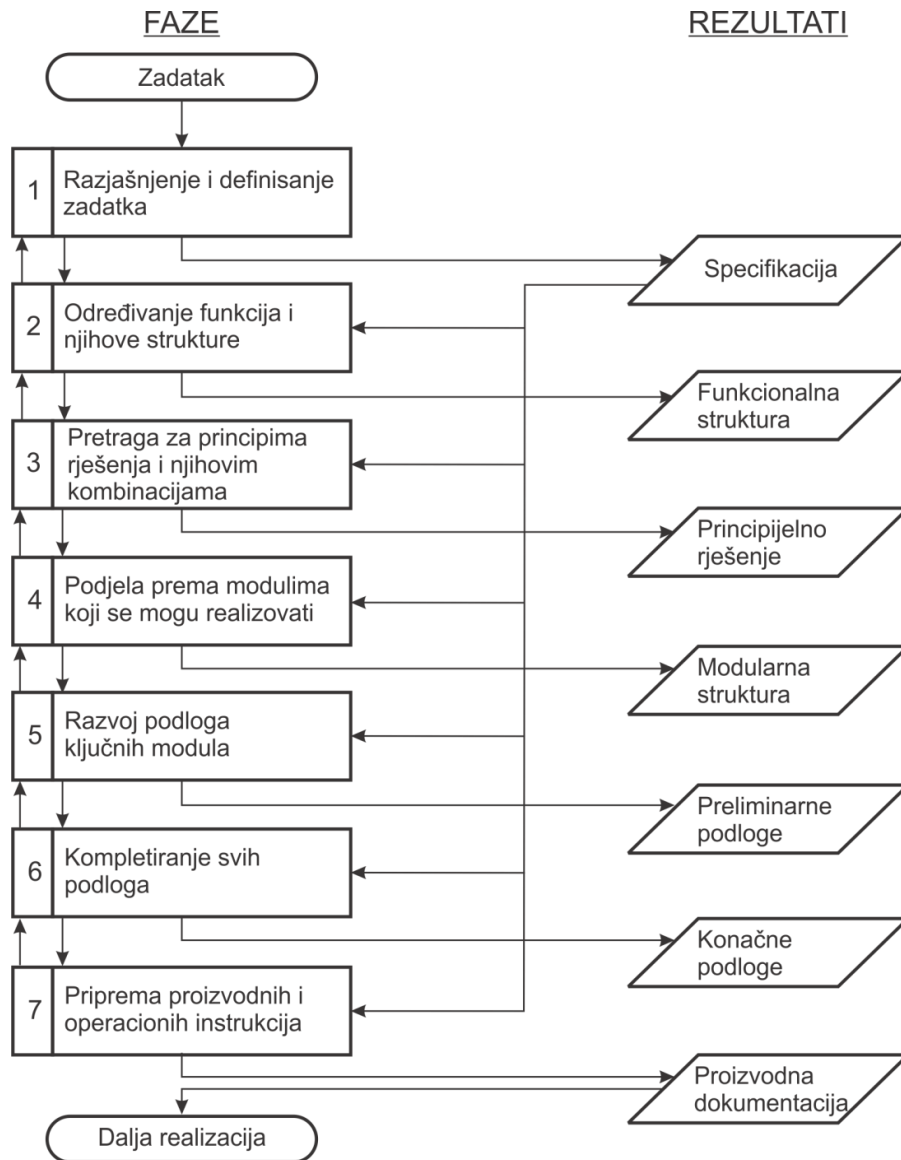
unaprjeđenje preliminarne projektantskih podloga i rješenja, u cilju generisanja konačnih projektantskih rješenja. Proizvodna dokumentacija generiše se u sedmoj fazi modela projektovanja prema VDI 2221.

Prema VDI 2221, u svakoj fazi potrebno je analizirati i vrjednovati nekoliko varijantnih rješenja. Važno je napomenuti da se prema VDI 2221 faze ne moraju izvoditi kruto jedna za drugom. One se često realizuju korak po korak, povratkom na prethodnu, čime se postiže optimizacija korak-po-korak.



Slika 2.20 Pahl i Beitz-ov model procesa projektovanja [31]

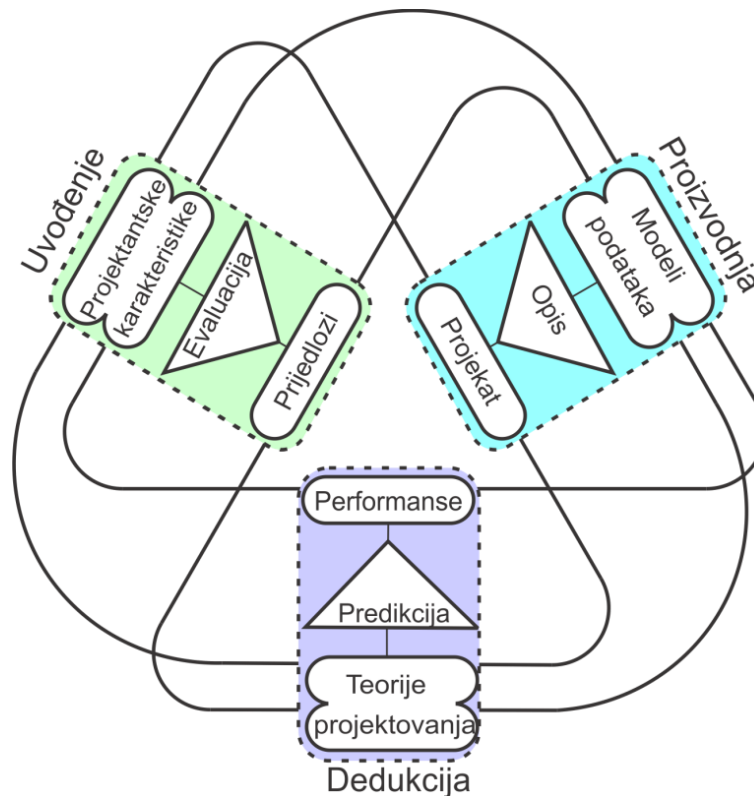
VDI smjernica slijedi opšti sistemski postupak koji se sastoji prvo od analize i razumijevanja problema u najvećoj mogućoj mjeri, zatim razbijanja problema u sub-probleme, pronalaženje odgovarajućih rješenja i njihovog kombinovanja u cjelokupno rješenje. Postupak projektovanja prema VDI 2221 je kritikovan u svijetu projektovanja, jer se čini da se zasniva na pristupu koji fokusira problem, a ne rješenje. Stoga je u suprotnosti sa tradicionalnim načinima razmišljanja projekatnata.



Slika 2.21 Model procesa projektovanja prema VDI 2221 [32]

Radikalniji model procesa projektovanja (slika 2.22), koji prepoznaje fokus na projektantsku prirodu razmišljanja prema rješenju projekta, predložen je od strane March-a [33]. March tvrdi da se dva konvencionalna oblika razmišljanja, induktivno i deduktivno, logično primjenjuju na evaluacione i analitičke vrste aktivnosti projektovanja. Vrsta aktivnosti koja je najviše i specifično povezana sa projektovanjem jeste sinteza, za koju ne postoji opšte priznat oblik rezonovanja. March je ispitivao proces sinteze preko koncepta nagađanja, odnosno pretpostavljanja, i tom procesu dodijelio naziv produktivno rezonovanje. March-ov model za racionalni proces projektovanja nazvan je PDI model (proizvodnja - dedukcija - indukcija).

Prema PDI modelu prva faza, produktivno rezonovanje, oslanja se na preliminarne zahtjeve i pretpostavke o tipovima rješenja, kako bi se generisao ili opisao prijedlog projekta. Iz ovog prijedloga i uspostavljenih teorija moguće je izvršiti deduktivnu analizu, ili predvidjeti performanse projekta. Iz predviđenih karakteristika performansi moguće je induktivno procijeniti dalje pretpostavke ili mogućnosti, što dovodi do promjene i poboljšanja prijedloga projekta.



Slika 2.22 March-ov model procesa projektovanja [33]

2.6 ARHITEKTURE PROIZVODA

Arhitekturu proizvoda čini skup osnovnih elemenata i njihovih odnosa koji definišu proizvod [34], [35]. Osnovne elemente arhitekture proizvoda čine sastavne jedinice proizvoda i pravila koja definišu načine njihovih povezivanja u jednu cjelinu, odnosno proizvod. Svrha uspostavljanja arhitekture proizvoda je:

- *Definisanje, opis i funkcija osnovnih elemenata proizvoda i*
- *Definisanje načina povezivanja ostalih elemenata sa osnovnim elementima proizvoda.*

Arhitektura proizvoda omogućava da različiti projektantski timovi, na simultan način, razvijaju, projektuju, testiraju i vrše izradu osnovnih elemenata proizvoda.

Arhitektura proizvoda razmatra se u ranim fazama projektovanja proizvoda i to pri:

- *Planiranju, kada se donosi odluka da li će se proizvod bazirati na već postojećoj platformi ili će se razvijati nova platforma,*
- *Razvoju proizvoda u fazi generisanja konceptualnih rješenja i*
- *Projektovanju na nivou sklopova, gdje se vrši dekompozicija sklopova na podsklopove i dijelove.*

2.6.1 Vrste arhitekture proizvoda

U zavisnosti od definisanja i pridruživanja funkcija određenim komponentama proizvoda, Ulrich [36] razlikuje dvije vrste arhitekture proizvoda:

- *Integralnu i*
- *Modularnu arhitekturu.*

Osnovna karakteristika modularne arhitekture je da su jedna ili više određenih funkcija proizvoda sadržane u jednom modulu, dok je kod integralne arhitekture jedna funkcija proizvoda sadržana u više elemenata proizvoda. U tabeli 2.2 prikazana je podjela arhitektura proizvoda prema međuzavisnosti broja funkcija i broja elemenata koje sadrže te funkcije [37]. U zavisnosti od postavljenih zahtjeva prilikom razvoja familije proizvoda koriste se modularna ili integralna arhitektura proizvoda. Ukoliko se želi ostvariti fleksibilnost i raznovrsnost proizvoda koristi se modularna arhitektura, dok se za postizanje stabilnosti i optimizacije proizvoda upotrebljava integralna arhitektura proizvoda.

Tabela 2.2 Arhitekture proizvoda prema međuzavisnosti broja funkcija i broja elemenata

Odnos	Međuzavisnost broja funkcija i broja elemenata	Vrsta arhitekture
$1 : 1$	Jedna funkcija sadržana u jednom elementu	<i>Modularna arhitektura</i>
$1 : N$	Jedna funkcija sadržana u više elemenata	<i>Integralna arhitektura</i>
$N : 1$	Više funkcija sadržano u jednom elementu	<i>Modularna arhitektura</i>
$N : M$	Više funkcija sadržano u više elemenata	<i>Integralna arhitektura</i>

Podjela arhitekture proizvoda, na integralnu i modularnu, može se posmatrati i sa aspekta projektovanja proizvoda. Prema tome može se govoriti o pristupu projektovanja proizvoda na bazi integralne i modularne arhitekture.

2.6.2 Pristup projektovanju proizvoda na bazi integralne arhitekture

Osnovna karakteristika pristupa projektovanja proizvoda na bazi integralne arhitekture podrazumijeva da je većina funkcija proizvoda sadržana u više fizičkih elemenata proizvoda. Pri ovakvom pristupu projektovanju pojedini elementi dijele funkcije proizvoda. Posljedica ovog pristupa projektovanja je da promjene na jednom elementu utiču na promjene drugih, a vrlo često i na promjene svih elemenata. Pristup projektovanju proizvoda na bazi integralne arhitekture primjenjuje se na proizvode:

- *Koji imaju najčešće samo jednu funkciju,*
- *Čija varijantnost nije bazirana na funkcionalnim karakteristikama,*
- *Koji se izrađuju u relativno visokim količinama i*
- *Koji nemaju mogućnost nadogradnje ili izmjene funkcija.*

Uspostavljanje varijantnosti proizvoda u okviru familija proizvoda, kod projektovanja proizvoda na bazi integralne arhitekture, omogućeno je preko varijantnosti jednog ili više sastavnih elemenata proizvoda. Varijantnost proizvoda definisana na ovakav način obezbjeđuje varijante proizvoda sa različitim geometrijskim (i/ili fizičkim) karakteristikama. Takvi proizvodi mogu se defisati kao proizvodi širokog spektra upotrebe koji zadovoljavaju

istu funkciju, koji su bazirani na istom principu, koji su izrađeni u različitim veličinama i proizvedeni istim proizvodnim procesima [38]. Pri razvoju i projektovanju varijantnih proizvoda generisanje promjenljivih geometrijskih veličina vrši se na principima proporcijalnosti i sličnosti proizvoda.

Ukoliko se u okviru pristupa projektovanju proizvoda na bazi integralne arhitekture ne omogući varijantnost jednog ili više sastavnih elemenata proizvoda, bez mogućnosti kreiranja varijantnih ili sličnih rješenja, tada se govori o jednom/jedinstvenom tipu proizvoda.

2.6.3 Pristup projektovanju proizvoda na bazi modularne arhitekture

Osnovna karakteristika pristupa projektovanju proizvoda na bazi modularne arhitekture podrazumijeva povezivanje jedne ili više funkcija proizvoda sa jednim elementom u hijerarhijskoj strukturi komponenti proizvoda (dio-podsklop-sklop). U okviru projektovanja proizvoda na bazi modularne arhitekture, proizvod je podijeljen na module kojima je moguće promijeniti geometrijske veličine ili funkcije u cilju dobijanja različitih varijanti proizvoda.

Moduli se najčešće opisuju kao grupa funkcionalno ili strukturalno nezavisnih komponenti, čije međudjelovanje je pretežno usmjereno unutar svakog modula, a djelovanje između modula svedeno je na minimum. Moduli ne mogu biti potpuno nezavisni u odnosu na druge module i moraju se definisati zajedno sa proizvodom kojem pripadaju. Pojedini moduli mogu biti sastavni dio svih varijanti proizvoda ili se mogu pojavljivati samo u nekim varijantama određene familije proizvoda.

Klasifikacija modula na osnovu njihove uloge u varijantama proizvoda unutar familije proizvoda, predložena od Pahl i Beitz [31], obuhvata:

- *Osnovne module - moduli koji su zajednički u svim varijantama proizvoda,*
- *Izborne module - moduli koji se definišu zahtjevima kupaca i koji utiču na različitost varijanti proizvoda,*
- *Dodatne module ili moduli za spajanje – moduli čije postojanje je uslovljeno drugim modulima, kako bi oni mogli u potpunosti ispuniti svoju funkciju i*
- *Specijalne module – moduli koji su prilagođeni ili izrađeni prema individualnim zahtjevima kupaca.*

Prednosti pristupa projektovanju i proizvodnje proizvoda na bazi modularne arhitekture su [39]:

- *Niže cijene varijantnih proizvoda, jer se moduli proizvode u većim količinama od varijantnih proizvoda,*
- *Mogućnost nadogradnje i proširenja funkcionalnosti proizvoda preko zamjene, dodavanja ili oduzimanja određenih modula proizvoda,*
- *Povećanje varijantnosti proizvoda preko kombinacije različitih modula;*
- *Skraćenje procesa proizvodnje i vremena izlaska na tržište, jer se prilikom realizacije proizvoda koriste već razvijeni (izrađeni) moduli i*
- *Jednostavnost procesa održavanja jer je proizvod sastavljen od modula, koji omogućavaju lakšu demontažu, popravku i zamjenu.*

2.7 MODEL I MODELIRANJE PROIZVODA

Model proizvoda nastao je iz potrebe sagledavanja fizičkih, funkcionalnih i estetskih karakteristika proizvoda. Model proizvoda se često interpretira kao fizički i virtuelni model.

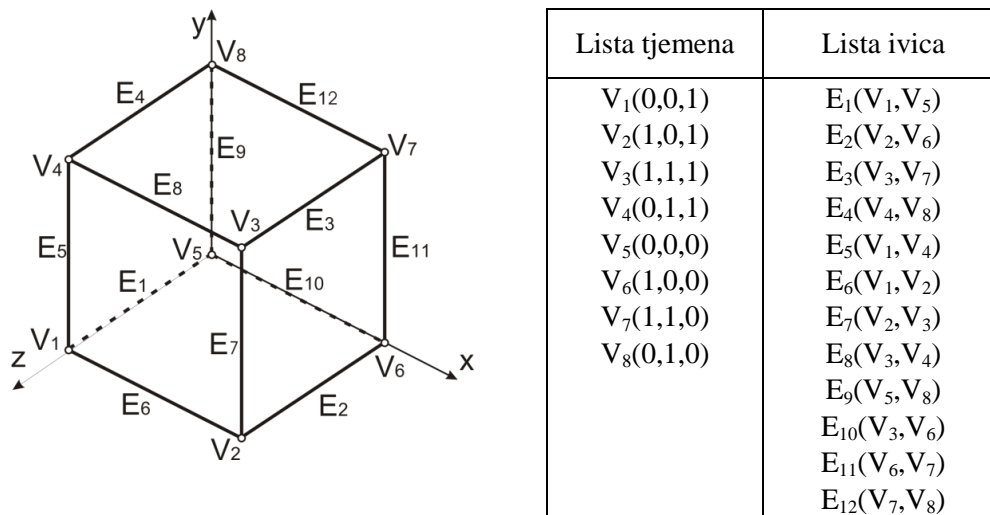
Fizički model proizvoda nastao je iz potrebe sagledavanja opipljivih, realnih i fizičkih karakteristika proizvoda. Danas je ovaj model proizvoda izgubio na značaju, ali se i dalje izrađuje za proizvode kompleksne geometrije koji uglavnom pripadaju automobilske i avio industriji. Razvojem i implementacijom informacionih tehnologija virtuelni model proizvoda nametnuo se kao najznačajniji oblik prezentacije proizvoda u gotovo svim fazama razvoja proizvoda. Virtuelni model proizvoda predstavlja računarsku prezentaciju realnog proizvoda ili procesa vezanog za proizvod.

Proces kreiranja modela proizvoda kroz definisanje njegovih geometrijskih, dimenzionih, topoloških, inženjerskih, tehnoloških i proizvodnih karakteristika naziva se modeliranje proizvoda. Modeliranje inženjerskih proizvoda u okviru proizvodnih preduzeća vrši se pomoću CAD programskih sistema. Postoje tri nivoa ili tipa modeliranja:

- *Linijsko modeliranje (eng. wireframe modeling),*
- *Površinsko modeliranje (eng. surface modeling) i*
- *Zapreminsko modeliranje (eng. solid modeling).*

2.7.1 Linijsko modeliranje

Primjenom linijskog modeliranja geometrijski model proizvoda (dijela) opisuje se karakterističnim tačkama (tjemenima) i konturnim linijama (ivicama) objekta. Model dobijen na ovakav način poznat je kao linijski model, a način njegovog predstavljanja naziva se linijska prezentacija. Interni linijski model sadrži koordinate tačaka i podatke o tome koji parovi tačaka grade pojedine ivice. Prva grupa informacija naziva se geometrijskim, a druga topološkim informacijama. Na slici 2.23 prikazan je linijski model kocke sa geometrijskim i topološkim informacijama.

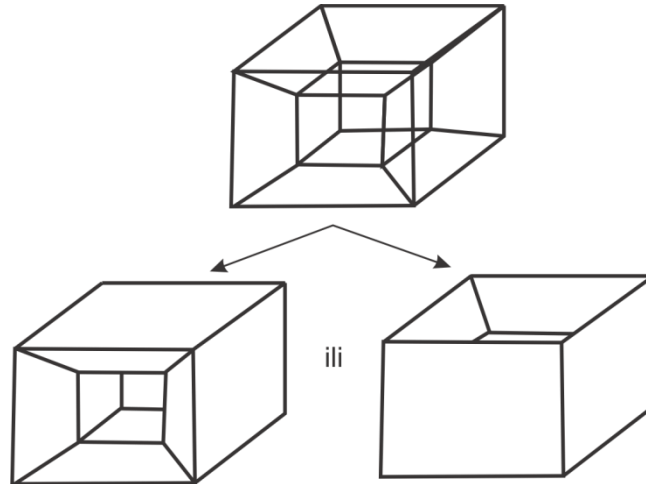


Slika 2.23 Interni linijski model proizvoda

Prednost ove vrste modeliranja je u jednostavnom i brzom dobijanju proizvoljnih projekcija objekta, odnosno vizuelizaciji objekta. Ortogonalne, izometrijske ili perspektivne projekcije modela proizvoda računar generiše na veoma jednostavan i brz način.

Linijski model proizvoda (dijela) sastoji se od nekoordinisanog skupa ivica, što može uzrokovati teškoće prilikom otklanjanja ivica koje su zaklonjene drugim površinama. Razlog

ove pojave odnosi se na numeričke podatke koji ne sadrže informaciju koja pridružuje ivice njihovim površinama. Rezultat ovog nedostatka ogleda se u činjenici da se isti linijski model može predstavljati različita tijela (slika 2.24).



Slika 2.24 Nejednoznačan linijski model

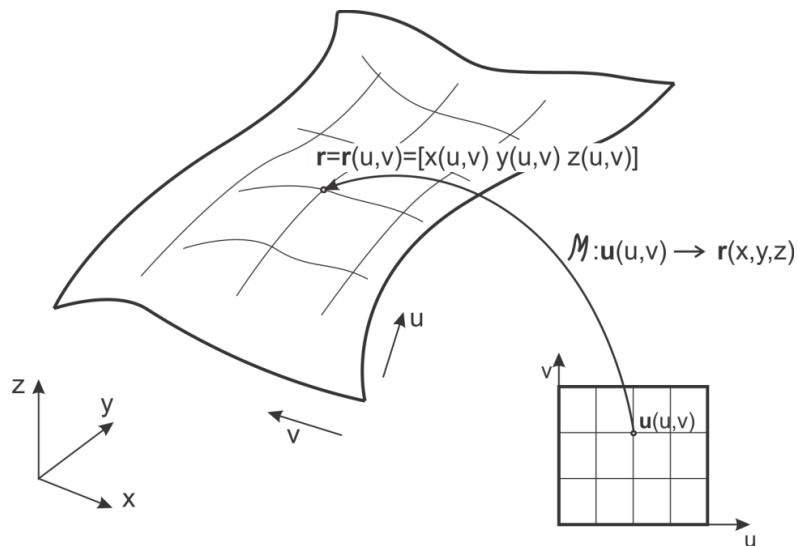
2.7.2 Površinsko modeliranje

Površinski model, kao rezultat površinskog modeliranja, sadrži informacije o površima koje okružuju taj model. Za potpuno definisanje ovih informacija potrebno je poznavati jednačinu površi i njenu orijentaciju. Orijetacija površi ukazuje na informaciju sa koje strane površine se nalazi materijal objekta. Orijetacija se definiše izborom jednog od dva smijera vektora normale na površ, a najčešće je to onaj smijer koji je usmjeren od objekta prema okolini. Površni mogu biti opisane različitim matematičkim oblicima: eksplicitnim, implicitnim i parametarskim.

Eksplicitni oblik, $x=x(y,z)$ ili $y=y(x,z)$ ili $z=z(x,y)$, može se koristiti samo za površi sa jednostrukim vrijednostima i pod uslovom da nemaju velike vrijednosti izvoda po nekoj od promjenljivih.

Implicitni oblik $F(x,y,z)=0$, je više zastupljen u CAD sistemima zahvaljujući klasičnoj algebri koja je dala dobar opis prirodnih površi (ravan, cilindar, lopta i konus). Za ovaj oblik postoje dobro razvijene metode za izračunavanje diferencijalnih karakteristika površi i geometrijskih problema (prodori, presjeci). Implicitni oblik površi našao je značajnu primjenu u CAD/CAM sistemima.

Parametarski oblik površi je najzastupljeniji u CAD modelerima, jer omogućava jednostavno definisanje, kako prirodnih površi, tako i složenih i slobodnih površi. Parametarski opis površi je vektorska funkcija dva skalarna argumenta, parametra u i v , koji tačku iz ravni preslikava u 3D Kartezijevu tačku (slika 2.25). Prednosti ovog zapisa površi ogledaju se u jednostavnom izračunavanju tačaka i izoparametarskih linija površi, u eliminisanju problema sa višestrukim vrijednostima i velikim gradijentima u odnosu na neku ravan [40].



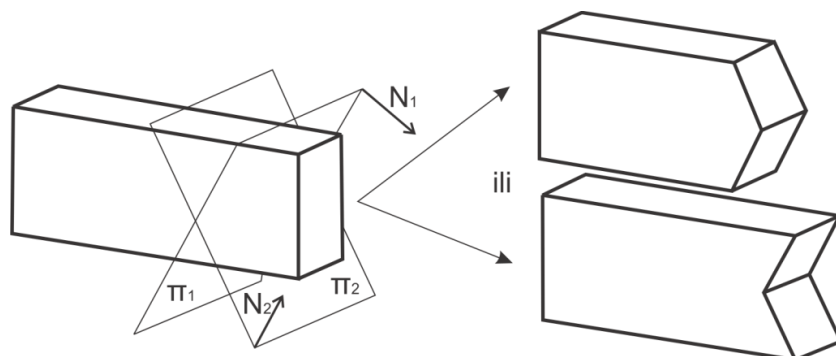
Slika 2.25 Parametarski opis površi [40]

Prednosti površinskog modeliranja u odnosu na druge metode modeliranja su:

- *Veća sloboda u definisanju oblika površi,*
- *Jednostavno generisanje presječnih krivih ili vrijednosti površina nekog dijela površi pomoću računara i*
- *Informacije se mogu prenijeti ne samo na monitor računara nego i na ploter, program za generisanje mreže konačnih elementa ili NUMA.*

Iz ovih razloga, površinski modeleri bili su prvi CAD sistemi koji su omogućili određeni stepen integracije proizvodnog ciklusa pomoću računara, počevši od projektovanja, preko analize do izrade dijelova i proizvoda.

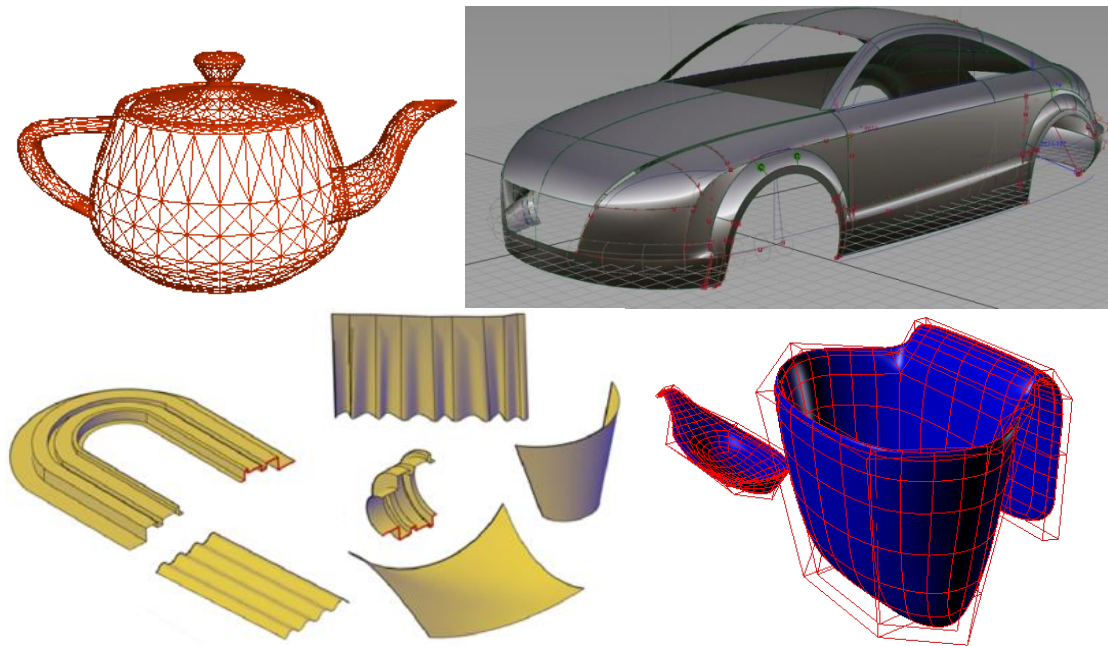
Nedostatak površinskog modeliranja je što ova metoda ne daje potpune informacije o zapremini koju tijelo zauzima. Mnogi površinski CAD sistemi ne računaju međusobne presjeke površina i malo njih čuva informacije o tome kako su različite strane objekta spojene u cilju formiranja njegove granice (omotača). Pokazalo se da jednačine površina zajedno sa pridruženim informacijama o orijentaciji nisu dovoljne, kako bi se jednoznačno opisalo zapreminsko tijelo (objekat). Primjer nejednoznačnosti površinskog modela prikazan je na slici 2.26.



Slika 2.26 Nejednoznačnost kod površinskih modela

I pored pomenutih nedostataka, površinski modeli danas su veoma zastupljeni u modeliranju proizvoda izuzetno zahtjevne geometrije i visokih estetskih i ergonomskih zahtjeva. Široku

primjenu površinski modeli našli su u vazduhoplovnoj i automobilskoj industriji. Primjeri površinskih modela mašinskih dijelova prikazani su na slici 2.27.



Slika 2.27 Primjeri površinskih modela proizvoda

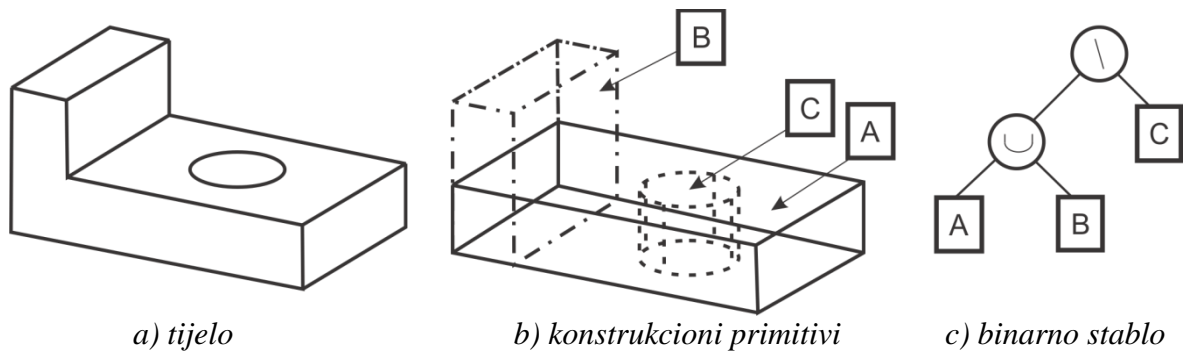
2.7.3 Zapreminsko modeliranje

Zapreminsko modeliranje predstavlja skup tehnika i tehnologija koje se bave kompletnom i nedvosmislenom računarskom prezentacijom fizičkih čvrstih tijela (tj. realnih trodimenzionalnih dijelova) [40]. Zapreminski (čvrsti ili solid) model sadrži informacije o zapremini koju tijelo zauzima. Za ovaj model se kaže da je to informaciono kompletna predstava krutog tijela, koja omogućava automatsko izračunavanje svakog zapreminskog svojstva modeliranog objekta. Zapreminski model omogućava automatsko kreiranje projekcija, realističnih prikaza sa uklonjenim nevidljivim linijama; izračunavanje fizičkih svojstava objekta, mase, težišta, momenta inercije; automatsku provjeru kolizije u mehaničkim sklopovima; generisanje putanje alata za NUMA; projektovanje putanja u robotici; konstrukciju i simulaciju mehanizama; generisanje mreže konačnih elemenata za potrebe statičkih, dinamičkih proračuna i analiza. Matematičke osnove zapreminskog modeliranja dolaze prvenstveno iz topologije i algebarske geometrije, a sa računarskog aspekta u pitanju je uglavnom rad na strukturama podataka i algoritmima.

Dva glavna pristupa zapreminskog načina modeliranja su modeliranje pomoću konstrukcione čvrste geometrije (*CSG – eng. Constructive Solid Geometry*) i graničnih površina (*B-Rep – eng. Boundary Representation*). Ovi metodi se razlikuju po strukturama podataka koje se koriste za internu računarsku prezentaciju tijela, a manje po tehnikama koje projektant primjenjuje prilikom modeliranja. Obje metode koriste Bulove operacije prilikom procesa modeliranja.

Zapreminski način modeliranja pomoću CSG pristupa omogućava da se model proizvoda konstruiše iz skupa 3D osnovnih zapremina (kvaradar, valjak, kugla, kupa i torus), umjesto da se kreiraju granične površine kojima se zatvara željena zapremina. Modeliranje proizvoda ovim pristupom omogućeno je kombinovanjem 3D osnovnih zapremina i korišćenjem

operatora Bool-ove algebre (presjek, unija i razlika). Slijedeći ovu ideju, zapreminski model se može predstaviti kao uređeno binarno stablo u kojem čvorovi predstavljaju Bulove operacije, a listovi primitive. CSG pristup se često koristi za prikaz modela ili površine koja je složenog spoljašnjeg izgleda, ali je ustvari sačinjena prostom kombinacijom 3D osnovnih zapremina. Primjer CSG opisa zapreminskog modela dijela prikazan je na slici 2.28.



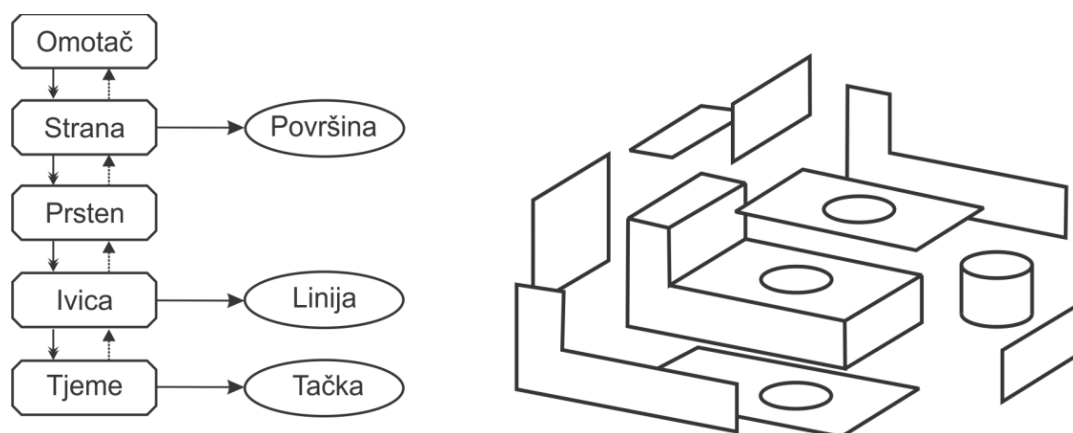
Slika 2.28 CSG opis zapreminskog modela tijela

Prednost CSG modela je u kompaktno definisanoj internoj računarskoj strukturi podataka, formiranoj u obliku stabla i lakim modifikacijama objekata. Nedostaci modela su komplikovanost u slučaju čuvanja podataka o površinama i nepostojanje eksplicitnih informacija o ivicama.

Korišćenjem B-Rep pristupa, pri zapreminskom modeliranju, model proizvoda je opisan njegovim graničnim površinama ili omotačem. Omotač se dijeli na konačan broj *strana*, svaka strana je ograničena prstenom ivica, a ivica opet parom tjemena. U strukturi podataka evidentne su dvije kategorije elemenata:

- *Topološki i*
- *Geometrijski elementi.*

Topološki elementi su strane, ivice i tjemena, njihov broj i veze uspostavljene među njima, relacije povezanosti i susjedstva. Geometrijski elementi su tačke, linije i površine tj. njihovi analitički izrazi. Tijelo se opisuje svojom topološkom granicom, a odgovarajuća geometrija se dodaje u obliku tačaka, linija i površina (slika 2.29).



Slika 2.29 B-Rep struktura podataka

Za razliku od modeliranja površinskim pristupom, modeliranje B-Rep pristupom omogućava da sve površine imaju normalnu orijentaciju, tako da je obuhvaćena zapremina modela (proizvoda) eksplicitno opisana i definisana. U ovom pristupu iskorišćeni su topološki kriterijumi za interno definisanje samih površina.

B-Rep pristup modeliranju je dosta zahtjevniji u pogledu memorijskog prostora i računarske obrade podataka. Izmjena modela kreiranih pomoću B-Rep pristupa je izuzetno složena, jer se u modelu ne čuva istorija projektovanja. B-Rep pristup omogućava pojedinačan pristup svakoj strani, ivici i tjemenu modela jer ih memoriše u eksplicitnoj formi. Zbirni prikaz prednosti i nedostataka CSG i B-Rep pristupa zapreminskog modeliranja dat je u Tabeli 2.3.

Tabela 2.3 Prednosti i nedostaci CSG i B-Rep pristupa

Vrsta pristupa	CSG	B-Rep
Prednosti	<ul style="list-style-type: none"> • konciznost CSG datoteke sa informacijama, • garancija validnosti objekata kreiranih preko CSG pristupa, • CSG je više korisnički orijentisan, • razvijeni su algoritmi za konvertovanje CSG u B-Rep. 	<ul style="list-style-type: none"> • kompletnost informacija, posebno za odnose susjedne topologije, • značajan broj metodologija za razvijene inženjerske analize bazira se na B-Rep, • najjasnije geometrijske informacije,
Nedostaci	<ul style="list-style-type: none"> • CSG baza podataka sadrži informacije o zapreminskim objektima u ne-verifikovanoj formi (obliku), • validnost tipske forme nekog objekta ne može biti ocjenjena bez ocjenjivanja cijelog stabla, • stablo nije jedinstveno za isti projektovani dio. 	<ul style="list-style-type: none"> • B Rep zahtjeva dodatne procedure za izdvajanje tipskih formi • B Rep model ne daje nikakve eksplicitne informacije prostornih ograničenja između tipskih formi, • struktura podataka B-Rep je složenija u odnosu na CSG.

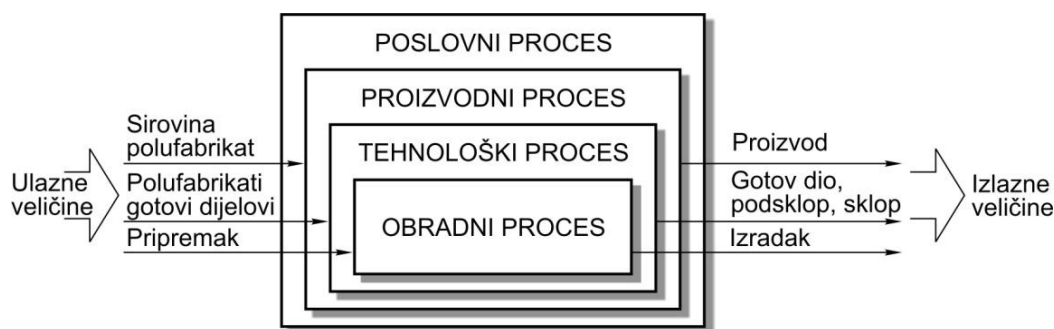
Savremeno projektovanje pomoću većine komercijalnih 3D programskih sistema zasniva na hibridnom pristupu, odnosno modeliranje se vrši korišćenjem CSG prezentacija, a evaluacija korišćenjem B - Rep. To je omogućeno činjenicom da se CSG prezentacija može konvertovati u B - Rep, dok obrnuta konverzija nije moguća.

3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

3.1 PROCESI U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA

U proizvodnim preduzećima, na različitim nivoima, odvija se veliki broj procesa kao rezultat transformacije ulaznih resursa u gotov proizvod (slika 3.1). Procesi u proizvodnom preduzeću mogu se podijeliti na:

- *Poslovne procese,*
- *Proizvodne procese,*
- *Tehnološke procese i*
- *Obradne procese.*



Slika 3.1 Struktura procesa u proizvodnim preduzećima [5]

Poslovni procesi predstavljaju skup proizvodnih, ekonomskih i društvenih procesa koji povezuju okolinu, odnosno tržište sa proizvodnim sistemom. Proizvodni proces predstavlja skup procesa koji neposredno utiču na transformaciju materijala ili priprema u gotov proizvod.

Proizvodni procesi obuhvataju procese, počevši od projektovanja i razvoja proizvoda, preko projektovanja tehnoloških procesa, pripreme i realizacije proizvodnje, procesa nabavke, održavanja, transporta, kontrole, pa sve do pakovanja i skladištenja proizvoda.

Tehnološki proces prema Matalinu [41], predstavlja dio proizvodnog procesa u kome se vrši izmjena oblika, dimenzija, estetskog izgleda, unutrašnjih osobina materijala, kao i kontrola.

Obradni proces je vezan za određenu operaciju obrade, koja se izvodi na obradnom sistemu sastavljenom od elemenata: upravljanja, rada i kontrole [5]. Obradni proces vrši direktnu transformaciju materijala ili priprema u gotov proizvod ili prerađenu sirovinu.

3.2 ELEMENTI TEHNOLOŠKOG PROCESA

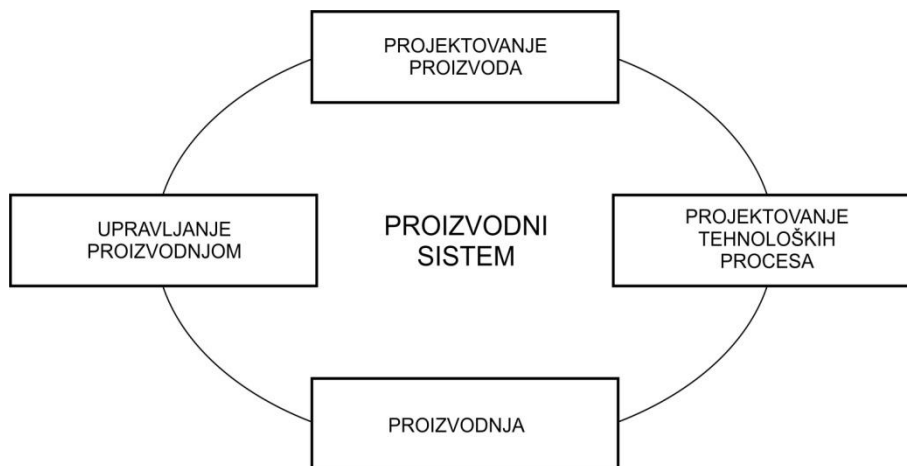
Osnovni elementi tehnološkog procesa izrade proizvoda predstavljaju sadržaj tehnološkog procesa, operacije, zahvati i prolazi. Sadržaj tehnološkog procesa obuhvata osnovne informacije o izradi proizvoda, sa definisanim radosljedom izvođenja operacija, zahvata i prolaza. Operacija obrade je dio tehnološkog procesa koja sadrži skup direktnih i pomoćnih dejstava, koji se izvode na obradnom sistemu, sa jednom njegovom pripremom u toku procesa obrade. Operacija obrade predstavlja osnovu za određivanje najvećeg broja parametara proizvodnog procesa i proizvodnog sistema. Zahvat je dio operacija obrade koji se izvodi

jednim alatom, u jednom ili više prolaza. Prolaz je dio zahvata kojim se skida jedan sloj materijala, istim alatom i nepromijenjenim režimima obrade.

3.3 POLOŽAJ PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA U PROIZVODNOM SISTEMU

Projektovanje tehnoloških procesa predstavlja aktivnost u kojoj projektant donosi odluku na koji način izvršiti ekonomičnu i konkurentnu transformaciju priprema u gotov dio ili grupu dijelova, podsklopova i sklopova u gotovi proizvod. Prvi slučaj odnosi se na projektovanje tehnoloških procesa izrade dijelova, dok se drugi slučaj odnosi na projektovanje tehnoloških procesa montaže proizvoda.

Mjesto i značaj projektovanja tehnoloških procesa čini osnovu za planiranje, organizaciju i realizaciju svakog proizvodnog procesa. Položaj projektovanja tehnoloških procesa u strukturi proizvodnog sistema ima značajno mjesto (slika 3.2), koje ostvaruje vezu između projektovanja proizvoda i proizvodnje. Prema tome, ova komunikacija u velikoj mjeri utiče na efikasnost proizvodnog sistema i određuje kako će se projektovani tehnološki proces realizovati.



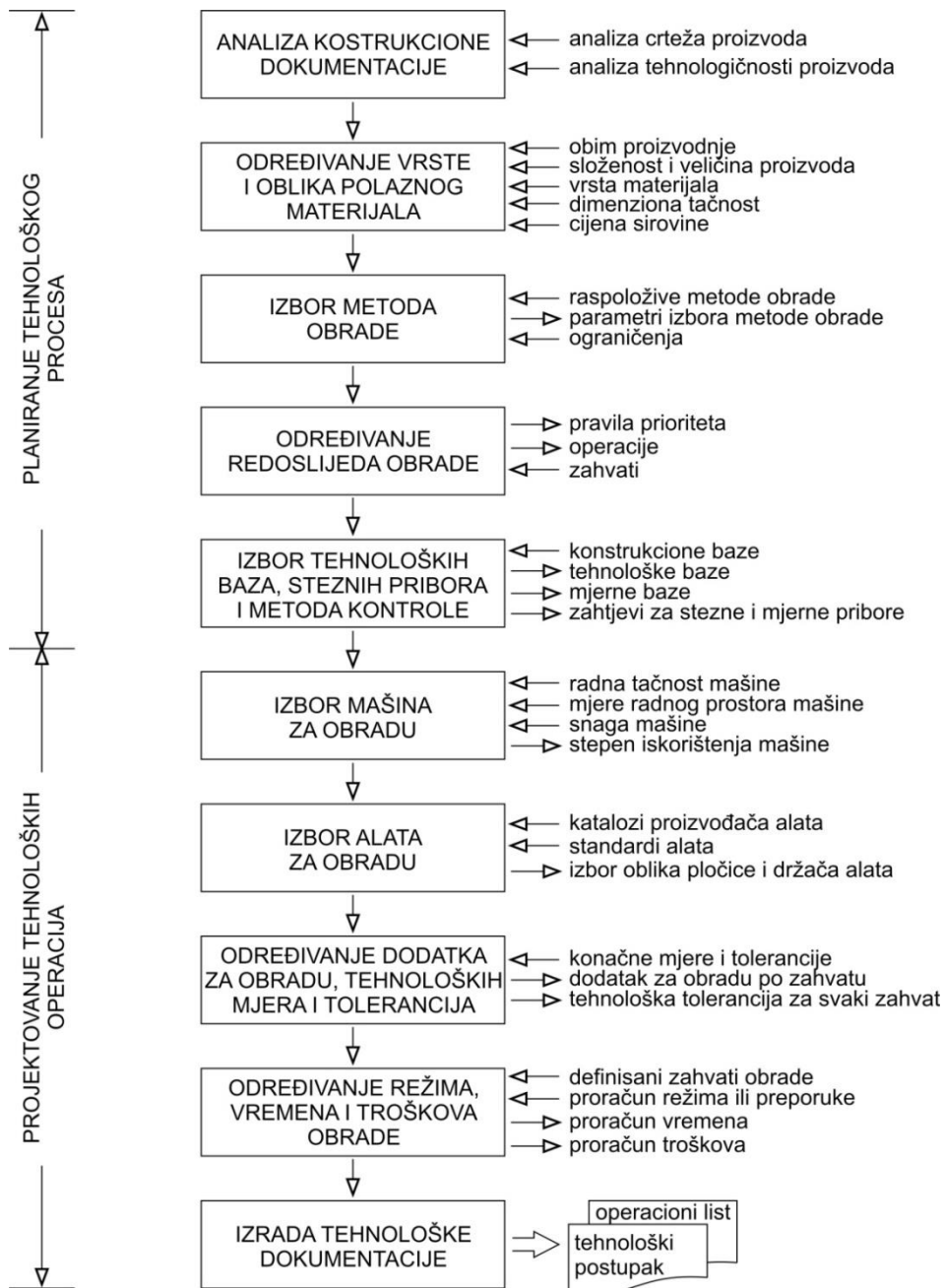
Slika 3.2 Položaj projektovanja tehnoloških procesa u proizvodnom sistemu [5]

3.4 AKTIVNOSTI PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA

Struktura projektovanja tehnoloških procesa uglavnom je standardna i može se definisati kao niz aktivnosti (slika 3.3), koje obuhvataju:

- Analizu projektne dokumentacije proizvoda/dijela koja obuhvata proučavanje informacionih sadržaja na crtežima i pratećoj dokumentaciji,
- Analizu tehnološkičnosti proizvoda/dijela koja se sastoji od analize geometrijskog oblika dijela, mjera i tolerancija, površinske hrapavosti, materijala, zahtjevane količine proizvoda/dijelova, kao i pogodnosti za montažu,
- Određivanje vrste i polaznog oblika materijala, kao i dodataka za obradu,
- Izbor metoda obrade, tehnoloških procesa i alata za izradu prema prethodno izvršenim aktivnostima,
- Određivanje početne površine za obradu, kao i tehnoloških i mjernih baza u svrhu izvođenja preciznih operacija obrade. U okviru ove aktivnosti definišu se stezni, mjerni i kontrolni pribori,

- Definisane redosljeda obrade, operacija i zahvata prema prioritetu tačnosti i tehnološkim ograničenjima,
- Izbor mašina za izvođenje prethodno definisanih tehnoloških operacija, uzimajući u obzir tehnološku složenost dijela i potrebne količine dijelova koje treba proizvesti,
- Definisane i izbor parametara obrade za svaki zahvat, što omogućava određivanje vremena i troškova obrade radi izvođenja ekonomskog vrjednovanja i
- Izrada tehnološke dokumentacije koja najčešće uključuje sadržaj tehnološkog procesa, operacioni list i upravljačke programe.



Slika 3.3 Aktivnosti u projektovanju tehnoloških procesa [5]

Projektovanje tehnoloških procesa, u lancu razvoja proizvoda, nalazi se između projektovanja proizvoda i proizvodnje, te u velikoj mjeri utiče na kvalitet proizvoda, efektivnost proizvodnje

i troškove. Karakteristike dobrog tehnološkog procesa, prema [42] mogu se generalizovati kroz:

- *Tehnološki proces treba da zadovolji sve zahtjeve definisane na crtežu dijela,*
- *Tehnološki proces treba da obezbijedi neophodnu proizvodnost u cilju realizacije definisane količine proizvoda u datom vremenu,*
- *Tehnološki proces treba da obezbijedi niske proizvodne troškove i*
- *Tehnološki proces treba da pomogne unaprijeđenju radnih uslova, kao i da promoviše kontinualni razvoj proizvodnih tehnologija.*

3.5 VRSTE TEHNOLOŠKIH PROCESA

U svrhu zadovoljavanja visokih zahtjeva kupaca i savremenih tržišnih zahtjeva, proizvodno preduzeće mora biti sposobno da vrši proizvodnju različitih varijanti proizvoda u različitim količinama. Širina proizvodnog programa i mogućnost količinske proizvodnje, zavise od misije i vizije preduzeća, tehnološke osposobljenosti, resursa preduzeća i zahtjeva tržišta.

Proizvodnja proizvoda u pojedinačnim količinama, serijama ili masovnim količinama, predstavlja dominantni faktor koji utiče na nivo i metode projektovanja tehnoloških procesa i realizacije proizvodnje. Prema tome, projektovanje tehnoloških procesa zavisi od tri tipa proizvodnje:

- *Pojedinačna,*
- *Serijska i*
- *Masovna.*

Pojedinačnu proizvodnju karakterišu male količine proizvoda i širok proizvodni program. Proizvodi se razlikuju po svojim geometrijskim karakteristikama, stepenu tačnosti, vrsti i polaznom obliku materijala. Vrijeme izrade proizvoda je dugo jer je polazni oblik materijala najčešće valjani ili vučeni profili, mašine univerzalne, alati, pribori i oprema standardnog tipa i radnici visoko kvalifikovani.

U pojedinačnoj proizvodnji tehnološki proces se ne razrađuje detaljno zbog povećanja troškova projektovanja proizvoda. Tehnološki proces se daje u skraćenom obliku, gdje o tehnološkim detaljima odluku donosi radnik na mašini.

Proizvodnja koju karakteriše ponavljanje određene količine proizvoda u vremenskom intervalu naziva se serijska proizvodnja. Serijska proizvodnja u proizvodnim preduzećima se može podijeliti na: maloserijsku, srednjeserijsku i velikoserijsku proizvodnju. Opšte pravilo za podjelu serijske proizvodnje ne postoji, jer pored količina i drugi faktori, kao što su vrsta proizvoda, gabariti, složenost i stepen tačnosti proizvoda, utiču na određivanje tipa serijske proizvodnje.

Tehnološki procesi za velikoserijsku proizvodnju projektuju se detaljno, dok za maloserijsku proizvodnju se projektuje na nivou koji odgovara pojedinačnoj proizvodnji.

Karakteristike maloserijske proizvodnje, mašine, alati, oprema i radnici, su najčešće na nivou pojedinačne proizvodnje, iako su vrlo često u savremenim uslovima u primjeni i NUMA, dok su kod velikoserijske proizvodnje mašine namjenskog tipa, alati i oprema specijalnog karaktera, a radnici nižih kvalifikacija.

Masovnu proizvodnju karakterišu velike količine proizvoda, uski proizvodni program i stabilan obim proizvodnje. Proizvodi su slični po svojim geometrijskim i drugim karakteristikama. Ciklusno vrijeme izrade proizvoda je kratko jer je polazni oblik predmeta obrade najčešće odlivak ili otkivak, sa malim procentom uklanjanja viška materijala. Mašine su namjenskog i agregatnog tipa, primjenjuju se specijalni alati, pribori i oprema, a radnici su nižih kvalifikacija.

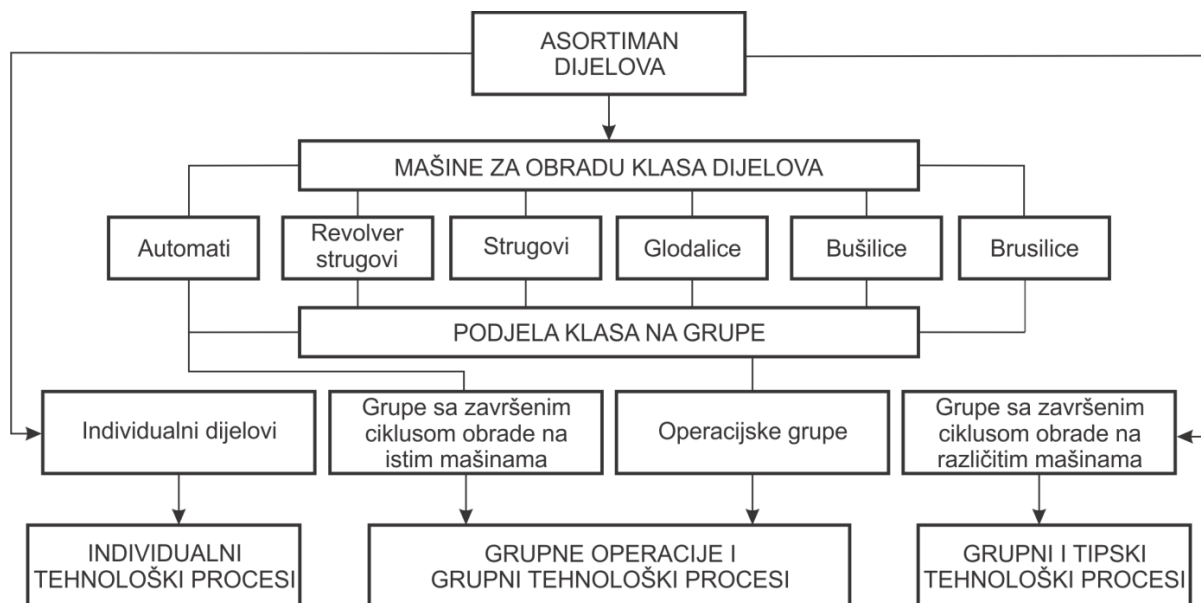
Projektovanje tehnoloških procesa za masovni tip proizvodnje vrši se vrlo detaljno. U okviru masovne proizvodnje projektovanje i priprema proizvodnje ima izuzetan značaj.

Proizvodni program preduzeća, posmatran sa aspekta grupisanja dijelova, može se sistematizovati prema tehnološkoj sličnosti, odnosno podijeliti u cjeline za koje je opravdano primjeniti koncept individualne, grupne i tipske tehnologije (slika 3.4). Prema tako grupisanim dijelovima tehnološki procesi mogu biti [43]:

- *Individualni,*
- *Grupni i*
- *Tipski tehnološki procesi.*

Individualni tehnološki proces projektuje se za jedan određeni dio ili proizvod, prema crtežu, obimu proizvodnje i proizvodnim uslovima, koji su projektantu na raspolaganju u sistemu tehnološke pripreme proizvodnje [4].

Grupni i tipski tehnološki procesi se baziraju na principima klasifikacije i unifikacije dijelova i metodama grupne tehnologije. Sokolovski i Mitrofanov su razvili principe sistematizacije i grupisanja dijelova prema konstruktivno-tehnološkoj sličnosti. Sokolovski je razvio osnove primjene tipske tehnologije, dok je Mitrofanov razvio osnovne principe grupne tehnologije.



Slika 3.4 Grupisanje dijelova za obradu prema Mitrofanovu [43]

Tipska tehnologija bazira se na klasifikaciji dijelova prema konstruktivnoj sličnosti. Cilj klasifikacije je određivanje tipova sličnih dijelova za koje je moguće projektovati tipske tehnološke procese. Grupisanje sličnih dijelova koji prilikom izrade sadrže isti redosljed izvođenja operacija i zahvata obrade predstavlja osnovnu karakteristiku tipskog tehnološkog

procesa. Tipska tehnologija primjenjuje se u uslovima visokoserijske i masovne proizvodnje. Raspored opreme u proizvodnom sistemu, vrši se prema tipskom tehnološkom procesu. Grupna tehnologija ima za cilj da uslove koji se javljaju u pojedinačnoj, maloserijskoj i serijskoj proizvodnji, što više približi uslovima koji su karakteristika velikoserijske i masovne proizvodnje. Grupna tehnologija je varijanta tipske tehnologije a definisana je operemom koja je potrebna za izvođenje pojedinih operacija grupnog tehnološkog procesa.

Principi grupne tehnologije baziraju se na klasifikaciji i grupisanju dijelova prema vrsti operacija i formiranju operacionih grupa dijelova. Klasifikacija dijelova vrši se pomoću usvojenog sistema klasifikacije – klasifikatora. Jednoj operacionoj grupi pripadaju svi dijelovi koji se mogu obrađivati na jednoj mašini za istu vrstu obrade. Grupni tehnološki proces ili grupna operacija projektuje se za kompleksni dio operacione grupe, koji može biti imaginaran i stvaran. Raspored opreme, u proizvodnom sistemu, vrši se prema vrstama obrade.

Koncept grupne tehnologije omogućuje značajnu racionalizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade dijelova širokog proizvodnog programa sa različitim količinama, dok je primjena koncepta tipske tehnologije opravdana u uslovima uskih proizvodnih programa sa izuzetno velikim količinama dijelova.

Postupak razvrstavanja dijelova na grupe naziva se klasifikacija dijelova [5]. Razvrstavanje dijelova vrši se prema konstrukciono tehnološkom klasifikatoru, odnosno ranije utvrđenim tehničkim principima i pravilima. Rezultat klasifikacije predstavljaju grupe sličnih dijelova. Postoji kontrukciona i tehnološka sličnost dijelova. Prva se odnosi na geometrijski oblik i dimenzije dijela, dok se druga odnosi na operacionu sličnost.

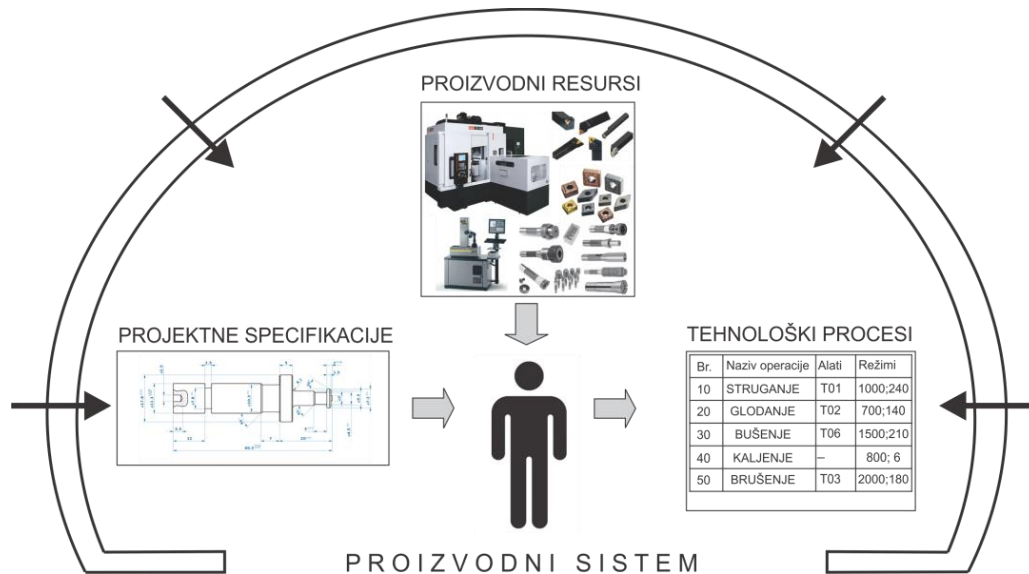
U dosadašnjim istraživanjima postoji veliki broj razvijenih sistema klasifikacije. Klasifikatori prema tipu, mogu se podijeliti na klasifikatore hijerarhijske, lančane i hibridne strukture. Neki od napoznatijih sistema klasifikacije su: OPITZ sistem (TU Aachen), MICLASS sistem (TNO, Holandska organizacija za primijenjena naučna istraživanja), CODE sistem (Manufacturing Data System Inc.), KK-3 JSPMI (Japansko udruženje za promociju mašinske industrije), IAMA sistem (Institut za alatne mašine Beograd), Brisch sistem (Brisch-Birn Inc.), CUTPLAN (Udruženje Metcut), DCLASS (Brigham Young Univerzitet), Part Analog System (Lovelace, Lawrence & Co.), itd.

3.6 METODE PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA

Projektovanje tehnoloških procesa, sa stanovišta realizacije procesa projektovanja, moguće je izvršiti na tri načina:

- *Manuelnim,*
- *Računarom podržanim i*
- *Uključivanjem znanja u računarom podržano projektovanje.*

Tehnička dokumentacija (crteži, sastavnica), u kojoj su definisane geometrijske, tehnološke i funkcionalne karakteristike, predstavlja osnovni dio ulaza u manuelno projektovanje tehnoloških procesa. Koncept manualnog projektovanja tehnoloških procesa u okviru proizvodnog sistema prikazan je na slici 3.5. Tehnolog na osnovu svog iskustva i racionalnom analizom projektnih specifikacija, uzimajući u obzir raspoloživost i stanje proizvodnih resursa, donosi odluke o svim parametrima tehnološkog procesa.



Slika 3.5 Koncept manuelnog projektovanja tehnoloških procesa

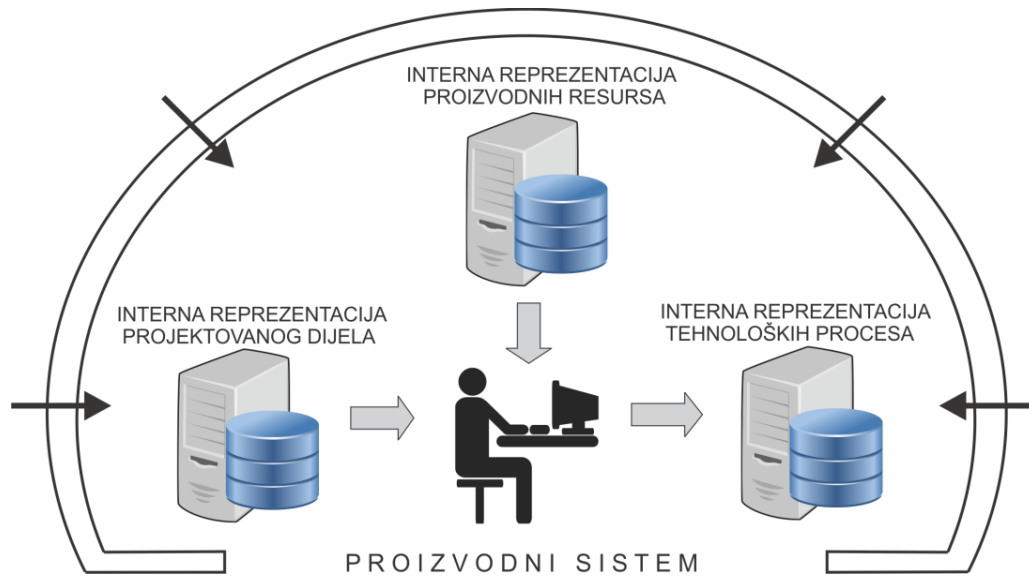
Na savremenom globalnom tržištu, koje karakterišu iznenadne i brze promjene zahtjeva za proizvodima, ovakav način projektovanja tehnoloških procesa nije adekvatan iz sljedećih razloga:

- Vrijeme i troškovi projektovanja tehnološkog procesa su izuzetno veliki,
- Tehnolog subjektivno donosi važne odluke,
- Ne analiziraju se alternativni tehnološki procesi i ne vrši se optimizacija,
- Tehnološki procesi se ne razrađuju dovoljno detaljno i pouzdano, detalji tehnoloških procesa se prepuštaju na odluku operaterima na mašini,
- Informacije o stanju resursa se sporo ažuriraju i
- Nedostatak informacionih veza između odjeljenja projektovanja, sa jedne strane, i odjeljenja pripreme proizvodnje, sa druge strane.

Računarom podržano projektovanje tehnološkog procesa otklanja nedostatke manuelnog pristupa, do nivoa pretraživanja i ažuriranja. Razvijeni sistemi za računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa omogućuju:

- Smanjenje vremena i troškova projektovanja,
- Automatizaciju inženjerskih proračuna i izradu tehnološke dokumentacije,
- Objektivizaciju projektovanja tehnoloških procesa,
- Uspostavljanje informatičke veze između faze projektovanja i proizvodnje proizvoda i
- Brzo pretraživanje i ažuriranje podataka vezanih za resurse i okolinu.

Sistemi za računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa oslobađaju tehnologa rutinskih i vremenski zahtjevnih operacija. Ovi sistemi omogućavaju tehnologu punu posvećenost pri donošenju najvažnijih odluka prilikom projektovanja tehnološkog procesa, kao što su definisanje operacija, zahvata i redoslijeda obrade, izbor mašina, alata, pribora i parametara obrade. Koncept računarski podržanog projektovanja tehnoloških procesa u okviru proizvodnog sistema prikazan je na slici 3.6.



Slika 3.5 Koncept računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa

Uključivanjem znanja u računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa omogućava uspostavljanje automatizovanog toka projektovanja tehnoloških procesa. Cilj uključivanja ekspertnog, tehnološkog znanja u sisteme za računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa je da se subjektivne odluke tehnologa svedu na minimum i da se ubrza proces projektovanja tehnoloških procesa. Sistemi za računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa bazirani na znanju, sastoje se od baza podataka, baza znanja i mehanizama za zaključivanje. Baze podataka se odnose na podatke o resursima, parametrima obrade, vremenskim normativima i troškovima. Baze znanja se sastoje od logike za odlučivanje, koja se predstavlja pomoću različitih metoda vještačke inteligencije. Kada i kako iskoristiti i implementirati podatak iz baze podataka i logiku iz baze znanja, odluku donose mehanizmi za zaključivanje.

Savremeni istraživački napori usmjereni su na postizanje što većeg nivoa automatizacije u računarski podržanom projektovanju tehnoloških procesa baziranom na znanju. U tom smislu vrši se implementacija metoda vještačke inteligencije u određene aktivnosti projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa. Najčešće se koriste metode vještačke inteligencije:

- *Ekspertni sistemi*
- *Fuzzy logika,*
- *Neuronske mreže,*
- *Genetski algoritmi,*
- *Agent tehnologije i*
- *Hibridne tehnologije.*

Savremeni računarski resursi, programski sistemi i tehnologije na bazi uključivanja znanja obezbjedili su značajni stepen napretka pri razvoju sistema za računarski podržano projektovanje tehnoloških procesa. Međutim, još uvijek u svijetu ne postoji potpuno integralno rješenje za projektovanje tehnoloških procesa. Razlog leži u poteškoćama koje se javljaju prilikom formalizacije i pretvaranja ljudskog znanja, odnosno iskustva tehnologa-eksperata, u računarski pogodne informacije, nekompatibilnosti resursa i kapaciteta, kao i varijantnost mogućih rješenja tehnoloških procesa.

3.7 RAČUNAROM PODRŽANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

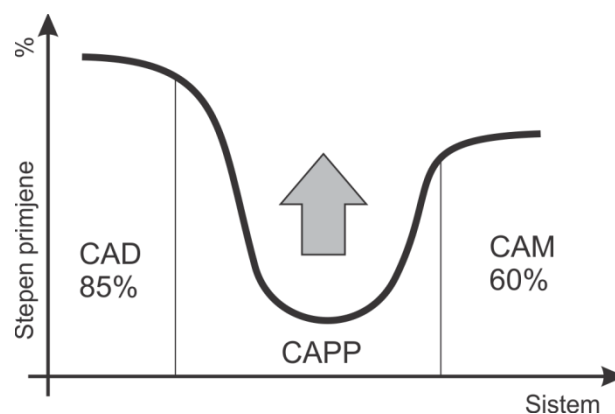
Osnovni pokretač procesa proizvodnje, koji sadrži sve neophodne informacije o toku i realizaciji proizvodnje, predstavlja projektovani tehnološki proces. Kvalitet tehnološkog procesa mjeri se preko ukupnih rezultata proizvodnje, potrebnog vremena izrade i troškova proizvodnje. Faktori koji utiču na kvalitet tehnološkog procesa su: izbor priprema, izbor obradnih procesa, izbor mašina, alata, pribora i mjerila, kao i redoslijed izvođenja operacija i zahvata obrade.

Razvojem informacionih sistema i automatizacijom pojedinih funkcija procesa proizvodnje, projektovanje tehnoloških procesa je doživjelo velike promjene. Kako su ove promjene imale značajne rezultate u toku proizvodnje, dalja implementacija računarskih tehnika i automatizacija projektovanja tehnoloških procesa danas postaje imperativ.

Osnovni pravac razvoja automatizacije u proizvodnim sistemima usmjeren je na automatizaciju projektovanja proizvoda, tehnoloških procesa i proizvodnje, jer ove aktivnosti imaju dominantan uticaj na kvalitet, izradu i cijenu proizvoda.

Automatizacija projektovanja i izrade proizvoda uspješno se rješava primjenom razvijenih CAD/CAM sistema. Neki od najpoznatijih CAD/CAM sistema koji daju veoma dobre rezultate u procesu projektovanja i neposredne izrade proizvoda su SolidWorks, Catia, Creo, Unigaphic NX, SolidEdge i Mechanical Desktop. Procjenjuje se da je nivo računarske podrške u aktivnostima koje podržavaju CAD/CAM sistemi između 60-90%, dok su aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa podržane CAPP sistemima daleko ispod CAD/CAM sistema (Slika 3.7) [5], [44].

Veća teškoće pojavljuju se u automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa obrade. Ovu aktivnost je teško formalizovati, jer nije moguće matematički obuhvatiti sve činioce koji utiču na proces. Zbog toga se automatizacija projektovanja tehnoloških procesa više ograničava na aktivnosti koje je moguće algoritamski prikazati, što je rezultovalo razvojem automatizovanih sistema za unutrašnju i spoljašnju optimizaciju obradnih procesa.



Slika 3.7 Nivo računarske podrške u CAD/CAPP/CAM aktivnostima [44]

Cilj istraživačko razvojnih aktivnosti u okviru proizvodnih tehnologija predstavlja integracija svih aktivnosti koje se javljaju, od procesa razvoja proizvoda, preko projektovanja tehnoloških procesa, tehničke pripreme, realizacije proizvodnje, pa sve do isporuke i povratnih informacija o zadovoljstvu kupaca proizvodom, odnosno jednom riječju

implementacija CIM koncepta ili računarom integrisane proizvodnje. Računarom podržano projektovanje proizvoda i računarom podržana proizvodnja predstavljaju najvažnije aktivnosti CIM koncepta.

Računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa predstavlja polugu kojom se vrši sprega između projektovanja i proizvodnje proizvoda. Prema tome, istraživačke napore je potrebno usmjeriti na obezbjeđenje što veće računarske podrške u aktivnostima projektovanja tehnoloških procesa.

Projektovanje tehnoloških procesa obrade obuhvata aktivnosti koje se pretežno zasnivaju na iskustvu i intuiciji tehnologa, a dijelom i na empirijskim relacijama. To uslovljava da razvoj CAPP sistema slijedi pravac modeliranja logike rada tehnologa i računarsku simulaciju njegovog rada, što omogućava veći stepen automatizacije projektovanja tehnoloških procesa. Ovakvi sistemi zasnovani su na nealgoritamskom programiranju i primjeni metoda vještačke inteligencije pri modeliranju procesa rada tehnologa.

3.7.1 Sistemi za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa

Implementacija naprednih informacionih tehnologija, alata i metoda omogućila je razvoj različitih vrsta sistema za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa. Sistemi za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa mogu se uopšteno podijeliti na tri vrste:

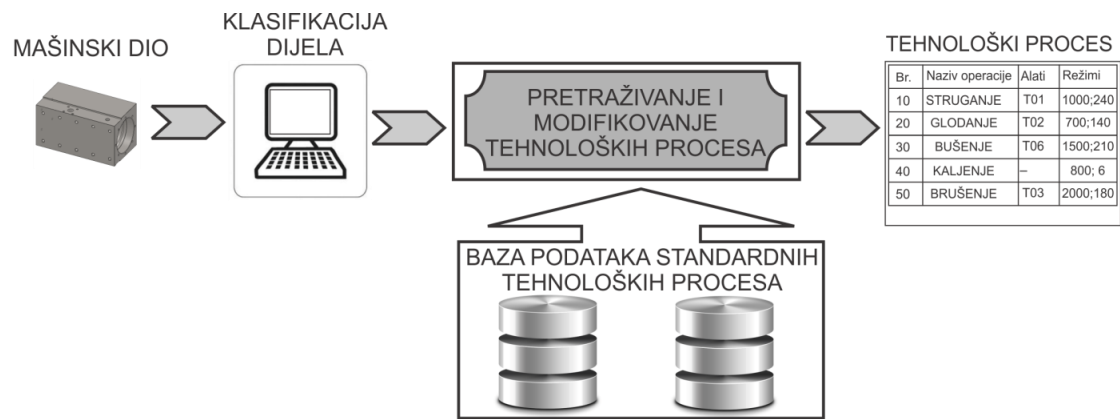
- *Varijantni,*
- *Generativni i*
- *Sistemi bazirani na znanju.*

Varijantni sistemi za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa bazirani su na principima pretraživanja i modifikacije prethodno projektovanih tehnoloških procesa. Osnova za varijantne sisteme predstavlja koncept tipske i grupne tehnologije. Varijantni sistem u bazi podataka čuva razvijene tehnološke procese za kompleksne dijelove kao, predstavnike tipskih operacionih i tehnoloških grupa dijelova. Tehnolozi, uz korišćenje metoda klasifikacije i kodiranja, vrše pretragu baze podataka razvijenih tehnoloških procesa i na osnovu sličnosti generišu tehnološki proces za kompleksni dio. Tehnološki proces za kompleksni dio se modifikuje i prilagođava, kako bi se generisao tehnološki proces izrade za posmatrani dio.

Primjena varijantnih sistema se sastoji od faze pripreme i faze primjene. Faza pripreme obuhvata analizu proizvodnog programa, izbor klasifikatora, formiranje grupa dijelova, izbor predstavnika grupe proizvoda – kompleksnog dijela, generisanje i memorisanje tehnološkog procesa za kompleksni dio. Faza primjene, sastoji se od klasifikacije posmatranog dijela, pretraživanja baza podataka, modifikacije standardnog tehnološkog procesa i preciziranja tehnološkog procesa za konkretni dio (slika 3.8).

Prednosti varijantnih sistema su:

- *Vrijeme razvoja sistema je relativno kratko,*
- *Troškovi razvoja sistema su relativno niski,*
- *Visoka pouzdanost u realnim proizvodnim uslovima i*
- *Visok stepen primjene u malim i srednjim preduzećima.*



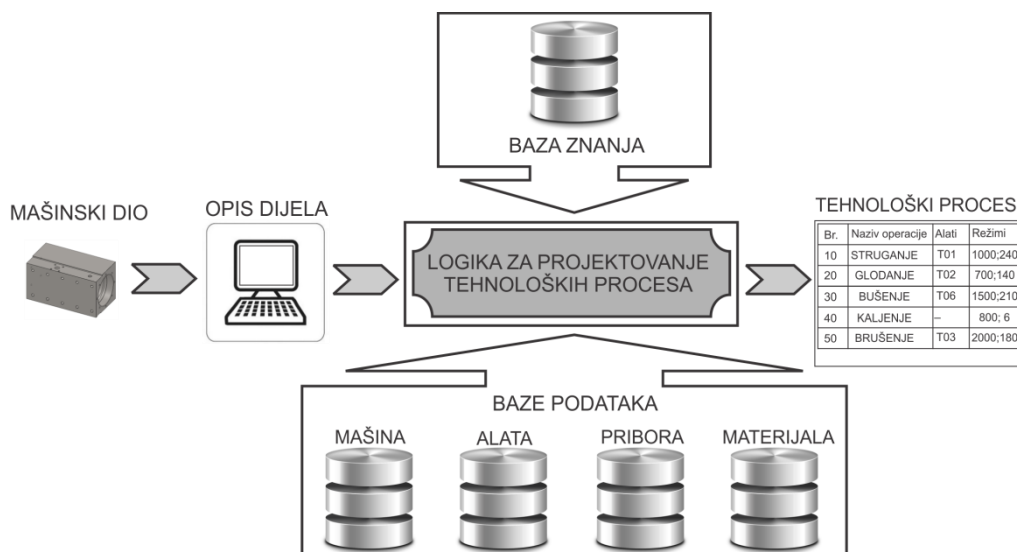
Slika 3.8 Princip primjene varijantnih CAPP sistema

Nedostaci varijantnih sistema za računarskom podržano projektovanje tehnoloških procesa su:

- *Subjektivno donošenje odluka od strane tehnologa,*
- *Otežano ažuriranje i kontrola projektovanih baza podataka tokom vremena,*
- *Nizak stepen fleksibilnosti u pogledu geometrijske i tehnološke sličnosti dijelova, itd.*

Generativni sistemi za računarskom podržano projektovanje tehnoloških procesa bazirani su na principu individualnog, nezavisnog projektovanja tehnološkog procesa za svaki dio. Ovi sistemi ne koriste principe klasifikacije i pretraživanja prethodno projektovanih planova obrade ili tehnoloških procesa. Generativni sistem, na bazi ulaznih informacija o dijelu, na automatizovan način generiše tehnološki proces obrade dijela. Proces projektovanja tehnološkog procesa odvija se kroz fazu opisa ulaznih informacija i fazu generisanja tehnološkog procesa. Ulazne informacije u generativni sistem moraju biti prezentovane u formatu razumljivom računarskom sistemu.

Na početku razvoja generativnih sistema to je bio tekstualni opis dijela, zatim simbolički opis, a danas su to grafičke prezentacije dijela koje se direktno preuzimaju iz zapreminskog modela dijela. Korišćenjem ulaznih informacija, generativni sistem generiše tehnološki proces obrade na osnovu algoritama i logičkih pravila sačuvanih u bazama podataka i bazama znanja (slika 3.9).



Slika 3.9 Princip primjene generativnih CAPP sistema

Prednosti generativnih sistema u odnosu na varijantne sisteme su:

- *Brzo generisanje tehnološkog procesa obrade,*
- *Nezavisno i individualno posmatranje svakog dijela,*
- *Brzo prilagođavanje sistema novom proizvodnom programu,*
- *Relativno laka integracija sa drugim komponentama CIM koncepta, itd.*

Sistemi bazirani na znanju, kao dio sistema za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa, takođe pripadaju grupi generativnih sistema. Za razliku od klasičnih generativnih sistema, ove sisteme karakteriše uključivanje ekspertnih sistema, fuzzy logike, neuronskih mreža, genetskih algoritama, agent baziranih tehnologija i hibridnih tehnologija kao modela predstavljanja i korišćenja znanja. Ovi modeli znanja koriste se prilikom projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa. Sistemi bazirani na znanju teže ka integraciji CAD/CAPP/CAM kao i integraciji CAPP sa drugim sistemima. Ulazne informacije o dijelu se automatizovano preuzimaju iz zapreminskog modela dijela. Zapreminski model dijela pogodno je da bude modeliran primjenom tipskih tehnoloških formi ili sistematizacijom ovih formi u okviru STEP standarda. Metodologija projektovanja tehnoloških procesa bazira se na primjeni jedne ili više pomenutih metoda vještačke inteligencije. Detaljni opis metoda vještačke inteligencije i modela predstavljanja znanja u oblasti projektovanja tehnoloških procesa dat je u poglavlju 5.

3.7.2 Kolaborativni sistemi za projektovanje tehnoloških procesa

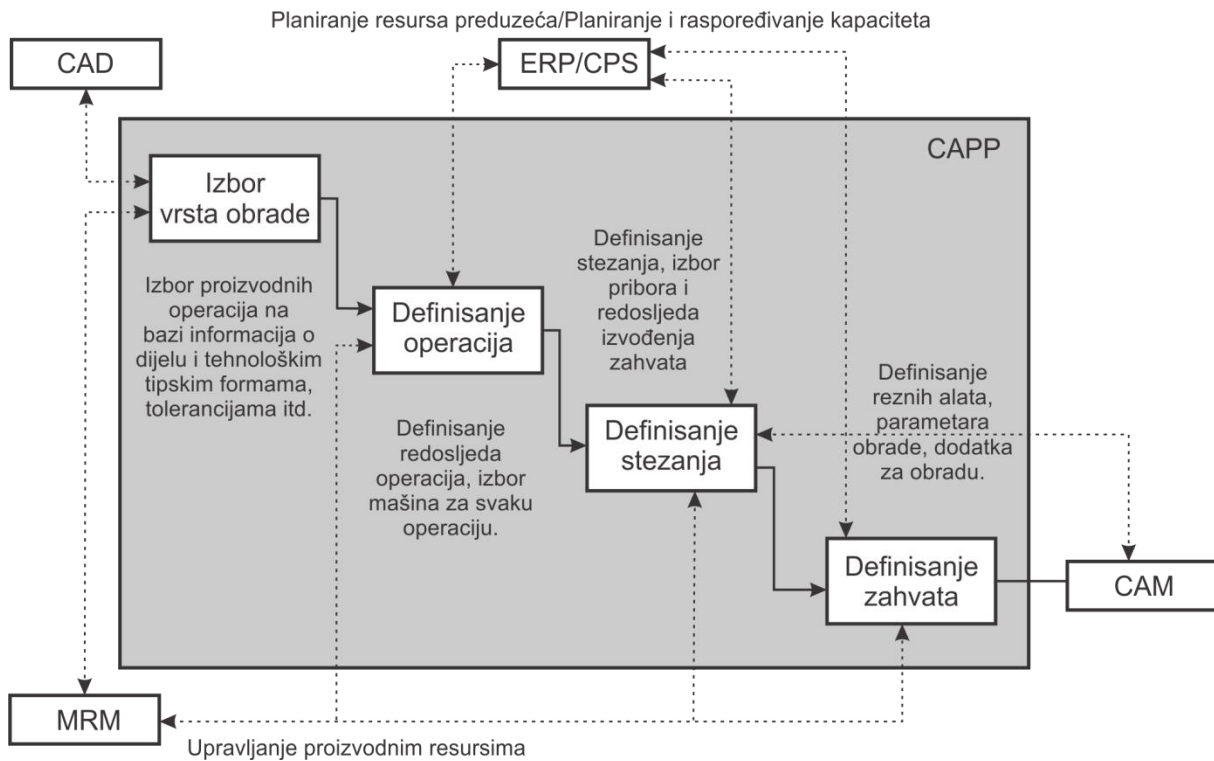
Razvoj informacionih tehnologija i tehnologija na bazi Interneta omogućava da geografski udaljena preduzeća i razni profili eksperata učestvuju u razvojnom ciklusu proizvoda. Ovako postavljen koncept razvoja proizvoda, u distribuiranom proizvodnom okruženju, naziva se kolaborativno (saradničko) inženjerstvo. Mreža preduzeća koja učestvuju u kolaboraciji, koja uključuje i dobavljače i krajnje korisnike, može se definisati kao prošireno preduzeće (Extended Enterprise) [45], [46]. Funkcionisanje proširenog preduzeća bazirano je na primjeni Interneta, jer je na taj način obezbijedena infrastruktura pomoću koje su informacije istovremeno dostupne svim učesnicima koji učestvuju u razvojnom ciklusu proizvoda.

Projektovanje tehnoloških procesa jedan je od ključnih zadataka koji treba riješiti u okviru kolaborativnog razvoja proizvoda. Aktivnosti vezane za projektovanje tehnoloških procesa izrade se u distribuiranim okruženjima često realizuju primenom CAPP sistema. Ove aktivnosti se baziraju na transformaciji ulaznih informacija, u vidu inženjerskih crteža i/ili zapreminskih modela proizvoda, u izlazne informacije u vidu identifikacije i izbora procesa obrade, redosljeda operacija i zahvata, resursa i drugih informacija koje su neophodne da bi se pripremak transformisao u gotov proizvod [47].

Pored realizacije pomenutih aktivnosti, pred CAPP sisteme u distribuiranom okruženju postavlja se složen zadatak koji obuhvata integraciju CAPP sistema sa drugim funkcijama u preduzeću, kao što su finansijski tokovi, planiranje proizvodnje, planiranje i upravljanje proizvodnim resursima, kontrola kvaliteta, nabavka, itd. Model integracije CAPP sistema sa drugim funkcijama u preduzeću, u okviru distribuiranog proizvodnog okruženja (slika 3.10).

Svrha sistema za kolaborativno projektovanje tehnoloških procesa je generisanje tehnološkog procesa od strane različitih eksperta koji su uključeni u distributivno proizvodno okruženje. Prva faza kolaborativnog projektovanja tehnoloških procesa obuhvata generisanje alternativnih rješenja tehnoloških procesa. Druga faza obuhvata evaluaciju alternativnih rješenja i izbor optimalnog tehnološkog procesa. Ključna aktivnost u sistemu za kolaborativno

projektovanje tehnoloških procesa odnosi se na uspostavljanje integracije sa drugim funkcijama ili činiocima proširenog preduzeća (nabavka, resursi, dobavljači). Ova integracija treba da obezbijedi informacije ekspertima u svrhu donšenja najboljih odluka prilikom projektovanja tehnološkog procesa.



Slika 3.10 Model integracije CAPP sistema u okviru distribuisanog proizvodnog okruženja [45], [48]

Pored Internet baziranih tehnologija i alata za uspostavljanje kolaborativnog okruženja za projektovanje tehnoloških procesa, potrebno je definisati i radni okvir koji omogućava integraciju i koordinaciju aktivnosti razvoja proizvoda i razmjenu informacija između entiteta koje čine ekspertne aplikacije ili pojedinci. Takođe, neophodno je uspostaviti hijerarhijsku organizaciju eksperata sa jasno definisanim stepenom uticaja, pristupa informacijama i odgovornostima.

4. PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TIPSKIH FORMI

4.1. UVOD

Integracija aktivnosti računarom podržanog projektovanja i proizvodnje proizvoda u modernoj industriji prepoznata je kao osnovna aktivnost koja doprinosi smanjenju ukupnih troškova razvoja proizvoda. Računarom podržano projektovanje proizvoda realizuje se u domenu primjene konvencionalnih tehnologija modeliranja i grafičke interpretacije proizvoda, sklopa ili dijela. Rezultat konvencionalnih tehnologija modeliranja pomoću računara predstavlja geometrijski model proizvoda. Geometrijski model proizvoda ima niz nedostataka koji ozbiljno ograničavaju njegovu primjenu u narednim aplikacijama. On se koristi u procesu detaljnog projektovanja proizvoda i kao ulaz u aplikacije računarom podržanog inženjerstva (CAE – *eng. Computer Aided Engineering*). Informacije potrebne u ostalim fazama razvoja proizvoda (definisanje zahtjeva, konceptualno projektovanje, tehnička priprema proizvodnje, realizacija proizvodnje, eksploatacija, održavanje i povlačenje iz upotrebe) nisu sadržane u geometrijskom modelu proizvoda.

Pored navedenih, ostali nedostaci konvencionalnih tehnika geometrijskog modeliranja, mogu se sažeti kroz sljedeće [49]:

1. Geometrijski model granične prezentacije definisan je u smislu geometrije (tačke, linije, površi) i topologije (tjemena, ivice, strane), dok je CSG model prezentacije definisan u obliku zapreminskih primitiva i skupa operacija nad njima. Informacije dostupne u ovim geometrijskim modelima definišu se kao entiteti niskog, odnosno mikro nivoa. Način odlučivanja i procesi rezonovanja u okviru realizacije većine inženjerskih poslova zahtijevaju postojanje entiteta makro ili visokog nivoa. Mnoge vrste informacija o proizvodu, koje su neophodne u cilju podrške inženjerskog donošenja odluka, analize i rezonovanja za različite faze životnog ciklusa proizvoda, ne mogu biti uključene u model koji se sastoji samo od entiteta mikro nivoa. Informacije o tolerancijama su od suštinskog značaja za projektovanje tehnoloških procesa. Postupak definisanja tolerancija zahtijeva entitete višeg nivoa u odnosu na klasične entitete geometrijskog modela. Prema tome, korišćenje konvencionalnih geometrijskih modela dovodi do nedovoljno definisanih specifikacija o proizvodu.
2. Konvencionalni geometrijski model ne sadrži informacije pomoću kojih je moguće napraviti razliku između geometrije koja je modelirana u svrhu realizacije ograničenja, realizacije funkcionalnih zahtjeva ili iz drugih razloga, kao što je tehnološkičnost. Da bi se izvršilo memorisanje ove vrste informacija, potrebno je uvesti sistem projektantskog rezonovanja, a to znači koristiti model ili entitete višeg nivoa. Rezultat ovog nedostatka može se sumirati kao nemogućnost memorisanja (podrške) projektantskim namjerama.
3. Konvencionalni geometrijski model memoriše geometriju na jednom nivou apstrakcije, u smislu precizno dimenzionisanih geometrijskih entiteta. Drugim riječima, kada se koriste konvencionalne geometrijske metode modeliranja, tačna geometrija dijela koji se projektuje mora biti unapred poznata. Geometrija dijela se definiše korišćenjem tačnih koordinata, orijentacija i geometrijskih položaja. Iz tog razloga geometrijski model je najbolje koristiti nakon što je proces projektovanja završen, odnosno u svrhu izrade tehničke dokumentacije, a ne za sam proces projektovanja. Ako se geometrijske metode modeliranja koriste u toku procesa

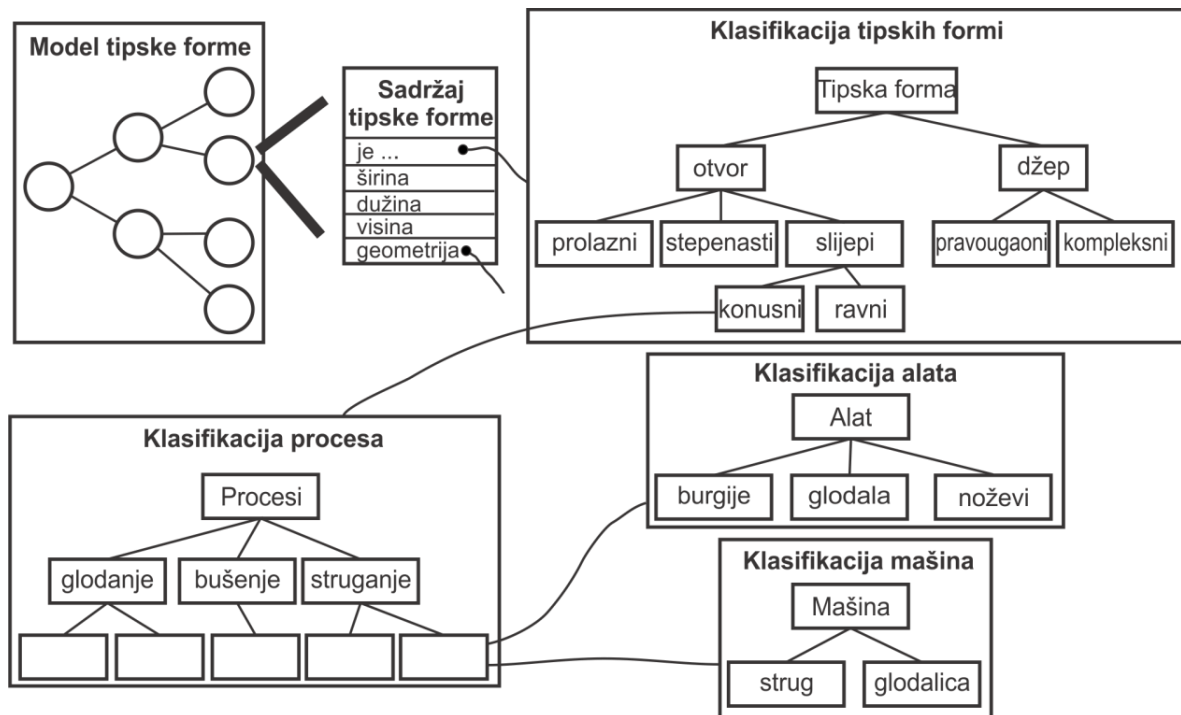
projektovanja, čak i za samo nekoliko geometrijskih aspekata proizvoda, kompletan i formalni geometrijski model mora biti kreiran. Ovaj nedostatak rezultuje činjenicom da je projektant primoran da izvrši "kompletnu" prezentaciju proizvoda, čak i ako za tim ne postoji realna potreba.

4. Konvencionalne metode geometrijskog modeliranja proizvoda, koje su podržane u geometrijskim modelerima, nisu u saglasnosti sa zahtjevom kako projektant želi prikazati dio. Zapreminski primitivi su veoma niskog nivoa. Entiteti za pozicioniranje i orijentaciju, jednih u odnosu na druge, teško se definišu pomoću proizvoljnih tačaka, linija i ravni. Kreiranje modela u smislu entiteta niskog nivoa je neefikasno i ne podržava ponovno korišćenje postojećih provjerenih i pouzdanih inženjerskih rješenja. S druge strane, većina inženjerskih zadataka mogu se okarakterisati kao varijante prethodnih zadataka, gdje se postojeći osnovni projekat modifikuje. Ako se prilagođavanje postojećeg modela vrši preko manipulacije velikih količina entiteta niskog nivoa, mnogi projektanti odlučuju da iznova kreiraju novi model. Rezultat ovog nedostatka je ponavljanje projektovanja novih i/ili sličnih projektnih rješenja.

Svi gore navedeni problemi konvencionalnog geometrijskog modeliranja ukazuju na isti pravac u kome se rješenje nalazi, odnosno potrebi uvođenja nekih makroskopskih entiteta koji moraju biti dostupni u eksplicitnoj formi modela. Modeliranjem entiteta visokog nivoa može se obezbijediti „konektor“ za koga će se „zakačiti“ potrebne aplikacije u svrhu čuvanja i preuzimanja informacija. Entiteti visokog nivoa mogu se koristiti za povezivanje sa modelom geometrijskih i drugih ograničenja, kao i u smislu definisanja karakteristika visokog nivoa modeliranog dijela. Iz ugla konceptualnog projektovanja, entiteti visokog nivoa i njihovi odnosi omogućavaju brzu sintezu rješenja. U širem smislu, entiteti visokog nivoa mogu da pruže osnovu za povezivanje projektantskog rezonovanja (namjera) sa modelom, kao podršku konceptu ponovnog korišćenja informacija [49], [50].

Entiteti višeg nivoa najčešće se poistovjećuju sa entitetima koji se nazivaju tipske forme. Projektovanje ili modeliranje proizvoda/dijela na višem semantičkom nivou, koje koristi tipske forme kao entitete makro nivoa, naziva se projektovanje ili modeliranje na bazi tipskih formi. Tipske forme koriste se kako bi se obezbjedila poboljšanja u odnosu na navedene nedostatke tehnika konvencionalnog geometrijskog modeliranja.

Modeliranjem na bazi tipskih formi generiše se model dijela korišćenjem projektantskih (konstrukcionih) tipskih formi. Stvarna moć ovog modela, u proizvodnim aplikacijama, bazira se na pridruživanju odgovarajućih vrsta i sadržaja tipskih formi modelima proizvodnih procesa. Uspostavljenje veze između tipskih formi, modela procesa i modela resursa dovodi do organizacije baze proizvodnog znanja (slika 4.1) [51]. Ovakav model baze proizvodnog znanja omogućava da, nakon završetka procesa modeliranja dijela, operacije i zahvati za obradu tipske forme mogu biti identifikovani u svrhu generisanja tehnološkog procesa obrade posmatranog dijela. S druge strane, baze proizvodnog znanja podržava dodavanje novih tipskih formi, procesa i resursa, što se odražava na rezultate projektovanja novih proizvoda i razvoja proizvodnih procesa.



Slika 4.1 Organizacija baze proizvodnog znanja na osnovu tipskih formi [51]

4.2 DEFINICIJE TIPSKIH FORMI

Projektovanje na bazi tipskih formi pojavljuje se u istraživanjima još od 1970-ih godina i od tada se u literaturi može pronaći veliki broj različitih pristupa i primjena ovih tehnologija. Koncept tipskih formi nije nova ideja, jer najraniji rad u ovoj oblasti datira iz 1976. godine, kada Grayer [52] u svojoj doktorskoj disertaciji prvi put spominje tipske forme.

Termin "tipska forma" je opšti termin, koji često ukazuje na određen nejedinstven karakteristični oblik, koji ima različita značenja u različitim okruženjima, u zavisnosti od specifičnog domena primjene.

Ne postoji konsenzus u istraživačkom svijetu u vezi sa definicijom tipse forme i mnogi autori predlažu različite definicije. Prema [53] izraz tipska forma (eng. feature) je izveden iz latinske reči *factura* koja znači čin izrade ili formiranja. Većina definicija [49] karakteriše tipske forme kao "entitete višeg semantičkog nivoa, za razliku od čistih geometrijskih elemenata, koji se uglavnom koriste prilikom zapreminskog modeliranja". Neke od značajnih definicija tipskih formi koje su dostupne u literaturi su:

- "Tipske forme predstavljaju oblike i tehnološke attribute povezane sa proizvodnim operacijama i alatima" [52], [54],
- "Tipske forme su osnovni oblici povezani u jednu cjelinu u svrhu funkcionalnih i proizvodnih razloga. Iako su tipske forme dijelovi strukture dijela, one nisu fizički samostalne i moraju uvijek biti povezane sa ostalim tipskim formama, kako bi formirali dio ili složenu tipsku formu" [55],
- "Tipska forma je oblast interesovanja na površini dijela" [56],
- "Suština koncepta tipskih formi je da se prilikom opisa proizvoda ne govori o tome šta je proizvod, nego da taj opis sadrži implicitne i eksplicitne informacije o tome kako se on može transformisati iz jednog stanja u drugo" [57] i

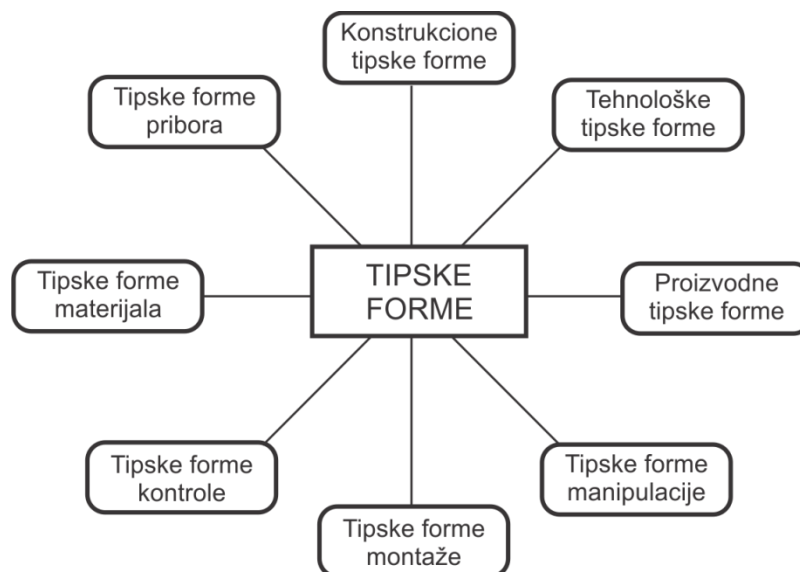
- *Tipska forma predstavlja prezentaciju oblika proizvoda koji se može mapirati prema generičkom obliku i funkcionalnosti koje su značajne za neku od faza životnog ciklusa proizvoda” [58].*

Prema datim definicijama može se zaključiti da se tipske forme povezuju ne samo sa fizičkim i geometrijskim aspektima dijela ili sklopa, nego i sa drugim inženjerskim informacijama značajnim za sve faze životnog vijeka proizvoda.

4.3 KLASIFIKACIJA TIPSKIH FORMI

Pristup baziran na tipskim formama predstavlja inteligentan način projektovanja proizvoda, u kome je projekat proizvoda prisutan u smislu definisanja višeg nivoa prezentacije podataka. Pristup baziran na tipskim formama ima direktnu relevantnost i primjenljivost za različite proizvodne aktivnosti koje slijede nakon projektovanja, kao što su projektovanje tehnoloških procesa, programiranje NUMA, kontrola proizvoda. Prema tome, korisno je napraviti razliku između pojedinih vrsta tipskih formi preko njihove klasifikacije. Kao i u slučaju definisanja tipskih formi, postoji mnogo pristupa i modela klasifikacija tipskih formi.

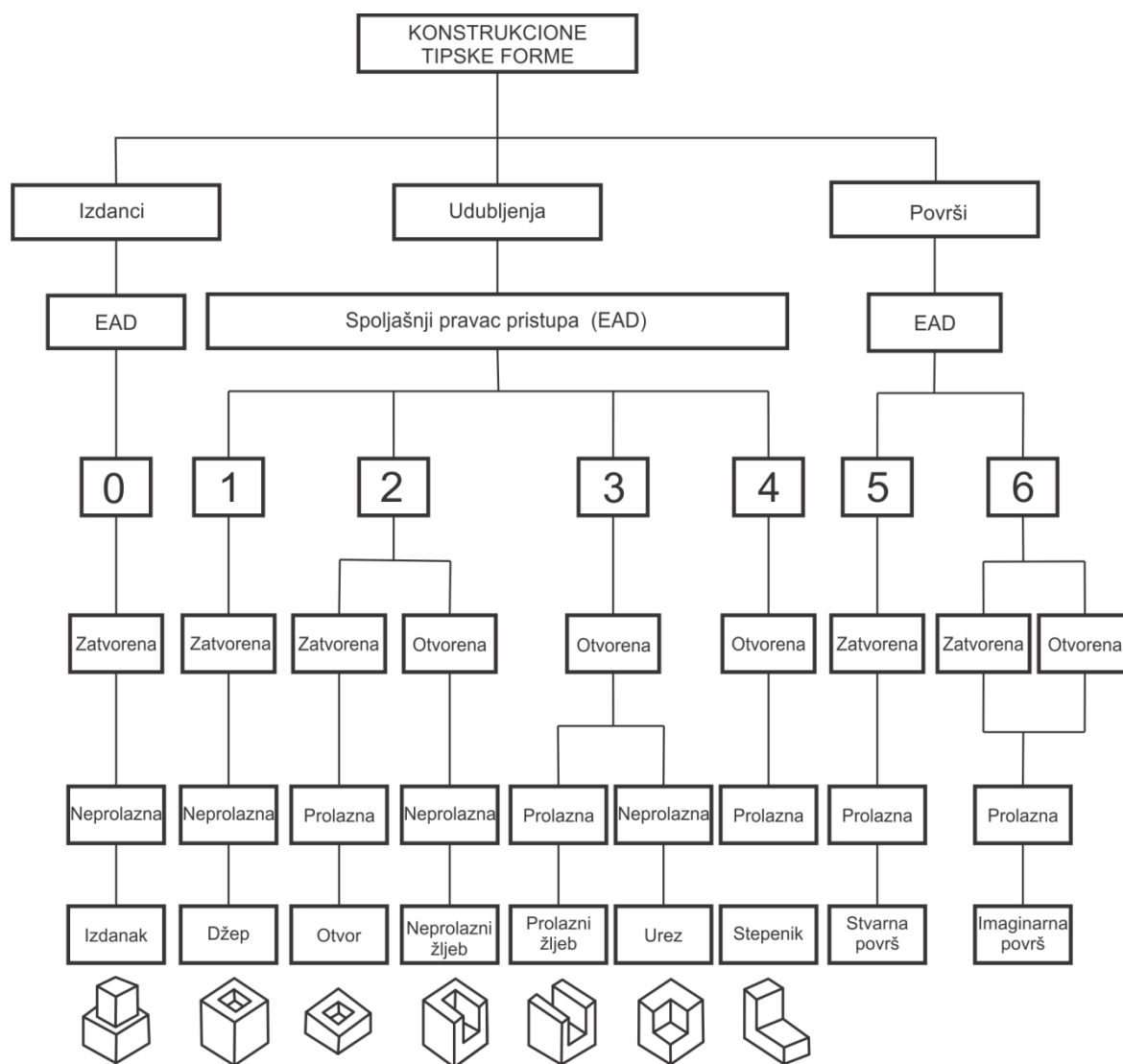
Tipske forme, u zavisnosti od njihove primjene mogu se uopšteno podijeliti na: projektantske, konstruktivne ili tipske forme oblika, tehnološke tipske forme, robotske tipske forme, proizvodne tipske forme, tipske forme montaže, tipske forme kontrole, tipske forme pribora i tipske forme materijala. Definicije (slika 4.2) tipskih formi zavise od njihove specifične aplikacije.



Slika 4.2. Vrste tipskih formi

Prema Gindy [59], klasifikacija tipskih formi izvršena je u tri osnovne kategorije i to: izdanci (*eng. protrusions*), udubljenja (*eng. depressions*) i površi (*eng. surfaces*) (slika 4.3). Ove tri kategorije dalje su razvrstane u zavisnosti od broja spoljašnjih pravaca pristupa (EAD – *eng. External Approach Directions* ili TAD – *Tool Approach Directions*), koji se definišu kao mogući pravci prilaza reznog alata, u procesu mašinske obrade, posmatrane tipske forme. Dalja podjela uzima u obzir granice tipske forme koje mogu da budu otvorene ili zatvorene. Poslednji nivo klasifikacije određen je izlaznim statusom granice tipske forme koji se koristi prilikom identifikacije prolazne ili neprolazne tipske forme.

Pratt i Wilson [56] 1985. godine izvršili su klasifikaciju tipskih formi u okviru CAM-I projekta (CAM-I – eng. *Computer Aided Manufacturing International*). Gornji nivo klasifikacije obuhvata: eksplicitne i implicitne tipske forme. Eksplicitni segment sadrži informacije o tipskim formama koje se mogu u potpunosti definisati bez proračuna, a implicitni segment sadrži opise tipskih formi koji se moraju definisati, odnosno za koje stvarni geometrijski podaci moraju biti proračunati. Eksplicitne tipske forme se zatim klasifikuju u četiri klase: prolazne rupe, izdanci, udubljenja i površi. Dalja klasifikacija zavisi od oblika tipske forme, na primer, prizmatične ili rotacione.



Slika 4.3 Klasifikacija tehnoloških formi prema [59]

Butterfield-ova klasifikacija je takođe izvedena u okviru projekta CAM-I 1985 [60]. Ova klasifikacija bazira se na kategorizaciji tipskih formi u tri klase: tipske forme lima, prizmatične tipske forme i rotacione tipske forme. Tipske forme lima su dodatno klasifikovane kao ravanske tipske forme ili oblikovane tipske forme. Prizmatične tipske forme su dodatno klasifikovane kao udubljenja, izdanci i površi. Rotacione tipske forme su klasifikovane kao koncentrične i nekoncentrične.

Klasifikacija prema [49], [3] predlaže da se tipske forme podijele na:

- *tipske forme oblika, koje identifikuju kombinaciju geometrijskih i topoloških entiteta i obuhvataju segmente nominalne i ponavljajuće geometrije,*
- *tipske forma tolerancija, koje se odnose na odstupanja od nominalnog oblika/dimenzija/lokacije,*
- *tipske forme montaže koje grupišu različite vrste tipskih formi kako bi se definisali odnosi, kao što su uslovi poklapanja, relativna pozicija i orijentacija dijela, razne vrste uklapanja i kinematski odnosi,*
- *tipske forme materijala pomoću koji se definiše oznaka, sastav i stanje materijala i*
- *funkcionalne tipske forme koje se odnose na specifične funkcije, koje mogu da uključuju projektantske namjere i negeometrijske parametre koji se odnose na namjenu, funkciju, performanse.*

Za tipske forme oblika, tolerancija i montaže zajednička karakteristika je geometrija dijela i one se jednom rječju nazivaju kolektivne geometrijske tipske forme. CAD sistemi pomoću kojih se modeliranje dijelova i sklopova vrši na bazi tipskih formi koriste uglavnom geometrijske tipske forme, odnosno tipske forme oblika.

Aplikacioni domen, koji je dobio najviše pažnje istraživača koji se bave tehnologijama na bazi tipskih formi, je domen procesa mašinske obrade, u kome su tehnološke tipske forme predviđene tako da obuhvate efekte različitih operacija mašinske obrade [61].

4.4 ATRIBUTI TIPSKIH FORMI

Dok je tipska forma fizički entitet, koji je sastavni dio dijela ili sklopa, atribut (svojstvo) predstavlja određenu karakteristiku ili performansu tipske forme. Može se reći da se tipske forme sastoje od atributa, dijelovi od tipskih formi, a sklopovi od dijelova. Atributi se mogu koristiti na bilo kom nivou, od definisanja tipske forme, ili skupa tipskih formi, do definisanja dijela ili sklopa. Atributima se takođe može predstaviti i karakteristika odnosa između tipskih formi ili skupova tipskih formi. U zavisnosti od objekta na kojeg se odnose, atributi mogu biti:

- *Atributi sklopa – koji uključuju informacije kao što su površine za uparivanje, vrste uklapanja, vrijednosti rastojanja, dubine pozicioniranja ili relativni vektori orijentacije;*
- *Atributi dijela – koji uključuju specifikacije materijala, broj dijelova i administrativne podatke,*
- *Atributi tipskih formi – koji uključuju položaj, orijentaciju, dimenzije, oblik ili veličinu tolerancije tipske forme,*
- *Atributi odnosa između tipskih formi – koji mogu da sadrže informacije o relativnom pozicioniranju, geometrijskim ograničenjima, odnosno kompatibilnosti i*
- *Atributi za pojedinačne entitete koje čine tipsku formu – koji obuhvataju kvalitet površinske obrade i toleranciju oblika.*

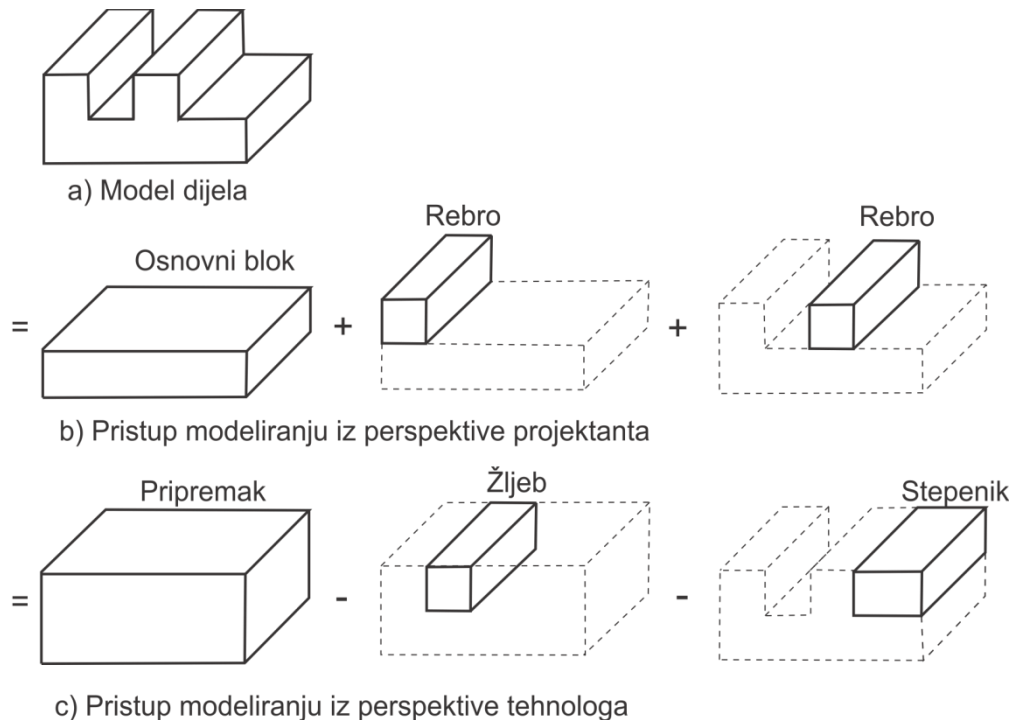
4.5. TEHNOLOŠKE TIPSKE FORME

4.5.1 Tehnološke tipske forme za projektovanje proizvoda

Tipske forme koje se koriste za projektovanje proizvoda, često se značajno razlikuju od tehnoloških tipskih formi koje se koriste za projektovanje tehnoloških procesa. Osnovna razlika između projektantskih i tehnoloških tipskih formi najlakše se može uočiti ukoliko se

posmatra perspektiva procesa projektovanja proizvoda prikazana na slici 4.4. Pristup modeliranju dijela iz perspektive projektanta prikazan je na slici 4.4.b), dok je pristup modeliranju dijela iz perspektive tehnologa prikazan na slici 4.4.c).

Projektant prilikom modeliranja razmišlja kako, na što jednostavniji način, da zadovolji funkcionalne karakteristike dijela. Tehnolog prilikom modeliranja razmišlja iz perspektive izrade dijela, odnosno kako da što jednostavnije izradi posmatrani dio bez ugrožavanja funkcionalnih karakteristika dijela. Prvi pristup projektovanju/modeliranju dijela karakterišu projektantske, geometrijske ili tipske forme oblika, dok drugi pristup karakterišu tehnološke tipske forme.



Slika 4.4 Različite perspektive modeliranja proizvoda [6],[61]

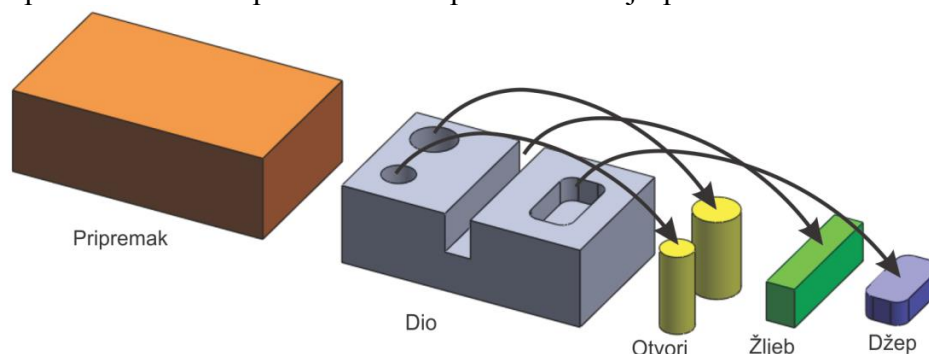
Upravo zbog ove činjenice neophodno je uvesti proces preslikavanja iz geometrijskog, odnosno funkcionalnog domena u tehnološki domen, koji se naziva proces prepoznavanja tehnoloških tipskih formi.

4.5.2 Definicije i klasifikacija tehnoloških tipskih formi

Tehnološke tipske forme najčešće se povezuju sa informacijama koje se odnose na zapreminu materijala koja treba biti uklonjena sa priprema postupcima mašinske obrade. Mašinski dio sa četiri tehnološke tipske forme prikazan je na slici 4.5. Prilikom uklanjanja materijala sa priprema koji odgovara tehnološkoj tipskoj formi žljeba i džepa koristi se operacija glodanja. Operacija bušenja koristi se prilikom uklanjanja materijala sa priprema koji odgovara tehnološkim tipskim formama otvora.

Hounsell [54] pri definisanju tipskih formi oblika tvrdi da: "Svaka tipska forma oblika može da ima niz mogućih proizvodnih procesa za dobijanje željenog oblika (rupa se može bušiti, probijati ili razvrtati). Ako se prilikom definisanja tipskih formi uzme u obzir geometrijski i

tehnološki odnosi onda se takva tipska forma naziva tehnološka tipska forma". To znači da se tehnološka tipska forma može posmatrati kao poseban slučaj tipske forme oblika.



Slika 4.5 Mašinski dio sa četiri tehnološke tipske forme

Radovi vezani za klasifikaciju tehnoloških tipskih formi [62], [63], [64], ističu robustan pristup Gindy-jeve klasifikacije tipskih formi preko eksternih pravaca pristupa. Tehnološke tipske forme, prema ovim radovima, klasifikuju se prema vrsti operacija na:

- Tehnološke prizmatične tipske forme za geometrijske oblike izrađene procesima glodanja, bušenja, elektroerozivne obrade i sličnih procesa,
- Tehnološke rotacione tipske forme za rotacione geometrijske oblike koji se odnose na proizvode sa aksijalnom osom simetrije,
- Tipske forme lima koje se odnose na proizvode koji se izrađuju procesima savijanja, prosijecanja i probijanja, izvlačenja,
- Tipske forme livenja koje se odnose na proizvode izrađene procesima livenja, kovanja, brizganja i sličnim procesima i
- Skulpturne tipske forme čiji se model sastoji od složenih površi višeg reda.

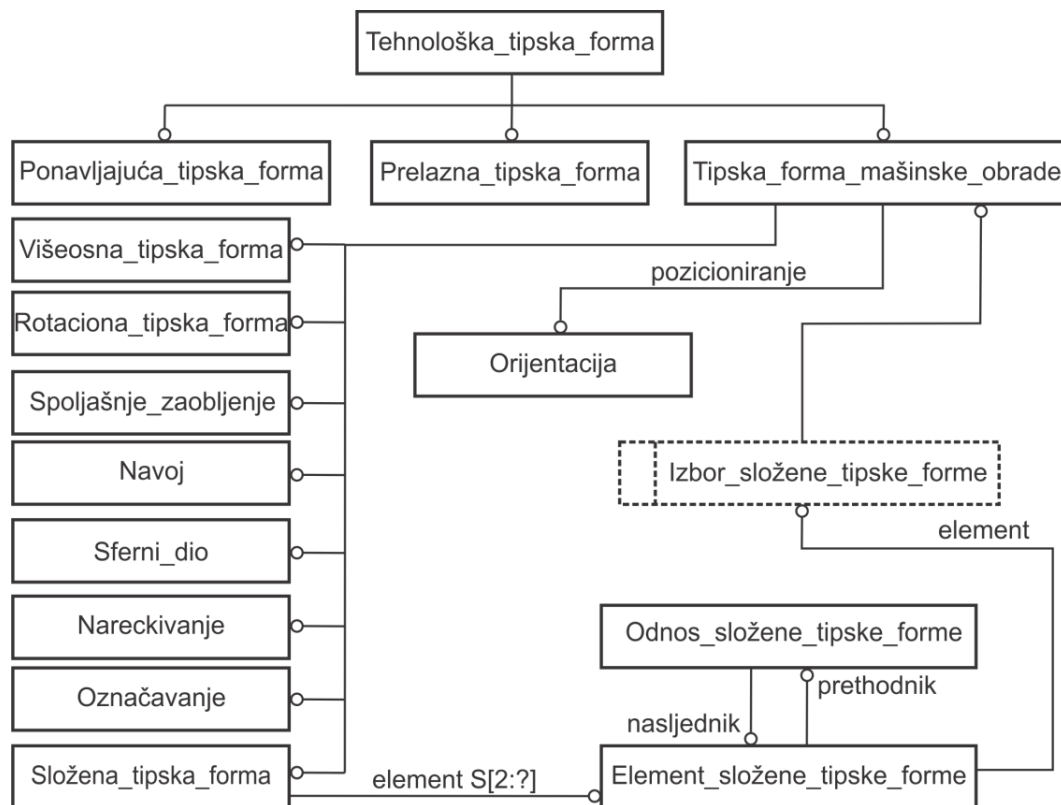
Klasifikacija tehnoloških tipskih formi prema različitim perspektivama kao što su: zahtjevi za informacionom podrškom, primjenljivost tipskih formi u različitim fazama proizvodnje, konfiguracija tipskih formi i profil tipskih formi, data je u tabeli 4.1.

Tabela 4.1 Klasifikacija tehnoloških tipskih formi prema različitim perspektivama [64]

Aspekt	Vrsta tipskih formi	Karakteristike
Zahtjev za informacionom podrškom	Tipske forme oblika Precizne tipske forme Tipske forme materijala	Veličina, oblik Tolerancija, kvalitet površine Tip i svojstva materijala
Primjenljivost tipskih formi u različitim fazama proizvodnje	Projektantske/konstruktivne tipske forme Tehnološke tipske forme Tipske forme montaže	Centralna linija, funkcija tipske forme Početna površina, metod izrade Linije, radijus, tolerancije
Konfiguracija tipske forme	Elementarne tipske forme Komponovane tipske forme Funkcionalne tipske forme	Otvor, stepenik, itd Stepenasti otvor Navoj na zavrtnju
Profil tipske forme	Prizmatične tipske forme Cilindrične tipske forme	Žljeb, džep, itd. Otvor, zaobljenje, luk, itd.

Međunarodna organizacija za standardizaciju objavila je AP224, kao dio STEP standarda ISO 10303-224:2001 pod nazivom „Industrijski automatizovani sistemi i integracija. Predstavljanje i razmjena podataka o proizvodu, Dio 224: Protokol o primjeni: Definicija

mašinskog proizvoda u svrhu projektovanja tehnoloških procesa pomoću tehnoloških tipskih formi“. U okviru ovog standarda data je klasifikacija tehnoloških tipskih formi. Gornji nivo klasifikacije definiše tehnološku tipsku formu kao entitet koji sadrži informacije neophodne za identifikaciju oblika koji predstavlja zapreminu materijala, koja treba da bude uklonjena sa priprema metoda mašinske obrade. Klasifikacija tehnoloških tipskih formi prema ISO 10303-224:2001 obuhvata: ponavljajuće tipske forme (eng. *Replicate_feature*), prelazne tipske forme (eng. *Transition_feature*) i tipske forme mašinske obrade (eng. *Machining_feature*). Oblici i struktura informacija o tehnološkim tipskim formama, prema ovoj klasifikaciji, prikazana je na slici 4.6, u vidu pojednostavljenog EXPRESS-G dijagrama.



Slika 4.6 Pojednostavljen EXPRESS-G dijagram klasifikacije tehnoloških tipskih formi

Autori širom svijeta daju svoj doprinos definisanju tehnoloških tipskih formi. Većina autora se slaže da je tehnološke tipske forme potrebno povezati sa odgovarajućim procesima obrade. Neke od značajnijih definicija tehnoloških tipskih formi su:

- Tehnološka tipska forma je dio radnog predmeta koji je izrađen pomoću odgovarajućeg procesa obrade metala rezanjem [65],
- Tehnološka tipska forma je definisana geometrijskim i tehnološkim entitetima koje karakterišu odgovarajući atributi. Geometrijski entiteti predstavljaju položaj, oblik, mjere i tolerancije, tehnološki entiteti predstavljaju elementarne operacije pomoću kojih je komponovana odgovarajuća forma, dok su atributi bitne karakteristike navedenih entiteta [66],
- Tehnološka tipska forma je obično definisana kao skup povezanih geometrijskih elemenata koje u cijelini odgovaraju određenoj metodi ili procesu obrade uklanjanjem viška materijala [49] i
- Tehnološke tipske forme su geometrijske forme koje imaju oblik povezan sa prepoznatljivim procesom obrade [67].

Na osnovu prethodnih definicija, može se zaključiti da tehnološka tipska forma predstavlja skup informacija, koje se mogu klasifikovati u sljedeće grupe:

- Informacije o klasi geometrijskog oblika (cilindrični dijelovi, prizmatični dijelovi, kombinovani dijelovi, dijelovi sa složenim površinama),
- Informacije o vrsti geometrijskog oblika (cilindar, džep, žljeb) i
- Informacije o uslovima izrade (kvalitet obrađene površine, tolerancije mjera, oblika i položaja).

4.6 TEHNIKE FORMIRANJA TIPSKIH FORMI

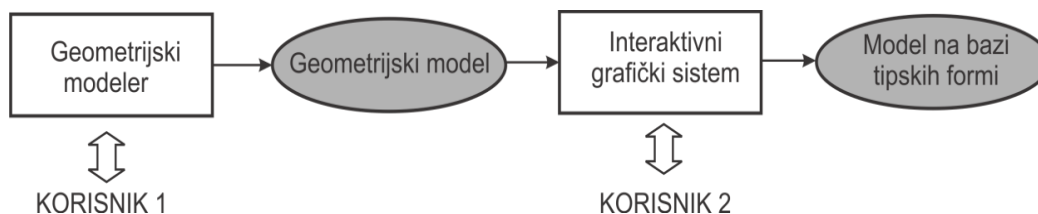
Razvojem informacionih tehnologija osmišljene su različite tehnike pri formiranju modela dijela ili sklopa na bazi tipskih formi. Ove tehnike mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije. Podjela se bazira na osnovu toga da li se tipske forme izdvajaju iz geometrije (FfG – eng. *Feature from Geometry*), ili se geometrija formira na bazi tipskih formi (GfF – eng. *Geometry from Features*).

FfG tehnike se zasnivaju na metodama za prepoznavanje tipskih formi, dok se GfF tehnike zasnivaju na metodama za projektovanje na bazi tipskih formi. FfG tehnike se implementiraju preko interaktivnog učešća korisnika prilikom procesa prepoznavanja tipskih formi ili preko automatizovanog procesa prepoznavanja tipskih formi pomoću računarskih algoritama [3], [49].

4.6.1 Interaktivno prepoznavanje tipskih formi

Tehnika interaktivnog prepoznavanja tipskih formi razvijena je prije nego što su se pojavili dostupni sistemi za projektovanje na bazi tipskih formi. Interaktivni pristup prepoznavanju tipskih formi (slika 4.7) razvijen je kako bi se obezbjedili podaci o tipskim formama u svrhu projektovanja tehnoloških procesa. U ovom pristupu prvo se kreira geometrijski model dijela korišćenjem zapreminskog modelera. Nakon toga, datoteka sa geometrijskim modelom prenosi se na grafički program koji obrađuje/analizira model dijela.

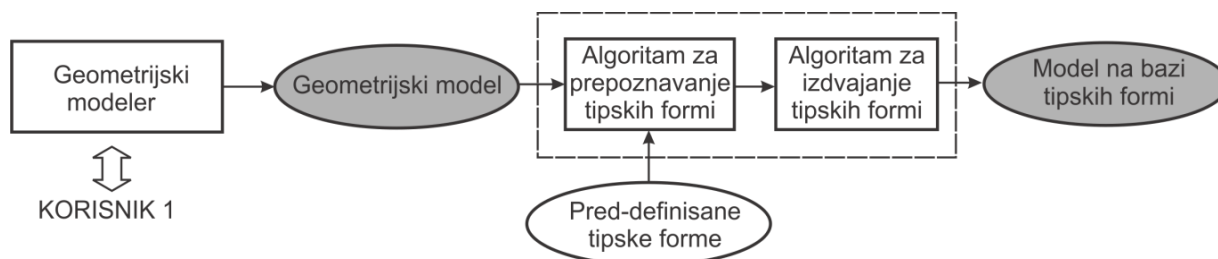
Analizirani model dijela omogućava korisniku da sagleda detaljnu geometriju dijela i izvrši prepoznavanje tipskih formi na interaktivni način. Prepoznavanje tipskih formi vrši se na način da korisnik interaktivno selektuje geometrijske entitete (strane, ivice, tjemena) iz modela dijela. Korisnik određenoj kombinaciji geometrijskih entiteta pridružuje odgovarajuću tipsku formu. Na ovaj način zapreminski model dijela, korak po korak, transformiše se u model dijela na bazi tipskih formi.



Slika 4.7 Interaktivni pristup prepoznavanju tipskih formi

4.6.2 Automatizovano prepoznavanje tipskih formi

Procesi projektovanja tehnoloških procesa, programiranja NUMA ili planiranja kontrole, u okviru simultanog inženjerstva, zahtijevaju automatizovan unos podataka o dijelu ili proizvodu, bez ljudskih intervencija. U tu svrhu razvijene su različite tehnike za automatizovano prepoznavanje tehnoloških tipskih formi, čija je opšta struktura prikazana na slici 4.8



Slika 4.8 Automatizovano prepoznavanje tehnoloških tipskih formi

Izlaz iz procesa automatizovanog prepoznavanja tipskih formi najčešće predstavlja zapreminski model dijela koji je modeliran na bazi tehnoloških tipskih formi. Tehnološka tipska forma, kao što je prethodno definisano, odnosi se najčešće na zapreminu koju je potrebno ukloniti postupcima mašinske obrade. U procesu izvođenja mašinske obrade potrebno je poznavati samo granice tehnoloških tipskih formi koje odgovaraju konačnim površinama obrade. U tom smislu razvijene su dvije grupe metoda za:

- *Prepoznavanje regiona mašinske obrade i*
- *Prethodno definisano prepoznavanje tipskih formi [3], [49], [68].*

Metode prepoznavanje granica mašinske obrade osmišljene su u cilju generisanja putanje alata za NUMA direktno iz CAD baze podataka. Cilj ovih algoritama je da se utvrdi zapremina dijela koju je potrebno ukloniti procesom mašinske obrade. Tehnike prepoznavanja granica mašinske obrade mogu se svrstati u tri kategorije [49]:

- *Tehnika presjeka,*
- *Tehnika dekompozicije konveksne ljuske i*
- *Tehnika ćelijske dekompozicije.*

Tehnika presjeka koristi se za generisanje granica tipskih formi koje odgovaraju granicama uklonjenog materijala na svakom od z-nivoa prilikom 2½D glodanja. Dio je orijentisan tako da se glavni pravci tipskih formi podudaraju sa tri ose glodanja. Zapremina dijela se presijeca ravninama paralelnim x-y ravni sa konstantnim porastom Δz vrijednosti. Rezultat jednog ili više presječnih profila predstavlja granicu dijela. Ovi profili se kasnije klasifikuju kao "materijal" ili "praznine" koje se koriste kao osnova za generisanje putanje alata za NUMA [49].

Tehnika dekompozicije konveksne ljuske koristi se za razlaganje zapremina u konveksne zapremine mašinske obrade. Dio se prvo oduzima od svoje konveksne ljuske i postupak se ponavlja dok svaka zapremina ne bude jednaka sopstvenoj konveksnoj ljusci. Konveksna ljuska objekta predstavlja minimalnu konveksnu zapreminu koja može u potpunosti obuhvatiti posmatrani objekat [69].

Dong J. i Vijayan S. [70] u svom radu opisuju sistem za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi na bazi optimalne dekompozicije zapremina. Ovaj pristup podrazumijeva da se

materijal, koga je potrebno ukloniti sa priprema, formira od elementarnih zapremina koje je moguće ukloniti jednim prolazom alata. Elementarne zapremine moguće je grupisati u obradljive zapremine - tipske tehnološke forme. Za grupisanje elementarnih zapremina u tipske tehnološke forme, u ovom radu, primjenjene su metode matematički programibilnih modela. Wang E., Kim S.K. i Wo Y. [71] u svom radu predstavljaju hibridni metod za prepoznavanje tipskih tehnoloških formi. Hibridni metod kombinuje tri tehnologije prepoznavanja formi i to: na bazi grafova, na bazi dekompozicije konveksnih zapremina i na bazi maksimalne dekompozicije zapremine. Autori na osnovu analize pomenutih metoda predlažu metodologiju koja koristi prednosti pomenutih metoda pri procesu prepoznavanja tipskih tehnoloških formi

Tehnika ćelijske dekompozicije može se posmatrati kao prostorni ekvivalent metode presjeka. Presjeci se generišu duž tri skupa paralelnih ravni, $x-y$, $y-z$, $z-x$, gdje X , Y , Z predstavljaju ose obrade troosne glodalice. Podjela ravninama generiše prostornu rešetku prizmi - ćelija. Nakon toga vrši se ispitivanje presjeka ovih ćelija sa gotovim dijelom. Ćelije se klasifikuju kao "ćelije priprema" ili "ćelije dijela", u zavisnosti od toga da li je presjek bliži 0 ili 1, respektivno. Tako se dobija prostorno dekomponovan model dijela. Susjedne ćelije priprema mogu biti povezane u svrhu generisanja putanje alata prilikom izrade upravljačkih programa [72].

U radovima Houshmand M. i sar. [73], Lu H. i sar. [74], Tuttle R. i sar. [75] predlažu se nove računarske podržane tehnike za automatizaciju prepoznavanja tehnoloških tipskih formi preko delta zapremina. Dekompozicijom zapremine dijela na delta zapremine dobija se veliki broj elementarnih ćelija i njihovih kombinacija. Uvođenjem automatizovanog generisanja, ocjenjivanja i procesa izbora elementarnih zapremina vrši se proces komponovanja i prepoznavanja tehnoloških tipskih formi za prizmatične dijelove. U radu [74] autori predlažu podjelu na jedinstvene tehnološke tipske forme, povezane tehnološke tipske forme i ostale zapremine koje ne mogu biti obrađene alatom konstantne orijentacije. Autori su razvili sistem koji generiše upravljački program na osnovu delta zapremina, a procedura generisanja se sastoji od pet koraka. Rad autora [75] opisuje razvoj algoritma koji je u mogućnosti da prepozna delta zapremine na svim stranama modela dijela, a ne samo na strani koja je normalna na osu alata prilikom procesa obrade.

Prethodno definisano prepoznavanje tipskih formi bazira se na pretraživanju, pronalaženju i poređenju odgovarajućih topoloških i geometrijskih obrazaca, iz geometrijskog modela dijela, koji odgovaraju unapred definisanim generičkim tipskim formama.

Konkretni zadaci prilikom prepoznavanja tipskih formi sastoje se od:

- *Pretraživanja geometrijskog modela dijela u svrhu podudaranja sa topološkim i geometrijskim obrascima,*
- *Izdvajanja prepoznatih tipskih formi iz geometrijskog modela,*
- *Određivanja parametra tipskih formi (prečnik, dubina),*
- *Kompletiranja geometrije tipskih formi (prirast ivica/strana, zatvaranje) i*
- *Kombinovanja jednostavnih tipskih formi u tipske forme višeg nivoa.*

Prethodno definisano prepoznavanje tipskih formi moguće je vršiti pomoću pristupa zasnovanog na zapreminama i pristupa zasnovanog na graničnim uslovima.

Pristup zasnovan na zapreminama koristi samo zatvorene zapremine, jer se sve tipske forme tumače kao kompletne, zatvorene ili cjelovite zapremine. Pristup zasnovan na zapreminama koristi CSG prezentaciju modela.

Pristup zasnovan na graničnim uslovima pronalazi skup strana koje zadovoljavaju uslov za određenu tipsku formu. Skupovi strana mogu kreirati zatvorenu ili otvorenu zapreminu. Pristup zasnovan na graničnim uslovima koristi graničnu prezentaciju modela, odnosno geometrijske i topološke odnose između graničnih entiteta, kako bi se izvršilo podudaranje sa unapred definisanim tipskim formama.

Postoji više metoda za automatsko prepoznavanje tehnoloških tipskih formi na dvodimenzionalnim ili trodimenzionalnim CAD modelima. Najčešće su u primjeni:

- *Sintatičko prepoznavanje oblika,*
- *Dijagrami stanja i automati,*
- *Logički pristup,*
- *Metod grafova,*
- *Metod zasnovan na nagovještajima i*
- *Kombinovani pristupi.*

Sintatičko prepoznavanje tehnoloških tipskih formi (eng - Sintatic Pattern Recognition) zasniva se na principima formalnog jezika u kojem se kombinuju riječi i rečenice korišćenjem postojećih znakova alfabeta. Tehnološke tipske forme mogu se, preko određenih pravila, predstaviti nizom znakova, odnosno sintaksom. U ovom slučaju gramatika u ovom "jeziku" predstavlja definiciju nekog geometrijskog oblika. Kada se sintaksa podudara sa gramatikom, odnosno definicijom nekog geometrijskog oblika, tada se može zaključiti da postoji tehnološka tipska forma koja se dalje može izdvojiti i klasifikovati. Semantički primitivi su niži geometrijski oblici (primitivi) od kojih je sastavljena tehnološka tipska forma. U ovom slučaju, semantički primitivi su tačno definisani pravcem i smijerom, dok je intenzitet definisan jedinicom dužine.

Primjer prostog CAPP sistema koji se bazira na metodi sintatičkog prepoznavanja tehnoloških tipskih formi koristi kao ulaznu informaciju DXF datoteku. DXF datoteka sadrži dvodimenzionalni model rotacionog dijela [76]. U ovom sistemu, kontura modela dijela opisuju se nizovima, iz kojih se kasnije izdvajaju tehnološke tipske forme.

Dijagrami stanja i automati (eng. State Transition Diagrams and Automats) zasnivanju se na uspostavi odgovarajuće gramatike. Ako se stanja zamijene neterminirajućim, a ulazi terminirajućim simbolima, može se definisati i napisati gramatika. Ovaj metod se uspješno primjenjuje prilikom projektovanja grupne tehnologije. Za svaki dio iz familije se razvija posebna gramatika, dok se za kompleksni dio razvija kompleksna gramatika. Svaki dio iz familije, kao i kompleksni dio ima jedinstveni automat (povezani graf). Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi zasniva se na provjeri, da li posmatrani dio zadovoljava automat. Ukoliko zadovoljava, isti pripada razvijenoj familiji. Ovaj metod se uspješno koristi za rotacione dijelove. S stanovišta izdvajanja tehnoloških tipskih formi sa složenijih prizmatičnih dijelova, ovaj metod daje veoma ograničene rezultate.

Na principu prepoznavanja tehnoloških tipskih formi primjenom dijagrama stanja i automata, razvijen je ekspertni CAPP sistem SAPT [77]. Ovaj sistem se zasniva na filozfiji grupne i

tipske tehnologije i predstavlja svojevrsni hibridni sistem. SAPT sistem je jedan među prvim ekspertnim sistemima u svijetu, koji u okviru baze znanja obuhvata grupnu tehnologiju.

Logički pristup u prepoznavanju tehnoloških tipskih formi (eng - Logic Approach) zasniva se na prevođenju produkcionih pravila u logičke obrasce zasnovane na uslovima. Svaka tehnološka forma može se opisati pravilima baziranim na geometrijskim (primitivi), topološkim (odnos između primitiva) i negeometrijskim informacijama (kvalitet obrade, tolerancije). Navedena pravila, odnosno oblici formi, hijerarhijski se raspoređuju od najjednostavnijeg do najsloženijeg. Pravila za definisanje forme su struktuisana u vidu stabla. Ovaj pristup može se primjeniti na modele bazirane na B-rep i CSG prezentaciji geometrije. Izdvajanje tehnološke tipske forme vrši se samo u slučaju kada su ispunjena sva jednoznačno definisana pravila koja opisuju datu tehnološku tipsku formu.

Nasr, E.A. i sar. [78] koriste metodologiju inteligentnog prepoznavanja tehnoloških tipskih formi (IFRM). U cilju razvoja sistema za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi za različite CAD/CAM sisteme autori su iskoristili generisanje 3D modela preko CSG prezentacije. Sistem kao ulaz koristi IGES fajl i prevodi ga u datoteku sa tehnološkim informacijama. B-rep geometrijske informacije analiziraju se preko programa za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi na bazi pristupa geometrijskog zaključivanja (GRA).

Botef I. [79] je razvio sistem koji se bazira na CAD/CAPP integraciji. Autor pokazuje da je moguće integrisati geometrijske i tehnološke podatke pomoću ograničenog broja tipskih tehnoloških formi. Autor je uspio uspostaviti vezu između tehnoloških tipskih formi, za razliku od mnogih prethodnih pokušaja prepoznavanja „forma po forma“. Sistem je razvijen za operacije struganja i bazira se na znanjima o činjenicama, procedurama i produkcionim pravilima „ako je - onda je“.

Jovišević V., Todić V. [80] prikazuju koncept izgradnje ekspertnog sistema za projektovanje tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra. Za funkcionalnu tehnološku grupu hidrauličnih cilindara definisana je logika geometrijskog i tehnološkog prepoznavanja dijelova. U razvoju ovog ekspertnog sistema autori su koristili prednosti ekspertske ljuske BEST u odnosu na klasično programiranje. Autori su usvojili pristup da se znanja iz oblasti tehnologije izrade hidrauličnih cilindara prethodno identifikuju, a zatim koristeći produkciona pravila unesu u bazu znanja

Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi metodom grafova koristi B-rep prezentaciju CAD modela dijela. Model dijela na bazi B-rep granične prezentacije transformiše se u karakteristični atribut grafik susjednih strana na modelu (*Attributed Adjacency Graph - AAG*). Graf se, unutar memorije računara, predstavlja kao trodimenzionalna matrica, a isti se vizuelno predstavlja kao grafik sa atributima koji opisuju svaku vezu između susjednih strana modela. Čvor u grafiku predstavlja stranu na modelu (graničnu površ). Povezanost između dvije strane modela prikazana je vezom između čvorova u grafu. Ukoliko su dvije strane susjedne, onda se između odgovarajućih čvorova u grafu uspostavlja veza. Dvije povezane (susjedne) strane na CAD modelu mogu biti konkavne ili konveksne. Oblik susjednosti se označava odgovarajućim simbolom (brojem, ocjenom). Ukoliko su dvije susjedne strane konkavne, odgovarajućoj vezi između čvorova u grafu se dodjeljuje atribut označen nulom (0). S druge strane, ukoliko su dvije susjedne strane konveksne, odgovarajućoj vezi u grafiku dodjeljuje se atribut označen jedinicom (1).

Nemogućnost razlučivanja interakcije između tehnoloških tipskih formi osnovni je nedostatak ove metode. Nedostatak metode prepoznavanja tehnoloških tipskih formi pomoću grafova

susjednosti je njena ograničenost primjene samo na prizmatičnim modelima, a i u tom slučaju bazira se na ograničenom skupu tehnoloških tipskih formi. Matematički i logički algoritmi za opis i izdvajanje tehnoloških tipskih formi, zasnovani na osnovama nauke o grafovima, su vrlo složeni. CAPP sistem koji koristi ovaj metod nije efikasan. Za prevazilaženje evidentnih problema metode grafova, razvijena je metoda višestrukog atribut grafika susjednosti (MAAG – eng. *Multi Attributed Adjacency Graph*), koja rješava problematiku interakcije između tehnoloških tipskih formi, jer opisuje susjednost strana dodjeljivanjem preciznih atributa.

Yang Y.N. [81] opisuju prototip sistem za projektovanje tehnoloških procesa na bazi tipskih tehnoloških formi. Sistem omogućava projektovanje tehnoloških procesa direktno iz CAD sistema i dostupnih tehnoloških kapaciteta. Sistem analizira zahvate sa stanovišta mogućnosti njihove realizacije i potrebnih vremena obrade. Razvijeni sistem je implementiran pomoću C programskog jezika i CLIPS ekspertnog sistema. Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi izvršeno je pomoću kombinacije algoritama baziranih na grafovima i pravilima.

Abu R. i Tap M. [82] implementirali su tehnologiju prepoznavanja tehnoloških tipskih formi na bazi atributa. Kao attribute autori predlažu ukupni broj strana, ukupan broj ivica, tip strane kao i karakteristike tehnološke tipske forme. Predložen model realizovan je korišćenjem GRIP programiranja i Unigraphic solid modelera. Rezultati istraživanja pokazuju mogućnost prepoznavanja tipskih tehnoloških formi preko jedinstvenog razvijenog skupa atributa.

Lee H.C. i sar. [83] su istraživali generativni CAPP sistem koji se bazira na projekcijskom prepoznavanju tehnoloških tipskih formi. Autori su istraživanja usmjerili na kompozitne tehnološke tipske forme koje su nastale kao kombinacija jednostavnih tehnoloških tipskih formi. Jednostavne tehnološke tipske forme u odnosu na kompozitne forme uglavnom imaju prednost u pogledu izvođenja procesa obrade. Kompozitne forme klasifikovane su na bazi lokacije forme i ograničenja u procesu obrade. U okviru ovog rada dat je algoritam za prepoznavanje kompozitnih tehnoloških tipskih formi direktno iz CAD modela. Nakon izvršenog procesa prepoznavanja tehnoloških tipskih formi podaci se dalje prenose prema algoritmu za projektovanje tehnoloških procesa. Algoritam za projektovanje tehnoloških procesa bazira se na topološkom razvrstavanju i pretraživanju „najširih“ grafova.

Ando K. i sar. [84] su istraživali i razvili biblioteku tehnoloških tipskih formi u cilju razvoja CAPP sistema. Autori opisuju kreiranje ontologije tehnoloških tipskih formi u svrhu razvoja biblioteka tehnoloških tipskih formi. Ontologija tehnoloških tipskih formi bazira se na posmatranju iz perspektive projektanta, kako bi se izvršio opis funkcionalnih podataka (entiteta) koji čine konstrukciju tehnoloških tipskih formi. Cilj razvoja biblioteke tehnoloških tipskih formi je automatizacija izdvajanja odgovarajućih tehnoloških informacija u cilju projektovanja tehnoloških procesa. Razvoj tehnoloških tipskih formi baziran je na metodi relacionih grafova.

Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi metodom matrične interpretacije (AAM – eng. Active Appearance Model) razvijeno je na bazi predstavljanja trodimenzionalnog modela dijela pomoću dvodimenzionalnog grafa susjednosti i dvodimenzionalne matrice. Svojstva AAM pristupa, koji koristi B-rep prezentaciju geometrije modela, su:

1. Za svaku stranu modela postoje jedinstvena kolona i i jedinstvena vrsta j ,
2. Za svaku ivicu modela postoji predikat veze a_{ij} u skupu $A[I, J]$ koji odgovara strani i i j ,
3. Za svaki predikat veze a_{ij} , vrijednosti se definišu na sljedeći način:

– Ne postoji susjednost između strana	0
– Dvije ravne strane čine konveksan ugao (270^0)	7

– Dvije ravne strane čine konkavan ugao (90^0)	4
– Ravna i kriva strana čine konkavan ugao (90^0)	1
– Ravna i kriva strana čine konveksan ugao (270^0)	2
– Dvije ravne strane čine konveksan ugao ($\neq 270^0$)	6

Na osnovu navedenih definicija tehnološke tipske forme mogu se prevesti u dvodimenzionalnu matricu. Tehnološke tipske forme definišu se kao podmatrice, koje predstavljaju osnovu njihovog prepoznavanja

Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi zasnovano na nagovještajima (eng. *Hint Based Approach*) predstavlja hibridni pristup u kojem se kombinuju logički pristup i metoda grafova. Ova metoda fleksibilnije rješava problematiku interakcije između tehnoloških tipskih formi. Metoda zasnovana na nagovještajima razmatra topološke, geometrijske i heurističke informacije (elemente) na modelu dijela, koje predstavljaju nagovještaje prisutnih tehnoloških tipskih formi. Nagovještaji tehnoloških tipskih formi nalaze se na granicama "delta zapremine". Proces prepoznavanja zasniva se na generisanju informacije o najvećoj mogućoj tehnološkoj tipskoj formi, nakon čega se testira njena validnost.

U jednom od pristupa [85], koji se bazira na ovim principima, tehnološke tipske forme prepoznaju se korišćenjem ortogonalnog i izometrijskog prikaza modela dijela, kod kojih se izuzimaju skrivene ivice. Kao ulaz u razvijeni sistem služi grafički prikaz projekcija u tehničkom crtežu, pri čemu se provodi procedura:

- *Tražnja profila odnosno traženja 2D kontura u ortogonalnim projekcijama,*
- *Kompletiranje tehnološke tipske forme odnosno utvrđivanje zapremine šupljina koji odgovaraju konturama i*
- *Validacija na izometrijskom prikazu dijela.*

Osnovni nedostatak ovog pristupa ogleda se u tome da na modelu postoji više nagovještaja nego tehnoloških tipskih formi. Jasno je da izvjestan broj nagovještaja ne upućuje na validnu tehnološku tipsku formu. Broj nagovještaja na modelu može se ograničiti polinomski – $O(n^2)$, gdje je n broj ravnih strana na modelu. Međutim, ni ovo ograničenje ne garantuje da će se na osnovu nagovještaja identifikovati validna tehnološka tipska forma

Gao S. i Shah J.J. [86] predstavljaju metodologiju za efikasno prepoznavanje izolovanih i presječnih tehnoloških tipskih formi na jedinstven način. Pri tome autori kombinuju konvencionalne metode bazirane na grafovima i nagovještajima. Prvo se vrši prepoznavanje izolovanih tehnoloških tipskih formi na bazi MFAG (Grafika susjednih strana tehnoloških tipskih formi). Presječne tehnološke tipske forme se na osnovu uslova minimalnog postojanja podgrafika MFAG prepoznaju na bazi metode nagovještaja.

Verma A.K. i Rajotia S. [87] razvili su sistem za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi za 2,5D radne predmete sa proizvoljnim presjecima formi, na principu nagovještaja. Razvijeni predprocesor koristi se za skeniranje 2,5D radnih predmeta na automatizovan način i pri tome se računaju mogući pravci obrade. Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi započinje sa identifikacijom tragova tehnoloških tipskih formi prisutnih na modelu dijela. Kada je trag pronađen primjenjuje se geometrijsko rezonovanje u svrhu računanja ostalih parametara kako bi se kompletirali podaci o tehnološkoj tipskoj formi. Sistem je razvijen za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi u obliku otvora, linijskih i kružnih žljebova.

4.6.3 Projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi

Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi moguće je samo kada je dostupan geometrijski model dijela, bilo direktno iz CAD sistema ili preko neutralnog formata CAD podataka kao što je IGES ili STEP. S druge strane, poboljšano okruženje koje se zasniva na direktnom konstruisanju dijela pomoću tehnoloških tipskih formi, omogućava projektantu u isto vrijeme generisanje geometrijskih i atribut baziranih informacija o dijelu ili sklopu. Ovakav pristup naziva se projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi.

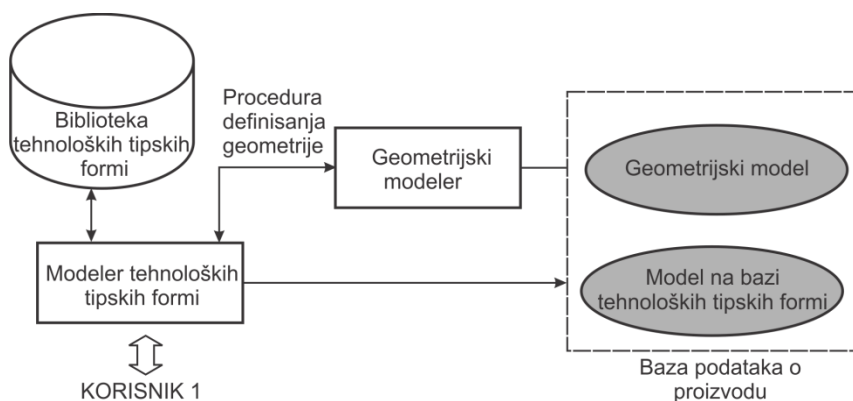
Postoje dvije metodologije projektovanja na bazi tehnoloških tipskih formi i to:

- *Destruktivna metoda projektovanja na bazi zapremina tehnoloških tipskih formi i*
- *Sinteze na bazi tehnoloških tipskih formi za projektovanje.*

Navedene metodologije podrazumijevaju direktno formiranje geometrijskih modela pomoću tehnoloških tipskih formi. Sistem za projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi (slika 4.9) sadrži generičke definicije tehnoloških tipskih formi koje su smještene u biblioteci tehnoloških tipskih formi.

Pri projektovanju na bazi tehnoloških tipskih formi, tehnološke tipske forme pozivaju se iz biblioteke tehnoloških tipskih formi i vrši se njihovo podešavanje. Podešavanje tehnoloških tipskih formi vrši se, u okviru geometrijskog modelera, u smislu definisanja vrijednosti njihovih geometrijskih, tehnoloških i dodatnih atributa. Nakon podešavanja, tehnološka tipska forma se pozicionira na prethodno modeliran polazni oblik dijela pomoću parametara lokacije. Uspostavljanje odnosa pozicionirane tehnološke tipske forme u odnosu na polazni oblik dijela vrši se metodom destrukcije ili sinteze [3], [49], [88].

Destruktivna metoda projektovanja bazirana je na oduzimanju zapremina tehnoloških tipskih formi. Zapreminski model priprema, iz kojeg se treba izraditi posmatrani mašinski dio, predstavlja početni korak u destruktivnoj metodi projektovanja na bazi zapremina tehnoloških tipskih formi. Proces modeliranja dijela izvodi se oduzimanjem od priprema tehnoloških tipskih formi koje odgovaraju zapremini materijala uklonjenog postupkom mašinske obrade. Ovako definisana metodologija omogućava simultan rad na projektovanju tehnološkog procesa.



Slika 4.9 Projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi

Metoda sinteze na bazi projektantskih tipskih formi omogućava da modeliranje dijela bude izvršeno i dodavanjem i oduzimanjem tehnoloških tipskih formi. U okviru sinteze nije neophodno da početak modeliranja dijela započne od modela priprema.

4.6.4 Poređenje tehnika formiranja tehnoloških tipskih formi

Svaka od tri osnovne tehnike formiranja tehnoloških tipskih formi, odnosno interaktivnog oblikovanja tehnoloških tipskih formi, automatskog prepoznavanja i projektovanja na bazi tehnoloških tipskih formi, ima svoje prednosti i nedostatke.

Metod interaktivnog prepoznavanja tehnoloških tipskih formi je relativno lako implementirati. U okviru ove metode izdvajaju se samo tipske forme koje su predmet interesa za aplikaciju (na primer za projektovanje tehnoloških procesa) dok nije potrebno analizirati kompletan model dijela. Interaktivno prepoznavanje velikog broja tehnoloških tipskih formi postaje dugotrajan i proces podložan greškama, jer je korisnik odgovoran za verifikaciju i kvalitet izdvojenih tehnoloških tipskih formi. Ovaj zadatak je složen po svojoj prirodi, a pored toga, ovaj pristup je uopšteno okvalifikovan kao neefikasan [53].

Glavna prednost automatskog prepoznavanja tehnoloških tipskih formi je da ovaj pristup ne nameće bilo koja projektantska ograničenja, proces geometrijskog rezonovanja vrši se iz zapreminskog modela dijela. Neke od slabosti pristupa automatskog prepoznavanja tehnoloških tipskih formi su:

- *Razvijeni algoritmi su veoma složeni, sofisticirani i zavisni od modela,*
- *Mogućnosti prepoznavanja tehnoloških tipskih formi od strane većine pristupa su veoma ograničene,*
- *Većina pristupa prepoznavanja tehnoloških tipskih formi teško prepoznaje složene tipske forme i*
- *Prepoznavanje tehnoloških tipskih formi je otežano zbog nedostatka informacija u vezi sa tehnološkim atributima (npr. tolerancije, kvalitet površinske obrade, specifikacija materijala) u strukturi podataka zapreminskog modela.*

Prednost projektovanja na bazi tehnoloških tipskih formi omogućava projektantima da prenesu u model, ne samo tehnološke tipske forme koje su važne za funkciju i oblik dijela, nego i njihove šeme prezentacije dimenzija, tolerancija i drugih kodiranih informacija. To dalje omogućava projektantima da brže i sa manje napora konstruišu dio, kao i da izvrše brze promjene na modelu dijela. Model dijela kreiran na bazi tehnoloških tipskih formi je informaciono bogatiji. To je model višeg nivoa koji postaje dostupan za naredne (proizvodne) aplikacije.

Hounsell [54] identifikuje sljedeće prednosti pristupa projektovanja na bazi tehnoloških tipskih formi:

- *Ovaj pristup čuva i manipuliše sa velikim skupom negeometrijskih informacija, pored same geometrije modela [89],*
- *Korišćenje prirodnijeg načina projektovanja, koji je bliži projektantskoj stručnosti, rezultuje povećanjem efikasnosti projektovanja,*
- *Upotrebom dostupnog skupa tehnoloških tipskih formi doprinosi se konceptu standardizacije i*
- *Olakšava se integracija sa alatima za projektovanje i drugim aplikacijama, kao što su CAPP i CAM.*

Jedan od nedostataka, koji se pominje, u literaturi je način na koji većina komercijalnih sistema rukuje sa tehnološkim tipskim formama. Ovi sistemi koriste istorijski zasnovan pristup, koji zavisi od redoslijeda kreiranja i odnosa između tehnoloških tipskih formi, čija je slabost nedostatak smisla [58]. Bidarra i Bronsvort [58] predlažu semantički pristup

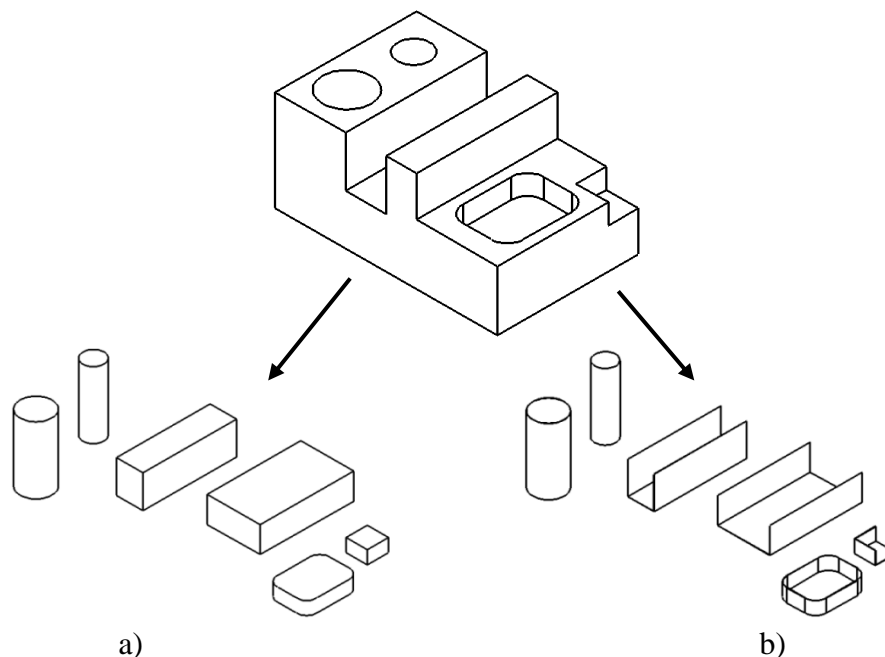
modeliranja pomoću tehnoloških tipskih formi gdje se definisanje tehnoloških tipskih formi i održavanje modela vrši odvojeno i čuva u deklarativnom modelu podataka. Ipak, glavni nedostatak predstavlja ograničavanje unapred definisanog skupa tehnoloških tipskih formi koje ograničavaju kreativnost korisnika ovih sistema [49], [53], [54].

4.7 MODELIRANJE NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSKIH FORMI

Kreiranje modela tehnoloških tipskih formi, kao i modeliranje proizvoda (dijelova, sklopova) vrši se korišćenjem metodologija:

- *Linijskog modeliranja,*
- *Površinskog modeliranja i*
- *Zapreminskog modeliranja.*

Linijsko i površinsko modeliranje tehnoloških tipskih formi rijetko se koristi prilikom kreiranja modela proizvoda (dijela). Primjena ovih metodologija modeliranja zadržana je samo u ograničenom broju aplikacija za modeliranje specifičnih industrijskih proizvoda.



Slika 4.10 Zapreminski i površinski opis tehnoloških tipskih formi

Zapreminsko modeliranje tehnoloških tipskih formi danas se primjenjuje u gotovo svim oblastima projektovanja proizvoda pomoću računara. Zapreminski model tehnoloških tipskih formi omogućava brojne prednosti jer sadrži informacije o zapremini koju tijelo i/ili tehnološka tipska forma zauzima. Za ovaj model kaže se da je to informaciono kompletna predstava tehnološke tipske forme. Dva glavna pristupa zapreminskog načina modeliranja tehnoloških tipskih formi su modeliranje pomoću konstruktivne čvrste geometrije (*CSG – eng. Constructive Solid Geometry*) i graničnih površina (*B-Rep – eng. Boundary Representation*).

Ove metode razlikuju se po strukturama podataka koje se koriste za internu računarsku prezentaciju tehnoloških tipskih formi. Zapreminski način modeliranja pomoću CSG pristupa omogućava da se model tehnološke tipske forme konstruiše iz skupa 3D osnovnih zapremina (kvadar, valjak, kugla, kupa i torus) [90]. Korišćenjem B-Rep pristupa, prilikom vršenja

zapreminskog modeliranja, model tehnološke tipske forme opisan je njegovim graničnim površinama ili omotačem. Model dijela prikazan na slici 4.10.a) modeliran je pomoću tehnoloških tipskih formi na bazi CSG pristupa, dok slika 4.10.b) prikazuje model dijela modeliranog na bazi B-rep pristupa. Detaljan opis metodologija za modeliranje proizvoda dat je u poglavlju 2.

4.8 RAČUNAROM PODRŽANO PROJEKOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSkih FORMI

4.8.1 Ulazne informacije u CAPP sistem na bazi tehnoloških tipskih formi

Prilikom manualnog projektovanja tehnološkog procesa, tehnolog mora poznavati dva skupa informacija, i to:

- *Geometrijska i tehnološka ograničenja dijela i*
- *Proizvodne resurse dostupne u proizvodnom pogonu.*

Na ovaj način, tehnički crtež može se smatrati kao most između projektovanja dijela i manualnih funkcija projektovanja tehnoloških procesa. Analogno, razvoj i implementacija CAPP sistema zahteva računarom podržano modeliranje:

- *Informacija o dijelu preko modela dijela, odnosno geometrijskom prezentacijom modela dijela. Informacije iz geometrijskog modela dijela obezbjeđuju uglavnom dimenzione karakteristike dijela,*
- *Informacija o proizvodnim resursima. Ove informacije treba da budu dostupne tokom postupka odlučivanja u okviru realizacije CAPP aktivnosti i*
- *Informacija o tehnološkom procesu. Ove informacije uključuju izlazne informacije iz CAPP sistema u vidu strukturisanog oblika tehnološke dokumentacije.*

Računarom podržano projektovanje proizvoda (dijela) postalo je ključni istraživački problem od kada je uveden koncept računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa. Postoje tri osnovne grupe podataka koje u potpunosti opisuju sadržaj projektovanja dijela:

- *Geometrijski podaci. Ova vrsta podataka prezentuje osnovni opis oblika dijela, i to: prečnik otvora, dubina žljeba, dužina dijela i dr.,*
- *Tehnološki podaci. Informacije koje se odnose na tolerancije dimenzija, oblika i položaja, kao i kvalitet površinske obrade mogu se nazvati tehnološkim podacima i*
- *Opšti podaci. Određene opšte karakteristike koje se odnose na dio kao cjelinu, često se dodaju kao projektantske specifikacije. Ovi opšti atributi (podaci) uključuju količinu koja se proizvodi, materijal, broj dijela, naziv dijela, funkcionalne specifikacije dijela i druge detalje zavisne od namjene dijela.*

4.8.2 Modeli podataka za razvoj CAPP sistema na bazi tehnoloških tipskih formi

Osnovni preduslov za uspostavljanje integracije između aktivnosti projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških procesa i drugih aktivnosti na bazi tehnoloških tipskih formi predstavlja definisanje modela podataka tehnoloških tipskih formi. Model podataka tehnoloških tipskih formi treba da obezbijedi:

- *Nedvosmisleno predstavljanje tehnoloških tipskih formi,*
- *Jednostavan pristup informacijama,*
- *Hijerarhiju između tehnoloških tipskih formi,*

- *Mogućnost interpretacije nezavisno od programskog i računarskog sistema (softvera i hardvera) i*
- *Usaglašenost sa postojećim standardima,*

Model podataka tehnološke tipske forme predstavlja strukturu podataka kojom se predstavlja segment dijela ili sklopa, prvenstveno u smislu njegovih sastavnih karakteristika. Svaka od sastavnih karakteristika, u modelu tehnološke tipske forme, predstavlja prepoznatljiv entitet koji ima eksplicitnu prezentaciju. Oblik tehnološke tipske forme može biti izražen u smislu dimenzionih parametara i određenog broja geometrijskih i topoloških entiteta i odnosa. Druge informacije u smislu inženjerskog značaja mogu da podrazumevaju formalizaciju funkcija za koju tehnološka tipska forma služi, ili način na koji tehnološka tipska forma može biti izrađena, ili koji koraci moraju biti preduzeti prilikom izvršavanja inženjerske analize ili procjene, ili kako se tehnološka tipska forma "ponaša" u različitim situacijama. U zavisnosti od vrste dijela ili sklopa i njegove primjene, bira se model tehnološke tipske forme koji može da podrži zahtjevane vrste i količine informacija.

Modeliranjem dijela ili sklopa pomoću ovako izabranog modela tehnoloških tipskih formi omogućava dostupnost velikog spektra informacija u svim fazama projektovanja i realizacije proizvoda. Ukoliko se tokom modeliranja pojave novi zahtjevi, oni se mogu ugraditi u model tehnološke tipske forme i kasnije iskoristiti u daljim fazama projektovanja i realizacije proizvoda. Upravo ova prilagodljivost tehnološke tipske forme čini je toliko moćnim konceptom u modernom inženjerstvu.

Jedna od metoda koja omogućava opis modela podataka koji ispunjava sve navedene podatke je metod predstavljen pomoću EXPRESS jezika, koji je definisan ISO 10303-11 standardom [91]. Tehnološke tipske forme se pomoću EXPRESS jezika predstavljaju preko hijerarhijsko definisanih entiteta koji na ovaj način obezbjeđuju konzistentnost i eliminišu ponavljanje podataka.

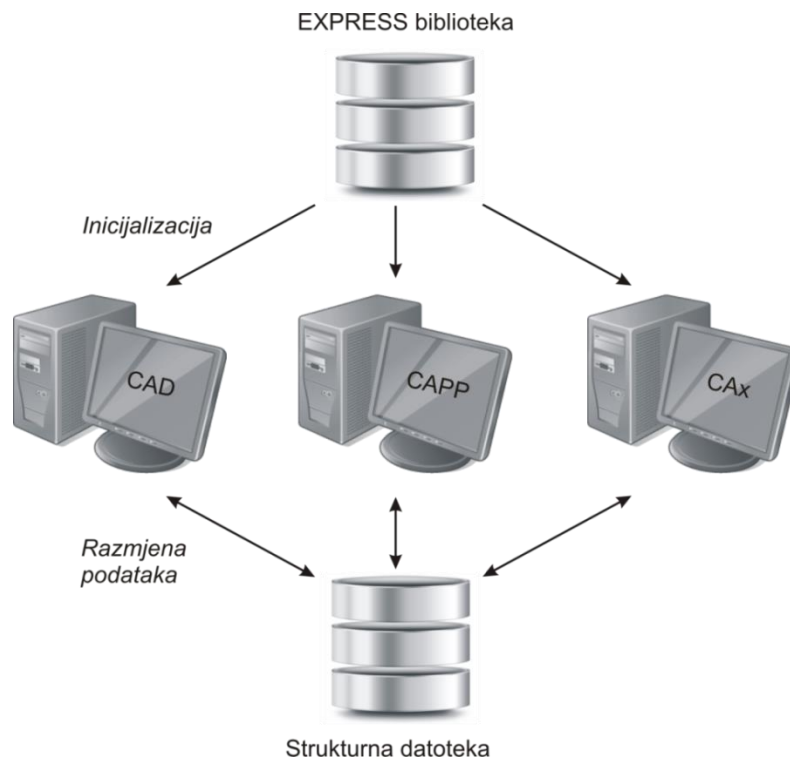
U okviru EXPRESS jezika razlikuju se dva tipa predstavljanja podataka i to preko :

- *EXPRESS biblioteke tehnoloških tipskih formi i*
- *Strukturne datoteke u skladu sa ISO 10303-21 [92].*

EXPRESS biblioteke tehnoloških tipskih formi sastoje se od unaprijed definisanih obrazaca (EXPRESS šema) za sve objekte potrebne za CAD, CAPP i ostale sisteme koji se koriste u životnom vijeku proizvoda.

Prilikom projektovanja dijela, vrši se definisanje objekata i atributa iz EXPRESS biblioteke tehnoloških tipskih formi i na taj način kreiraju instance objekata koje su predstavljene u okviru strukturne datoteke (Slika 4.11). Pri formiranju instance objekta, projektant mora svim atributima dodijeliti konkretne vrijednosti koje su neophodne za opis objekta. Nakon završetka projektovanja, proizvod ili dio se memoriše u vidu STEP strukturne datoteke.

Prilikom projektovanja tehnoloških procesa STEP strukturna datoteka učitava se u CAPP sistem na bazi STEP-a. CAPP sistem na bazi STEP standarda ima mogućnost prepoznavanja svih obrazaca odnosno objekata i atributa. Na ovaj način uspostavljena je integracija CAD/CAPP aktivnosti na bazi tehnoloških tipskih formi primjenom EXPRESS jezika i STEP standarda.



Slika 4.11 Koncept toka razmjene podataka između CAx sistema primjenom EXPRESS jezika

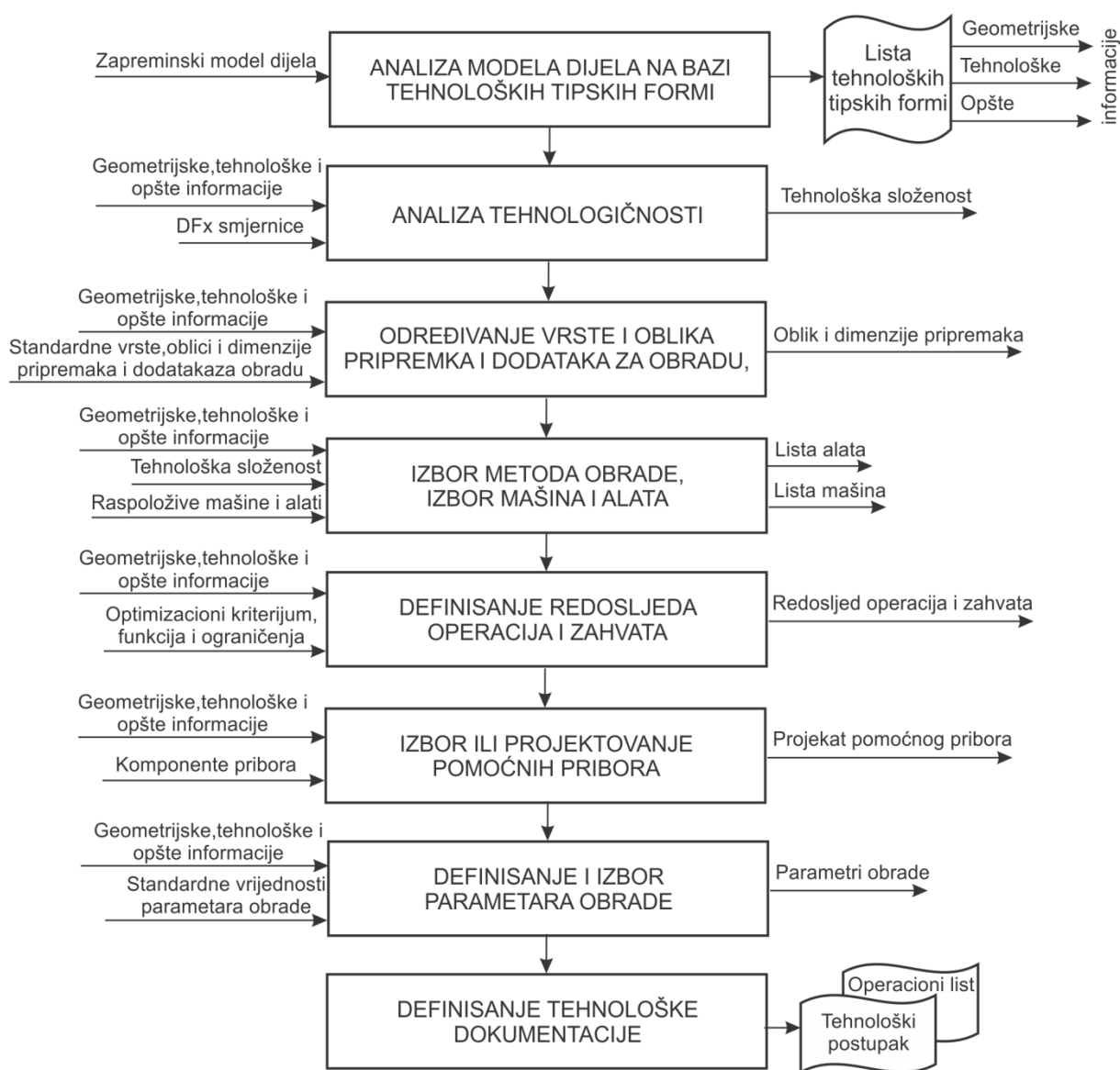
4.8.3 Primjena CAPP sistema na bazi tehnoloških tipskih formi

Osnovna razlika između aktivnosti računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi i konvencionalnog pristupa projektovanju tehnoloških procesa ogleda se u korišćenju modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi umjesto tehničkih crteža ili konvencionalnog CAD modela. U toku primjene CAPP sistema na bazi tehnoloških tipskih formi koriste se geometrijske, tehnološke i opšte informacije koje se nalaze u modelu dijela modeliranog na bazi tehnoloških tipskih formi.

Ukoliko se posmatra struktura aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa prikazana na slici 4.12, računarom podržano projektovanje tehnološkog procesa na bazi tehnoloških tipskih formi obuhvata:

1. *Opštu analizu modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi.* Opšta analiza modela dijela obuhvata izdvajanje i sistematizaciju podataka koji se nalaze u modelu dijela na bazi tehnoloških tipskih formi. Podaci se najčešće sistematizuju kao geometrijske, tehnološke i informacije opšeg karaktera. Implementacijom tehnika objektno orijentisanog programiranja i baza podataka, u okviru CAD programskog sistema, vrši se realizacija ove aktivnosti.
2. *Analizu tehnološkiosti modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi.* Ova analiza obuhvata, pored analize tehnološkiosti, dijela i analizu tehnološkiosti pojedinačnih tehnoloških tipskih formi. Analiza tehnološkiosti se sastoji od analize geometrijskog oblika dijela, mjera i tolerancija, površinske hrapavosti, materijala i zahtjevane količine proizvoda/dijelova. Ova aktivnost bazirana je na principima projektovanja za izvrsnost (*DFx – eng. Design for Excellence*). Ekspertni sistemi na bazi pravila najčešće se koriste prilikom implementacije analize tehnološkiosti.

3. *Određivanje vrste i polaznog oblika materijala, kao i dodataka za obradu.* Ovi elementi tehnološkog procesa definišu se na osnovu gabaritnih dimenzija modela dijela i tehnoloških tipskih formi koje čine model dijela, kao i količine proizvoda/dijelova. Realizacija ove aktivnosti vrši se pretraživanjem i upoređivanjem izdvojenih geometrijskih i tehnoloških podataka, sa podacima koji se nalaze u bazama podataka materijala i dodataka za obradu.
4. *Izbor metoda obrade, mašina i alata za izradu odgovarajućih tehnoloških tipskih formi.* Prilikom realizacije ove aktivnosti uzima se u obzir tehnološka složenost dijela, planirane količine dijelova, kao i odgovarajući podaci iz modela podataka tehnološke tipske forme. Ove informacije predstavljaju ulazne podatke za izbor pomenutih elemenata tehnološkog procesa. U ovu svrhu najčešće se primjenjuju tehnike bazirane na znanju i vještačkoj inteligenciji (ekspertni sistemi, neuronske mreže).



Slika 4.12 Struktura aktivnosti računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi

5. *Definisanje redosljeda obrade, operacija i zahvata prema prioritetu tačnosti i tehnološkim ograničenjima.* Definisanje redosljeda operacija i zahvata vrši na osnovu broja i vrste tehnoloških tipskih formi, izdvojenih podataka, kao i informacija iz prethodno izvršenih aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa. U ovu svrhu najčešće se primjenjuju tehnike bazirane na heurističkim metodama vještačke inteligencije (genetski algoritmi, optimizacija na bazi čestica rojeva).
6. *Izbor ili projektovanje pomoćnih pribora.* Realizacija ove aktivnosti vrši se na bazi prethodno definisanih informacija u pogledu izbora polaznog oblika materijala, izbora mašina, alata, redosljeda izvođenja operacija i zahvata. Važan podatak predstavlja položaj, raspored i veličina tehnoloških tipskih formi u odnosu na ishodište koordinatnog sistema modela dijela. Primjenom algoritamskih metoda i metoda vještačke inteligencije (ekspertni sistemi) vrši se realizacija računarnom podržanog projektovanja (izbora) pomoćnih pribora.
7. *Definisanje i izbor parametara obrade.* Definisanje i izbor parametara obrade vrši se za svaki zahvat, što omogućava određivanje vremena i troškova obrade radi procjene ekonomskih efekata. Redosljed i sadržaj zahvata obrade vezani su za tehnološke tipske forme. Prema tome, parametri obrade isključivo zavise od vrste tehnološke tipske forme, kao i geometrijskih i tehnoloških informacija koje sadrži tehnološka tipska forma. Generisanje parametara obrade vrši se primjenom tehnoloških baza podataka i metoda vještačke inteligencije (neuronske mreže, fuzzy logika).
8. *Izrada tehnološke dokumentacije.* Izrada tehnološke dokumentacije najčešće uključuje formiranje operacionog lista i sadržaja tehnološkog procesa. Ova aktivnost realizuje se na osnovu rezultata svih gore navedenih aktivnosti projektovanja tehnološkog procesa.

Instituti, preduzeća i istraživači širom Svijeta uložili su ogromne napore u cilju razvoja nezavisnih CAPP sistema ili CAD/CAPP integrisanih sistema baziranih na konceptu tehnoloških tipskih formi. U nastavku su data neka od najznačajnijih dostignuća u ovoj oblasti.

4.9 PREGLED ISTRAŽIVANJA SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA NA BAZI TEHNOLOŠKIH TIPSKIH FORMI

Za projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi razvijen je veliki broj sistema. Sistemi za projektovanja proizvoda na bazi tehnoloških tipskih formi (*FBDS – eng. Feature Based Design System*) razvijeni su kao samostalni FBDS, integrisani u postojeće CAD sisteme ili u integraciji sa sistemom za projektovanje tehnoloških procesa. Na osnovu dostupne literature neki od ovih sistema opisani su u nastavku.

EFMS (*EFMS – eng. Expert Feature Modeling Shell*) predstavlja ljusku za modeliranje na bazi tehnoloških tipskih formi koja je razvijena na Državnom univerzitetu Arizone u SAD [93]. EFMS je sistem namijenjen za projektovanje, dokumentovanje i evaluaciju dijelova i organizovan je kroz dvije ljuske. Jednu u svrhu definisanja proizvoda i drugu, u svrhu mapiranja i primjene tehnoloških tipskih formi. EFMS može biti prilagođen od strane preduzeća koje ga koristi u smislu definisanja tehnoloških tipskih formi u svrhu projektovanja. EFMS se sastoji od tri modelera, od kojih svaki podržava jedan tip tehnoloških tipskih formi, i to: tipske forme oblika, precizne tipske forme i tipske forme materijala.

QTC je skraćenica za brzo izmjenljivu ćeliju (*QTC – eng. Quick Turnaround Cell*), sistem koji je razvijen od strane Chang i sar. [94]. QTC koristi destruktivnu metodu projektovanja na bazi zapremina tehnoloških tipskih formi. QTC korisnici prvo podešavaju zapreminu priprema, koja je uvijek prizmatičnog oblika. Nakon toga, korisnici podešavaju i pozicioniraju tehnološke tipske forme na pripremak pomoću Bool-ovih operatora. Tehnološka tipska forma odgovara uklonjenoj zapremini sa priprema.

Sanii i Davis razvili su okvir za sistem za distribuirano projektovanje tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi (*DiCAPP – eng. distributed computer aided process planning*) [95]. DiCAPP koristi IGES format podataka prilikom opisa modela dijela baziranog na tehnološkim tipskim formama. DiCAPP sistem obuhvata šest nivoa uticaja na projektovanje tehnoloških procesa od strane dinamičkih promenljivih u proizvodnji, a to su: raspoloživost sirovina, opreme, objekata, radne snage, zatim potrebne količine za proizvodnju i trenutno proizvodno opterećenje. Pomoću DiCAPP sistema vrši se podjela projektovanja tehnološkog procesa na sedam nivoa: nivo strategije, nivo pripreme, nivo operacija, nivo stezanja/podešavanja, nivo alata, nivo putanja alata i nivo parametara mašinske obrade.

FDG predstavlja grafikon zavisnosti tehnoloških tipskih formi (*FDG – eng. Feature Dependency Graph*), koga su razvili Sheu i Lin u Nacionalnom Tsing Hua univerzitetu na Tajvanu [96]. Grafikon zavisnosti tehnoloških tipskih formi predstavlja odnose između tehnoloških tipskih formi u modelu dijela. Operatori za pozicioniranje tehnoloških tipskih formi djeluju kao mostovi između zavisnih tehnoloških tipskih formi u FDG. Svaka tehnološka tipska forma oblika sastoji od B-rep modela za predstavljanje njene zapremine, skupa apstraktnih mjernih entiteta za podršku procesa dimenzionisanja, skupa parametara kojima se kontrolišu unutrašnji atributi, skupa lokacija za relativno lociranje u odnosu na roditelj tehnološke tipske forme i skupa ograničenja kojima se definiše posebno ponašanje prilikom pozicioniranja i dimenzionisanja.

EXPO predstavlja objektno-orijentisan sistem za projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi koji podržava simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa [88]. U EXPO skup primitiv tehnoloških tipskih formi ugrađen je u biblioteku na osnovu AutoCAD12-AME naprednog proširenja za modeliranje (*AME – eng. Advanced Modeling Extension*). AutoCAD12 AME predstavlja sistem za geometrijsko modeliranje, koji se bazira na CSG zapreminskom modeleru. AME koristi se za definisanje nominalne geometrije osnovnog priprema, tehnoloških tipskih formi, međuoblika dijela i završnog oblika dijela. Prilikom modeliranja dijela, EXPO koristi destruktivnu metodu projektovanja na bazi zapremina tehnoloških tipskih formi. Početni pripremak je definisan prije definisanja tehnoloških tipskih formi. Konačni oblik dijela dobija se oduzimanjem tehnoloških tipskih formi od baznog dijela/priprema. Njihove hijerarhijske granične informacije, kao što su zapremine, strane, ivice i tjemena mogu se dobiti putem procesa evaluacija granica.

U sistemu koji je razvio Das i sar. [97], model na bazi tehnoloških tipskih formi (FBM) generiše se iz zapreminskog modela dijela na bazi pristupa prepoznavanja tehnoloških tipskih formi. Sistem generiše više različitih tehnoloških tipskih formi, što zahtijeva evaluaciju tehnoloških tipskih formi u svrhu projektovanja izvodljivog tehnološkog procesa. Simultano korišćenje FBM i standardnog zapreminskog modela dijela, omogućava planiranje operacija mašinske obrade i automatizovano planiranje pribora. Ovaj sistem pripada sekvencijalnom pristupu projektovanja tehnoloških procesa, gdje se aktivnost prepoznavanja tehnoloških tipskih formi odvija prije i nezavisno od aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa.

ZD - MCADII predstavlja sistem za modeliranje proizvoda, razvijen u Institutu za vještačku inteligenciju Univerziteta Zhejiang u Kini [98]. To je parametarsko orijentisani sistem za modeliranje na bazi tehnoloških tipskih formi koji je integrisan sa CAPP / CAM sistemima. Kako bi se olakšao proces projektovanja proizvoda, modeliranje na bazi tehnoloških tipskih formi u ZD-MCADII omogućava da se prilikom modeliranja koriste standardne i korisnički definisane projektantske tipske forme. Ovaj sistem se sastoji od tri osnovna modula i to:

- Modula za tehnološke tipske forme,
- Modula za ažuriranje tehnoloških tipskih formi i
- Modula za mapiranje tehnoloških tipskih formi.

ZD-MCADII omogućava projektantu da pomoću modula za tehnološke tipske forme konstruiše sopstvenu biblioteka tehnoloških tipskih formi sa korisnički definisanim atributima. ZD- MCADII modul za ažuriranje tehnoloških tipskih formi omogućava projektantu da modifikuje tehnološke tipske forme preko izbora dimenzije i unošenja novih numeričkih vrijednosti. Korišćenjem modula za mapiranje tehnoloških tipskih formi, ZD – MCADII sistem je u stanju da konvertuje projektantsku tipsku formu u tehnološku tipsku formu, koja se kasnije koristi u aplikacijama za CAPP i CAM.

Tseng i Lin [99] su predstavili studiju za generisanje putanja alata na bazi tehnoloških tipskih formi, za prizmatične dijelove, koje se realizuju procesom mašinske obrade. U okviru studije razvijene su metode za generisanje putanja alata za različite vrste predefinisanih tehnoloških tipskih formi. Kao rezultat metoda mogu se odrediti i povezati skupovi putanja alata za obradu sa skupovima tehnoloških tipskih formi. Nakon povezivanja vrši se evaluacija skupova putanja alata na osnovu razlike u dužini i vremenu trajanja obrade za svaki skup tehnoloških tipskih formi. Skup putanja alata koji kao rezultat daje kraće vrijeme obrade skupa tehnoloških tipskih formi smatra se boljim. Dijelovi koji se posmatraju u ovoj studiji su prizmatičnog oblika koji se obrađuju procesom mašinske obrade na troosnoj NU glodalici ili obradnom centru.

FEBDAPP je skraćena za sistem za projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi (*FEBDAPP – eng. Feature-Based Design And Process Planning*) koga je razvio Febransiah i predstavio u svojoj doktorskoj disertaciji u North Carolina Državnom Univerzitetu [100]. To je hibridni sistem koji uključuje projektantske tipske forme i pristup za automatizovano prepoznavanje tehnoloških tipskih formi. Uključivanjem prednosti oba pristupa, sistem pruža projektantu više fleksibilnosti u procesu modeliranja dijela. Sistem zahtijeva jednostavnije algoritme za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi nego drugi pristupi za automatizovano prepoznavanje tehnoloških tipskih formi, jer se proces projektovanja odnosno modeliranja dijela vrši na bazi tehnoloških tipskih formi. Sistem se sastoji od tri glavna podsistema i to za: (1) modeliranje dijela, (2) mapiranje tehnoloških tipskih formi, i (3) CAPP integraciju. U podsistema za modeliranje dijela, projektanti koriste unapred definisane tehnološke tipske forme u svrhu projektovanja CAD modela dijela. Proces mapiranja tehnoloških tipskih formi koristi se kako bi se izdvojile sve informacije potrebne za naredne proizvodne aplikacije. Razvijeni interfejs na bazi CAD obezbjeđuje integraciju sa CAPP.

Zhang i Xue [101] uvode prezentaciju šema za baze podataka i baze znanja na osnovu tehnoloških tipskih formi, koje se koriste za modeliranje distribuiranih baza podataka i baza znanja. Tipske forme su definisane u dva nivoa: nivo klasa i nivo instanci koje su u vezi sa generičkim bibliotekama proizvoda i specifičnim podacima o proizvodu. Proces rezonovanja vrši se pomoću produkcionih pravila koja se nalaze u bazi znanja, tako da je sadržaj

tehnološke tipske forme povezan sa određenim brojem produkcionih pravila. Na ovaj način ubrzava se proces pretraživanja i proces projektovanja proizvoda.

Zimmermann i sar. [102] uvode pristup na bazi objedinjenog modela inženjerskih objekata (ULEO – eng. *Universal Linking of Engineering Objects*) u oblast razvoja proizvoda na bazi tehnoloških tipskih formi. ULEO pristup ima za cilj omogućavanje kvalitetnog protoka informacija između aplikacija i generisanja modela proizvoda na bazi tehnoloških tipskih formi. ULEO je uveden kako bi se omogućilo da sve vrste aplikaciono specifičnih, standardizovanih i nestandardizovanih inženjerskih objekata budu uređeni prema jedinstvenoj i globalno dostupnoj klasifikaciji.

Patil i Pande [103] razvili su sistem za inteligentno projektovanje tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi (IFPP – eng. *Intelligent Feature-based Process Planning*). IFPP sistemom vrši se sinteza modela dijela i projektovanje tehnoloških procesa za prizmatične dijelove koji se izrađuju na NU obradnim centrima. IFPP se sastoji od dva funkcionalna modula: modul za modeliranje na bazi tehnoloških tipskih formi (FBM) i modul za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa (AutoPlan). FBM obezbjeđuje grafičko okruženje za sintezu, validaciju i prezentaciju zapreminskog modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi. AutoPlan mapira informacije o tehnološkim tipskim formama sa odgovarajućim postupcima mašinske obrade u svrhu kreiranja tehnološkog procesa i odgovarajućeg NU programa. NU program je jedinstven jer je funkcionalno povezan sa podacima o tehnološkoj tipskoj formi. Ova veza ostvarena je primjenom parametarskih programskih objekata koji se nalaze u okviru NU kontrolera. IFPP je praktično potvrđen preko modeliranja proizvoda, projektovanja tehnoloških procesa i mašinske obrade na NU obradnom centru sa FANUC kontrolerom.

Gonzalez i Rosado [104] razvili su prototip CAPP sistem (GF-CAPP – eng. *General Flexible Computer Aided Process Planning*), čija je svrha postizanje koncepta uopštenosti i standardizacije u CAPP sistemu na nivou procesa i mašina. Metodologija korišćena u GF-CAPP sistemu bazira se na posmatranju tehnoloških tipskih formi, kao atoma koji čine dio, za koga je potrebno projektovati tehnološki proces. Cilj GF-CAPP sistema je da se izvrši izbor i pridruživanje procesa, operacija i mašina za svaku tehnološku tipsku formu. U toku izbora i pridruživanja smiju se koristiti samo informacije koje obezbjeđuje posmatrana tehnološka tipska forma.

J. G. Cherng i sar. [105], predlažu metodologiju za generativno i varijantno projektovanje tehnoloških procesa za brzu proizvodnju. U varijantnom režimu projektovanja tehnoloških procesa vrši se pretraživanje i poređenje postojećih modela dijelova sa posmatranim modelom dijela. Ukoliko se pronađe sličan model dijela, vrši se uklanjanje, dodavanje i ažuriranje redosljeda operacija i zahvata. U generativnom režimu, zadaci projektovanja tehnoloških procesa su podijeljeni na aktivnosti koje se grupišu u dvije faze: makro projektovanje i mikro projektovanje. Makro projektovanje definiše pripremak, izbor metoda za proizvodnju, generisanje proizvodnih operacija i redosljed procesa proizvodnje. Mikro projektovanje uključuje izbor alata, pribora i steznih uređaja, izbor opreme, proračun parametara mašinske obrade, izbor metoda kontrole i kontrolnih instrumenata, evaluaciju proizvodnog vremena i procjenu troškova, kao i optimizaciju tehnološkog procesa.

U sistemu koga su razvili A. Gayretli i H. S. Abdall [106], kao ulaz koristi se zapreminski model dijela iz CAD modelera. Preko korisničkog interfejsa, korisnik unosi zahteve kao skup ograničenja. Sistem preuzima oblike tehnoloških tipskih formi i parametre iz baze podataka

tehnoloških tipskih formi u svrhu izbora izvodljivih procesa. Zatim se vrši izbor mašina, alata i parametara mašinske obrade. Na osnovu ograničenja i izabranih elemenata tehnološkog procesa, u okviru sistema vrši se proračun vremena i troškova za svaki proces.

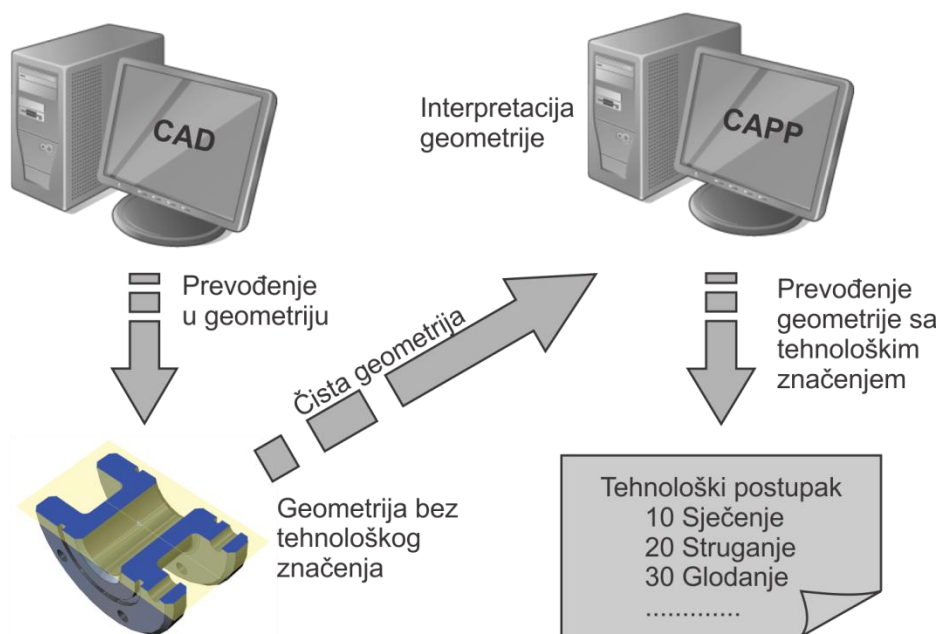
Y. S. Kim i sar. [107] predlažu metodologiju za projektovanje tehnoloških procesa za operacije struganja i glodanja. U svrhu prepoznavanja tehnoloških tipskih formi za projektovanje koristi se geometrija dijela. Tehnološke tipske forme za projektovanje konvertuju u zapremine mašinske obrade pogodne za struganje i glodanje. Zapremine mašinske obrade povezuju se sa odgovarajućim klasama procesa mašinske obrade, na osnovu čega se određuje odnos predhođenja između zapremina mašinske obrade.

5. INTEGRACIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA

Tehnologije bazirane na računaru podržanom projektovanju proizvoda, računaru podržanom projektovanju tehnoloških procesa, računaru podržanoj proizvodnji i numeričkom upravljanju, razvijene su do nivoa kada se relativno lako mogu realizovati pojedinačna komercijalna programska rješenja od velike koristi za industrijske sisteme. Koncept simultanog inženjerstva i računaru podržane proizvodnje zahtijeva da bude omogućen pristup svim informacijama, u svakoj fazi životnog vijeka proizvoda. To je moguće ostvariti uspostavljanjem jedinstvenog modela podataka i integracijom gore pomenutih tehnologija.

U određenim segmentima životnog vijeka proizvoda uspješno se realizuje integracija računaru podržanih tehnologija. Generisanje programa za NUMA uspješno se realizuje korišćenjem zapreminskih modela dijelova. Međutim, CAD/CAPP/CAM tehnologije, uopšteno posmatrano, nisu povezane u jedinstvenu cjelinu. U praksi nije uspostavljen odgovarajući nivo intergacije ovih tehnologija i programskih sistema.

Najviše prepreka pri integraciji CAD/CAPP/CAM tehnologija javlja se u području računaru podržanog projektovanja tehnoloških procesa. Izlaz iz faze računaru podržanog projektovanja proizvoda predstavlja zapreminski model dijela, koji se sastoji od geometrijskih informacija bez tehnološkog značenja. Osnovni problem koji se javlja prilikom CAD/CAPP integracije predstavlja prevođenje geometrijskih informacija, iz zapreminskog modela dijela, u tehnološke informacije (slika 5.1). Prilikom procesa prevođenja dolazi do gubitka geometrijskih i/ili tehnoloških informacija, što ovaj process čini veoma složenim. To je zbog toga, jer još uvijek ne postoji eksplicitna metoda, tehnika ili pristup koji daje zadovoljavajuće rezultate prilikom prevođenja geometrijskih informacija u tehnološke informacije. Rješavanje ovog problema, odnosno potpuno obezbjeđenje prevođenja geometrijskih u tehnološke informacije, predstavlja ključnu aktivnost CAD/CAPP integracije.



Slika 5.1 Prevođenje geometrijskih informacija iz zapreminskog modela dijela [5]

Prevođenje geometrijskih informacija u informacije sa tehničkim značenjem, moguće je izvršiti u tri nivoa, koji odgovaraju i nivoima integracije CAD/CAPP aktivnosti. Na prvom nivou, odnosno najnižem nivou, integracija CAD/CAPP aktivnosti ne postoji. Projektantske informacije postoje na papiru u vidu inženjerskih crteža i specifikacija. Crteži se prenose kao informacije "preko zida" do tehnologa koji projektuju tehnološke procese i programe za NUMA. Ova praksa je dugotrajna, podložna greškama, intenzivna i skupa.

Drugi nivo integracije CAD/CAPP aktivnosti egzistira, preko informacija o grafičkom projektovanju/modeliranju, u formi digitalnih podataka dobijenih iz CAD sistema. Projektantski podaci direktno ili indirektno prenose se do tehnologa, kao ulaz u CAPP sisteme i sisteme za generisanje programa za NUMA. Integracija CAD/CAPP aktivnosti na ovom nivou najčešće se vrši primjenom tehnika izdvajanja i prepoznavanja tehnoloških tipskih formi. U okviru ovog nivoa integracije, postoje dva pristupa razmjene podataka između CAD i CAPP sistema, direktni i indirektni pristup.

Direktnim pristupom, informacije se razmjenjuju jednosmerno iz CAD sistema prema CAPP sistemu. Ovi podaci obično postoje u standardnom formatu i razmjenjuju se u obliku neutralne datoteke ili preko prevodioca datoteka. Indirektnim pristupom, informacije se razmjenjuju jednosmerno iz CAD sistema do zajedničke baze podataka, a zatim prema CAPP sistemu. Iako je ovim pristupima postignut značajan napredak u odnosu na scenario bez integracije, problemi postoje i na ovom nivou. Ovaj scenario ne podržava simultani inženjerski pristup, jer programski sistemi nisu kompatibilni. Projektantske i tehnološke aktivnosti nezavisne su jedne od drugih, dok računarom podržane aplikacije djeluju kao "ostrva automatizacije". Programski sistemi za ove aktivnosti, izrađeni od strane različitih proizvođača, koji mogu biti pokrenuti na različitim hardverskim i softverskim platformama, često ne podržavaju i ne olakšavaju međusobni prenos informacija. Nespojivost prezentacije podataka i ograničena veza između ovih sistema dodatno usložnjava njihovu izolaciju. Posebno u slučaju direktnog pristupa, integritet podataka ne može biti osiguran. Korisnici često moraju čuvati dijelove podataka o životnom ciklusu proizvoda u različitim formatima i na različitim lokacijama, što dovodi do pojave redundantnih i nekonzistentnih podataka. Trend koji se u današnje vrijeme pojavljuje u praksi može se okarakterisati kao prelazak sa direktnog na indirektni pristup razmjene podataka i uspostavljanja CAD/CAPP integracije.

Treći nivo integracije CAD/CAPP aktivnosti razmatra odnose između aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, u cilju podrške principima simultanog inženjerstva. Pored razmijene inženjerskih informacija, ovaj nivo integracije mora da obezbijedi mehanizme za međusobnu razmjenu informacija i usluga. Ovi mehanizmi mogu uključivati, između ostalog, unaprijed definisane modele podataka, interfejs protokole i neutralne standarde za prezentaciju informacija. Treći nivo integracije najčešće se realizuje razvojem CAD/CAPP programskih sistema na bazi tehnoloških tipskih formi sa primjenom nekog od pomenutih mehanizama razmjene informacija.

Računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa je neophodna aktivnost CIM koncepta, koja se nalazi između CAD tehnologija, sa jedne strane, i CAM tehnologija, sa druge strane. Izostankom CAD/CAPP/CAM integracije uspostavljanje cijelog CIM koncepta dovodi se u pitanje.

Prema tome, integracija sistema za računarom podržano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa je od vitalnog značaja i ključni element, kako za uspostavljanje izvornog

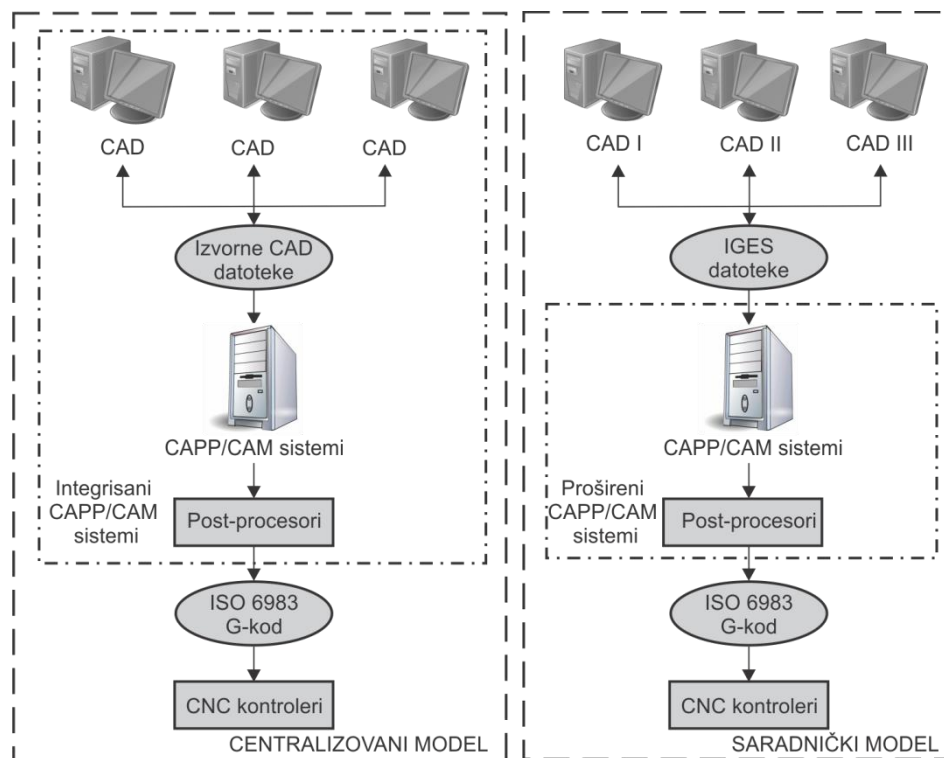
CIM koncepta i implementacije simultanog inženjerstva, tako i za konkurentnost proizvođača i njihovih sposobnosti da brzo reaguju na promjene na tržištu.

5.1 MODELI CAD/CAPP/CAM INTEGRACIJE

U istraživačkim naporima za realizaciju CAD/CAPP/CAM integracije, izdvajaju se dvije vrste tradicionalnih modela, centralizovani i saradnički model [108].

Centralizovani model CAD/CAPP/CAM integracije odgovara stanju proizvodnih aktivnosti koje se pojavljuju u okruženju jednog ili nekoliko preduzeća, koja imaju sličnu informacionu infrastrukturu. U ovom modelu, najčešće se koriste originalni (izvorni) formati podataka. Originalni proizvođači CAD/CAM programskih sistema uspješno razvijaju interne formate podataka kako bi njihovi sistemi podržali određen nivo CAD/CAM integracije. Prednosti ovog modela su očigledne, jer je sa istim formatom podataka eliminisana međusobna nekompatibilnost CAD/CAM programskih sistema. Neki od takvih programskih sistema uključuju Creo®, Catia® i UGS®.

U saradničkom modelu, potrebno je izvršiti uvođenje dodatnog modula koji ima za cilj uspostavljanje veze između CAD/CAPP/CAM programskih sistema različitih proizvođača. Dodatni modul može se bazirati na neutralnom formatu za razmjenu podataka. Saradničke aktivnosti u proizvodnom okruženju znatno su olakšane uvođenjem dodatnog modula u model razmjene podataka. Tok podataka za centralizovani i saradnički model CAD/CAPP/CAM integracije prikazan je na slici 5.2.



Slika 5.2 Dva tradicionalna modela integracije CAD / CAPP / CAM / CNC [108]

Postoje značajne mogućnosti i izazovi za realizaciju viših nivoa integracije između aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Integraciju višeg nivoa ovih aktivnosti moguće je realizovati primjenom različitih tehnika i tehnologija, i to:

- Primjenom neutralnih standarda za razmjenu podataka,
- Primjenom tehnologija na bazi aplikativnog programskog interfejsa,
- Uključivanjem metoda vještačke inteligencije i
- Primjenom agent tehnologija.

5.2 CAD/CAPP INTEGRACIJA BAZIRANA NA PRIMJENI NEUTRALNIH STANDARDI ZA RAZMJENU PODATAKA

Izlaz iz aktivnosti projektovanja dijela pomoću CAD sistema predstavlja zapreminski model zapisan i memorisan u digitalnom formatu, specifičnom za svakog proizvođača CAD sistema. Učitavanje zapreminskog modela u drugi CAD programski sistem ili CAPP sistem nije moguće bez upotrebe prevodioca digitalnih podataka. Upotreba prevodioca digitalnih podataka pokazala se nedovoljno konzistentnim, sa čestim pojavama grešaka, dugotrajnim i skupim procesom. Da bi se ovaj problem prevazišao, istraživačka zajednica je ponudila rješenje u vidu neutralnih standarda za predstavljanje i razmjenu podataka.

Proizvođači CAD sistema uglavnom prihvataju ove standarde, tako da se pored zapisivanja podataka u formatu specifičnom za određenog proizvođača, može vršiti izvoz podataka u usvojenom standardu za predstavljanje i razmjenu podataka. Na ovaj način omogućava se povezivanje programskih sistema različitih proizvođača i namjena. Zapreminski model projektovan i sačuvan u jednom CAD programskom sistemu moguće je uvesti u drugi CAD ili CAPP programski sistem.

Najznačajniji standardi za predstavljanje i razmjenu podataka u oblasti računarom podržanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa su: IGES (IGES – eng. *Initial Graphics Exchange Specification*), SET (SET - fran. *Standard D'Exchange et de Transfert*), VDAFS (VDAFS - njem. *Verband der Automobilindustrie-Flachen-Schnittstelle*) i STEP (STEP – eng. *Standard for The Exchange of Product model data*). IGES, SET i VDAFS standardi koji definišu neutralni oblik zapisa geometrije, ali ipak nijedan nije u potpunosti zadovoljio potrebe korisnika. Prednosti implementacije ovih standarda ogleдалe su se u zadovoljavajućem nivou prevodenja modela predstavljenih preko linijske i površinske prezentacije. Ovi standardi relativno pouzdano djeluju prilikom prenosa 2D crteža ili kod prenosa i razmjene površina. Nedostaci se ogledaju u otežanom prevodenju zapreminskih modela, kao i potrebom uključivanja korisnika prilikom prepoznavanja i razmjene podataka. Oni su ograničeni na geometrijske podatke i često se pojavljuju teškoće s različitim verzijama standarda, kada po pravilu dolazi do gubitka topologije modela.

5.2.1 STEP standard

Sredinom 80-tih godina prošlog vijeka, u okviru razvojnog tima IGES standarda, formirana je grupa za razvoj projekta za razmjenu podataka o proizvodima PDES (PDES – eng. *Product Data Exchange Specification*), koji obuhvata najnovija dostignuća računarskih tehnologija. Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO (ISO – eng. *International Standardization Organization*) je istovremeno, u cilju prevazilaženja nedostataka standarda za prepoznavanje i razmjenu podataka, pristupila razvoju standarda za razmjenu podataka o modelu proizvoda, poznat kao STEP standard. Udruživanjem napora nastao je STEP standard koji je definisan kao međunarodni standard, sa oznakom ISO 10303, za računarom razumljiv prikaz podataka o proizvodu. Cilj standarda je osiguranje neutralnog mehanizma za opis i razmjenu podataka o proizvodu, tokom cijelog životnog vijeka proizvoda, nezavisno od sistema koji ga koristi.

Priroda datog opisa čini STEP standard pogodnim, ne samo za razmjenu podataka u neutralnom formatu, nego i kao osnovu za implementaciju baze podataka o proizvodu, koje mogu poslužiti za arhiviranje i podjelu podataka između različitih korisnika i aplikacija. Početno zamišljeni kontekst korišćenja standarda može se podijeliti na:

- *Razmjenu podataka o proizvodu,*
- *Podjelu podataka o proizvodu i*
- *Arhiviranje podataka o proizvodu.*

STEP standard sastoji se od kompleksne strukture i velikog broja dijelova koji definišu razmjenu podataka u različitim oblastima primjene. ISO je sredinom 1995. godine objavio početno izdanje STEP međunarodnog standarda koji je sadržavao ISO 10303 dijelove: 1, 11, 21, 31, 41, 42, 43, 44, 46, 101, AP-201 i AP-203. U oblasti CAD/CAPP integracije važno je istaći sljedeće dijelove standarda ISO 10303:

- *ISO 10303-11 Industrijski sistemi automatskog upravljanja i integracije - Predstavljanje i razmjena podataka o proizvodu - Dio 11: Metode opisivanja: Referentni priručnik EXPRESS jezika [91],*
- *ISO 10303-42 Industrijski sistemi automatskog upravljanja i integracije - Predstavljanje i razmjena podataka o proizvodu – Dio 42: Integrisani generički resursi: Geometrijska i topološka prezentacija [109] i*
- *ISO 10303-224 - Industrijski sistemi automatskog upravljanja i integracije - Predstavljanje i razmjena podataka o proizvodu – Dio 224: Aplikacioni protokol: Definisane mašinskih proizvoda u svrhu projektovanja tehnoloških procesa korišćenjem tehnoloških tipskih formi [110].*

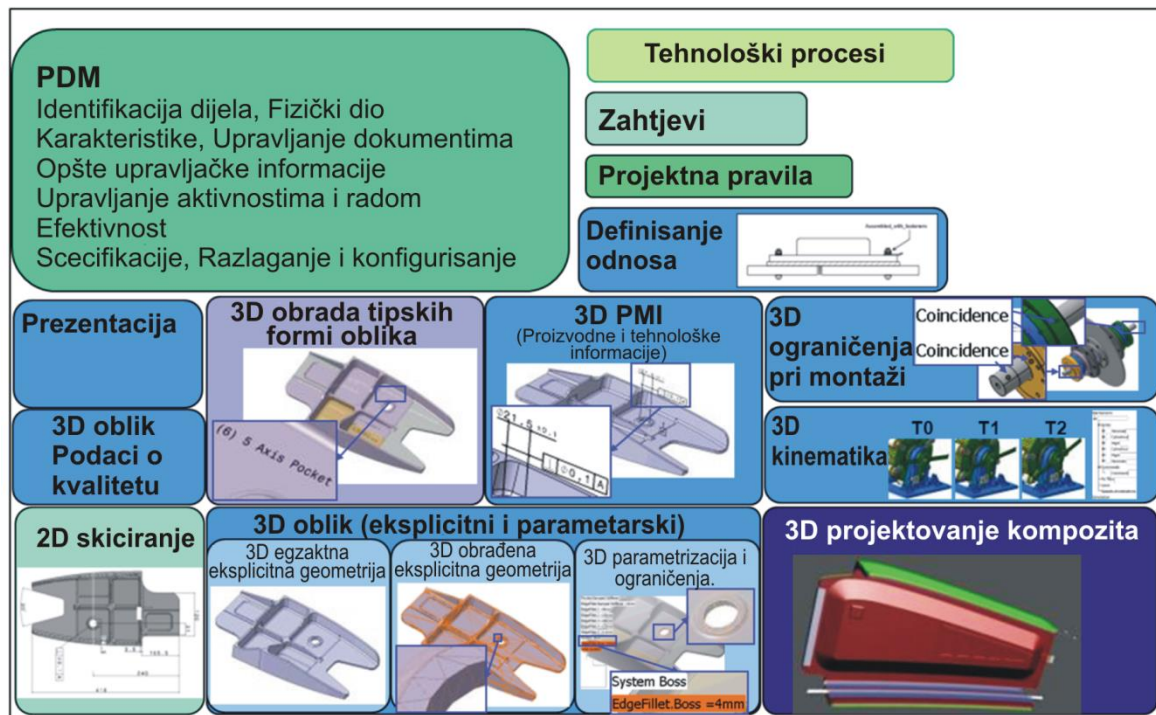
U drugoj fazi, mogućnosti STEP standarda znatno su proširene, prvenstveno za projektovanje proizvoda u vazduhoplovnoj, automobilskoj, elektro, elektronskoj i drugim industrijama. Ova faza završena je 2002. godine sa drugim velikim izdanjem, uključujući naredne aplikacione protokole kao dijelove ISO 10303 i to: AP 202, AP 209, AP 210, AP 212, AP 214, AP 224, AP 225, AP 227 i AP 232. Do juna 2008 međunarodni sektorski komitet SC4 (TC184/SC4) definiše dvadeset tri aplikaciona protokola koji imaju status međunarodnog standarda. U okviru ove faze razvijena su nova izdanja prethodnih AP 203 [111], AP 209 [112], i AP 210 na modularnoj osnovi [113].

Početkom jula 2010. pokrenut je razvoj novog aplikacionog protokola za automobilsku i vazduhoplovnu industriju, pod oznakom AP 242 [114]. Ideja novog aplikacionog protokola proizašla je iz saradnje sa različitim međunarodnim tijelima, kao i predstavnicima industrije, a ima za cilj integraciju AP 203, AP 214 i drugih AP na bazi mašinskog projektovanja. Rezultat integracije predstavlja STEP AP 242 (slika 5.3) koji je u novembru 2013. ušao u fazu odobravanja i očekuje se da bude objavljen tokom 2015. godine pod nazivom „Industrijski automatizovani sistemi i integracija, Prezentacija i razmjena podataka o proizvodu - Dio 242 Aplikacioni protokol: Upravljanje inženjerstvom na bazi 3D modela”. AP 242 sadrži velike izmjene u oblasti kinematike, geometrijskog dimenzionisanja i tolerisanja.

Procedura CAD/CAPP integracije pomoću STEP standarda bazira se na mogućnosti direktne komunikacije između različitih CAD, CAPP i CAM programskih sistema (Slika 5.4).

Integracija STEP AP 203 standarda u CAD programski sistem omogućava da se zapreminski model dijela transformiše i sačuva u specifično razvijenom modelu podataka. Transformisan model podataka o proizvodu/dijelu, kao izlaznu informaciju iz CAD programskog sistema,

moгуće je prevesti u tehnološke tipske forme primjenom STEP AP 224. Ovako transformisan model podataka prenosi se na druge CAD programske sisteme preko AP 203/AP 214 ili prema CAPP sistemima u svrhu projektovanja tehnoloških procesa na makro i mikro nivou [115].



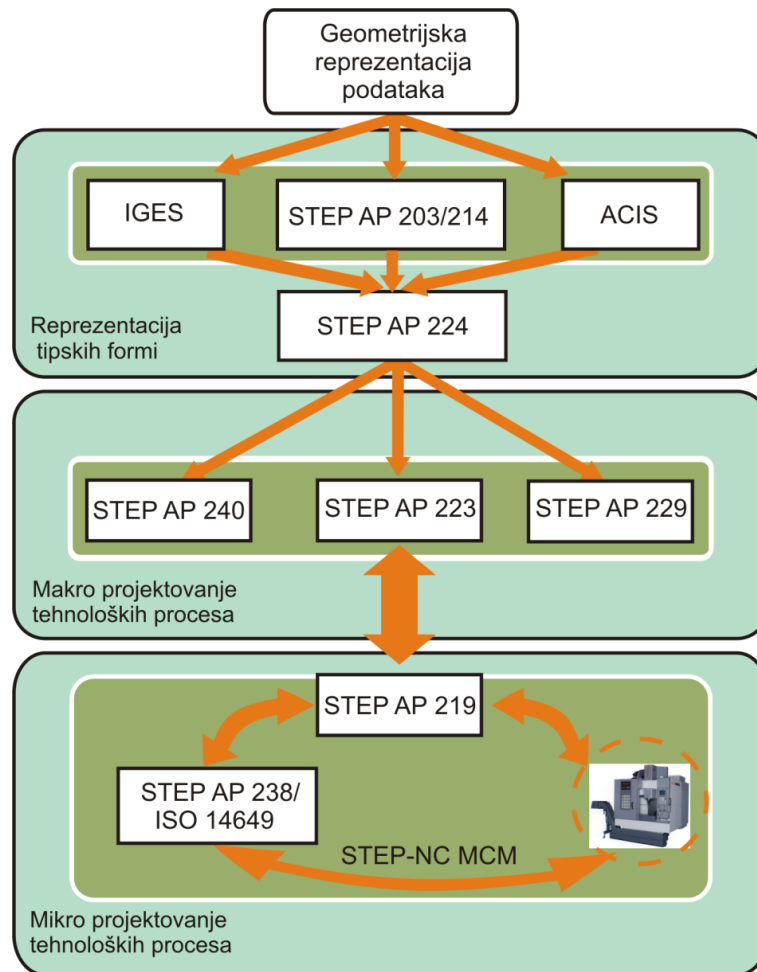
Slika 5.3 Sadržaj STEP AP 242 [116]

Definisane tehnološke tipske forme koriste se kao ulaz u programski sistem za makro projektovanje tehnoloških procesa. Makro projektovanje tehnoloških procesa realizuje se pomoću AP za: mašinsku obradu sa AP 240, za livenje sa AP 223 i za kovanje sa AP 229. Mikro projektovanje tehnoloških procesa za mašinsku obradu realizuje se pomoću AP 238, a proces kontrole definisan je preko AP 219.

Kao rezultat primjene STEP standarda i navedenih AP, potreba za konverzijom podataka je eliminisana. Prednosti STEP standarda u poređenju s ostalim standardima za razmjenu podataka između CAD i CAPP sistema su:

- *Mogućnost definisanja, pored geometrijskih i ostalih važnih podataka o proizvodu/dijelu, kao što su tehnološke informacije i struktura proizvoda,*
- *Mogućnost podrške višeg nivoa implementacije (npr. fizička datoteka ili baza podataka),*
- *Mogućnost izrade fleksibilnih i pouzdanih prevodilaca i*
- *Mogućnost proširenja primjene standarda.*

Najznačajnija prednost STEP standarda je njegova međunarodna prihvaćenost. Ona proizilazi iz činjenice da je STEP međunarodni standard, koga su razvili korisnici a ne proizvođači CAD programskih sistema.



Slika 5.4 STEP razmjena podataka između faza projektovanja i proizvodnje [115]

5.2.2. XML tehnologija

Tehnologija na bazi XML (XML – eng. *eXtensible Markup Language*) može se posmatrati kao skup standardnih pravila za definisanje formata podataka. Osnovna svrha primjene XML tehnologije je podjela podataka kroz različite informacione sisteme, posebno kroz one koji su povezani sa Internetom.

XML predstavlja skup standardizovanih procedura za kreiranje, pretraživanje i razmjenu hijerarhijski strukturiranih podataka i dokumenta. Podaci se predstavljaju u obliku stabla sa jasno definisanom strukturom. Na osnovu pravila XML standarda, korisnici mogu definisati sopstvene formate podataka, nezavisno od računarske platforme i operativnog sistema, koje mogu koristiti za njihovo skladištenje, obradu i razmjenu.

Prednosti primjene XML tehnologije su:

- Univerzalna mogućnost čitanja i interpretacije XML dokumenta na svim platformama,
- Format kod XML je samodokumentujući, odnosno oznake opisuju sadržaj koji se nalazi unutar njih,
- Stroga sintaksna pravila omogućavaju jednostavnu kontrolu ispravnosti nastalog dokumenta,
- Međunarodno prihvaćen standard. Veliki broj proizvođača programskih sistema su prihvatili i koriste XML tehnologiju u svojim proizvodima i

- *Hijerarhijska struktura je pogodna za opisivanje različitih vrsta sadržaja.*

Neka od najvećih dostignuća u oblasti primjene STEP standarda i XML tehnologije pri integraciji CAD/CAPP aktivnosti data su u nastavku.

Kang i sar. [117] predložili su pristup za integraciju projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa korišćenjem integrisanog modela podataka o proizvodu baziranom na STEP formatu. Pristup obuhvata prepoznavanje tehnoloških tipskih formi, uključivanje proizvodnih informacija kao što su površinska hrapavosti i tolerancije, kao i implementaciju neutralnog interfejsa.

Ong i sar. [118] predlažu podsistem za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi koji je implementiran u Unigraphics programskom okruženju. Podsistem integriše prepoznavanje tehnoloških tipskih formi sa pristupom projektovanja na bazi tehnoloških tipskih formi, u svrhu generisanja STEP modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi. Model konstrukcionih tipskih formi i sistem za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi su integrisani u konkurentsko inženjersko okruženje na bazi agent tehnologija.

Amaitik i Kilic [119] koriste alat za projektovanje pomoću tehnoloških tipskih formi u svrhu integracije projektovanja i proizvodnje. STEP-FM koristi visok nivo zapreminskih tehnoloških tipskih formi kao osnovnih projektantskih subjekata prilikom procesa projektovanja. Projektantima je omogućeno da razmotre proizvodna svojstva u ranoj fazi projektovanja dijela. Datoteka sa podacima o dijelu, koja se čuva u STEP XML formatu, direktno se prenosi do narednih aktivnosti CAPP sistema bez potrebe za prepoznavanjem tehnoloških tipskih formi.

Yifei i sar. [120] predstavljaju sistem za automatsko izdvajanje tehnoloških tipskih formi i projektovanje tehnoloških procesa korišćenjem STEP AP214 formata podataka. U njihovom sistemu, metod za izdvajanje osnovnih tehnoloških tipskih formi iz STEP AP214 zapreminskog modela vrši se nakon analize STEP AP214 datoteke. Identifikacija odnosa između tehnoloških tipskih formi vrši se primjenom produkcionih pravila na identifikovane osnovne tehnološke tipske forme. Prototip sistem za projektovanje tehnoloških procesa razvijen je korišćenjem pristupa na bazi znanja.

U radu autora Rameshbabu i Shunmugam [121], predložen je hibridni pristup koji koristi tehnike oduzimanja zapremina i grafikona susjednih strana. Cilj primjene hibridnog pristupa je prepoznavanje tehnoloških tipskih formi iz modela podataka u STEP AP203 formatu. Prepoznate tehnološke tipske forme se grupišu na osnovu povlašćenih osnova za mašinsku obradu. Redoslijedi stezanja dijela dobijeni su preko alternativnog ocjenjivanja i rangiranja.

U sistemu za projektovanje tehnoloških procesa na bazi Java tehnologija, You i Lin [122] koriste STEP AP224 za definisanje tehnoloških tipskih formi. Korišćenjem STEP AP224 modela podataka, u svrhu integracije CAD i CAPP sistema, obezbjeđuju se odnosi između proizvoda, oblika i definicija tehnoloških tipskih formi.

Amaitik i Kilic [123] predstavljaju sistem za projektovanje tehnoloških procesa (ST FeatCAPP) koji koristi STEP tehnološke tipske forme za prizmatične dijelove. Sistem mapira STEP AP224 XML datoteku, bez korišćenja složenog procesa prepoznavanja tehnoloških tipskih formi, sa podacima za odgovarajuće operacije mašinske obrade. Nakon mapiranja sistem generiše tehnološki proces i odgovarajuću STEP-NC datoteku u XML formatu. Jedan

od glavnih ciljeva ovog CAPP sistema je integracija standardnog modela dijela na bazi tehnoloških tipskih formi sa aktivnostima projektovanja tehnoloških procesa korišćenjem koncepta STEP tehnoloških tipskih formi.

IMPlaner sistem [124] predstavlja prototip modela za distribuirano definisanje proizvodnih aktivnosti. Sistem se oslanja na postojeće CAD/CAM sisteme i specijalizovano CAPP rješenje, a realizovan je primjenom Java i XML jezika.

U modernim proizvodnim preduzećima, pored značajnih napora koji su uloženi u razvoj STEP standarda, još uvijek se ne osjeća pun doprinos koncepta integracije koji standard nosi sa sobom. Ipak, STEP standard predstavlja važno uporište u konceptu integracije svih aktivnosti u životnom vijeku proizvoda, pa tako i CAD/CAPP integracije. Budućnost će pokazati da li će STEP standard postati osnova CIM koncepta ili još jedan od pokušaja uspostavljanja globalne integracije CAx programskih sistema.

5.3 CAD/CAPP INTEGRACIJA NA BAZI APLIKATIVNOG PROGRAMSKOG INTERFEJSA

Integraciju pojedinačno razvijenih CAD, CAPP, CAM, kao namjenski razvijenih programskih sistema, moguće je implementirati preko aplikativnog programskog interfejsa, API (API – eng. *Application Program Interface*). API bazira se na nekoliko računarskih tehnologija koje uključuju model komponentnih objekata COM (COM – eng. *Component Object Model*), tehnike objektnog povezivanja i ugrađivanja OLE (OLE - eng. *Object Linking and Embedding*) i tehnologiju aktivne automatizacije (ActiveX).

COM je binarni i genetski standard koji se nalazi kao osnova u distribuiranom modelu komponentnih objekata DCOM (DCOM – eng. *Distributed Component Object Model*), ActiveX i OLE tehnologijama. COM osigurava standardne interfejse i međusobnu komunikaciju između programskih komponenti. Implementacijom COM tehnologije jedna aplikacija može koristiti osobine bilo kog drugog aplikacionog objekta ili operativnog sistema. COM tehnologija omogućava poboljšanje softverskih komponenti, a da se pri tom ne utiče na rad cjelokupnog sistema i projektovanog rješenja.

Tehnike objektnog povezivanja i ugrađivanja (OLE) koriste se pri obezbjeđivanju integracije između aplikacija, omogućavajući visok nivo aplikacione kompatibilnosti, čak i između različitih tipova informacija. OLE tehnologija je bazirana na COM-u, te omogućava razvoj ponovno korišćenih (reusable) plug-and-play objekata koji su međusobno operativni, čak i u okviru višestrukih aplikacija.

OLE tehnologija, kao i COM tehnologija, razvijena je od strane Microsoft korporacije. Svrha OLE tehnologije je da se omogući da komponente (pisane u C i C++) budu korišćene od strane prilagođenih programa (pisanih u Java ili Delphi). OLE tehnologija je kasnije rekonstruisana od objektno orijentisane na objektno baziranu arhitekturu i Microsoft joj je promijenio naziv u aktivnu ili ActiveX automatizaciju.

ActiveX automatizacija predstavlja najpoznatiji programski interfejs za računarske aplikacije koji je razvijen od strane Microsoft korporacije. Ovaj vid programskog interfejsa obezbjeđuje, kako povezivanje Windows aplikacija u jednu, tako i upravljanje pojedinim aplikacijama. Upravljanje i povezivanje programskih aplikacija vrši se pomoću biblioteka klasa (objekata) jednih aplikacija (Microsoft aplikacija), koje su stavljene na raspolaganje pojedinim drugim

aplikacijama. ActiveX automatizacija svojim mogućnostima i implementiranim rezultatima generisala je ActiveX standard, koga su većina CAD/CAM sistema implementirali u svoju strukturu.

Integracija CAD/CAPP na bazi API realizuje se preko namjensko razvijenih aplikacija u svrhu implementacije i/ili automatizacije određenih CAD/CAPP aktivnosti. Aplikacije su razvijene preko objektno orijentisanih programa (C#, C++, Java), uz korišćenje odgovarajućih sistemskih funkcija CAD programskog sistema. Ovako razvijene aplikacije integrišu se u CAD programski sistem u svrhu realizacije aktivnosti definisanih od strane korisnika. Neke od CAD/CAPP aktivnosti koje je moguće automatizovati na bazi API su: izbor dodataka za obradu i priprema, izbor alata, izbor mašina, izbor i/ili projektovanje pribora, izbor parametara rezanja, proračun vremena i troškova izrade proizvoda, kao i generisanje tehnološke dokumentacije. Realizaciju svih aktivnosti, koje pripadaju CAD/CAPP integraciji, odnosno kreiranje integrisanog rješenja na bazi API, nemoguće je implementirati bez primjene drugih računarskih tehnika, kao što su tehnike vještačke inteligencije.

5.4 CAD/CAPP INTEGRACIJA BAZIRANA NA PRIMJENI VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Proizvodni sistemi u razvijenim zemljama značajno su se promijenili, prije svega zbog primjene naprednih proizvodnih tehnologija. Danas proizvodni sistemi nastoje da osvoje i održavaju status svjetske klase kroz automatizaciju koju omogućavaju programski sistemi, kao što su CAD/CAPP/CAM, ERP, MRP i PLM.

Razvoj CAD/CAPP/CAM sistema evoluirao prema zahtjevima inteligentnih proizvodnih sistema IMS (IMS – eng. *Intelligent Manufacturing Systems*). Sistemi koji pripadaju ovoj klasi mogu da se okarakterišu sposobnošću da riješe probleme bez detaljnih, eksplicitnih algoritama dostupnih za svaku proceduru dobijanja rješenja. Takođe, ovi sistemi mogu da riješe probleme i pored nepoznavanja svih činjenica, matematičkih odnosa i modela koji generišu deterministička i jedinstvena rješenja. Potrebna je ogromna količina proizvodnog znanja kako bi inteligentni proizvodni sistem mogao ostvariti svoju funkciju i cilj. Jedan od načina obezbjeđenja i korišćenja znanja u inteligentnim proizvodnim sistemima je pomoću metoda vještačke inteligencije.

Vještačka inteligencija AI (AI – eng. *Artificial Intelligence*) je dio računarskih nauka koji se bavi projektovanjem inteligentnih računarskih sistema, odnosno sistema koji ispoljavaju osobine koje povezujemo sa ljudskim ponašanjem, kao što su učenje, rasuđivanje, rješavanje problema i razumijevanja jezika. Glavni cilj AI je da se pomoću računara simulira ljudsko ponašanje. Ljudsko ponašanje bazira na znanju i korišćenju znanja, a upravo to su ključne karakteristike vještačke inteligencije. Sposobnost zajedničkog uspostavljanja relevantnih principa i alata vještačke inteligencije, u svrhu rješavanja složenih aplikacionih problema, naziva se inženjerstvo znanja.

Poznato je da CAD/CAPP/CAM integracija zahtijeva korišćenje tehnika koje se baziraju na neformalnim znanjima, nealgoritamskim tokovima podataka i procedurama koje je teško matematički modelirati. Ove zahtjeve rješavaju tehnike bazirane na AI, koje su projektovane za memorisanje, prezentaciju, organizovanje i korišćenje znanja pomoću računara. Tehnike bazirane na AI koje se najčešće primjenjuju prilikom CAD/CAPP/CAM integracije su:

- *Ekspertni sistemi (ES – eng. Expert System),*
- *Vještačke neuronske mreže (ANN – eng. Artificial Neural Network),*

- Fuzzy logika (FL – eng. Fuzzy Logic),
- Heuristički algoritmi i
- Hibridne tehnike.

5.4.1 CAD/CAPP integracija na bazi ekspertnih sistema

Ekspertni sistem (ES), koji se naziva i sistem baziran na znanju, predstavlja inteligentni programski sistem koji koristi tehnike znanja i rezonovanja pri rješavanju problema. Ekspertni sistem može simulirati spoljašnje ponašanje eksperta ili modelirati unutrašnje mentalne procese eksperta [125]. Ekspertni sistemi su posebno korisni za probleme koji se baziraju na ograničenom domenu znanja. Za razliku od konvencionalnih programa, ekspertni sistemi mogu da objasne svoje postupke, opravdaju svoje zaključke i ponude krajnjim korisnicima detaljno znanje koje sadrže.

Postoji mnogo definicija ekspertnih sistema, ali jednu od najprihvatljivijih dalo je britansko društvo za računare:

“Pod ekspertnim sistemom podrazumijeva se uspostavljanje, unutar računara dijela vještine nekog eksperta, koja bazira na znanju i u takvom je obliku da sistem (računar) može da ponudi inteligenetne savijete ili da preuzme inteligentne odluke o funkciji, koja je u postupku. Ekspertni sistem posjeduje i karakteristiku da na zahtjev korisnika verifikuje svoju liniju rezonovanja, tako da direktno obavještava korisnika, koji postavlja pitanja [126]”

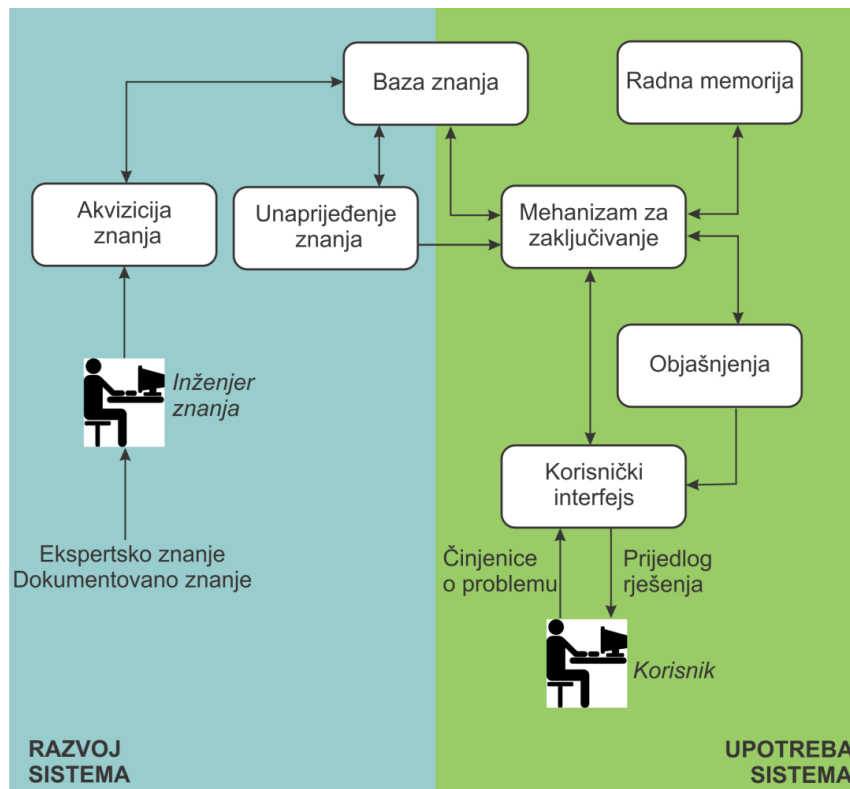
Jedna od glavnih razlika između konvencionalnih i ekspertnih sistema predstavlja znanje koje je odvojeno od algoritamske strukture. Znanje je lako dostupno u toku rada sa ekspertnim sistemom, dok se algoritamski tok i obrada podataka vrši kao i kod konvencionalnih programa.

Struktura i organizacija ekspertnih sistema je u suštini standardna i sastoji se baze znanja, mehanizma za zaključivanje, modula za akviziciju znanja, korisničkog interfejsa, radne memorije, modula za poboljšanje znanja i modul za objašnjenje znanja. Opšta struktura ekspertnog sistema prikazana je na slici 5.5.

Korisnički interfejs obezbjeđuje dvosmjernu komunikaciju između korisnika i mehanizma za zaključivanje. Ovaj element ekspertnog sistema ima funkciju da korisniku riješi problem korišćenjem ekspertnog sistema.

Baza znanja sadrži činjenice i i heuristiku koja čini znanje nekog eksperta. Baza znanja se razlikuje od tipične datoteke podataka ili baze podataka. U bazi podataka, znanje o domen problemu je implicitno predstavljeno strukturom baze podataka. Stvarni sadržaj baze podataka su činjenice, podaci i informacije, prije nego znanje. S druge strane, u ekspertnom sistemu, znanje o problemu se eksplicitno predstavlja u bazi znanja. Baza znanja je obično izražena u obliku "ako - onda" pravila ili okvira. Ekspertni sistemi funkcionišu na bazi korišćenja ovih pravila pomoću mehanizma za zaključivanje.

Mehanizam za zaključivanje je procesor znanja, koji na osnovu opisa problema, pokušava da pronađe rješenje, uz pomoć činjeničnog i prethodno definisanog znanja. Izdvajanje zaključaka na osnovu poznatih činjenica iz domen znanja predstavlja osnovnu namjenu mehanizma za zaključivanje.



Slika 5.5 Opšta struktura ekspertnog sistema

Pomoću modula za akviziciju znanja vrši se prikupljanje ljudskog, ekspertskog znanja i njegova transformacija u bazu znanja. Ovaj modul obrađuje podatke unesene od strane eksperta i pretvara ih u prezentaciju podataka razumljivu sistemu.

Modul za poboljšanje znanja dozvoljava administratoru ekspertnog sistema da vrši ažuriranje znanja. Ažuriranje znanja vrši se na osnovu novog ekspertskog znanja ili unaprijeđenog postojećeg znanja.

Modul za objašnjenje znanja nudi korisniku ekspertnog sistema obrazloženje za izvedene zaključke, kao rješenja postavljenog problema.

Predstavljanje znanja u ekspertnim sistemima u oblasti računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa, čini osnovu za podjelu ekspertnih sistema. Prema obliku predstavljanja znanja u ekspertnim sistemima najzastupljeni su ekspertni sistemi bazirani na pravilima, ekspertni sistem bazirani na okvirima, frejmovima i objektno orijentisani ekspertni sistemi.

U slučaju ekspertnih sistema za projektovanje tehnoloških procesa baziranim na pravilima ili produkcionim sistemima, aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa određene su preko prethodno definisanih pravila, koja su se razvila iz geometrijskih i inženjerskih zahtjeva. Sistem baziran na pravilima, u svrhu predstavljanja znanja, koristi pravila u obliku:

"Ako <prethodi> Onda <slijedi>" ili
 "Ako <uslov> Onda <akcija>"

Ova pravila se baziraju na uspostavljanju uzročno posljedičnih veza i nazivaju se produkciona pravila. Produkciona pravila mogu se smatrati kao temelj primjene vještačke inteligencije u oblasti projektovanja tehnoloških procesa i mogu se podijeliti na pravila za:

- *Izdvajanje tipskih formi iz modela dijela,*
- *Izbor operacija,*
- *Definisanje redoslijeda operacija i zahvata,*
- *Izbor mašina,*
- *Izbor alata,*
- *Izbor stezanja i pribora,*
- *Izbor parametra mašinske obrade i*
- *Meta pravila.*

Ekspertni sistemi bazirani na okvirima su izgrađeni na osnovu mreže znanja u obliku piramide, koja se naziva hijerarhija znanja. Baza znanja zasnovana na okvirima sastoji od skica znanja i njegove karakterizacije pomoću tri osnovna primitiva: entiteta, atributa i odnosa. Struktura podataka u okvirima ima svoj naziv, rezervisano prazno mjesto sa oznakom koja opisuje osnovne karakteristike podatka i moguće vrijednosti za svaku karakteristiku. Primjer strukture podataka bazirane na okvirima je dat u obliku:

Koncept okvira → Primjer okvira

Mašina → Obradni centar

Tip: nepoznat → Tip: EMCO MILL 450

Br. osa: nepoznata → Br. osa: 3

Snaga: nepoznata → Snaga: 15

Objektno orijentisani ekspertni sistemi razvijeni su pomoću novih metoda programiranja koje ne manipulišu sa simbolima i brojevima, nego sa objektima. Objekti moraju posjedovati dvije osnovne karakteristike: attribute (podatke) i ponašanje (osobine). Objektno orijentisano programiranje bazira se na dva tipa objekata: klase i slučajeve (instance). Klasa je skup objekata koje imaju iste osobine i ponašanja, a slučajevi su objekti kreirani od klasa. Ukoliko se kao jedna klasa posmatra vretenasto glodalo, njoj se pridružuju broj reznih ivica i dužina rezne ivice kao njena osobina. Način zapisivanja klasa i slučajeva sličan je kao i kod strukture podataka bazirane na okvirima.

U oblasti integracije aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa razvijeni su brojni ekspertni sistemi. Neki od najznačajnijih dostignuća u ovoj oblasti prezentovani su u nastavku.

Ekspertni sistemi na bazi produkcionih pravila

TOM sistem [127] (TOM – eng. *Technostructure of Machining*) predstavlja CAPP sistem baziran na pravilima koji je namijenjen isključivo za donošenje odluka za operacije izrade otvora. Sistem u postupku procesa rezonovanja koristi mehanizam povezivanja unazad. Sistem počinje sa ciljnim stanjem (konačnim stanjem gotovog dijela) i vrši pretraživanje unazad preko baze pravila, kako bi se pronašli zahvati koje je neophodno izvršiti u svrhu identifikacije početnog stanja (priprema). Često se mora koristiti nekoliko pravila kako bi se mogao odrediti pravilan izbor zahvata. Metod koji se koristi u okviru TOM sistema naziva se “abecedni postupak”. Sistem je u stanju da generiše optimalni redoslijed zahvata na osnovu ugrađenog znanja.

GARI sistem [128] je vjerovatno prvi CAPP sistem baziran na vještačkoj inteligenciji. Sistem se sastoji od baze znanja od oko 50 pravila i mehanizma za rješavanje problema opšte namjene. Znanje je predstavljeno produkcionim pravilima koja se odnose na: uslove za dijelove koje treba izraditi, preporuke za predstavljanje tehnoloških i ekonomskih prioriteta. Ove preporuke su ponderisane prema njihovom značaju i, tamo gdje dođe do konflikta u preporukama, sistem ukazuje na njihove ponderisane vrijednosti u svrhu rješavanja konflikta. Produkciona pravila tipa “ako-onda” parametrizovana su sa jednostavnim skupom promenljivih veličina. GARI sistem je implementiran u MACLISP jeziku i testiran 1994. godine u industriji obrade metala rezanjem sa zadovoljavajućim rezultatima.

MCOES (MCOES - *eng. Manufacturing Cell Operator's Expert System*) je dio Evropskog projekta CORDIS pod referentnim brojem BREU0317. Ovaj sistem je opisan u [49], a razvijen je kao sistem za projektovanje i proizvodnju ponovljivih grupa proizvoda u malim količinama. MCOES koristi model familije dijelova na bazi tehnoloških tipskih formi u svrhu projektovanja tehnoloških procesa. Usvojen je varijantni pristup projektovanja pomoću tehnoloških tipskih formi, tako da se mogu koristiti različiti nivoi detalja, za konkretan dio iz familije. Sistem se sastoji od interfejsa za projektantske podatke, sistema za pripremu generativnih tehnoloških procesa i operativnog sistema za projektovanje tehnoloških procesa. Interfejs za projektovanje podržava modeliranje dijela na bazi tehnoloških tipskih formi. Sistem za generativno planiranje omogućava da tehnološki procesi budu opisani i povezani sa modelima familije dijelova. Sistem za operativno projektovanje tehnoloških procesa generiše tehnološki proces i NU program na osnovu opisa familije dijelova. Ekspertni sistem na bazi pravila implementiran je u dijelu sistema koji se odnosi na pretraživanje tehnoloških tipskih formi i tehnoloških procesa, kao i pojedine aktivnosti iz faze operativnog projektovanja tehnoloških procesa.

Miao i sar. [129] demonstrirali su korišćenje tehnoloških tipskih formi u automatizaciji određenih zadataka projektovanja tehnoloških procesa i integracije razvijenih CAD i CAM modula u komercijalni CAD/CAM programski sistem (SDRC/I-DEAS). Automatizovano projektovanje tehnoloških procesa uključuje dva važna zadatka: izdvajanje tehnoloških tipskih formi i projektovanje tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi. CAD model dijela i priprema se izvodi iz komercijalnog CAD sistema, preko STEP modela podataka, prema sistemu za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi. Izdvojene tehnološke tipske forme koriste se, u kombinaciji sa metodama baziranim na znanju i produkcionim pravilima, u svrhu generisanja tehnološkog procesa. Planiranje stezanja, redoslijed operacija i zahvata obrade, kao i izbor alata vrši se na automatizovan način na osnovu kriterijuma kao što su oblik tehnoloških tipskih formi, lokacija tehnoloških tipskih formi, pravac pristupa alata i izvodljivost pozicioniranja i stezanja obratka. Tipske forme i tehnološki atributi prenose se u komercijalni CAM sistem za generisanje i verifikaciju putanje alata.

Sličan pristup predložen je od strane J. Dong i sar u [130]. Ulaz u sistem predstavlja zapreminski model dijela, a razvijeni CAD interfejs koristi se za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi i generisanje tehnoloških procesa. Sistem koristi hibridni algoritam za podudaranje grafika, dekompoziciju zapremine i pristup na bazi znanja. Kao prvi korak vrši se grafičko poređenje zapreminskih modela dijela i priprema u svrhu generisanja ukupne zapremine koja se uklanja sa priprema. Opšte tehnološke tipske forme izdvajaju se preko dekomponovanih zapremine. U tom procesu koristi se heuristika koja prepoznaje opšte tipske forme kao zapremine bez konkavnih ivica. Ekspertni sistem na bazi pravila koristi se kako bi se izvršilo prepoznavanje tehnoloških tipskih formi. Na osnovu oblika izdvojenih tehnoloških tipskih formi, odnosa između objekta i površina, kao i informacija o dimenzijama i

tolerancijama, vrši se projektovanje tehnoloških procesa. Tehnološki procesi, u grafičkom i tekstualnom obliku, generišu se na osnovu produkcionih pravila ugrađenih u sistem razvijen primjenom CLIPS alata.

Lau i sar. [131] razvili su računarnom integrisani sistem na bazi pravila koji je razvijen u svrhu obezbjeđenja nekoliko funkcija kako bi se olakšalo automatizovano projektovanje tehnoloških procesa. Ove funkcije uključuju: neposredan unos STEP datoteke projektovanog dijela u svrhu definisanja operacija mašinske obrade, fleksibilnu metodu opisa dijelova na bazi grupne tehnologije, optimizaciju tehnološkog procesa, brzi izbor procesa preko primjene korisničko definisanih produkcionih pravila, interoperabilnost sistema i mogućnost korišćenja povratnih informacija o projektantskim podacima i podacima iz tehnoloških procesa iz proizvodnje. Produkciona pravila smještena su u ekspertnu ljusku baziranu na CLIPS programskom alatu.

Waiyagan i Bohez [132] omogućuju inteligentno projektovanje tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi za petoosnu obradu dijelova. U okviru ovog sistema razmatraju se operacije koje se izvode na modernim obradnim sistemima za struganje/glodanje. Novine koje su predložene u okviru ovog sistema odnose se na: (a) klasifikaciju tehnoloških tipskih formi baziranu na procesima mašinske obrade i broju istovremeno kontrolisanih osa kod petoosnih strugova; (b) definiciju modela prezentacije tehnoloških tipskih formi. Definicija ne obuhvata samo geometrijske i tehnološke podatke, nego uključuje i podatke o procesima mašinske obrade i znanje o mašinskoj obradi, koje je predstavljeno u obliku produkcionih pravila ekspertnog sistema; (c) model generisanja tehnoloških procesa koji se bazira na tehnološkim tipskim formama i produkcionim pravilima.

Ekspertni sistem na bazi okvira

Mäntylä i Opas [133] predstavili su jedan od prvih ekspertnih sistema za projektovanje tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi (HutCAPP). Ekspertni sistem HutCAPP razvijen je pomoću pristupa na bazi okvira (frame). Ovaj ekspertni sistem koristi princip generativnog projektovanja tehnoloških procesa za jedno stezanje dijela. Tehnološke tipske forme, kao što su žljebovi i utori su predhodno definisani u sistemu, a objekti tehnoloških tipskih formi od kojih se sastoji zapreminski model dijela su organizovani u obliku stabla. U svrhu projektovanja tehnološkog procesa analiziraju se strategije mašinske obrade. Strategija za mašinsku obradu obuhvata pravac prilaza alata i vrstu alata pomoću kojih se može izvršiti obrada/izrada posmatrane tehnološke tipske forme. Primjenom ekspertnog sistema vrši se proces opšteg rezonovanja strategija mašinske obrade tehnoloških tipskih formi u svrhu projektovanja tehnološkog procesa za kompletan dio.

SIPP [134] (*Semi-Intelligent Process Planner*) je sistem baziran na znanju za generativno projektovanje tehnoloških procesa za mašinsku obradu dijelova. Sistem koristi prezentaciju znanja na bazi okvira. Baza znanja se sastoji od tehnoloških tipskih formi sa površinama za mašinsku obradu i kontrolne strukture koja manipuliše znanjem. Strategija pretrage u sistemu bazira se na algoritmu separacije i evaluacije (branch-and-bound). Sistem generiše tehnološke procese sa najmanjim troškovima, na osnovu kriterijuma troškova koje korisnik prethodno postavi.

SIPS [134] je nasljednik SIPP sistema. SIPS sistem takođe koristi algoritam separacije i evaluacije, kao i strategiju pretraživanja sa najnižim troškovima. Osnovna razlika između SIPP i SIPS sistema je što SIPS sistem koristi tehniku predstavljanja znanja koja se naziva hijerarhijsko grupisanje znanja (umjesto ravnih okvira), kao prezentacije znanja u svrhu

rješavanja problema. U SIPS sistemu znanje je podijeljeno na dvije kategorije: statičko znanje i znanje u svrhu rješavanja problema. Statičko znanje, koje se interno čuva u okvirima, predstavlja 3D objekte. Znanje u svrhu rješavanja problema (znanje o izboru operacija i zahvata) predstavlja se u hijerarhijskim grupama znanja, u kojima se formira arhetip (klasa za operacije mašinske obrade) i stavke za okvire.

Ekspertni sistem na bazi korišćenja kombinacije tehnologija za prezentaciju znanja

TURBO-CAPP [135] predstavlja inteligentni sistem za generativno projektovanje tehnoloških procesa. Sistem se sastoji od pet modula: modul za identifikaciju površina mašinske obrade; modul za izbor i redoslijed procesa; modul za generisanje NC programa; modul za prikupljanje znanja i modul za upravljanje bazama podataka. Sistem interpretira geometrijske podatke iz 2½D CAD sistema (AutoCAD), a zatim izdvaja površinske karakteristike u CAD bazu i provjerava projektantsku konzistentnost geometrijskih dimenzija i tolerancija. TURBO-CAPP upravlja sa veoma velikom bazom znanja. Sistem ažurira bazu znanja u interakciji sa iskusnim tehnologom. TURBO-CAPP vrši inteligentno rezonovanje u svrhu generisanja tehnološkog procesa na osnovu: izdvojenih površina za mašinsku obradu i njihovim vezama sa kvalitetom obrađene površine, geometrijskih dimenzija i tolerancija, aktuelne konfiguracije mašina i dostupnih alata. Kombinacija metodologije na bazi okvira i pravila korišćena je prilikom realizacije baze znanja ovog sistema .

Iwata i Fukuda [136] razvili su integrisani sistem za projektovanje tehnoloških procesa i raspoređivanje proizvodnje pod nazivom dinamično projektovanje tehnoloških procesa (DPP). DPP sistem sastoji se od modula za projektovanje tehnoloških procesa baziranog na znanju i modula za raspoređivanje. DPP sistem uzima u obzir stanje u pogonu u toku projektovanja tehnoloških procesa. Ulazi u sistem su status opterećenja i iskorišćenja pogona, datum isporuke proizvoda i obim proizvodnje. Ove informacije generišu se iz proizvodnog naloga, iz sistema za planiranje materijala (MRP sistem), kao i opisnih podataka o proizvodu iz CAD sistema. Jezgro DPP sistema predstavlja modul za projektovanje tehnoloških procesa koji je baziran na znanju i koji se naziva KAPPS. Mehanizam za donošenje odluka u KAPPS modulu može koristiti oba tipa znanja, i znanje o projektovanju tehnoloških procesa i znanje o raspoređivanju. Ova znanja se generišu u formi iskustvenog znanja i dinamičkih podataka o stanju u pogonu. Iskustveno znanje u KAPPS modulu opisano je pomoću parova: uslov – djelovanje ili stanje – akcija. Uslov ili stanje je opisano obrascem sa kvantifikovanim varijablama kao što su površine, mašine i tolerancije. Djelovanje (akcije) se odnose na procese obrade koji se primjenjuju na dio, u saglasnosti sa određenim uslovima. Dostupne mašine, izvodljivi procesi obrade i odnosi prethođenja procesa mašinske obrade generišu se i koriste za određivanje konačnog izbora mašina i redoslijeda izvođenja operacija i zahvata.

Oportunistički pristup projektovanju tehnoloških procesa u okviru simultanog inženjerstva opisan je u radu [137]. U ovom radu predstavljen je sistem za računom podržano projektovanje tehnoloških procesa, pod nazivom XTURN, kao i okruženje za podršku donošenju odluka, IDEEA, na kojem se sistem i bazira. XTURN omogućava projektantu da istraži varijantne tehnološke procese u ranoj fazi projektovanja. Projektant kontroliše strategije izbora procesa obrade, dok XTURN određuje interakcije između različitih izbora, identifikuje one koje su u suprotnosti i nudi preporuke za rješavanje nedosljednosti. Sistem je implementiran u IDEEAokruženju koje integriše različite računarske alate, kao što su sistem za zapreminsko modeliranje, metod konačnih elemenata, sistem za skladištenje baza podataka i šeme za skladištenje baza podataka sa višestrukim prezentacijama znanja i paradigmama za rezonovanje.

Blackboard pristup [138] (pristup na bazi prazne/crne table) koristi se u sistemu pod nazivom CIMROT, u svrhu integracije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Pomoću sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa za rotacione dijelove, projektant može da izvrši analizu tehnološkičnosti. Analiza tehnološkičnosti se zasniva na prethodno generisanom tehnološkom procesu i stvarnoj listi podataka o procesima. CIMROT može otkriti nedosljednosti kao što su nedostupnost potrebnih alata ili mašina, ili korišćenje izuzetno skupih proizvodnih operacija. U slučaju detekcije nedosljednosti, sistem na automatizovan način šalje poruku upozorenja prema projektantu. Modul ovog sistema za projektovanje tehnoloških procesa XROT realizovan je korišćenjem istog okruženja (IDEEA) kao i XTURN sistem.

Abdalla i Knight [139] predstavili su pristup za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa za mašinske dijelove. Ovaj pristup omogućava projektantima da obezbijede da se proizvod može izraditi u okviru postojećeg proizvodnog okruženja. Predloženo simultano okruženje za projektovanje sastoji od integrisanog ekspertnog i CAD sistema. Ekspertni sistem sadrži detaljne informacije o karakteristikama proizvoda i proizvodnim kapacitetima koji omogućavaju projektantu da provjeri ograničenja procesa i izvodljivost izrade proizvoda, kao i da se otkriju projektantske nedosljednosti.

Ekspertni sistem na bazi objektno orijentisanog pristupa

Park i Khoshnevis [140] razvili su sistem za računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa u realnom vremenu (RTCAPP – eng. *Real-time Computer-Aided Process Planning*) koji služi kao sredstvo za simultano projektovanje prizmatičnih dijelova i njihovih proizvodnih procesa. U RTCAPP, metod interaktivne identifikacije tehnoloških tipskih formi koristi se za transformaciju informacija o projektu dijela u formalizovani opis. Kako projektovanje dijela napreduje, korak po korak, tako se u okviru RTCAPP razvija tehnološki proces. U RTCAPP sistemu koristi se hijerarhijska tehnika planiranja, ekspertni sistem sa višestrukom bazom pravila i modul za optimizaciju na bazi dinamičkog programiranja.

Khoshnevis i sar. [141] opisuju arhitekturu integrisanog sistema za projektovanje tehnoloških procesa koji se naziva 3I – PP, a sastoji se od tri modula i to za: kompletiranje tehnoloških tipskih formi, izbor procesa i određivanje redoslijeda procesa. Autori primjenjuju pristup baziran na znanju u svrhu kompletiranja tehnoloških tipskih formi i izbora procesa, kao i algoritam za pretragu prostora za određivanje redoslijeda procesa. Dobijeni sistem za projektovanje tehnoloških procesa obezbjeđuje i simuliranu integraciju CAPP sa CAD i sistemom za planiranje proizvodnje. Objektno orijentisano programiranje (OOP) unijelo je revolucionarnu promjenu u programiranje, a samim tim i u realizaciju sistema za CAD/CAPP integraciju.

Wang [142] predstavlja C++ hijerarhiju u nivooima baziranu na objektno orijentisanom, na bazi tehnoloških tipskih formi, CAD / CAPP / CAM integracionom okviru. Ova hijerarhija se odnosi na objektno orijentisani model dijela na bazi tehnoloških tipskih formi. Ovaj model predstavlja dio kao organizovan skup geometrijskih tehnoloških tipskih formi koje su povezane sa standardnim tehnološkim tipskim formama.

Uopšteno posmatrano, ekspertni sistemi predstavljaju revolucionarni prelaz sa tradicionalne obrade podataka prema obradi znanja. Ekspertni sistemi nude okruženje za uključivanje i uspostavljanje interakcije između sposobnosti ljudi i snage računara. Neke od prednosti ekspertnih sistema su sažete na sljedeći način:

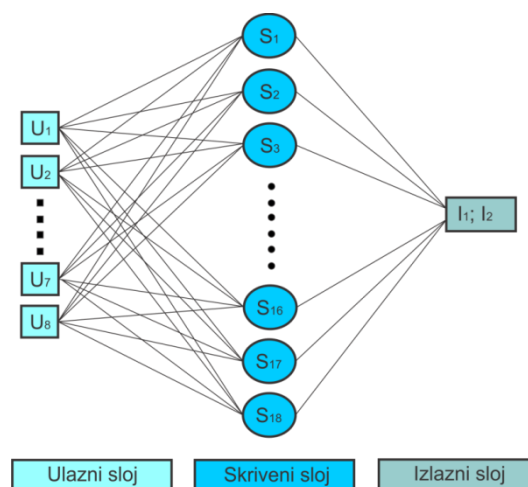
- Ekspertni sistem omogućava proširenje baze znanja kada god se identifikuju nova znanja i ekspertize,
- Ekspertni sistem je u stanju da pruži objašnjenje svoje preporuke,
- Ekspertni sistem primjenjuje heuristiku kako bi se izbjegla kompleksna pretraživanja i
- Ekspertni sistem smanjuje oslanjanje kompanije na ljudske eksperte preko memorisanja i čuvanja ekspertskog znanja u računarima.

Postoje značajni izazovi i nedostaci implementacije ekspertnih sistema, i to:

- Otklanjanje grešaka i održavanje velikih (ili kompleksnih) ekspertnih sistema je veoma teško,
- U cilju izgradnje ekspertnog sistema, eksperti moraju biti dostupni,
- Ekspert mora biti u stanju da artikulira pravila koja definišu rješenje, a ne da pravila teže neodređenosti ili nekoherentnosti,
- Razvoj ekspertnih sistema može biti dugotrajan proces u zavisnosti od veličine domena znanja koji je obuhvaćen razvojem ekspertnog sistema,
- U slučaju odstupanja posmatranog problema od domena znanja, rezultati učinka ekspertnih sistema su veoma skromni i
- Vrijeme generisanja rezultata u kompleksnim ekspertnim sistemima može biti dugotrajno.

5.4.2 CAD/CAPP integracija na bazi vještačkih neuronskih mreža

Neuronske mreže mogu se smatrati kao crna kutija koja može da prihvati i obradi niz ulaznih podataka prema jednom ili više izlaza. Neuronska mreža sastoji se od mnogo nelinearnih računarskih elemenata koji rade paralelno i koji su raspoređeni u obrasce koji podsećaju na biološke neurone. Neuroni su povezani u mrežu preko težinskih koeficijenata, koji su prilagođeni za procese učenja ili obuke, u cilju poboljšanja performansi. Proces obrade podataka pomoću ANN počinje sa ulaznim vrijednostima podataka, u vidu numeričkog niza podataka, koji se prosljeđuju na ulazne čvorove ANN. Iz ovih čvorova ulazne vrijednosti se prenose preko veza prema narednom regionu mreže. U toku prenošenja, one se kombinuju i mijenjaju na zajedničkim čvorovima. Kombinovanje i izmjena ulaznih informacija vrši se u saglasnosti sa računarskim pravilima veza na čvorovima kroz koje informacije prolaze. Izlazi iz izlaznih čvorova predstavljaju numeričke rezultate mreže. Jedna od najčešće korišćenih struktura ANN prikazana je na slici 5.6.

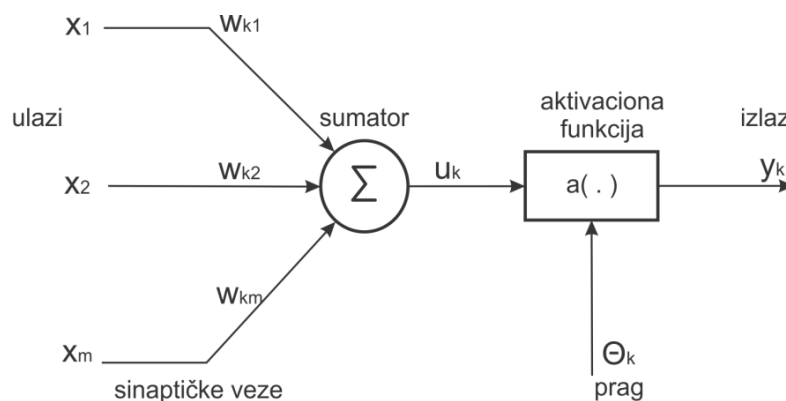


Slika 5.6 Struktura vještačke neuronske mreže

Osnovne komponente vještačke neuronske mreže čine neuroni. Neuroni su grupisani najčešće u tri vrste slojeva i to: ulazni, srednji (skriveni) i izlazni sloj. Ako neuron prima podatke iz spoljnog svijeta, smatra se da je njegova pozicija u ulaznom sloju. Ako neuron sadrži predviđanja ili klasifikacije iz mreže, tada se njegov položaj definiše u izlaznom sloju. Neuroni između ulaznih i izlaznih slojeva nalaze se u skrivenom sloju.

Model neurona čine tri osnovna elementa (slika 5.7):

- Skup sinaptičkih težina $\{w_{ij}\}$. Pozitivne težine odgovaraju ekscitirajućim sinaptičkim vezama, a negativne inhibitornim,
- Sumator (linearni kombajner) – formira težinsku sumu ulaza i
- Aktivaciona funkcija – limitira amplitudu izlaznog signala neurona. Uglavnom se uzima normalizacija izlaza na interval $[0,1]$ ili $[-1,1]$.



Slika 5.7 Model neurona

Jednačine modela neurona prema slici 5.7. mogu se zapisati u obliku:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} \cdot x_j \quad (1)$$

$$y_k = a(u_k - \theta_k) \quad (2)$$

Aktivacione funkcije neurona na skrivenim slojevima potrebne su da bi mreža mogla da nauči nelinearne funkcije. Aktivaciona funkcija je najčešće nelinearna. Upravo ova nelinearnost čini mreže sa više slojeva naročito moćnima. Gotovo svaka nelinearna funkcija može se koristiti, mada se najčešće koriste sigmoidne funkcije kao što su logistička, arkustangens ili gausova funkcija.

Regulisanje prohodnosti putanje kod vještačkih neurona ostvaruju se preko prilagodljivih težinskih koeficijenata ili težina veza. Kada se na ulaz neurona dovedu vrijednosti i pomnože težinskim koeficijentima, dobijaju se ulazni podaci. Zbir ulaznih vrijednosti neurona pomnoženih sa odgovarajućim težinskim koeficijentima se propušta kroz aktivacionu funkciju i ta vrijednost predstavlja izlaz iz neurona. Iako neuroni imaju prilično jednostavne (linearne) funkcije, kada se povežu u višeslojnu mrežu, u stanju su da obrade veoma složene (nelinearne) funkcije.

Obučavanje ANN vrši se na način da se podaci iz trening skupa periodično propuštaju kroz ANN. Dobijene vrijednosti na izlazu mreže se upoređuju sa očekivanim. Ukoliko postoji razlika između dobijenih i očekivanih podataka, prave se modifikacije na vezama između neurona u cilju smanjivanja razlike trenutnog i željenog izlaza. Ulazno-izlazni skup se ponovo predstavlja mreži zbog daljih podešavanja težina, pošto u prvih nekoliko koraka mreža obično daje pogrešan rezultat. Poslije podešavanja težina veza, za sve ulazno izlazne šeme iz trening skupa, mreža nauči da reaguje na željeni način.

Vještačke neuronske mreže se primjenjuju za rješavanje širokog spektra problema, što je dovelo do razvoja različitih vrsta, arhitektura i klasifikacija ANN. Vještačke neuronske mreže se mogu klasifikovati prema broju slojeva na:

- *Jednoslojne i*
- *Višeslojne.*

Danas se uglavnom izučavaju i primjenjuju višeslojne ANN koje, pored ulaznih i izlaznih slojeva, sadrže neurone na srednjim (skrivenim) slojevima.

Prema vrsti veza, odnosno arhitekturi, ANN mogu se podijeliti na:

- *Slojevite – gdje su neuroni raspoređeni tako da formiraju slojeve. Na ulaz jednog neurona dovode se izlazi svih neurona sa prethodnog sloja, a njegov izlaz se vodi na ulaze svih neurona na narednom sloju. Izlazi neurona sa zadnjeg (izlaznog) sloja predstavljaju izlaze mreže. Predstavnik ovih mreža je algoritam prostiranja unazad (backpropagation),*
- *Potpuno povezane – gdje izlaz jednog neurona se vodi prema ulazu svih neurona u mreži. Predstavnik ovih mreža je Hopfildova ANN i*
- *Celularne – gdje su međusobno povezani samo susedni neuroni. Bez obzira na lokalnu povezanost, signali se prostiru i na neurone izvan susedstva zbog indirektnog prostiranja informacija. Predstavnik ovih mreža je celularna ANN.*

Prema smjeru prostiranja informacija kroz mreže, ANN mogu se podijeliti na:

- *Nepovratne (nerekurzivne, nerekurentne –eng. Feedforward). U okviru ovih mreža viši slojevi ne vraćaju informaciju u niže slojeve. Prostiranje signala vrši se samo u jednom smeru (od ulaza prema izlazu) i*
- *Povratne (rekurzivne, rekurentne – eng Feedback). U okviru ovih mreža viši slojevi vraćaju informacije nazad u niže slojeve. Izlaz iz neurona se vraća u niže slojeve ili u isti sloj. Povratne mreže imaju mnogo veće procesne sposobnosti od nepovratnih mreža.*

U okviru integracije CAD i CAPP aktivnosti vještačke neuronske mreže se primjenjuju u gotovo svim oblastima projektovanja, simultacije i kontrole kvaliteta proizvoda. U okviru aktivnosti računom podržanog projektovanja tehnoloških procesa, ANN se primjenjuju kao alat za automatizaciju:

- *Procesa prepoznavanja tehnoloških tipskih formi,*
- *Izbora operacija i zahvata obrade,*
- *Određivanja redoslijeda operacija i zahvata,*
- *Procesa izbora mašina, alata, pribora i parametara procesa,*
- *Optimizaciju projektovanja tehnoloških procesa,*
- *Procjene vremenskih normativa i troškova proizvodnog procesa.*

Brojni autori kao što su Hwang, Henderson [143], Prebhakar [144], Wu, Jen [145], Nezis, Vosniakos [146], Chen, Lee [147], Onwubolu [148], bavili su se implementacijom ANN u oblasti prepoznavanja i izdvajanja tehnoloških tipskih formi iz zapreminskog modela dijela.

Pionirska istraživanja na primjeni vještačkih neuronskih mreža pomoću percepcije za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi predložili su Hwang i Henderson [143]. Mreža je obučena da prepozna samo jednostavne tehnološke tipske forme kao što su džep, žljeb i otvor. Prebhakar [144] koristi ANN za prepoznavanje oblika tehnoloških tipskih formi iz B-Rep zapreminskih modela dijelova. Autor opisuje dio pomoću matrice susedstva, koja se koristi kao ulaz u ANN. Wu [145] koristi topološke informacije, kao ulaz u ANN, u svrhu prepoznavanja 2D dijela preko ispitivanja "skeleta" dijela. Nezis i sar. [146] koriste ANN u svrhu prepoznavanja tehnoloških tipskih formi na osnovu skupa heuristike. U procesu prepoznavanja vrši se razdvajanje složenih tehnoloških tipskih formi u jednostavne tehnološke tipske forme. Chen, Y. i sar. [147] predlažu tehnologiju za prepoznavanje tehnoloških tipskih formi za dijelove od lima koji su kreirani u CAD sistemu. Njihov metod je ograničen na prepoznavanje tehnoloških tipskih formi koje sadrže manje od pet ivica. Onwubolu [148] koristi vještačku neuronsku mrežu sa prostiranjem unazad koja je primjenjena na problemu prepoznavanja tehnoloških tipskih formi iz B-Rep zapreminskog modela dijela. Prepoznavanje se vrši na osnovu koda kompleksnosti strana koji se generiše na osnovu konveksnosti i konkavnosti susjednih strana tehnološke tipske forme.

Vještačke neuronske mreže moguće je primjeniti u svrhu automatizacije opštih aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa kao što je kontrola i koordinacija CAPP aktivnosti u dinamičkom proizvodnom okruženju, izbor optimalnih tehnoloških procesa i određivanje redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade.

U tom smislu Devireddy i Ghosh [149] predstavili su metodologiju integrisanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa pomoću neuronskih mreža. Sistem je obučen za generisanje tehnoloških procesa na osnovu prethodno projektovanih proizvoda i tehnoloških procesa. Vještačka neuronska mreža nalazi se u kombinaciji sa nizom drugih metoda. Ming i sar. [150] razvili su hibridni inteligentni model za rezonovanje u svrhu računarnom podržanog projektovanja tehnoloških procesa. Njihov model kombinuje prednosti ekspertnih sistema i neuronskih mreža. Metodologija obezbjeđuje efikasnu administraciju, kontrolu i koordinaciju CAPP funkcija u dinamičnom proizvodnom okruženju. Deb i sar. [151] koriste neuronske mreže sa prostiranjem unazad za izbor operacija za mašinsku obradu rotaciono simetričnih komponenti. U svrhu izbora operacija razvijena su heuristička pravila koja su uključena u model ANN.

U oblasti definisanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata primjenom ANN, nekoliko autora daje svoj doprinos. Ding i sar. [152] predstavljaju strategiju za optimizaciju izbora redoslijeda operacija i zahvata koja se bazira na višestrukim ciljevima: minimalnim proizvodnim troškovima, najkraćim proizvodnim vremenom i najboljim zadovoljavanjem pravila za izbor redoslijeda operacija. Oni su koristili vještačku neuronsku mrežu kako bi generisali relativne težine za tri glavna faktora za evaluaciju određivanja redoslijeda procesa. U tu svrhu primjenjuje se analitičko - hijerarhijski proces evaluacije stepena zadovoljenja pravila za utvrđivanje redoslijeda izbora operacija. Devireddi i sar. [153] predložili su troslojnu vještačku neuronsku mrežu sa prostiranjem unazad u svrhu izbora operacija mašinske obrade za sve tehnološke tipske forme. Ova ANN na osnovu opšteg redoslijeda izvođenja operacija, za sve tehnološke tipske forme na dijelu, generiše optimalni redoslijed izvođenja operacija. Ovaj pristup je u stanju da prevaziđe neka ograničenja od strane pristupa na bazi stabla odlučivanja i pristupa baziranog na ekspertnim sistemima.

U svrhu rješavanja problema planiranja stezanja, Ming i Mak [154] koriste Kohonen i Hopfieldove neuronske mreže. Kohonen neuronska mreža je specijalno razvijena kako bi se riješio problem generisanja stezanja, preko uzimanja u obzir sljedećih ograničenja: pribora, pravca pristupa alata, prisutnih odnosa između tehnoloških tipskih formi i tolerancija. Hopfield neuronska mreža usvojena je kako bi se riješio problem redoslijeda izbora operacija i zahvata. Ova dva problema su NP-kompletni problemi i mogu biti mapirani preko problema „trgovačkog putnika“.

Primjena ANN u oblasti izbora mašina, alata i putanja alata, kao i parametara mašinske obrade, može se sagledati preko pristupa i metodologija opisanim u narednim radovima. Balić i Korošec [155] predlažu inteligentno generisanje putanje alata. Autori u radu pokazuju da su vještačke neuronske mreže u stanju da uspostave željeni redoslijed izvođenja putanja alata za operaciju glodanja. Park i sar. [156] su razvili metodologiju za inkrementalno nadgledanje procesa učenja ANN prilikom izbora parametara mašinske obrade u svrhu projektovanja tehnoloških procesa. Ova metodologija omogućava da model za generisanje parametara mašinske obrade bude poboljšan, dok je sistem u stalnoj upotrebi. Metodologija se bazira na fazi-neuronskim mrežama i omogućava on-line i off-line kontrolisano učenje. Joo i sar. [157] predstavili su dinamički model za određivanje parametara mašinske obrade korišćenjem neuronskih mreža. Dinamički model generiše parametare mašinske obrade u svrhu uklanjanja posmatrane tehnološke tipske forme na osnovu trenutnog statusa zauzetosti u pogonu. Ben-Khalifa i sar. [158] su predstavili izbor mašina pomoću ANN, kao aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi. Proces izbora mašina sastoji se od dvostruke ANN. Prva ANN, kao ulazne informacije, koristi podatke i attribute tehnoloških tipskih formi, na osnovu kojih se generišu odgovarajuće klase mašina. Druga ANN koristi se za optimizaciju izbora mašina prema potrebnom kapacitetu pogona.

Prednosti ANN u odnosu na konvencionalne računarske tehnike su:

- *Mogućnost generalizacije (kreiranja uopštenosti) jer uzimaju u obzir ranija iskustva, u svrhu rješavanja novog problema,*
- *Nije potrebno angažovanje eksperta za predstavlje znanja,*
- *Niski zahtjevi u pogledu znanja za programiranje,*
- *Jednostavna struktura, jer se simulira samo ulaz i izlaz iz sistema,*
- *Dobra sposobnost tolerisanja grešaka i podataka koji nedostaju, što ih čini korisnim prilikom rješavanja problema gdje pravila i podaci nisu u potpunosti poznati,*
- *Mogućnost učenja, što ih čini pogodnim za poslove i probleme koji su prevashodno namjenjeni ljudima i*
- *Veliki broj neurona čini proračun bržim od konvencionalnih računarskih tehnika.*

Identifikovani nedostaci vještačkih neuronskih mreža su:

- *Proces konfiguracije ANN je dugotrajan, pošto se mora koristiti metod pokušaja i greške, kako bi pronašla odgovarajuća arhitektura ANN za dati problem,*
- *Predstavljanje znanja pomoću ANN je neprecizno i nije lako razumljivo,*
- *Korisnički interfejs ANN nije korisnički orjentisan kao kod ekspertnih sistema, jer ANN ne mogu eksplicitno da objasne svoje rezultate,*
- *Algoritmi za učenje ANN nisu dovoljno efikasni i ne mogu da garantuju konvergenciju mreže i*
- *Nedostatak eksplicitnog opisa optimalnog skupa podataka za obučavanje ANN.*

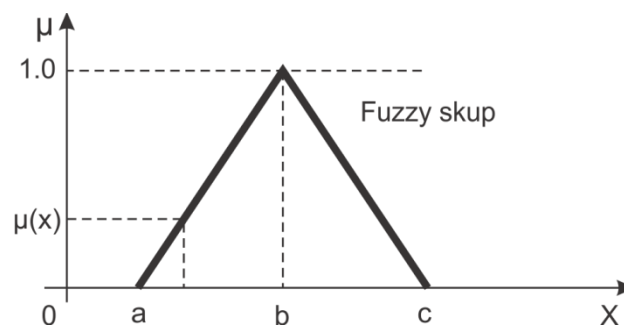
5.4.3 CAD/CAPP integracija na bazi fazi logike

Fazi logika (FL – eng. *Fuzzy Logic*) predstavlja tehniku vještačke inteligencije koja se bazira na simulaciji načina na koji ljudi donose odluke, na osnovu nepreciznih i nenumeričkih informacija. Fazi modeli ili skupovi predstavljaju matematički način prezentacije neodređenih i nepreciznih (fazi) informacija. Ovi modeli imaju sposobnost prepoznavanja, prezentacije, manipulacije, tumačenja i korišćenja podataka i informacija koje su nejasne, neprecizne i nepouzdanе.

Metoda rezonovanja zasnovana na fazi logici može se posmatrati kao metoda koja se nalazi između metode rezonovanja na bazi ekspertnih sistema, koja koristi strukturirano predstavljanje znanja na simboličan način, i metode rezonovanja zasnovane na vještačkim neuronskim mrežama, koja se ne može direktno kodirati sa strukturisanim znanjem. Metoda rezonovanja zasnovana na fazi logici kombinuje numerički pristup sa vještačkim neuronskim mrežama i strukturno bogat pristup ekspertnog sistema.

Mehanizam rezonovanja fazi sistema funkcioniše u tri koraka. Prvi korak naziva se fazifikacija (eng. *Fuzzification*), u kojem se ulazne vrijednosti prevode u fazi vrijednosti. Drugi korak obuhvata evaluaciju pravila, gdje se vrši proračun fazi vrijednosti. Treći korak obuhvata defazifikaciju (eng. *Defuzzification*), odnosno prevođenje fazi izlaznih vrijednosti u standardne izlazne vrijednosti.

Tehnika vještačke inteligencije koja se bazira na fazi logici zahtijeva identifikaciju članova funkcije pripadnosti fazi skupa. Iako mnogi radovi sugerišu različite vrste funkcija pripadnosti u svrhu određivanja članova fazi skupa, u praktičnoj primjeni najviše se koristi standardna funkcija pripadnosti u obliku trougla.



Slika 5.8 Funkcija pripadnosti u obliku trougla

Funkcija trougla za određivanje članova fazi skupa, prikazana na slici 5.8, definiše se jednačinom:

$$Troughao(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 ; & (x \leq a) \\ \frac{x - a}{b - a} ; & (a \leq x \leq b) \\ \frac{x - b}{c - b} ; & (b \leq x \leq c) \\ 0 ; & (x \geq c) \end{cases} \quad (3)$$

Standardna funkcija pripadnosti u obliku trougla za određivanje članova sadrži tri parametra: parametar a (minimalna vrijednost funkcije), parametar b (srednja vrijednost funkcije) i parametar c (maksimalna vrijednost funkcije), koji određuju oblik trougla. Pored funkcije pripadnosti, fazi model koristi fazi pravila, koja predstavljaju produkciona pravila tipa “ako-onda”.

Fazi pravila igraju ključnu ulogu u prezentaciji ekspertnog znanja i iskustva, kao i u povezivanju ulaznih promenljivih u izlazne promenljive fazi modela. Fazi pravila koja se najčešće koriste poznata su kao Mamdani fazi pravila [159]. Mamdani fazi pravila su jednostavna, jasna i efikasna prilikom opisivanja procesa izbora odgovarajućih fazi veličina. Primjer Mamdani fazi pravila dat je u nastavku:

AKO Tvrdoća materijala je visoka **I** Prečnik rupe Veliki
ONDA Brzina rezanja je Niska

Korišćenje tehnike fazi logike prilikom CAD/CAPP integracije bazira se uglavnom na automatizaciju aktivnosti računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa. Najbolji rezultati automatizacije CAPP aktivnost ostvareni su u oblasti izbora parametara mašinske obrade. Primjena tehnike na bazi fazi logike, u ostalim CAPP aktivnostima, veoma je skromna. Dostupno je veoma malo literature koja opisuje primjenu fazi logike u oblasti projektovanja tehnoloških procesa.

El - Baradie [160] predlaže i opisuje razvojne stadijume modela fazi logike u svrhu izbora parametara mašinske obrade. Model se zasniva na pretpostavci da, odnos između tvrdoće materijala i preporučene brzina rezanja, je neprecizan odnos, koji može biti opisan i vrijednovan pomoću teorije fazi skupova. Model je primijenjen na podatke koji su izdvojeni iz priručnika za mašinsku obradu i dobijena je vrlo dobra korelacija između podataka iz priručnika i podataka koji su predviđeni korišćenjem fazi logičkog modela. Wong i sar. [161] predložili su novi fazi model za izbor podataka mašinske obrade, koji se razlikuje od El Baradie. Model koji sugerije El Baradie bazira se na fazi odnosu: jedan ulaz - jedan izlaz, kojim se posmatra dubina rezanja kao diskretan parametar. Dok Wong i sar. [161] ukazuju na izvodljivost uključivanja dubine rezanja kao jednog od kontinualnih parametara potrebnih za određivanje brzine rezanja. Hashmi i sar. [162] razvili su model fazi logike koji se koristi za izbor brzine rezanja za tri različita materijala za operaciju bušenja. U okviru fazi modela izvršen je opis odnosa između tvrdoće materijala i brzine bušenja. Takođe, izvršena je procjena ovog opisa preko fazi odnosa za različite materijale alata, prečnike rupa i vrijednosti posmaka. Amatik [163] predlaže nekoliko modela fazi logike koji su razvijeni u svrhu izbora parametara mašinske obrade za operacije bušenja i glodanja. Svaki model koristi dvije ulazne promenljive, dve izlazne promenljive, pet fazi skupova, devet materijala dijelova i dva materijala alata. Prilikom razvoja modela fazi logike autor definiše tri osnovne komponente: fuzifikaciju ulaznih i izlaznih promenljivih, primjenu fazi pravila i defazifikaciju izlaznih promenljivih. Zhang i Huang [164] su razvili fazi pristup na bazi kvantitativne procjene za izbor tehnoloških procesa. U okviru ovog pristupa, korišćenjem teorije fazi skupova vrši se proračun doprinosa tehnološkog procesa performansama proizvodnog sistema. Na osnovu rezultata dobijenih primjenom ovog pristupa, vrši se izbor optimalnog tehnološkog procesa.

Najširu praktičnu primjenu fazi logika je postigla u Japanu, gdje je već prijavljeno više od 2000 patenata u oblasti automobilske industrije, audio i video tehnike i aparata za domaćinstvo. Lideri praktične primjene fazi logike su korporacije Toyota, Nissan, Sanyo, Fisher, AEG i Matsuhisa.

Prednosti metode rezonovanja na bazi fazi logike su:

- *Fazi logika omogućava blisku simulaciju ljudskog rezonovanja i obuhvata elemente rezonovanja kao što su neizvesnost i dvosmislenost i*
- *Implementacijom fazi logike moguće je povezati simboličke i numeričke pristupe u oblasti vještačke inteligencije.*

Nedostaci metode rezonovanja na bazi fazi logike ogledaju su generisanju nepreciznih informacija i nemogućnosti samostalnog donošenja odluka. Domen postavke problema u fazi modelu mora biti eksplicitno definisan. Fazi model je beskorisan ukoliko se pojavi problem koji se nalazi izvan definisanog domena problema.

5.4.4 CAD/CAPP integracija na bazi heurističkih algoritama

Jedna od glavnih karakteristika računara je da, u kratkom vremenu, generišu tačno rješenje složene računске operacije koja je sastavni dio nekog problema. Ipak, uz svu tehnologiju i napredak postignut u računarskoj nauci, postoje problem koje postojećim metodama nije moguće riješiti u realnom vremenu. Posebnu grupu problema čine NP-teški i NP-potpuni problemi. NP problemi predstavljaju probleme za čije rešavanje nisu poznati algoritmi čija se složenost može izraziti polinomijalnom funkcijom (npr. linearnom, kvadratnom, kubnom). Definicije NP problema mogu se pronaći u [165], [166]. U NP-teške i NP-potpune probleme spadaju i mnogi kombinatorni problemi, poput problema raspoređivanja i redoslijeda operacija i zahvata u toku procesa proizvodnje. Poznati algoritmi za rešavanje NP-teških problema su u najboljem slučaju eksponencijalne složenosti, gdje je vrijeme njihovog izvođenja eksponencijalnog rasta. To znači da se pojedini problemi, primjenom egzaktnih algoritama, ne mogu riješiti godinama.

Posmatrano sa strane praktične primjene, često probleme nije ni potrebno egzaktno riješiti, jer je dovoljno dati približno rješenje. U tu svrhu koriste se iskustvene metode čija je validacija eksperimentalno potvrđena. Neke od tih metoda su i heuristički algoritmi.

Heuristika je pravilo bazirano na ljudskom iskustvu pomoću kojeg se traži rješenje nekog problema. Primjenom heuristike mogu se pronalaziti optimalna rješenja i vršiti procjene odluka. Heuristički algoritmi baziraju se na heuristici i uglavnom se koriste u rešavanju optimizacionih problema za čije rešavanje nisu poznati algoritmi polinomske složenosti.

Glavna prednost heurističkih algoritama je u smanjenju prostora pretraživanja korišćenjem neke iskustvene spoznaje, što rezultuje znatnim ubrzanjem procesa pronalazjenja rješenja. S druge strane, rešavanje problema heurističkim algoritmima ne mora uvijek voditi prema zadovoljavajućem i optimalnom rješenju. To se posebno odnosi na probleme za koje postoje egzaktni algoritmi polinomske složenosti.

Klasifikaciju heurističkih algoritama moguće je izvršiti prema različitim kriterijumima, kao što su: inspirisanost prirodnim pojavama, vrsta funkcije cilja, struktura okoline, pamćenje rješenja i način generisanja rješenja. Podjela heurističkih algoritama prema datim kriterijumima klasifikacije data je u tabeli 5.1.

Tehnike bazirane na heurističkim algoritmima postale su značajne, a najčešće i jedine, tehnike prilikom rešavanja realnih problema baziranih na optimizaciji. Ove tehnike se primjenjuju i za ubrzanje egzaktnih metoda tako što se koriste za dobijanje dobrog početnog rješenja. Sadašnje primjene potvrđuju da su se tehnike bazirane na heurističkim algoritmima pokazale

veoma uspješnim i kao sastavni dijelovi sistema za otkrivanje znanja u okviru vještačke inteligencije.

Tabela 5.1 Klasifikacija heurističkih algoritama[167]

Red. br.	Kriterijum	Podjela	Opis
1.	Inspirisanost prirodnim pojavama	<ul style="list-style-type: none"> • prirodom inspirisani heuristički algoritmi • heuristički algoritmi koji nisu prirodom inspirisani 	Ova vrsta algoritama nastala je na principima prirodnih pojava, kao što je razmjena genetskog materijala i kretanje mrava. Primjeri prirodom inspirisanih algoritama su optimizacija kolonijom mrava i genetski algoritmi. Algoritmi TABU pretraživanja i lokalnog pretraživanja pripadaju heurističkim algoritmi koji nisu prirodom inspirisani.
2.	Vrsta funkcije cilja	<ul style="list-style-type: none"> • sa statičkom funkcijom cilja • sa dinamičkom funkcijom cilja, 	Heuristički algoritmi koji u toku procesa rada ne mijenjaju svoju funkciju cilja (funkciju optimizacije) klasifikuju se kao algoritmi sa statičkom funkcijom cilja. Postoje algoritmi poput vođenog lokalnog pretraživanja čija se funkcija cilja mijenja u svrhu bježanja iz lokalnog optimuma. Takvi algoritmi klasifikuju se kao algoritmi sa dnamičkom funkcijom cilja.
3.	Struktura okoline	<ul style="list-style-type: none"> • sa jednom strukturom okoline • sa skupom struktura okoline 	Heuristički algoritmi uglavnom koriste jednu strukturu okoline, ali postoje algoritmi, poput metode promenljivih okolina, koja koristi skup struktura okoline.
4.	Pamćenje rješenja	<ul style="list-style-type: none"> • sa pamćenjem prethodnih rješenja, • bez pamćenja prethodnih rješenja. 	Algoritmi koji u sebi sadrže mehanizam za izbor rješenja koje koriste u sljedećoj iteraciji nazivaju se algoritmi sa pamćenjem prethodnih rješenja (npr. algoritam TABU pretraživanja). Ukoliko se algoritam koristi drugim metodama izbora dobrog rješenja u svrhu realizacije sljedeće iteracije, tada se radi o algoritmima bez pamćenja prethodnih rješenja (npr. algoritam simuliranog kaljenja).
5.	Način generisanja rješenja	<ul style="list-style-type: none"> • konstrukcioni, • poboljšavajući i • hibridni algoritmi. 	Konstrukcioni algoritmi konstruišu ili generišu rješenje od početka prema završetku toka realizacije algoritma (npr. pohlepni algoritam). Poboljšavajući algoritmi biraju već generisana rješenja i usavršavaju ih kroz niz iteracija (npr. algoritam simuliranog kaljenja). Hibridni algoritmi predstavljaju kombinaciju prethodnih algoritama (npr. GRASP algoritam).

U svjetlu ovih primjena mogu se definisati osobine koje efikasne tehnike bazirane na heurističkim algoritmima treba da posjeduju:

- *Jednostavnost* : bazirana na jednostavnim i lako razumljivim pravilima,
- *Preciznost* : koraci kojima se opisuje heuristička metoda treba da su formulisani preciznim, po mogućnosti matematičkim terminima,
- *Dosljednost* : svi koraci metode treba da budu u skladu sa pravilima kojima je heuristika definisana,
- *Efikasnost* : primjena heuristike na neki konkretan problem treba da obezbjedi dobijanje rješenja bliskih optimalnom za većinu realnih primjera,
- *Efektivnost* : za svaki konkretan problem, metoda mora da obezbjedi optimalno ili rješenje blisko optimalnom u razumnom vremenu izvršavanja,
- *Robusnost* : metoda treba da daje podjednako dobre rezultate za širok spektar primjera iz iste klase, a ne samo za neke odabrane test primjere,
- *Jasnoća* : treba da bude jasno opisana kako bi se lako razumela, implementirala i koristila i
- *Univerzalnost* : principi kojima je metoda definisana treba da budu opšteg karaktera kako bi se sa lakoćom primjenjivala na nove probleme.

U okviru ovog rada, izvršen je opis heurističkih metoda koji su bazirane na prirodnim pojavama, i to:

- *Genetskim algoritmima,*
- *Algotmima simuliranog kaljenja,*
- *Algotmima kolonije mrava i*
- *Algotmima roja čestica.*

Genetski algoritmi predstavljaju porodicu algoritama koji koriste neke od principa genetike koji su prisutni u prirodi, a u svrhu rješavanja određeneog računskog problema. Ti prirodni principi su: nasljeđivanje, ukrštanje, mutacije, zakon jačeg, selekcija. Ovi algoritmi su opšte prirode i mogu se koristiti za rješavanje raznorodnih klasa problema. Genetski algoritmi se najčešće koriste kod problema optimizacije, odnosno pronalaženja optimalnih parametara nekog sistema.

Algoritam simuliranog kaljenja pripada klasi stohastičkih optimizacionih algoritama. Osnovna karakteristika ovog algoritma je što omogućava bijeg iz lokalnog optimuma. Algoritam je nastao po analogiji sa metalurškim kaljenjem, čiji je cilj promjena unutrašnje strukture metala u svrhu dobijanja boljih mehaničkih osobina metala.

Kretanje mrava i ptica inspirisali su razvoj nekih graničnih oblasti moderne nauke kao što je, kolektivna inteligencija. U posljednjoj deceniji profilisana je nova oblast optimizacije za koju na srpskom jeziku ne postoji adekvatan naziv. Radi se o *eng. Ant Colony Optimization (ACO)*, ili u radnom prevodu "Optimizaciji pomoću kolonija mrava". Ovu oblast karakterišu specifični optimizacioni algoritmi inspirisani ponašanjem prirodnih kolonija mrava. Slično, *eng. Particle Swarm Optimization (PSO)* može se slobodno tumačiti kao "Optimizacija na bazi roja čestica" koju karakterišu specifični algoritmi nastali na bazi prirodnog ponašanja pčela ili ptica prilikom kretanja (leta) u formaciji roja. Ove procedure optimizacije zasnivaju se na indirektnoj komunikaciji i saradnji više agenata, slično kako u prirodi komuniciraju i ponašaju se neke vrste mrava, pčela i ptica. Ovi algoritmi pripadaju oblasti vještačke inteligencije zbog toga što:

- *Na konceptualnom nivou sadrže jaku komponentu samoučenja i*
- *Rješavaju tzv. NP-teške i NP-kompletne kombinatorne probleme.*

Genetski algoritmi prvi put se opisuju 1975. godine u knjizi „Prilagođavanje u prirodnim i vještačim sistemima“, autora John Henry Holland-a [168], iako se i prije 70-tih godina prošlog vijeka predlažu rješenja problema na bazi simulacije ponašanja, odnosa i veza kao u prirodi. Osnovna ideja GA je simuliranje procesa prirodne evolucije (selekcije) jedne populacije jedinki pod dejstvom genetskih operatora.

Genetski algoritmi se danas primjenjuju za rješavanje široke klase problema optimizacije. Genetski algoritam bazira se na konačnom skupu jedinki koji se naziva populacija. Svaka jedinka u populaciji predstavljena je nizom karaktera (genetskim kodom-hromozom), a sam proces kodiranja najčešće je binarne prirode. U svrhu obezbjeđenja raznovrsnosti genetskog materijala, početna populacija obično se generiše na slučajan način. Prilikom generisanja početne populacije, svakoj jedinci se dodjeljuje funkcija prilagođenosti/ocjene. Funkcija ocjene je veza između GA i problema koji se rješava. Funkcija ocjene uzima kao ulazni podatak hromozom, a kao rezultat vraća broj ili listu brojeva koji predstavljaju karakteristike tog hromozoma. Interakcija jedne jedinke sa okolinom daje mjeru njene prilagođenosti, a interakcija hromozoma sa funkcijom ocjene određuje mjeru pogodnosti, koliko je taj hromozom pogodan za dalju reprodukciju.

Koncept genetskih algoritama bazira se na algoritmu čiji je cilj poboljšanje funkcije ocjene/prilagođenosti svake jedinke u populaciji. Algoritam se ponavlja onoliko puta koliko ima generacija, odnosno do postizanja kriterijuma zaustavljanja genetskog algoritma. Pored kriterijuma zaustavljanja, genetske algoritme karakterišu operatori selekcije, ukrštanja i mutacije.

Uloga genetskog operatora selekcije u genetskom algoritmu je izbor odgovarajućih jedinki iz populacije kako bi se kreirala nova generacija. Selekcija jedinki direktno zavisi od vrijednosti funkcije prilagođenosti. U konceptu GA smatra se da će jedinke sa boljom funkcijom prilagođenosti prenijeti bolje osobine (genetski materijal) u narednu generaciju. Jedinke sa lošijom funkcijom prilagođenosti imaju manju šansu za prolaz u sljedeću generaciju i postepeno će nestajati iz populacije.

Operator ukrštanja u genetskom algoritmu namijenjen je za razmjenu genetskog koda dvije ili više jedinke-roditelja u svrhu generisanja novih kodova jedinki-potomaka. Razmjena genetskog materijala pruža mogućnost da dobre jedinke generišu još bolje potomke, ali i da neki dobri geni relativno lošijih jedinki dobiju šansu za dalju reprodukciju.

Operator mutacije koristi se za izmjenu pojedinih simbola koda jedinke sa nekim drugim simbolima usvojenog načina kodiranja. Primjenom genetskog algoritma, odnosno višestrukom primjenom operatora selekcije i ukrštanja, može doći do gubitka genetskog materijala i karakteristika jedinki. Da bi se to spriječilo, koristi se operator mutacije čija je svrha rada unošenje raznovrsnosti između jedinki populacije.

Genetski algoritam, zajedno sa svojim operatorima, primjenjuje se sa onolikim brojem ponavljanja sve dok se ne postigne neki od kriterijuma zaustavljanja. Najčešći kriterijumi zaustavljanja genetskih algoritama su: optimalna funkcija prilagođavanja (minimalna ili maksimalna vrijednost), maksimalni broj generacija i konstantno rješenje nakon realizacije zadatog broja generacija.

Ukoliko su poznate informacije u vidu problema, tehnike za kodiranje rješenja i funkcije koje daju informaciju o tome koliko je neko rješenje dobro, tada je moguće primijeniti GA. Zapis u obliku pseudo koda osnovnih elemenata genetskog algoritma dat je u tabeli 5.2.

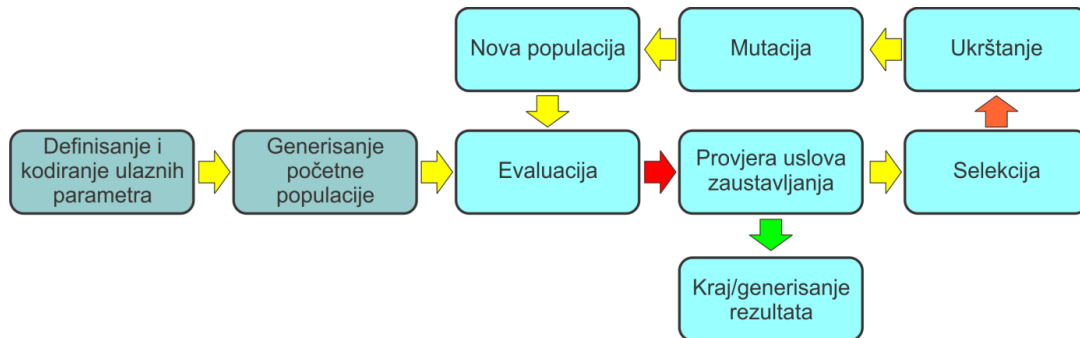
Tabela 5.2 Pseudo kod osnovnih elemenata genetskog algoritma

```
1:Unošenje_Ulaznih_Podataka();
2:Generisanje_Početne_Populacije();
3:  while not Kriterijum_Zaustavljanja_GA() do
4:    for i=1 to Npop do
5:      obj[i] = Funkcija_Cilja(i);
6:    endfor
7:  Funkcija_Prilagođenosti();
8:  Selekcija();
9:  Ukrštanje();
10: Mutacija();
11: endwhile
12:Štampanje_Izlaznih_Podataka();
```

Skraćeni tok funkcionisanja osnovnih elemenata genetskog algoritma može se predstaviti slijedećim koracima:

- *Unošenje ulaznih podataka – definisanje i kodiranje ulaznih parametra, definisanje funkcije cilja i ograničenja,*
- *Inicijalizacija – generisanje početne populacije na slučajan način,*
- *Izračunavanje funkcije cilja i provjera kriterijuma zaustavljanja (evaluacija),*
- *Primjena genetskih operatora jedinke genetskih algoritama i*
- *Ponavljjanje koraka 2), 3) i 4) do ispunjavanja kriterijuma zaustavljanja.*

Realizacija programskog koda, odnosa elemenata i toka funkcionisanja genetskog algoritma može se uprošćeno predstaviti dijagramom prikazanim na slici 5.9.



Slika 5.9 Opšti dijagram implementacije genetskog algoritma

Genetski algoritmi bitno se razlikuju od mnogih tradicionalnih optimizacionih metoda i metoda pretraživanja. Najznačajnije razlike su [5, 7]:

- *GA pretražuje populaciju čvorova u prostoru potencijalnih rješenja, a ne jedan čvor, što mu daje osobinu robusnog algoritma,*
- *Tokom procesa rješavanja, GA ne koristi dodatne informacije o prirodi problema,*
- *GA koriste probabilistička (vjerovatnosna) pravila, a ne deterministička pravila i*
- *GA prilikom rada ne koriste parametre, nego vrše kodiranje parametara.*

Vrste genetskih algoritama

Istraživanja predstavljena u [168] predlažu da se genetski algoritmi, na osnovu vrsta operatora, podijele na: proste i složene genetske algoritme. Prosti genetski algoritam sastoji se od operatora proste rulete selekcije, jednopozicionog ukrštanja i proste mutacije. Nedostatak prostog GA ogleda se ili u preuranjenoj ili u sporoj konvergenciji prema rješenju. Prvi nedostatak javlja se usljed primjene jednostavnih operatora GA, koji kao rezultat ponavljanja generacija proizvode populaciju sa veoma sličnim jedinkama. Primjena prostih operatora može GA brzo dovesti u jedan od lokalnih optimuma, pri čemu su šanse za poboljšanje dobijenog rješenja, odnosno dobijanja globalnog optimuma, jako male. Spora konvergencija, kao drugi nedostatak, javlja se opet iz sličnosti populacija, odnosno velikoj prilagođenosti jedinki ili malim razlikama između najbolje i ostalih jedinki. U tom slučaju prirast funkcije prilagođenosti je nedovoljan (zanemarivo mali) da bi genetski algoritam dostigao optimalno rješenje u zadovoljavajućem vremenskom intervalu. Zbog navedenih nedostataka jednostavni GA uspješno se primjenjuje samo na jednostavnije i manji broj optimizacionih problema.

Složeni optimizacioni problemi zahtijevaju korišćenje poboljšanih, odnosno složenih genetskih algoritama. Složeni GA, u zavisnosti od vrste i karakteristika optimizacionog problema, obuhvataju različite vrste kodiranja, funkcija prilagođenosti, kao i veliki broj namjenski razvijenih genetskih operatora selekcije, ukrštanja i mutacije.

Karakteristični elementi genetskih algoritama

Pri implementaciji genetskih algoritama neophodno je definisati sljedeće karakteristične elemente: način kodiranja ulaznih informacija, inicijalizaciju ili generisanje početne populacije, funkciju prilagođenosti, operator selekcije, operator ukrštanja, operator mutacije i kriterijum zaustavljanja.

Kodiranje ulaznih informacija

Najvažniji faktori genetskog algoritma su način kodiranja ulaznih informacija i definisanje funkcije prilagođenosti. Ovi faktori zavise od prirode problema koji se rješava. Najčešće se koriste binarni način kodiranja, koji podrazumijeva da se svakom rješenju (ulaznom podatku) dodaje kod (odgovarajuće dužine) koji se sastoji od binarnih simbola $\{0,1\}$. Za rješavanje optimizacionih problema kod kojih nije moguće primjeniti binarno kodiranje, najčešće se koristi kodiranje Gray-evim kodom i kodiranje sa cijelim ili realnim brojevima.

U binarnoj prezentaciji svaki hromozom je predstavljen kao niz binarnih cifara u obliku vektora konstantne dužine:

$$1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \quad (4)$$

Kod različitih problema selekcije koji se pojavljuju u oblastima modeliranja i optimizacije, dužina vektora odgovara broju elemenata između kojih se vrši selekcija. Nedostatak binarnog kodiranja je što Hammingovo rastojanje, broj bitova u kojima se dva broja razlikuju, može biti veliko. U najgorem slučaju između dva susjedna broja ono može biti jednako dužini binarnog zapisa. Prema tome, dvije tačke koje su blizu u problemu, nisu blizu i u reprezentativnom prostoru. Kako bi se ispravio ovaj nedostatak, za kodiranje se koristi Gray-ev kod. Susjedni brojevi kodirani Gray-evim kodom, razlikuju se samo u jednom bitu. Algoritam transformacije binarnog broja $b = b_m b_{m-1} \dots b_1$ u Gray-ev kod $g = g_m g_{m-1} \dots g_1$ i obrnuto, iz Gray-evog koda u binarni prikazan je relacijom:

$$\begin{aligned} g_m &= b_m ; & g_k &= b_k \oplus b_{k-1}, k = 1, 2 \dots m - 1; \\ b_k &= \sum_{j=k}^m g_j \pmod{2}, & j &= 1, 2 \dots m \end{aligned} \quad (5)$$

Kodiranje realnim brojevima obezbjeđuje prednost u odnosu na binarno kodiranje, naročito u slučajevima optimizacije numeričkih funkcija. U tom slučaju, bolje je koristiti oblik broja sa pokretnom tačkom, normalizovani eksponencijalni oblik dat jednačinom (6) koji se sastoji od mantise m , osnove b , i eksponenta e :

$$X = m \cdot b^e \quad (6)$$

Inicijalizacija

Kada se odredi način kodiranja, sljedeći korak predstavlja kreiranje inicijalne/početne populacije GA. Obično se uzima da je veličina populacije konstantna, odnosno da se ona ne mijenja kroz nove iteracije. Inicijalizacija populacije najčešće se postiže slučajnim generisanjem određenog broja jedinki iz prostora mogućih rješenja. Početna populacija može biti uniformna, sve jedinke mogu biti iste. Kod konkretnih problema potrebno je iskoristiti informacije koje mogu pomoći prilikom inicijalizacije populacije sa nagoveštajem o bliskom rješenju.

Funkcija prilagođenosti

Funkcija prilagođenosti u literaturi se naziva i funkcija sposobnosti ili funkcija ocjene. U slučaju problema optimizacije, termin funkcija cilja (*eng. objective function*) najčešće se koristi u originalnom problemu, a funkcija ocjene (*eng. evaluation/fitness function*) je zapravo prosta transformacija date funkcije cilja.

Funkcija prilagođenosti, u zavisnosti od optimizacionog problema, može se računati na različite načine. Pri tom najčešće se primjenjuje linearno skaliranje, skaliranje u jedinični interval i direktno preslikavanje. Kao i kod drugih optimizacionih metoda, genetski algoritmi su najuspješniji pri rješavanju problema kod kojih je funkcija prilagođenosti neprekidna i glatka. Međutim, za razliku od ostalih metoda, pun izražaj GA dolazi upravo kada je funkcija prilagođenosti prekidna i nije glatka.

Za problem optimizacije, najveću poteškoću predstavlja definisanje funkcije prilagođenosti koja je ključ za proces selekcije. Iz tog razloga postoji više načina definisanja ove funkcije. U najjednostavnijoj interpretaciji, funkcija prilagođenosti je ekvivalent funkciji koju treba optimizovati:

$$f_{prilagođenosti}(x) = f(x) \quad (7)$$

Ovakav način tumačenja može se primijeniti za slučaj kada se traži maksimum neke funkcije $f(x)$. Kod slučaja minimizacije potrebno je izvršiti transformaciju funkcije prilagođenosti. Pri tom, najčešće se koristi De Jongova transformaciona funkcija ili relativna funkcija prilagođenosti, koja je data jednačinom:

$$F(c) = f(\phi(c)) \quad (8)$$

gdje je:

ϕ - funkcija prilagođenosti iz datog problema,

$f()$ - funkcija transformacije koja konvertuje vrijednost funkcije prilagođenosti u nenegativan broj,

$F()$ - rezultujuća relativna funkcija prilagođenosti.

Kako bi performanse GA bile bolje, prilikom izbora funkcije prilagođenosti treba težiti ka ispunjenju sljedećih uslova:

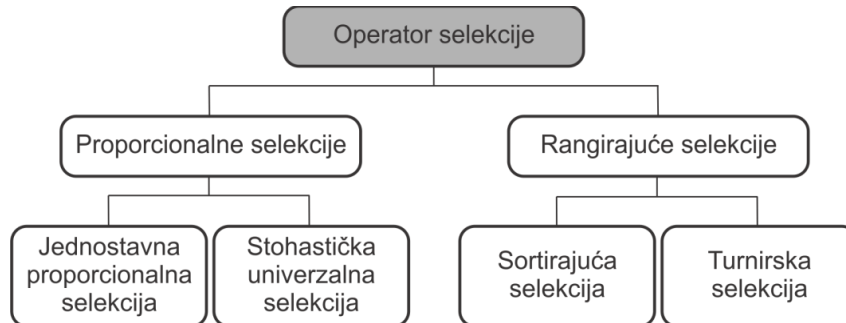
- *Da jedinke sa sličnim genetskim kodom imaju slične vrijednosti funkcije prilagođenosti,*
- *Da funkcija prilagođenosti bude glatka,*
- *Da funkcija prilagođenosti nema mnogo lokalnih ekstrema i*
- *Da funkcija prilagođenosti nema suviše izolovan globalni maksimum.*

Operator selekcije

Operator selekcije osigurava prenošenje boljeg genetskog materijala sa većom vjerovatnoćom u sljedeću iteraciju. Zavisno od metode izbora boljih jedinki kod generacijskih selekcija, odnosno loših jedinki kod eliminacijskih selekcija, postupci selekcije se dijele na proporcionalne i rangirajuće (slika 5.10). Važno je napomenuti da je zajedničko obilježje svih selekcija veća vjerovatnoća preživljavanja bolje jedinke od bilo koje druge lošije jedinke.

Proporcionalne selekcije biraju jedinke sa vjerovatnoćom koja je proporcionalna prilagođenosti jedinke, odnosno vjerovatnoća selekcije određene jedinke zavisi od

koeficijenta prilagođenosti jedinke i prosečne prilagođenosti populacije. Proporcionalne selekcije dijele se na jednostavnu proporcijalnu i stohastičku univerzalnu selekciju. Rangirajuće selekcije biraju jedinke sa vjerovatnoćom koja zavisi od položaja jedinke u poretku jedinki sortiranih po prilagođenosti. Rangirajuće selekcije se dijele na sortirajuće i turnirske selekcije.



Slika 5.10. Klasifikacija operatora selekcije

Operator selekcije je u direktnoj vezi sa funkcijom prilagođenosti. Operatori selekcije koji su najzastupljeniji prilikom rješavanja optimizacionih problema genetskim algoritmima su:

- *Prosta rulet selekcija,*
- *Selekciju baziranu na rangiranju i*
- *Turnirska selekcija.*

Najčešće se primjenjuje prosta rulet selekcija, kao operator selekcije, prilikom realizacije genetskih algoritama. Kod proste rulet selekcije koristi se distribucija u kojoj je vjerovatnoća selekcije jedinke proporcionalna njenoj prilagođenosti. U skladu sa tim šansama, jedinke učestvuju na ruletu i prolaze ili ne prolaze u proces stvaranja nove generacije. Kao što je ranije pomenuto, nedostatak proste rulet selekcije je nemogućnost rane konvergencije prema lokalnom optimumu.

Operator selekcije koji koristi selekciju baziranu na rangiranju ili ocjenjivanju genetskih kodova prema njihovoj prilagođenosti, koristi se u svrhu prevazilaženja prethodnog problema. Funkcija prilagođenosti jedinke jednaka je nekoj ocjeni iz unapred zadatog niza ocjena (rangova). U ovom slučaju funkcija prilagođenosti zavisi od pozicije jedinke u populaciji.

Operator selekcije koji se bazira na principu turnira naziva se turnirska selekcija. U ovom slučaju turniri predstavljaju takmičenja između jedinki populacije, koji se nadmeću radi preživljavanja i učešća u sljedećoj generaciji. Parametar turnirske selekcije (N) predstavlja broj jedinki koje učestvuju na turniru, odnosno veličinu turnira. Princip turnirske selekcije bazira se na slučajnom grupisanju N jedinki u podskupove, a zatim se bira najbolja jedinka iz svakog od podskupova. Ovako izabrana jedinka učestvuje u stvaranju nove generacije. Problem koji se javlja kod turnirske selekcije ogleda se u pojavi nepovoljnih stohastičkih efekata prilikom izbora genetskog materijala potrebnog za narednu generaciju.

Operator ukrštanja

Operator ukrštanja koristi se u svrhu razmjene genetskog materijala jedinki-roditelja. U genetskim algoritmima najčešće se primjenjuju:

- *Jednopolozicioni,*

- *Dvopozicioni (višepozicioni), i*
- *Uniformni operatori ukrštanja.*

Kod operatora jednopozicionog ukrštanja parovi jedinki-roditelja iz populacije i broj $k \in \{0, \dots, n-1\}$, koji predstavlja tačku ukrštanja, biraju se na slučajan način. U ovom slučaju broj n predstavlja dužinu genetskog koda. Princip ukrštanja jedinki-roditelja primjenom ovog operatora bazira se na uzajmnom mijenjanju mjesta gena, od pozicije $k+1$ do pozicije $n-1$. Na ovaj način vrši se kreiranje dvije nove jedinke-potomaka. Na primjer, ako su date dvije jedinke-roditelja [roditelj1 : G1 - G2 - | G3 - G4 - G5] i [roditelj2 : G5 - G3 - | G1 - G4 - G2] i tačka ukrštanja koja je slučajno izabrana na poziciji $k=2$, jednopozicioni operator generiše sljedeće jedinke-potomke [potomak1 : G1 - G2 - G1 - G4 - G2] i [potomak2 : G5 - G3- G3 - G4 - G5].

Kod operatora dvopozicionog ukrštanja, umjesto jedne, biraju se dvije tačke ukrštanja k_1 i k_2 . Nakon slučajnog izbora tačaka razmjenjuju se kodovi jedinki roditelja, od gena na poziciji k_1+1 do gena na poziciji k_2 . Jedan od najpoznatijih operatora dvopozicionog ukrštanja naziva se djelimično uparen operator ukrštanja (*PMX – eng. Partially Matched Crossover*). PMX operator ukrštanja nastao je na problemu trgovačkog putnika. PMX operator koristi dvije jedinke-roditelja i slučajno odabrane dvije tačke ukrštanja. Princip rada PMX operatora bazira se na uzajamnoj zamjeni mjesta gena između jedinki roditelja. Na primjer, ukoliko se koriste jedinke-roditelja iz prethodnog primjera i dvije tačke ukrštanja na poziciji 2 i 4. Kao rezultat PMX operatora generišu se jedinke-potomaka [potomak 3 : G1 - G2- | G1 - G4- | G5] i [potomak4 : G5 - G3- | G3 - G4- | G2]. Ova srednja stanja jedinki-potomaka nisu validna, jer se neki od gena više puta pojavljuju, a drugi se uopšte ne pojavljuju. Kako bi se eliminisao ovaj problem, jedinke-potomaka prolaze kroz proces validacije koji proizvodi validne gene. U procesu validacije potrebno je voditi računa da geni između tačka ukrštanja nisu promjenjeni i da se svaki gen pojavljuje jednom i samo jednom u genetskom kodu. Rezutat nakon validacije je : [potomak3: G3 - G2- | G1 - G4- | G5] i [potomak4: G5 - G1- | G3 - G4- | G2] .

Operator uniformnog ukrštanja, na slučajan način, za svaki par jedinki-roditelja generiše binarni niz iste dužine kao genetski kod jedinki. Ovaj binarni niz često se naziva "maska". Maska se sastoji od niza 0 i 1. Tamo gdje maska ima vrijednost 0 jedinke-roditelji razmijenjuju gene, dok na mjestima gdje maska ima vrijednost 1 roditelji zadržavaju svoje gene.

Primjena različitih strategija prilikom kodiranja i selekcije može dovesti do značajnih razlika u performansama genetskih algoritama. Kod izbora operatora ukrštanja, te razlike su manje ali ipak utiču na rezultate rješavanja problema primjenom GA. Koji operator ukrštanja koristiti zavisi od karakteristike problema koji se rješava primjenom genetskih algoritama. U slučajevima kada je potrebno očuvati strukturu genetskog koda na određenom nivou najčešće se koristi jednopozicioni operator ukrštanja. Ako priroda problema zahtjeva da se u većoj mjeri izvrši mješanje blokova gena u genetskom kodu, tada se koriste dvopozicioni (višepozicioni) operator ukrštanja. Operator uniformno ukrštanje koristi se u slučaju kada su geni potpuno nezavisni i kada je potrebno izvršiti potpuno mješanje genetskog koda.

Operator mutacije

Operator mutacije primjenjuje se u cilju unošenja novog genetskog materijala u već postojeće jedinke (hromosome). Ovaj operator može da spriječi populaciju da konvergira i završi u lokalnom optimumu. Proces mutacije u genetskim algoritmima vrši se sa određenom vjerovatnoćom p_m koja se naziva stepen mutacije. Stepen mutacije se obično postavlja na

nizak nivo kako se ne bi izgubile dobre jedinke, dobijene procesom ukrštanja. Ukoliko se stepen mutacije postavi na visok nivo, karakteristike genetskog algoritma se približavaju algoritmu slučajnog pretraživanja. Kod genetskih algoritama, mutacija se obično primjenjuje sa niskom vjerovatnoćom, najčešće od 0,1 do 0,5.

Kod binarne reprezentacije najčešće se koristi operator proste mutacije. Kod ove mutacije svaki gen se posmatra posebno i svakom bitu koji predstavlja gen dozvoljeno je da se promjeni ($1 \rightarrow 0$ ili $0 \rightarrow 1$) sa malom vjerovatnoćom p_m . Operator proste mutacije moguće je ubrzati primjenom binomne i normalne raspodjele.

Postoji i određen broj operatora mutacije koji direktno zavise od prirode problema koji se rješava primjenom genetskih algoritama. To se najčešće dešava usljed specifičnosti načina kodiranja ili uslijed velikog broja ograničenja. U takvim slučajevima cilj je očuvanje korektnosti genetskih kodova jedinki kao i osobina izvornog oblika genetskog algoritma. Neki od problema zavisnih operatora mutacije su: hipermutacija, modifikovani osnovni operator (MBO), operator izmjene niza i operator mutacije prema unazad.

Kriterijum zaustavljanja

Operatori genetskog algoritma uzastopno se primjenjuju do zadovoljenja nekog od kriterijuma zaustavljanja. Uslovi koji se najčešće koriste kao kriterijumi zaustavljanja su: dostignut maksimalni broj generacija, najbolja jedinka se ponavlja zadati broj puta, algoritam je dostigao optimalno rješenje (ukoliko je ono unapred poznato), dokazana optimalnost najbolje jedinke (ukoliko je to moguće), ograničeno vrijeme izvršavanja i prekid izvršavanja od strane korisnika. U praksi se pokazalo da najbolje rezultate daje proizvoljno kombinovanje kriterijuma zaustavljanja, jer se tako smanjuje mogućnost loše procjene prekida rada genetskog algoritma.

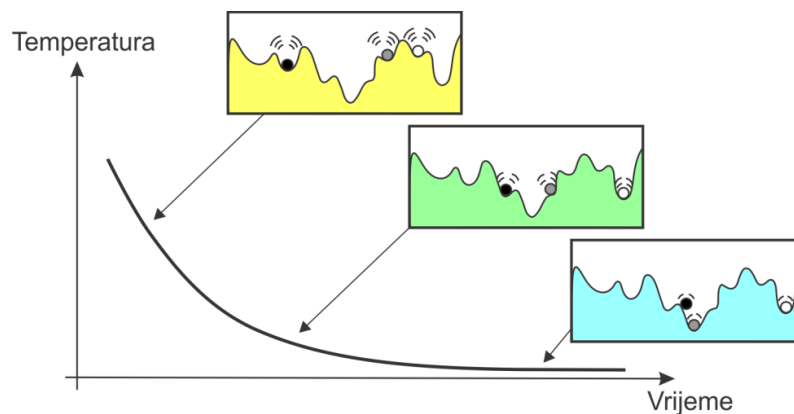
Simulirano kaljenje (SA – eng. *Simulated Annealing*) predstavlja metodu optimizacije baziranu na lokalnom pretraživanju, uz mehanizam inspirisan procesom kaljenja legura metala. Osnovna prednost koju ovaj princip obezbjeđuje je mogućnost izlaska rješenja iz lokalnog optimuma funkcije. Algoritam je predložen 1983. godine od strane Kirkpatricka i sar. [169].

Kaljenje je proces kojim se legura metala zagreva do temperatura nešto iznad kritične tačke A_3 , a zatim hladi brzinom većom od kritične u cilju dobijanja martenzitne strukture, a time visoke tvrdoće i otpornosti na habanje. Uspješno izvođenje kaljenja legure metala i dobijanje pretežno martenzitne strukture po cijelom poprečnom preseku dijela zavisi od više faktora: temperature zagrijavanja, vremena zagrijavanja, sredine u kojoj se izvodi zagrijavanje, brzine hlađenja i prokaljivosti. Postepenim hlađenjem atomi čelika, nakon procesa kaljenja, formiraju pravilnu kristalnu rešetku i time se postiže energetska minimum kristalne rešetke.

Sa aspekta optimizacije pomoću ove metode, minimum funkcije cilja za koju se traži globalni optimum može se posmatrati kao energija kristalne rešetke. S druge strane, maksimum funkcije cilja za koju se traži globalni optimum može se posmatrati kao negativna energija kristalne rešetke. Prvi korak u ovoj metodi predstavlja izbor početnog rješenja i postavljanje početne temperature kaljenja na relativno visoku vrijednost. Zatim se, na slučajan način, bira jedno rješenje iz okoline posmatranog rješenja. Ako je to rješenje bolje, ono postaje novo rješenje. Ako je novo rješenje lošije od posmatranog, ono ipak može da postane novo rješenje ali sa određenom vjerovatnoćom. Vjerovatnoća prihvatanja lošijeg rješenja obično zavisi od parametra koji predstavlja temperaturu i vremenom opada kako se algoritam

izvršava. Ovakav pristup obezbjeđuje efikasan mehanizam za izlazak iz lokalnog optimuma funkcije. U početku je ta vjerovatnoća velika, pa će u cilju prevazilaženja lokalnog optimuma lošije rješenje biti prihvaćeno. Pred kraj izvršavanja algoritma vjerovatnoća prihvatanja lošijeg rješenja je jako mala, jer se smatra da je optimum dostignut ili se nalazi blizu najboljeg rješenja, pa se izbjegava pogoršanje tekućeg rješenja.

U saglasnosti sa procesom kaljenja, algoritam SA sadrži parametar temperature i šemu hlađenja. Najčešće temperatura opada eksponencijalno s parametrom v iz intervala $(0; 1)$. Ako se parametru v dodijeli veoma mala vrijednost, hlađenje je prebrzo što može dovesti do zarobljavanja rješenja u lokalnom optimumu. U suprotnom ako se parametru v dodijeli vrijednost bliska jedinici, hlađenje je veoma sporo, pa će se pretraga pretvoriti u nasumičnu pretragu velikog prostora rješenja. Razlog velikog broja rješenja je veliki stepen vjerovatnoće kojim se u početku bolja rješenja zamijenjuju lošijim. Iz tog razloga potrebno je odabrati parametar v tako da ima dovoljno veliku vrijednost i da temperatura pri kraju procesa bude niska, što rezultuje stabilizaciji rješenja u jednom lokalnom području. Pojednostavljen prikaz implementacije metode SA prikazan je na slici 5.11.



Slika 5.11 Pojednostavljen prikaz implementacije metode SA [25]

Pri svakoj temperaturi slučajno biranje rješenja iz okoline i njegova provjera vrši se više puta, a ne samo jednom, kako bi se rješenje stabilizovalo na tekućoj temperaturi. Opisani koraci u metodi simuliranog kaljenja mogu se predstaviti pojednostavljenim algoritmom prikazanim u tabeli 5.3.

Tabela 5.3 Pojednostavljen algoritam metode simuliranog kaljenja

```

1:  $x = x_0$ ;
2:  $T = T_{max}$ ;
3: ponavljaj{
4:   ponavljaj određeni broj puta{
5:     generisanje slučajnog rješenja  $x'$  u okolini rješenja  $x$ ;
6:      $\Delta E = f(x') - f(x)$ ;
7:     ako je  $(\Delta E \leq 0)$  {
8:        $x' = x$ 
9:     } inače{
10:      prihvatanje rješenja  $x'$  sa vjerovatnoćom  $e^{-\frac{\Delta E}{T}}$ ;
11:    }
12:  }
13:   $T = T \cdot v$ 
14: }
15: } (dok se ne zadovolji kriterijum zaustavljanja)

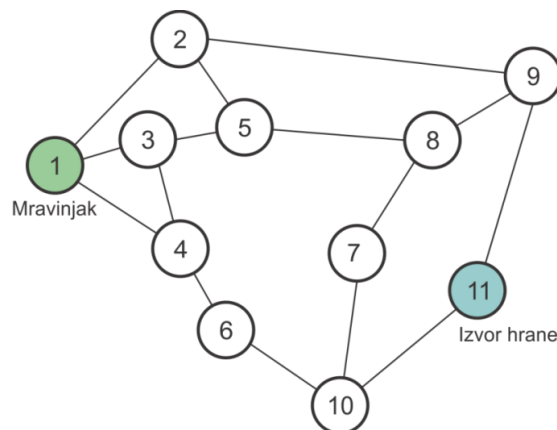
```

Optimizacija na bazi kolonije mrava bazira se na prirodnoj pojavi ponašanja mrava koju su izučavali Goss i Deneubourg [170]. Na osnovu njihovih eksperimenata zaključeno je da mravi uvijek biraju najkraći put od mravinjaka do izvora hrane. Najveći uticajni faktor predstavlja feromonski trag koga mravi ostavljaju iza sebe i omogućavaju drugim mravima da slijede taj trag. Mravi će biti u stanju da u istom vremenskom intervalu, više puta pređu kraću putanju od mravinjaka do izvora hrane, u odnosu na dužu putanju. Samim tim, količina ispuštenih feromona po putanji biće veća. Ta činjenica utiče da cijela populacija mrava svoje kretanje prilagođava najkraćoj putanji.

Ovakvo ponašanje na makroskopskom nivou (pronazak najkraćeg puta između izvora hrane i mravinjaka) rezultat je interakcija na mikroskopskom nivou (interakcije između mrava koji zapravo nisu svjesni "šire slike") [171]. Takvo ponašanje je osnova za pojavu koja se danas naziva izranjajuća inteligencija (*eng. emerging intelligence*) ili samoučenje.

Pojednostavljeni matematički model

Matematički model koji opisuje kretanje mrava dat je u [172]. Simulacije ovakvih sistema izuzetno su kompleksne. Međutim, pojednostavljen model kretanja mrava moguće je objasniti na primjeru pronalaska najkraće putanje od mravinjaka do izvora hrane. Neka je dat sistem tunela u vidu grafika prikazanog na slici 5.12. U grafiku čvor1 predstavlja mravinjak, a čvor11 izvor hrane. Tuneli se radi lakšeg prikaza modeliraju kao ivice grafika. Ideja algoritma na bazi kolonije mrava bazira se na sljedećim činjenicama.



Slika 5.12 Primjer pronalaska najkraće putanje od mravinjaka do izvora hrane

U fazi inicijalizacije, svim ivicama grafika dodjeljuje se ista (fiksna) količina feromona. U prvom koraku, mrav iz mravinjaka (čvor 1) donosi odluku u koji će čvor krenuti. Ovu odluku donosi na osnovu vjerovatnoće izbora ivice (putanje) p_{ij}^k :

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha}{\sum_{l \in N_i^k} \tau_{il}^\alpha}, & (9) \\ 0, & \end{cases}$$

pri čemu τ_{ij} predstavlja vrijednost feromonskog traga na ivici između čvorova i i j , a α predstavlja konstantu. Skup N_i^k predstavlja skup svih indeksa svih čvorova, u koje je u koraku k , moguće preći iz čvora i . U datom primjeru $N_1^1 = \{2; 3; 4\}$. Ako iz čvora i nije moguće preći

u čvor j , vjerovatnoća $p_{ij}^k = 0$. Suma u nazivniku prethodnog izraza odnosi se na vrijednost feromonskog traga za sve ivice koje vode do čvorova u koje se može stići iz čvora i . Procedura izbora čvora ponavlja se sve dok mrav ne stigne do izvora hrane (čvor 11). Pošto se rješenje problema ovom tehnikom konstruiše dio po dio, algoritam na bazi kolonije mrava pripada klasi konstrukcionih algoritama.

Kada mrav stigne do izvora hrane, poznat je pređeni put. Pri simulaciji algoritma usvojeno je da mravi ostavljaju feromone prilikom povratka u mravinjak. Prema tome, količina feromona je proporcionalna dobroti dobijenog rješenja (odnosno obrnuto proporcionalna dužini pređenog puta). Ažuriranje algoritma vrši se za sve moguće putanje između susjednih čvorova, prema izrazu:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta\tau^k \quad (10)$$

$$\Delta\tau^k = \frac{1}{L} \quad (11)$$

gdje je: L dužina generisanog puta.

Isparavanje feromona modelira se izrazom:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} \cdot (1 - \rho) \quad (12)$$

gdje je ρ brzina isparavanja feromona (iz intervala 0 do 1). Isparavanje feromona primjenjuje se na sve ivice grafika.

Nedostatak ovog pristupa evidentiran je ako se prilikom dinamičke konstrukcije putanje mrava, u svakom čvoru, dopusti izbor bilo kojeg povezanog čvora. U tom slučaju moguće je dobiti ciklusne (kružne) putanje, što je nepoželjno. Nedostatak je identifikovan i ako se vrši ažuriranje feromonskog traga nakon prolaska svakog mrava. Pseudokod jednostavnog algoritma na bazi kolonije mrava prikazan je u tabeli 5.4.

Tabela 5.4 Pseudokod jednostavnog algoritma na bazi kolonije mrava

1:	kreiraj konstrukcioni grafik
2:	inicijalizuj vrijednosti feromona
3:	ponavi sve dok nije kraj
4:	ponavi za svakog mrava
4:	kreiraj rješenje
5:	vrijednuj rješenje
6:	kraj ponavljanja
7:	izvrši izbor podskupa mrava
8:	ponavi za odabrani podskup mrava
9:	ažuriraj feromonske tragove
10:	kraj ponavljanja
11:	ispari feromonske tragove
12:	kraj ponavljanja

Algoritam koristi populaciju od m mrava, koji učestvuju u generisanju početnog rješenja. Broj mogućih putanja od mravinjaka do izvora hrane predstavlja početnu populaciju mrava m . Za svakog mrava (putanju) vrši se vrijednovanje rješenja (računanje dužina putanja). Prilikom konstrukcije putanje svaki mrav pamti prethodno pređeni put. Kada mrav vrši izbor slijedećeg čvora, na automatizovan način se odbacuju čvorovi kroz koje je već prošao (skupovi N_i^k). Nakon kreiranja i vrijednovanja početnog rješenja, vrši se izbor $n < m$ mrava koji će obaviti ažuriranje feromonskih tragova. Nakon toga, primjenjuje se procedura isparavanja feromona i

postupak se ciklično ponavlja do postizanja kriterijuma zaustavljanja algoritma. Kriterijumi zaustavljanja algoritma na bazi kolonije mrava najčešće su konstantnost generisanog rješenja, broj cikličnih ponavljanja i vremenska ograničenja.

Optimizacija na bazi roja čestica (PSO – eng. *Particle Swarm Optimization*) predstavlja metodu inspirisanu inteligencijom grupe. Posmatranjem prirodnog procesa udruživanja jedinki u grupe, primjećeno je da bespomoćne jedinke, kada se udruže, postaju ozbiljan činioc. Na ovaj način vrši se akumulacija inteligencije koja rezultuje pojavom stvaranja kolektivne inteligencije.

Posmatranjem jata ptica u potrazi za hranom, kao skupa čestica, uočeno je da svaka čestica (ptica) koristi nekoliko pravila za prilagođavanje svog leta u grupi kao što su:

- *Izbjegavanje sudara,*
- *Prilagodavanje brzine leta i*
- *Pokušaj ostanka u blizini ostalih ptica.*

Inspirisani ovim uočenim činjenicama, Eberhart i Kennedy [173] dolaze na ideju kreiranja algoritma za rješavanje optimizacionih problema. U algoritam autori uključuju i sociološku interakciju između čestica u roju, tako da svaka čestica pamti svoju do tada pronađenu najbolju poziciju, ima uvid u najbolje pozicije svojih susjeda i kretanje usmjerava uzimajući u obzir obje komponente.

U PSO metodi svaka čestica odgovara jednom potencijalnom dopustivom rješenju i kreće se u d -dimenzionom dopustivom prostoru rješenja. Čestice pokušavaju da poprave svoju poziciju koristeći svoje iskustvo iz prethodnih pozicija, ali i iskustva drugih čestica. Poziciju čestice i , $i = 1, 2, \dots, n$ u roju od n čestica karakteriše d -dimenzioni vektor položaja $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$ i vektor brzine, odnosno gradijenta pravca, u kome bi se čestica kretala bez drugih uticaja $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$. Najbolju poziciju čestice i do tekućeg trenutka predstavlja vektor $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$, a najbolju poziciju cijelog roja vektor $p_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd})$.

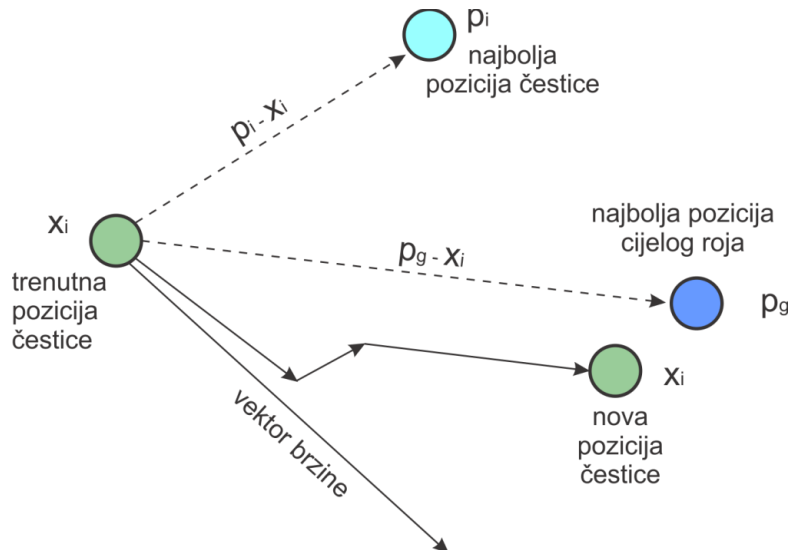
Osnovni PSO algoritam sastoji se od dijela inicijalizacije u kome se generiše roj čestica u pretraživačkom prostoru na slučajnim pozicijama i sa slučajnim pravcima kretanja čestica. U tako generisanom roju potrebno je pronaći i sačuvati najbolju česticu. Zatim, sve dok se ne ispuni kriterijum zaustavljanja, izvršava se ažuriranje vektora brzine i pomjeranje čestica na nove pozicije. U dobijenom roju čestica ažuriraju se najbolje pozicije čestica, ako je rješenje popravljeno, kao i najbolja čestica cijelog roja, ako je došlo do popravljavanja trenutno najboljeg rješenja. Ažuriranje pozicije cijelog roja, kao i pozicije najbolje čestice prikazano je na slici 5.13. U svakoj iteraciji j ažuriranje vektora brzine čestice i vrši se obrascem:

$$v_{id}^j = w \cdot v_{id}^{j-1} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id}^j - x_{id}^j) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd}^j - x_{id}^j) \quad (13)$$

gdje je: w parametar inercije koji kontroliše uticaj prethodnih brzina čestice na trenutnu brzinu, c_1 faktor kognitivnog učenja (uticaj iskustva čestice), c_2 faktor socijalnog učenja (uticaj iskustva cijelog roja) i r_1, r_2 slučajne konstante iz izabrane uniformne raspodjele $U[0; 1]$. Pomjeranje čestice i na novu poziciju X_i u iteraciji j vrši se obrascem:

$$x_{id}^{j+1} = x_{id}^j + v_{id}^j \quad (14)$$

Vrijednosti v_{id} ograničavaju se na vrijednosti iz unapred zadatog segmenta $[V_{min}; V_{max}]$, kako čestica ne bi izašla iz dopustivog prostora pretrage. Odnos između lokalnog i globalnog pretraživanja prostora dopustivih rješenja može se kontrolisati parametrom w . Za veće vrijednosti w pojačava se globalna pretraga, dok se za manje vrijednosti w pojačava lokalna pretraga. Opisana procedura može se predstaviti pojednostavljenim algoritmom PSO metode prikazanim u tabeli 5.5.



Slika 5.13 Ažuriranje pozicije cijelog roja i pozicije najbolje čestice

Tabela 5.5 Pojednostavljen algoritam PSO metode

```

1: slučajno generiši roj čestica;
2: ponavljaj{
3:    $f_i = f(X_i)$ ;
4:   za sve čestice  $i$  {
5:     za svaku koordinatu  $d$  {
6:        $v_{id} = w \cdot v_{id} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - x_{id}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd} - x_{id})$ ;
7:        $x_{id} = x_{id} + v_{id}$ 
8:     }
9:     ako ( $f(X_i) < f(p_i)$ ) onda{
10:       $p_i = X_i$ ;
11:    }
12:    ako ( $f(X_i) < f(p_g)$ ) {
13:      $p_g = X_i$ ;
14:    }
15:  }
16: } (dok se ne zadovolji kriterijum zaustavljanja)

```

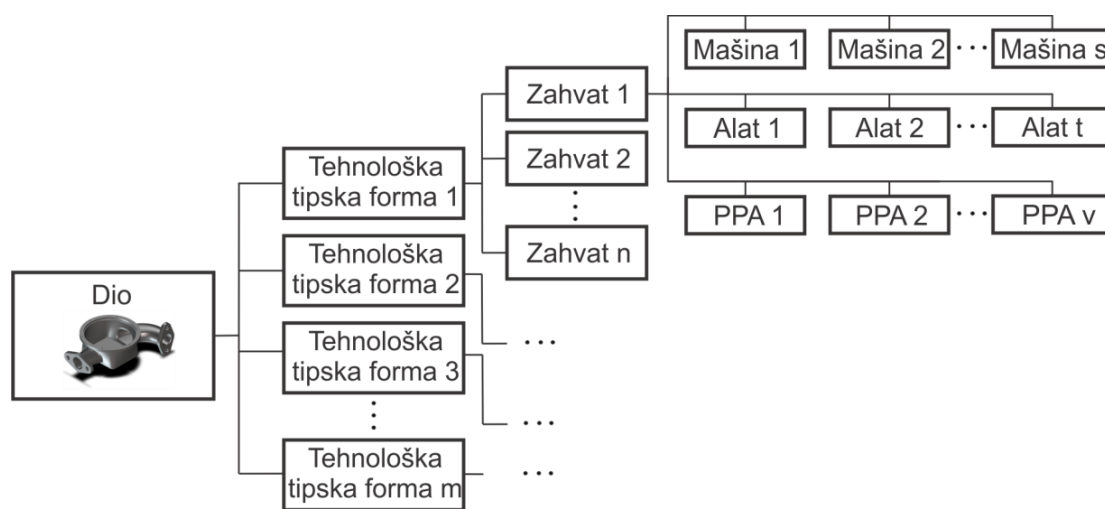
Primjena heurističkih algoritama u CAD/CAPP integraciji posljednjih deset godina je značajno intezivirana. Pri razvoju programskog sistema koji se bazira na CAD/CAPP integraciji, nepohodno je iz faze projektovanja pripremiti/generisati odgovarajuću prezentaciju dijela. Prezentacija dijela mora da sadrži geometrijske informacije (oblik, dimenzije), tehnološke informacije (tolerancije, kvalitet obrađene površine) i informacije opšteg karaktera (obim proizvodnje, materijal, namjena). Pokazalo se da su najbolji nosioci ovih vrsta informacija tehnološke tipske forme, generisane od strane CAD modelera ili nekog drugog korisničkog interfejsa.

Aktivnost projektovanja tehnoloških procesa, kao ključna aktivnost u CAD/CAPP integraciji, uključuje interpretaciju podataka o projektovanju u svrhu određivanja redoslijeda operacija i zahvata obrade za izradu dijela, definisanje tehnoloških resursa i parametara obrade, proračun ukupnog vremena i troškova obrade dijela, kao i generisanje tehnološke dokumentacije. Ekspertni sistemi, vještačke neuronske mreže i fazi logika, podržane egzaktnim algoritamskim strukturama, uglavnom se primjenjuju pri izboru tehnoloških resursa, parametara obrade, kao i proračuna vremenskih i ekonomskih pokazatelja. Heuristički algoritmi najčešće se koriste prilikom realizacije aktivnosti identifikacije i optimizacije raspoređivanja i redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade.

Optimalni redoslijed izvođenja operacija i zahvata obrade obezbjeđuje da se tehnološka tipska forma na dijelu može izraditi uz zadovoljenje geometrijskih i tehnoloških ograničenja. Geometrijska ograničenja odnose se na dimenzije i oblik dijela. Tehnološka ograničenja odnose se na tehnološke zahjeve definisane na radioničkom crtežu dijela, maksimalno iskorišćenje raspoloživih mašina, minimalni broj promjena stezanja i minimalni broj promjena alata. Problem redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade, pri projektovanju tehnoloških procesa, odnosi se na izradu dijela sa ciljem minimizacije troškova i vremena izrade. Optimalan redoslijed izvođenja operacija i zahvata obrade predstavlja mjerilo kvaliteta tehnološkog procesa, a samim tim i cjelokupnog procesa proizvodnje/izrade dijela.

Aktivnost određivanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade pripada aktivnosti koju je teško matematički opisati i modelirati primjenom egzaktnih algoritamskih struktura. Razlog leži u velikoj količini iskustvenih podataka koje je teško formalizovati, jer nije moguće matematički obuhvatiti sve činioce koji utiču na realizaciju aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa. Računarom podržano određivanje redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade predstavlja složen zadatak koji, po svojoj prirodi, pripada kombinatornim tehnikama i klasi NP-teških problema.

Ova činjenica može se objasniti ako se posmatra struktura dijela koja se sastoji od m tehnoloških tipskih formi, koje mogu biti izrađene jednim ili više zahvata obrade (slika 5.14). Ukoliko se izaberu različiti tehnološki resursi (proces, mašine, alati i/ili stezanja), svaki zahvat obrade moguće je realizovati na nekoliko različitih načina.



Slika 5.14 Zavisnost strukture dijela na bazi tehnoloških tipskih formi i zahvata obrade

Stezanje dijela pri realizaciji odgovarajućeg zahvata obrade moguće je predstaviti preko pravca prilaza alata (PPA). Ovako strukturisani podaci dovode do pojave velikog broja mogućih kombinacija tehnoloških resursa prilikom realizacije svih zahvata, odnosno prilikom izrade dijela. To dovodi do pojave NP-teškog problema, čije rješavanje egzaktnim algoritmima je vremenski izuzetno zahtjevno i nepraktično.

Primjena računara u okviru aktivnosti određivanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade omogućava različite nivoe automatizacije ove aktivnosti. Prvi nivo automatizacije odnosi se na interaktivno pridruživanje odgovarajućih zahvata i operacija obrade identifikovanim tehnološkim tipskim formama. Proces pridruživanja zahvata i operacija obrade, za prethodno identifikovane tehnološke tipske forme, vrši se na osnovu uticajnih parametara tehnoloških tipskih formi i mogućnosti procesa obrade. Na osnovu ograničenja i odnosa između zahvata, generišu se optimalni / približno optimalni redoslijedi izvođenja zahvata [174].

Naredni nivo automatizacije određivanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade, odnosi se na potpunu automatizaciju procesa izdvajanja tehnoloških tipskih formi i njihovog povezivanja sa operacijama i zahvatima obrade. Nakon povezivanja tehnoloških tipskih formi i zahvata obrade, potrebno je generisati optimalan redoslijed izvođenja zahvata i operacija obrade. Ovaj nivo automatizacije zahtjeva primjenu metoda vještačke inteligencije.

Primjenom metoda vještačke inteligencije, koje se odnose na algoritamske strukture na bazi heuristike, ostvaren je visok nivo automatizacije aktivnosti određivanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade. Heuristički algoritmi značajno doprinose povećanju automatizacije projektovanja tehnoloških procesa, a samim tim i ukupnog nivoa CAD/CAPP integracije. Heuristički algoritmi koji se najčešće primjenjuju prilikom određivanja redoslijeda izvođenja operacija i zahvata obrade su: genetski algoritmi (GA), algoritmi na bazi simulacije kaljenja (SA), algoritmi TABU pretraživanja i hibridni genetski algoritmi.

Iako postoji veliki broj istraživačkih napora u oblasti razvoja CAPP sistema, samo nekoliko njih se fokusira na određivanje i optimizaciju redoslijeda izvođenja zahvata i operacija obrade.

Istraživanja od strane Reddy i sar. [175] mogu se svrstati među prva istraživanja u oblasti određivanja optimalnog redoslijeda izvođenja zahvata obrade. Autori primjenjuju genetske algoritme u svrhu brze identifikacije optimalnih ili približno optimalnih redoslijeda izvođenja zahvata obrade. Genetski algoritam implementiran je kao opšta tehnika pretraživanja redoslijeda izvođenja zahvata obrade u dinamičnom proizvodnom okruženju. Primjenom genetskih algoritama moguće je veoma brzo generisati redoslijed izvođenja zahvata obrade. Tehnolog koristi ove algoritme u svrhu generisanja varijantnih redoslijeda izvođenja zahvata obrade, u radnom okruženju u kojoj dominira proces mašinske obrade.

Qiao i sar. [176] koriste pristup baziran na GA u svrhu određivanja redoslijeda izvođenja zahvata mašinske obrade za prizmatične dijelove. Proračun funkcije cilja, u svrhu generisanja varijantnih redoslijeda izvođenja zahvata obrade, bazira se na četiri vrste tehnoloških pravila, i to: pravila prethođenja, pravila grupisnja, pravila susjednog redoslijeda i pravila optimizacije. Predloženi pristup na bazi GA efikasno funkcioniše pri razmatranju različitih proizvodnih okruženja prilikom projektovanja tehnoloških procesa. Lee i sar. [177] u okviru svojih istraživanja predlažu šest algoritama u svrhu lokalnog-heurističkog pretraživanja u prostoru redoslijeda izvođenja zahvata obrade. Algoritmi su bazirani na tehnikama simulacije

žarenja (SA) i TABU pretraživanja, za praktične probleme u razumnom vremenu. Rezultati slučajno generisanih problema pokazuju da, u ukupnom prosjeku, algoritmi na bazi TABU pretraživanja generišu bolje rezultate od algoritama na bazi SA.

Li i sar. [178] (2002) su modelirali računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa kao problem optimizacije sa ograničenjima. U svrhu rješavanja ovog problema predložen je hibridni pristup na bazi GA i SA. Kriterijum evaluacije ili funkcija cilja predstavlja ukupni trošak koji se sastoji od: troškova mašina, troškova alata, troškova promjene mašina, troškova promjene alata i troškova promjena stezanja. U prvoj fazi implementiran je GA u svrhu generisanja početnih i zadovoljavajućih redoslijeda izvođenja zahvata obrade. U drugoj fazi, algoritam SA primijenjen je u svrhu identifikacije optimalnih ili približno optimalnih redoslijeda izvođenja zahvata obrade. I u prvoj i u drugoj fazi primijenjena su prethodno definisana ograničenja prethođenja između tehnoloških tipskih formi i zahvata. Hibridni pristup automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa, baziran na integraciji GA i SA, takođe je opisan od strane Ma i sar. [179] i Alam i sar. [180].

Jedan od zapaženijih radova u oblasti projektovanja tehnoloških procesa, koji se snažno fokusira na integraciju planiranja stezanja i određivanja redoslijeda izvođenja zahvata, predstavljen je u [181]. Autori u okviru ovog rada predlažu da se ključni procesi u CAPP sistemima, kao što su izbor tehnoloških resursa, planiranje stezanja i redoslijed izvođenja zahvata obrade, posmatraju istovremeno u svrhu generisanja globalno optimalnih rješenja. U okviru rada izvršena je integracija i modeliranje ovih procesa u obliku problema optimizacije na bazi ograničenja. U svrhu efikasnog rješavanja ovog problema, autori predlažu pristup na bazi TABU pretraživanja. U radu je data i uporedna analiza rezultata za optimizacioni problem na bazi TABU, GA i SA pristupa.

Azab i ElMaraghy [182] definišu proces rekonfiguracije tehnoloških procesa na bazi tehnoloških tipskih formi i genetskih algoritama. Ideja rada bazira se na definisanju novih tehnoloških procesa u slučaju izmjene broja, oblika ili pozicije tehnoloških tipskih formi na dijelu. Izmjene tehnoloških tipskih formi rezultat su zahtjeva za povećanje tehnološkičnosti obrade dijelova i dinamičkog poslovnog okruženja, zahtjeva kupaca za novim i unaprijeđenim proizvodom. U radu je predstavljen polu-generativni matematički model za rekonfiguraciju makro nivoa projektovanja tehnoloških procesa. Li i sar. [183] opisuju optimizaciju fleksibilnog projektovanja tehnoloških procesa primjenom genetskih algoritama. Autori opisuju tri nivoa fleksibilnosti i to na nivou: zahvata, redoslijeda izvođenja zahvata i na nivou operacija obrade. Fleksibilnost tehnoloških procesa opisuje se preko mrežne prezentacije fleksibilnosti, koja se transformiše u oblik stabla, u svrhu implementacije GA. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je predloženi metod efikasan prilikom istraživanja optimizacije fleksibilnih tehnoloških procesa.

Salehi i sar. [184] predstavljaju pristup u kome je projektovanje tehnoloških procesa podijeljeno na preliminarno i detaljno projektovanje. Analiza ograničenja i generisanje izvodljivih redoslijeda izvođenja zahvata obrade vrši se u preliminarnom projektovanju tehnoloških procesa, dok se optimizacija tehnoloških procesa vrši u okviru detaljnog projektovanja. Prilikom realizacije, i preliminaranog i detaljnog projektovanja tehnoloških procesa, primjenjene su tehnike na bazi genetskih algoritama. Kafashi predlaže metodologiju za optimizaciju simultanog planiranja stezanja i održavanja redoslijeda izvođenja zahvata obrade. Predloženom metodologijom za optimizaciju vrši se analiza ograničenja, kao što su pravac prilaza alata, odnosi tolerancija između tehnoloških tipskih formi i prethođenja tehnoloških tipskih formi. Analiza ograničenja vrši se preko korišćenja baze podataka

tehnoloških resursa, u svrhu generisanja svih mogućih planova stezanja i redosljeda izvođenja zahvata obrade. Implementiran je pristup na bazi GA, na osnovu tehnoloških ograničenja i indeksa troškova, pomoću kojeg se simultano vrši optimizacija planiranja stezanja i određivanja redosljeda izvođenja zahvata obrade [185] .

Navedenim istraživanjima postignuti su značajni rezultati u oblasti automatizacije ključnih aktivnosti CAPP sistema. Međutim, u okviru pristupa na bazi heurističkih algoritama i dalje postoje problemi koji se odnose na sljedeće aspekte:

1. Tehnološka tipska forma obično se koristi kao osnovna jedinica za razvoj CAPP sistema, odnosno, pretpostavlja se da se svaka tehnološka tipska forma izrađuje u jednom stezanju. Ponekad u praksi, zahvati grube obrade i završne obrade, za istu tehnološku tipsku formu, moraju biti dodeljeni različitim stezanjima. Zahvati termičke obrade takođe nisu obuhvaćeni ovim pristupom.
2. Generisanje početne populacije u heurističnim algoritmima obično se vrši na bazi slučajnih brojeva. To ponekad utiče da neka od rješenja postanu neizvodljiva zbog kršenja prisutnih ograničenja. Tokom implementacije algoritama, primjenom strategije kazni, generisaće se nova neizvodljiva rješenja. Prema tome, neophodno je razviti opštu metodologiju za generisanje samo izvodljivih rješenja ili prilagođavanje neizvodljivih rješenja u domen izvodljivih.
3. Većina predloženih metoda u oblasti ključnih CAPP aktivnosti generiše samo jedan tehnološki proces u jednostavnom okruženju mašinske obrade, bez obzira na raspoloživost resursa u radionici. Zbog prisustva velikog broja praktičnih ograničenja, većina tehnoloških procesa, generisanih primjenom ovih metoda, vjerovatno neće biti efikasna prilikom njihove praktične realizacije.

5.4.5 CAD/CAPP integracija na bazi hibridnih tehnika vještačke inteligencije

Hibridne tehnike vještačke inteligencije odnose na metode vještačke inteligencije koje se sastoje od jedne ili više međusobno povezanih klasičnih tehnika AI. Cilj ovih istraživačkih napora je kombinovanje i integracija prednosti svake od klasičnih tehnika AI i njihova implementacija na rješavanje kompleksnih problema CAD/CAPP integracije. U teoriji je moguće izvršiti kombinovanje svih klasičnih tehnika AI, ali su do sada najbolje rezultate dale hibridne tehnike na bazi kombinacije: ekspertnih sistema i ANN, ekspertnih sistema i fazi logike, fazi logike i ANN, kao i ANN i genetskih algoritama. Neki od najznačajnijih istraživačkih napora u oblasti primjene hibridnih tehnika vještačke inteligencije pri CAD/CAPP integraciji dati su u nastavku.

Amaitik i Kilic [123] razvili su sistem za projektovanje tehnoloških procesa za prizmatične dijelove pod nazivom ST-FeatCAPP. ST-FeatCAPP može se smatrati predstavnikom primjene hibridnih tehnika jer se bazira na tehnikama ANN, fazi logike i ekspertnog sistema, uz korišćenje STEP standarda i XML formata podataka. Glavni model neuronske mreže koristi se u svhu izbora reznog alata za pojedinačnu tehnološku tipsku formu. Ideja je da se odgovarajući alat za rezanje mapira sa tehnološkom tipskom formom i kombinacijom zahvata mašinske obrade. Pored toga, projektovana je i obučena vještačka neuronska mreža za svaki rezni alat, kako bi se izvršio izbor odgovarajuće geometrije alata. Izbor mašine za operacije mašinske obrade dijela, takođe se vrši pomoću ANN. Ulazni vektor ANN obuhvata karakteristike i vrstu tehnoloških tipskih formi, a izlazni vektor sadrži preporučene specifikacije mašine koja se koriste za obradu dijela. Dobijene preporučene specifikacije mašina koriste se za pretraživanje raspoloživih mašina iz baze podataka. Fazi logika primijenjena je prilikom izbora parametara mašinske obrade za operacije bušenja i glodanja.

Ekspertni sistem na bazi pravila autori su implementirali u svrhu aktivnosti planiranja stezanja. Aktivnost planiranja stezanja sastoji se od tri povezane aktivnosti: generisanja stezanja, redoslijeda izvođenja zahvata obrade i redoslijeda izvođenja stezanja. U okviru ovog pristupa mapira se STEP AP224 XML datoteka sa podacima i generišu se odgovarajuće operacije mašinske obrade, u cilju generisanja tehnološkog procesa i odgovarajuće STEP-NC datoteke.

U oblasti izbora optimalnih tehnoloških procesa Ming i Mak [186] kombinuju Hopfieldove neuronske mreže i GA. Autori rješavaju problem izbora optimalnog tehnološkog procesa iz skupa alternativnih tehnoloških procesa. Kasnije, isti autori su koristili Hopfieldove neuronske mreže pri rješavanju problema izbora proizvodnih operacija. Korošec i sar. [187] su prijavili fazi-neuronski model koji koristi pojam „tehnološkičnost tehnoloških tipskih formi“ kako bi se identifikovao i prepoznao stepen kompleksnosti mašinske obrade. Model je napravljen pomoću konstrukciono-parametarskih fazi članova funkcije, na osnovu procesa učenja, pomoću vještačkih neuronskih mreža. U ovom modelu koristi se troslojna, vještačka neuronska mreža sa prostiranjem unaprijed.

Chang i sar. [188] razvili su CAPP sistem na bazi vještačke inteligencije koji integriše neuronske mreže, fazi logiku i tehnike ekspertnog sistema. Njihov sistem sastoji se od neuronske mreže sa prostiranjem unazad koja se koristi se za procjenu tehnološkičnosti važnih tehnoloških tipskih formi na mašinskom dijelu. Neuronska mreža sa prostiranjem unazad na bazi fazi logike (FL-BPN) koristi za procjenu postojećih tehnoloških procesa koji se nalaze u bazi podataka. FL - BPN u okviru ovog sistema ima pet slojeva: ulazni sloj, sloj članova fazi funkcije, “AND” sloj, “OR” sloj i sloj za defazifikaciju rješenja. Korišćenjem ekspertnog sistema generišu se izlazne informacije kao što su: izbor proizvodnih procesa, izbor mašina, izbor proizvodnih ćelija, izbor pribora, određivanje stezanja, izbor reznog alata, proračun parametara mašinske obrade i redoslijed izvođenja zahvata obrade.

Ming i sar. [189] u okviru CAPP sistema predlažu hibridni inteligentni model za rezonovanje koji kombinuje ekspertni sistem i neuronske mreže. Model se sastoji od funkcija za rezonovanje, opšte globalne strategije za rezonovanje, upravljačkog i kontrolnog mehanizma, procesora za kooperativnu komunikaciju, baze znanja za hibridne procese i metode za rezonovanje. Ding i sar. [152] predstavili su optimizacionu strategiju za određivanje redoslijeda izvođenja operacija obrade na osnovu funkcije cilja koja uključuje minimalne troškove proizvodnje, najkraće vrijeme proizvodnje i najbolje zadovoljenje pravila koja se odnose na redoslijed procesa proizvodnje. U svrhu određivanja redoslijeda izvođenja operacija predložen je hibridni pristup koji uključuje GA, neuronske mreže i proces analitičke hijerarhije (AHP).

5.4.6 Trenutno stanje i trendovi razvoja CAD/CAPP integracije na bazi vještačke inteligencije

Vještačka inteligencija, pri CAD/CAPP integraciji, primijenjena je na brojne aktivnosti, od projektovanja proizvoda, preko prepoznavanja tehnoloških tipskih formi, pa do optimizacije tehnoloških procesa. Ekspertni sistemi zastupljeni su prilikom projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških procesa, definisanja rasporeda toka proizvodnje, rukovanja materijalima, dijagnostike mašina i rasporeda mašina u pogonu. Vještačke neuronske mreže koriste se u svrhu kontrole kvaliteta proizvoda i procesa, prepoznavanja oblika predmeta i tehnoloških tipskih formi, alokaciju proizvodnih resursa, optimizaciju parametara obrade, upravljanje bazama podataka, robotsku simulaciju i kontrolu. Fazi logikom ostvaruju se prednosti prilikom rješavanja problema u kojima postoje nejasni i oprečni parametri procesa.

Heuristički algoritmi uglavnom se koriste u svrhu optimizacije, kao što optimizacija parametara mašinske obrade i određivanje redoslijeda izvođenja zahvata i operacija.

Pored svih mogućnosti koje pružaju tehnike i metode vještačke inteligencije, njihovu stvarnu implementaciju prilikom CAD/CAPP integracije, prate brojni problemi. Prvi problem predstavljaju alati za izgradnju programskih sistema baziranih na vještačkoj inteligenciji, koji nisu dovoljno razvijeni i čija je primjena otežana. Metode za akviziciju znanja eksperata, u svrhu razvoja ekspertnih sistema, nisu razumljive i sadrže nekoliko hiljada pravila. Kao rezultat, pojavljuju se veliki softverski sistemi koje je teško koristiti u konvencionalnim računarskim sistemima. Drugi problem se odnosi na nedostatak kvalifikovanih ljudskih resursa koji su na raspolaganju i koji zaista znaju kako da primijene alate na bazi vještačke inteligencije.

Ipak, potencijal i mogućnost vještačke inteligencije je ogromna i ne smije se zanemariti prilikom realizacije programskih sistema u svrhu CAD/CAPP integracije, odnosno uspostavljanja CIM koncepta. Jedino eksploatacijom metoda AI biće moguće izgraditi dobro osmišljen i inteligentni CIM sistem koji će moći da rješava mnoge rutinski poslove i na taj način omogućiti da se kreativnost ljudskih resursa usmjeri na rješavanje složenih problema u preduzeću.

5.5 CAD/CAPP INTEGRACIJA NA BAZI AGENT TEHNOLOGIJA

5.5.1 Agent tehnologije

Pojam agent tehnologija, kao distribuirane vještačke inteligencije, među prvima uvodi Hewitt [190]. U predloženom konceptu, agent tehnologije baziraju se na individualnim, malim, nezavisnim računarskim programima koji mogu da samostalno izvršavaju postavljene ciljeve. Ovi računarski programi simultano se realizuju i međusobno komuniciraju preko razmjene poruka. Agent tehnologije primjenjuju se u različitim granama industrije i inženjerskim oblastima, pa tako u u oblasti CAD/CAPP integracije.

U zavisnosti od primjene agent tehnologija, razlikuju se i njihove definicije. Wooldridge i Jennings [191] definišu agente kao računarske sisteme koji posjeduju individualna unutrašnja stanja i ciljeve. Agenti funkcionišu na način da ispune svoje ciljeve u ime svojih korisnika. Ključni element njihove autonomije je njihova „proaktivnost“, odnosno njihova sposobnost da "preuzmu inicijativu", prije nego da jednostavno dijeluju kao odgovor na okolinu. Westkamper i sar. [192] smatraju agente kao autonomne i interaktivne jedinice u složenim računarskim sistemima sa ciljem optimizacije procesa, obavještavanja, kao i mogućnosti saradnje i koordinacije. Chan i sar. [193] definišu agente kao inteligentne entitete koji su sposobni da samostalno regulišu, rezonuju, donose odluke i realizuju akcije u skladu sa svojim mogućnostima, statusom, resursima, znanjem i informacijama iz spoljašnjeg svijeta, kako bi se postigao određeni cilj ili skup ciljeva.

Agent tehnologije, bez obzira u kojoj oblasti se koriste, sastoje se od tri osnovna dijela:

- *Baze znanja - sadrži podatke i domen znanja neophodnih u svrhu obavljanja zadataka od strane agenata,*
- *Koordinacione jedinice – vrše kontrolu interakcije sa drugim agentima, uključujući međusobnu komunikaciju, pregovore, koordinaciju i saradnju i*

- *Mehanizma za rješavanje problema – generiše nezavisno učenje, planiranje, rasuđivanje i donošenje odluka za izvršavanje odgovarajućih aktivnosti u svrhu realizacije zadataka.*

U oblasti agent tehnologija razlikuju se različite vrste agenata koji se mogu klasifikovati prema:

- *Ponašanju agenta na reaktivne agente, savjetodavne agente i hibridne agente,*
- *Funkcionalnosti agenta na interfejs i internet agente,*
- *Mobilnosti agenta na mobilne i stacionarne agente i*
- *Strukturi agenta na logičke ili softverske i fizičke ili hardverske agente.*

Zbog kompleksne prirode inženjerskih problema, koja zahtijeva simultano rješavanje problema, primjena agent tehnologija zahtijeva da određen broj agenata izvršava svoje aktivnosti na koherentan način. Sistemi koji se sastoje od skupa agenata koji simultano vrše rješavanje zajedničkog problema nazivaju se multi agent sistemi (MAS). Svaki od agenata u jednom MAS je nezavisan od drugog agenata i posjeduje mogućnosti planiranja, odlučivanja i rasuđivanja, učenja i izvršavanja aktivnosti. Pošto su njegova znanja, informacije, resursi i vještine ograničene, posmatrani agent neminovno dolazi u sukob sa drugim agentima prilikom rješavanja zadataka, realizaciji planova, donošenja odluka i ponašanja. Zbog toga, međusobno agenti u okviru MAS moraju da komuniciraju, pregovaraju, koordiniraju i sarađuju, dijele svoje znanje, informacije, resurse i vještine, kao i da rješavaju konflikte i postižu kompromisna i optimalna rješenja.

5.5.2 Primjena agent tehnologija u CAD/CAPP integraciji

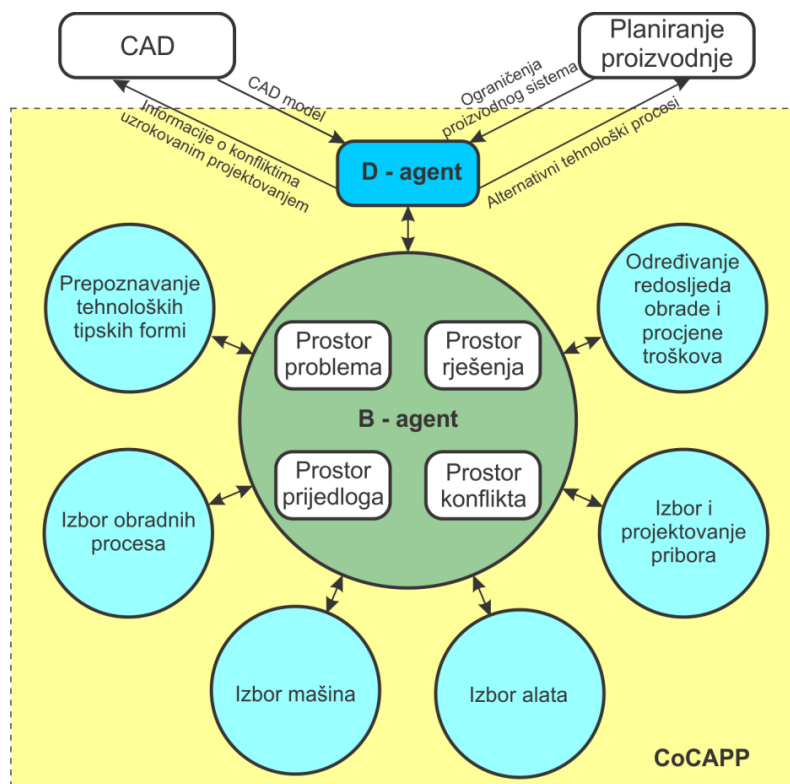
Agent-bazirani programski sistemi obezbjeđuju novi način posmatranja problema i realizacije rješenja. Agent-bazirane arhitekture sistema su robusne i dinamične, omogućavaju brzu reakciju na neočekivane događaje i mogu da se prilagode promjenljivim uslovima. U okviru jedne arhitekture moguće je dodati više agenata ili više računara u svrhu povećanja performansi ili kapaciteta sistema. Ove jedinstvene karakteristike agent tehnologija čine ih pogodnim u svrhu integracije CAD/CAPP aktivnosti, odnosno razvoja adaptivnih, dinamičnih, distribuiranih i kolaborativnih programskih sistema. Agent bazirane arhitekture obezbjeđuju paradigmu distribuiranog rješavanja problema, tako da složeni projektantski i tehnološki problemi mogu biti podijeljeni na manje i jednostavnije probleme koji mogu biti riješeni od strane pojedinih agenata.

Pristupi na bazi agent tehnologija, u prošloj deceniji, dominantno su se koristili u svrhu realizacije kolaborativnih proizvodnih okruženja. U agent baziranom kolaborativnom sistemu za projektovanje proizvoda, inteligentni softverski agenti koriste se kako bi se omogućila saradnja između projektanta, obezbijedila ljuska za integraciju zastarjelih softverskih alata i omogućile bolje simulacije. Tehnologije na bazi agenata i interneta uspješno su implementirane u oblasti upravljanja podacima o proizvodu, projektovanju tehnoloških procesa, planiranju resursa preduzeća i upravljanju lancem snabdevanja. Neka od značajnijih dostignuća primjene agent tehnologija u oblasti CAD/CAPP integracije data su u nastavku.

Projekat pod nazivom SHARE, bavio se razvojem otvorenog, heterogenog, mrežno-orijentisanog okruženja za konkurentno inženjerstvo, u svrhu memorisanja i dijeljenja projektantskih informacija preko asinhrono komunikacije [194].

CoCAPP sistem (Cooperative CAPP) razvijen je kako bi zadovolji pet glavnih zahtjeva distribuiranog CAPP sistema a to su: autonomnost, fleksibilnost, interoperabilnost, modularnost i skalabilnost. CoCAPP sistem (Slika 5.15) bavi se problemima projektovanja tehnoloških procesa preko njihovog distribuiranja prema specijalnim agentima za realizaciju pojedinih aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa [195]. U okviru ovog sistema agenti su zapravo ekspertni sistemi koji su razvijeni na bazi ekspertne ljuske. CoCAPP sistemu se sastoji od tri tipa agenata:

- *D-agent* – vrši uvoz CAD modela u STEP format i prosljeđuje podatke prema B-agentu. D-agent takođe vrši prezentaciju dobijenog rješenja korisniku,
- *B-agent* – vrši obezbjeđivanje komunikacije između P-agenata kroz četiri odvojena prostora podataka: prostor problema, prijedloga, konflikta i rješenja i
- *P-agent* – vrši specifične zadatke u koji se odnose na aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa (prepoznavanje tehnoloških tipskih formi, izbor mašina, alata, procjena troškova).



Slika 5.15 Arhitektura CoCAPP sistema [195]

Utpal [196] uvodi kooperativni distribuirani okvir za rješavanje problema u svrhu rješavanja CAPP zadataka koji proizilaze iz krute hijerarhijske strukture zadataka. Razvijeni okvir razlaže centralni problem u pod-probleme i distribuira ih u mrežu agenata koji, saradujući međusobno, generišu najbolje rješenje za centralni problem. Wang i Shen [197] predstavljaju metodologiju distribuiranog projektovanja tehnoloških procesa. Metodologija je zasnovana na integrisanom projektovanju na bazi tehnoloških tipskih formi, funkciji kontrole na bazi blokova i distribuiranog donošenja odluka na bazi agent tehnologija. Predložena metodologija pogodna je za dinamičko, rekonfigurabilno i distribuirano proizvodno okruženje. Pristup na bazi agent tehnologija usvojen je za inteligentno donošenje odluka koje se direktno odnose na distribuirano projektovanje tehnoloških procesa. Jia i sar. [198] predstavili su prilagodljiv i proširiv sistem na bazi agent tehnologija za koordinisani razvoj proizvoda i proizvodnje.

Sistem se sastoji od agenta za centralno upravljanje i nekoliko drugih funkcionalnih agenata kao što su agent za evaulaciju mogućnosti proizvodnje, agent za projektovanje tehnoloških procesa i agent za raspoređivanje proizvodnih naloga. Newman i sar. [199] predstavljaju STEP-NC kompatibilno računarsko okruženje koristeći tehnologije na bazi agenata. Sistem uključuje multi-agent tehnologije, gdje se agentima dodjeljuju individualne tipske forme dijela. Agenti rade na samostalan i zajednički način, kako bi se izvršili generisanje tehnološkog procesa za dio koji se izrađuje u uslovima pojedinačnog tipa proizvodnje.

Pristup na bazi agent tehnologija obezbjeđuje mnoge prednosti za distribuirano projektovanje i proizvodnju proizvoda. Prednosti se ogledaju u modularnosti, mogućnosti rekonfiguracije rješenja, mogućnosti nadogradnje i robusnosti. Metodologija izrade programskih sistema na bazi agent tehnologija pruža niz efikasnih alata i tehnika koje imaju potencijal da značajno unaprijede tehniku izrade programskih sistema, počevši od idejnog rješenja do konkretne implementacije.

Kao nedostaci agent baziranih tehnologija, uočena su tri osnovna problema:

- *Nedostatak jasno definisane sistemske metodologije za razvoj agenata u multi-agent okruženjima,*
- *Nedostatak široko rasprostranjenih, dostupnih i standardizovanih razvojnih aplikacija za izradu multi-agent sistema i*
- *Kompleksnost razvojnih alata.*

Ovi problemi proizilaze zbog nedostatka metodologije koja definiše kako najbolje strukturirati multi-agent sistem, kako uskladiti individualne i kolektivne ciljeve agenata u međusobnoj komunikaciji, kao i koja je najbolja struktura individualnog agenta u multi-agent sistemu. Takođe, uočen je nedostatak razvojnih alata koji omogućavaju jednostavno definisanje ponašanja agenata, načina na koji agenti stupaju u interakciju, vizualizaciju i otklanjanje grešaka prilikom ponašanja agenata u kompletnom sistemu.

Prema tome, trenutna istraživanja koja se odnose na sisteme na bazi agenta fokusirana su na fundamentalna istraživanja u svrhu poboljšanja racionalnosti ili inteligencije softverskih agenata, kao i razvoja efikasnije koordinacije i pregovaračkih mehanizama. Rješavanjem ovih problema, sistemi bazirani na agent tehnologijama zauzeće značajno mjesto u oblasti CAD/CAPP integracije.

5.6 TRENUTNO STANJE I TRENDOVI CAD/CAPP INTEGRACIJE

Jedan od najvećih problema koji su identifikovani pri CAD/CAPP integraciji predstavlja realizacija programskog sistema koji može da:

- *Smanji ukupno vrijeme razvoja proizvoda,*
- *Obezbijedi podloge za kvalitetno projektovanje proizvoda,*
- *Izvrši projektovanje tehnoloških procesa u dinamičnom proizvodnom okruženju,*
- *Obezbijedi kvalitetnu dvosmjernu komunikaciju između CAD i CAPP aktivnosti i*
- *Ostvori cjelokupnu integraciju CAD/CAPP aktivnosti.*

U praksi postoji veliki broj komercijalnih CAD sistema koji se uspješno primjenjuju i daju visoke rezultate u oblasti računarom podržanog projektovanja proizvoda. S druge strane, takođe postoji značajan broj razvijenih CAPP sistema čiji rezultati primjene su ograničeni i neuporedivi sa rezultatima primjene CAD sistema. Prilikom razvoja novih CAPP sistema

koriste se napredne tehnike i pristupi, kao što je projektovanje na bazi tehnoloških tipskih formi, objektno orijentisano programiranje, efikasni grafički korisnički interfejsi, tehnološke baze podataka i metode vještačke inteligencije. I pored primjene navedenih tehnika i pristupa, implementacija i efikasnost CAPP sistema nije u potpunosti zadovoljavajuća. CAPP kao ključni element u integraciji projektovanja i proizvodnje ne prati korak sa razvojem CAD i CAM sistema. Ova situacija je generisala činjenicu da računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa postane usko grlo u konceptu računarom integrisane proizvodnje (CIM). S druge strane, trenutno stanje u svjetskim industrijskim sistemima, u pogledu primjene računarom podržanih tehnologija, identifikuje veoma skromnu implementaciju razvijenih CAPP sistema. Preduzeća koja koriste CAPP sisteme uglavnom to čine u izolaciji od aktivnosti projektovanja proizvoda, kao i planiranja, realizacije i kontrole proizvodnje.

Svaka od metoda i tehnika vještačke inteligencije, metoda prezentacije podataka o proizvodu, kao i agent tehnologije, imaju svoje prednosti i nedostatke, koje su identifikovane u prethodnim izlaganjima u okviru ovog poglavlja. Nijedna od ovih metoda i tehnika ne može da sama u potpunosti "nosi" inteligenciju i u potpunosti riješi problem CAD/CAPP integracije. Prema tome, mora se izvršiti integracija različitih metoda i tehnika koje se odnose na AI, modele podataka o proizvodu i agent tehnologije, u svrhu eliminacije pojedinih nedostataka i iskorišćenja prednosti pojedinih metodologija. Takođe, neophodno je uspostaviti vezu između CAD i CAPP programskih sistema, gdje će postojati dvosmerna interakcija između projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Više nije dovoljno da se obezbijedi efikasan protok informacija od projektovanja proizvoda prema tehnološkim procesima, kako bi se obezbjedili podaci i znanja neophodna za projektovanje kvalitetnog i efikasnog tehnološkog procesa. Od sve veće važnosti su povratne informacije, iz faze projektovanja tehnoloških procesa, kako bi projektant proizvoda mogao donijeti kvalitetne odluke u ranoj fazi procesa projektovanja proizvoda. Uz projektovanje tehnoloških procesa u dinamičnom proizvodnom okruženju, potrebno je integrisati aktivnosti projektovanja i proizvodnje, smanjiti ukupno vrijeme razvoja proizvoda i olakšati dvosmjernu interakciju između projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških procesa i proizvodnje. Ispunjavanje ovih ciljeva moguće je realizovati kroz novu generacija integrisanih programskih sistema, koji treba da budu bazirani na korišćenju standardnih modela podataka o proizvodu, projektovanju na bazi tehnoloških tipskih formi i integraciji različitih metoda i tehnika AI.

6. RAZVOJ MODELA SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA

Integracija sistema za računarom podržano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa je od vitalnog značaja i ključni element, kako za uspostavljanje izvornog CIM koncepta i implementacije simultanog inženjerstva, tako i za konkurentnost proizvođača i njihovih sposobnosti da brzo reaguju na promjene na tržištu.

Analizom literaturnih izvora i realizovanih programskih sistema u oblasti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, identifikovano je stanje koje karakteriše nizak stepen CAD/CAPP integracije. Samim tim dovedeno je u pitanje održanje i dalji razvoj CIM koncepta. Postoji nekoliko razloga koji su doprinijeli ovako identifikovanom stanju, a najvažniji su:

- *Nepostojanje uniformnih formata podataka u svrhu razmjene informacija iz CAD u CAPP i obrnuto,*
- *Gubitak i nepostojanje tehnoloških informacija prilikom prevođenja i interpretacije zapreminskih modela proizvoda/dijelova i*
- *Priroda CAPP aktivnosti, koju karakteriše heuristika, nealgoritamske strukture podataka i otežana formalizacija znanja.*

Kao odgovor na ovako stanje, nameće se opravdana potreba za daljim naučnim i praktičnim istraživanjima u oblasti integracije računarom podržanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Rezultati ovih istraživanja treba da daju doprinos rješavanju pomenutih identifikovanih pitanja i obezbijede što je moguće veći stepen CAD/CAPP integracije.

Osnovni zadatak predmetnog istraživanja odnosi se na razvoj opšteg modela simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Ovaj model treba da obuhvati odgovarajuće aktivnosti računarom podržanog projektovanja proizvoda, projektovanja dijelova i projektovanja tehnoloških procesa sa visokim nivoom simultanosti. Model za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa mora da ima odgovarajući nivo uopštenosti, fleksibilnosti i proširivosti. Prilikom razvoja modela potrebno je voditi računa o složenosti zadataka koji su obuhvaćeni ovim modelom, kao i velikoj dinamičnosti proizvodnih i informacionih tehnologija.

6.1 UVOD

6.1.1 Svrha i cilj razvoja sistema

Sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa potrebno je razviti u cilju skraćenja razvojnog ciklusa proizvoda, brzog djelovanja na promjene i smanjenja troškova razvoja proizvoda. Skraćenje razvojnog ciklusa proizvoda i troškova razvoja potrebno je obezbijediti na principima simultanog inženjerstva, u dijelu aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa.

Ciljevi razvoja sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa su:

- *Razvoj modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Povećanje stepena automatizacije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti konceptualnog i detaljnog projektovanja proizvoda i*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda, projektovanja dijelova i tehnoloških procesa.*

6.1.2 Pojednostavljena struktura razvijenog sistema

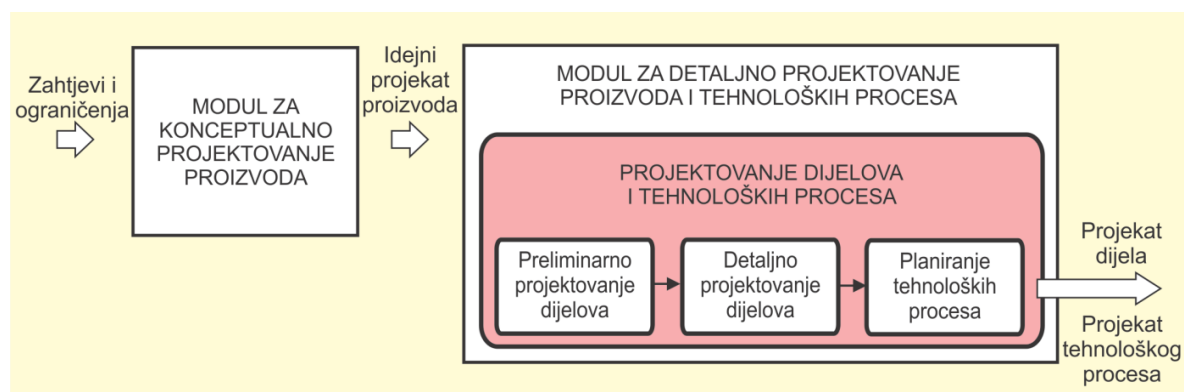
Analizom teorijskih osnova iz oblasti računarom podržanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, analize već izvedenih sistema koji su bazirani na integraciji različitih aktivnosti razvojnog ciklusa proizvoda, kao i zahtjeva proizašlih iz potreba za integracijom aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, razvijen je sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (sistem SIPROTEX).

Pojednostavljena struktura razvijenog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa sastoji se od dva osnovna modula (Slika 6.1):

- Modul za konceptualno projektovanje proizvoda i
- Modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.

U okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, predmetna istraživanja posebno su usmjerena na simultanu aktivnost projektovanja dijelova i tehnoloških procesa koja se odvija preko tri međusobno povezane faze:

- Fazu konceptualnog projektovanja proizvoda,
- Fazu detaljnog projektovanja dijelova i tehnoloških procesa i
- Planiranje tehnološkog procesa.



Slika 6.1 Struktura razvijenog sistema SIPROTEX

Prilikom razvoja sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, u dijelu koji se odnosi na konceptualno i detaljno projektovanje proizvoda i dijelova, primijenjene su tehnike algoritamskog modeliranja, programiranja i projektovanja na bazi znanja. U dijelu sistema za planiranje tehnoloških procesa, pored pomenutih tehnika, primijenjene su tehnike zasnovane na metodama vještačke inteligencije.

Sistem SIPROTEX baziran je na interaktivnoj komunikaciji između projektanta-tehnologa i sistema. Veći dio aktivnosti u okviru sistema je automatizovan, što u velikoj mjeri olakšava njegovu primjenu. U okviru sistema implementirane su smjernice u različitim fazama njegove primjene, koje omogućavaju efikasno korišćenje sistema. Prilikom postavke i razvoja sistema posebna pažnja je usmjerena da interfejs sistema bude izrazito korisnički orijentisan. To je rezultovalo povećanjem intuitivnog načina praktične realizacije toka i upotrebe sistema SIPROTEX.

6.1.3 Ograničenja prilikom razvoja sistema

Sistem SIPROTEX kao cjelina, razvijen je za grupu složenih proizvoda koji se baziraju na modularnoj strukturi gradnje. Sa aspekta razvijenih modula, sistem omogućava nezavisno

projektovanje širokog spektra dijelova, sa ili bez korišćenja smjernica za projektovanje dijelova, sa ili bez integrisanog projektovanja tehnoloških procesa za iste.

Razvijeni sistem sadrži elemente kolaborativnog inženjerstva, koji nisu razmatrani u okviru predmetnog istraživanja.

Konceptualno projektovanje proizvoda, u okviru razvijenog sistema, bazira se na smjericama za konceptualno projektovanje proizvoda. Smjernice za konceptualno projektovanje proizvoda odnose se na informacione podloge proizašle iz prethodno razvijenih tipskih rješenja proizvoda. Detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa zasniva se na korišćenju smjernica za projektovanje dijelova, modeliranja na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi (ETTF), informacija iz tehnoloških baza podataka i metoda vještačke inteligencije. Smjernice za projektovanje dijelova odnose se na informacione podloge proizašle iz aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda, prethodno razvijenih tipskih rješenja modula proizvoda i prethodno razvijenih tipskih rješenja dijelova proizvoda.

Elementarne tehnološke tipske forme razvijene su za operacije glodanja, bušenja i njima srodnih operacija (proširivanja, rendisanja, upuštanja). ETTF ne obuhvataju tipske forme kompleksne geometrije, ponavljajuće tipske forme i tipske forme površi. U okviru modeliranja na bazi ETTF ne razmatraju se slučajevi interakcije između postojećih tipskih formi.

Aktivnost projektovanja tehnoloških procesa u okviru sistema SIPROTEX razvijena je do nivoa planiranja tehnološkog procesa, odnosno optimizacije redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade. Optimizacija redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade bazira se na primjeni genetskih algoritama i troškova obrade dijela.

Razvoj sistema izvršen je zaključno sa aktivnošću projektovanja dijelova i tehnoloških procesa izrade. Aktivnosti identifikacije standardnih dijelova, zahtjeva za kooperaciju, verifikacije modula proizvoda i verifikacije projekta proizvoda nisu uključene u predmetno istraživanje.

6.2 PRIKAZ SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA

Detaljnou analizom literaturnih izvora [200], [201], [202], [203], [204] iz oblasti razvoja i projektovanja proizvoda, CAD/CAPP integracije i simultanog inženjerstva, kao i prethodno realizovanih programskih rješenja, utvrđene su potrebe za nastavkom istraživanja u pomenutim oblastima. Identifikovane potrebe za nastavkom istraživanja odnose se na nizak stepen simultanosti i nemogućnost razmjene podataka u pomenutim oblastima. Kao rezultat ovih potreba, razvijena je opšta struktura sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (slika 6.2).

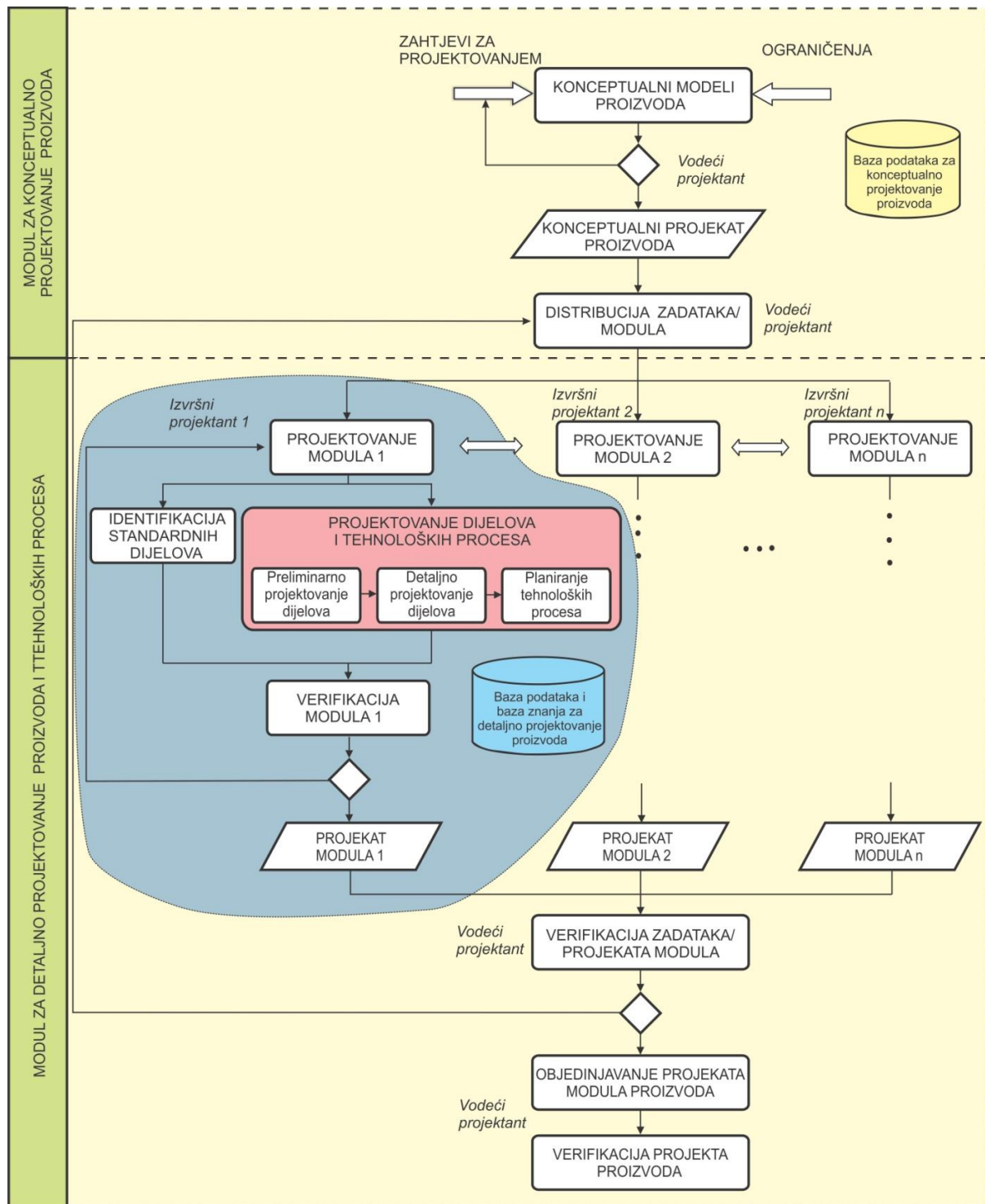
Opis i pogled na opštu strukturu sistema SIPROTEX može se vršiti iz više perspektiva. Ukoliko se posmatra opšta struktura sistema, može se uočiti da se sistem SIPROTEX sastoji od dva osnovna modula (Slika 6.2):

- *Modul za konceptualno projektovanje proizvoda i*
- *Modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.*

Ukoliko se opšta struktura sistema posmatra sa stanovišta dodijeljenih projektantskih uloga, realizacija projektantskih aktivnosti može se podijeliti prema odgovornosti i stručnosti na:

- *Aktivnosti koje su pod odgovornošću vodećeg projektanta i*
- *Aktivnosti koje su pod odgovornošću izvršnog projektanta.*

6. Razvoj opšteg modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa



Slika 6.2 Opšta struktura sistema SIPROTEX

Pomenuta podjela projektantskih aktivnosti u saglasnosti je sa modernim procesnim modelom upravljanja organizacijom. Ovakva podjela uloga prema procesnom modelu obezbjeđuje hijerarhiju u oblasti odgovornosti i obaveza prilikom realizacije projektantskih aktivnosti, olakšava rješavanje neusaglašenosti na istom nivou uloga, obezbjeđuje punu projektantsku kreativnost i efikasno upravljanje i kontrolu projektantskih aktivnosti.

Aktivnosti i uloge koje su dodijeljene vodećem projektantu, u okviru sistema, odnose se na:

- *Punu odgovornost prilikom realizacije projekta proizvoda,*

- *Komunikaciju sa menadžmentom preduzeća, sa jedne strane, i komunikaciju sa kupcima, sa druge strane, prilikom realizacije projekta proizvoda,*
- *Generisanje konceptualnog ili idejnog projekta proizvoda,*
- *Distribuciju zadataka prema izvršnim projektantima,*
- *Pregled i verifikaciju izvršenih zadataka,*
- *Završnu verifikaciju projekta proizvoda i*
- *Uspostavljanje pozitivnog radnog okruženja.*

Izvršni projektant odgovoran je za razvoj, projektovanje i verifikaciju modula proizvoda (zadatka) dodijeljenog od vodećeg projektanta. Pri tome, izvršni projektant može biti individualna osoba ili glavni projektant projektantskog odjeljenja. Pored projektantskih aktivnosti izvršni projektant je u stalnoj komunikaciji sa ostalim izvršnim projektantima, a po potrebi i sa vodećim projektantom.

Sa stanovišta arhitekture projektovanja, sistem omogućava tri nivoa projektovanja:

- *Projektovanje složenog proizvoda kao cjeline,*
- *Projektovanje modula složenog proizvoda i*
- *Projektovanje dijelova i tehnoloških procesa.*

Sistem SIPROTEX razvijen je prvenstveno u cilju projektovanja složenih proizvoda, baziranih na modularnoj arhitekturi gradnje. Projektovanje složenih proizvoda započinje od faze konceptualnog projektovanja proizvoda. U ovoj fazi, vodeći projektant na osnovu zahtjeva kupaca, ograničenja i vlastitog iskustva, realizuje konceptualni projekat proizvoda. Vodeći projektant vrši distribuciju zadataka prema izvršnim projektantima. Zadaci se odnose na razvoj i projektovanje odgovarajućih modula složenog proizvoda. Izvršni projektanti vrše razvoj modula proizvoda uz stalnu međusobnu komunikaciju i nadzor vodećeg projektanta. Nakon projektovanja modula proizvoda, izvršni projektant vrši verifikaciju i izradu tehničke dokumentacije za posmatrani modul proizvoda. Detaljno razvijen i projektovan modul proizvoda, izvršni projektant dostavlja vodećem projektantu na verifikaciju. Verifikacijom svih projekata modula, vodeći projektant vrši završno projektovanje i verifikaciju projekta proizvoda.

Projektovanje modula složenog proizvoda, u okviru sistema, moguće je izvršiti bez konceptualnog projekta proizvoda ili konceptualnog projekta modula. U tom slučaju projektovanje modula složenog proizvoda vrši se od početka. Projektovanje modula proizvoda vrši se realizacijom tri aktivnosti: identifikacijom standardnih dijelova, definisanjem zahtjeva za kooperaciju i projektovanjem nestandardnih dijelova i tehnoloških procesa njihove izrade. Izvršenjem pomenutih aktivnosti generiše se projekat modula proizvoda.

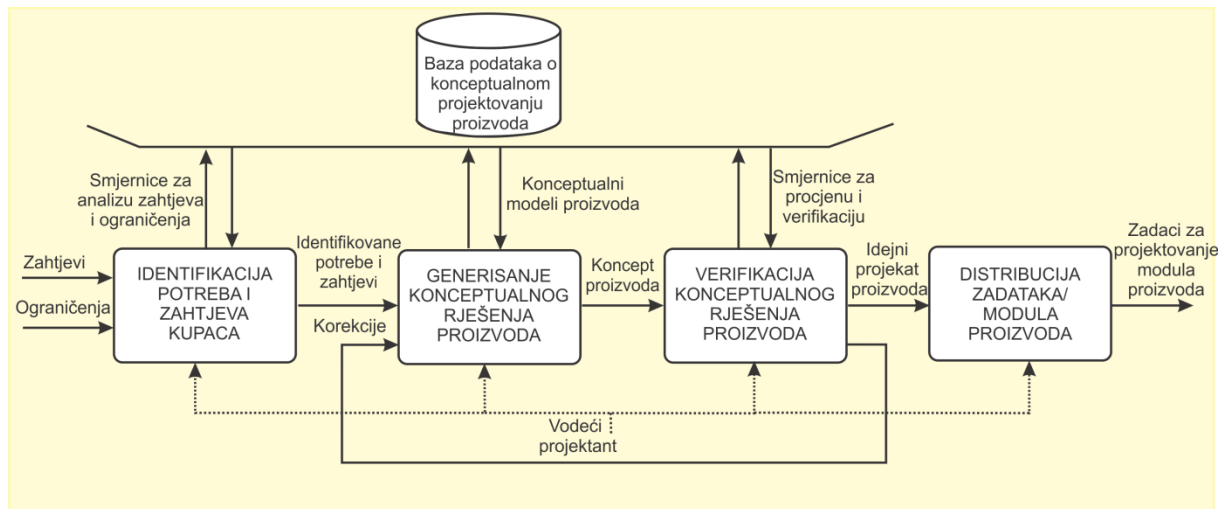
Projektovanje dijelova i tehnoloških procesa, u okviru razvoja i projektovanja modula proizvoda, moguće je izvršiti potpuno nezavisno od ostalih aktivnosti u okviru sistema SIPROTEX. Ovaj podmodul sistema, omogućava projektovanje dijelova na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi (ETTF) koje nose geometrijske, tehnološke i opšte informacije, što omogućuje realizaciju faze planiranja tehnološkog procesa. Faza planiranja tehnološkog procesa obuhvata određivanje redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade, izbor mašina, izbor alata i određivanje preliminarnih troškova obrade za posmatrani dio.

6.2.1 Prikaz razvoja modula za konceptualno projektovanje proizvoda

Prema opštoj strukturi sistema (Slika 6.2), početna aktivnost u okviru razvijenog sistema odnosi se na konceptualno projektovanje proizvoda. Aktivnost konceptualnog projektovanja

proizvoda vrši se u okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda koji sadrži aktivnosti:

- Identifikacija zahtjeva kupaca,
- Generisanje konceptualnog rješenja proizvoda,
- Verifikacija konceptualnog rješenja proizvoda i
- Distribucija zadataka/modula proizvoda.



Slika 6.3 Struktura modula za konceptualno projektovanje proizvoda

Početna aktivnost u okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda predstavlja identifikacija zahtjeva kupaca. Identifikacijom zahtjeva kupaca vrši se akvizicija i obrada informacija dobijenih od strane kupaca. Svrha ove aktivnosti je generisanje ulaznih parametara za nastavak procesa projektovanja proizvoda.

Aktivnost identifikacije zahtjeva kupaca vrši se prema razvijenoj metodologiji identifikacije i obrade zahtjeva kupaca na bazi prethodno postavljenih ograničenja, za odgovarajuću grupu složenih proizvoda. Metodologija identifikacije i obrade zahtjeva bazirana je na smjernicama za analizu zahtjeva i ograničenja, koje su memorisane u bazi podataka za konceptualno projektovanje proizvoda. Smjernice za analizu zahtjeva i ograničenja odnose se na informacije i performansne karakteristike za standardne grupe/tipove prethodno razvijenih proizvoda.

Analiza zahtjeva kupaca, kao početnih informacija za cjelokupni proces projektovanja, ogleda se u smislu identifikacije tehničkih, performansnih karakteristika proizvoda (krutosti, brzine, sile, mase, dimenzija, hoda, funkcionalnosti), kao i administrativnih, estetskih i ergonomskih karakteristika proizvoda (rokovi, kvalitet, boja, oblik, način pakovanja, transport do kupca). Ograničenja, kao jedan oblik ulaznih informacija, u okviru aktivnosti identifikacije zahtjeva kupaca odnose se na konstrukciona i tehnološka ograničenja. Konstrukciona ograničenja odnose se na dimenziona ograničenja, konstrukciona rješenja modula složenih proizvoda, vrste ugrađene opreme, kao i vrsta i tipova razvijenih proizvoda. Tehnološka ograničenja odnose na tehnološke mogućnosti izrade pojedinih dijelova, podsklopova, sklopova i modula složenih proizvoda.

Aktivnost identifikacije zahtjeva kupaca vrši vodeći projektant u razgovoru sa kupcima, uvažavajući njihove zahtjeve, ali istovremeno vodeći računa o postavljenim konstrukcionim i tehnološkim ograničenjima. Rezultat aktivnosti identifikacije zahtjeva kupaca predstavlja

skup ulaznih parametara pomoću kojih je moguće izvršiti konceptualno projektovanje proizvoda.

Naredna aktivnost, u okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda, predstavlja generisanje konceptualnog rješenja proizvoda. Generisanje konceptualnog rješenja proizvoda vrši se na osnovu identifikovanog skupa ulaznih parametara i prethodno razvijenih konceptualnih modela proizvoda. Prethodno razvijeni konceptualni modeli proizvoda odnose se na zapreminske konceptualne modele standardnih tipova proizvoda i memorisani su u bazi podataka za konceptualno projektovanje proizvoda.

Rezultat aktivnosti generisanja koncepata konfiguracije proizvoda predstavlja jedan ili više konceptualnih rješenja proizvoda. Konceptualno rješenje proizvoda sadrži osnovno konstrukciono rješenje proizvoda, gabaritne mjere proizvoda, osnovne module proizvoda i identifikovane zahtjeve kupaca u formi liste performansnih/tehničkih i dodatnih zahtjeva.

Verifikacija konfiguracije proizvoda predstavlja sljedeću aktivnost u fazi konceptualnog projektovanja proizvoda. Vodeći projektant vrši verifikaciju konceptualnog rješenja proizvoda sa stanovišta zadovoljenja svih postavljenih zahtjeva od strane kupaca i identifikovanih konstrukciono-tehnoloških ograničenja. Vodeći projektant prilikom analize i verifikacije konfiguracije proizvoda koristi razvijene smjernice za verifikaciju koncepta proizvoda. Smjernice za verifikaciju koncepta proizvoda memorisane su u bazi podataka za konceptualno projektovanje proizvoda. Ove smjernice sadrže konceptualna rješenja i informacije prethodno uspješno razvijenih proizvoda. Ukoliko se prilikom analize otkriju nedostaci ili propusti na novom konceptualnom rješenju proizvoda, aktivnost konceptualnog projektovanja proizvoda se vraća u fazu generisanja konceptualnog rješenja proizvoda. U ovoj fazi vrši se otklanjanje uočenih nedostataka i generisanje novog konceptualnog rješenja proizvoda.

Rezultat aktivnosti verifikacije konceptualnog projektovanja proizvoda predstavlja idejni projekat proizvoda. Idejni projekat proizvoda sastoji se od:

- *Zapreminskog konceptualnog rješenja proizvoda,*
- *Liste performansnih/tehničkih zahtjeva i*
- *Liste administrativnih i ostalih zahtjeva.*

Idejni projekat proizvoda predstavlja ulaz u narednu aktivnost konceptualnog projektovanja proizvoda koja se odnosi na distribuciju zadataka /modula proizvoda. Vodeći projektant vrši distribuciju zadataka izvršnim projektantima u cilju detaljnog projektovanja pojedinih funkcionalnih cjelina proizvoda, odnosno modula proizvoda. Izlaz iz modula za konceptualno projektovanje proizvoda predstavlja zadatke za projektovanje modula proizvoda. Zadaci za projektovanje modula proizvoda predstavljaju ulaz u naredni modul sistema SIPROTEX, koji se odnosi na detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.

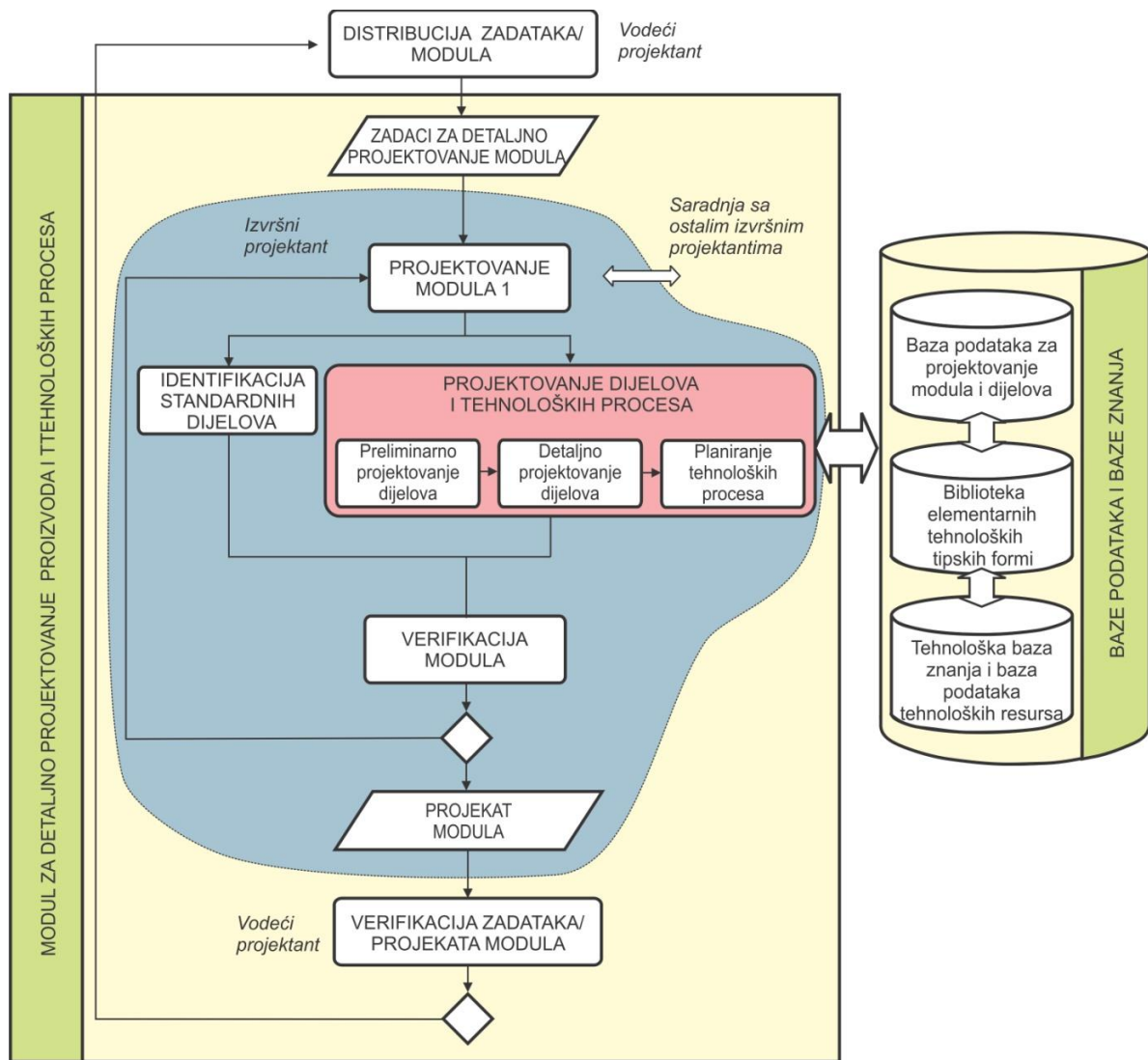
6.2.2 Prikaz razvoja modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Aktivnost detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, prikazana je u opštoj strukturi sistema (Slika 6.2). Struktura modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa prikazana je na slici 6.4. Ulazne informacije u modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa predstavljene su u okviru zadatka za projektovanje modula proizvoda. Zadatak za projektovanje modula proizvoda sadrži opis aktivnosti za projektovanje, rokove i napomene, proizašle iz zahtjeva kupaca. Prilog zadatku za projektovanje predstavlja idejni projekat proizvoda, kao rezultat konceptualnog projektovanja proizvoda. Odgovornost za realizaciju zadatka za projektovanje modula proizvoda pripada izvršnom projektantu.

Izvršni projektant vrši detaljno projektovanje modula proizvoda na osnovu:

- *Dobijenog zadatka za projektovanje modula proizvoda (idejnog projekta proizvoda) i*
- *Smjernica za konceptualno projektovanje modula proizvoda.*

Zadatak za projektovanje modula proizvoda, zajedno sa idejnim projektom proizvoda, dostavlja se od strane vodećeg projektanta. Smjernice za konceptualno projektovanje modula proizvoda odnose se na crteže, sastavnice i tehnička rješenja prethodno, uspješno razvijenih sličnih modula proizvoda. Smjernice za konceptualno projektovanje modula proizvoda memorisane su u bazi znanja za projektovanje modula i dijelova proizvoda.



Slika 6.4 Struktura modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Proces detaljnog projektovanja modula proizvoda sastoji se od aktivnosti:

- *Identifikacije standardnih dijelova,*
- *Definisanja zahtjeva za kooperaciju i*
- *Projektovanja dijelova i tehnoloških procesa.*

Izvršni projektant, na osnovu smjernica u vidu prethodno razvijenih modula, konstrukcionih i funkcionalnih zahtjeva postavljenih zadatkom za projektovanje modula, vrši realizaciju aktivnosti identifikacije standardnih dijelova. Kao rezultat ove aktivnosti generiše se lista standardnih dijelova, podsklopova i sklopova koji čine modul proizvoda.

Projektovanje nestandardnih dijelova i tehnoloških procesa, koji se izrađuju u okviru preduzeća predstavlja dominantnu aktivnost u okviru razvijenog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Aktivnost projektovanja dijelova i tehnoloških procesa može se razložiti na aktivnosti preliminarnog projektovanja dijelova, detaljnog projektovanja dijelova i planiranja tehnološkog procesa.

Aktivnost preliminarnog i detaljnog projektovanja dijelova u okviru projektovanja modula proizvoda bazirana je na projektovanju dijelova pomoću elementarnih tehnoloških tipskih formi, uz primjenu tehnika baziranih na programiranju i algoritamskim strukturama podataka. Aktivnost planiranja tehnološkog procesa razvijena je, takođe, na bazi programiranja i algoritamskih struktura podataka, uz primjenu metoda vještačke inteligencije, odnosno ekspertnih sistema i genetskih algoritama.

Nakon izvršenih aktivnosti u okviru projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa za sve dijelove, podsklopove i sklopove jednog modula, izvršni projektant verifikuje projekat modula proizvoda. Verifikacija modula proizvoda sastoji se od analize zadovoljenja zahtjeva kupaca, analize kompatibilnosti sa ostalim modulima proizvoda, funkcionalne i konstrukcione analize modula, kao i detaljne razrade tehničke dokumentacije za modul proizvoda.

Verifikovan modul proizvoda u formi zapreminskog modela, izvršni projektant, dostavlja vodećem projektantu, u svrhu verifikacije projekta proizvoda. Vodeći projektant vrši verifikaciju projekta proizvoda. U slučaju identifikovanih nedostataka, vodeći projektant ponovo šalje projektni zadatak, u vidu modula proizvoda, odgovarajućem izvršnom projektantu na usaglašavanje. Nakon usaglašavanja svih nedostataka, vodeći projektant verifikuje projekat proizvoda i odobrava fazu tehničke pripreme proizvodnje proizvoda.

6.2.2.1 Projektovanje dijelova i tehnoloških procesa

Projektovanje dijelova i tehnoloških procesa predstavlja ključnu aktivnost u okviru sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Jedan od razloga za ovu tvrdnju predstavlja činjenica da je u razvojnom ciklusu proizvoda dominantna aktivnost upravo projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Povezivanje ovih aktivnosti, na principu simultanosti i integracije, rezultuje značajnim skraćenjem razvojnog ciklusa proizvoda. Naredna činjenica koja ide u prilog ovoj tvrdnji je da procesi u preduzeću koji se odnose na projektovanje dijelova i tehnoloških procesa zahtijevaju najviše vremena. Navedene činjenice ukazuju da je opravdano vršiti naučna i praktična istraživanja u oblasti integracije projektovanja dijelova i tehnoloških procesa.

Struktura aktivnosti projektovanja dijelova i tehnoloških procesa, u okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, prikazana je na slici 6.5. Aktivnosti projektovanja dijelova i tehnoloških procesa moguće je modelirati pomoću tri međusobno povezane aktivnosti:

- *Preliminarnog projektovanja dijelova,*
- *Detaljnog projektovanja dijelova i*
- *Planiranja tehnološkog procesa.*

. 1 Preliminarno projektovanje dijelova

U okviru aktivnosti projektovanja dijelova i tehnoloških procesa, prvi korak predstavlja preliminarno projektovanje dijela. Preliminarno projektovanje dijela, moguće je izvršiti na dva načina (Slika 6.5):

- *Uzimajući u obzir prethodno generisane rezultate projektovanja iz modula za konceptualno i detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa i*
- *Nezavisno od prethodno generisanih rezultata projektovanja.*

Bez obzira kojim postupkom se vrši preliminarno projektovanje dijela, cilj ove aktivnosti je generisanje polaznog oblika, dimenzija i materijala dijela. Polazni oblik i dimenzije dijela generišu se u cilju zadovoljenja usvojene koncepcije projektovanja dijelova i tehnoloških procesa. Usvojena koncepcija bazira se na kombinovanju elementarnih tehnoloških tipskih formi od polaznog oblika dijela, primjenom Bulovih operacija.

Definisanje projektantskih informacija za dio predstavlja početnu aktivnost u okviru prvog postupka preliminarnog projektovanja. Ulazne informacije za realizaciju ove aktivnosti predstavljaju idejni projekat proizvoda i smjernice za preliminarno projektovanje dijela. Ovim postupkom vrši se analiza informacija i interpretacija zahtjeva, proizašlih iz idejnog projekta proizvoda, koji utiču na proces projektovanja dijela. Rezultat ove aktivnosti predstavljaju tehnički parametri proizvoda koji utiču na izbor i dimenzije polaznog oblika materijala dijela, kao što su vrsta opterećenja (promjenljivo, kontinualno, udarno), maksimalne vrijednost brzine, sila, hoda i sl.

Na osnovu rezultata iz prethodne aktivnosti vrši se generisanje polaznog oblika i dimenzija dijela. Polazni oblik dijela u dizajnerskom smislu zavisi od želje kupca i oblika koji je prethodno generisan od strane vodećeg projektanta, u aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda.

Dimenzije polaznog oblika dijela definišu se na osnovu proračuna čvrstoće materijala dijela i konceptualnog projekta modula proizvoda. Proračuni čvrstoće materijala dijela zavise od namjene, funkcije i vrste opterećenja kojima je izložen posmatrani dio. Ukoliko projektant nije zadovoljan dimenzijama i polaznim oblikom dijela, moguće je izvršiti korekcije u aktivnosti generisanja polaznog oblika i dimenzija dijela.

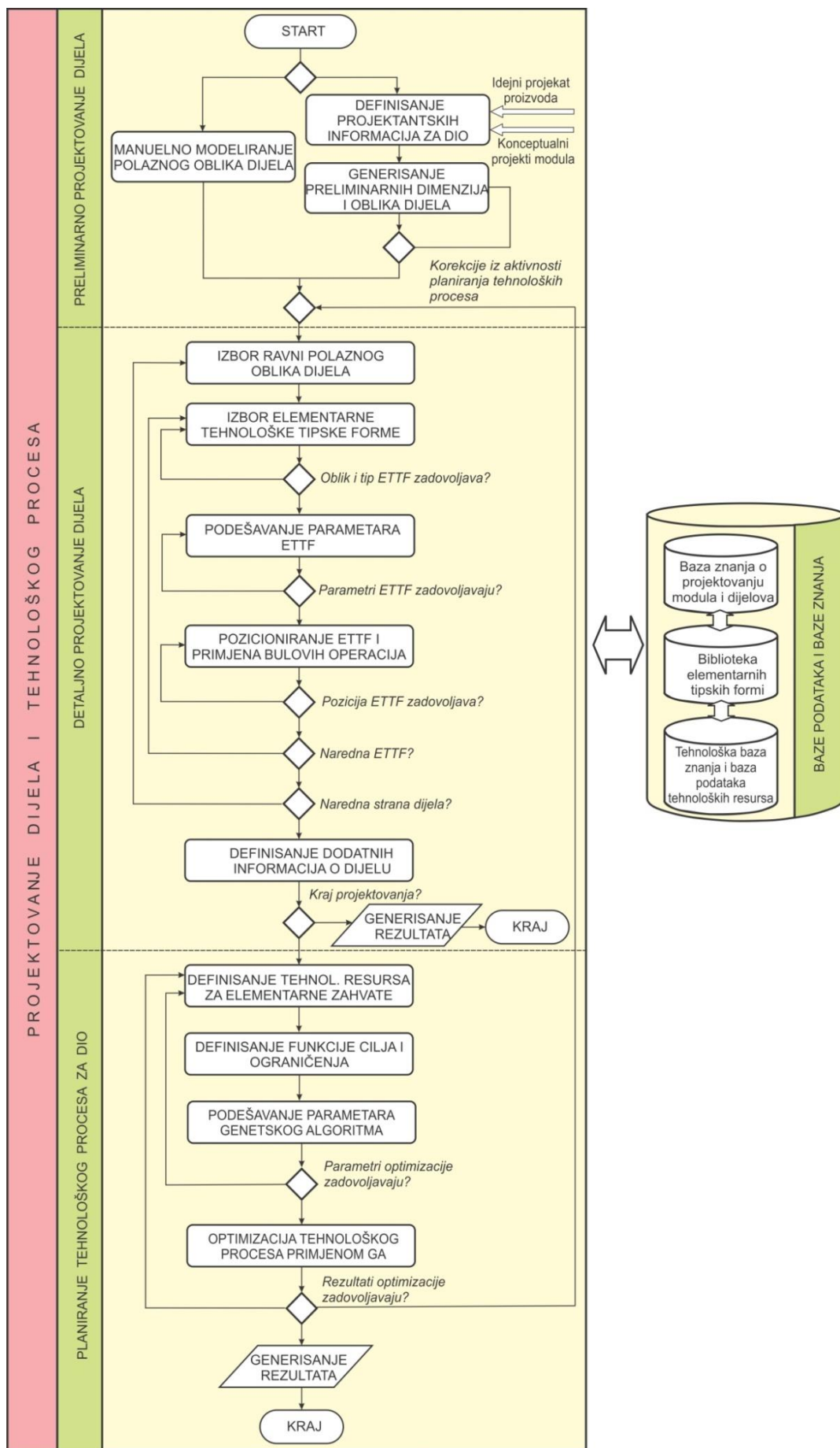
Preliminarno projektovanje dijela, uzimajući u obzir prethodno generisane rezultate projektovanja, vrši se na osnovu smjernica koje su sadržane u bazi podataka za projektovanje dijelova. Smjernice za preliminarno projektovanje dijelova su u funkciji idejnog projekta proizvoda, zahtjeva kupaca i vrste dijela. Smjernice za projektovanje dijelova sastoje se od:

- *Zapreminskih modela i crteža ranije razvijenih sličnih modula proizvoda i*
- *Automatizovanih postupaka za proračun dijelova.*

Drugi postupak preliminarnog projektovanja dijela odnosi se na način projektovanja od početka, sa ili bez korišćenja smjernica za konceptualno projektovanje modula proizvoda.

U okviru ovog pristupa, projektant vrši manuelno zapreminsko modeliranje polaznog oblika dijela. Polazni oblik dijela sa odgovarajućim dimenzijama i materijalom, u oba pristupa, predstavlja rezultat aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela.

6. Razvoj opšteg modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa



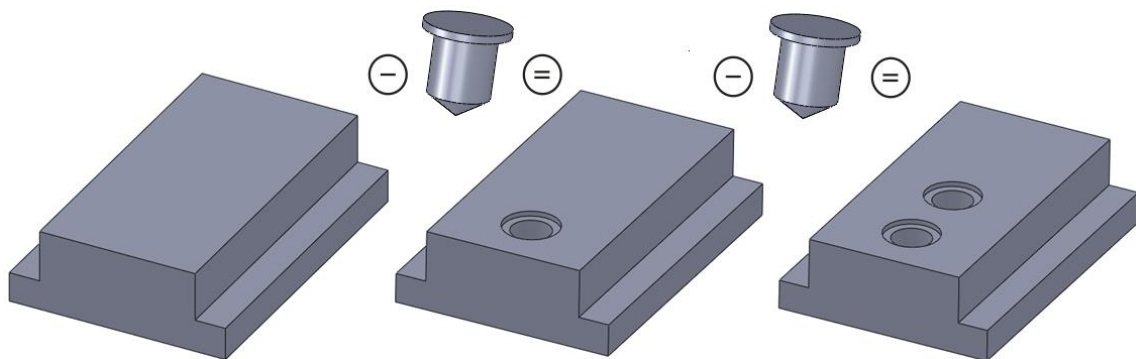
Slika 6.5 Struktura aktivnosti u okviru modula za projektovanja dijelova i tehnoloških procesa

.2 Detaljno projektovanje dijelova

Detaljno projektovanje dijelova, u okviru aktivnosti modula za projektovanja dijelova i tehnoloških procesa, vrši se primjenom metode modeliranja na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi.

.2.1. Elementarne tehnološke tipske forme

Elementarna tehnološka tipska forma (ETTF) predstavlja zapreminski model jedinstvene geometrije koja čini funkcionalnu cjelinu u tehnološkom smislu. Elementarne tehnološke tipske forme se, u okviru ovog rada, mogu definisati kao „elementarni generički oblici sa kojima projektanti asociraju/povezuju određene attribute i znanja koja se primjenjuju prilikom projektovanja dijela i tehnološkog procesa“.



Slika 6.6 Postupak detaljnog projektovanja dijela na bazi upotrebe ETTF

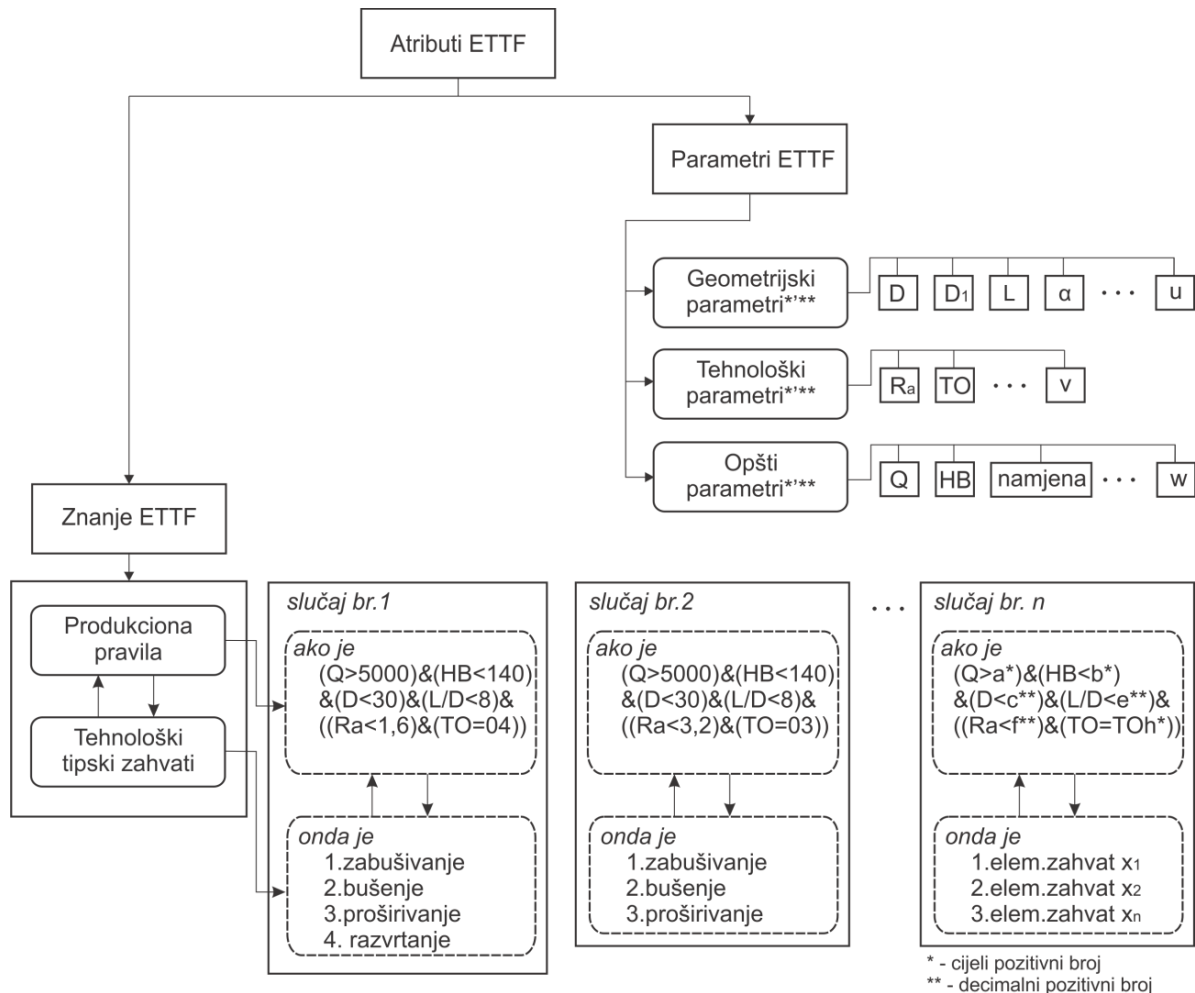
Koncept projektovanja pomoću prethodno definisanih tehnoloških tipskih formi, u čiju grupu spadaju i razvijene elementarne tehnološke tipske forme, bazira se na principu oduzimanja zapremina tipskih formi u odnosu na zapreminu polaznog oblika dijela. Primjer postupka detaljnog projektovanja dijela baziranog na elementarnim tehnološkim tipskim formama prikazan je na slici 6.6. Postupak oduzimanja zapremina vrši se primjenom Bolove operacije razlike. Uzimajući u obzir ovako definisanu proceduru projektovanja dijela, prethodno definisane elementarne tehnološke tipske forme mogu se bliže nazvati i negativni elementarnih tehnoloških tipskih formi.

Prilikom razvoja strukture podataka elementarne tehnološke tipske forme analizira se mogućnost proizvodnje sa stanovišta tehnologičnosti. Elementarna tehnološka tipska forma, koja se nalazi u biblioteci ETTF, povezana je sa dejstvom jednog ili više alata prema definisanom redosljedu izvođenja zahvata obrade. Definisan redosljed izvođenja zahvata obrade, čijom je realizacijom moguće izraditi posmatranu ETTF, naziva se tehnološki tipski zahvat. Tehnološki tipski zahvat sastoji se od jednog ili više elementarnih zahvata. Elementarni zahvati realizuju se dejstvom jednog alata, sa jednim podešavanjem mašine i jednim ili više prolaza alata.

Složene elementarne tipske forme, koje se ne nalaze u biblioteci elementarnih tehnoloških tipskih formi, mogu se generisati pomoću kombinacije jedne ili više elementarnih tehnoloških tipskih formi. Ovakav princip detaljnog projektovanja dijela omogućava da je, uz ograničenu primjenu i broj elementarnih tehnoloških tipskih formi, moguće projektovati kompleksne dijelove. Kompleksni dijelovi, u tom slučaju, sadrže složene geometrijske i tehnološke zahtjeve, izražene preko elementarnih tehnoloških tipskih formi.

Struktura atributa elementarne tehnološke tipske forme

Idejni koncept projektovanja pomoću elementarnih tehnoloških tipskih formi, koji je razvijen u predmetom istraživanju, bazira se na mogućnosti da razvijene elementarne tehnološke tipske forme budu „inteligentni nosioci informacija“. Realizacija ovog koncepta izvršena je uvođenjem i definisanjem dvije grupe atributa u okviru strukture podataka elementarne tehnološke tipske forme (slika 6.7).



Slika 6.7 Struktura atributa u okviru elementarne tehnološke tipske forme

Prva grupa atributa odnosi se parametre, a druga na znanje koje ETTF nosi sa sobom. Parametri elementarne tehnološke tipske forme mogu se podijeliti u tri grupe:

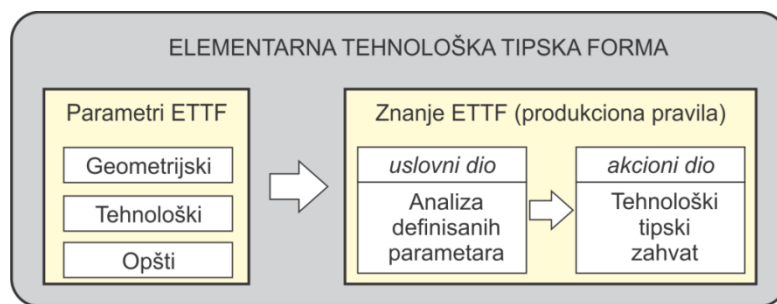
- *Geometrijski parametri,*
- *Tehnološki parametri i*
- *Opšti parametri.*

Geometrijski parametri vezani su sa geometrijskim oblikom elementarne tehnološke tipske forme. Geometrijski parametri su već sadržani unutar zapreminskog modela ETTF. Pristupom geometrijskim parametrima, projektant mijenja i prilagođava geometriju ETTF prema zahtjevima za projektovanjem. Geometrijski parametri obuhvataju parametre dimenzija i odnosa, koji se lokacijski nalaze u okviru skice zapreminskog modela ETTF.

Tehnološki parametri navode se u elementarnoj tehnološkoj tipskoj formi u vidu atributa. Atributi koji definišu tehnološke parametre su najčešće kvalitet obrađene površine i tolerancija oblika ETTF. Ovi atributi vezani su sa geometrijskim elementima površi ETTF.

Opšti parametri navode se u definiciju ETTF u vidu atributa. Oni se najčešće odnose na namjenu tehnološke tipske forme, specijalne vrste obrade, napomene, ali i informacije čiji tip i sadržaj projektant može definisati prema zahtjevima za projektovanjem dijela.

Struktura baze znanja za obradu elementarne tehnološke tipske forme definisana je preko produkcionih pravila. Produkciona pravila sastoje se od niza prethodno definisanih geometrijskih, tehnoloških i opštih atributa i tehnoloških tipskih zahvata. Znanje u vidu produkcionih pravila služi u svrhu analize definisanih geometrijskih, tehnoloških i opštih parametara ETTF. Rezultat analize definisanih parametara predstavlja odgovarajući tehnološki tipski zahvat (slika 6.8). Generisanjem tehnološkog tipskog zahvata, vrši se definisanje redosljedja izvođenja elementarnih zahvata obrade za posmatranu ETTF.



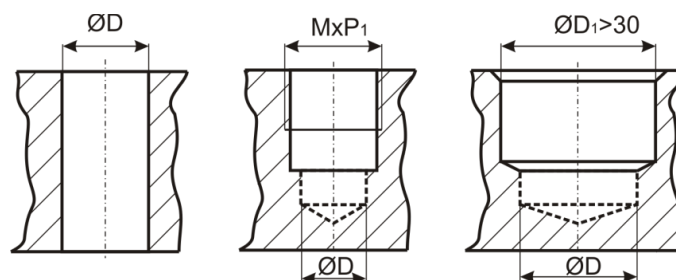
Slika 6.8 Korišćenje znanja u okviru elementarne tehnološke tipske forme

Klasifikacija elementarnih tehnoloških tipskih formi

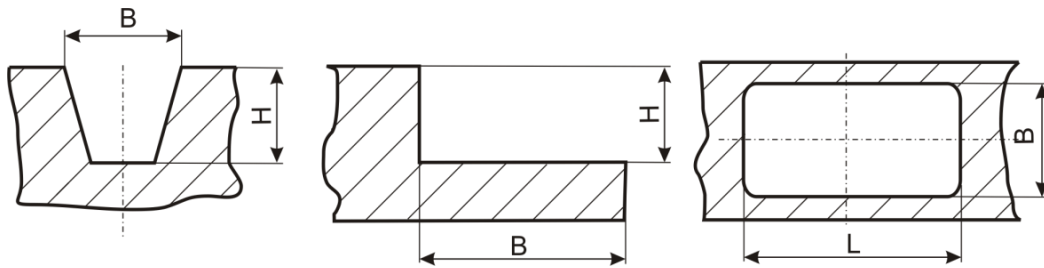
Razvijene elementarne tehnološke tipske forme, u okviru predmetnog istraživanja, ograničene su na tipske forme sa geometrijom kružnog poprečnog presjeka i/ili geometrijom koja se sastoji od ravanskih površi. Drugim riječima, elementarne tehnološke tipske forme koje sadrže zakrivljene površine drugog, trećeg i/ili višeg reda, odnosno b-spline ili nurbs površi, nisu predmet ovog istraživanja. Razvijene elementarne tehnološke tipske forme mogu se klasifikovati prema geometrijskim karakteristikama na:

- *ETTF kružnog poprečnog presjeka u odnosu na ravan okomitu na vektor normale tipske forme i*
- *ETTF pravougaonog presjeka u odnosu na ravan okomitu na na vektor normale tipske forme.*

Primjeri ETTF-i kružnog poprečnog presjeka i pravougaonog poprečnog presjeka, u odnosu na ravan okomitu na vektor normale tipske forme, dati su na slikama 6.9 i 6.10, respektivno.



Slika 6.9 ETTF kružnog poprečnog presjeka u odnosu na ravan okomitu na vektor normale

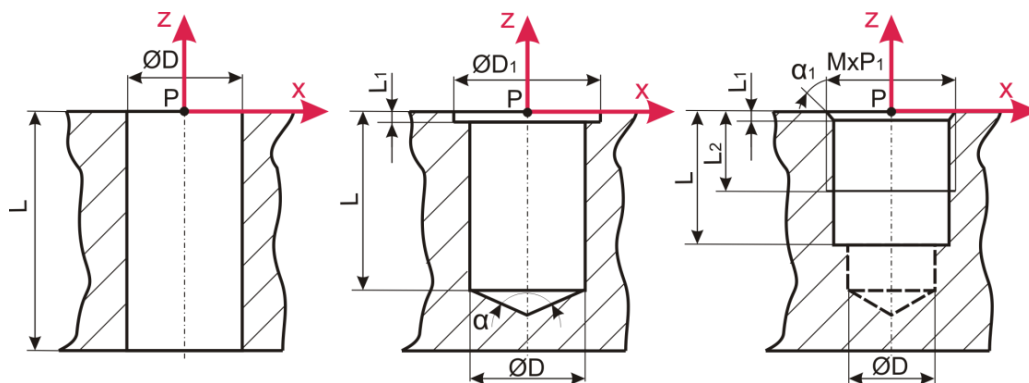


Slika 6.10 ETTF pravougaonog presjeka u odnosu na ravan okomitu na vektor normale

Prema tehnološkim karakteristikama, u okviru predmetnog istraživanja, ETTF mogu se klasifikovati na:

- ETTF bušenja i
- ETTF glodanja.

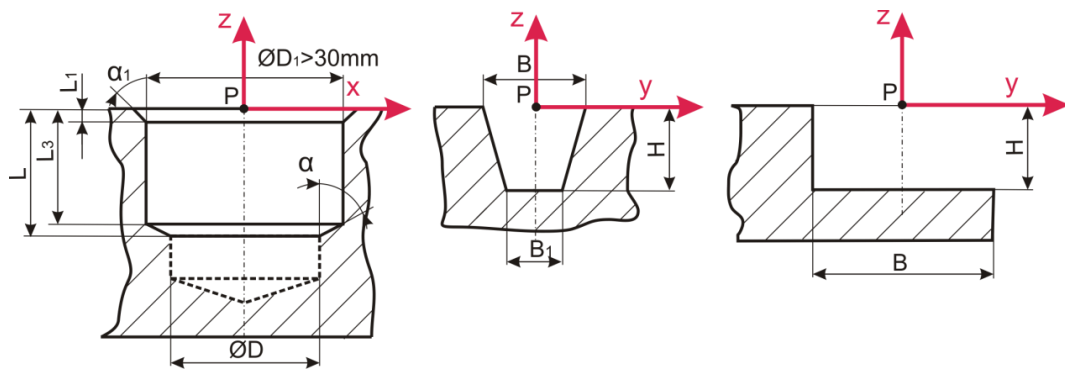
Elementarne tehnološke tipske forme bušenja odnose se na tipske forme čija se geometrija poklapa sa geometrijom izvodnice alata. Primjeri ETTF bušenja prikazani su na slici 6.11. Elementarne tehnološke tipske forme bušenja obuhvataju sve tipske forme koje se mogu izraditi elementarnim zahvatima bušenja i njihovim srodnim postupcima (proširivanje, razvrtnanje, upuštanje).



Slika 6.11 Elementarne tehnološke tipske forme bušenja

Prilikom definisanja koncepta ETTF bušenja, autor ne postavlja ograničenja koja se odnose na vrstu mašine (bušilica, glodalica) ili vrstu alata potrebnih za izradu posmatrane ETTF. U okviru predmetnog istraživanja ETTF bušenja dodijeljeno je geometrijsko ograničenje u pogledu vrijednosti nazivnog prečnika ETTF. Prema dodijeljenom ograničenju, maksimalna vrijednost nazivnog prečnika ETTF bušenja iznosi 30mm. Ukoliko se ETTF sastoji od geometrije čiji je nazivni prečnik veći od 30mm, tada se takva elementarna tipska forma klasifikuje kao ETTF glodanja.

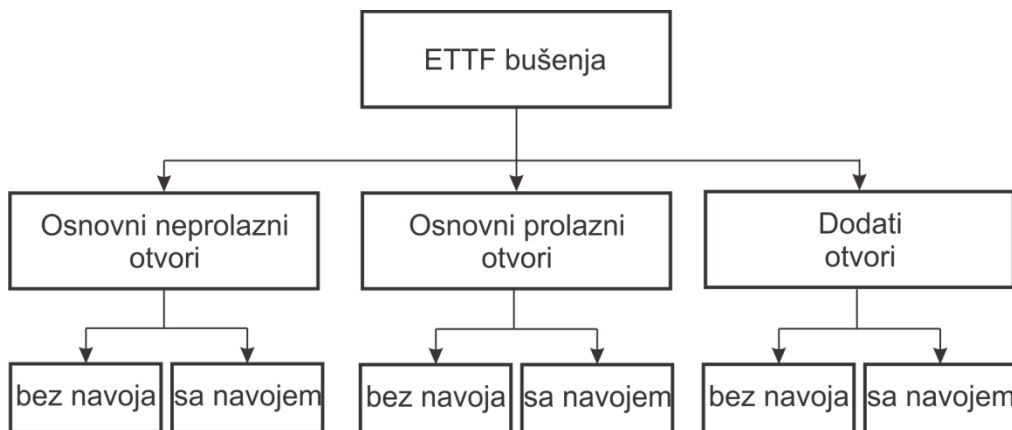
Elementarne tehnološke tipske forme glodanja obuhvataju tipske forme koje nastaju kao rezultat višeosnog kretanja alata u odnosu na nepokretni dio. Pri tome ETTF glodanja najčešće nastaju kao zbir glavnog obrtnog kretanja alata i pomoćnog pravolinijskog ili kružnog kretanja alata. ETTF glodanja prikazane su na slici 6.12. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja obuhvataju sve tipske forme koje se mogu izraditi elementarnim zahvatima glodanja i njihovim srodnim postupcima. Prilikom definisanja koncepta ETTF glodanja, autor ne postavlja ograničenja koja se odnose na vrstu mašine (glodalica, rendisaljka, NUMA) ili vrstu alata potrebnih za izradu posmatrane ETTF.



Slika 6.12 Elementarne tehnološke tipske forme glodanja

Elementarne tehnološke tipske forme bušenja sa projektantskog stanovišta predstavljaju tipske forme otvora ili rupa sa/bez dodanih konstruktivno- tehnološkim elemenata (upust, navoj, zaobljenje) nazivnog prečnika do 30 mm. Elementarne tehnološke tipske forme bušenja izrađuju se sa jednim glavnim obrtnim i jednim pomoćnim pravolinijskim kretanjem alata, pri čemu dio ostaje nepokretan u pomoćnom priboru.

Klasifikacija elementarnih tehnoloških tipskih formi bušenja izvršena je prema konstrukciono tehnološkim karakteristikama ETTF (slika 6.13). Elementarne tehnološke tipske forme bušenja koje se odnose na osnovne neprolazne, odnosno prolazne otvore, bez i sa navojem, definišu otvore i rupe kružnog poprečnog presjeka sa ili bez dodatnih konstrukcionih elemenata u vidu upusta, skošenja ili zaobljenja. Elementarne tehnološke tipske forme bušenja koje se odnose na dodane otvore, bez i sa navojem, definišu tipske forme koje predstavljaju proširenje već postojećih otvora, sa ili bez dodatnih konstrukcionih elemenata u vidu upusta, skošenja ili zaobljenja.



Slika 6.13 Klasifikacija elementarnih tehnoloških tipskih formi bušenja

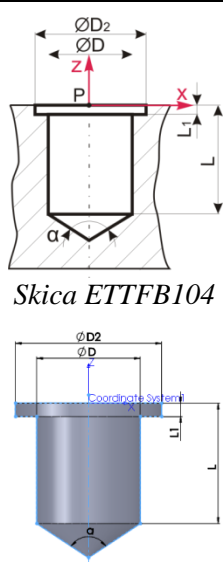
Pomoću parametara ETTF bušenja (tabela 6.1) moguće je generisati zapreminski model bilo koje elementarne tehnološke tipske forme bušenja. Parametri ETTF bušenja sastoje se od geometrijskih parametara (dužina, prečnik, ugao radijus), tehnoloških parametara (tolerancije oblika, površinska hrapavost) i opštih parametara (namjena). Parametar pravaca prilaza alata definisan je preko ose koordinatnog sistema koji je postavljen na elementarnu tehnološku tipsku formu bušenja (najčešće Z osa).

Tabela 6.1 Parametri za grupu elementarnih tehnoloških tipskih formi bušenja

Naziv parametra	Oznaka	J.M.	Vrijednost za J.M.
Dužina	L	mm	broj
Dužina skošenja	L1	mm	broj
Dužina navoja	L2	mm	broj
Dubina skošenja	L3	mm	broj
Prečnik	D	mm	broj
Prečnik proširenja	D1	mm	broj
Prečnik upusta	D2	mm	broj
Prečnik navoja	M	mm	broj
Korak navoja	P1	mm	broj
Ugao skošenja	α_1	°	broj
Ugao vrha	α	°	broj
Radijus zaobljenja	r	mm	broj
Pravac prilaza alata	V	(x,y,z)	vektor
Tolerancija oblika cilindričnosti	TO1	mm	broj
Tolerancija oblika upravnosti	TO2	mm	broj
Kvalitet obrađene površine	Ra1	μm	broj
Namjena	N	--	tekst
Dodatni atribut	xx	xx	xx
Pravac prilaza alata na dijelu	V1	(x,y,z)	vektor
Položaj tačke za pozicioniranje	P	x,y,z	niz
Zapremina	Z	cm^3	broj

Parametri elementarne tehnološke tipske forme bušenja zaključno sa dodatnim atributom, definišu se u postupku zapreminskog projektovanja elementarne tehnološke tipske forme. Parametri ETTF bušenja koji se odnose na *pravac prilaza alata na dijelu, položaj tačke za pozicioniranje i zapreminu*, generišu se nakon kombinovanja zapreminskog modela ETTF bušenja i zapreminskog modela polaznog oblika dijela.

Tabela 6.2 ETTF neprolaznog otvora sa upustom oznake ETGB104

Elementarna tehnološka tipska forma	Parametar ETTF	Oznaka	J.M	Tip J.M.
 <p>Skica ETTFB104</p> <p>Zapreminski model ETTFB104</p>	Dužina	L	mm	broj
	Dužina upusta	L1	mm	broj
	Prečnik	D	mm	broj
	Prečnik upusta	D2	mm	broj
	Ugao vrha	α	°	broj
	Pravac prilaza alata	V	(x,y,z)	vektor
	Tolerancija oblika cilindričnosti	TO1	mm	broj
	Tolerancija oblika upravnosti	TO2	mm	broj
	Kvalitet obrađene površine	Ra1	μm	broj
	Namjena	N	--	tekst
	Dodatni atribut	xx	xx	xx
	Pravac prilaza alata na dijelu	V1	(x,y,z)	vektor
	Položaj tačke za pozicioniranje	P	x,y,z	niz
	Zapremina	Z	cm^3	broj

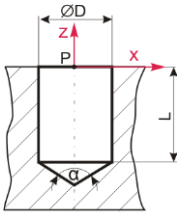
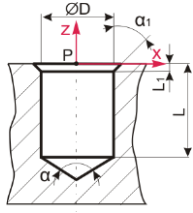
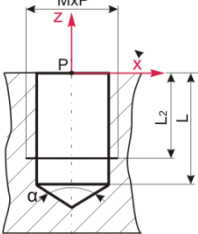
Elementarne tehnološke tipske forme bušenja izrađuju se sa redosljedom tehnoloških tipskih zahvata obrade koji sadrže elementarne zahvate zabušivanja, bušenja, razvrtanja, proširivanja i upuštanja, na odgovarajućim obradnim sistemima.

Primjer elementarne tehnološke tipske forme bušenja sa odgovarajućim parametrima i dodatnim informacijama prikazan je u tabeli 6.2 gdje je data elementarna tehnološka tipska forma neprolaznog otvora sa upustom, oznake ETGB104.

Redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade, kao i izbor mašine i alata koji se koriste prilikom obrade posmatrane ETTF, zavise od konstrukciono-tehnoloških karakteristika elementarne tehnološke tipske forme, materijala dijela, količine dijelova. Redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade detaljno je opisan u poglavlju 6.3.2.

Na osnovu klasifikacije, usvojenog pristupa i ograničenja prilikom razvoja koncepta ETTF, formirana je biblioteka elementarnih tehnoloških tipskih formi bušenja. Segment biblioteke ETTF prikazan je u tabeli 6.3, a njen sadržaj dat je u Prilogu 1.

Tabela 6.3 Segment biblioteke elementarnih tehnoloških tipskih formi bušenja

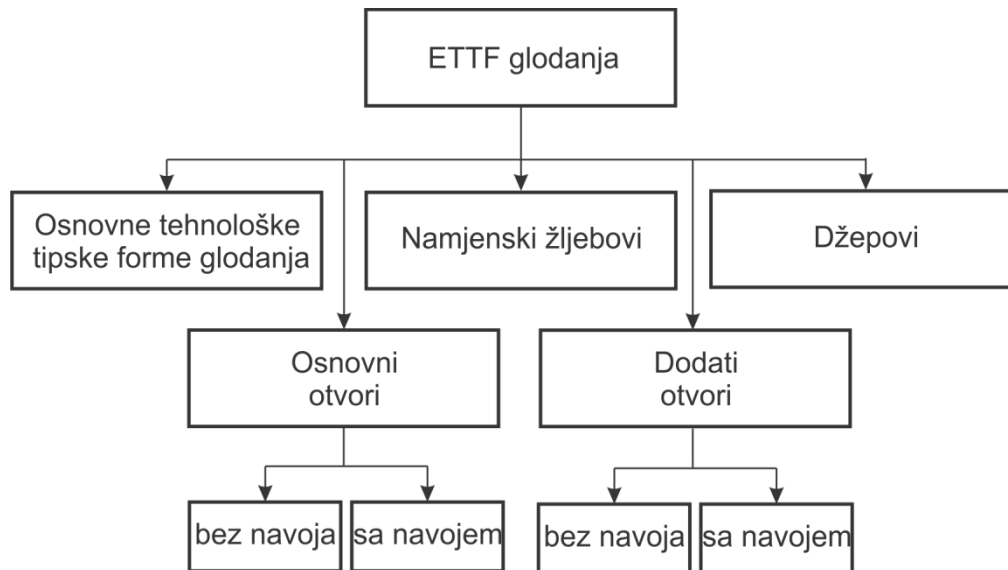
Tip elementarne tipske forme		Naziv ETTF	Skica elementarne tipske forme	Kod ETTF
Osnovni neprolazni otvori	bez navoja	B1		ETTFB102
				ETTFB103
	sa navojem	B2		ETTFB201

Elementarne tehnološke tipske forme glodanja sa projektantskog stanovišta predstavljaju tipske forme otvora ili rupa sa/bez dodatnih konstrukciono tehnoloških elementa (upust, navoj, zaobljenje) nazivnog prečnika većeg od 30 mm, kao i tipske forme ravnih površi, stepenika, žljebova i džepova. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja izrađuju se sa jednim glavnim i jednim pomoćnim kretanjem alata, pri čemu dio ostaje nepokretan u pomoćnom priboru.

Klasifikacija elementarnih tehnoloških tipskih formi glodanja izvršena je prema konstrukciono tehnološkim karakteristikama ETTF (Slika 6.14). Elementarne tehnološke tipske forme glodanja, koje se odnose na osnovne tipske forme, definišu tipske forme: ravne površi (ravnog glodanja), stepenika i osnovnih žljebova. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja koje se odnose na namjenske žljebove definišu tipske forme: „T“, „V“, „lastin rep“

žljebove. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja koje se odnose na džepove definišu tipske forme: otvorenih, zatvorenih džepova, sa ili bez dodatnih konstrukcionih elemenata u vidu upusta, skošenja ili zaobljenja, kao i žljeb za klin.

Elementarne tehnološke tipske forme glodanja koje se odnose na osnovne (neprolazne i prolazne) otvore, bez i sa navojem, definišu otvore i rupe kružnog poprečnog presjeka sa ili bez dodatnih konstrukcionih elemenata u vidu upusta, skošenja ili zaobljenja, sa prečnikom većim od 30 mm. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja koje se odnose na dodane otvore, bez i sa navojem, definišu tipske forme koje predstavljaju proširenje već postojećih otvora, sa ili bez dodatnih konstrukcionih elemenata u vidu upusta, skošenja ili zaobljenja, sa prečnikom većim od 30 mm.



Slika 6.14 Klasifikacija elementarnih tehnoloških tipskih formi glodanja

Pomoću parametara ETTF glodanja (tabela 6.4) moguće je generisati zapreminski model bilo koje elementarne tehnološke tipske forme glodanja. Parametri ETTF glodanja sastoje se od geometrijskih parametara (dužina, prečnik, ugao radijus), tehnoloških parametara (tolerancije oblika, površinska hrapavost) i opštih parametara. Parametar pravac prilaza alata definisan je preko osa koordinatnog sistema koji je postavljen na elementarnu tehnološku tipsku formu glodanja (najčešće Z ili X osa). Parametri elementarne tehnološke tipske forme glodanja, zaključno sa dodatnim atributom definišu se u fazi zapreminskog projektovanja, odnosno definisanja elementarne tehnološke tipske forme.

Parametri ETTF glodanja koji se odnose na *pravac prilaza alata na dijelu, položaj tačke za pozicioniranje i zapreminu*, generišu se nakon kombinovanja zapreminskog modela ETTF bušenja i zapreminskog modela polaznog oblika dijela.

Primjer elementarne tehnološke tipske forme glodanja, sa odgovarajućim parametrima i dodatnim informacijama, prikazan je u tabeli 6.5 gdje je data elementarna tehnološka tipska forma glodanja pravougaonog žljeba, oznake ETTGB104.

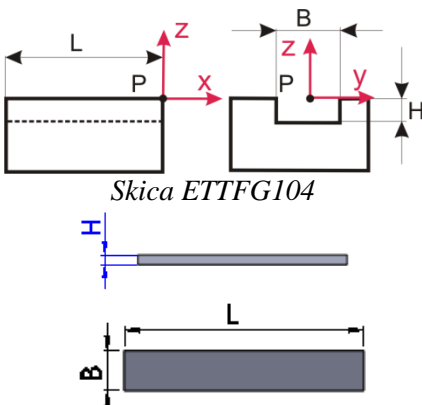
Elementarne tehnološke tipske forme glodanja, za tehnološke tipske forme otvora, namijenjene su da budu izrađene na odgovarajućim obradnim sistemima. Elementarne tehnološke tipske forme glodanja, za tehnološke tipske forme stepenika, žljebova i džepova, namijenjene su da budu izrađene na takode na njima svojstvenim odgovarajućim obradnim sistemima.

Tabela 6.4 Parametri za grupu elementarnih tehnoloških tipskih formi glodanja

Naziv parametra	Oznaka	J.M.	Vrijednost za J.M.
Dužina	L	mm	broj
Dužina skošenja	L1	mm	broj
Dužina navoja	L2	mm	broj
Dubina skošenja dna	L3	mm	broj
Rastojanje od ravni ulaza alata do proširenja	L0	mm	broj
Prečnik	$\emptyset D$	mm	broj
Prečnik proširenja	$\emptyset D1$	mm	broj
Prečnik pristupnog otvora	$\emptyset D0$	mm	broj
Dužina	L	mm	broj
Širina	B	mm	broj
Širina dna konusa	B1	mm	broj
Visina	H	mm	broj
Visina upusta	H1	mm	broj
Radijus džepa	r1	mm	broj
Radijus na dnu	r	mm	broj
Prečnik navoja	M	mm	broj
Korak navoja	P1	mm	broj
Ugao skošenja dna	α	°	broj
Ugao skošenja vrha	$\alpha1$	°	broj
Pravac prilaza alata	V	(x,y,z)	vektor
Tolerancija oblika	TO1	mm	broj
Tolerancija oblika	TO2	mm	broj
Kvalitet obrađene površine	Ra1	μm	broj
Namjena	N	--	tekst
Dodatni atribut	xx	xx	xx
Pravac prilaza alata na dijelu	V1	(x,y,z)	vektor
Položaj tačke za pozicioniranje	P	x,y,z	vektor
Zapremina	Z	cm^3	broj

Elementarne tehnološke tipske forme glodanja za tipske forme otvora izrađuju se tehnološkim tipskim zahvatima obrade koji sadrže elementarne zahvate zabušivanja, bušenja i srodnih zahvata.

Tabela 6.5 Elementarna tehnološka tipska forma pravougaonog žljeba

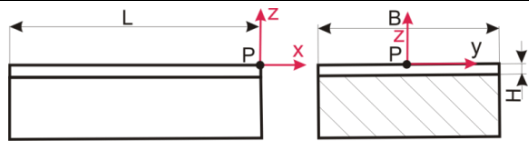
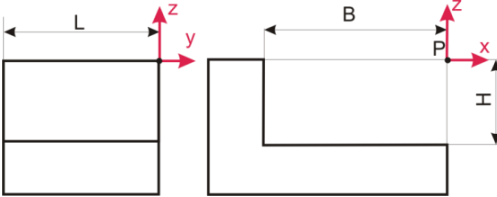
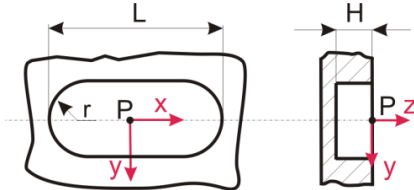
Elementarna tehnološka tipska forma	Parametar ETTF	Oznaka	J.M	Tip J.M.
 <p>Skica ETTFG104</p> <p>Zapreminski model ETTFG104</p>	Dužina	L	mm	broj
	Širina	B	mm	broj
	Visina	H	mm	broj
	Pravac prilaza alata	V	0,0,1	vektor
	Tolerancija oblika	TO1	mm	broj
	Tolerancija oblika	TO2	mm	broj
	Kvalitet obrađene površine	Ra1	μm	broj
	Namjena	N	--	tekst
	Dodatni atribut	xx	xx	xx
	Pravac prilaza alata na dijelu	V1	(x,y,z)	vektor
	Položaj tačke za pozicioniranje	P	x,y,z	niz
	Zapremina	Z	cm^3	broj

Elementarne tehnološke tipske forme glodanja za tipske forme stepenika, žljebova i džepova izrađuju se sa tehnološkim tipskim zahvatima obrade koji sadrže elementarne zahvate grubog, predzavršnog i završnog glodanja i srodnih zahvata.

Redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade, izbora mašina i alata koji se koriste prilikom obrade posmatrane ETTF glodanja zavise od konstrukciono tehnoloških karakteristika elementarne tehnološke tipske forme, materijala dijela, količine dijelova. Redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade detaljno je opisan u poglavlju 6.3.2.

Na osnovu klasifikacije, usvojenih pristupa i ograničenja prilikom razvoja koncepta ETTF, formirana je biblioteka elementarnih tehnoloških tipskih formi glodanja. Segment biblioteke ETTF glodanja prikazan je u tabeli 6.6, a njen sadržaj dat je u Prilogu 2.

Tabela 6.6 Segment biblioteke elementarnih tehnoloških tipskih formi glodanja

Tip elementarne tipske forme	Naziv ETTF	Skica elementarne tipske forme	Kod ETTF
Osnovne tipske forme glodanja	G1	Ravna površ 	ETTFG101
		Stepenik 	ETTFG102
Džepovi	G3	Džep za klin 	ETTFG305

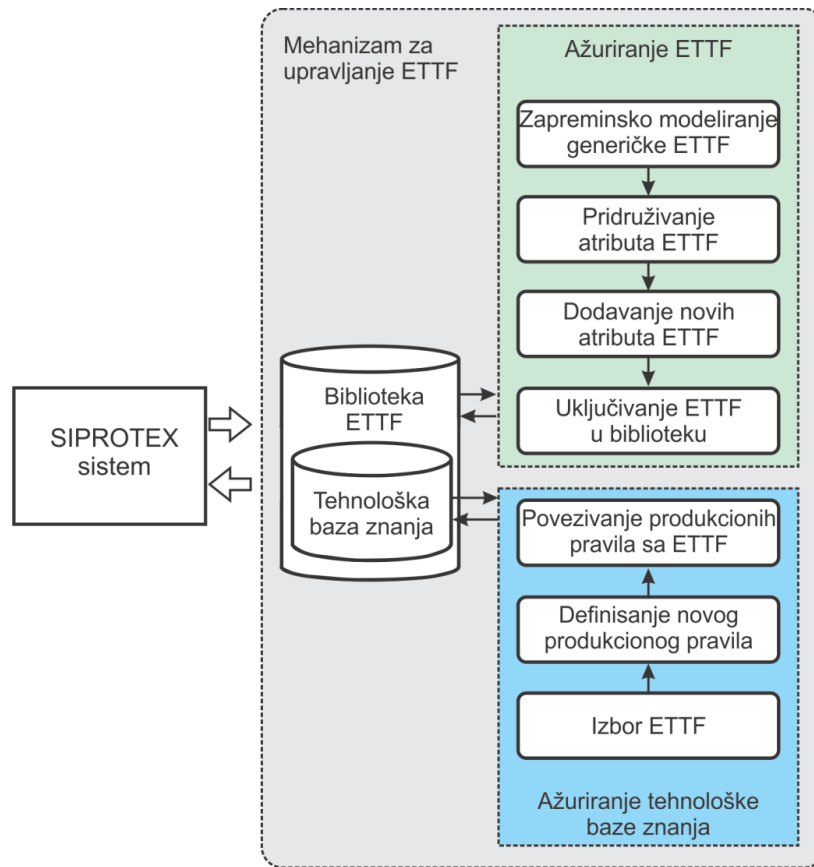
.2.1.3 Mehanizam za upravljanje bibliotekom ETTF i tehnološkom bazom znanja

Sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, u dijelu aktivnosti koji se odnosi na detaljno projektovanje dijelova, povezan je sa bibliotekom elementarnih tehnoloških tipskih formi i tehnološkom bazom znanja. Biblioteka elementarnih tehnoloških tipskih formi sadrži prethodno definisane ili generičke elementarne tehnološke tipske forme. Prilikom procesa detaljnog projektovanja elementarnu tehnološku tipsku formu, iz biblioteke ETTF, moguće je koristiti neograničen broj puta sa istim ili različitim parametrima.

Tehnološka baza znanja sastoji se od produkcionih pravila. Produkciona pravila (slika 6.7) predstavljena su u obliku atributa ETTF. Produkciona pravila su integrisana u okviru ETTF u svrhu definisanja sadržaja tehnoloških tipskih zahvata. Prema tome, tehnološka baza znanja može se posmatrati kao dio biblioteke elementarnih tehnoloških tipskih formi.

U svrhu obezbjeđenja fleksibilnosti i proširivosti sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, razvijen je mehanizam za upravljanje bibliotekom elementarnih tehnoloških tipskih formi (slika 6.15). Mehanizam za upravljanje bibliotekom ETTF obezbjeđuje ažuriranje elementarnih tehnoloških tipskih formi i tehnološke baze znanja. Ažuriranje ETTF vrši se u svrhu definisanja novih generičkih ETTF i proširenja biblioteke ETTF. Proširenje biblioteke elementarnih tehnoloških tipskih formi vrši se ukoliko

se, prilikom detaljnog projektovanja dijela, identifikuju nove ETTF koje se pri tom ne nalaze u biblioteci ETTF.



Slika 6.15 Mehanizam za upravljanje bibliotekom elementarnih tehnoloških tipskih formi

Postupak ažuriranja biblioteke ETTF započinje klasičnim zapreminskim modeliranjem nove elementarne tehnološke tipske forme u okviru CAD programskog sistema. Zapreminski model nove ETTF zatim se učitava/otvara pomoću mehanizma za upravljanje bibliotekom ETTF. Naredni korak predstavlja prepoznavanje i povezivanje postojećih geometrijskih atributa sa novim (sistemskim) atributima, kao i dodjeljivanja tehnoloških i opštih atributa za novu ETTF. Nova elementarna tehnološka tipska forma, zajedno sa atributima, zatim se uključuje u biblioteku ETTF.

Ažuriranje tehnološke baze znanja vrši se u okviru mehanizma za upravljanje bibliotekom ETTF. Prvi korak u postupku ažuriranja tehnološke baze znanja predstavlja izbor ETTF iz biblioteke ETTF. Izabranoj ETTF dodjeljuje se baza znanja u vidu produkcionih pravila. Produkciona pravila sastoje se od definisanja uzročno-posljedičnih veza u obliku: "Ako <uslov> Onda <akcija>". Definisanje uzročno-posljedičnih veza realizuje se primjenom atributa ETTF. Atributi za uslov definišu uzročni dio produkcionih pravila, dok atributi za posljedicu definišu akcioni dio produkcionih pravila. Uslovni dio produkcionih pravila odnosi se na kombinaciju geometrijskih, tehnoloških i opštih parametara ETTF. Akcioni dio produkcionih pravila odnosi se na tehnološke tipske zahvate ili na kombinaciju elementarnih tehnoloških zahvata. Nakon dodjeljivanja produkcionih pravila elementarnoj tehnološkoj tipskoj formi, vrši se povezivanje i memorisanje produkcionih pravila za izabranu ETTF.

Nakon postupka ažuriranja, biblioteka elementarnih tehnoloških tipskih formi sadrži novu generičku elementarnu tehnološku tipsku formu. Ovako definisana nova generička ETTF može se koristiti neograničen broj puta u okviru aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda.

.2.2 Postupak detaljnog projektovanja dijelova

Struktura toka detaljnog projektovanja dijelova, u okviru aktivnosti modula za projektovanja dijelova i tehnoloških procesa, prikazana je na slici 6.5. Uslov za početak detaljnog projektovanja dijela predstavlja generisan model polaznog oblika dijela sa definisanim gabaritnim dimenzijama i materijalom. Ovaj uslov ispunjen je realizacijom prethodno opisane aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela.

Početni korak prilikom detaljnog projektovanja dijela predstavlja izbor ravni (površni, strane) na modelu polaznog oblika dijela. Projektant izborom ravni na modelu polaznog oblika dijela, aktivira smjernice za detaljno projektovanje dijela. Smjernice za detaljno projektovanje dijela sadrže raspored i okvirne dimenzije svih tipskih formi čiji je vektor normale kolinearan ili zatvara ugao manji od 90° sa vektorom normale na posmatranu ravan dijela. Smjernice za detaljno projektovanje dijela generišu se iz baze znanja za projektovanje modula i dijelova. Smjernice za detaljno projektovanje zavise su od ključnih tehničkih parametara proizvoda, a razvijene na osnovu prethodno projektovanih sličnih dijelova.

Projektant na osnovu generisanih smjernica vrši izbor odgovarajuće elementarne tehnološke tipske forme (ETTF) iz biblioteke ETTF. Nakon izbora ETTF, projektant vrši podešavanje parametara ETTF. Podešavanje parametara ETTF odnosi se na podešavanje:

- *Geometrijskih parametara,*
- *Tehnoloških parametara i*
- *Opštih parametara.*

Podešavanje geometrijskih parametara odnosi se na podešavanje dimenzionih karakteristika izabranog modela ETTF. Geometrijski parametri izabranog modela ETTF obezbjeđeni su sa geometrijskim ograničenjima, u svrhu preventivnog spriječavanja generisanja nevalidne ETTF.

Tehnološki parametri odnose se na parametare koji se unose u model ETTF u vidu tehnoloških atributa. Tehnološki atributi modela ETTF odnose se na kvalitet obradene površine (Ra) i toleranciju oblika (TO) ETTF. Podešavanjem ovih parametara model ETTF se obogaćuje tehnološkim informacijama.

Opšti parametri odnose se na dodatne informacije koje projektant, u toku podešavanja modela ETTF, može uključiti u model ETTF. Ove informacije su opšteg karaktera i mogu sadržavati tekstualne i/ili numeričke vrijednosti. Opšti parametri modela ETTF najčešće se odnose na namjenu, funkciju i/ili napomenu povezanu sa izabranim modelom ETTF.

Tehnološki i opšti atributi omogućavaju da modeli ETTF postanu nosači informacija višeg nivoa. Ove informacije mogu se jednostavno izdvojiti iz modela ETTF i omogućavaju realizaciju narednih aktivnosti, kao što je projektovanje tehnoloških procesa.

Nakon podešavanja svih parametara modela ETTF, vrši se generisanje zapreminskog modela ETTF. Generisanje podešenog modela (modela-potomka) vrši se na osnovu generičkog modela (modela-roditelja) koji se nalazi u biblioteci ETTF. Podešeni (novi) model ETTF generiše se u grafičkom okruženju modela CAD programskog sistema.

Podešeni zapreminski model ETTF zatim se pozicionira u odnosu na zapreminski model polaznog oblika dijela. Pozicioniranje modela ETTF vrši se na interaktivni način, na osnovu informacija iz smjernica za detaljno projektovanje dijela. Nakon pozicioniranja modela ETTF, vrši se primjena Bulove operacije razlike. Rezultat ove operacije predstavlja model polaznog oblika dijela od koga je oduzet model ETTF. Informacije o svim parametrima ETTF, kao i

njenoj poziciji u odnosu na ishodište usvojenog koordinatnog sistema, memorišu se u okviru razvijenog sistema SIPROTEX.

Postupak detaljnog projektovanja dijela, za izabranu ravan zapreminskog modela polaznog oblika dijela, ponavlja se za modele ETTF čiji vektor normale je kolinearan ili zatvara ugao manji od 90° sa vektorom normale izabrane ravni (strane) polaznog oblika dijela. Završetkom detaljnog projektovanja dijela, koje je vezano za jednu stranu polaznog oblika modela dijela, vrši se izbor naredne strane modela polaznog oblika dijela. Detaljno projektovanje dijela za izabranu stranu polaznog oblika modela dijela ponavlja se prema opisanoj proceduri. Postavljenjem svih zapremiskih modela ETTF, u odnosu na sve ravni zapreminskog modela polaznog oblika dijela, izvršeno je projektovanje dijela pomoću ETTF.

Nakon izvršenog projektovanja dijela pomoću ETTF, projektant vrši definisanje dodatnih informacija za projektovani dio. Dodatne informacije sadrže informacije o dimenzionim tolerancijama, tolerancijama položaja između elementarnih tehnoloških tipskih formi, mjerilu, standardima i napomenama koje su neophodne u svrhu detaljnog projektovanja dijela.

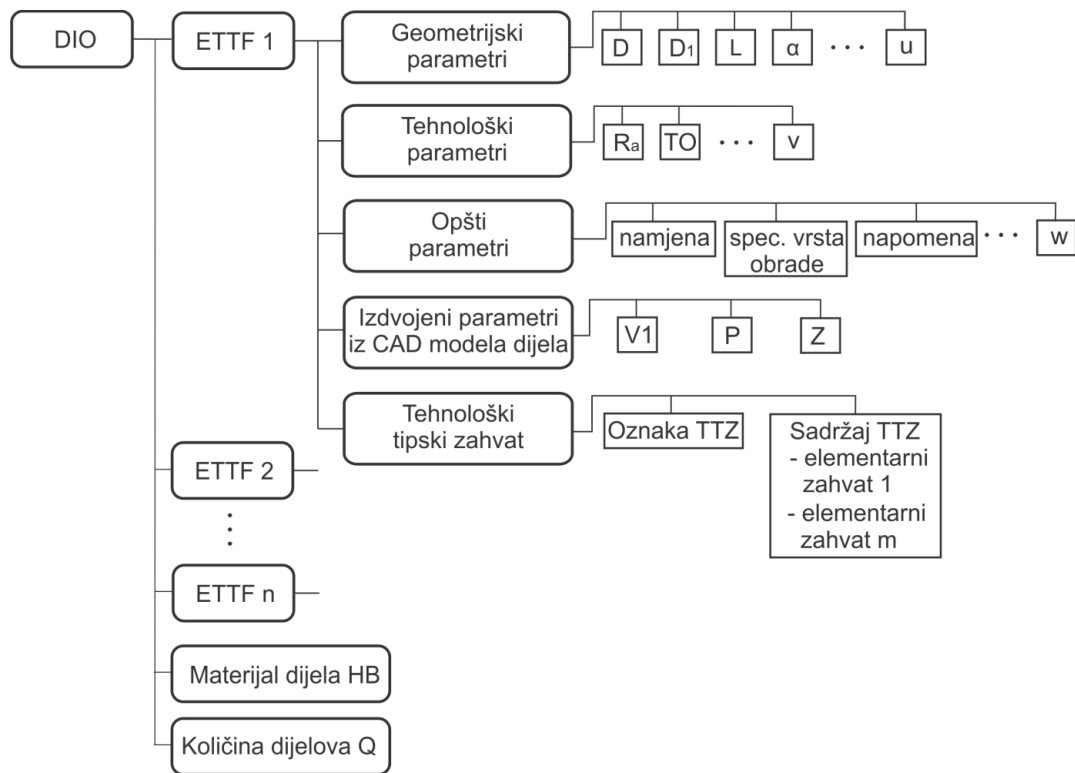
Važno je napomenuti da projektant posjeduje mogućnost da prilikom detaljnog projektovanja dijela, u okviru sistema SIPROTEX, ne koristi smjernice za detaljno projektovanje dijela. Za to mogu postojati dva razloga. Prvi, da u bazi podataka za detaljno projektovanje dijela ne postoje smjernice za projektovanje posmatranog dijela. I drugi, da projektant može zanemariti predložene smjernice i vršiti detaljno projektovanje dijela na osnovu zahtjeva iz idejnog projekta proizvoda i svog iskustva. Projektant u bilo kojoj fazi detaljnog projektovanja dijela posjeduje mogućnost izmjene i ažuriranja dimenzija, položaja i ostalih informacija o elementarnim tehnološkim tipskim formama.

Rezultat aktivnosti detaljnog projektovanja dijela, sa ili bez upotrebe smjernica, predstavlja detaljni zapreminski model dijela.

Prema strukturi toka detaljnog projektovanja dijela, u okviru aktivnosti detaljnog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, projektant donosi odluku o nastavku toka projektovanja. Pri tome projektant bira nastavak projektovanja koji rezultuje, ili aktivnošću planiranja tehnološkog procesa za projektovani dio, ili generisanju rezultata detaljnog projektovanja dijela.

Generisanje rezultata projektovanja iz aktivnosti preliminarnog i detaljnog projektovanja vrši se u obliku numeričkog zapisa ETTF za dio, zapreminskog modela i radioničkog crteža detaljno projektovanog dijela. Numerički zapis ETTF za dio, čija je struktura informacija prikazana na slici 6.16, sadrži:

- *Listu elementarnih tehnoloških tipskih formi (naziv i oznaka),*
- *Geometrijske parametre za pojedinačne ETTF (oznake i vrijednosti parametara),*
- *Tehnološke parametre za pojedinačne ETTF (kvalitet obrađene površine, tolerancije oblika),*
- *Opšte parametre za pojedinačne ETTF (namjena tipske forme, specijalne vrste obrade, napomene i sl.),*
- *Materijal dijela (definisan preko tvrdoće materijala izražene po Brinelu - HB) i*
- *Količina dijelova (Q).*



Slika 6.16 Struktura informacija numeričkog zapisa ETTF za projektovani dio

Zapreminski model i numerički zapis tehnoloških tipskih formi za detaljno projektovani dio koriste se kao ulaz u aktivnost planiranja tehnoloških procesa.

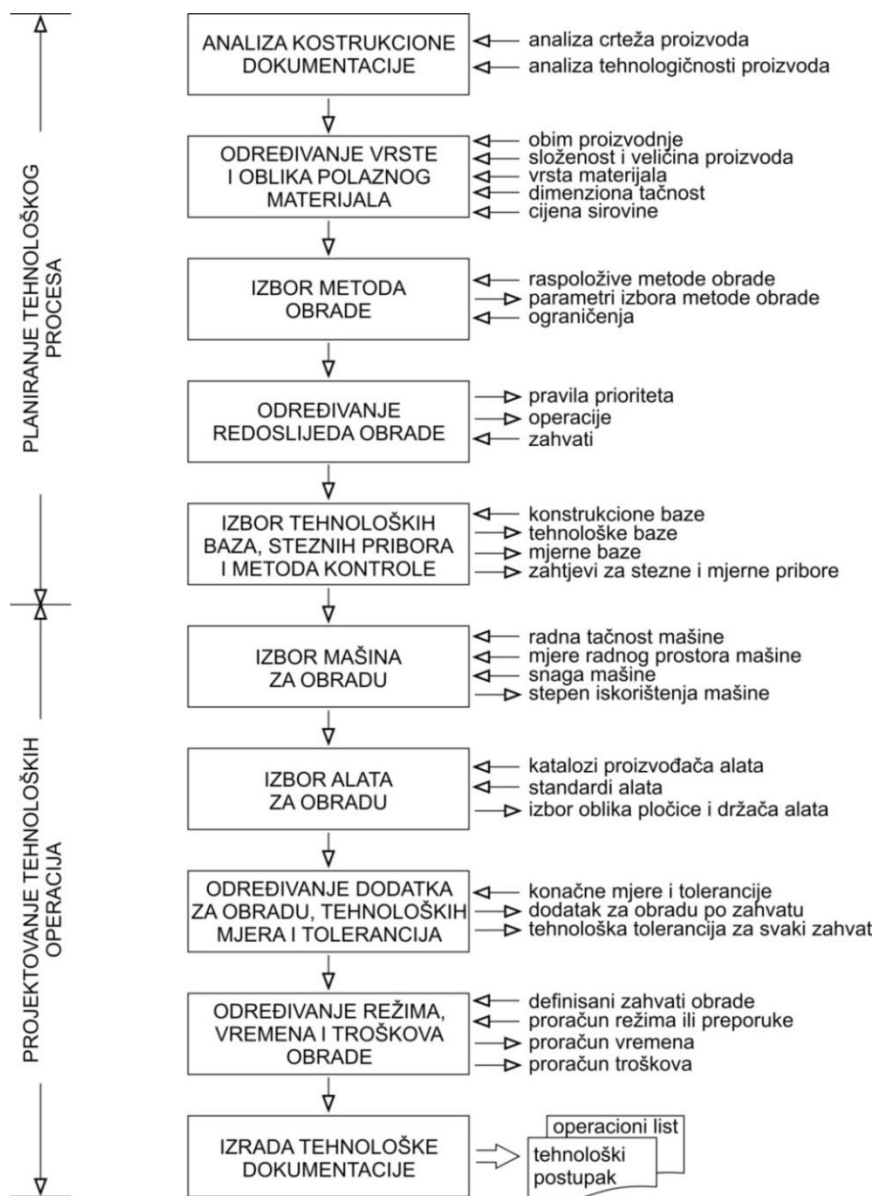
.3 Planiranje tehnoloških procesa

.3.1 Uvod

Projektovanje tehnološkog procesa izrade dijela obuhvata definisanje skupa aktivnosti pomoću kojih se, na ekonomičan i efektivan način, vrši transformacija priprema u konačan oblik dijela. Projektovanje tehnoloških procesa može se razdvojiti u dvije osnovne faze i to (slika 6.17):

- Planiranje tehnološkog procesa i
- Projektovanje tehnoloških operacija.

Planiranje tehnološkog procesa obuhvata realizaciju aktivnosti koje se odnose na određivanje vrste i oblika polaznog materijala (priprema), izbor metode obrade, definisanja redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade, izbor mjernih, steznih i tehnoloških baza i metoda kontrole. Pomenute aktivnosti teško je formalizovati, jer nije moguće matematički obuhvatiti sve činioce koji utiču na ove aktivnosti. Realizacija ovih aktivnosti predstavlja zadatak koji se postavlja pred najiskusnije tehnologe. Procjenjuje se da oko 80% od ukupno nastalih troškova projektovanja tehnološkog procesa pripada aktivnostima planiranja tehnološkog procesa. Prema tome, planiranje tehnološkog procesa predstavlja ključnu aktivnost projektovanja tehnoloških procesa. U oblasti računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa, aktivnosti planiranja tehnološkog procesa moguće je automatizovati sa primjenom metoda vještačke inteligencije i heurističkih algoritama.



Slika 6.17 Aktivnosti u projektovanju tehnoloških procesa

Projektovanje tehnoloških operacija obuhvata realizaciju aktivnosti koje se odnose na izbor mašina i alata, izbor i/ili projektovanje pomoćnih pribora, određivanje parametara obrade, vremenskih normativa i troškova izrade dijela. Ove aktivnosti predstavljaju fazu projektovanja tehnološkog procesa koja se svojim većim dijelom može algoritamski opisati i jednostavnije automatizovati primjenom računara. Projektovanje tehnoloških operacija predstavlja zadatak za tehnologe sa manje iskustva, jer ove aktivnosti čine znatno manji udio u ukupnim troškovima projektovanja tehnoloških procesa izrade dijela.

3.2 Optimizacija redosljedja izvođenja zahvata i operacija primjenom genetskih algoritama

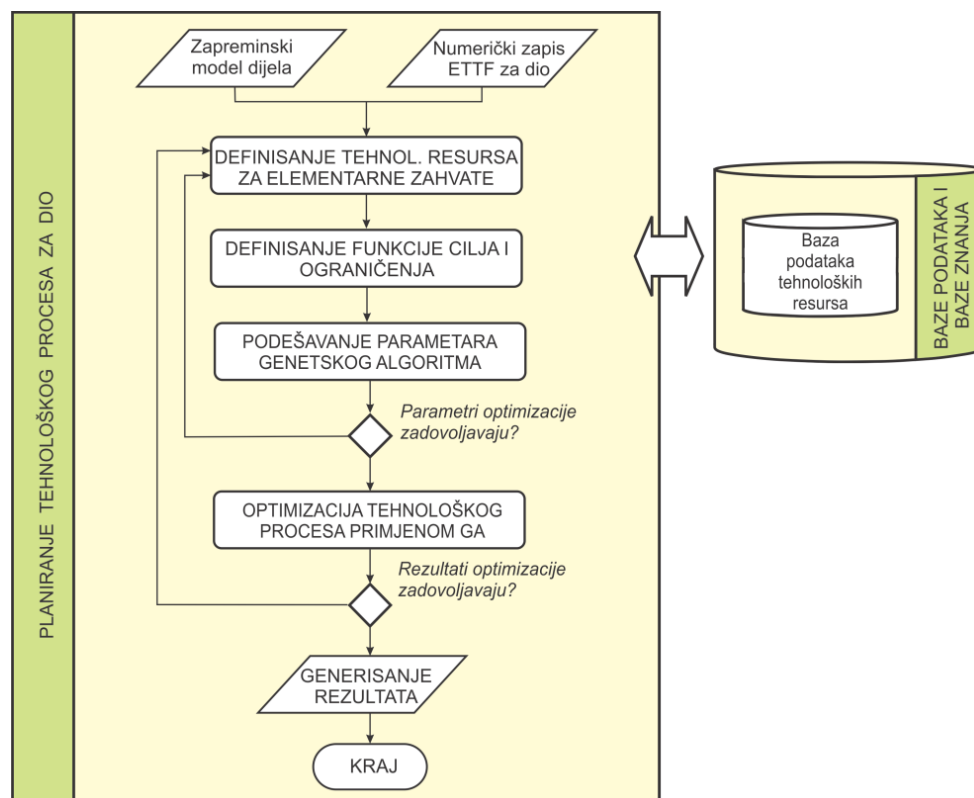
U okviru predmetnog istraživanja, računaram podržano projektovanje tehnoloških procesa realizuje se u dijelu aktivnosti koje se odnose na planiranje tehnološkog procesa. Planiranje tehnološkog procesa pri tom obuhvata realizaciju sljedećih aktivnosti:

- Izbor metoda obrade,
- Definisane operacije i zahvata obrade,
- Izbor mašina i alata,
- Određivanje redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade i
- Određivanje preliminarnih troškova izrade dijela.

Planiranje tehnološkog procesa za dio, u okviru sistema SIPROTEX, vrši se do nivoa optimizacije redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade, na bazi određivanja ukupnih preliminarnih troškova izrade dijela. U svrhu definisanja redosljeda izvođenja operacija i zahvata obrade, na bazi ukupnih preliminarnih troškova izrade dijela, usvojen je pristup planiranja tehnološkog procesa na osnovu istraživanja datih u [183],[184],[185],[205].

Opšta struktura aktivnosti planiranja tehnološkog procesa izrade za dio, u okviru sistema SIPROTEX, prikazana je na slici 6.18. Zapremski model dijela i numerički zapis ETTF za dio predstavljaju nosioce ulaznih podataka za planiranje tehnološkog procesa. Informacije neophodne za realizaciju aktivnosti planiranja tehnološkog procesa obuhvataju četiri grupe podataka:

- Podatke generisane iz nosioca ulaznih informacija,
- Podatke vezane za tehnološke resurse,
- Podatke o funkciji cilja i ograničenjima i
- Podatke o parametrima genetskog algoritma kao mehanizama za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade.



Slika 6.18 Opšta struktura aktivnosti planiranja tehnoloških procesa

Podaci generisani iz nosioca ulaznih informacija sastoje se od:

- Naziv i oznaka elementarnih tehnoloških tipskih formi,

- *Položaj vektora normale ETTF-i u odnosu na ishodište koordinatnog sistema zapreminskog modela dijela,*
- *Koordinate položaja tačke za pozicioniranje ETTF-i u odnosu na ishodište koordinatnog sistema zapreminskog modela dijela,*
- *Oznaku tehnološkog tipskog zahvata,*
- *Sadržaj tehnološkog tipskog zahvata u vidu elementarnih zahvata obrade i*
- *Materijal dijela i potrebnu količinu dijelova.*

Podaci vezani za tehnološke resurse, koji sadrže:

- *Listu raspoloživih mašina za realizaciju elementarnih zahvata i*
- *Listu raspoloživih alata za realizaciju elementarnih zahvata.*

Podaci o funkciji cilja i ograničenjima, koji obuhvataju:

- *Parametre funkcije cilja i*
- *Parametre ograničenja.*

Podaci o parametrima genetskog algoritma, kao mehanizama za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade. Ovi podaci obuhvataju:

- *Sjeme generatora slučajnih brojeva,*
- *Broj generacija,*
- *Vjerovatnoću izbora zahvata za operator ukrštanja i*
- *Vjerovatnoću izbora zahvata za operator mutacije.*

Prva grupa podataka za realizaciju aktivnosti planiranja tehnološkog procesa obezbjeđena je preko aktivnosti detaljnog projektovanja dijela na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi. Važno je istaći da se prva grupa podataka na automatizovan način prenosi iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijela u aktivnost planiranja tehnološkog procesa.

Druga grupa podataka generiše se iz baze podataka tehnoloških resursa. Baza podataka tehnoloških resursa sadrži podatke o raspoloživim mašinama i alatima (naziv, karakteristike, mogućnosti). Tehnolog na osnovu iskustva vrši izbor liste mašina i alata pomoću kojih je moguće realizovati posmatrani elementarni zahvat. Izabrane liste mašina i alata pridružuju se posmatranom elementarnom zahvatu. Definisanje tehnoloških resursa za elementarne zahvate vrši se na interaktivan način.

Definisanje parametara funkcije cilja i ograničenja pripada definisanju treće grupe podataka. Ovi podaci obuhvataju parametre vezane za određivanje ukupnih preliminarnih troškova izrade dijela, kao funkcije cilja. Parametri ograničenja odnose se na definisanje prethodnja obrade elementarnih zahvata i ETTF.

Definisanje parametara genetskog algoritma predstavlja četvrtu grupu podataka, neophodnih za realizaciju aktivnosti planiranja tehnološkog procesa.

Nakon generisanja parametara iz pomenutih grupa podataka, vrši se postupak optimizacije redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade za posmatrani dio. Postupak optimizacije redosljeda izvođenja zahvata vrši se primjenom gentskih algoritama. Krajnji rezultat optimizacije predstavlja optimalni redosljed izvođenja zahvata i operacija obrade dijela.

U okviru aktivnosti planiranja tehnološkog procesa, tehnolog može podešavati parametre optimizacije. Podešavanje parametara optimizacije odnosi se na:

- *Ažuriranje ili izmjenu raspoloživih mašina i alata za realizaciju elementarnih zahvata,*
- *Ažuriranje pojedinačnih troškova tehnoloških resursa koji učestvuju u ukupnim preliminarnim troškovima izrade dijela i*
- *Izmjenu parametara genetskog algoritma.*

Podešavanjem parametara optimizacije i izvođenjem nekoliko iteracija u postupku optimizacije, tehnolog generiše varijantne redosljede izvođenja zahvata i operacija. Pokazatelj kvaliteta redosljeda izvođenja zahvata i operacija predstavljaju ukupni preliminarni troškovi izrade dijela. Redosljed izvođenja zahvata i operacija, koji generiše minimalne ukupne preliminarnne troškove izrade dijela, predstavlja optimalni redosljed izvođenja zahvata i operacija obrade dijela.

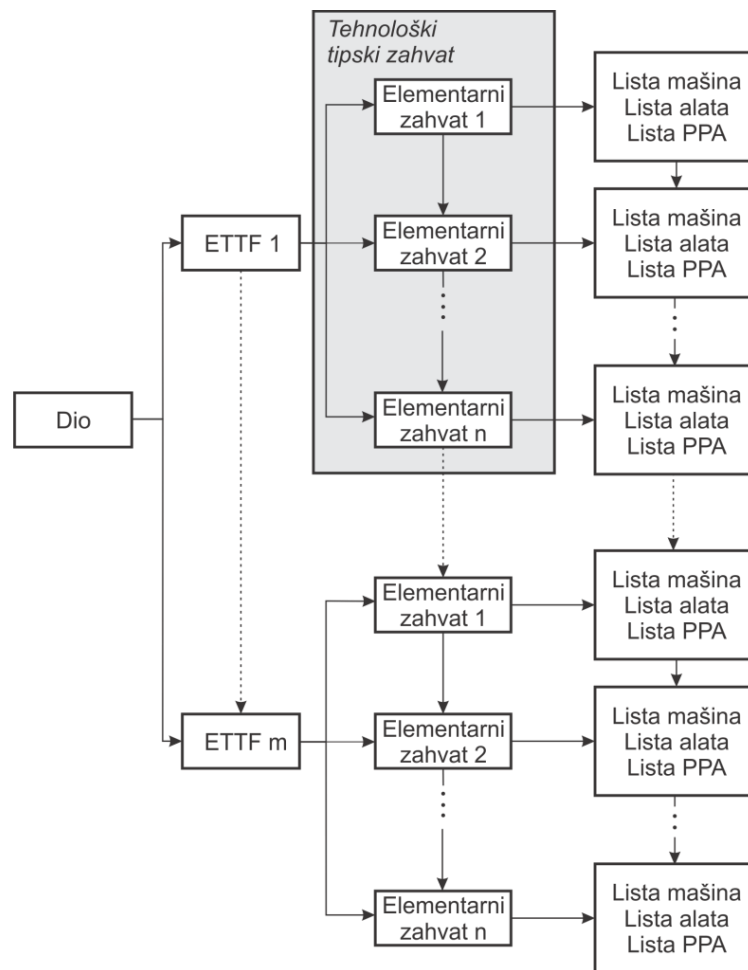
Istraživanjem u oblasti planiranja tehnološkog procesa definisane su polazne pretpostavke i ograničenja. U okviru predmetnog istraživanja, zapreminski model dijela generisan je projektovanjem na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi. Za svaku elementarnu tehnološku tipsku formu, primjenom baze znanja u vidu produkcionih pravila, definisan je tehnološki tipski zahvat. Poznato je da tehnološki tipski zahvat sadrži jedan ili više elementarnih zahvata obrade. Činjenica je da se elementarni zahvat može izvršiti ukoliko je poznata mašina, alat i pravac prilaza alata. Prema tome, svaki dio moguće je izraditi primjenom varijantnih tehnoloških procesa, ukoliko se za svaki elementarni zahvat izaberu različite mašine, alati ili stezanja (Slika 6.19). Ukoliko se pri tome uvedu troškovi kao kriterijum ocjene kvaliteta tehnološkog procesa, tada je moguće pronaći optimalnu kombinaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela.

Ukupni preliminarni troškovi izrade dijela, kao kriterijum ocjene kvaliteta tehnološkog procesa, odnose se na zbir pojedinačnih troškova tehnoloških resursa. Pojedinačni troškovi tehnoloških resursa odnose se na troškove nastale korišćenjem mašina i alata prilikom realizacije svih elementarnih zahvata obrade dijela. Ovi troškovi uvećavaju se za troškove koji se odnose na izmjenu mašine, izmjenu alata i izmjenu stezanja prilikom izrade dijela. Proračun troškova korišćenja mašina i alata, kao i troškove koji se odnose na izmjenu mašine, izmjenu alata i izmjenu stezanja prilikom izrade dijela prikazan je u Prilogu 3. Minimalni ukupni preliminarni troškovi obrade dijela koriste se kao kriterijum za izbor optimalnog redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade.

U predmetnom istraživanju pod stezanjem dijela podrazumijeva se postavljanje (pozicioniranje) dijela na mašinu u položaj koji omogućava obradu svih zahvata koji poseduju isti pravac prilaza alata. Pravac prilaza alata (PPA) definiše se kao pravac kojim alat može da ostvari kontakt sa elementarnom tehnološkom tipskom formom, u cilju realizacije posmatranog elementarnog zahvata.

Okruženje radionice 3-osnim konvencionalnim i NUMA, bez okretnih pribora, usvojeno je u okviru realizacije aktivnosti planiranja tehnoloških procesa. Pomenute mašine usvojene su u svrhu realizacije operacija bušenja i glodanja, i njima srodnih operacija (proširivanje, upuštanje, razvrtanje).

U ovim uslovima podrazumijeva se da je u okviru jednog stezanja moguće obraditi elementarne tehnološke tipske forme sa istim pravcem prilaza alata.



Slika 6.19 Predstavljanje dijela u kontekstu planiranja tehnoloških procesa

U okviru sistema SIPROTEX, za planiranje tehnološkog procesa, odnosno definisanja redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela, implementirana je genetski algoritam.. Postupak optimizacije redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela primjenom genetskih algoritma zahtijeva:

- *Prezentaciju tehnološkog procesa,*
- *Definisanje funkcije cilja i ograničenja i*
- *Izbor i definisanje strukture genetskog algoritma.*

Prezentacija tehnološkog procesa

Tehnološki proces, u dijelu aktivnosti za planiranje tehnoloških procesa, predstavljen je u formi strukture informacija dodijeljenih odgovarajućim elementarnim tehnološkim tipskim formama i elementarnim zahvatima (slika 6.20). Ovako predstavljen tehnološki proces sadrži identifikacionu oznaku ETTF, identifikacioni broj elementarnog zahvata, naziv zahvata, listu raspoloživih mašina, listu raspoloživih alata i pravac prilaza alata prilikom realizacije posmatranog zahvata.

Oznaka ETTF	ETTFG002	ETTFG007	ETTFG0012	ETTFG0012
Elementarni zahvat	Elementarni zahvat 01	Elementarni zahvat 04	Elementarni zahvat 02	Elementarni zahvat 03
Lista raspoloživih mašina	Mašina 02; Mašina 03; Mašina 04	Mašina 01; Mašina 05;	Mašina 02; Mašina 03; Mašina 04	Mašina 02; Mašina 03; Mašina 04
Lista raspoloživih alata	Alat 06; Alat A07;	Alat 02; Alat 03; Alat 04	Alat 01, Alat 05; Alat 06; Alat A07;	Alat 08, Alat 09;
Pravac prilaza alata	U smjeru +x ose;	U smjeru +x ose;	U smjeru +y ose;	U smjeru +y ose;
Redosljed izvođenja zahvata obrade	?	?	?	?

Slika 6.20 Predstavljanje problema planiranja tehnološkog procesa

Elementi tehnološkog procesa, prikazani na slici 6.20, u vidu oznake ETTF, elementarnog zahvata i pravca prilaza alata definisani su iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova. Pomenuti elementi se na automatizovan način preuzimaju iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova. Elementarnim zahvatima, na interaktivan način, dodjeljuje se lista raspoloživih mašina i lista raspoloživih alata. Lista raspoloživih mašina dodjeljuje se elementarnom zahvatu u svrhu mogućnosti realizacije posmatranog elementarnog zahvata na svakoj od navedenih mašina. Analogija važi i za listu raspoloživih alata. Ovako predstavljen tehnološki proces čini osnovu za planiranje tehnološkog procesa koji se odnosi na identifikaciju redosljeda izvođenja zahvata, a samim tim i operacija obrade.

Definisanje funkcije cilja i ograničenja

Proračun ukupnih preliminarnih troškova obrade dijela (UTO), uzimajući u obzir prezentaciju tehnološkog procesa (slika 6.20), moguće je izvršiti pomoću obrasca datog jednačinom:

$$UTO = UTM + UTA + UTPM + UTPS + UTPA \quad (1)$$

Proračun ukupnih preliminarnih troškova obrade dijela sastoji se od zbira troškova korišćenja tehnoloških resursa, koji se sastoje od:

1. Ukupnih troškova rada mašina (UTM). Ukupni troškovi rada mašina odnose se na zbir troškova rada mašina koje se koriste prilikom realizacije tehnološkog procesa. Ukupni troškovi rada mašina mogu se izraziti pomoću jednačine:

$$UTM = \sum_{i=0}^{n-1} TM_{j,i} = Zahvat[i].masina_ib \quad (2)$$

gde je:

TM_j – troškovi rada j-mašine prilikom izvođenja i-tog elementarnog zahvata (konstantna vrijednost za j-tu mašinu).

$Zahvat[i].masina_ib$ - identifikacioni broj mašine za izvršavanje i-tog elem.zahvata, n - ukupan broj elementarnih zahvata,

2. Ukupnih troškova korišćenja alata. Ukupni troškovi korišćenja alata predstavljaju zbir troškova korišćenja alata koji se koriste prilikom realizacije tehnološkog procesa. Ukupni troškovi alata mogu se izraziti pomoću jednačine:

$$UTA = \sum_{i=0}^{n-1} TA_{j,i} = Zahvat[i].alat_ib \quad (3)$$

gdje je:

$TA_{j,i}$ – troškovi korišćenja j-alata prilikom izvođenja i-tog elementarnog zahvata (konstanta vrijednost za j-ti alat).

$Zahvat[i].alat_ib$ - identifikacioni broj alata za izvršavanje i-tog elem. zahvata,

3. Ukupnih troškova promjena mašina (UTPM). Proračun ukupnih troškova promjene mašina, prilikom realizacije tehnološkog procesa, zahtijeva poznavanje ukupnog broja promjena mašina (UBPM) i troškova promjene mašina (TPMi). Promjena mašina javlja se u slučaju kada se dva susjedna elementarna zahvata u tehnološkom procesu izvršavaju na različitim mašinama. Ukupni broj promjena mašina nastaje kao zbir promjena mašina u tehnološkom procesu i može se identifikovati pomoću uslova datog preko jednačine:

$$UBPM = \sum_{i=0}^{i=n-2} M(Zahvat[i].masina_ib, Zahvat[i+1].masina_ib) \quad (4)$$

$$M(X, Y) = \begin{cases} 1, & X \neq Y \\ 0, & X = Y \end{cases}$$

gdje je:

$Zahvat[i+1].masina_id$ - identifikacioni broj mašine za izvršavanje i+1 el.zahvata.

Ukupni troškovi promjene mašina mogu se izraziti pomoću jednačine:

$$UTPM = UBPM \times TPMi \quad (5)$$

gde je:

$TPMi$ - troškovi promjene mašina. Troškovi i-te promjene mašina usvajaju se kao konstantna vrijednost bez obzira na vrstu i tip mašina.

4. Ukupnih troškova promjene alata (UTPA). Proračun ukupnih troškova promjene alata, prilikom realizacije tehnološkog procesa, zahtijeva poznavanje ukupnog broja promjena alata (UBPA) i troškova promjene alata (TPAi). Promjena alata javlja se u slučaju kada se dva susjedna zahvata u tehnološkom procesu izvršavaju primjenom različitih alata. Preciznija definicija promjene alata data je u tabeli 6.7. Ukupni broj promjena alata nastaje kao zbir promjena alata u tehnološkom procesu i može se identifikovati pomoću uslova datog preko jednačine:

$$UBPA = \sum_{i=0}^{i=n-2} A(M(Zahvat[i].masina_id, Zahvat[i+1].masina_id), M(Zahvat[i].alat_id, Zahvat[i+1].alat_id)) \quad (6)$$

$$A(X, Y) = \begin{cases} 0, & X = Y = 0 \\ 1, & u \text{ suprotnom} \end{cases}$$

gdje je:

$Zahvat[i + 1].alat_id$ - identifikacioni broj alata za izvršavanje i+1 zahvata.

Ukupni troškovi promjene alata mogu se izraziti pomoću jednačine:

$$UTPA = UBPA \times TPA_i \quad (7)$$

gde je:

TPA_i – troškovi promjene alata. Troškovi i-te promjene alata usvajaju se kao konstantna vrijednost bez obzira na vrstu i tip alata.

Tabela 6.7 Definicija promjene alata

Uslovi obrade dva uzastopna zahvata	Promjena alata
Isti alat i ista mašina	Ne
Isti alat i različite mašine	Da
Različiti alati i ista mašina	Da
Različiti alati i različite mašine	Da

5. Ukupnih troškova promjene stezanja/pozicioniranja dijela (UTPS). Proračun ukupnih troškova promjene stezanja/pozicioniranja dijela, prilikom realizacije tehnološkog procesa, zahtijeva poznavanje ukupnog broja promjena stezanja (UBPS) i troškova promjene stezanja (TPSi). Promjena stezanja javlja se u slučaju kada se dva susjedna zahvata u tehnološkom procesu izvršavaju primjenom različitih pravaca prilaza alata. Preciznija definicija promjene stezanja data je u tabeli 6.8. Broj promjena stezanja (BPS) nastaje kao zbir promjena stezanja u tehnološkom procesu i može se identifikovati pomoću uslova datog jednačinom:

$$BPS = \sum_{i=0}^{i=n-2} S(M(Zahvat[i].masina_id, Zahvat[i + 1].masina_id), M(Zahvat[i].PPA_id, Zahvat[i + 1].PPA_id)) \quad (8)$$

$$S(X, Y) = \begin{cases} 0, & X = Y = 0 \\ 1, & u \text{ suprotnom} \end{cases}$$

$$UBPS = BPS + 1 \quad (9)$$

gdje je:

$Zahvat[i].PPA_id$ - identifikacioni broj pravca prilaza alata za izvršavanje i-tog zahvata,

$Zahvat[i + 1].PPA_id$ - identifikacioni broj PPA za izvršavanje i+1 zahvata.

Ukupni troškovi promjene stezanja/pozicioniranja dijela mogu se izraziti pomoću jednačine (10):

$$UTPS = UBPS \times TPSi \quad (10)$$

gde je:

$TPSi$ - troškovi promjene stezanja/pozicioniranja dijela. Troškovi i -te promjene stezanja/pozicioniranja dijela usvajaju se kao konstantna vrijednost bez obzira na vrstu i tip stezanja.

Tabela 6.8 Definicija promjene stezanja

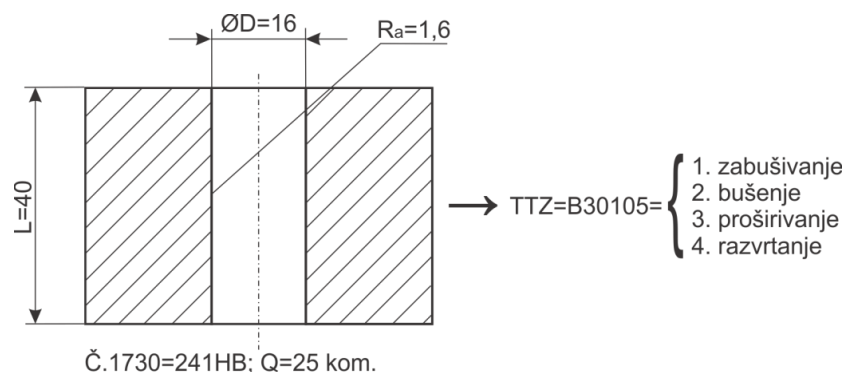
Uslovi obrade dva uzastopna zahvata	Promjena stezanja
Isti PPA i ista mašina	Ne
Isti PPA i različite mašine	Da
Različiti PPA i ista mašina	Da
Različiti PPA i različite mašine	Da

Analizom plana tehnološkog procesa (slika 6.20), uslova i ograničenja prikazanih jednačinama (2) – (10) vrši se proračun vrijednosti ukupnih preliminarnih troškova obrade dijela predstavljenih preko jednačine (1).

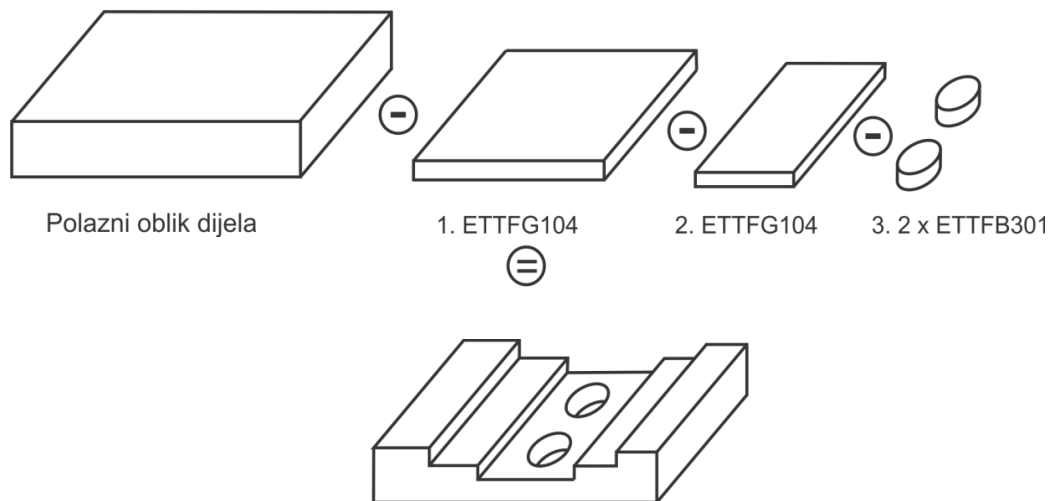
Ograničenja optimizacije redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade, u predmetnom istraživanju, data su u smislu definisanja:

- Ograničenja za redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade u okviru tehnološkog tipskog zahvata (slika 6.21) i
- Ograničenja za redosljed izvođenja obrade elementarnih tehnoloških tipskih formi (slika 6.22).

Ograničenja za redosljed izvođenja elementarnih zahvata u okviru tehnološkog tipskog zahvata odnose se na poštovanje prethodno definisanog redosljeda izvođenja zahvata, za posmatrani tehnološki tipski zahvat, odnosno posmatranu elementarnu tehnološku tipsku formu. Ograničenja za redosljed izvođenja obrade elementarnih tehnoloških tipskih formi odnose se na mogućnost izrade ETTF sa preduslovom maksimalnog uklanjanja materijala u prethodnom zahvatu. Ova ograničenja poznata su kao ograničenja ili uslovi prethođenja zahvata.



Slika 6.21 Ograničenje za redosljed izvođenja elementarnih zahvata obrade u okviru tehnološkog tipskog zahvata



Slika 6.22 Ograničenje za redosljed izvođenja obrade elementarnih tehnoloških tipskih formi

Izbor vrste i definisanje strukture genetskog algoritma

Planiranje tehnološkog procesa, u smislu definisanja redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela, pripada grupi složenih optimizacionih problema. Složeni optimizacioni problemi zahtijevaju korišćenje poboljšanih, odnosno složenih genetskih algoritama. Složeni GA obuhvataju kompleksnu vrstu kodiranja ulaznih parametara i funkcije prilagođenosti, kao i veliki broj namjenski razvijenih genetskih operatora selekcije, ukrštanja i mutacije. Opšti pseudo-kod složenog GA, čija se populacija sastoji od N_{pop} jedinki, prikazan je u tabeli 6.9.

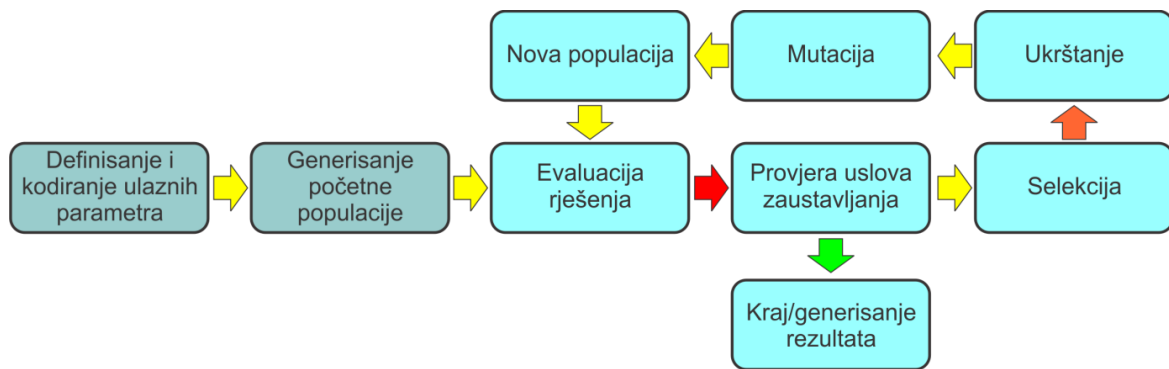
Tabela 6.9 Opšti pseudo-kod genetskog algoritma za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija

```

1:  Unošenje_Ulaznih_Podataka();
2:  Generisanje_Početne_Populacije();
3:      while not Kriterijum_Zaustavljanja_GA() do
4:          for i=1 to Npop do
5:              obj[i] = Funkcija_Cilja(i);
6:          endfor
7:  Funkcija_Prilagođenosti();
8:  Selekcija();
9:  Ukrštanje();
10: Mutacija();
11: endwhile
12: Štampanje_Izlaznih_Podataka();
    
```

Struktura GA u okviru predmetnog istraživanja (slika 6.23) sastoji se od:

- *Definisanja i kodiranja ulaznih parametara,*
- *Generisanja početne populacije,*
- *Evaluacije rješenja,*
- *Provjere uslova zaustavljanja,*
- *Implementacije operatora selekcije, ukrštanja, mutacije, odnosno generisanja nove populacije i*
- *Evaluacije rješenja do postizanja uslova zaustavljanja GA.*



Slika 6.23 Struktura implementacije GA u okviru predmetnog istraživanja

Definisanje i kodiranje ulaznih parametara u okviru genetskog algoritma za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija obuhvata definisanje i kodiranje:

- Tehnološkog procesa,
- Funkcije cilja,
- Funkcije prilagođenosti i
- Ograničenja.

Genetski algoritam primjenjuje se na konačnom skupu jedinki koji se naziva populacija. Svaka jedinka u populaciji predstavlja se nizom od n gena koji čine strukturu jedinice ili hromozom jedinice. Gen jedinice najčešće sadrži informacije predstavljene preko strukture gena. Primjenom operatora i tehnika genetskog algoritma na hromozome jedinice u populaciji i strukturu njihovih gena, vrši se postupak optimizacije posmatranih veličina.

U predmetnom istraživanju, populacija genetskog algoritma predstavlja skup varijantnih tehnoloških procesa za posmatrani dio. Jedinka genetskog algoritma predstavlja posmatrani tehnološki proces prikazan preko redosljeda izvođenja zahvata obrade. Struktura jedinice tehnološkog procesa predstavljena je preko hromozoma genetskog algoritma u vidu vektora ili matrice vrste **Redosljed [n]** (slika 6.24). Hromozom vektora **Redosljed [n]** sastoji se od niza gena ili elementarnih zahvata predstavljenih preko svojih identifikacionih brojeva. Svaki gen predstavlja elementarni zahvat jednom i samo jednom, a redosljed svih gena u okviru vektora **Redosljed [n]** određuje redosljed izvođenja zahvata obrade. Struktura gena (struktura elementarnog zahvata) sastoji se od identifikacionog broja (IB) elementarne tehnološke tipske forme, IB mašine, IB alata i IB pravca prilaza alata koji se koriste za realizaciju posmatranog elementarnog zahvata u okviru ETTF.

Bilo koji redosljed gena u strukturi jedinice (hromozomu) predstavlja moguće rješenje za tehnološki proces, u opštem prostoru rješenja. Najčešće je to neizvodljiv tehnološki proces koji se, kasnijim operacijama u okviru genetskog algoritma, prevodi u izvodljivo rješenje.

Varijantni redosljed izvođenja zahvata obrade ili varijantni tehnološki proces, prikazan na slici 6.24, moguće je matematički zapisati u obliku vektora:

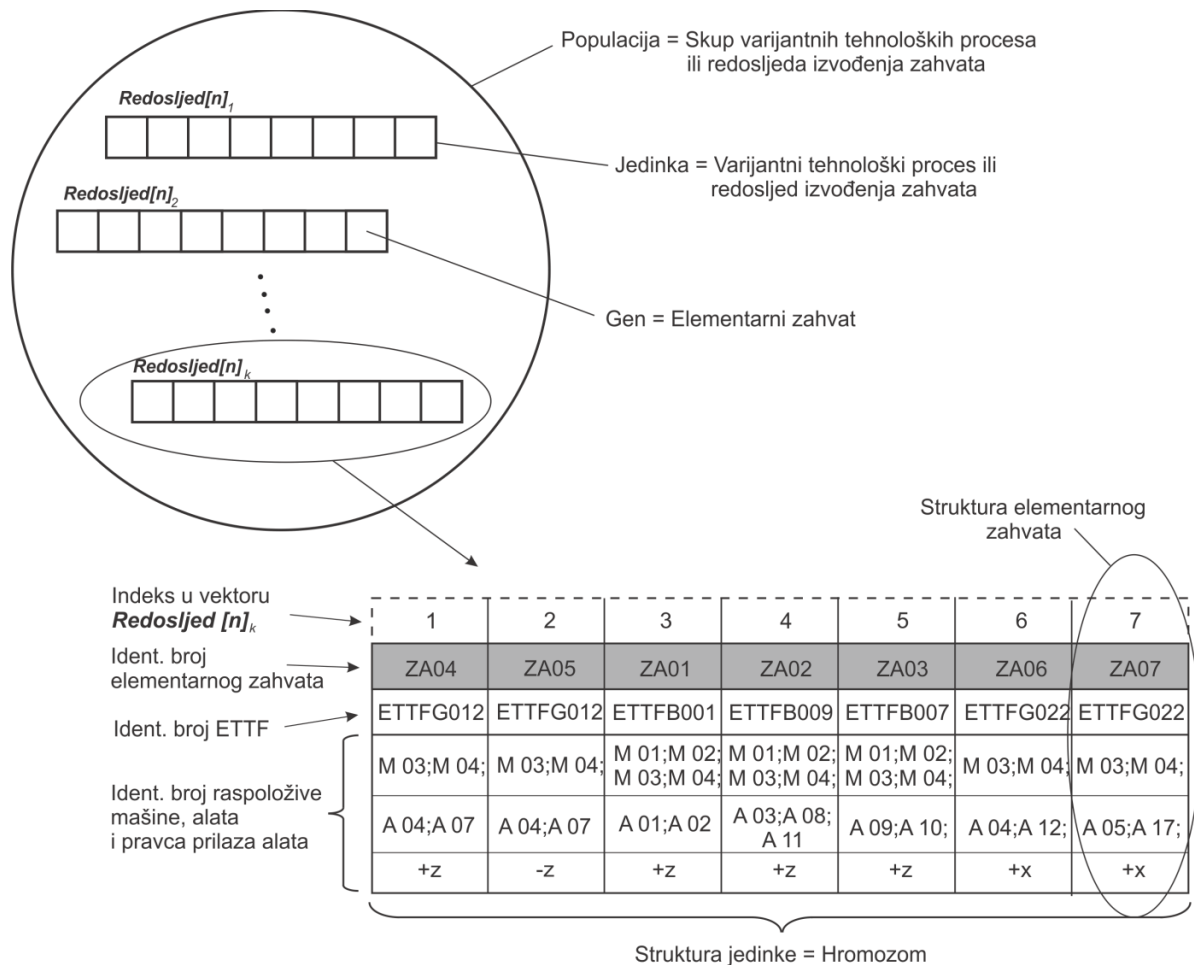
$$\mathbf{Redosljed}[n]_i = [ZAm_1 \quad ZAm_2 \quad ZAm_3 \quad ZAm_4 \quad \dots \quad ZAm_n]$$

gdje je:

n - ukupan broj elementarnih zahvata za dio,

m_n - oznaka elementarnog zahvata u okviru redosljeda izvođenja zahvata,
 $i=1...k$ oznaka varijantnog redosljeda izvođenja zahvata
 npr.:

$$\mathbf{Redosljed}[4]_1 = [ZA01 \quad ZA04 \quad ZA02 \quad ZA03]$$



Slika 6.24. Kodiranje varijantnog tehnološkog procesa

Vektor $\mathbf{Redosljed}[4]_1$ predstavlja prvi varijantni redosljed izvođenja zahvata koji se sastoji od četiri elementarna zahvata.

Funkcija cilja genetskog algoritma predstavlja funkciju ukupnih troškova obrade dijela, predstavljenu jednačinom (6). Prilikom postupka optimizacije, kodirana funkcija cilja treba da teži minimalnoj vrijednosti, što je moguće predstaviti jednačinom:

$$\min(UTO) = UTM + UTA + UTPM + UTPS + UTPA \quad (11)$$

Strukture genetskih algoritama baziraju se na optimizaciji maksimalnih vrijednosti funkcija cilja. U tu svrhu, kodiranje funkcije prilagođavanja genetskog algoritma definisano je preko jednačine:

$$f = K - UTO \quad (12)$$

gdje je:

K - dovoljno velika konstantna pozitivna vrijednost (npr. $K=10^7$)

Pri optimizaciji redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade primjenom genetskih algoritama na bazi proračuna ukupnih troškova obrade dijela, potrebno je da funkcija prilagođavanja (12) teži maksimalnoj vrijednosti.

U cilju optimizacije redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade, pored definisanog načina kodiranja, funkcije cilja (11) i funkcije prilagođenosti (12), neophodno je definisati kodiranje ograničenja optimizacije.

Ograničenja optimizaciju u vidu prethođenja zahvata, u predmetnom istraživanju, kodiraju se u obliku matrice ograničenja $\mathbf{A} = (a_{ij})_{n \times n}$ predstavljene preko:

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{ZA01} & \text{ZA02} & \dots & \text{ZA04} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{ZA01} \\ \text{ZA02} \\ \dots \\ \text{ZA04} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

gdje je:

n - ukupan broj elementarnih zahvata za dio,

a_{ij} - vrijednost ograničenja (0 ili 1). Vrijednost ograničenja a_{ij} definiše se u saglasnosti sa sljedećim pravilima :

- Ako postoji uslov prethođenja između zahvata n i $n + 1$, odnosno ako se zahvat n mora izvršiti prije zahvata $n+1$, onda je $a_{ij} = 1$ i $a_{ji} = 0$, u suprotnom $a_{ij} = 0, i \neq j$
- $a_{ii} = 0, (i = 1, 2, \dots, n)$.

Na primjer, ukoliko se tehnološki tipski zahvat za dio sastoji od elementarnih tipskih zahvata zabušivanja (ZA01), bušenja (ZA02), proširivanja (ZA03) i razvrtanja (ZA04), tada je potrebno definisati ograničenje ili uslov prethođenja u obliku:

zabušivanje \rightarrow bušenje \rightarrow proširivanje \rightarrow razvrtanje

Matrica ograničenja za ovaj primjer ima oblik:

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{ZA01} & \text{ZA02} & \text{ZA03} & \text{ZA04} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{ZA01} \\ \text{ZA02} \\ \text{ZA03} \\ \text{ZA04} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (14)$$

Generisanje početne populacije potrebno je izvršiti nakon definisanja i kodiranja ulaznih parametara genetskog algoritma. Populacija genetskog algoritma u predmetnom istraživanju predstavlja redosljed izvođenja elementarnih zahvata za posmatrani dio. Početni redosljed izvođenja elementarnih zahvata za posmatrani dio, generiše se na osnovu slučajno generisanih brojeva koji se dodijeljuju elementarnim zahvatima. Na ovakav način, vrši se formiranje početnog redosljeda izvođenja elementarnih zahvata. Slučajni brojevi u strukturi genetskog algoritma generišu se na bazi funkcije sjemena generatora. Sjeme generatora definiše se na prilikom početka postupka optimizacije redosljeda izvođenja elementarnih zahvata primjenom GA.

Evaluacija u okviru genetskog algoritma predstavlja postupak proračuna funkcije cilja i funkcije prilagođenosti. U predmetnom istraživanju evaluacija se vrši na osnovu funkcije cilja (11) i funkcije prilagođenosti (12). Rezultat evaluacije GA predstavljaju ukupni preliminarni trošovi izrade dijela za posmatrani redosljed izvođenja zahvata obrade. Evaluacija rješenja u okviru GA ponavlja se sve dok se ne postigne jedan od uslova ili kriterijuma zaustavljanja GA.

Provjera uslova zaustavljanja genetskog algoritma vrši se nakon postupka evaluacije. U okviru predmetnog istraživanja, kao kriterijum zaustavljanja GA, usvojen je broj generacija. Mehanizam genetskog algoritma se zaustavlja kada se dostigne zadani broj generacija. Nakon dostizanja zadanog broja generacija, GA prikazuje optimalno rješenje, iz skupa svih generacija, koje zadovoljava funkciju cilja i postavljena ograničenja.

Operatori genetskog algoritma (selekcija, ukrštanje, mutacija) mogu se posmatrati kao nezavisni potprogrami koji imaju za cilj vršenje odgovarajućih matematičkih operacija u svrhu generisanja optimalnog rješenja.

Struktura genetskog algoritma (slika 6.23) , u dijelu koji se odnosi na operatore GA, sadrži:

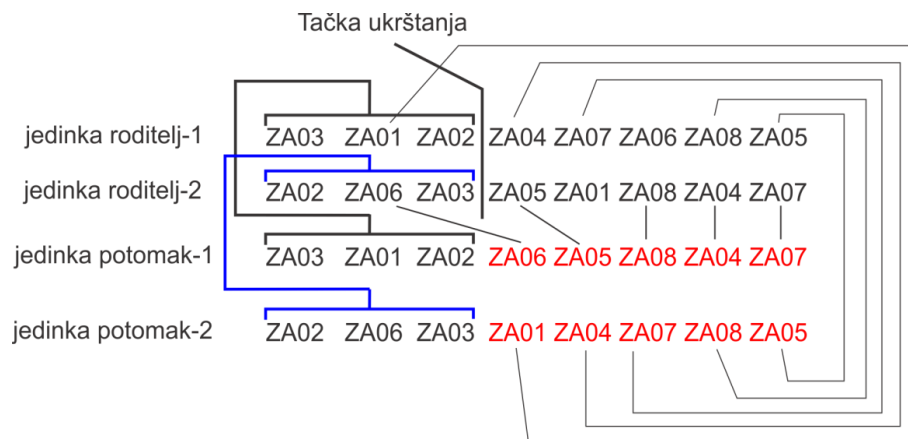
- *Operator selekcije,*
- *Operator ukrštanja i*
- *Operator mutacije.*

Operator selekcije osigurava prenošenje boljeg genetskog materijala, sa većom vjerovatnoćom, u slijedeću iteraciju GA. U predmetnom istraživanju usvojen je operator turnirske selekcije koji pripada grupi rangirajućih operatora selekcije. Operator turnirske selekcije bazira se na principu takmičenja između jedinki populacije, koji se nadmeću radi preživljavanja i učešća u sljedećoj generaciji. Postupak realizacije turnirske selekcije bazira se na slučajnom grupisanju N jedinki u podskupove i izboru najbolje jedinke iz svakog od podskupova. Ovako izabrana jedinka učestvuje u stvaranju nove generacije. Postupak selekcije definisan na ovakav način pripada strategijama „elitizma“ i „turnirske selekcije“.

Za optimizaciju izvođenja redosljeda zahvata obrade, genetski algoritam koristi modifikovani PMX operator ukrštanja. Ovaj operator obezbjeđuje realizaciju ograničenja, prilikom generisanja optimalnog tehnološkog procesa, koje se odnosi na činjenicu da se zahvati u okviru jednog redosljeda izvođenja zahvata smiju ponavljati jednom i samo jednom.

Operator ukrštanja primjenjuje se na dva hromozoma koji predstavljaju rezultat procesa selekcije (jedinke roditelja) u svrhu generisanja novih hromozoma (jedinke potomaka) za sljedeću generaciju. Postupak generisanja jedinki potomaka pomoću modifikovanog PMX operatora ukrštanja (slika 6.25) sastoji se od:

- Izbora dva hromozoma iz tekuće populacije koji se nazivaju jedinke roditelja,
- Slučajnog izbora tačke ukrštanja, uzimajući u obzir dužinu jedinki roditelja, sa odgovarajućom vjerovatnoćom ukrštanja p_u . Izabrana tačka ukrštanja dijeli svaku od jedinki roditelja na dva dijela: lijevi i desni,
- Formiranja lijevog segmenta jedinke potomka 1 preko kopiranja lijevog segmenta jedinke roditelja 1. Zatim se vrši identifikacija zahvata u desnom segmentu jedinke roditelja 1 i oni se, prema njihovom redosljedu u jedinki roditelju 2, kopiraju u desni segment jedinke potomka 1. Na ovaj način je generisana jedinka potomka 1 i
- Zamjene jediniki roditelja 1 i 2 i ponavljanjem definisanog postupka vrši se u svrhu generisanja hromozoma 2 ili jedinke potomka 2.

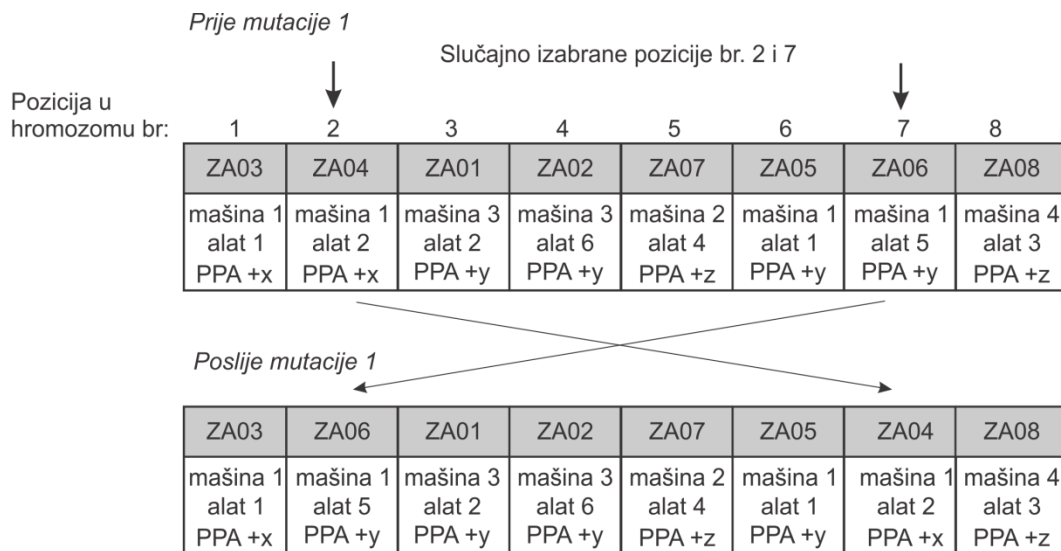


Slika 6.25. Postupak generisanja jedinki potomaka primjenom operatora ukrštanja

Operator mutacije, u okviru genetskog algoritma, primjenjuje se u cilju unošenja novog genetskog materijala u već postojeće jedinke (hromozome). Operator mutacije može da spriječi populaciju da konvergira i završi u lokalnom optimumu. Proces mutacije u genetskim algoritmima vrši se sa određenom vjerovatnoćom p_m koja se naziva stepen mutacije. U okviru predmetnog istraživanja primjenjena su dva operatora mutacije.

Prvi operator mutacije vrši zamjenu dva slučajno izabrana gena (zahvata) u hromozomu. Ostali geni (zahvati) zadržavaju svoju poziciju u hromozomu. Postupak mutacije 1 prikazan je na slici 6.26.

Postupkom mutacije 1 generiše se novi hromozom kojim se omogućava proširenje skupa hromozoma i varijanti redosljeda izvođenja zahvata obrade u svrhu generisanja optimalnog tehnološkog procesa. Međutim, ovako primijenjen operator mutacije najčešće generiše neizvodljiv hromozom (neizvodljiv redosljed izvođenja zahvata) zbog narušavanja ograničenja prethođenja zahvata. U tu svrhu primjenjuje se heuristički algoritam popravke dobijenog hromozoma u svrhu njegovog prilagođavanja u izvodljiv domen.



Slika 6.26 Postupak generisanja novih hromozoma primjenom operatora mutacije 1

Postupak popravke hromozoma nakon primjene operatora mutacije vrši se na sljedeći način:

- Neka je hromozom predstavljen preko vektora Redosljed $[n]$ i njegova matrica ograničenja je $A_n \times n$,
- Neka nova promenljiva p_t predstavlja indeks vektora Redosljed $[n]$,
- Inicijalizovati promenljivu $p_t = n$ sve dok $p_t = 0$,
- Identifikovati $ZA(m)$ koji se nalazi na mjestu $p_t = n$ i
- Za identifikovani $ZA(m)$ izračunati sumu $\sum_{i=1}^n a_{m,i}$ članova matrice ograničenja u redu:
 - a. ako je $\sum_{i=1}^n a_{m,i} = 0$
 - i. onda zadržati $ZA(m)$ na poziciji p_t ,
 - ii. izbrisati red i kolonu matrice pod oznakom $ZA(m)$, na poziciji p_t ;
 - iii. inicijalizovati $n = n - 1$
 - iv. preći na tačku 3;
 - b. ako je $\sum_{i=1}^n a_{m,i} \neq 0$
 - i. inicijalizovati $p = p_t - 1$,
 - ii. identifikovati $ZA(m)$ koji se nalazi na mjestu p ;
 - iii. izračunati $\sum_{i=1}^n a_{m,i}$ članova reda matrice za identifikovani zahvat $ZA(m)$, na mjestu p ;
 - iv. ako je $\sum_{i=1}^n a_{m,i} = 0$
 - zamjeniti identifikovani zahvat $ZA(m)$ na poziciji p sa zahvatom $ZA(m)$ na poziciji p_t ;
 - izbrisati red i kolonu matrice pod oznakom $ZA(m)$ na poziciji p ,
 - inicijalizovati $p = 0$; $p_t = 0$; $n = n - 1$
 - preći na tačku 3;
 - v. ako je $\sum_{i=1}^n a_{m,i} \neq 0$
 - preći na tačku b.i.

Algoritam za popravku hromozoma nakon primjene operatora mutacije 1, u svrhu generisanja izvodljivih tehnoloških procesa, ilustrovan je na primjeru zadatka (slika 6.27) i logike za implementaciju algoritma (slika 6.28). Neka je kao zadatak dat redosljed izvođenja zahvata nakon primijenjenog operatora mutacije 1 u vidu vektora **Redosljed [8]** i matrica ograničenja $A = [a_{8,8}]$.

Prvi korak predstavlja inicijalizacija promjenljive $p_t=8$ i identifikovanja zahvata ZA(n) koji se nalazi na mjestu $p_t=8$. Nakon toga vrši se ispitivanje uslova $\sum_{i=1}^n a_{m,i} = 0$. Kako je u ovom slučaju na poziciji $p_t=8$ identifikovan zahvat ZA(08), suma $\sum_{i=1}^n a_{8,i} = 0$. Zahvat ZA(08) zadržava svoju poziciju vektoru **Redosljed [8]**. Matrica ograničenja se transformiše tako da se od prethodne matrice ograničenja ukloni red i kolona sa indeksom zahvata na izabranoj poziciji. U ovom slučaju uklanja se red i kolona broj 8.

Vektor **Redosljed [8]**

Pozicija u vektoru	1	2	3	4	5	6	7	8
Oznaka zahvata	ZA03	ZA07	ZA01	ZA02	ZA06	ZA05	ZA04	ZA08

$$A=[a_{8,8}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{ZA01} & \text{ZA02} & \text{ZA03} & \text{ZA04} & \text{ZA05} & \text{ZA06} & \text{ZA07} & \text{ZA08} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{ZA01} \\ \text{ZA02} \\ \text{ZA03} \\ \text{ZA04} \\ \text{ZA05} \\ \text{ZA06} \\ \text{ZA07} \\ \text{ZA08} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Slika 6.27 Primjer vektora **Redosljed [8]** i matrice ograničenja $A = [a_{8,8}]$

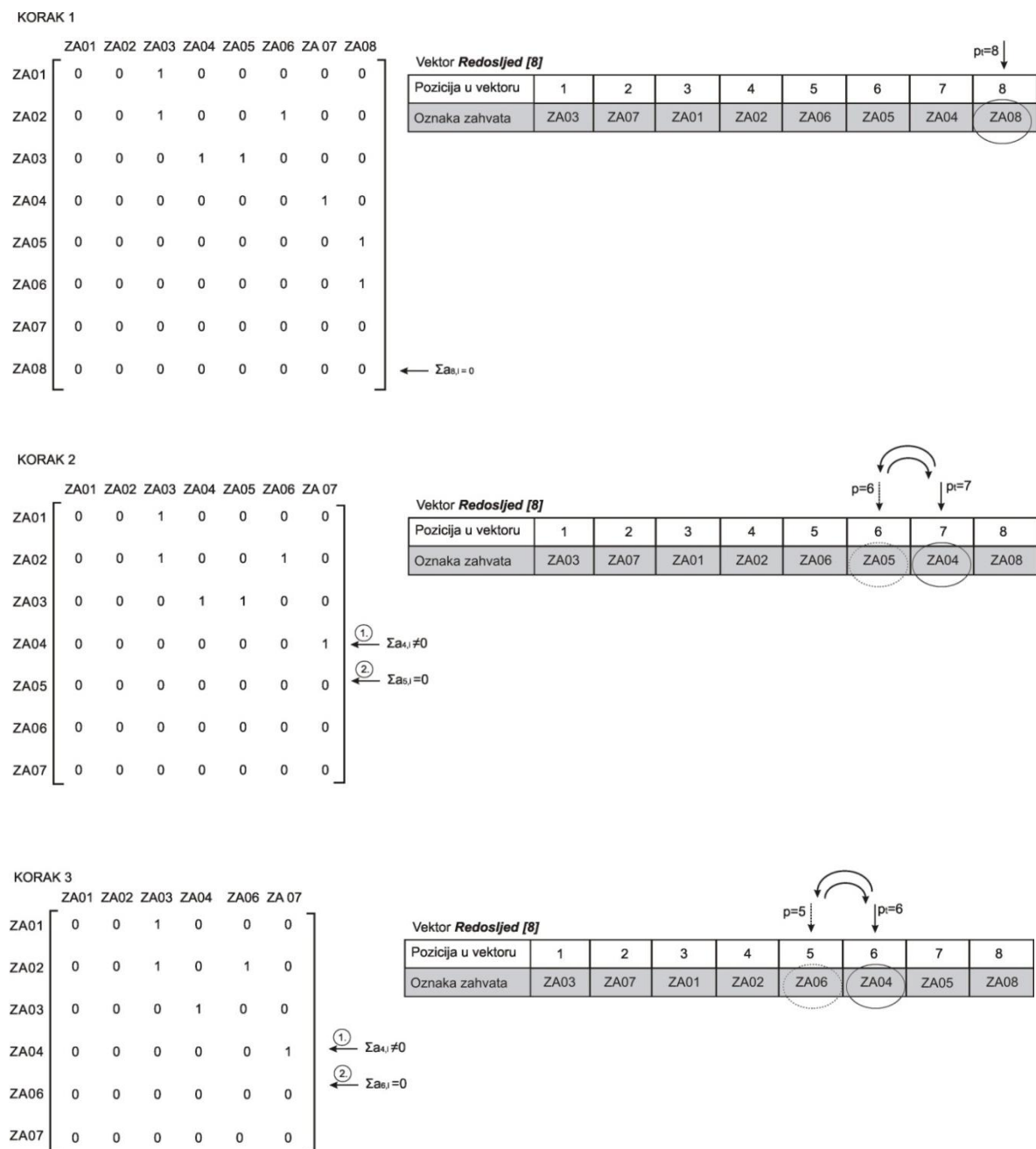
U drugom koraku ponavlja se prethodna procedura za poziciju $p_t=7$ u vektoru redosljeda izvođenja zahvata. Na ovoj poziciji identifikovan je zahvat ZA(04) za koga je prvi uslov tj. $\sum_{i=1}^n a_{4,i} \neq 0$. U ovom slučaju promjenjiva p_t se inicijalizuje na poziciju $n=n-1$, identifikuje se zahvat na poziciji vektora $p=6$ i suma članova matrice ograničenja za red broj 5 je $\sum_{i=1}^n a_{5,i} = 0$. U ovom slučaju, u vektoru redosljeda izvođenja zahvata, zahvati na poziciji 6 i 7 mjenjaju svoja mjesta. Iz matrice ograničenja uklanja se red i kolona broj 5.

Korak tri se analogno izvodi u odnosu na korak dva. Zahvati na pozicijama vektora redosljeda zahvata 5 i 6, odnosno ZA06 i ZA04, mjenjaju svoje pozicije. Iz matrice ograničenja uklanja se red i kolona broj 6.

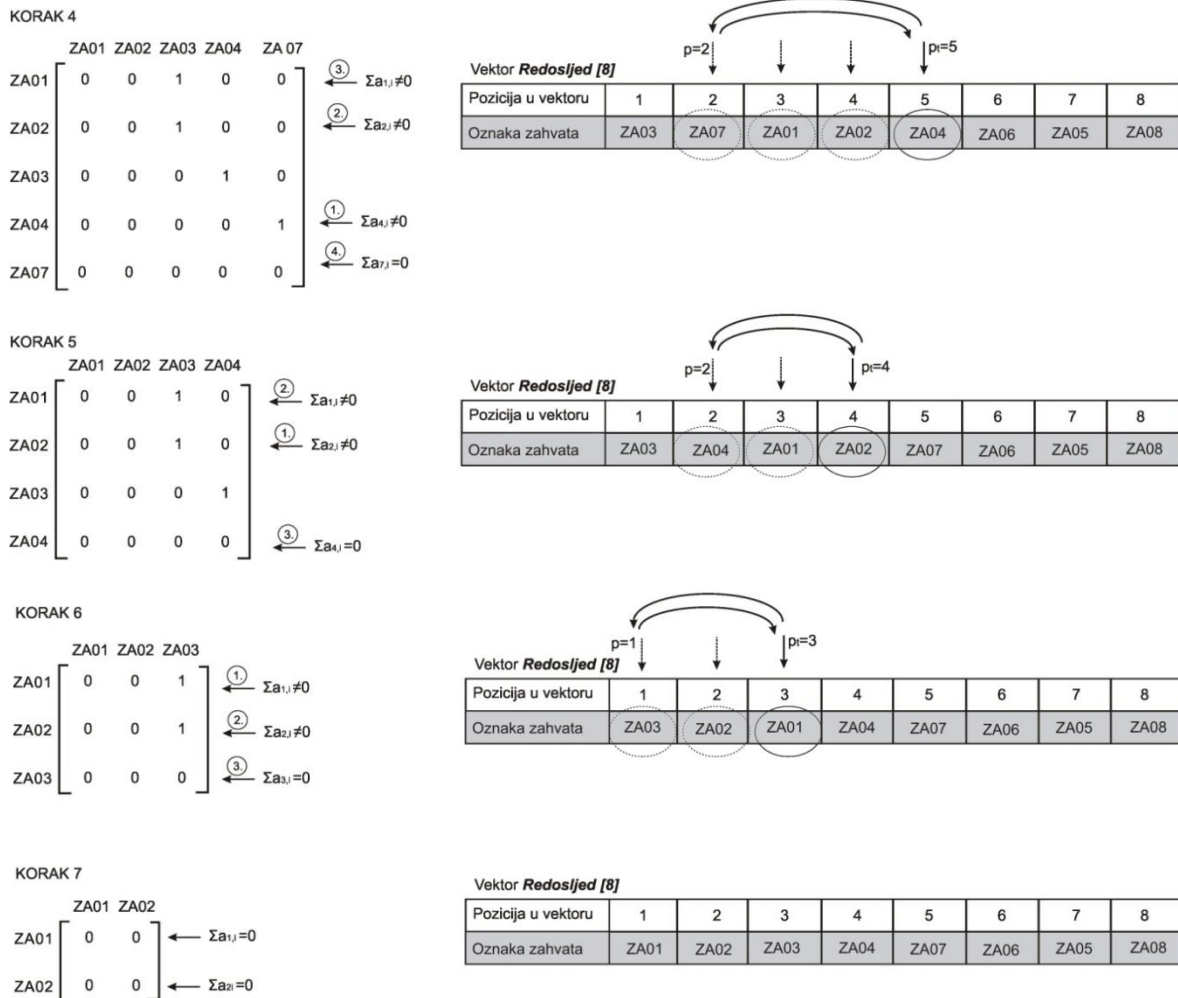
6. Razvoj opšteg modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Korak četiri izvodi se prema gore definisanoj logici, s tim što je uslov $\sum_{i=1}^n a_{m,i} = 0$ ispunjen tek u četvrtoj iteraciji, kada je $p=2$. U ovom slučaju, zahvati na pozicijama vektora redosljeda zahvata 2 i 5, odnosno ZA07 i ZA04, mjenjaju svoje pozicije. Iz matrice ograničenja uklanja se red i kolona broj 7.

Postupak se ponavlja se dok uslov $\sum_{i=1}^n a_{m,i} = 0$ ne bude ispunjen za sve redove članova matrice ograničenja. Ovaj uslov znači da identifikovani zahvat zadržava svoje mjesto u vektoru redosljeda izvođenja zahvata. U primjeru zahvati ZA01 i ZA02 zadržavaju svoje pozicije u vektoru redosljeda izvođenja zahvata.



Slika 6.28 Ilustracija logike za implementaciju algoritma za popravku hromozoma nakon primjene operatora mutacije 1



Slika 6.28 Ilustracija logike za implementaciju algoritma za popravku hromozoma nakon primjene operatora mutacije 1 – nastavak

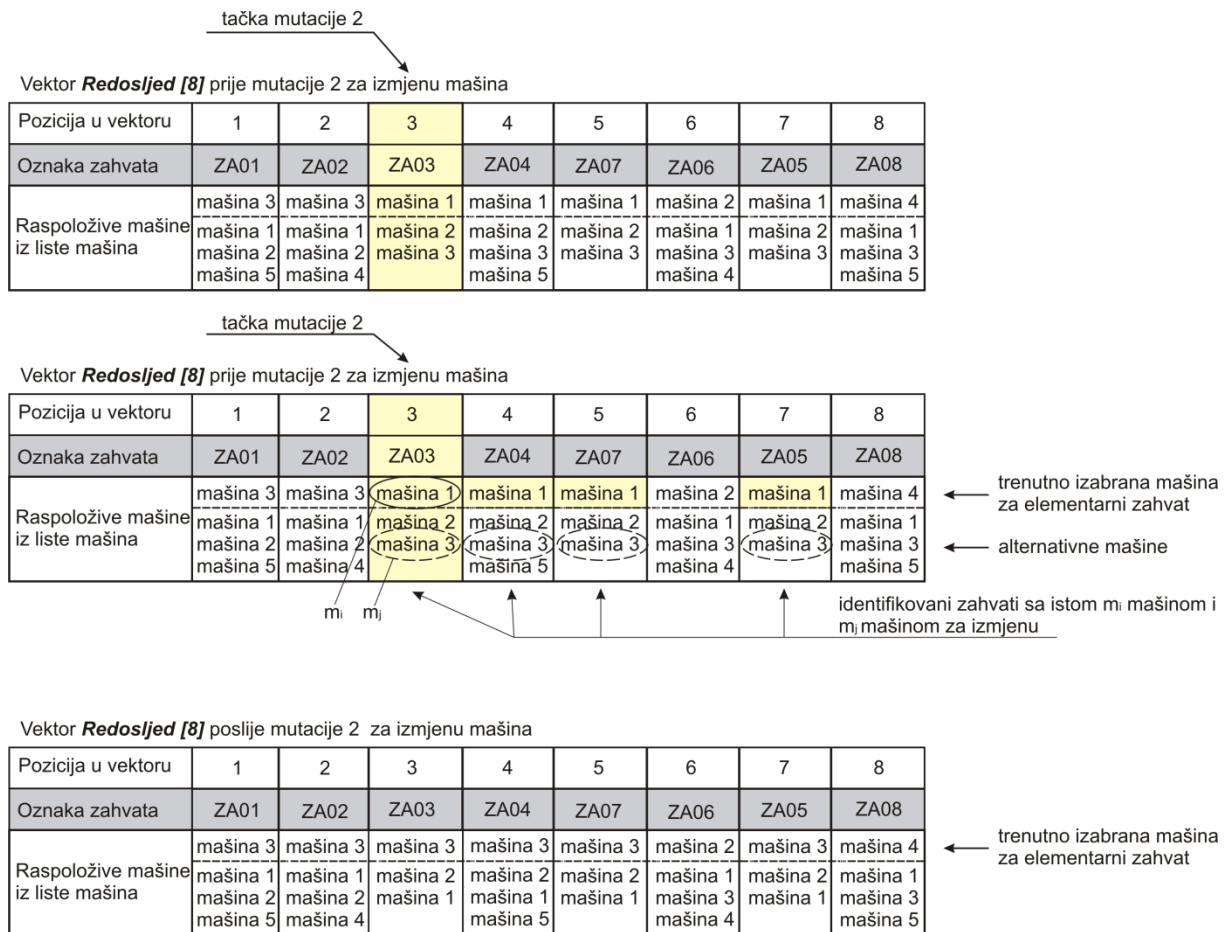
Druga strategija ili drugi operator mutacije odnosi se na izmjenu mašina, alata i PPA (pravca prilaza alata) u okviru jednog elementarnog zahvata. Izmjena mašina, alata i PPA predstavljaju važne faktore u praktičnim razmatranjima ukupnih preliminarnih troškova izrade dijela. Na osnovu heurističkog znanja o planiranju tehnoloških procesa, razvijena su tri operatora mutacije 2 i to:

1. Operator mutacije 2 za izmjenu mašina (slika 6.29),
2. Operator mutacije 2 za izmjenu alata i
3. Operator mutacije 2 za izmjenu pravca prilaza alata.

Operator mutacije 2 za izmjenu mašina koristi se za promjenu trenutno dodijeljene mašine za elementarni zahvat, pod uslovom da postoji varijantna mašina za taj zahvat. Algoritam za operator mutacije 2 za izmjenu mašina sastoji se od sljedećih koraka:

- Preko mehanizma kreiranja slučajnih brojeva i vjerovatnoće p_{m2} , izvršiti slučajan izbor tačke mutacije 2, odnosno slučajni izbor pozicije elementarnog zahvata iz hromozoma ili vektora **Redosljed**,
- Provjeriti uslov postojanja varijantnih mašina za posmatrani zahvat,
- Izabrati mašinu (m_i) iz liste raspoloživih mašina za posmatrani zahvat,

- Zamjeniti identifikovanu (trenutno dodijeljenu) mašinu (m_i) sa izabranom varijantnom mašinom (m_j) i
- Identifikovati sve druge zahvate sa (m_i) kao tekućom mašinom u jednom hromozomu. Ako bilo koji od tih zahvata ima mašinu (m_j) kao varijantnu mašinu, zamjeniti (m_i) mašinu sa (m_j) mašinom.



Slika 6.29 Ilustracija logike za algoritam operatora mutacije 2 za izmjenu mašina

Struktura i algoritamski tok operatora mutacije 2 za izmjenu alata i operatora mutacije 2 za izmjenu pravca prilaza alata potpuno je analogan sa prikazanom strukturom i algoritamskim tokom za operator mutacije 2 za izmjenu mašina. Razlika postoji samo prilikom označavanja alata (A) i pravca prilaza alata (PPA).

Operator mutacije 2 za izmjenu alata primjenjuje se nakon operatora mutacije 2 za izmjenu mašina, a operator mutacije 2 za izmjenu pravca prilaza alata primjenjuje se nakon operatora mutacije 2 za izmjenu alata

Implementacijom operatora selekcije, ukrštanja i mutacije na hromosome genetskog algoritma generiše se nova populacija hromozoma. Za novu populaciju hromozoma vrši se proračun funkcije cilja i funkcije prilagođavanja u okviru opšteg genetskog algoritma. Dobijene vrijednosti se memorišu i postupak se ponavlja sve dok se ne ispuni jedan od postavljanih kriterijuma zaustavljanja genetskog algoritma.

3.3 Generisanje rezultata optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade

Implementacija genetskih algoritama u oblasti planiranja tehnoloških procesa data je u vidu generisanja optimalnog redosljeda izvođenja zahvata obrade. Rezultat implementacije razvijenog genetskog algoritma sastoji se od:

- Varijantnog redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela (slika 6.30) i
- Vrijednosti ukupnih preliminarnih troškova obrade dijela.

1	2	3	4	5	6	7
ETTF1	ETTF3	ETTF3	ETTF3	ETTF2	ETTF4	ETTF4
ZA05	ZA01	ZA02	ZA03	ZA04	ZA06	ZA07
M 01 A 01 +x	M 01 A 05 +y	M01 A02 +y	M 01 A 06 +y	M 02 A 04 +z	M 01 A 01 +x	M 01 A 02 +x
Ukupni troškovi izrade dijela: xxxx EUR						

Slika 6.30 Varijantni redosljed izvođenja zahvata i operacija obrade dijela

Rezultat primjene GA za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela, tehnologu pruža uvid u sljedeće informacije:

- Identifikacija prve operacije. Iz rezultata planiranja tehnoloških procesa, u vidu izlaznog oblika optimalnog redosljeda izvođenja zahvata, identifikuje se prva/početna operacija obrade dijela. Ova informacija je od izuzetnog značaja za nastavak izrade dijela i tehničku pripremu proizvodnje,
- Redosljed izvođenja operacija obrade. Prilikom promjene mašine ili izmjene pozicioniranja/stezanja dijela mijenja operacija obrade. Posmatrajući rezultat u vidu optimalnog redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela (slika 6.31), jednostavno je identifikovati promjene operacija obrade. Ova informacija je značajna sa aspekta tehničke pripreme proizvodnje, rasporeda mašina u proizvodnom pogonu i projektovanja/izbora pomoćnih pribora,

1	2	3	4	5	6	7
ETTF1	ETTF3	ETTF3	ETTF3	ETTF2	ETTF4	ETTF4
ZA05	ZA01	ZA02	ZA03	ZA04	ZA06	ZA07
M 01 A 01 +x	M 01 A 05 +y	M01 A02 +y	M 01 A 06 +y	M 02 A 04 +z	M 01 A 01 +x	M 01 A 02 +x
} Oper. 1	} Oper. 2		} Oper. 3		} Oper. 4	

Slika 6.31 Redosljed izvođenja operacija obrade

- Redosljed izvođenja zahvata obrade. Posmatrajući rezultat u vidu optimalnog redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade dijela, u okviru svake operacije, moguće je identifikovati redosljed izvođenja zahvata obrade dijela,
- Optimalne tehnološke resurse. Optimizacija redosljeda izvođenja zahvata i operacija obrade bazirana je na ukupnim minimalnim preliminarnim troškovima izrade dijela. Primjenom GA identifikuju se mašine i alati koji generišu najmanje troškove obrade

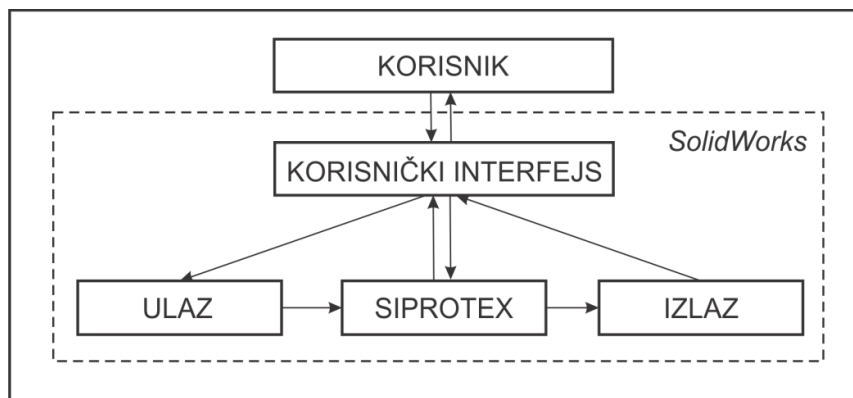
dijela. Informacije o identifikovanim mašina i alatima za obradu dijela predstavljaju podlogu za realizaciju tehničke pripreme proizvodnje, rasporeda mašina u proizvodnom pogonu, procesa održavanja i nabavke ostalih tehnoloških resursa (SHP, ulje, rezne pločice) i

- Ukupni preliminarni troškovi izrade dijela. Na osnovu razvijene funkcije cilja, moguće je generisati ukupne preliminarne troškove izrade dijela. Ova informacija može biti od izuzetne važnosti u svim fazama projektovanja proizvoda i dijela koje se vrše prije realizacije tehničke pripreme proizvodnje. Poznavajući ukupne preliminarne troškove izrade dijela u ranim fazama razvoja proizvoda i dijela, moguće je pozitivno uticati na ukupne stvarne troškove razvoja i proizvodnje proizvoda i dijela.

7. RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA

7.1 PODLOGE ZA RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA

Sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (SIPROTEX) razvijen je u vidu prototipa programskog rješenja. Prototip programskog sistema integrisan je u programski sistem za zapreminsko modeliranje proizvoda SolidWorks. Razvijeni programski sistem predstavlja nadogradnju i obezbjeđuje funkcionalno proširenje programskog sistema SolidWorks. Osnovna struktura prototipa programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa prikazana je na slici 7.1.



Slika 7.1 Osnovna struktura prototipa programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Postoji nekoliko razloga zašto je programski sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa integrisan u standardno okruženje programskog sistema SolidWorks, a to su:

- Programski sistem SolidWorks omogućava jednostavnu upotrebu i pristup aplikativnom programskom interfejsu (API-funkcijama) koje su korišćene u toku implementacije automatizacije konceptualnog projektovanja proizvoda i detaljnog projektovanja dijela i tehnološkog procesa,
- Detaljno projektovanje dijelova na bazi tehnoloških tipskih formi bazirano je na primjeni Bulove operacije oduzimanja zapreminskih modela elementarnih tehnoloških tipskih formi od zapreminskog modela polaznog oblika dijela. Programski sistem SolidWorks podržava i omogućava automatizaciju ove vrste operacije,
- Programski sistem SolidWorks je široko zastupljen u industriji i predstavlja jedan od najčešće korišćenih CAD/CAM programskih sistema u okruženju i
- Jedan od ulaznih podataka, u okviru programskog rješenja sistema, predstavlja zapreminski konceptualni model proizvoda koji je prethodno projektovan u SolidWorks programskom sistemu.

Programski sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa razvijen je na bazi primjene aplikativnog programskog interfejsa programskog sistema SolidWork i višeg programskog jezika C#. Dio programskog koda za definisanje atributa elementarnih tehnoloških tipskih formi, koji je korišćen pri razvoju programskog sistema SIPROTEX, prikazan je u tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Dio programskog koda za definisanje atributa elementarnih tehnoloških tipskih formi

```

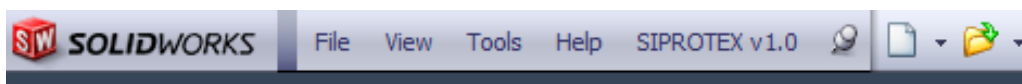
using System;
using System.Collections.Generic;
namespace PTF
{
    public class TFTemplate
    {
        public string _sldwrks_path;
        public string _jpg_path;
        public string _category;
        public string _name;
        public Dictionary<int, List<string>> _tts;
        public Dictionary<int, string> _tts_code;
        public AttributeChangedEventHandler AttributeChangedEvent;
        public Dictionary<string, TFAttribute> _attributes;
        public TFTemplate()
        {
            _attributes = new Dictionary<string, TFAttribute>();
            _tts = new Dictionary<int, List<string>>();
            _tts_code = new Dictionary<int, string>();
        }
        protected TFTemplate(TFTemplate tmp)
        {
            _sldwrks_path=tmp._sldwrks_path;
            _jpg_path=tmp._jpg_path;
            _category=tmp._category;
            _name=tmp._name;
            _attributes = new Dictionary<string,
TFAttribute>();
            IEnumerator<string> keys =tmp._attributes.Keys.GetEnumerator();
            while (keys.MoveNext())
            {
                _attributes[keys.Current] =
(TFAttribute)tmp._attributes[keys.Current].Clone();
            }
        }
        public void AddAttribute(string name, TFAttribute atr)
        {
            if (!_attributes.ContainsKey(name))
                _attributes[name] = atr;
        }
        public void GetPropertyValue(object sender, PropertySpecEventArgs e)
        {
            if (_attributes.ContainsKey(e.Property.Name))
                e.Value = _attributes[e.Property.Name]._value;
            else
            {
                if (e.Property.Name == "Datoteka")
                    e.Value = this._sldwrks_path;
                else
                    e.Value = this._name;
            }
        }
        public PropertyBag Properties(int i)
        public object Clone()
        {
            return new TFTemplate(this);
        }
    }
}
public class AttributeChangedEventArgs : EventArgs
{

```

Tabela 7.1. Dio programskog koda za definisanje atributa elementarnih tehnoloških tipskih formi - nastavak

```
string _name;
object _new_value;
public AttributeChangedEventArgs(string atr_name,object new_value)
{
    _name=atr_name;
    _new_value=new_value;
}
public object New_value
{
    get { return _new_value; }
}
public string AttributeName
{
    get { return _name; }
}
}
public delegate void AttributeChangedEventHandler(object sender,
AttributeChangedEventArgs e);
}
```

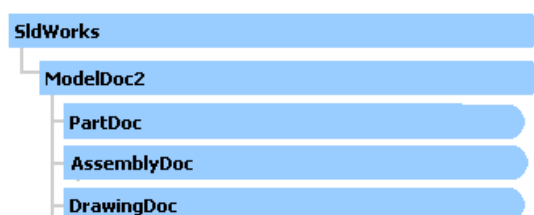
Položaj programskog sistema SIPROTEX u osnovnom meniju programskog sistema SolidWorks prikazan je na slici 7.2, pod nazivom SIPROTEX v1.0.



Slika 7.2 Položaj sistema SIPROTEX u osnovnom meniju programskog sistema SolidWorks

Aplikativni programski interfejs (API), kao dodatno programsko rješenje, predstavlja vezu između višeg programskog jezika i CAD/CAM sistema. Ovo programsko rješenje posjeduje sve karakteristike programskih jezika (aritmetičke i logičke operacije, funkcije za kontrolu toka programa, ulazno izlazne operacije), ali je prošireno sa komandama za aktiviranje funkcija CAD/CAM programskih sistema.

Cjelokupna hijerarhijska struktura SolidWorks objekata, u okviru API, bazirana je na objektu pod nazivom SldWorks. Ovaj objekat predstavlja osnovni (početni) objekat koji u svojoj strukturi sadrži objekte pomoću kojih se vrše određene spoljašnje funkcije u okviru SolidWorks programskog sistema. Najvažniji objekat u okviru SldWorks objekta je ModelDoc2 objekat, čiji je dio hijerarhijske strukture prikazan na slici 7.3. Pomoću ovog objekta omogućen je direktan pristup najvažnijim unutrašnjim objektima koji se koriste u okviru simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. U najvažnije objekte ModelDoc2 objekta, ubrajaju se PartDoc, AssemblyDoc i DrawingDoc objekti.



Slika 7.3. Hijerarhijska struktura ModelDoc2 objekta

SolidWorks programski sistem poznaje osnovna tri tipa dokumenata i to dokumente za dijelove, sklopove i tehničku dokumentaciju. Na osnovu ove podjele izvršena je podjela cjelokupnog programskog okruženja SolidWorks sistema i to na programsko okruženje za:

- *Zapreminsko modeliranje dijelova,*
- *Zapreminsko modeliranje sklopova i*
- *Izradu tehničke dokumentacije.*

Ova podjela programskog sistema podudara se sa podjelom programskog objekta `ModelDoc2`. Podjela `ModelDoc2` objekata izvršena je kako bi se korisnicima omogućio jednostavniji i lakši način pristupa objektima u svrhu automatizacije u odgovarajućim modulima programskog sistema SolidWorks.

Programski sistem SIPROTEX realizovan je u programskom okruženju za zapreminsko modeliranje dijelova. Realizacija ovog programskog sistema isključivo je bazirana na korišćenju hijerarhijske strukture objekata i metoda koji su sastavni dio objekta `PartDoc` (Slika 7.4).



Slika 7.4 Segment hijerarhijske strukture objekta `PartDoc`

7.2 STRUKTURA PROGRAMSKOG SISTEMA

Programski sistem SIPROTEX omogućava simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa na bazi procesnog pristupa. Procesnim pristupom obezbeđuje se dekomponovanje proizvoda prema modularnoj arhitekturi konstrukcije proizvoda. Moduli proizvoda, u toku projektovanja, dekomponuju se na sklopove, podsklopove i dijelove. Primjena sistema omogućava realizaciju konceptualnog i detaljnog projektovanja novog proizvoda, kao i

tehnoloških procesa izrade dijelova. Ključna aktivnost čija je realizacija obezbijeđena primjenom sistema SIPROTEX odnosi se na detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa.

Struktura programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (slika 7.5) sastoji se od:

- *Modula za konceptualno projektovanje proizvoda,*
- *Modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa i*
- *Baza podataka i baza znanja.*

Modul za konceptualno projektovanje proizvoda bazira se na tri razvijena programska procesa, i to:

- *Proces 1 – Prikaz postojećih modela tipa proizvoda,*
- *Proces 2 – Definisane novog modela tipa proizvoda,*
- *Proces 3 – Distribucija modula/zadataka za projektovanje proizvoda,*

U okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa vrše se aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela, detaljnog projektovanja dijela i planiranja tehnološkog procesa. Aktivnost preliminarnog projektovanja dijela bazira se na šest razvijenih programskih procesa, i to:

- *Proces 4 – Učitavanje modula/zadataka za projektovanje proizvoda,*
- *Proces 5 – Pregled i analiza konceptualnog modela proizvoda,*
- *Proces 6 – Izbor projektne aktivnosti,*
- *Proces 7 – Izbor sklopa i dijela proizvoda u svrhu detaljnog projektovanja,*
- *Proces 8 – Generisanje klasifikacionog broja i dodatnih tehnoloških informacija,*
- *Proces 9 – Generisanje polaznog oblika dijela,*

Aktivnost detaljnog projektovanja dijela bazira se na dva razvijena programska procesa, i to:

- *Proces 10 – Modeliranje dijela i generisanje tipskih tehnoloških zahvata (TTZ) na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi (ETTF),*
- *Proces 11 – Generisanje rezultata detaljnog projektovanja dijela,*

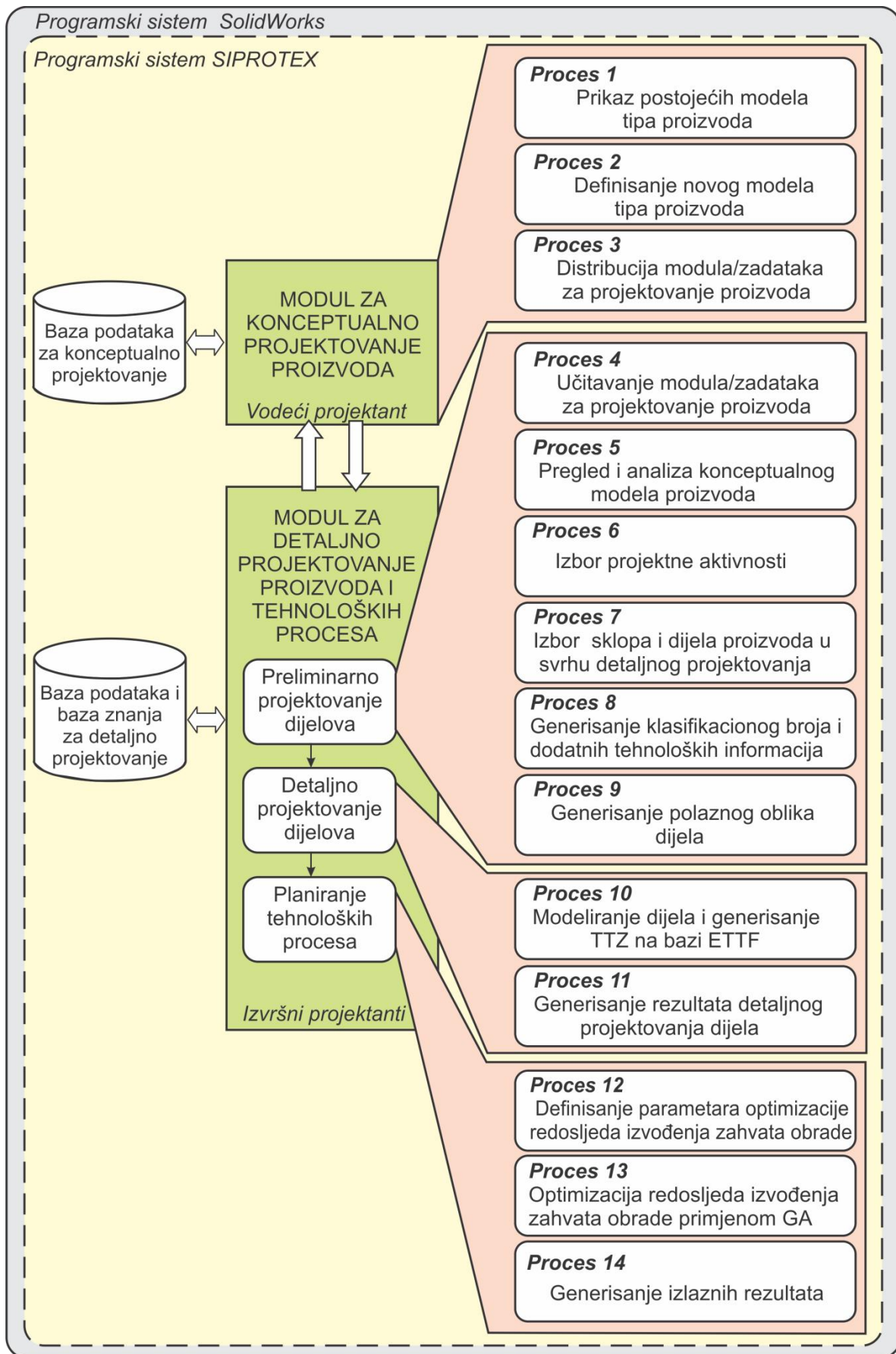
Aktivnost planiranja tehnološkog procesa bazira se na tri razvijena programska procesa, i to:

- *Proces 12 – Definisane parametara optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade,*
- *Proces 13 – Optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade primjenom genetskog algoritma i*
- *Proces 14 – Generisanje izlaznih rezultata.*

Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa, primjenom sistema SIPROTEX, moguće je realizovati na dva načina, i to:

- *Uvažavajući podatke iz prethodnih aktivnosti projektovanja proizvoda i*
- *Bez korišćenja prethodno generisanih podataka ili projektovanjem dijela i tehnološkog procesa od početka.*

Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa, uvažavanjem podataka iz prethodnih aktivnosti projektovanja proizvoda, realizuje se za tipske dijelove proizvoda, odnosno za dijelove čije su smjernice sadržane u okviru sistema SIPROTEX.



Slika 7.5 Struktura programskog sistema SIPROTEX

U svrhu projektovanja prototipa dijelova ili dijelova proizvoda čije smjernice nisu sadržane u okviru sistema SIPROTEX, ovaj programski sistem omogućava detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa bez korišćenja prethodno generisanih podataka.

Baze podataka i baze znanja, integrisane u programski sistem SIPROTEX, koriste se prilikom realizacije aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda, detaljnog projektovanja proizvoda i planiranja tehnološkog procesa. Prema svom sadržaju baza podataka podijeljena je na:

- *Bazu podataka za konceptualno projektovanje proizvoda,*
- *Bazu podataka tehnoloških resursa i*
- *Biblioteku elementarnih tehnoloških tipskih formi.*

Baza znanja sadrži odgovarajuće smjernice i produkciona pravila koja su implementirana pri realizaciji aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova i tehnološkog procesa.

Sa stanovišta dodijeljenih uloga, programski sistem za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa namijenjen je upotrebi od strane vodećeg projektanta i izvršnih projektanata. Vodeći projektant, programski sistem, koristi prilikom realizacije aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda. Izvršni projektanti programski sistem, koriste prilikom realizacije aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa.

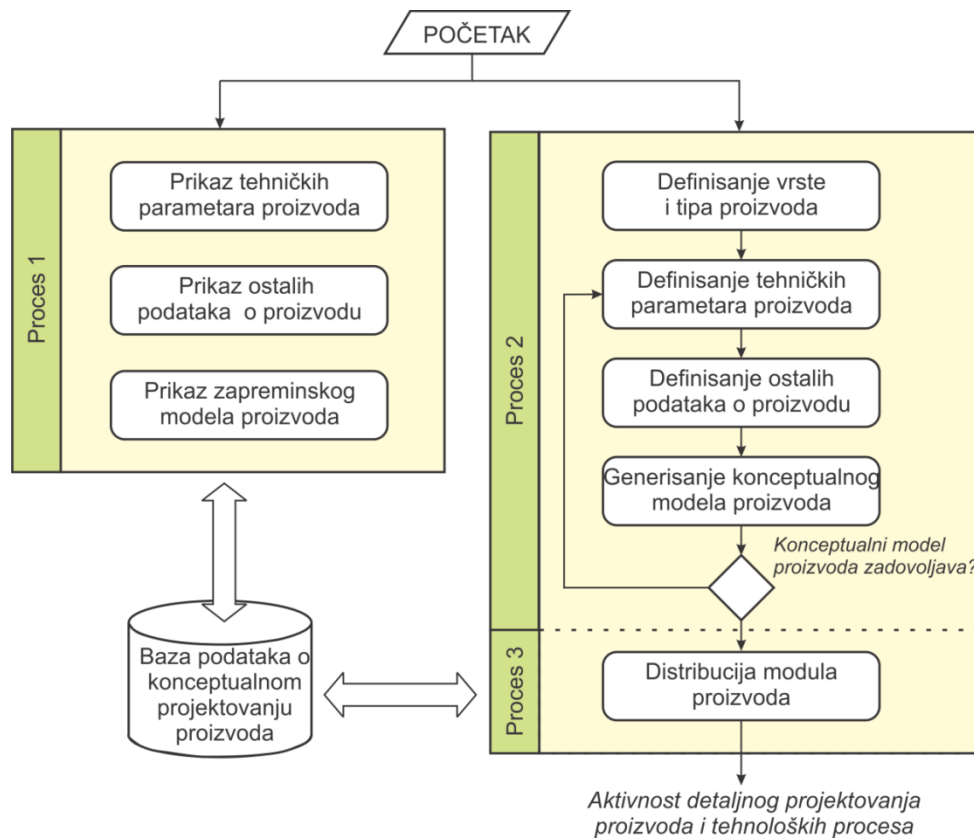
Korišćenje razvijenog programskog sistema zasniva na interaktivnom radu projektanta-tehnologa. Veliki dio aktivnosti u okviru ovog rješenja je automatizovan, što u velikoj mjeri olakšava njegovu primjenu. U okviru sistema implementirane su smjernice u različitim fazama primjene sistema, koje omogućavaju njegovo efikasno korišćenje. Prilikom razvoja sistema primijenjen je intuitivni proces toka simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Interfejs sistema SIPROTEX je izrazito korisnički orijentisan.

7.2.1 Razvoj programskog modula za konceptualno projektovanje proizvoda

Početna aktivnost u okviru programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa predstavlja konceptualno projektovanje proizvoda. Struktura aktivnosti modula za konceptualno projektovanje proizvoda, prema razvijenim programskim procesima, prikazana je na slici 7.6.

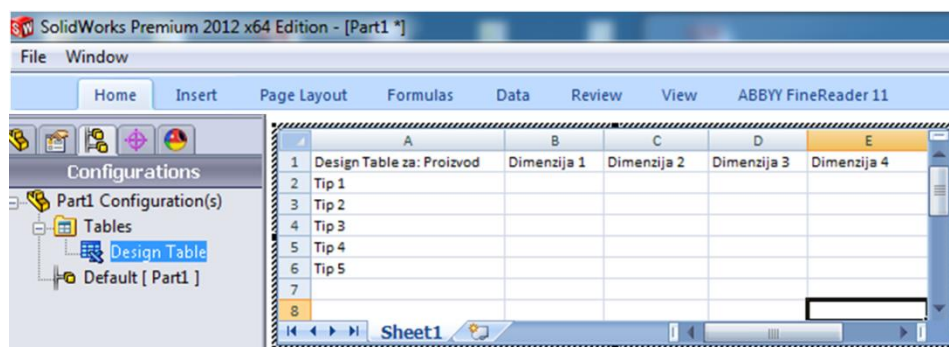
Sa stanovišta dodijeljenih uloga, konceptualno projektovanje proizvoda u potpunosti realizuje vodeći projektant. U okviru aktivnosti modula za konceptualno projektovanje proizvoda, vodeći projektant ima mogućnost prikaza postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda i razvoja novog konceptualnog modela tipa proizvoda. Prikaz postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda vrši se prilikom prezentacije i razgovora sa potencijalnim kupcima proizvoda. Postojeći konceptualni modeli tipa proizvoda podrazumijevaju već razvijene proizvode prema karakterističnim tipskim veličinama (radna brzina, radni hod, vrijednost radne sile, maks. radna temperatura). Prikaz postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda, u okviru programskog procesa 1, (slika 7.6) sastoji se od:

- *Prikaza tehničkih parametara proizvoda,*
- *Prikaza ostalih podataka o proizvodu i*
- *Prikaza zapreminskog modela proizvoda.*



Slika 7.6 Modul za konceptualno projektovanje proizvoda

Ukoliko postojeći modeli tipa proizvoda ne mogu ispuniti zahtjeve kupaca, pristupa se razvoju novog konceptualnog modela tipa proizvoda. Razvoj novog konceptualnog modela tipa proizvoda vrši se na osnovu prilagođavanja postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda. Postojeći konceptualni model tipa proizvoda predstavljen je preko zapreminskog konceptualnog modela proizvoda, projektovanog u programskom sistemu SolidWorks. Zapreminski konceptualni model proizvoda povezan je sa tehničkim i ostalim parametrima proizvoda pomoću programskog alata *DesignTable* (slika 7.7), API funkcija, uz korišćenje programskog jezika C# .



Slika 7.7 Programski alat DesignTable

Vodeći projektant, na osnovu razvijenog interfejsa modula za konceptualno projektovanje proizvoda, vrši zapreminsko konceptualno projektovanje novog tipa proizvoda. Postupak

zapreminskog konceptualnog projektovanja novog tipa proizvoda, u okviru programskih procesa 2, (slika 7.6) sastoji se od:

- *Definisanja vrste i tipa proizvoda,*
- *Definisanja tehničkih parametara proizvoda (osnovni i sekundarni),*
- *Definisanja ostalih parametara proizvoda i*
- *Generisanja konceptualnog modela proizvoda.*

Definisanje vrste i tipa proizvoda odnosi se na izbor odgovarajućeg prethodno projektovanog konceptualnog modela proizvoda. (U okviru predmetnog istraživanja korišćeni su konceptualni modeli obradnih sistema.) Na izbor prethodno projektovanog konceptualnog modela proizvoda utiču vrsta obrade, tip postupka obrade i tip proizvoda. Nakon izbora vrste i tipa proizvoda, izvršeno je definisanje osnovnih tehničkih parametara za posmatrani proizvod. Ovi parametri obuhvataju ključne karakteristike proizvoda (radna brzina, radni hod, vrijednost radne sile, maks. radna temperatura).

Tehnički parametri, definisani u ovoj fazi projektovanja proizvoda, koriste se prilikom realizacije ostalih aktivnosti u okviru programskog sistema SIPROTEX. Sekundarni tehnički parametri proizvoda, koji zavise od osnovnih tehničkih parametara, generišu se na automatizovan način. Definisanje ostalih parametara proizvoda odnosi se na definisanje administrativnih, estetskih i ekonomskih parametara proizvoda (transport do kupca, pakovanje proizvoda, boja, rok isporuke, cijena).

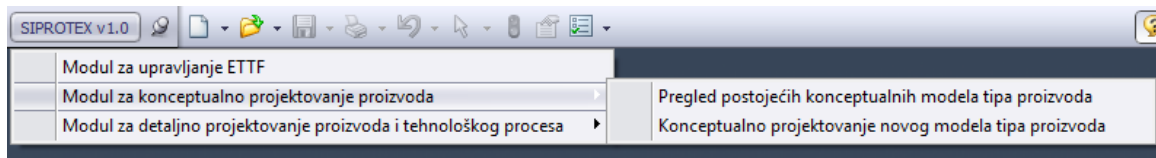
Prilikom konceptualnog projektovanja proizvoda, u aktivnosti definisanja parametara proizvoda, vodeći projektant ima na raspolaganju smjernice za konceptualno projektovanje proizvoda. Smjernice sadrže donje i gornje granične vrijednosti preporuka za odgovarajući parametar proizvoda. Smjernice za konceptualno projektovanje proizvoda implementirane su na osnovu tehnoloških i konstrukcionih ograničenja za odgovarajući tip proizvoda.

Nakon izvršenog definisanja svih parametara proizvoda, vrši se generisanje zapreminskog konceptualnog modela novog tipa proizvoda. Ukoliko vodeći projektant ili kupac nije zadovoljan generisanim rješenjem, vrši se ažuriranje zapreminskog konceptualnog modela novog proizvoda preko izmjene tehničkih parametara.

Nakon generisanja rješenja zapreminskog konceptualnog modela novog tipa proizvoda, izvršni projektant vrši distribuciju zadataka u svrhu detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Vodeći projektant vrši distribuciju zadataka prema izvršnim projektantima, u okviru programskog procesa 3. Zadaci za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa odnose se na zahtjeve za detaljno projektovanje pojedinačnih modula proizvoda. Zadatak, pored zapreminskog modela, sadrži listu tehničkih i ostalih parametara novog tipa proizvoda.

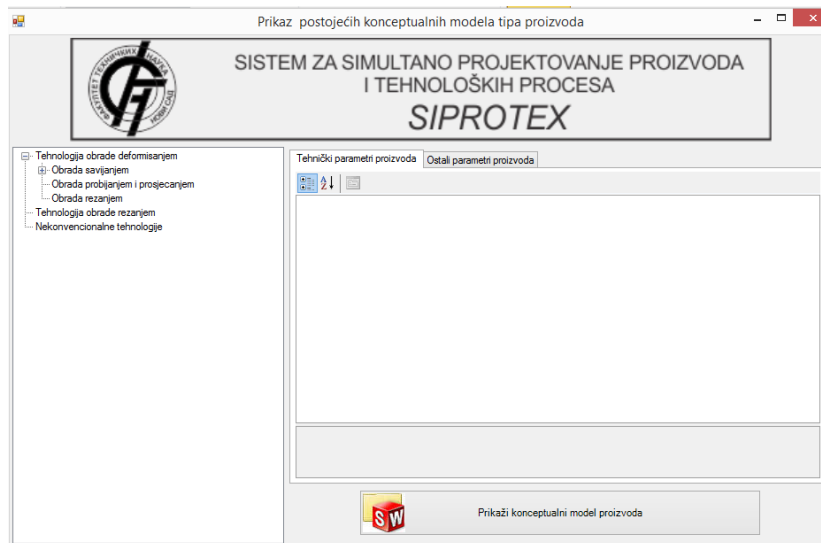
Proces konceptualnog projektovanja proizvoda, u okviru programskog sistema SIPROTEX, odvija se prema sljedećem scenariju:

- *Vodeći projektant, u okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda, ima mogućnost pregleda konceptualnih modela tipa proizvoda i konceptualnog projektovanja novog modela tipa proizvoda (slika 7.8). Ukoliko vodeći projektant želi da izvrši pregled svih konceptualnih modela tipa proizvoda, potrebno je da izabere aktivnost „Prikaz postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda“,*



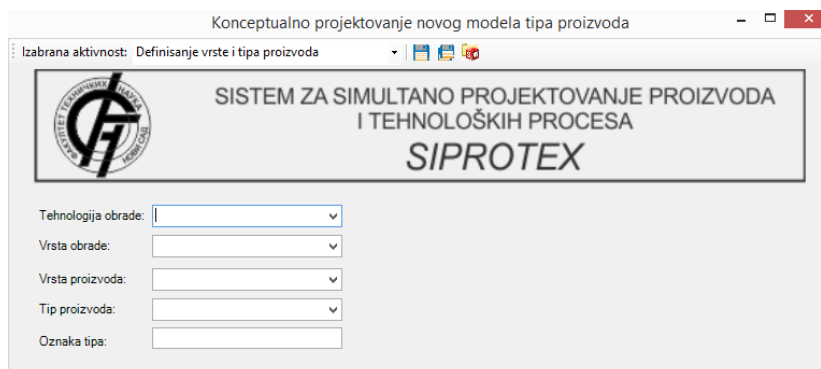
Slika 7.8 Struktura aktivnosti modula za konceptualno projektovanje proizvoda

- U okviru aktivnosti prikaza postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda (slika 7.9), vodeći projektant ima mogućnost pregleda tehničkih parametara proizvoda, ostalih parametara proizvoda, kao i zapreminskog konceptualnog modela tipa proizvoda, koji se nalazi u bazi podataka za konceptualno projektovanje proizvoda,



Slika 7.9 Prikaz postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda

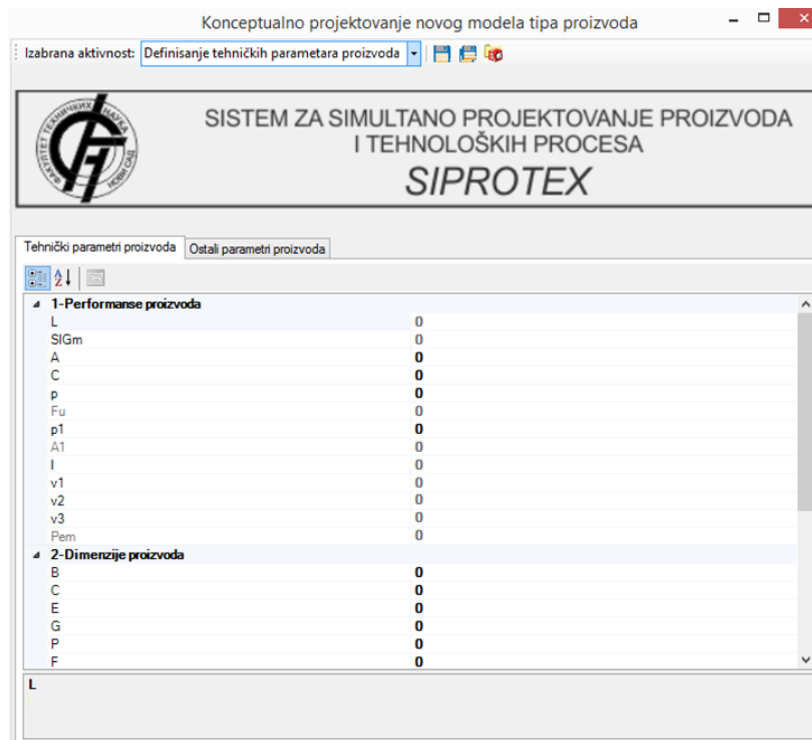
- Vodeći projektant započinje razvoj konceptualnog modela novog tipa proizvoda izborom aktivnosti „Konceptualno projektovanje modela novog tipa proizvoda“ (slika 7.8). U okviru aktivnosti konceptualno projektovanje modela novog tipa proizvoda, vodeći projektant prvo vrši definisanje vrste i tipa proizvoda (slika 7.10),



Slika 7.10 Definisanje vrste i tipa proizvoda

- Nakon definisanja vrste i tipa proizvoda, vodeći projektant vrši definisanje tehničkih i ostalih parametara proizvoda (slika 7.11). Definisanje tehničkih parametara proizvoda

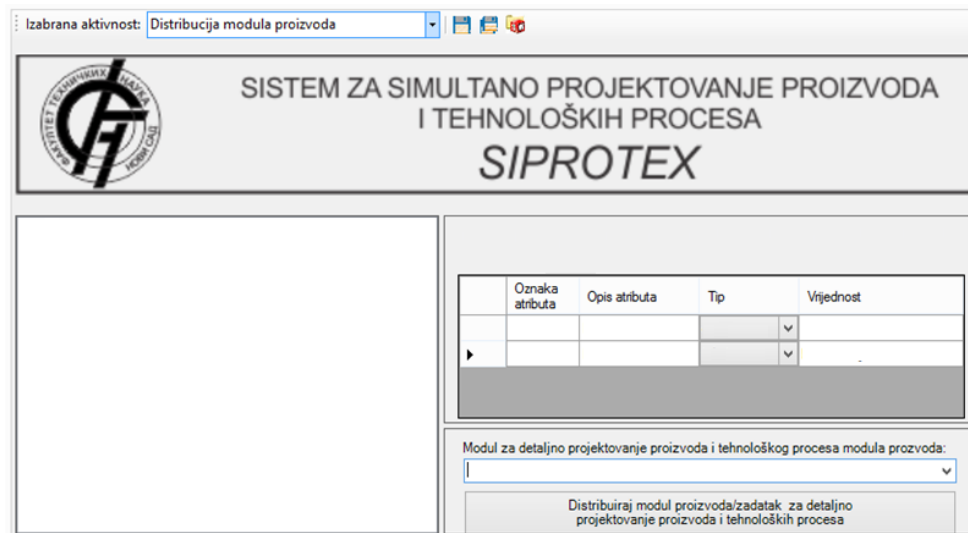
razdvojeno je na definisanje performansi i dimenzija proizvoda. Performanse proizvoda obuhvataju ključne podatke o proizvodu (max. radna sila, dozvoljeni pritisak, radne dužine i sl.). Dimenzije proizvoda su u funkciji performansi proizvoda. Definisanjem performansi proizvoda, dimenzije proizvoda generišu se na automatizovan način. Ukoliko generisane dimenzije nisu zadovoljavajuće, vodeći projektant vrši njihovu korekciju. Vodeći projektant, ima uvid u smjernice za svaki tehnički parametar proizvoda. Ostali parametri proizvoda obuhvataju administrativne, estetske, ekonomske i ostale informacije potrebne u svrhu definisanja zahtjeva u toku razvojnog ciklusa proizvoda.



Slika 7.11 Definisavanje tehničkih i ostalih parametara proizvoda

Ukoliko je zadovoljan sa definisanim tehničkim i ostalim parametrima proizvoda, vodeći projektant vrši generisanje zapreminskog konceptualnog modela novog tipa proizvoda. Generisanje zapreminskog konceptualnog modela novog tipa proizvoda vrši se na automatizovan način, u okviru prostora sklopa programskog sistema SolidWoks. Zapreminski konceptualni model novog tipa proizvoda baziran je na prethodno definisanim performansama i dimenzijama proizvoda. Vodeći projektant vrši analizu i pregled generisanog zapreminskog konceptualnog modela novog tipa proizvoda. Ukoliko vodeći projektant nije zadovoljan sa generisanim konceptualnim rješenjem, vrši se povratak u fazu definisanja tehničkih parametara proizvoda i generiše se novo konceptualno rješenje,

- Usvojeni zapreminski konceptualni model novog tipa proizvoda vodeći projektant distribuira izvršnim projektantima u formi zadatka za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (slika 7.12). Projektni zadatak sadrži zapreminski konceptualni model novog tipa proizvoda, tehničke i ostale parametre proizvoda, kao i parametre modula proizvoda.



Slika 7.12 Distribucija modula proizvoda

Dio aktivnosti, u okviru modula programskog sistema SIPROTEX koje obuhvataju konceptualno projektovanje proizvoda, završava se distribucijom projektnog zadatka izvršnim projektantima.

7.2.2 Razvoj programskog modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Projektovanje u okviru programskog sistema SIPROTEX nastavlja se u okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. U okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa sadržane su tri aktivnosti:

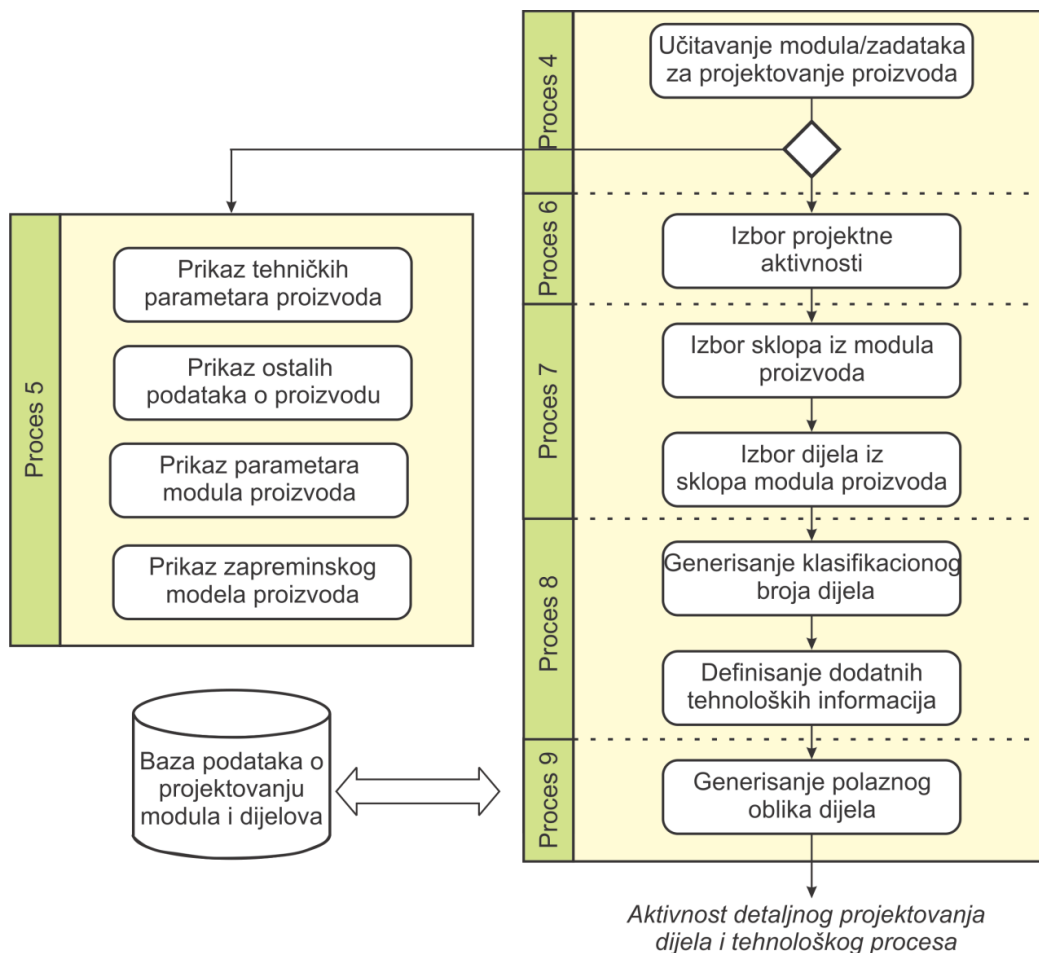
- Preliminarno projektovanje dijela,
- Detaljno projektovanje dijela i
- Planiranje tehnoloških procesa.

Sa stanovišta dodijeljenih uloga, u okviru programskog sistema SIPROTEX, detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa realizuju izvršni projektanti. Izvršni projektanti odgovorni su za razvoj, projektovanje i verifikaciju modula proizvoda dodijeljenog od vodećeg projektanta. Drugim riječima, projektni zadatak za izvršnog projektanta odnosi se na detaljno projektovanje jednog modula proizvoda. Pri tome, izvršni projektant može biti individualna osoba ili predstavnik odgovarajućeg projektantskog odjeljenja.

Preliminarno projektovanje dijela

U okviru programskog modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa početna aktivnost odnosi se na preliminarno projektovanje dijela. Struktura aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela prema razvijenim programskim procesima prikazana je na slici 7.13.

Izvršni projektant, nakon obavještenja o dodjeli projektnog zadatka od strane vodećeg projektanta, vrši učitavanje projektnog zadatka. Učitavanje projektnog zadatka vrši se u programski modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa (Proces 4).



Slika 7.13 Struktura aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela prema razvijenim programskim procesima

Nakon učitavanja projektnog zadatka, izvršni projektant vrši analizu zahtjeva za detaljno projektovanje modula proizvoda i tehnoloških procesa. Analiza zahtjeva za detaljno projektovanje modula proizvoda i tehnoloških procesa sastoji se od analize: tehničkih parametara proizvoda, ostalih parametara proizvoda, parametara modula proizvoda i zapreminskog konceptualnog modela proizvoda (Proces 5)

Izbor projektne aktivnosti predstavlja narednu aktivnost u okviru preliminarnog projektovanja dijela (Proces 6). Izbor projektne aktivnosti odnosi se na izbor aktivnosti koje se odnose na:

- *Definisanje standardnih dijelova i*
- *Simultano projektovanje nestandardnih dijelova i tehnoloških procesa.*

Programski sistem SIPROTEX isključivo je razvijen u svrhu realizacije aktivnosti simultanog projektovanja dijelova i tehnoloških procesa. U svrhu simultanog projektovanja dijelova i tehnoloških procesa vrši se izbor pripadajućeg sklopa iz modula proizvoda, kao i pripadajućeg dijela iz prethodno izabranog sklopa modula (Proces 7). Sastavnica modula proizvoda, prema kojoj se vrši izbor sklopa iz modula proizvoda i dijela iz izabranog sklopa, čini sastavni dio baze podataka za projektovanje modula i dijelova proizvoda.

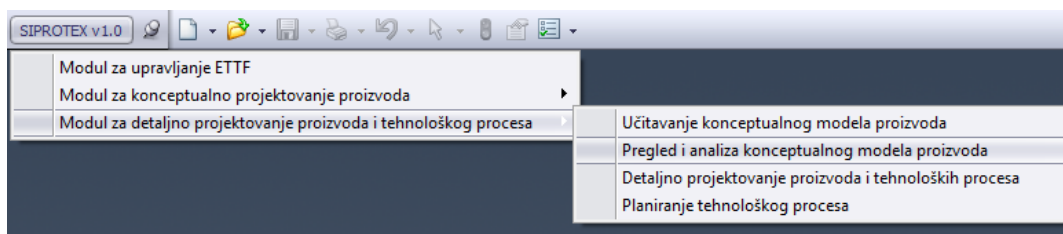
Generisanje klasifikacionog broja dijela vrši se na bazi analize prethodno generisanih tehničkih i ostalih parametara proizvoda i modula proizvoda. Klasifikacioni broj dijela koristi se u svrhu identifikacije smjernica za detaljno projektovanje dijela. Pored generisanja

klasifikacionog broja dijela, u okviru procesa 8, vrši se definisanje dodatnih tehnoloških informacija. Definisanje dodatnih tehnoloških informacija odnosi se na definisanje tvrdoće materijala i količine dijelova.

Polazni oblik dijela predstavlja rezultat aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela. Generisanje polaznog oblika dijela (Proces 9) vrši se na automatizovan način, na osnovu performansi proizvoda definisanih u konceptualnom modelu proizvoda i konceptualnog modela posmatranog sklopa modula proizvoda. Polazni oblik dijela predstavlja zapreminski model dijela, prethodno određenog oblika, sa identifikovanim materijalom i gabaritnim dimenzijama.

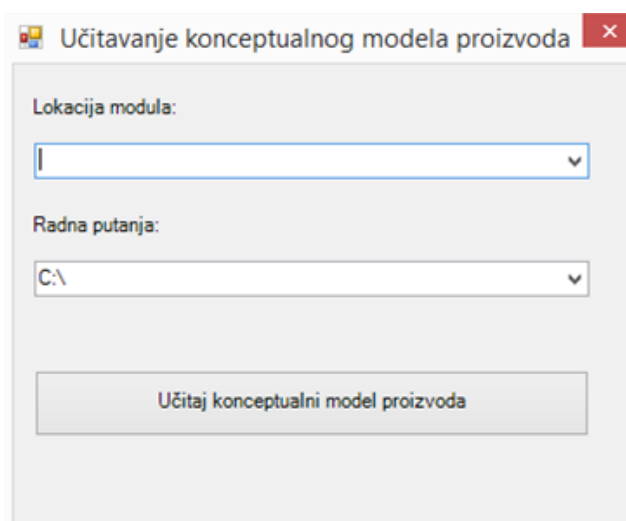
Proces preliminarnog projektovanja dijela, u okviru programskog sistema, odvija se prema sljedećem scenariju:

- *Izvršni projektant, u okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, vrši učitavanje projektnog zadatka. Učitavanje projektnog zadatka vrši se izborom istoimenog programskog tastera (slika 7.14),*



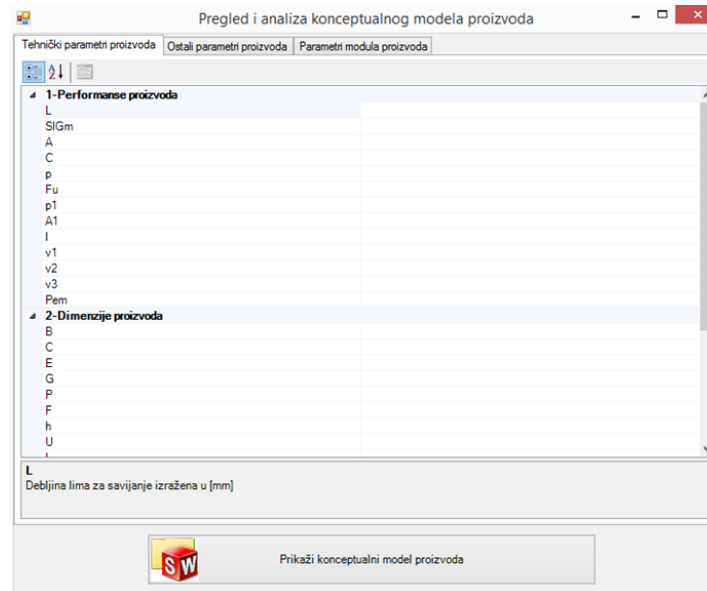
Slika 7.14 Struktura aktivnosti modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

- *Prvi korak prilikom učitavanja projektnog zadatka odnosi se na identifikaciju programske putanje na kojoj se nalazi projektni zadatak i programske putanje na kojoj se nalazi direktorijum za memorisanje narednih projektnih aktivnosti (slika 7.15). Nakon definisanja programskih putanja, izvršni projektant učitava projektni zadatak izborom programskog tastera “Učitaj konceptualni model proizvoda”,*

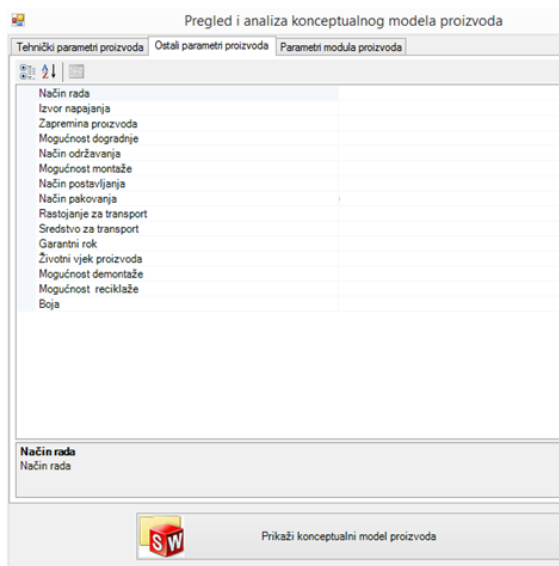


Slika 7.15 Učitaj konceptualni model proizvoda

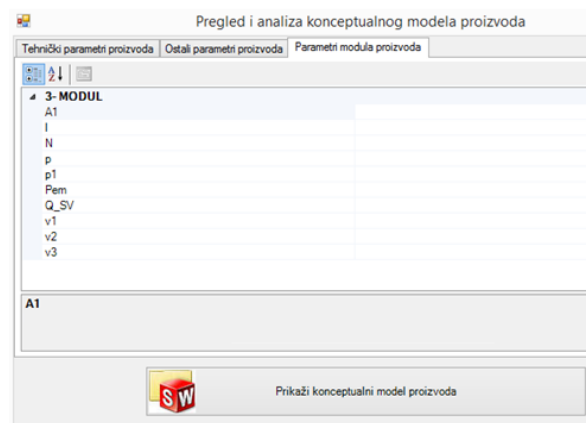
- Nakon učitavanja projektnog zadatka, izvršni projektant vrši pregled zadatka za detaljno projektovanje modula proizvoda. Pregled projektnog zadatka vrši se na osnovu dostupnih informacija o proizvodu koje čine: tehnički parametri proizvoda (slika 7.16), ostali parametri proizvoda (slika 7.17), parametri modula proizvoda (slika 7.18) i zapreminski konceptualni model proizvoda. Izvršni projektant nema mogućnost izmjene tehničkih i ostalih parametara proizvoda,



7.16 Pregled tehničkih parametara proizvoda



Slika 7.17 Pregled ostalih parametara proizvoda



Slika 7.18 Pregled parametara modula proizvoda

- Nakon analize projektnog zadatka, izvršni projektant, nastavlja postupak detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa izborom aktivnosti "Detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa". Izvršni projektant vrši izbor aktivnosti "Detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa" iz osnovnog menija programskog sistema (slika 7.14).

- Izvršni projektant zatim vrši izbor projektne aktivnosti “Simultano projektovanje dijelova i tehnoloških procesa” (slika 7.19). Projektne aktivnosti koje se odnose na “Definisanje standardnih dijelova i komponenti” nisu fokus predmetnog istraživanja,



Slika 7.19 Izbor projektne aktivnosti

- Izbor aktivnosti “Simultano projektovanje dijelova i tehnoloških procesa” zahtijeva da izvršni projektant, u nastavku projektovanja, izvrši izbor sklopa iz sastavnice modula proizvoda (Slika 7.20). Izbor sklopa vrši se u cilju detaljnog projektovanja i razvoja sklopa modula proizvoda. Smjernice za detaljno projektovanje izabranog sklopa, memorisane u bazi podataka programskog sistema, aktiviraju se prethodnim izborom sklopa. Izvršni projektant vrši pregled smjernica u svrhu detaljnog projektovanja pripadajućih dijelova i sklopa kao cjeline (Slika 7.21),



Slika 7.20 Izbor sklopa iz modula proizvoda



Slika 7.21 Smjernice za detaljno projektovanje sklopa

- Nakon izbora sklopa, izvršni projektant bira naziv dijela iz sastavnice posmatranog sklopa modula proizvoda (Slika 7.22). Izborom naziva dijela započinje postupak preliminarnog projektovanja dijela i



Slika 7.22 Izbor dijela iz sklopa proizvoda

- Preliminarno projektovanje dijela nastavlja se generisanjem njegovog klasifikacionog broja (Slika 7.23). Klasifikacioni broj dijela generiše se prema razvijenom klasifikatoru za dijelove, na osnovu ključnih tehničkih podataka proizvoda, modula, sklopa i dijela. Definisane dodatnih tehnoloških informacija, neophodnih za preliminarno projektovanje dijela, vrši se unosom tvrdoće materijala i količine dijelova. Izborom tastera "Generiši polazni oblika dijela", na automatizovan način, vrši se generisanje polaznog oblika dijela. Polazni oblik dijela predstavlja zapreminski model prethodno

definisanog oblika dijela sa gabaritnim dimenzijama i oznakom materijala. Gabaritne dimenzije i materijal polaznog oblika dijela su u funkciji tehničkih parametara proizvoda.



Slika 7.23 Generisanje polaznog oblika dijela

Detaljno projektovanje dijela

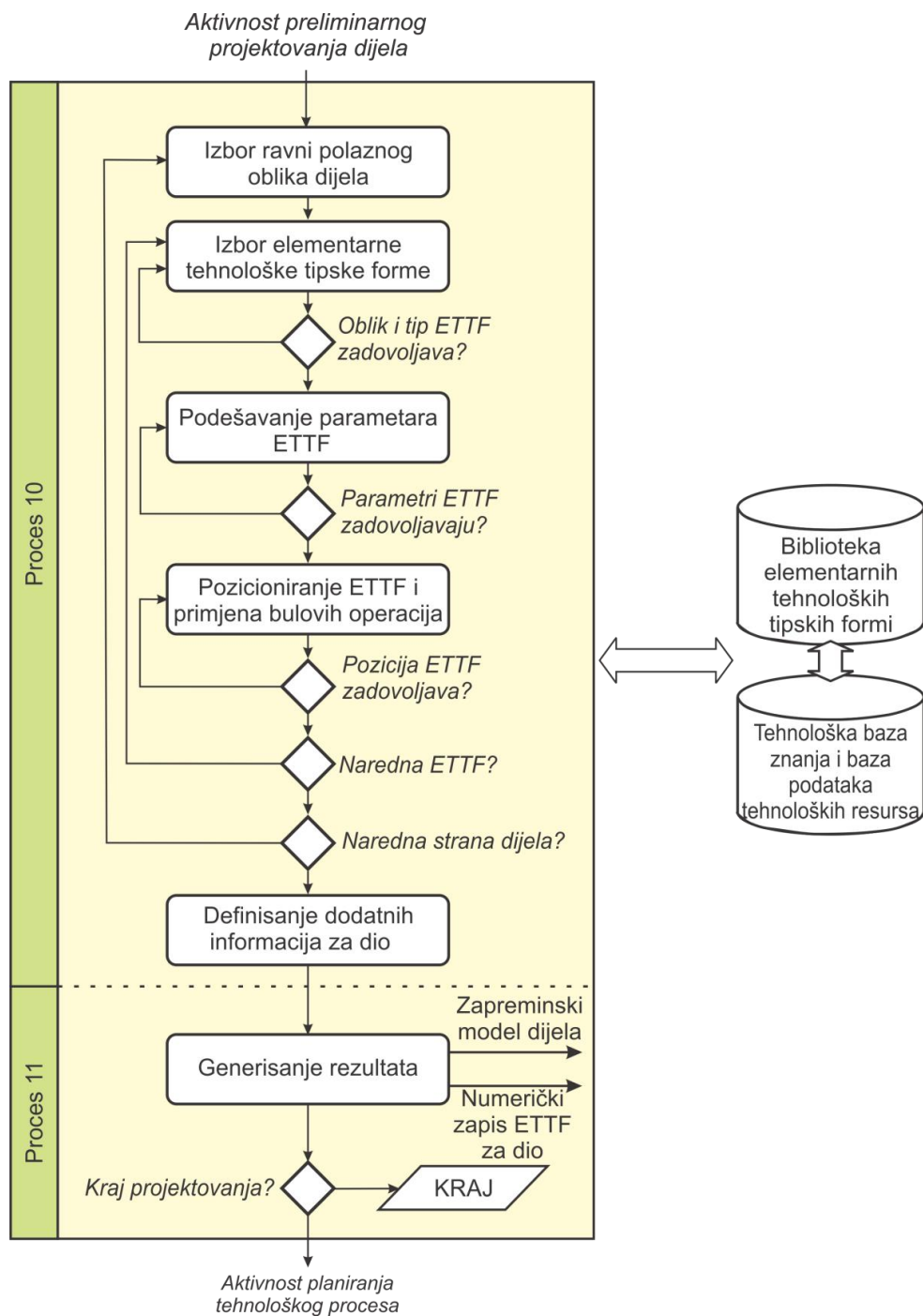
Rezultat preliminarne projektovanja predstavlja zapreminski model polaznog oblika dijela, koji u isto vrijeme predstavlja ulaz u aktivnost detaljnog projektovanja dijela. Aktivnost detaljnog projektovanja dijela vrši se u saglasnosti sa programskim procesima 10 i 11, prikazanim na slici 7.24.

Detaljno projektovanje dijela vrši se na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi (ETTF). Postupak detaljnog projektovanja/modeliranja dijela (Proces 10) započinje izborom strane polaznog oblika dijela. Izbor strane polaznog oblika dijela povezan je sa aktiviranjem smjernica za njegovo detaljno projektovanje.

Na osnovu smjernica, izvršni projektant vrši izbor zapreminskog modela ETTF iz odgovarajuće biblioteke. Izabrani zapreminski model ETTF pozicionira se u odnosu na zapreminski model polaznog oblika dijela. Primjenom Bulove operacije oduzimanja, zapreminski model ETTF kombinuje se sa zapreminskim modelom polaznog oblika dijela. Postupak se ponavlja za sve naredne ETTF i sve naredne strane zapreminskog modela dijela. Nakon završenog postupka projektovanja na bazi ETTF, vrši se definisanje dodatnih informacija. Definisanje dodatnih informacija za dio obuhvata definisanje tolerancija položaja ETTF, napomena i specijalnih tehnoloških tipskih formi.

Nakon završenog detaljnog projektovanja vrši se generisanje rezultata detaljnog projektovanja dijela (Proces 11). Generisanje rezultata iz aktivnosti detaljnog projektovanja obuhvata informacije u obliku zapreminskog modela dijela i numeričkog zapisa ETTF za dio.

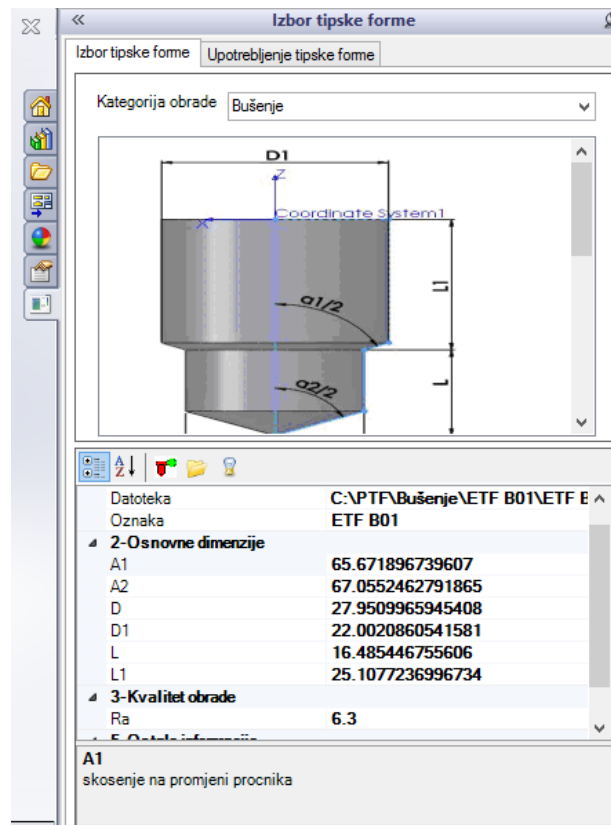
Ukoliko generisanje rezultata iz aktivnosti detaljnog projektovanje dijela predstavlja krajnji cilj izvršnog projektanta, tada izvršni projektant prekida proces projektovanja. U tom slučaju, aktivnost planiranja tehnoloških procesa za dio ostaje nedovršena.




Slika 7.24 Struktura aktivnosti detaljnog projektovanja dijela prema razvijenim programskim procesima

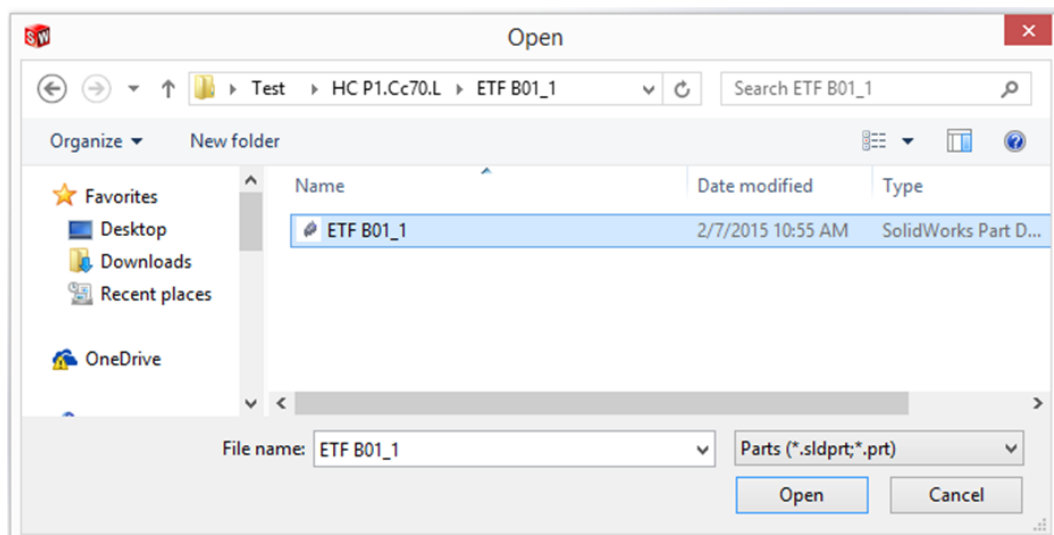
Proces detaljnog projektovanja dijela odvija se prema sljedećem scenariju:

- Izvršni projektant vrši izbor elementarne tehnološke tipske forme prema kategoriji obrade (Slika 7.25). Nakon izbora ETTF vrši se podešavanje geometrijskih, tehnoloških i ostalih parametara ETTF,



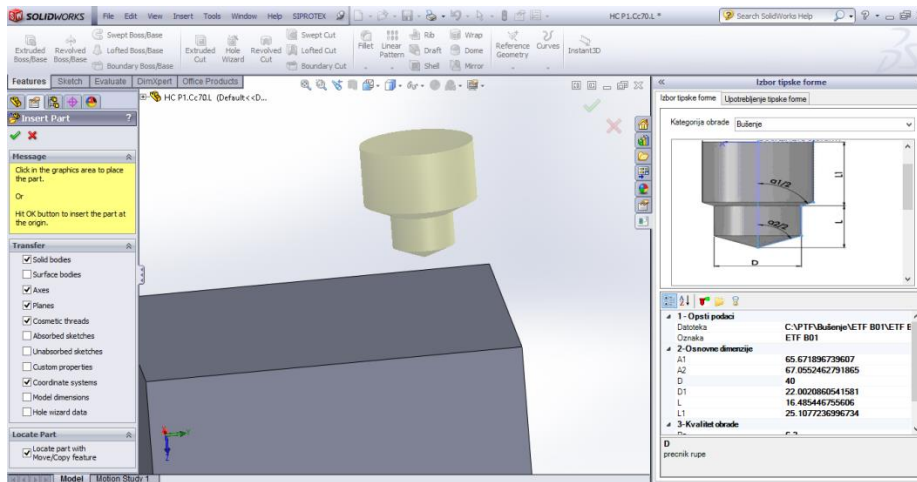
Slika 7.25 Izbor i podešavanje ETTF

- Izborom tastera , vrši se generisanje potomka ETTF na osnovu generičke definicije roditelj ETTF koja se nalazi u biblioteci ETTF. Generisanje potomka ETTF vrši se u lokaciji radnog direktorijuma programskog sistema (Slika 7.26),



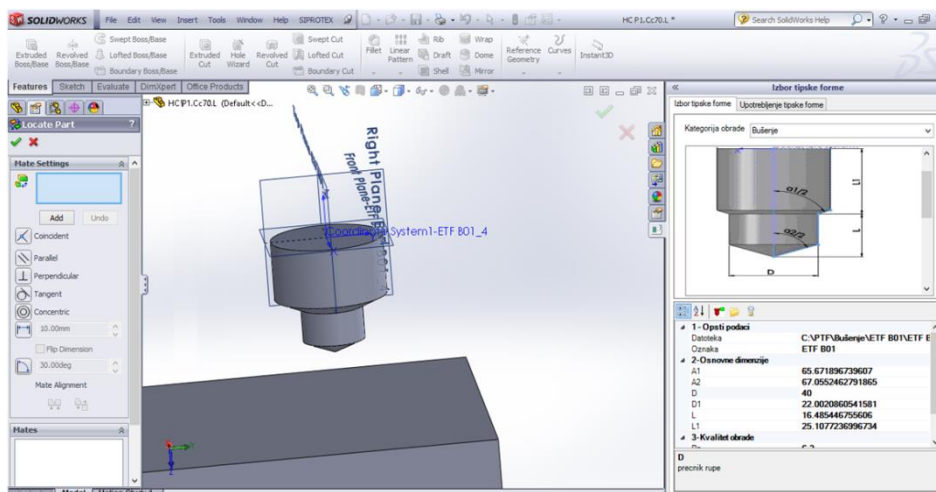
Slika 7.26 Izbor potomka ETTF iz radnog direktorijuma

- Izborom potomka ETTF vrši se uključivanje zapreminskog modela ETTF u prostor modela programskog sistema SolidWorks (Slika 7.27),



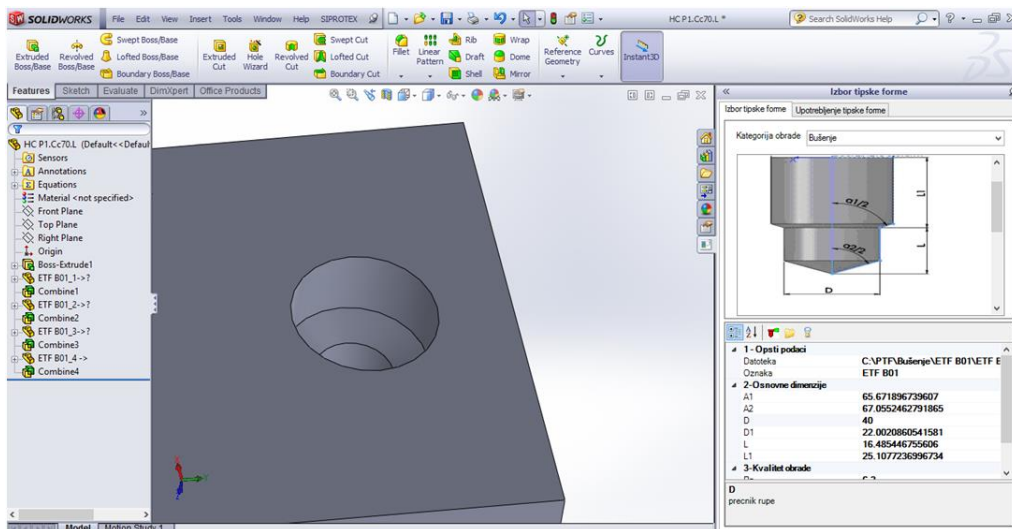
Slika 7.27 Uključivanje zapreminskog modela ETTF

- Pozicioniranje zapreminskog modela ETTF u odnosu na zapreminski model polaznog oblika dijela vrši se primjenom standardnih alata programskog sistema SolidWorks Insert Part i Locate Part (Slika 7.28). Navedeni programski alati su programski prilagođeni u svrhu minimizacije stepena interakcije korisnik – izvršni projektant.



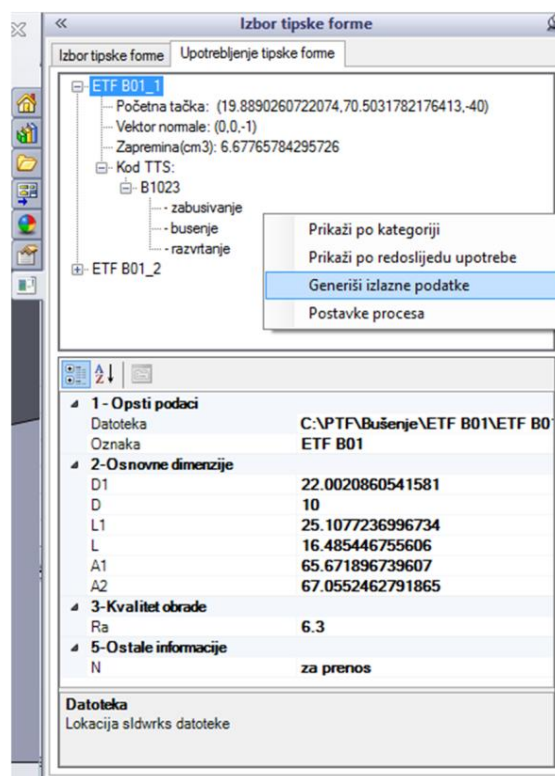
Slika 7.28 Pozicioniranje zapreminskog modela ETTF

- Primjena Bulove operacije oduzimanja zapreminskog modela ETTF u odnosu na zapreminski model polaznog oblika dijela vrši se primjenom standardnog alata Feature Combine (Slika 7.29). Programski alat Feature Combine programski je prilagođen u svrhu minimizacije stepena interakcije korisnika – izvršnog projektanta,
- Proces detaljnog projektovanja dijela nastavlja se izborom naredne ETTF, podešavanjem parametara ETTF, pozicioniranjem ETTF i primjenom Bulove operacije oduzimanja. Proces detaljnog projektovanja ponavlja se do definisanja finalnog oblika zapreminskog modela dijela. Definisanje dodatnih informacija za dio, vrši se primjenom standardnih alata programskog sistema SolidWorks.

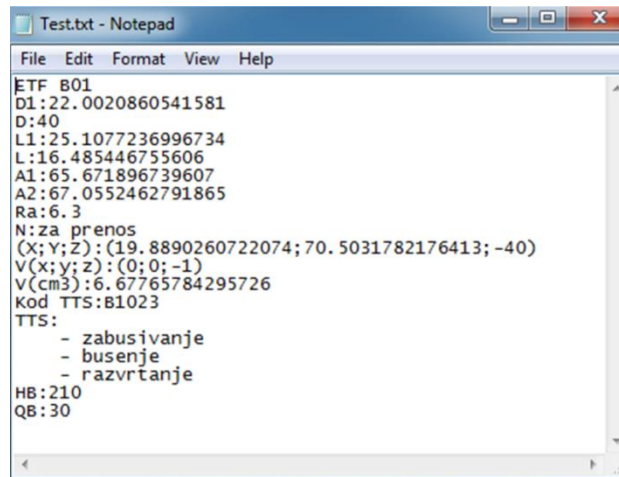


Slika 7.29 Primjena Bulove operacije oduzimanja

- Završetkom procesa detaljnog projektovanja, odnosno formiranjem finalnog oblika zapreminskog modela dijela, vrši se generisanje rezultata detaljnog projektovanja. Rezultati detaljnog projektovanja dijela obuhvataju zapreminski model dijela i numerički zapis ETTF za dio. Generisanje numeričkog zapisa ETTF vrši se izborom programskog tastera iz glavnog menija „Upotrebljene tipske forme“ i izborom opcije „Generisanje numeričkog zapisa ETTF za dio“ (Slika 7.30). Izborom ove opcije, vrši se memorisanje .txt datoteke koja sadrži informacije prema strukturi podataka prikazanoj na slici 6.16. Primjer segmenta numeričkog zapisa ETTF za dio prikazan je na slici 7.31.



Slika 7.30 Generisanje rezultata detaljnog projektovanja dijela



Slika 7.31 Segment numeričkog zapisa ETTF za dio

Važno je napomenuti, da je detaljno projektovanje dijela moguće izvršiti bez povezanosti sa prethodno generisanim informacijama iz aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda i preliminarog projektovanja dijela. U tom slučaju ne koriste se smjernice za detaljno projektovanje dijela. Izvršni projektant, na osnovu svog iskustva, vrši modeliranje zapreminskog modela polaznog oblika dijela, izbor i pozicioniranje ETTF. Rezultat ovog načina projektovanja podudara se sa prethodno opisanim rezultatima detaljnog projektovanja dijela.

Planiranje tehnološkog procesa

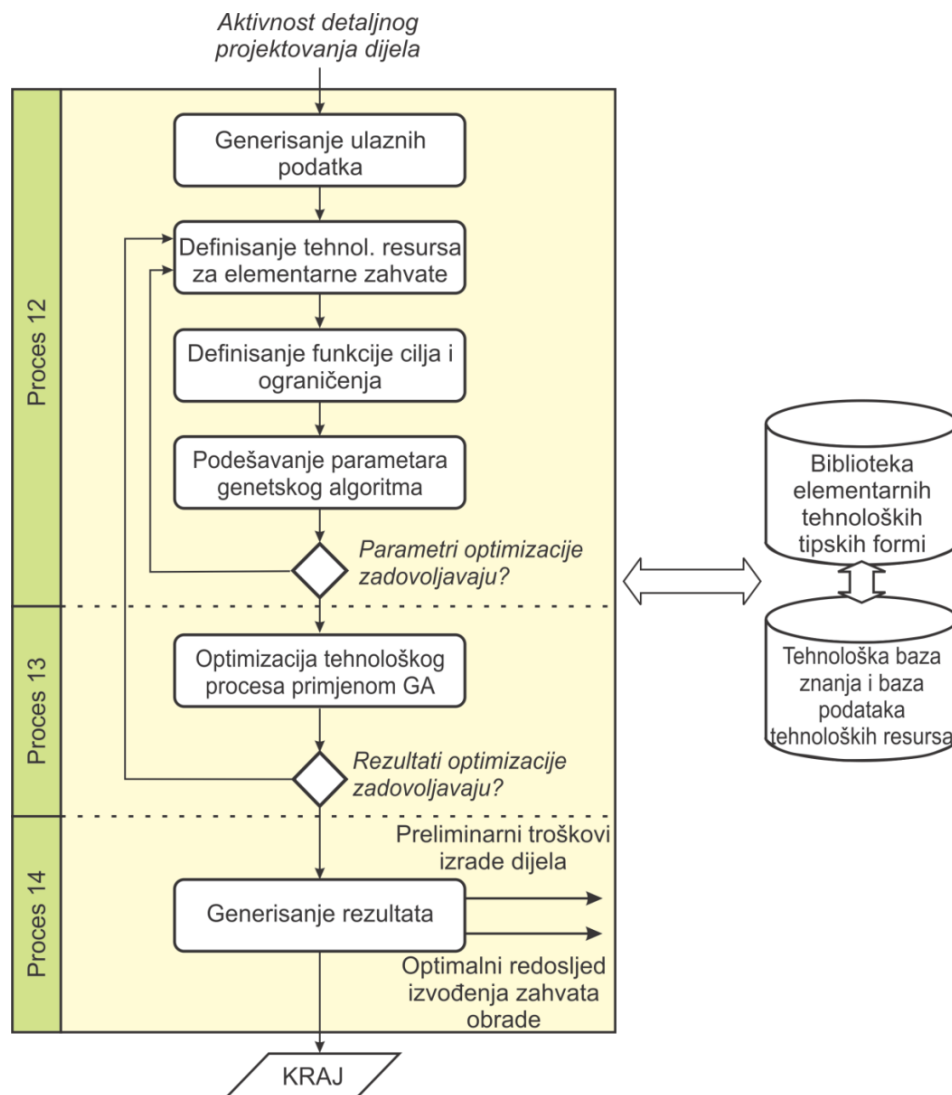
Aktivnost planiranja tehnološkog procesa, za prethodno detaljno projektovani dio, vrši se u saglasnosti sa programskim procesima 12,13 i 14 prikazanim na slici 7.32.

Planiranje tehnološkog procesa, implementirano je preko optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade primjenom genetskih algoritama. Optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade primjenom genetskih algoritama bazira se na iznalaženju optimalnog redosljeda izvođenja zahvata obrade korišćenjem razvijene funkcije cilja i tehnoloških ograničenja.

Postupak planiranja tehnološkog procesa započinje definisanjem neophodnih parametara za optimizaciju redosljeda zahvata obrade (Proces 12):

- *Preuzimanjem ulaznih podataka iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova,*
- *Definisanjem tehnoloških resursa,*
- *Definisanjem funkcije cilja i ograničenja i*
- *Podešavanjem parametra genetskog algoritma.*

Preuzimanje ulaznih podataka iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova, obuhvata preuzimanje podataka o elementarnim tehnološkim tipskim formama, tehnološkim tipskim zahvatima i pravcima prilaza alata. Preuzimanje ulaznih podataka vrši se na automatizovan način. Definisanje tehnoloških resursa vrši se dodjeljivanjem liste mašina i liste alata postojećim elementarnim zahvatima. Definisanje parametra funkcije cilja odnosi se na definisanje vrijednosti odgovarajućih preliminaranih troškova obrade, a definisanje ograničenja u vidu određivanja prethođenja elementarnih zahvata. Podešavanjem parametara genetskog algoritma određuju se karakteristične numeričke vrijednosti za sjeme generatora, broj generacija, broj mutacija i vjerovatnoću mutacije.



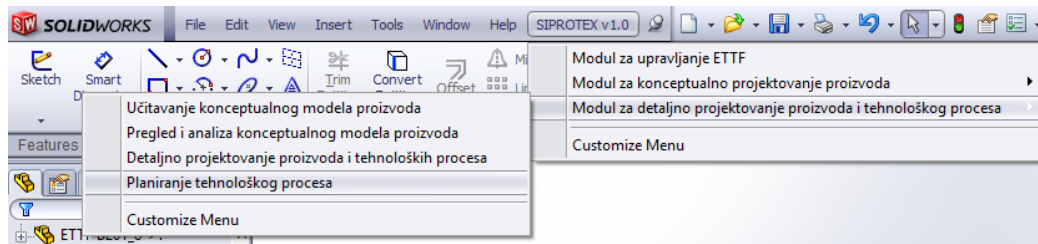
Slika 7.32 Struktura aktivnosti planiranja tehnološkog procesa prema razvijenim programskim procesima

Postupak optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade vrši se aktiviranjem mehanizma genetskog algoritma (Proces 13). Postupak optimizacije vrši se u nekoliko iteracija do dostizanja minimalnih ukupnih troškova obrade dijela. U svakoj iteraciji vrši se izmjena parametara genetskog algoritma. Kombinacija redosljeda izvođenja zahvata obrade, koja generiše minimalne ukupne troškove obrade dijela, uz prethodno zadovoljene uslove i ograničenja, predstavlja optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade.

Nakon izvršene aktivnosti planiranja tehnološkog procesa vrši se generisanje rezultata optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade (Proces 14). Generisanje rezultata iz aktivnosti planiranja tehnološkog procesa obuhvata informacije u obliku numeričkog zapisa optimalnog redosljeda izvođenja zahvata obrade i preliminarnih ukupnih troškova obrade.

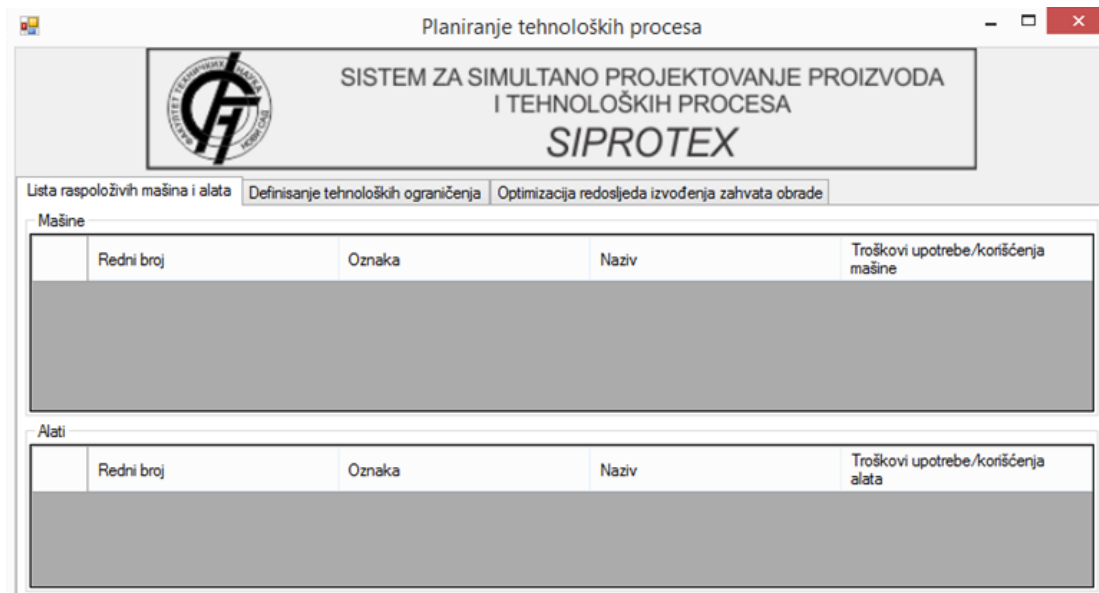
Proces planiranja tehnološkog procesa, odvija se prema sljedećem scenariju:

- Izvršni projektant vrši izbor aktivnosti "Planiranje tehnološkog procesa" (slika 7.33),



Slika 7.33 Izbor aktivnosti planiranja tehnološkog procesa

- Izborom aktivnosti planiranja tehnološkog procesa, aktivira se dijalog prozor pomoću koga se vrši podešavanje parametara za optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata obrade (Slika 7.34). U okviru dijalog prozora, izvršni projektant prvo učitava liste mašina i liste alata. Liste mašina i alata sadrže raspoložive vrste i tipove mašina i alata, kao i jedinične troškove njihove upotrebe. Liste mašina i alata memorisane su u bazi tehnoloških resursa,



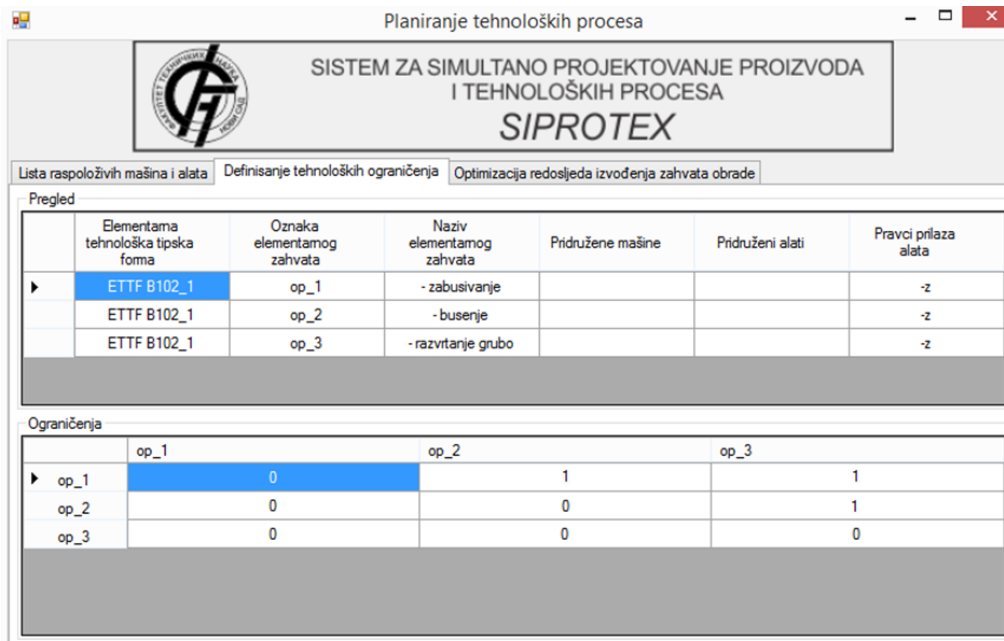
Slika 7.34 Dijalog prozor za realizaciju aktivnosti planiranja tehnološkog procesa

- U dijelu dijalog prozora, koji se aktivira tasterom „Definisanje tehnoloških ograničenja“, pod stavkom „Pregled“ vrši se preuzimanje podataka iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijela i dodijeljivanje listi mašina i alata za obradu pojedinačnih elementarnih zahvata (Slika 7.35).

Podaci u vidu oznake ETTF, oznake elementarnog zahvata, naziva elementarnog zahvata i pravca prilaza alata za posmatrani elementarni zahvat, preuzimaju se iz aktivnosti detaljnog projektovanja dijela. Dodijeljivanje listi mašina i alata za realizaciju elementarnih zahvata vrši se na interaktivan način.

U dijelu dijalog prozora, koji se aktivira tasterom „Definisanje tehnoloških ograničenja“, pod stavkom „Ograničenja“ vrši se definisanje ograničenja u vidu prethođenja elementarnih zahvata. Ukoliko postoji ograničenje prethođenja posmatranog elementarnog zahvata u odgovarajuće polje potrebno je upisati cifru 1. U

suprotnom, u odgovarajućem polju potrebno je upisati cifru 0. Definisane ograničenja prethodjenja elementarnih zahvata vrši izvršni projektant na interaktivan način i



Slika 7.35 Definisane tehnoloških ograničenja

- Nakon definisanja tehnoloških ograničenja, izvršni projektant aktivira taster „Optimizacija primjenom GA“. U okviru ovog dijalog prozora vrši se podešavanje parametara funkcije cilja, podešavanje parametara genetskog algoritma, optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade i memorisanje dobijenih rezultata (Slika 7.36).

Pod oznakom „Troškovi“ izvršni projektant definiše iznos troškova izmjene mašine, alata i troškova izmjene stezanja. Pod oznakom „Parametri genetskog algoritma“ izvršni projektant definiše karakteristične parametre genetskog algoritma.

Nakon definisanja potrebnih parametara, vrši se optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade izborom tastera „Pokreni postupak optimizacije“. Po završetku postupka optimizacije, izvršni projektant vrši korekciju parametara genetskog algoritma u cilju generisanja minimalnih ukupnih troškova obrade dijela.

Nakon generisanja minimalnih ukupnih troškova obrade dijela, dakle troškova za optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade, izvršni projektant memoriše dobijene rezultate. Memorisanje dobijenih rezultata vrši se izborom tastera „Memoriši podešavanja i rezultat“. Rezultat aktivnosti planiranja tehnoloških procesa sadrži informacije prema strukturama podataka prikazanim na slikama 6.30 i 6.31.



Slika 7.36 Optimizacija primjenom GA

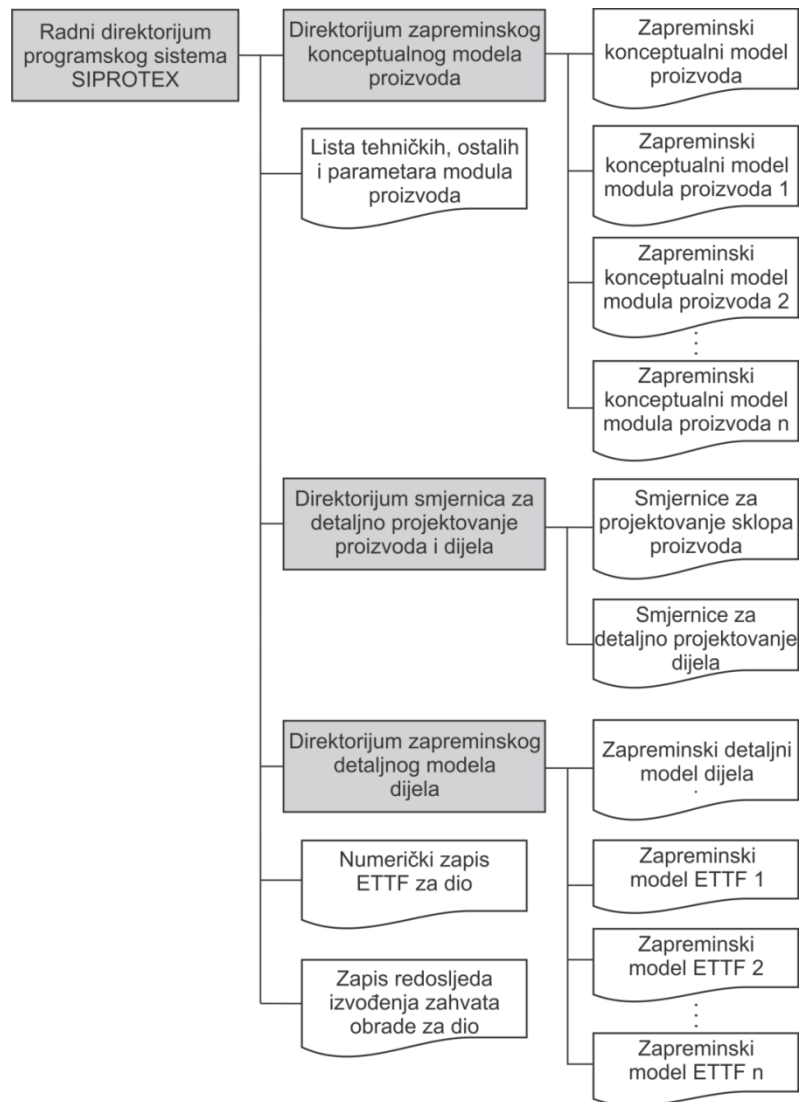
Dobijanjem i memorisanjem rezultata aktivnosti planiranja tehnoloških procesa, završen je proces simultanog projektovanja dijelova i tehnoloških procesa. Time je implementacija razvijenog programskog sistema SIPROTEX u potpunosti izvršena.

7.2.3 Struktura izlaznih rezultata programskog sistema

Pri razvoju projektnih aktivnosti, u okviru programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, generišu se izlazne informacije. Izlazna informacija predstavlja rezultat predmetnog istraživanja (slika 7.37).

Radni direktorijum programskog sistema definiše se pri realizaciji aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela (Slika 7.15). Radni direktorijum programskog sistema sadrži rezultate konceptualnog projektovanja proizvoda u vidu direktorijuma zapreminskog konceptualnog modela proizvoda i liste tehničkih, ostalih i parametara modula proizvoda. Direktorijum zapreminskog konceptualnog modela proizvoda sadrži zapreminski konceptualni model proizvoda i zapreminske konceptualne modele sastavnih modula proizvoda.

Rezultati detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa sadržani su u direktorijumu smjernica za detaljno projektovanje proizvoda, direktorijumu zapreminskog detaljnog modela dijela, numeričkom zapisu ETTF za dio i zapisu redosleda izvođenja zahvata obrade. Direktorijum smjernica za detaljno projektovanje proizvoda sadrži smjernice za detaljno projektovanje sklopa i dijela proizvoda. Smjernice za detaljno projektovanje sklopa i dijela proizvoda generisane su tokom realizacije aktivnosti detaljnog projektovanja dijela i tehnološkog procesa. Direktorijum zapreminskog detaljnog modela dijela sadrži zapreminski detaljni model dijela i zapreminske modele upotrebljenih ETTF. Zapis redosleda izvođenja zahvata obrade, pored redosleda izvođenja zahvata obrade, sadrži preliminarne ukupne troškove izrade dijela i preliminarne troškove izrade elementarnih zahvata.



Slika 7.37 Struktura izlaznih rezultata programskog sistema SIPROTEX

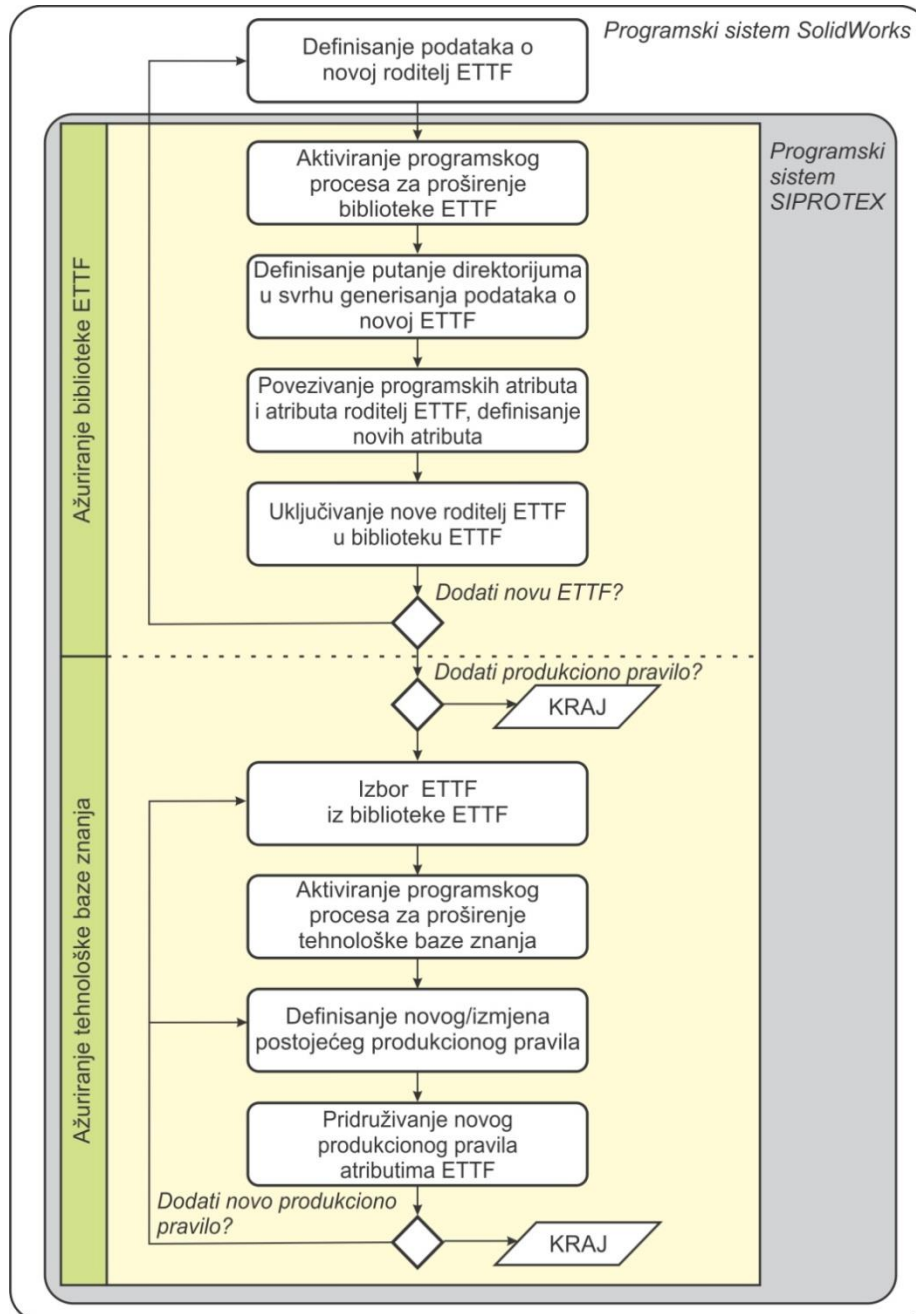
7.2.4 Razvoj programskog modula za upravljanje bazom podataka ETTF

Jedna od ključnih karakteristika programskog sistema SIPROTEX, koja omogućava visok stepen fleksibilnosti i mogućnosti proširenja, obezbijedena je razvojem programskog modula za upravljanje bazom podataka ETTF. Baza podataka ETTF, sastoji se od biblioteke ETTF i tehnološke baze znanja.

Aktivnosti u okviru programskog modula za upravljanje bazom podataka ETTF, vrše se u saglasnosti sa razvijenim programskim procesima za “Ažuriranje biblioteke ETTF” i “Ažuriranje tehnološke baze znanja” (Slika 7.38).

Ažuriranje biblioteke ETTF započinje definisanjem podataka o novoj roditelj ETTF. Definisanje podataka o novoj roditelj ETTF sastoji se od izrade i memorisanja zapreminskog modela i slike nove ETTF, u okviru programskog sistema SolidWorks. Nakon definisanja podataka o novoj roditelj ETTF, u okviru razvijenog modula za upravljanje bibliotekom ETTF i tehnološkom bazom znanja, vrši se aktiviranje programskog procesa za proširenje biblioteke ETTF.

U cilju uključivanja nove roditelj ETTF u biblioteku ETTF vrši se definisanje putanje direktorijuma u kome se nalazi zapreminski model i slika nove roditelj ETTF. Zatim se vrši povezivanje programskih atributa sa postojećim atributima nove roditelj ETTF, kao i definisanje novih atributa. Postojeći atributi nove roditelj ETTF odnose se na geometrijske attribute ETTF. Novi atributi predstavljaju tehnološke i opšte attribute ETTF. Nakon definisanja svih atributa ETTF vrši se uključivanje nove roditelj ETTF u biblioteku ETTF. Postupak se ponavlja u slučaju uključivanja naredene nove roditelj ETTF.



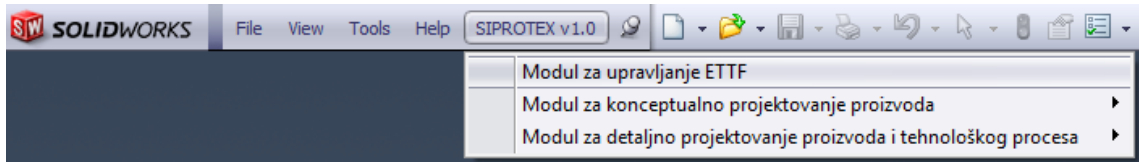
Slika 7.38 Struktura aktivnosti programskog modula za upravljanje bazom podataka ETTF

Ažuriranje tehnološke baze znanja vrši se definisanjem novih ili ažuriranja postojećih produkcionih pravila za postojeće ETTF iz biblioteke ETTF. Ažuriranje tehnološke baze znanja započinje izborom ETTF, za koju se želi definisati novo ili izmjeniti postojeće

produkciono pravilo. Nakon izbora ETTF, vrši se aktiviranje procesa ažuriranja tehnološke baze znanja. U okviru ovog procesa, definiše se novo ili ažurira postojeće produkciono pravilo za izabranu ETTF. Po završetku definisanja (ažuriranja) produkcionog pravila, vrši se pridruživanje produkcionog pravila atributima ETTF. Postupak za definisanje/ažuriranje produkcionog pravila za narednu ETTF, ponavlja se prema prethodno definisanoj proceduri.

Proces upravljanja ETTF, odvija se prema sljedećem scenariju:

- *Izvršni projektant vrši izbor programskog tastera “Modul za upravljanje ETTF” (slika 7.39),*

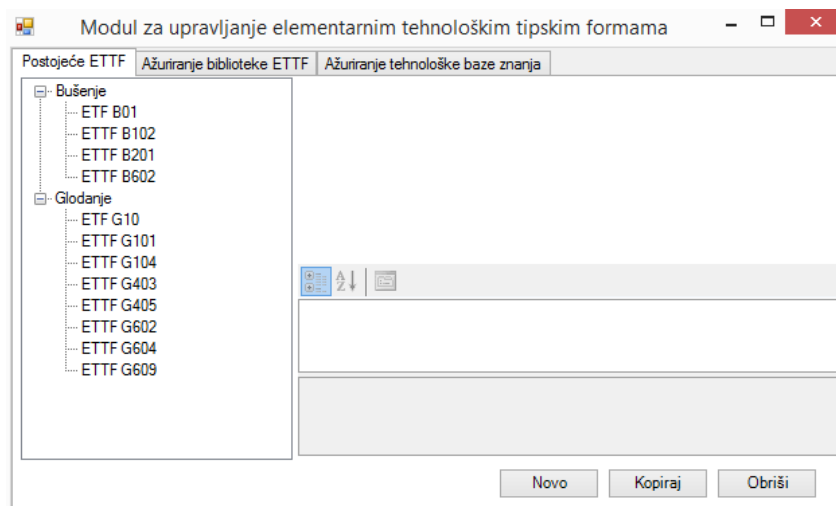


Slika 7.39 Programski taster za aktiviranje modula za upravljanje ETTF

- *Izborom programskog tastera “Modul za upravljanje ETTF”, aktiviraju se programski procesi u okviru modula za upravljanje ETTF, za:*
 - *Prikaz postojećih ETTF,*
 - *Ažuriranje biblioteke ETTF i*
 - *Ažuriranje tehnološke baze znanje.*

Dijalog prozor modula za upravljanje bazom podataka ETTF, sa razvijenim programskim procesima, prikazan je na slici 7.40.

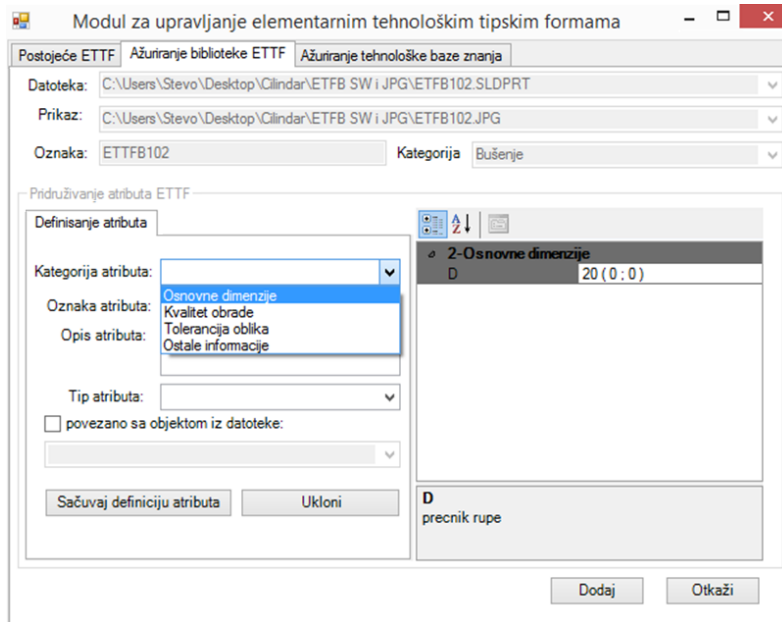
U okviru programskog procesa za prikaz postojećih ETTF obezbijeden je pregled postojećih ETTF koje se nalaze u biblioteci ETTF. ETTF razvrstane su prema rangu tehnologija izrade,



Slika 7.40 Dijalog prozor modula za upravljanje ETTF

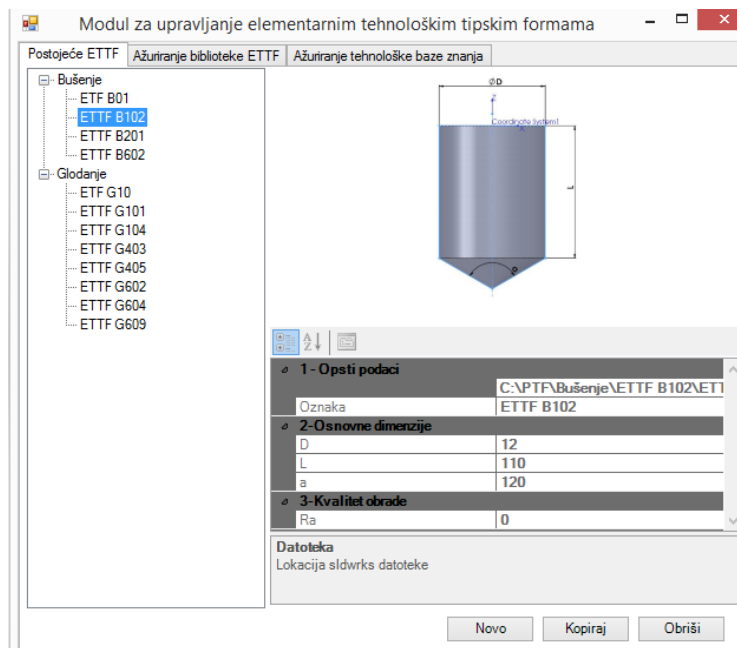
- *Ažuriranje biblioteke ETTF vrši se pomoću dijalog prozora prikazanog na slici 7.41. Izvršni projektant prvo vrši izbor putanje datoteke u kojoj se nalazi zapreminski model i*

slika nove roditelj ETTF. Izvršni projektant zatim definiše oznaku ETTF i pripadnost ETTF dominantnoj tehnologiji obrade (bušenje ili glodanje). Povezivanje postojećih atributa ETTF sa programskim atributima, kao i definisanje (dodijeljivanje) novih atributa ETTF, predstavlja naredni korak prilikom učitavanja nove roditelj ETTF u biblioteku ETTF. Završni korak predstavlja uključivanje nove roditelj ETTF u biblioteku ETTF,



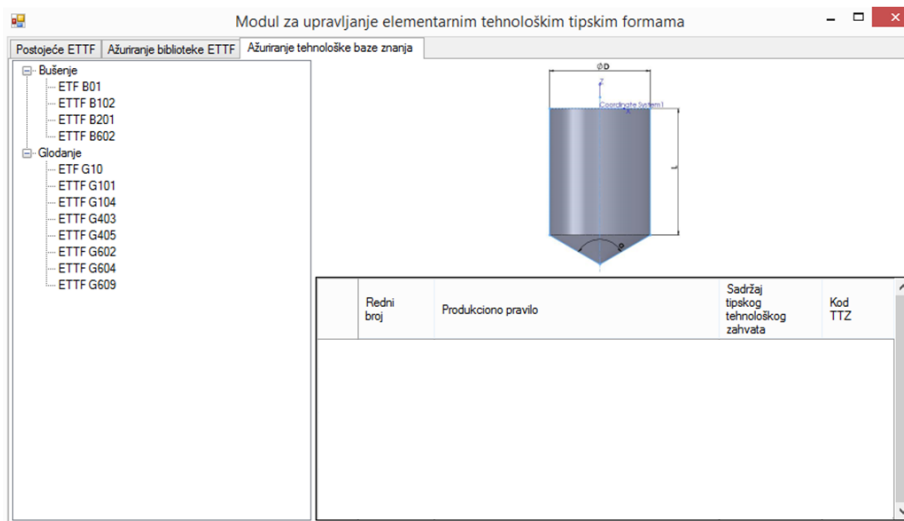
Slika 7.41 Dijalog prozor za ažuriranje biblioteke ETTF

- Nakon procesa ažuriranja biblioteke ETTF, prethodno definisani atributi nove roditelj ETTF prikazani su u okviru programskog modula za upravljanje bibliotekom ETTF (Slika 7.42),



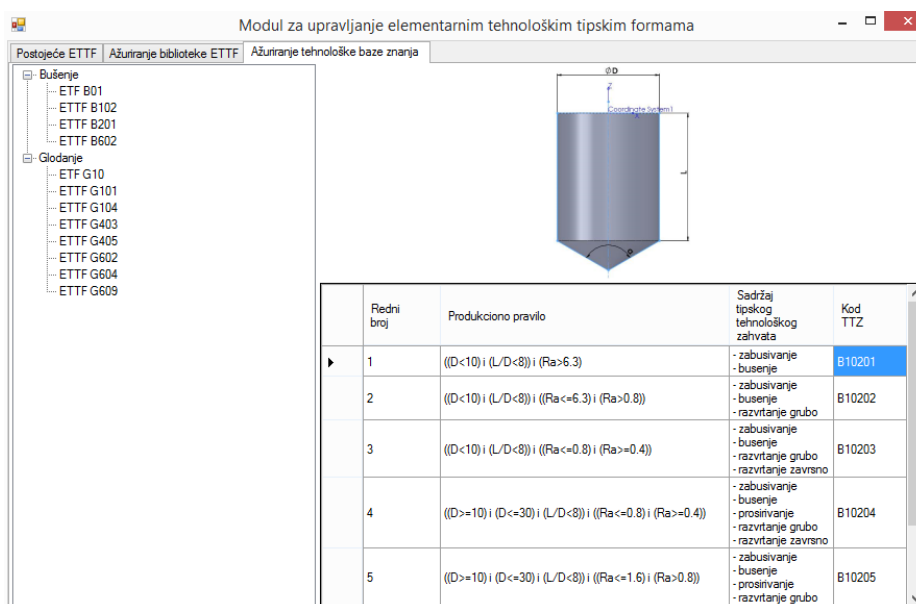
Slika 7.42 Biblioteka ETTF nakon izvršenog procesa ažuriranja

- Ažuriranje tehnološke baze znanja vrši se izborom istoimenog programskog procesa. Izvršni projektant vrši izbor odgovarajuće roditelj ETTF, za koju se vrši definisanje novog ili ažuriranje postojećeg produkcionog pravila (Slika 7.43) i



Slika 7.43 Dijalog prozor za ažuriranje tehnološke baze znanja

- U dijalog prozoru za ažuriranje tehnološke baze znanja, izvršni projektant definiše novo ili vrši korekciju postojećeg produkcionog pravila (Slika 7.44). Produkciono pravilo definiše se u smislu definisanja uslovnog dijela produkcionog pravila i izvršnog dijela produkcionog pravila. Uslovni dio produkcionog pravila u funkciji je sa prethodno definisanim atributima ETTF. Odgovarajućom kombinacijom prethodno definisanih atributa ETTF kreira se uslov produkcionog pravila. Rezultat uslovnog dijela produkcionog pravila u direktnoj je sprezi sa izvršnim dijelom produkcionog pravila. Izvršni dio produkcionog pravila odnosi se na definisanje tehnološkog tipskog zahvata. Tehnološki tipski zahvat (TTZ) sastoji se od oznake i definisanog redosljedja izvođenja elementarnih zahvata.



Slika 7.44 Definisanje novih produkcionih pravila

Definisanjem uslovnog i izvršnog dijela produkcionog pravila u modulu, kao i oznake TTZ, vrši se memorisanje produkcionog pravila u modul za upravljanje bazom podataka ETTF.

Izvršni projektant, u okviru modula za upravljanje bazom podataka ETTF, ima mogućnost definisanja narednog produkcionog pravila za istu roditelj ETTF, ažuriranja postojećeg ili definisanja novog produkcionog pravila za novu roditelj ETTF.

8. PRIMJENA RAZVIJENOG SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA

8.1 UVOD

Primjena razvijenog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršena je na primjeru projektovanja hidraulične prese za ugaono savijanje lima. Projektovanje hidraulične prese za ugaono savijanje lima, prikazano je u dijelu aktivnosti koje obuhvataju:

- *Konceptualno projektovanje hidraulične prese za ugaono savijanje lima i*
- *Detaljno projektovanje hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima.*

Detaljno projektovanje hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima prikazano je preko aktivnosti:

- *Razrade hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima,*
- *Detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra i*
- *Planiranja tehnološkog procesa obrade hidrauličnog cilindra.*

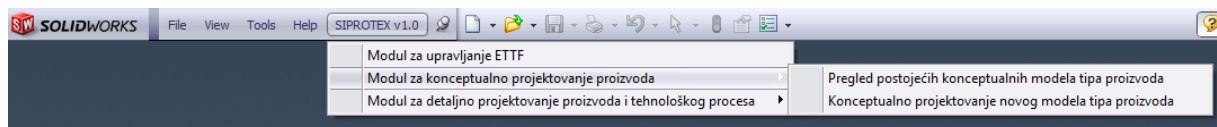
Rezultati primjene razvijenog sistema prezentovani su prema redosljedu realizacije aktivnosti u razvijenom opštem modelu za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.

8.2 KONCEPTUALNO PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNE PRESE ZA UGAONO SAVIJANJE LIMA

Konceptualno projektovanje hidraulične prese za ugaono savijanje lima bazira se na projektovanju zapreminskog konceptualnog modela hidraulične prese za ugaono savijanje lima (HPUSL). Projektovanje zapreminskog konceptualnog modela hidraulične prese za ugaono savijanje lima vrši na osnovu zahtjeva kupaca i smjernica za konceptualno projektovanje HPUSL. Aktivnosti konceptualnog projektovanja HPUSL, u okviru sistema SIPROTEX, vrši vodeći projektant.

Konceptualno projektovanje hidraulične prese za ugaono savijanje lima, vrši se prema sljedećem scenariju:

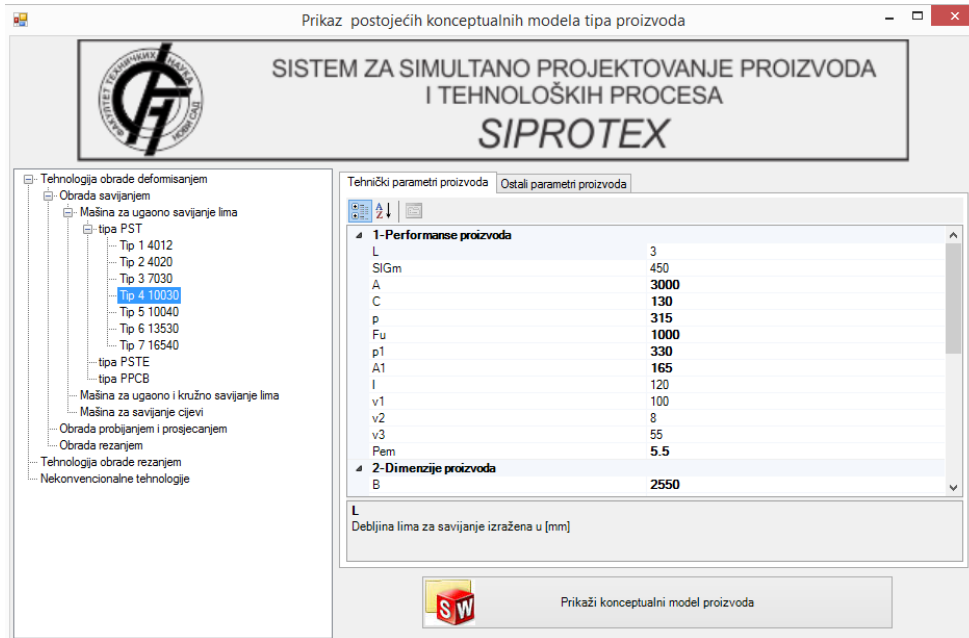
- *Vodeći projektant prvo vrši pokretanje programskog sistema SolidWorks i izbor tastera SIPROTEX v1.0 iz glavnog programskog menija programskog sistema Solidworks. Vodeći projektant započinje konceptualno projektovanje, izborom tastera „Modul za konceptualno projektovanje proizvoda“ (slika 8.1),*



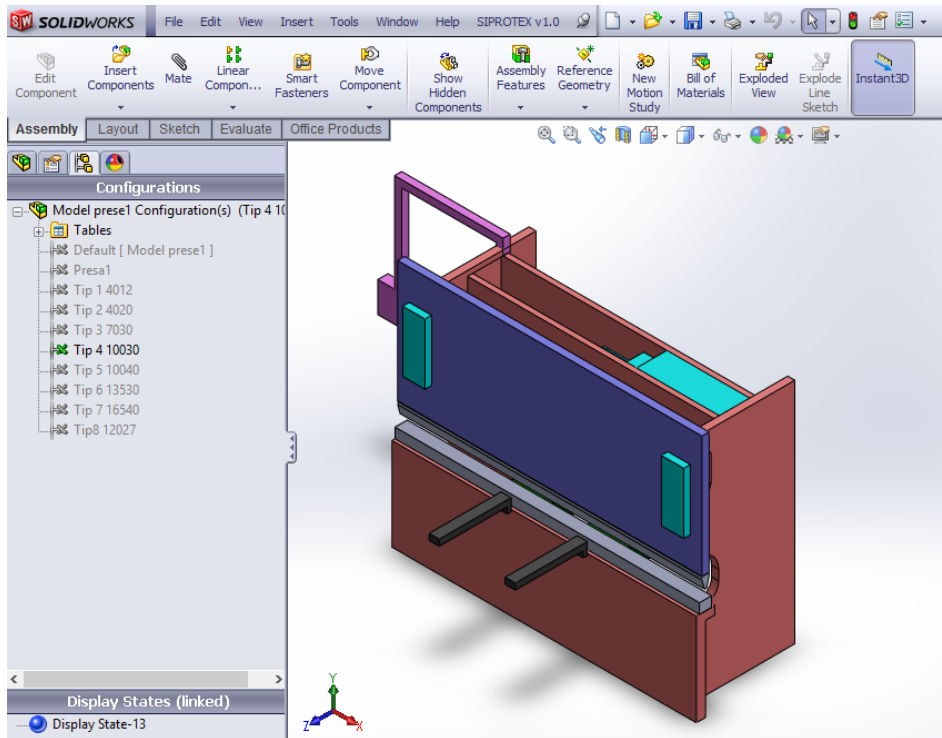
Slika 8.1 Programske aktivnosti u okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda

- *U okviru programskih aktivnosti modula za konceptualno projektovanje proizvoda, vodeći projektant vrši izbor aktivnosti „Pregled postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda“. Pregled postojećih konceptualnih modela tipa proizvoda vrši se u cilju upoznavanja kupca sa postojećim standardnim modelima i tipovima hidrauličnih presa*

za ugaono savijanje lima (slika 8.2). Ukoliko kupac odabere standardni model i tip hidraulične prese za ugaono savijanje lima, proces projektovanja se završava. Pri tom se pretpostavlja da postoji prethodno razvijen detaljni projekat za standardne modele i tipove HPUSL. Zapreminski konceptualni model standardnog tipa hidraulične prese za ugaono savijanje lima PST Tip 4 10030 prikazan je na slici 8.3,



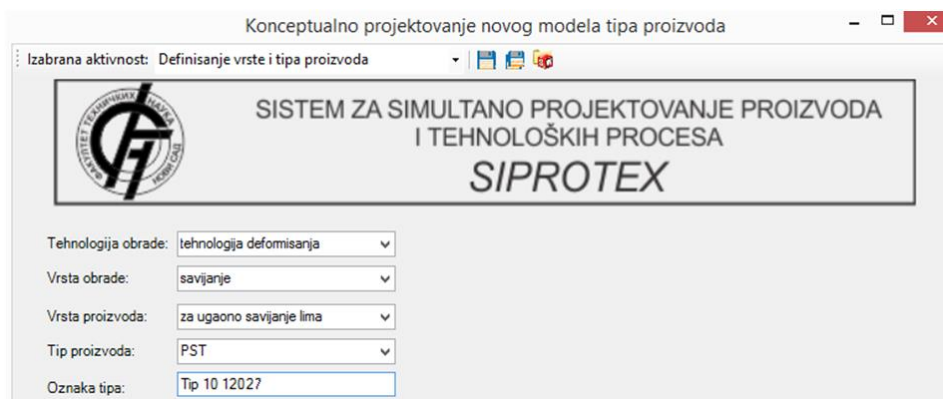
Slika 8.2 Prikaz postojećih standardnih tipova HPUSL



Slika 8.3 Zapreminski konceptualni model HPUSL PST Tip 4 10030

- Ukoliko zahtjeve kupca nije moguće zadovoljiti standardnim modelom i tipom HPUSL, vodeći projektant započinje konceptualno projektovanje novog modela proizvoda. Konceptualno projektovanje novog modela proizvoda vrši se izborom istoimenog tastera iz programskog menija „Modula za konceptualno projektovanje proizvoda“ (slika 8.2).

Vodeći projektant u okviru aktivnosti „Definisanje vrste i tipa proizvoda“ vrši izbor tehnologije, vrste obrade u okviru izabrane tehnologije, vrste proizvoda, tipa proizvoda i definisanje nove oznake tipa proizvoda (Slika 8.4). Novi konceptualni model proizvoda pripada tehnologiji obrade deformisanjem, procesa savijanja, za operacije ugaonog savijanja lima, tipa proizvoda PST i definisane oznake Tip 8 12027. Naziv i oznaka izabrane hidraulične prese za ugaono savijanje lima, u nastavku poglavlja, skraćeno se predstavlja kao HPUSL PST 12027,

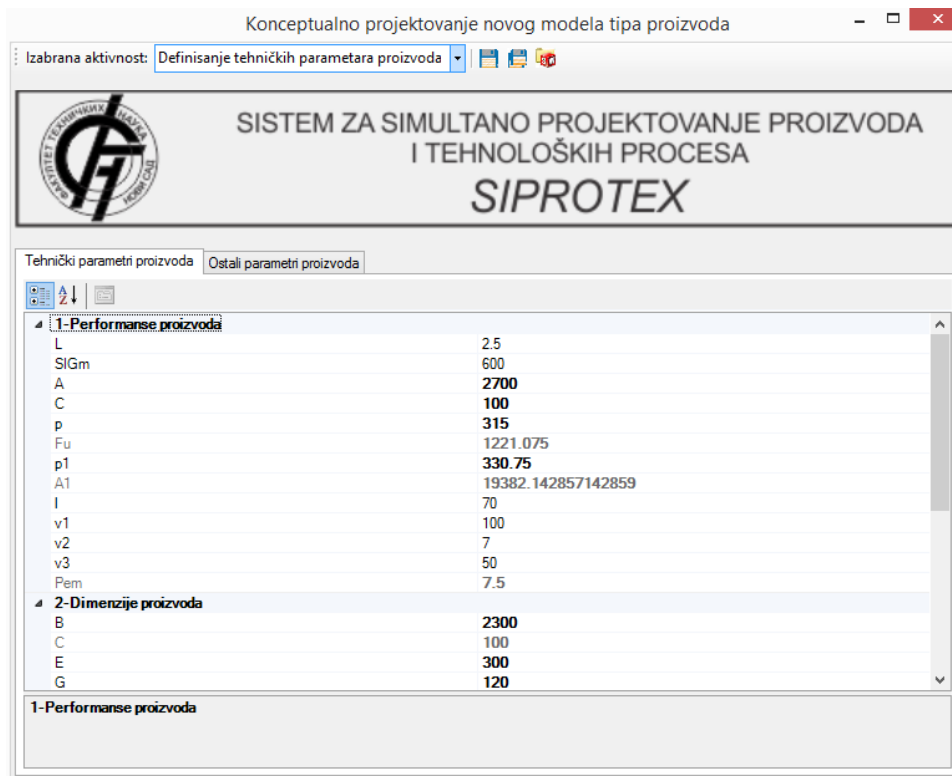


Slika 8.4 Definisanje vrste i tipa HPUSL PST 12027

- U nastavku vodeći projektant vrši izbor aktivnosti „Definisanje tehničkih parametara proizvoda“ (slika 8.5). U okviru ove aktivnosti vodeći projektant, prema zahtjevima kupca, vrši definisanje performansi, dimenzija i ostalih parametara HPUSL PST 12027. Performanse HPUSL PST 12027 (tabela 8.1), koje predstavljaju standardne tehničke karakteristike i zahtjeve kupca, koriste se u svrhu realizacije svih aktivnosti u okviru primjene razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,

Tabela 8.1 Izabrane vrijednosti performansi HPUSL PST 12027

Oznaka performase HPUSL	Naziv performase HPUSL	Vrijednost	Jedinica mjere
L	Debljina lima	2,5	mm
σ_m	Zatezna čvrstoća materijala lima	600	N/mm ²
A	Dužina savijanja	2700	mm
C	Max. hod pritiskivača	100	mm
p	Hidraulični radni pritisak	315	bar
Fu	Max. sila savijanja	1221,075*	kN
A1	Površina porečnog presjeka hidrauličnog cilindra	19382,14*	mm ²
l	Zapremina rezervoara	70	l
v1	Brzina primicanja pritiskivača	100	mm/s
v2	Radna brzina	7	mm/s
v3	Povratna brzina	50	mm/s
Pem	Snaga el. motora	7,5*	kW
*Generisane vrijednosti			




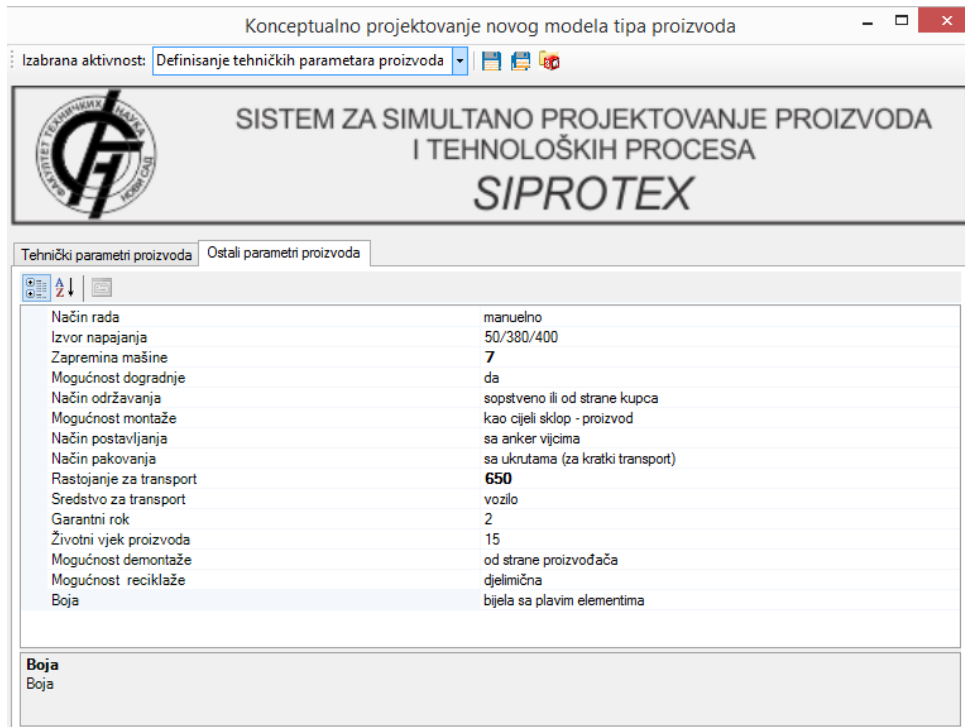
Slika 8.5 Definisane tehničke parametara HPUSL PST 12027

Performanse HPUSL PST 12027, koje se usaglašavaju sa zahtjevima kupca, odnose se na debljinu lima i karakteristike materijala lima za savijanje, radnu dužinu prese, maks. hod pritiskivača, hidraulični radni pritisak, zapreminu rezervoara i brzine savijanja. Na osnovu prethodnih podataka, maks. sila savijanja, poprečni presjek hidrauličnih cilindara, snaga elektromotora i dimenzije HPUSL PST 12027, generišu se na automatizovan način. Sila savijanja je u funkciji debljine lima, materijala lima i radne dužine savijanja. Poprečni presjek hidrauličnih cilindara je u funkciji sile savijanja i radnog pritiska, dok je snaga elektromotora u funkciji sile savijanja, radnog pritiska i brzine savijanja.

Dimenzije HPUSL PST 12027 su u funkciji performansi HPUSL i generišu se na osnovu smjernica za konceptualno projektovanje HPUSL. Generisane dimenzije HPUSL PST 12027 moguće je korigovati u okviru smjernica za konceptualno projektovanje HPUSL. Smjernice u svrhu definisanja dimenzija HPUSL PST 12027, prikazane su u vidu preporučenih graničnih vrijednosti za posmatranu dimenziju.

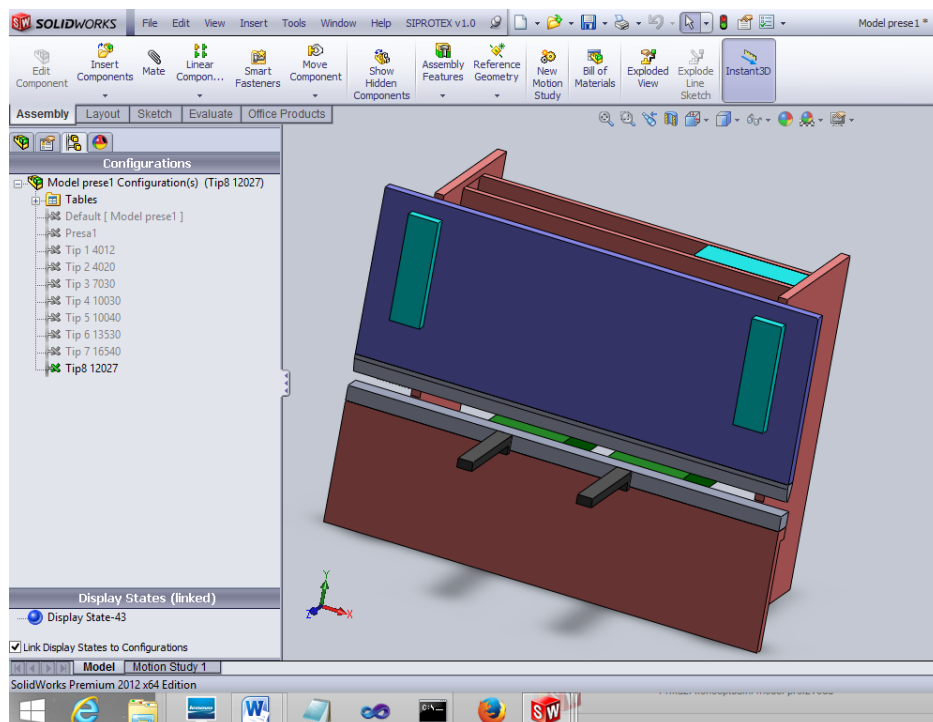
Izbor i definisanje ostalih parametara HPUSL PST 12027 vodeći projektant vrši na osnovu zahtjeva kupca. Ostali parametri definišu se u svrhu kompletiranja neophodnih podataka za realizaciju procesa projektovanja proizvoda. Ostali tehnički parametri HPUSL PST 12027, kao i njihove izabrane vrijednosti, prikazani su na slici 8.6.

- Nakon procesa usaglašavanja tehničkih i ostalih parametara sa kupcem, izvršni projektant vrši generisanje zapreminskog konceptualnog modela HPUSL PST 12027. Generisanje zapreminskog konceptualnog modela HPUSL PST 12027, vrši se izborom tastera ,



Slika 8.6 Definisanje ostalih parametara HPUSL PST 12027

- Nakon generisanja zapreminskog konceptualnog modela proizvoda, vodeći projektant vrši pregled i usaglašavanje modela HPUSL PST 12027 sa zahtjevima kupca, čime se vrši zaključivanje aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda u okviru razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,



Slika 8.7 Zapreminski konceptualni model HPUSL PST 12027

- Rezultat aktivnosti konceptualnog projektovanja HPUSL PST 12027 sastoji se od zapreminskog konceptualnog modela, liste tehničkih parametara i liste ostalih parametara. Zapreminski konceptualni model za ovu presu prikazan je na slici 8.7, dok je lista tehničkih parametara i lista ostalih parametara data u Prilogu 4 i
- Vodeći projektant vrši distribuciju zadataka za detaljno projektovanje proizvoda nakon izvršene aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda. Distribucija zadataka vrši se prema izvršnim projektantima, zaduženim za detaljno projektovanje modula i dijelova proizvoda. Prilikom distribucije zadataka, vodeći projektant definiše dodatne parametre koji se odnose na posmatrani modul proizvoda. Definisanje dodatnih parametara i distribucija zadatka za detaljno projektovanje hidrauličnog modula HPUSL PST 12027 (slika 8.8).

Konceptualno projektovanje novog modela tipa proizvoda

Izabrana aktivnost: Distribucija modula proizvoda

SISTEM ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA
SIPROTEX

TIJELO PRESE
 SISTEM GLAVNOG KRETANJA
 HIDRAULIČNI SISTEM
 SISTEM ELEKTRONAPAJANJA
 SISTEM UPRAVLJANJA
 ZADNJI GRANIČNIK
 BEZBJEDONOSNI SISTEM
 PREDNJI GRANIČNIK
 GORNJI I DONJI ALAT

Max. radni pritisak 315 [bar]
 Max. pritisak pumpe 330.75 [bar]
 Poprečni presjek radne strane hidrauličnog cilindra 19382.1428571429 [mm²]
 Zapremina rezervoara 70 [l]
 Brzina primicanja/spuštanja pritiskivača 100 [mm/s]
 Brzina savijanja 7 [mm/s]
 Povratna brzina pritiskivača 50 [mm/s]
 Snaga glavnog el. motora 7.5 [kW]

Dodatni atributi:

Oznaka atributa	Opis atributa	Tip	Vrijednost
Q_SV	Broj sigurnosnih...	cijeli broj	2
▶ Konstrukcija rez...	konstrukcija	tekst	prilagoditi

Modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa modula proizvod
Nenad Nenadić

Distribuiraj modul proizvoda/zadatak za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

Slik 8.8 Distribucija zadataka za detaljno projektovanje hidrauličnog modula HPUSL PST 12027

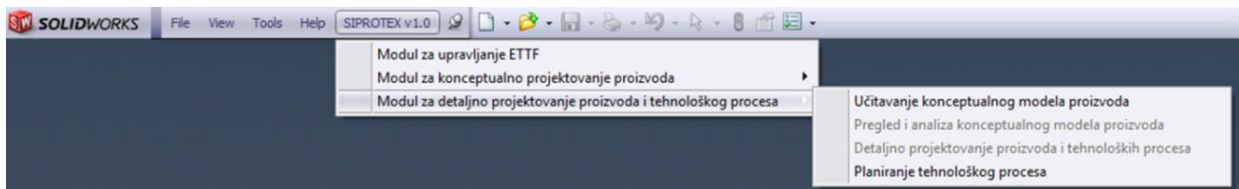
Aktivnost konceptualnog projektovanja HPUSL PST 12027, završena je distribucijom zadatka za detaljno projektovanje hidrauličnog modula HPUSL PST 12027.

8.3 DETALJNO PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNOG MODULA

U okviru primjene razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, detaljno projektovanje hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima prikazano je preko razrade hidrauličnog modula i detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra. Hidraulični cilindar je dio sklopa hidrauličnog cilindra, u okviru hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima.

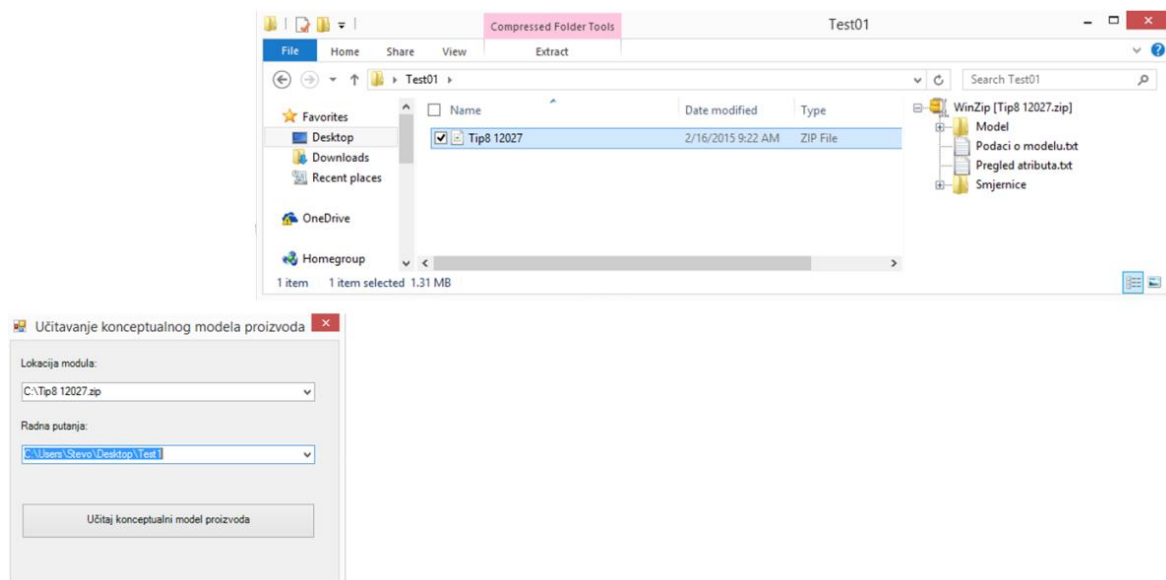
Detaljno projektovanje hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima, vrši se prema sljedećem scenariju:

- Aktivnost detaljnog projektovanja hidrauličnog modula HPUSL PST 12027 izvršni projektant započinje učitavanjem zadatka za detaljno projektovanje ovog modula. Učitavanje zadatka, izvršni projektant vrši izborom tastera „Učitavanje konceptualnog modela proizvoda“ iz programkog menija „Modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa“ (Slika 8.9),



Slika 8.9 Programske aktivnosti u okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa

- Učitavanje zadatka za detaljno projektovanje posmatranog hidrauličnog modula, u vidu konceptualnog modela proizvoda, izvršni projektant vrši preko programskog interfejsa prikazanog na slici 8.10,



Slika 8.10 Programski interfejs za učitavanje zadatka za detaljno projektovanje hidrauličnog modula HPUSL PST 12027

- Nakon učitavanja zadatka za detaljno projektovanje hidrauličnog modula HPUSL, izvršni projektant vrši pregled i analizu konceptualnog modela ove hidraulične prese. Pregled i analiza konceptualnog modela hidraulične prese HPUSL PST 12027 sastoji se od:
 - Pregleda tehničkih parametara, performansi (slika 8.11) i dimenzija (slika 8.12),
 - Pregleda ostalih parametara (slika 8.13),
 - Pregleda parametra modula (slika 8.14) i
 - Pregleda i analize zapreminskog konceptualnog modela.

The screenshot shows a software window with three tabs: 'Tehnički parametri proizvoda', 'Ostali parametri proizvoda', and 'Parametri modula proizvoda'. The 'Tehnički parametri proizvoda' tab is active, displaying a list of parameters under the heading '1-Performanse proizvoda'. Below the list, there is a section for 'L' (Debljina lima za savijanje izražena u [mm]) and a button labeled 'Prikaži konceptualni model proizvoda' with a SW logo.

1-Performanse proizvoda	
L	2.5
SlGm	600
A	2700
C	100
p	315
Fu	1221.075
p1	330.75
A1	19382.1428571429
I	70
v1	100
v2	7
v3	50
Pem	7.5

L
Debljina lima za savijanje izražena u [mm]

Prikaži konceptualni model proizvoda

Slika 8.11 Performanse HPUSL PST 12027

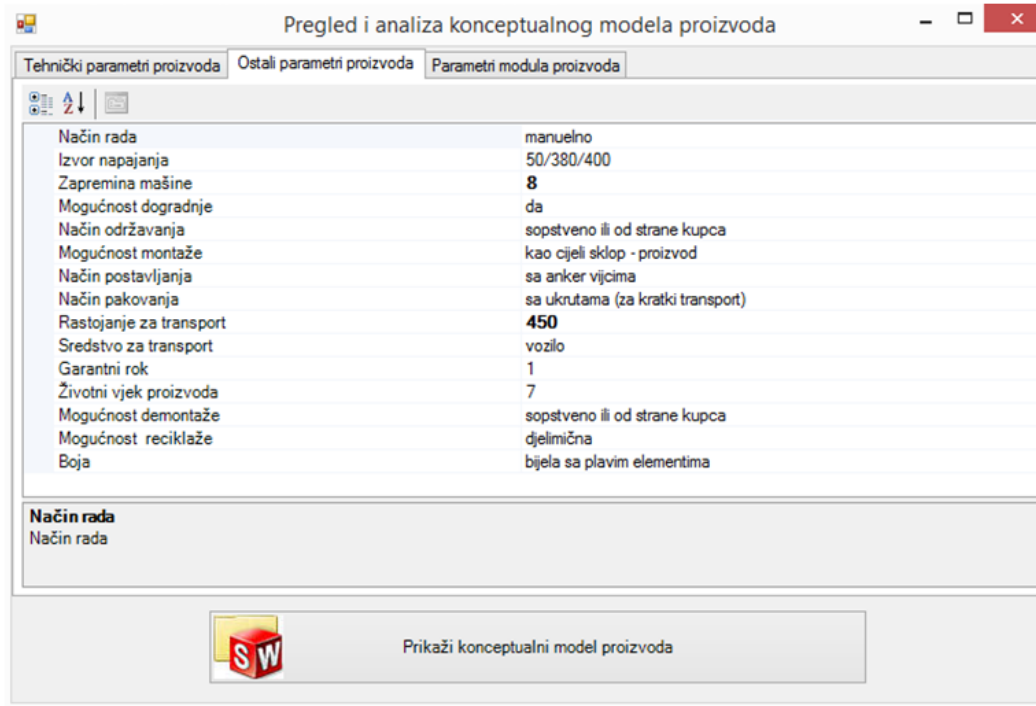
The screenshot shows the same software window as Slika 8.11, but with the '2-Dimenzije proizvoda' section expanded. The 'Pem' parameter is now at the top of the list. Below the list, there is a section for 'B' (Rastojanje između stranica) and a button labeled 'Prikaži konceptualni model proizvoda' with a SW logo.

2-Dimenzije proizvoda	
Pem	7.5
B	2300
C	100
E	300
G	120
P	2200
F	230
h	800
U	60
L	2400
H	2200
J	1200
K	350
R	350
S	700
Z	1000
Z1	500
Z2	800
VC	700
SC	200

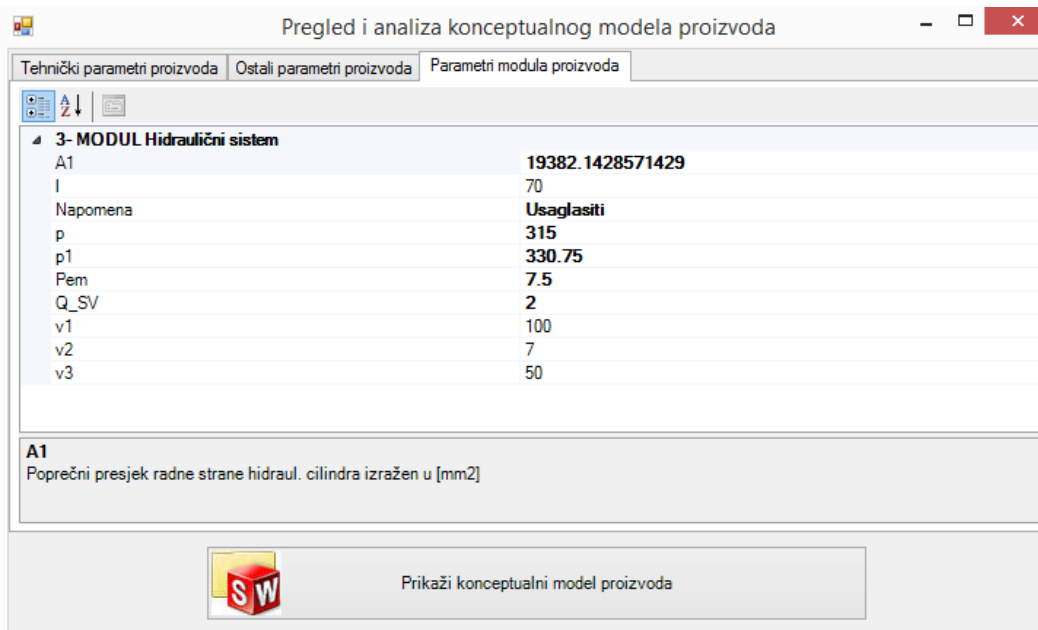
B
Rastojanje između stranica

Prikaži konceptualni model proizvoda

Slika 8.12 Dimenzije HPUSL PST 12027



Slika 8.13 Ostali parametri HPUSL PST 12027

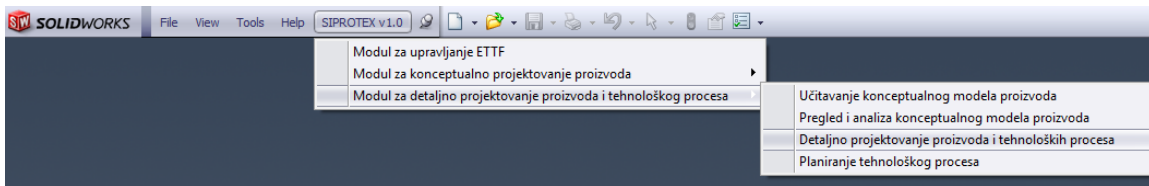


Slika 8.14 Parametri hidrauličnog modula HPUSL PST 12027

8.3.1 Preliminarno projektovanje zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra

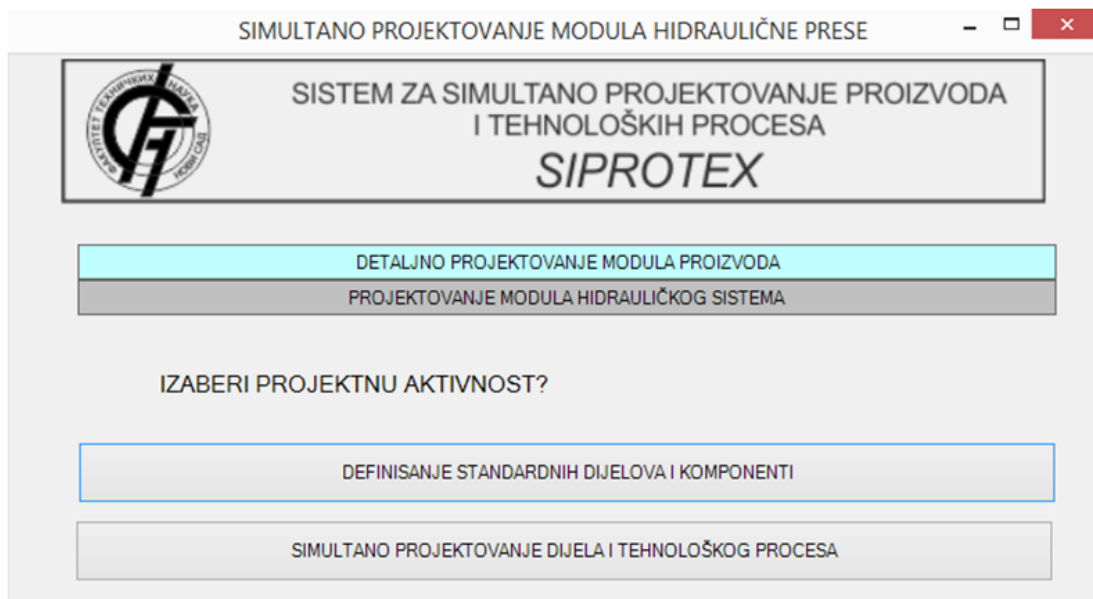
- Izvršni projektant nastavlja aktivnost detaljnog projektovanja hidrauličnog modula HPUSL PST 12027 izborom programskog tastera „Detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa“ iz programskog menija „Modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa“ (Slika 8.15). Programski taster „Detaljno

projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa“ postaje aktivan nakon učitavanja, pregleda i analize konceptualnog modela proizvoda,



Slika 8.15 Programski taster za detaljno projektovanje proizvoda i tehnološkog procesa

- Naredni korak u okviru detaljnog projektovanja, hidrauličnog modula, predstavlja izbor projektne aktivnosti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Izborom istoimenog programskog tastera izvršni projektant započinje projektnu aktivnost simultanog projektovanja dijela i tehnološkog procesa (Slika 8.16). Simultano projektovanje dijela i tehnološkog procesa sastoji se od aktivnosti preliminarnog projektovanja dijela, detaljnog projektovanja dijela i planiranja tehnološkog procesa njegove izrade,
- Prethodnim izborom tastera, izvršni projektant započinje preliminarno projektovanje zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra,



Slika 8.16 Izbor aktivnosti simultano projektovanje dijela i tehnološkog procesa

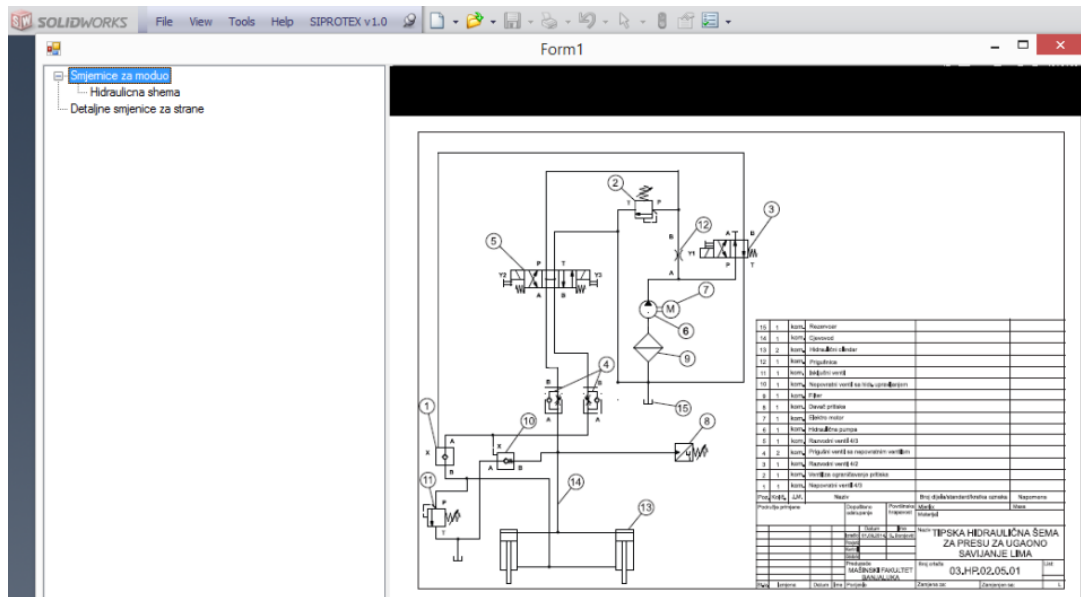
- Nakon izbora aktivnosti simultanog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, izvršni projektant vrši izbor sklopa u okviru hidrauličnog modula HPUSL PST 12027. U svrhu nastavka razrade hidrauličnog modula, izvršni projektant vrši izbor sklopa hidrauličnog cilindra (Slika 8.17). Izborom sklopa hidrauličnog cilindra, aktiviraju se smjernice za detaljno projektovanje sklopa i sastavnih dijelova sklopa (8.18). Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra i njegovih sastavnih dijelova, sastoje se od tipske hidraulične šeme (Slika 8.19) i konceptualnog modela hidrauličnog cilindra za HPUSL tipa PST (Slika 8.20),



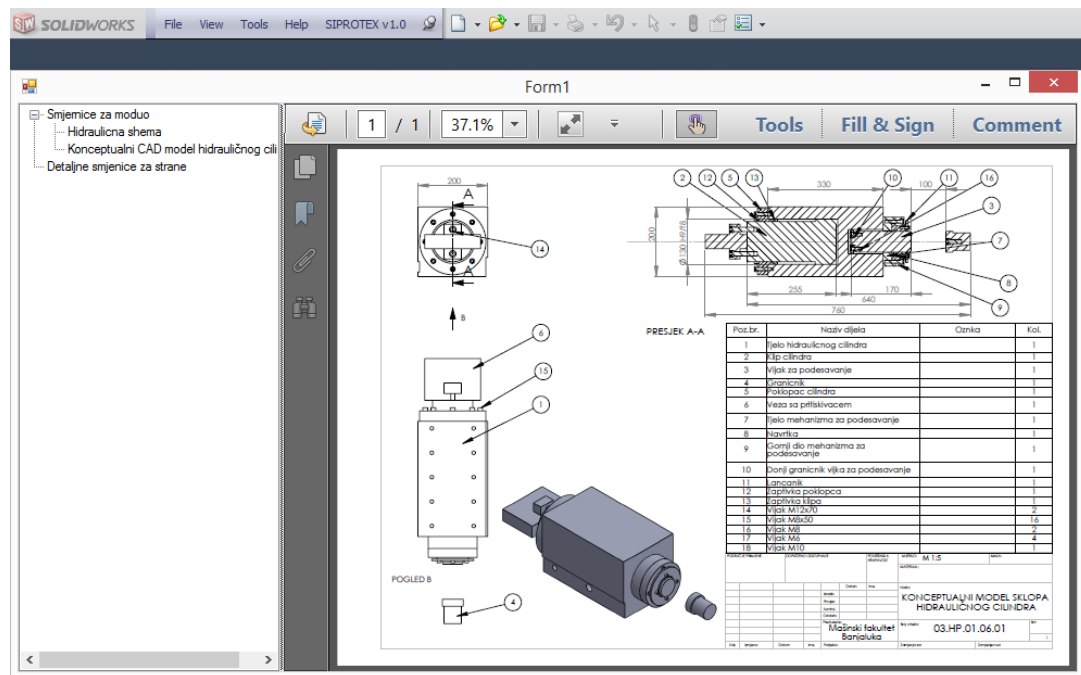
Slika 8.17 Izbor sklopa hidrauličnog modula HPUSL PST 12027



Slika 8.18 Smjernice za detaljno projektovanje dijela i tehnološkog procesa



Slika 8.19 Tipaska hidraulična šema za HPUSL tipa PST



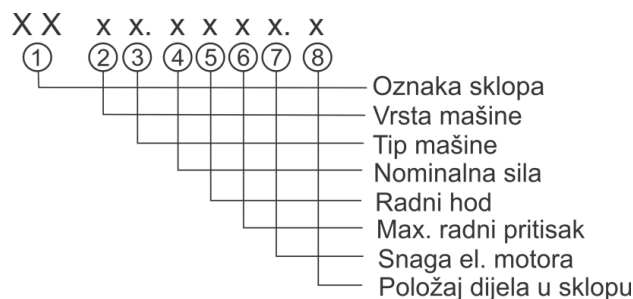
Slika 8.20 Konceptualni model sklopa hidrauličnog cilindra HPUSL tipa PST

- U nastavku detaljnog projektovanja hidrauličnog cilindra, kao sklopa hidrauličnog modula, izvršni projektant vrši izbor dijela hidrauličnog cilindra (Slika 8.21). Hidraulični cilindar je dio na kome je verifikovana aktivnost simultanog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, kao ključne aktivnosti u okviru primjene razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,
- Izborom tastera „START“ (Slika 8.21) izvršni projektant započinje aktivnost preliminarog projektovanja dijela u okviru simultanog projektovanja dijela i tehnološkog procesa. Prva programska aktivnost u okviru preliminarog projektovanja dijela odnosi se na generisanje klasifikacione oznake hidrauličnog cilindra,



Slika 8.21 Izbor hidrauličnog cilindra u svrhu detaljnog projektovanja

U okviru sistema SIPROTEX razvijen je klasifikacioni sistem za označavanje dijelova pri projektovanju hidrauličnog modula mašina za tehnologiju obrade deformisanjem lima (Slika 8.22).



Slika 8.22 Klasifikacioni sistem za označavanje dijelova

Klasifikacioni sistem sastoji se od alfanumeričkih obilježja 1 do 8. Obilježje na prvom mjestu sistema klasifikacije označava naziv sklopa kome pripada posmatrani dio, u okviru razrade hidrauličnog modula. Na drugom i trećem mjestu sistema klasifikacije identifikuje se obilježje za vrstu i tip mašine kojoj pripada posmatrani dio, sklop i modul. Od četvrtog do sedmog mjesta identifikuju se obilježja za ključne karakteristike mašine u vidu nominalne sile, radnog hoda, maksimalnog radnog pritiska i snaga elektro- motora, respektivno. Na osmom mjestu sistema klasifikacije identifikuje se obilježje za položaj dijela u sklopu. Značenje klasifikacionih kodova za obilježja 1 do 8 prikazana su na slici 8.23.

Obilježje	Opis	Oznaka	Značenje		
①	Oznaka sklopa	HC RZ RB	Hidraulični cilindar Razervoar Razvodni blok		
②	Vrsta mašine	M P S	Makaze za sječenje lima Presa za ugaono savijanje lima Mašine za kružno savijanje cijevi		
③	Tip mašine	Prethodna oznaka M 1 2 3	Makaze za sječenje lima tip MVS Makaze za sječenje lima tip MHS Makaze za sječenje lima tip MHP		
		Prethodna oznaka P 1 2 3	Presa za ugaono savijanje lima tipa PST Presa za ugaono savijanje lima tipa PSH Presa za ugaono savijanje lima tipa PPT		
④	Nominalna sila	A	$F < 200$ kN	J	$2000 < F \leq 2250$
		B	$200 < F \leq 500$	K	$2250 < F \leq 2500$
		C	$500 < F \leq 750$	L	$2500 < F \leq 2750$
		D	$750 < F \leq 1000$	M	$2750 < F \leq 3000$
		E	$1000 < F \leq 1200$	N	$3000 < F \leq 3500$
		F	$1200 < F \leq 1400$	O	$3500 < F \leq 4000$
		G	$1400 < F \leq 1600$	P	$4000 < F \leq 4500$
		H	$1600 < F \leq 1800$	R	$4500 < F \leq 5000$
		I	$1800 < F \leq 2000$	S	$F > 5000$
⑤	Radni hod	a	$C < 50$ mm	g	$250 < C \leq 300$
		b	$50 < C \leq 75$	h	$350 < C \leq 400$
		c	$75 < C \leq 100$	i	$400 < C \leq 450$
		d	$100 < C \leq 150$	j	$450 < C \leq 500$
		e	$150 < C \leq 200$	k	$C > 500$
		f	$200 < C \leq 250$		
⑥	Max. radni pritisak	1	$p < 1$ kN/cm ²	6	$2,75 < p \leq 3$
		2	$1 < p \leq 2$	7	$3 < p \leq 3,25$
		3	$2 < p \leq 2,25$	8	$3,25 < p \leq 3,5$
		4	$2,25 < p \leq 2,5$	9	$p > 3,5$
		5	$2,5 < p \leq 2,75$		
⑦	Snaga el. motora	0	$P_{em} \leq 3$	5	$11 < P_{em} \leq 14$
		1	$3 < P_{em} \leq 4$	6	$14 < P_{em} \leq 18,5$
		2	$4 < P_{em} \leq 5,5$	7	$18,5 < P_{em} \leq 20$
		3	$5,5 < P_{em} \leq 7$	8	$20 < P_{em} \leq 25$
		4	$7 < P_{em} \leq 11$	9	$P_{em} \geq 25$
⑧	Položaj dijela u sklopu	L	Lijevi		
		D	Desni		
		N	Nije relevantno		

Slika 8.23 Značenje klasifikacionih kodova za klasifikacioni sistem

Klasifikacioni broj hidrauličnog cilindra, koji pripada hidrauličnom modulu HPUSL PST 12027, identifikovan je oznakom HC P1.Fc74.L (Slika 8.24). Oznaka hidrauličnog cilindra HC P1.Fc74.L, identifikuje pripadnost sklopu hidrauličnog cilindra za hidrauličnu presu za savijanje lima, tipa PST, nazivne sile između 1200-1400 kN, radnog hoda od 75-100mm, nazivnog pritiska u hidrauličnoj instalaciji od $3 < p \leq 3,25$, snage motora između 7-11 kW i cilindru na lijevoj poziciji u hidrauličnom modulu.

- Generisanjem klasifikacionog broja za hidraulični cilindar, izvršni projektant vrši definisanje dodatnih informacija. Dodatne informacije za hidraulični cilindar odnose se na definisanje vrijednosti tvrdoće prethodno generisanog materijala i količine dijelova. Tvrdoća materijala izražena je u jedinicama tvrdoće po Brinelu (HB), a količina dijelova brojem komada. Informacije definisane u ovoj fazi projektovanja dijela koriste se prilikom detaljnog projektovanja dijela, odnosno u fazi definisanja sadržaja tehnoloških tipskih zahvata,

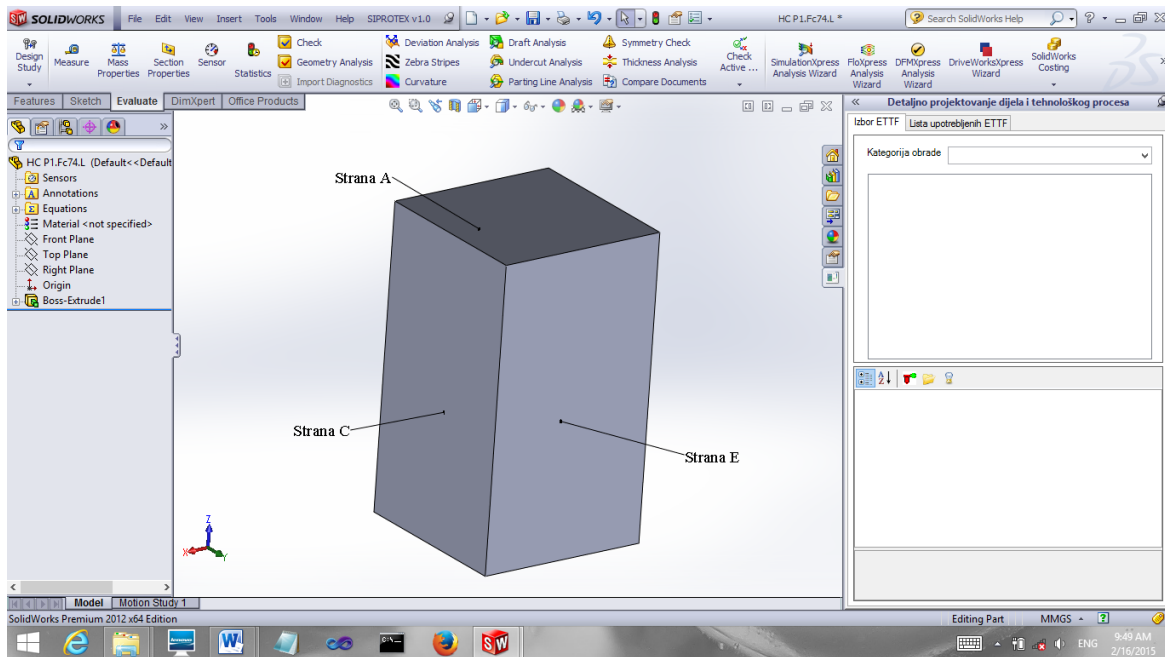
The screenshot shows the 'SIPROTEX' software interface for hydraulic cylinder design. The window title is 'SIMULTANO PROJEKTOVANJE MODULA HIDRAULIČNE PRESE'. The main header reads 'SISTEM ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA SIPROTEX'. The interface is divided into several sections:

- DETAILJNO PROJEKTOVANJE MODULA PROIZVODA**:
 - PROJEKTOVANJE MODULA HIDRAULIČKOG SISTEMA
- SIMULTANO PROJEKTOVANJE DIJELA I TEHNOLOŠKOG PROCESA**:
 - SKLOP HIDRAULIČKOG CILINDRA
- DETAILJNO PROJEKTOVANJE DIJELA I TEHNOLOŠKOG PROCESA**:
 - HIDRAULIČNI CILINDAR

Below these sections, there are options for cylinder type: Lijevi cilindar and Desni cilindar. The classification number is 'HC P1.Fc74.L'. A text box contains technical specifications: 'P-Za hidrauličnu presu za savijanje lima 1-Tipa PST F-Nazivne sile savijanja između 1200 i 1400 [kN] c-Radnog hoda između 75 i 100 [mm] 7-Radnog pritiska između 3 i 3.25 [bar] 4-Snage motora 11 [kW] L-ljevi cilindar'. There is a field for 'Unesi dodatne tehnološke informacije za dio:' with inputs for 'Materijal: Č.0461', 'Tvrdoća materijala: 210 HB', and 'Broj komada: 2'. At the bottom, there is a button labeled 'GENERIŠI POLAZNI OBLIK HIDRAULIČNOG CILINDRA'.

Slika 8.24 Definisane dodatnih informacija i generisanje polaznog oblika hidrauličnog cilindra

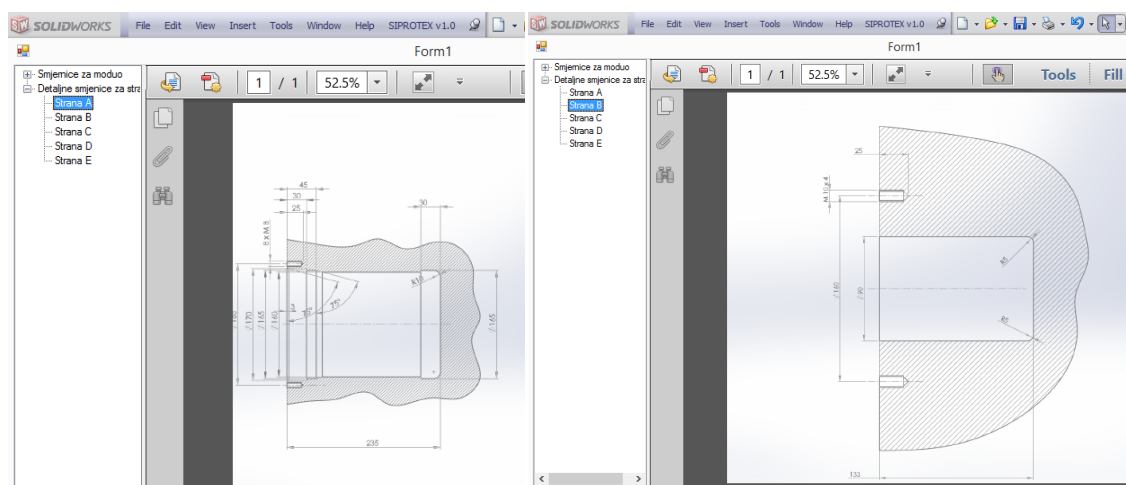
- Nakon generisanja klasifikacionog broja i definisanja dodatnih informacija za posmatrani dio, izvršni projektant vrši generisanje polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra izborom istoimenog programskog tastera (Slika 8.24). Generisanje polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra vrši se na automatizovan način, u formi zapreminskog modela polaznog oblika hidrauličnog cilindra (Slika 8.25). Zapreminski model polaznog oblika hidrauličnog cilindra generiše se na osnovu smjernica za preliminarno projektovanje dijela. Smjernice za preliminarno projektovanje dijela odnose se na uspostavljene relacije između ulaznih, osnovnih parametara HPUSL tipa PST i gabaritnih dimenzija zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra.



Slika 8.25 Zapreminski model polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra

Pored zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra, aktivnost preliminarne projektovanja dijela rezultuje generisanjem smjernica za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra. Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra su u funkciji osnovnih parametara HPUSL PST 12027, a generišu se na osnovu prethodno projektovanih hidrauličnih cilindara.

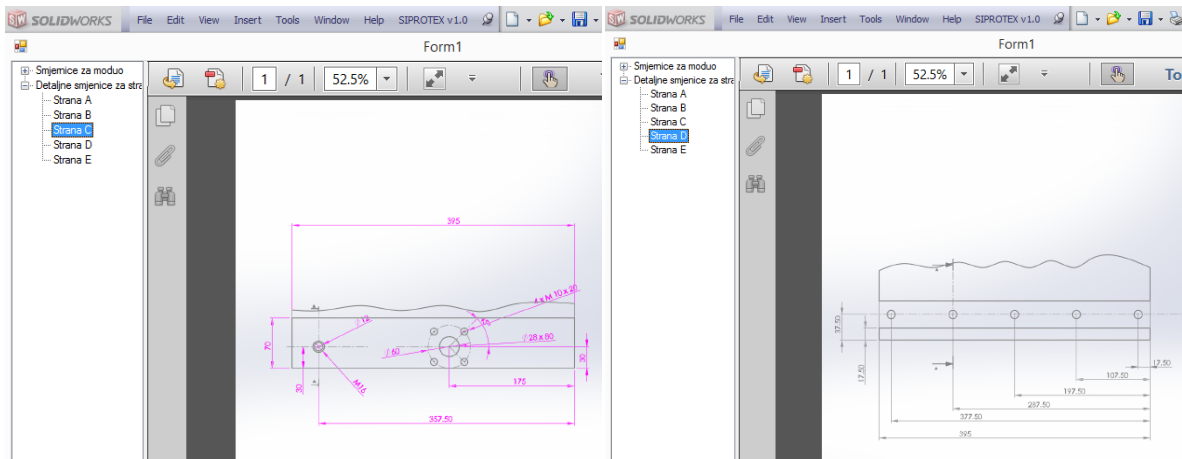
Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra sastoje se od smjernica za odgovarajuće funkcionalne strane hidrauličnog cilindra (Strana A, Strana B, Strana C, Strana D i Strana E). Smjernica za odgovarajuću stranu hidrauličnog cilindra sadrži preporučene pozicije, dimenzije i raspored karakterističnih tehnoloških tipskih formi. Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra, koje su generisane u funkciji osnovnih karakteristika HPUSL PST 12027 i posmatranog polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra, prikazane su na slici 8.26 a) do e).



a) Strana A

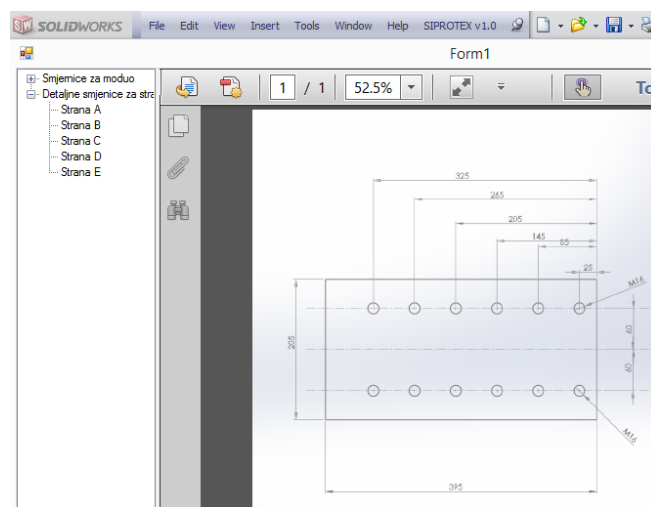
b) Strana B

Slika 8.26 Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra



c) Strana C

d) Strana D



e) Strana E

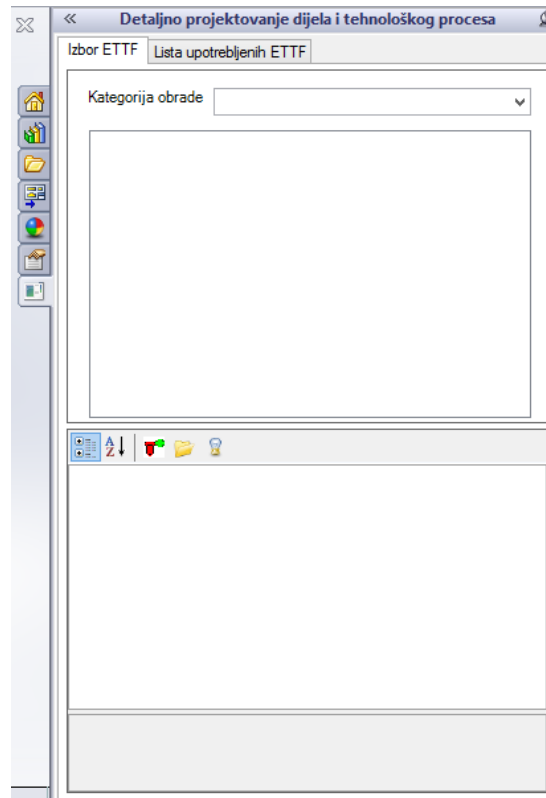
Slika 8.26 Smjernice za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra (nastavak)

Generisanjem zapreminskog modela polaznog oblika materijala hidrauličnog cilindra i smjernica za detaljno projektovanje hidrauličnog cilindra, završena je aktivnost preliminarnog projektovanja dijela.

8.3.2 Detaljno projektovanje zapreminskog modela hidrauličnog cilindra

- *Nastavak aktivnosti simultanog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, vrši se izvođenjem aktivnosti detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra,*

U okviru programskog sistema SIPROTEX, neposredno nakon generisanja zapreminskog modela polaznog oblika materijala dijela i smjernica za detaljno projektovanje dijela, na automatizovan način aktivira se razvijeni programski interfejs za detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa (Slika 8.27). Primjenom razvijenog programskog interfejsa izvršni projektant vrši detaljno projektovanje zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra.



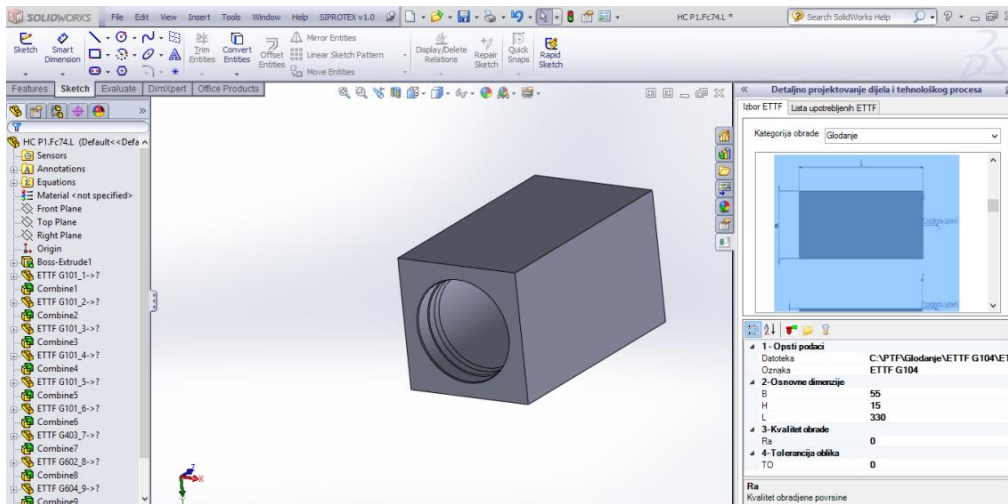
Slika 8.27 Programski interfejs za detaljno projektovanje dijela i tehnološkog procesa

Postupak detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa dijela, u okviru predmetnog istraživanja, izvršen je primjenom prethodno generisanih smjernica za detaljno projektovanje dijela. Analizom smjernica, izvršni projektant vrši izbor odgovarajuće elementarne tehnološke tipske forme iz biblioteke ETTF. Zatim se vrši podešavanje ETTF, generisanje zapreminskog modela potomka ETTF i uključivanje zapreminskog modela potomka ETTF u radni prostor modela programskog sistema Solidworks. Pozicioniranjem zapreminskog modela potomka ETTF u odnosu na zapreminski model polaznog oblika materijala dijela i primjena Bulove operacije oduzimanja, predstavljaju završne korake prilikom realizacije postupka projektovanja na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi. Prema prethodno definisanom redosljedu aktivnosti, postupak projektovanja na bazi ETTF ponavlja se sve do postizanja finalnog oblika dijela.


- *Izvršni projektant započinje postupak detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra izborom strane zapreminskog modela polaznog oblika materijala dijela i odgovarajuće smjernice za detaljno projektovanje dijela,*

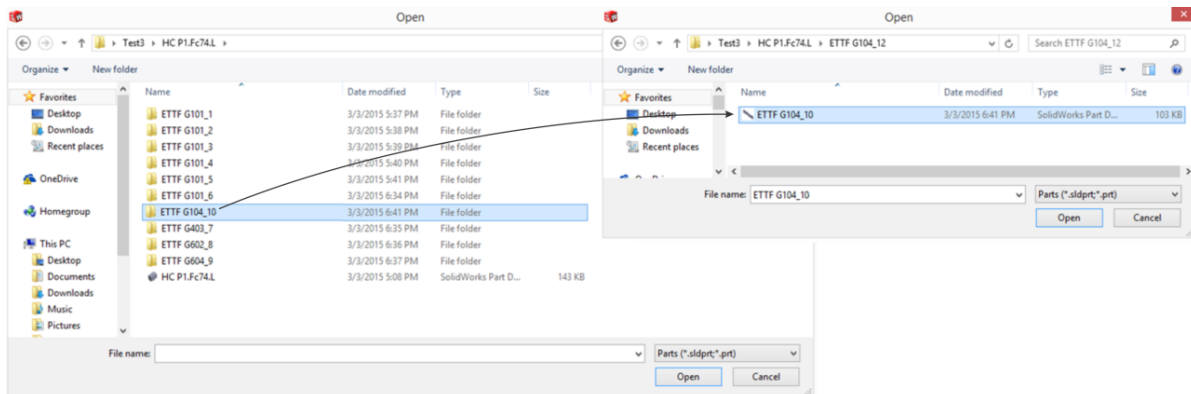
Postupak detaljnog projektovanja zapreminskog modela hidrauličnog cilindra prikazan je na primjeru izbora, generisanja, pozicioniranja i primjene Bulove operacije za ETTF B104.

Izbor i podešavanje parametara ETTF B104 vrši se u okviru razvijenog programskog interfejsa za detaljno projektovanje dijela i tehnološkog procesa (Slika 8.28).

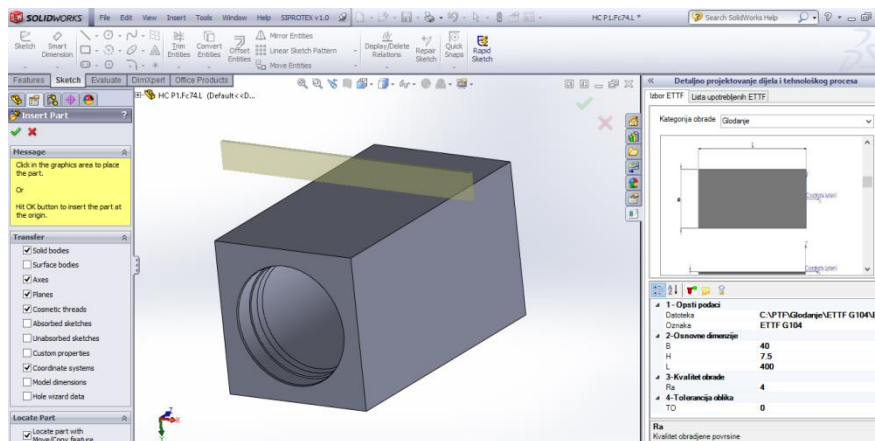


Slika 8.28 Izbor i podešavanje parametara ETTF B104

Izborom programskog tastera , vrši se generisanje potomka ETTF B104 i njegovo memorisanje u prethodno definisan radni direktorijum. Izbor potomka ETTF B104, u cilju nastavka detaljnog projektovanja zapreminskog modela hidrauličnog cilindra, prikazan je na slikama 8.29. Uključivanje zapreminskog modela ETTF B104 hidrauličnog cilindra, u radni prostor modela programskog sistema SolidWorks, prikazan je na slici 8.30.



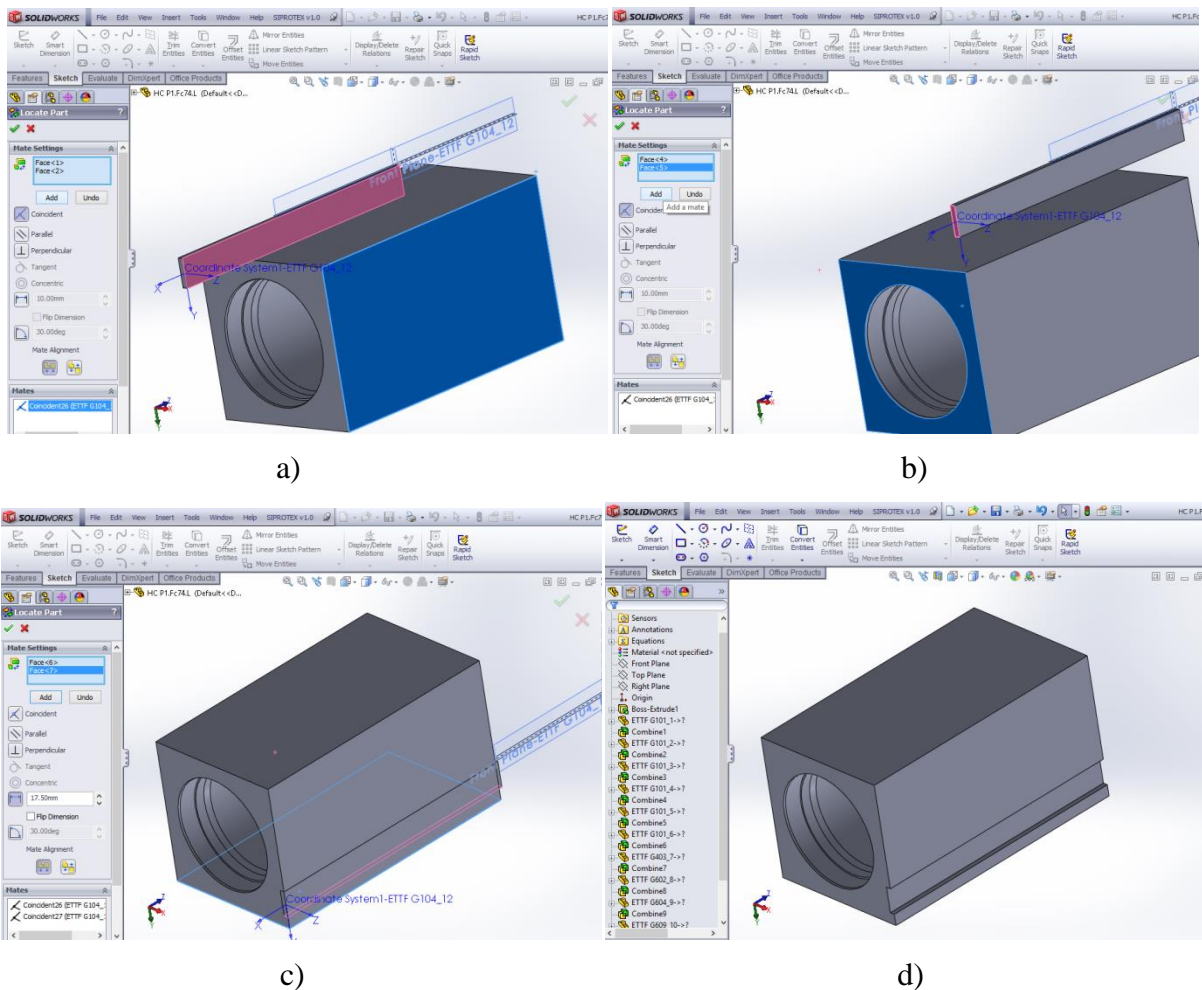
Slika 8.29 Izbor potomka ETTF B104



Slika 8.30 Uključivanje zapreminskog modela ETTF B104

Pozicioniranje ETTF B104 u odgovarajuću poziciju na zapreminskom modelu hidrauličnog cilindra, kao i primjena Bulove operacije oduzimanja, izvodi se na interaktivan način (Slika 8.31 a), b), c) i d)).

Pozicioniranje ETTF u odgovarajuću poziciju na zapreminskom modelu hidrauličnog cilindra vrši se primjenom standardnog programskog alata *Locate Part*, u okviru programskog sistema Solidworks. Pojedine funkcije standardnog programskog alata *Locate Part* automatizovane su u okviru razvijenog programskog sistema SIPROTEX. Primjenom odgovarajućih ograničenja između konstrukcionih elemenata zapreminskog modela ETTF i zapreminskog modela hidrauličnog cilindra obezbijedeno je pozicioniranje ETTF B104.

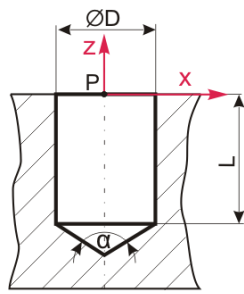
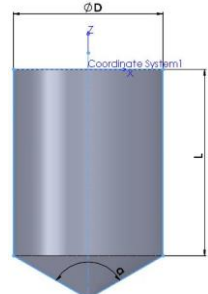
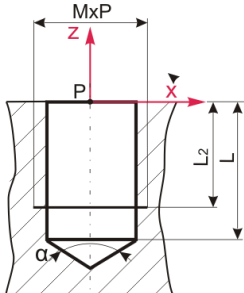
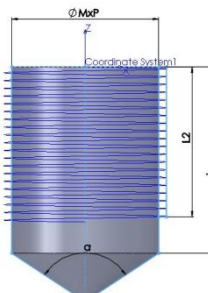
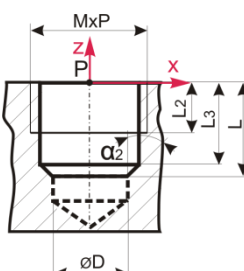
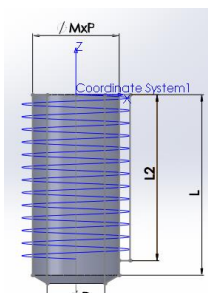


Slika 8.31 Pozicioniranje i primjena Bulove operacije za ETTF B104

Pri detaljnom projektovanju zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra korišćene su ETTF bušenja i glodanja. Konstrukcije karakteristike elementarnih tehnoloških tipskih formi, korišćenih za detaljno projektovanje zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra, prikazane su u tabelama 8.2 i 8.3, respektivno.

Detaljni (finalni) zapreminski model hidrauličnog cilindra sastoji se od 52 elementarne tehnološke tipске forme (13 ETTF glodanja i 39 ETTF bušenja).

Tabela 8.2 Lista upotrebljenih ETTF bušenja

Tip elementarne tehnološke tipske forme		Naziv ETTF	Skica ETTF	Zapreminski model ETTF	Kod ETTF
Osnovni otvori	bez navoja	B1 Neprolazni otvor			ETTF B102
	sa navojem	B2 Neprolazni otvor sa navojem			ETTF B201
Dodani otvori	sa navojem	B6 Proširivanje sa skošenjem i navojem			ETTF B604

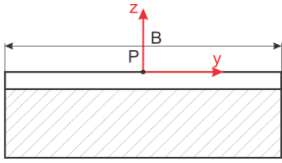
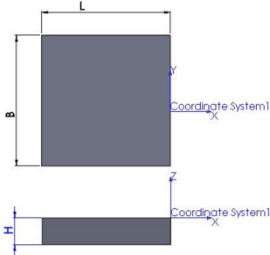
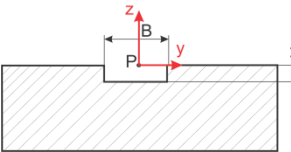
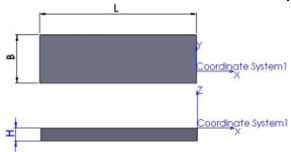
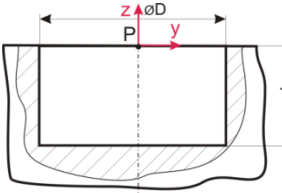
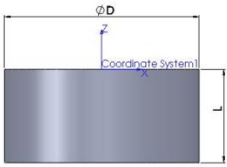
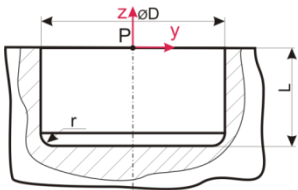
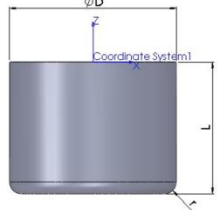
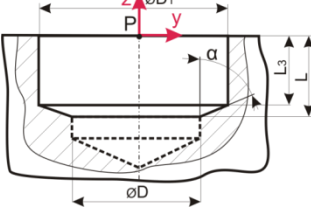
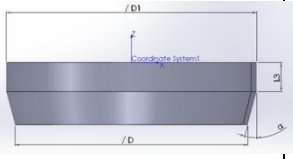
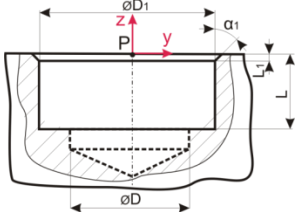
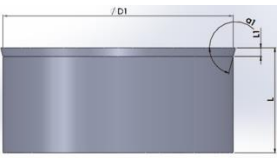
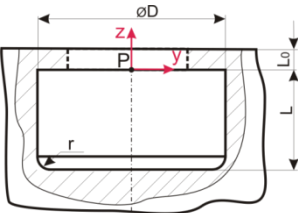
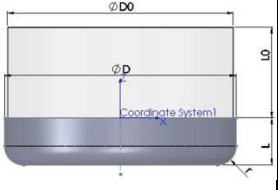
Pored konstrukcionih karakteristika, elementarne tehnološke tipske forme sadrže tehnološke parametre i znanje predstavljeno je u obliku produkcionih pravila.

Produkcionska pravila, u svom uslovnom dijelu, sastoje od niza matematički postavljenih uslova, koji se odnose na konstrukcione i tehnološke parametre ETTF. Akcioni (izvršni) dio produkcionog pravila sastoji se od niza elementarnih zahvata koji formiraju odgovarajući sadržaj tehnološkog tipskog zahvata.

Stavljanjem u odnos, uslovnog i akcionog dijela produkcionog pravila, generiše se tehnološki tipski zahvat za odgovarajuće parametre ETTF.

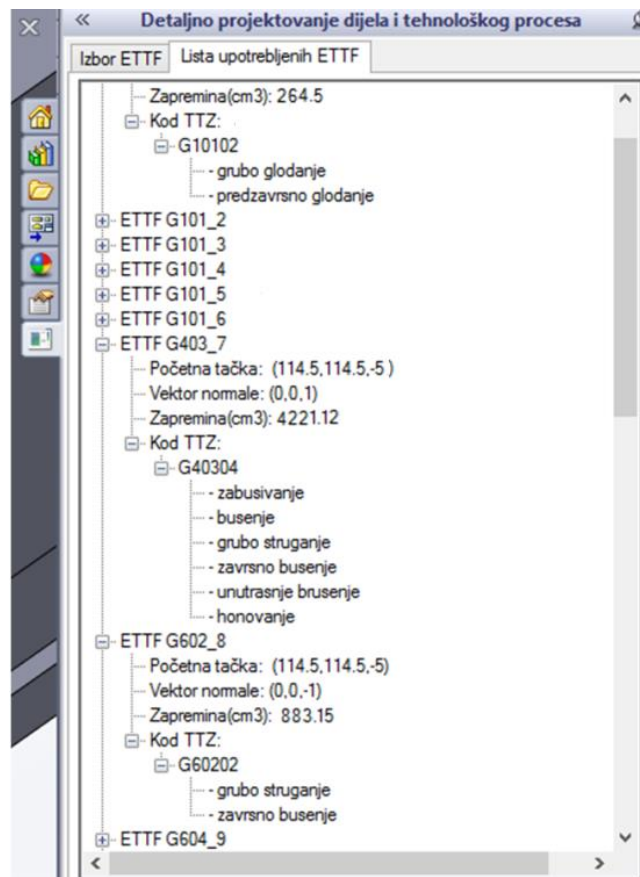
Detaljno projektovanje zapreminskog modela i tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra, moguće je sagledati/pratiti u okviru razvijenog programskog interfejsa i programskog tastera „Lista upotrebljenih ETTF“ (Slika 8.32). Lista upotrebljenih ETTF sadrži oznake upotrebljenih elementarnih tehnoloških tipskih formi koje je moguće prikazati prema redosljedu projektovanja i kategoriji obrade.

Tabela 8.3 Lista upotrebljenih ETTF glodanja

Tip elementarne tehnološke tipске forme		Naziv ETTF	Skica ETTF	Zapreminski model ETTF	Kod ETTF
Osnovne tipске forme glodanja	-	G1	Ravna ploha 		ETTF G101
			Pravougaoni žljeb 		ETTF G104
Otvori	bez navoja	G4	Otvor neprolazni 		ETTF G403
			Otvor neprolazni sa zaobljenjem 		ETTF G405
Proširenja	bez navoja	G6	Proširenje sa kombinovanim skošenjem 		ETTF G602
			Proširenje sa skošenjem / obaranjem ivica 		ETTF G604
			Proširenje sa unutrašnjom profilnom površinom 		ETF G609

Oznaka ETTF, u okviru liste upotrebljenih ETTF, sadrži sljedeće informacije:

- Koordinate početne tačke ETTF u odnosu na ishodište koordinatnog sistema hidrauličnog cilindra,
- Vektor normale ETTF u odnosu na koordinatni sistem hidrauličnog cilindra,
- Zapreminu ETTF u cm^3 ,
- Kod tehnološkog tipskog zahvata (TTZ),
- Sadržaj tehnološkog tipskog zahvata u formi redosljeda izvođenja elementarnih zahvata i

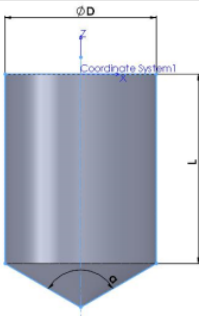


Slika 8.32 Informacije u okviru liste upotrebljenih ETTF

- U okviru aktivnosti detaljnog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, pored zapreminskog modeliranja (projektovanja dijela), na simultan način vrši se generisanje tehnoloških tipskih zahvata.

Za ETTF bušenja i glodanja, koje su korišćene prilikom detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra, prethodno je izvršeno definisanje znanja u obliku produkcionih pravila. Definisanje znanja u obliku produkcionih pravila vrši se primjenom modula za upravljanje ETTF. Produkciona pravila na primjeru ETTF B102 prikazana su na slici 8.33.

Modul za upravljanje elementarnim tehnološkim tipskim formama



Redni broj	Produkciono pravilo	Sadržaj tipskog tehnološkog zahvata	Kod TTZ
1	$((D < 10) \wedge (L/D < 8)) \wedge (Ra > 6.3)$	- zabusivanje - busenje	B10201
2	$((D < 10) \wedge (L/D < 8)) \wedge ((Ra \leq 6.3) \wedge (Ra > 0.8))$	- zabusivanje - busenje - razvrtanje grubo	B10202
3	$((D < 10) \wedge (L/D < 8)) \wedge ((Ra \leq 0.8) \wedge (Ra = 0.4))$	- zabusivanje - busenje - razvrtanje grubo - razvrtanje završno	B10203
4	$((D \geq 10) \wedge (D \leq 30) \wedge (L/D < 8)) \wedge ((Ra \leq 0.8) \wedge (Ra = 0.4))$	- zabusivanje - busenje - prosinivanje - razvrtanje grubo - razvrtanje završno	B10204
5	$((D \geq 10) \wedge (D \leq 30) \wedge (L/D < 8)) \wedge ((Ra \leq 1.6) \wedge (Ra > 0.8))$	- zabusivanje - busenje - prosinivanje - razvrtanje grubo	B10205
6	$((D \geq 10) \wedge (D \leq 30) \wedge (L/D < 8)) \wedge ((Ra \leq 6.3) \wedge (Ra > 1.6))$	- zabusivanje - busenje - razvrtanje grubo	B10206
7	$((D \geq 10) \wedge (D \leq 30) \wedge (L/D < 8)) \wedge (Ra > 6.3)$	- zabusivanje - busenje	B10207

Slika 8.33 Podloge za razvoj produkcionih pravila za ETTF B102

Parametri ETTF koji su obuhvaćeni pri definisanju podloga za razvoj produkcionih pravila su klasifikovani prema:

- *Konstrukcionim parametrima i*
- *Tehnološkim parametrima.*

Konstrukcioni parametri ETTF, koji su obuhvaćeni prilikom definisanja produkcionih pravila su:

- *Geometrijske karakteristike ETTF (prečnik D , dužina L , širina B , visina H),*
- *Konstrukcioni odnos L/D i*
- *Tvrdoća materijala (HB).*

Definisanje produkcionih pravila za ETTF, u okviru predmetnog istraživanja, izvršeno je za konstrukcione parametre u graničnim vrijednostima:

- *Prečnik ETTF otvora : $D \leq 30 \text{ mm}$ i $30 < D \leq 300 \text{ mm}$,*
- *Debljina ETTF glodanja: $2 \leq H \leq 10 \text{ mm}$,*
- *Odnos $L/D \leq 8$, i*
- *Tvrdoća materijala $100 < HB \leq 300$.*

Tehnološki parametri ETTF koji su obuhvaćeni prilikom definisanja produkcionih pravila su:

- *Kvalitet obrađene površine ETTF (Ra) i*
- *Količina dijelova (Q).*

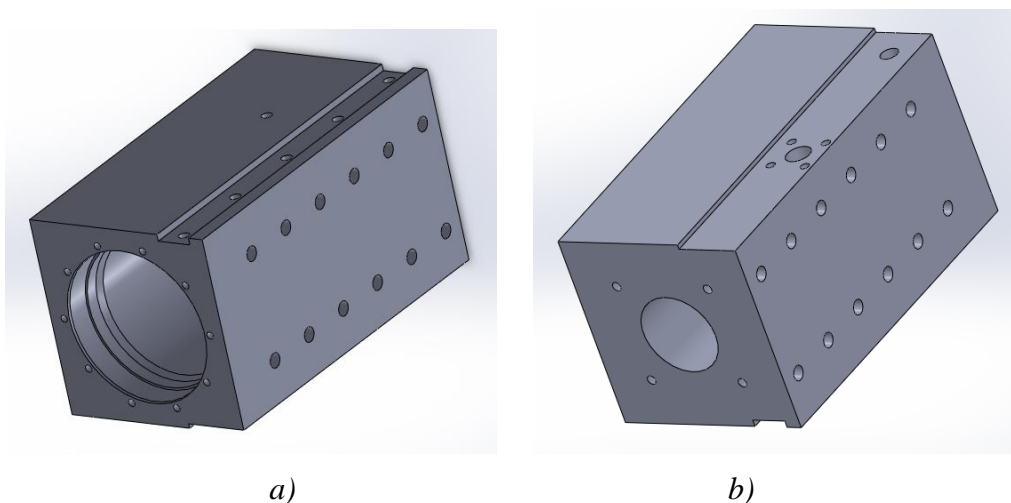
Definisanje produkcionih pravila za ETTF, u okviru predmetnog istraživanja, izvršeno je za tehnološke parametre u graničnim vrijednostima:

- *Kvalitet obrađene površine ETTF (Ra): vidi tabelu 8.4, i*
- *Količina dijelova (Q): koja odgovara uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje.*

Tabela 8.4 Vrijednosti Ra u odnosu na vrstu obrade

Nivo hrapavosti	Vrsta obrade	Vrijednost Ra
1	gruba obrada	$Ra > 6,3$
2	predzavršna	$1,6 < Ra \leq 6,3$
3	završna	$0,4 \leq Ra \leq 1,6$
4	posebnog kvaliteta	$0,1 \leq Ra < 0,4$

- Rezultati aktivnosti detaljnog projektovanja dijela i tehnološkog procesa, predstavljeni su u obliku:
 - *Zapreminskog modela hidrauličnog cilindra. U cilju ispunjenja zahtjeva proizašlih iz konceptualne faze projektovanja hidraulične prese za ugaono savijanje lima, izvršeno je detaljno projektovanje zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra (Slika 8.34 a) i b)). Zapreminski model i tehnološki proces izrade hidrauličnog cilindra pripada sklopu hidrauličnog cilindra, modula hidrauličnog sistema prese za ugaono savijanje lima, PST 12027.*
 - *Numeričkog zapisa elementarnih tehnoloških tipskih formi za hidraulični cilindar. Numerički zapis elementarnih tehnoloških tipskih formi za hidraulični cilindar sastoji se od liste korišćenih ETTF, njihovih konstrukcionih i tehnoloških parametara, parametara generisanih u toku aktivnosti detaljnog projektovanja i sadržaja tehnološkog tipskog zahvata. Dio numeričkog zapisa elementarnih tehnoloških tipskih formi za hidraulični cilindar prikazan je na slici 8.35, a u cjelosti dat u Prilogu 5.*



Slika 8.34 Zapreminski model hidrauličnog cilindra

```

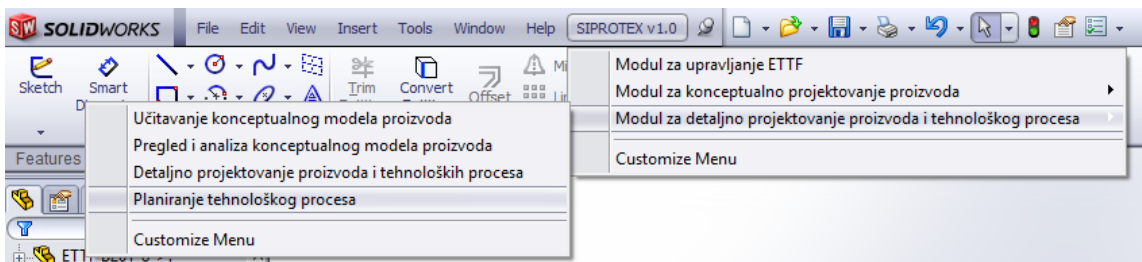
Izlazni rezultati.txt - Notepad
File Edit Format View Help
ETTF G101
HB:210
QB:4
L:230
B:230
H:5
Ra:5
TO:0
(X;Y;Z):(229;114;0)
V(x;y;z):(0;0;1)
V(cm3):264.5
Kod TTZ:G10102
TTZ:
- grubo glodanje
- predzavršno glodanje
;
ETTF G101
HB:210
QB:4
L:230
B:230
H:5
Ra:5
TO:0
(X;Y;Z):(229;115;-405)
V(x;y;z):(0;0;-1)
V(cm3):264.5
Kod TTZ:G10102
TTZ:
- grubo glodanje
- predzavršno glodanje
    
```

Slika 8.35 Dio numeričkog zapisa elementarnih tehnoloških tipskih formi za hidraulični cilindar

Numerički zapis elementarnih tehnoloških tipskih formi hidrauličnog cilindra može se posmatrati kao ključni nosilac informacija u svrhu realizacije aktivnosti planiranja tehnološkog procesa.

8.3.3 Planiranje tehnološkog procesa izrade hidrauličnog cilindra

- Aktivnost planiranja tehnološkog procesa, vrši se izborom istoimene aktivnosti iz glavnog menija programskog sistema SIPROTEX (Slika 8.36).



Slika 8.36 Programski taster za planiranje tehnološkog procesa

- Izvršni projektant, nakon aktiviranja programskog tastera za planiranje tehnološkog procesa, vrši pregled i ažuriranje liste raspoloživih mašina i alata, definisanje tehnoloških ograničenja i optimizaciju redoslijeda izvođenja zahvata obrade (Slika 8.37).

Planiranje tehnoloških procesa

SISTEM ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA
SIPROTEX

Lista raspoloživih mašina i alata | Definisiranje tehnoloških ograničenja | Optimizacija redosleda izvođenja zahvata obrade

Mašine

Redni broj	Oznaka	Naziv	Troškovi upotrebe/korišćenja mašine
1	m-1	Stubna busilica	40
2	m-2	Koordinatna busilica	30
3	m-3	Univerzalna glodalica	55
4	m-4	Horizontalni obradni centar	62

Alati

Redni broj	Oznaka	Naziv	Troškovi upotrebe/korišćenja alata
1	t-1	Zabusivac	3
2	t-2	Burgija 1	5
3	t-3	Burgija 2	7
4	t-4	Burgija 3	10
5	t-5	Ureznik 1	14
6	t-6	Ureznik 2	16
7	t-7	Razvrtac	11
8	t-8	Obimno glodalo	22
9	t-1	Vretenasto glodalo	14

Slika 8.37 Aktivnosti u okviru planiranja tehnoloških procesa

- U okviru pregleda i ažuriranja liste raspoloživih mašina i alata, izvršni projektant vrši analizu tehnoloških resursa za izvođenje zahvata obrade hidrauličnog cilindra (Slika 8.37). Identifikacija tehnoloških resursa vrši se na osnovu upotrebljenih ETTF i sadržaja generisanih tehnoloških tipskih zahvata iz aktivnosti detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa za hidraulični cilindar, kao i stanja raspoloživih tehnoloških resursa u radionici. Pored oznake i naziva mašine i alata, izvršni projektant definiše i troškove korišćenja pojedinih mašina i alata.

Definisanje troškova rada mašine i alata vrši se na osnovu parametara kao što su :

- *Troškovi prostora proizvodnog sistema za rad mašine,*
- *Cijena električne energije,*
- *Planirano vrijeme rada u proizvodnji za jednu smjenu,*
- *Vijek trajanja mašine pri radu u jednoj smjeni,*
- *Prosječni trošak plate radnika,*
- *Nabavna cijena mašine,*
- *Potrebna površina proizvodnog sistema za rad mašine,*
- *Potrebna energija za mašinu,*
- *Odnos troškova održavanja u nabavnoj cijeni mašine,*
- *Nabavna cijena alata i*
- *Životni vijek alata.*

Za izvođenje obrade hidrauličnog cilindra identifikovano je ukupno šest mašina i pedesetjedan alat, čije su komponente troškova prikazane u tabeli 8.4. Metodologija određivanja komponenti troškova izabranih mašina i alata data je u Prilogu 3.

Tabela 8.4 Komponente troškova mašina i alata

Red. broj.	Naziv troškova	Iznos troškova	Jedinica mjere
1.	Troškove rada (korišćenja) mašina		
	1.1 Univerzalna glodalica	0,98	KM/ez
	1.2 Horizontalna glodalica	0,91	KM/ez
	1.3 Horizontalni obradni centar	2,12	KM/ez
	1.4 Stubna bušilica	0,71	KM/ez
	1.5 Koordinatna bušilica	0,77	KM/ez
	1.6 Univerzalna brusilica za kružno brušenje	2,44	KM/ez
2.	Troškovi korišćenja alata	Tabela P.4.2	KM/ez
3.	Troškovi promjene mašina	1,1	KM/promjeni
4.	Troškove promjene stezanja	0,58	KM/promjeni
5.	Troškove promjene alata	0,06	KM/promjeni

- Naredni korak u okviru planiranja tehnološkog procesa odnosi se na definisanje tehnoloških ograničenja. Definisanje tehnoloških ograničenja odnosi se na definisanje podataka za elementarne zahvate i ograničenja prethođenja izvođenja zahvata obrade za hidraulični cilindar (Slika 8.38). Definisanje podataka za identifikovane elementarne zahvate sastoji se od definisanja:

- Oznaka ETTF,
- Oznaka elementarnih zahvata,
- Naziva elementarnih zahvata,
- Liste pridruženih mašina,
- Liste pridruženih alata i
- Pravaca prilaza alata.

Planiranje tehnoloških procesa

SISTEM ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA
SIPROTEX

Lista raspoloživih mašina i alata Definisanje tehnoloških ograničenja Optimizacija redosjeda izvođenja zahvata obrade

Pregled

Elementarna tehnološka tipka forma	Oznaka elementarnog zahvata	Naziv elementarnog zahvata	Pridružene mašine	Pridruženi alati	Pravci prilaza alata
ETTF G101_1	op_1	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-z
ETTF G101_1	op_2	- predzavršno glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-z
ETTF G101_2	op_3	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-z
ETTF G101_2	op_4	- predzavršno glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-z
ETTF G101_3	op_5	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-x
ETTF G101_3	op_6	- predzavršno glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-x
ETTF G101_4	op_7	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-y
ETTF G101_4	op_8	- predzavršno glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-y
ETTF G101_5	op_9	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-x
ETTF G101_5	op_10	- predzavršno glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-x
ETTF G101_6	op_11	- grubo glodanje	m-3,m-4	t-7,t-8	-y

Ograničenja

	op_1	op_2	op_3	op_4	op_5	op_6	op_7	op_8	op_9	op_10	op_11
op_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
op_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
op_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
op_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
op_10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
op_11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Slika 8.38 Definisanje tehnoloških ograničenja za hidraulični cilindar

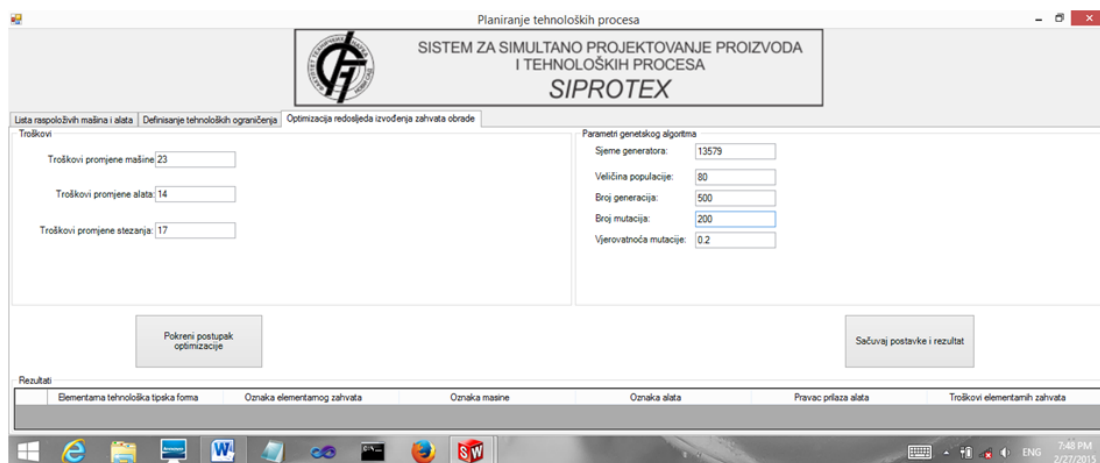
Oznake ETTF, oznake elementarnih zahvata, nazivi elementarnih zahvata, pridruženi pravci prilaza alata, identifikovani u fazi detaljnog projektovanja zapreminskog modela i tehnološkog procesa hidrauličnog cilindra, definišu se na automatizovan.

Izvršni projektant na interaktivan način, vrši dodijeljivanje liste pridruženih mašina i liste pridruženih alata za svaki identifikovani elementarni zahvat.

Definisanje ograničenja prethođenja obrade hidrauličnog cilindra vrši se pridruživanjem cifre 0 ili 1. Cifra 1 pridružuje se na pozicije generisane matrice ograničenja ukoliko za je izvođenje posmatranog elementarnog zahvata prethodno potrebno izvršiti odgovarajuće elementarne zahvate.

Ukupan broj identifikovanih elementarnih zahvata za izvođenje obrade hidrauličnog cilindra iznosi 147. Prema tome, matrica ograničenja je dimenzije $[M]_{147 \times 147}$. Segment matrice ograničenja za izvođenje elementarnih zahvata hidrauličnog cilindra prikazan je na slici 8.38.

- Završni korak u okviru planiranja tehnološkog procesa izrade odnosi se na podešavanje parametara i optimizaciju redosljeda izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra (Slika 8.39).



Slika 8.39 Podešavanje parametara i optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra

U okviru ove aktivnosti izvršni projektant na interaktivan način vrši definisanje preostalih parametara funkcije cilja i parametara genetskog algoritma. Definisanje preostalih parametara funkcije cilja sastoji se od definisanja:

- Troškova promjene mašine,
- Troškova promjene stezanja i
- Troškova promjene alata.

Za obradu hidrauličnog cilindra identifikovani su troškovi promjene mašine, promjene stezanja i promjene alata (tabela 8.4). Metodologija određivanja troškova promjene mašine, stezanja i promjene alata data je u Prilogu 3.

Naredni korak u aktivnosti planiranja tehnološkog procesa, odnosno određivanja optimalnog redosljeda izvođenja zahvata obrade, predstavlja definisanje parametara genetskog algoritma.

Definisanje parametara genetskog algoritma sastoji se od određivanja podataka za:

- Veličinu populacije,
- Broj iteracija
- Broj generacija,
- Broj mutacija,
- Vjerovatnoću mutacije i
- Sjeme generatora slučajnih brojeva.

Preliminarnim istraživanjima u pogledu promjene parametara genetskog algoritma, u cilju dobijanja optimalne funkcije cilja, a samim tim i redosljeda izvođenja zahvata obrade za hidraulični cilindar, identifikovani su naredni parametri genetskog algoritma:

- Veličina populacije $N_{pop} = 90$,
- Broj iteracija $N = 10000$
- Broj generacija $N_g = 90$,
- Vjerovatnoća mutacije1 $p_{m1} = 0,4$, i
- Vjerovatnoća mutacije2 $p_{m2} = 0,4$.

Eksperimentalna verifikacija genetskog algoritma, za primjer hidrauličnog cilindra i gore identifikovanih parametara, izvršena je ponavljanjem izvođenja genetskog algoritma 12 puta. Eksperimentalna verifikacija genetskog algoritma podrazumijeva promjenu sjemena generatora slučajnih brojeva, koji za razvijeni genetski algoritam sadrži pet slučajno izabranih brojeva u nizu. Rezultati eksperimentalne verifikacije genetskog algoritma, koji generišu redosljede izvođenja zahvata obrade za hidraulični cilindar, prikazani su u tabeli 8.7.

Tabela 8.7 Rezultati eksperimentalne verifikacije genetskog algoritma za hidraulični cilindar

Redni broj	Veličina populacije	Broj iteracija	Broj generacija	Vjerovatnoća mutacije 1	Vjerovatnoća mutacije 2	Sjeme generatora slučajnih brojeva	Rezultat funkcije cilja
1.	90	10000	30	0.4	0.4	13579	143,71
2.	90	10000	30	0.4	0.4	15713	145,39
3.	90	10000	30	0.4	0.4	73981	146,55
4.	90	10000	30	0.4	0.4	85793	146,83
5.	90	10000	30	0.4	0.4	68745	143,47
6.	90	10000	30	0.4	0.4	12345	142,49
7.	90	10000	30	0.4	0.4	52461	146,95
8.	90	10000	30	0.4	0.4	49127	145,81
9.	90	10000	30	0.4	0.4	31213	142,95
10.	90	10000	30	0.4	0.4	91217	143,77
11.	90	10000	30	0.4	0.4	24713	145,15
12.	90	10000	30	0.4	0.4	17953	144,53

Optimalna funkcija cilja identifikovana je za sjeme generatora slučajnih brojeva 12345 i iznosi 142,49. Ujedno ova vrijednost predstavlja ukupne preliminarnne troškove izrade hidrauličnog cilindra izražene u KM.

Prosječna vrijednost funkcije cilja iznosi 144,8, dok odstupanje optimalne vrijednosti funkcije cilja od prosječne vrijednosti funkcije cilja iznosi 1,6%. Razvijeni genetski algoritam daje rezultate u vidu funkcije cilja, koje se za različite vrijednosti sjemena generatora slučajnih brojeva međusobno razlikuju u iznosu 1,6%. Iz rezultata eksperimentalne verifikacije genetskog algoritma za hidraulični cilindar može se zaključiti da razvijeni genetski algoritam generiše stabilne i pouzdane rezultate.

Funkcija cilja, odnosno ukupni preliminarni troškovi izrade, određuje i optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra. Eksperimentalnim istraživanjem utvrđeno je da su, za sjeme generatora 12345, kao i prethodno postavljene uslove funkcije cilja i parametara genetskog algoritma, generisane optimalne vrijednosti ukupnih preliminarnih troškova izrade dijela, odnosno optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra. Kodirani optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra prikazan je u tabeli 8.8.

Tabela 8.8 Kodirani optimalni redosljed izvođenja zahvata obrade hidrauličnog cilindra

Red. broj	Kodirani elementarni zahvat		PPA: -1		Masina: 4		PPA: -2
1.	Zahvat: 3 Masina: 2 Alat: 3 PPA: -3	10.	Zahvat: 6 Masina: 2 Alat: 6 PPA: -1	20.	Zahvat: 35 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2	29.	Zahvat: 87 Masina: 4 Alat: 52 PPA: -2
2.	Zahvat: 4 Masina: 2 Alat: 6 PPA: -3	11.	Zahvat: 9 Masina: 2 Alat: 3 PPA: 1	21.	Zahvat: 38 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2	30.	Zahvat: 92 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2
3.	Zahvat: 7 Masina: 2 Alat: 3 PPA: 2	12.	Zahvat: 10 Masina: 2 Alat: 6 PPA: 1	22.	Zahvat: 98 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2	31.	Zahvat: 50 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
4.	Zahvat: 8 Masina: 2 Alat: 6 PPA: 2	13.	Zahvat: 1 Masina: 2 Alat: 3 PPA: 3	23.	Zahvat: 86 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2	32.	Zahvat: 53 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
5.	Zahvat: 11 Masina: 2 Alat: 3 PPA: -2	14.	Zahvat: 2 Masina: 2 Alat: 6 PPA: 3	24.	Zahvat: 104 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2	33.	Zahvat: 83 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
6.	Zahvat: 12 Masina: 2 Alat: 6 PPA: -2	15.	Zahvat: 29 Masina: 2 Alat: 22 PPA: 2	25.	Zahvat: 95 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2	34.	Zahvat: 80 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
7.	Zahvat: 27 Masina: 2 Alat: 22 PPA: -2	16.	Zahvat: 30 Masina: 2 Alat: 25 PPA: 2	26.	Zahvat: 89 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -2	35.	Zahvat: 62 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
8.	Zahvat: 28 Masina: 2 Alat: 25 PPA: -2	17.	Zahvat: 47 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2	27.	Zahvat: 105 Masina: 4 Alat: 26 PPA: -2	36.	Zahvat: 81 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
9.	Zahvat: 5 Masina: 2 Alat: 3	18.	Zahvat: 48 Masina: 4 Alat: 38 PPA: 2	28.	Zahvat: 90 Masina: 4 Alat: 52	37.	Zahvat: 56 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
		19.	Zahvat: 49			38.	Zahvat: 71

8. Primjena razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

	Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
39.	Zahvat: 77 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
40.	Zahvat: 59 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
41.	Zahvat: 65 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
42.	Zahvat: 74 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
43.	Zahvat: 68 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -1
44.	Zahvat: 72 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
45.	Zahvat: 63 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
46.	Zahvat: 84 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
47.	Zahvat: 69 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
48.	Zahvat: 54 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
49.	Zahvat: 51 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
50.	Zahvat: 75 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
51.	Zahvat: 78 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
52.	Zahvat: 60 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
53.	Zahvat: 57 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1

54.	Zahvat: 66 Masina: 4 Alat: 42 PPA: -1
55.	Zahvat: 82 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
56.	Zahvat: 73 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
57.	Zahvat: 70 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
58.	Zahvat: 67 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
59.	Zahvat: 85 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
60.	Zahvat: 58 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
61.	Zahvat: 52 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
62.	Zahvat: 61 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
63.	Zahvat: 64 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
64.	Zahvat: 79 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
65.	Zahvat: 76 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
66.	Zahvat: 55 Masina: 4 Alat: 44 PPA: -1
67.	Zahvat: 13 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
68.	Zahvat: 118 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
69.	Zahvat: 106 Masina: 4 Alat: 8

	PPA: 3
70.	Zahvat: 124 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
71.	Zahvat: 115 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
72.	Zahvat: 133 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
73.	Zahvat: 112 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
74.	Zahvat: 121 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
75.	Zahvat: 127 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
76.	Zahvat: 130 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
77.	Zahvat: 109 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 3
78.	Zahvat: 128 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
79.	Zahvat: 119 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
80.	Zahvat: 122 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
81.	Zahvat: 116 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
82.	Zahvat: 113 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
83.	Zahvat: 123 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
84.	Zahvat: 120 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
85.	Zahvat: 131 Masina: 4

	Alat: 48 PPA: 3
86.	Zahvat: 110 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
87.	Zahvat: 125 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
88.	Zahvat: 134 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
89.	Zahvat: 107 Masina: 4 Alat: 48 PPA: 3
90.	Zahvat: 14 Masina: 4 Alat: 11 PPA: 3
91.	Zahvat: 24 Masina: 4 Alat: 11 PPA: 3
92.	Zahvat: 117 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
93.	Zahvat: 126 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
94.	Zahvat: 132 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
95.	Zahvat: 129 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
96.	Zahvat: 135 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
97.	Zahvat: 111 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
98.	Zahvat: 114 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
99.	Zahvat: 108 Masina: 4 Alat: 50 PPA: 3
100.	Zahvat: 41 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2
101.	Zahvat: 44

8. Primjena razvijenog modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa

	Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2		Zahvat: 93 Masina: 4 Alat: 52 PPA: -2		PPA: -3		Alat: 12 PPA: 3
102.	Zahvat: 31 Masina: 4 Alat: 8 PPA: 2	114.	Zahvat: 99 Masina: 4 Alat: 52 PPA: -2	127.	Zahvat: 102 Masina: 4 Alat: 11 PPA: -3	140.	Zahvat: 25 Masina: 3 Alat: 12 PPA: 3
103.	Zahvat: 32 Masina: 4 Alat: 26 PPA: 2	115.	Zahvat: 96 Masina: 4 Alat: 52 PPA: -2	128.	Zahvat: 140 Masina: 4 Alat: 38 PPA: -3	141.	Zahvat: 26 Masina: 3 Alat: 18 PPA: 3
104.	Zahvat: 33 Masina: 4 Alat: 29 PPA: 2	116.	Zahvat: 88 Masina: 4 Alat: 46 PPA: -2	129.	Zahvat: 146 Masina: 4 Alat: 38 PPA: -3	142.	Zahvat: 16 Masina: 3 Alat: 14 PPA: 3
105.	Zahvat: 36 Masina: 4 Alat: 35 PPA: 2	117.	Zahvat: 91 Masina: 4 Alat: 46 PPA: -2	130.	Zahvat: 137 Masina: 4 Alat: 38 PPA: -3	143.	Zahvat: 20 Masina: 3 Alat: 14 PPA: 3
106.	Zahvat: 45 Masina: 4 Alat: 38 PPA: 2	118.	Zahvat: 100 Masina: 4 Alat: 46 PPA: -2	131.	Zahvat: 143 Masina: 4 Alat: 38 PPA: -3	144.	Zahvat: 22 Masina: 3 Alat: 14 PPA: 3
107.	Zahvat: 42 Masina: 4 Alat: 38 PPA: 2	119.	Zahvat: 97 Masina: 4 Alat: 46 PPA: -2	132.	Zahvat: 144 Masina: 4 Alat: 41 PPA: -3	145.	Zahvat: 17 Masina: 3 Alat: 16 PPA: 3
108.	Zahvat: 39 Masina: 4 Alat: 38 PPA: 2	120.	Zahvat: 94 Masina: 4 Alat: 46 PPA: -2	133.	Zahvat: 141 Masina: 4 Alat: 41 PPA: -3	146.	Zahvat: 18 Masina: 3 Alat: 17 PPA: 3
109.	Zahvat: 34 Masina: 4 Alat: 32 PPA: 2	121.	Zahvat: 101 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -3	134.	Zahvat: 138 Masina: 4 Alat: 41 PPA: -3	147.	Zahvat: 23 Masina: 3 Alat: 12 PPA: 3
110.	Zahvat: 37 Masina: 4 Alat: 36 PPA: 2	122.	Zahvat: 139 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -3	135.	Zahvat: 147 Masina: 4 Alat: 41 PPA: -3	Funkcija cilja	142.49
111.	Zahvat: 46 Masina: 4 Alat: 41 PPA: 2	123.	Zahvat: 142 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -3	136.	Zahvat: 103 Masina: 3 Alat: 12 PPA: -3		
112.	Zahvat: 43 Masina: 4 Alat: 41 PPA: 2	124.	Zahvat: 136 Masina: 4 Alat: 8 PPA: -3	137.	Zahvat: 15 Masina: 3 Alat: 12 PPA: 3		
113.	Zahvat: 40 Masina: 4 Alat: 41 PPA: 2	125.	Zahvat: 145 Masina: 4 Alat: 8	138.	Zahvat: 21 Masina: 3 Alat: 12 PPA: 3		
		126.		139.	Zahvat: 19 Masina: 3		

Rezultati prikazani u tabeli 8.8 dekodiraju se prema instanci genetskog algoritma i proračunu preliminarnih troškova za hidraulični cilindar, koji su u cijelosti prikazani u Prilogu 3 i 6, respektivno.

- Analiza rezultata aktivnosti planiranja tehnološkog procesa izrade (tabela 8.8) za hidraulični cilindar dovodi do sljedećih zaključaka:

- *Hidraulični cilindar moguće je obraditi korišćenjem horizontalne glodalice, horizontalnog obradnog centra i stubne bušilice,*
- *Preliminarni ukupni minimalni troškovi obrade hidrauličnog cilindra iznose 142.49 KM,*
- *Broj operacija obrade, potrebnih za obradu hidrauličnog cilindra iznosi četrnaest (14) i*
- *Prva operacija obrade, koja obuhvata zahvate grubog i poluzavršnog glodanja, izvodi se na strani B hidrauličnog cilindra.*

Realizacijom aktivnosti planiranja tehnološkog procesa izrade i generisanja izlaznih rezultata u vidu optimalnog redosljeda izvođenja zahvata obrade, izvršena je verifikacija primjene razvijenog sistema SIPROTEX.

9. ZAKLJUČCI

9.1 PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Na savremenom globalnom tržišnom proizvod predstavlja osnovni pokretački mehanizam razvoja, kako preduzeća na mikro nivou, tako i društva i države u cjelini. Preduzeća koja su sposobna da projektuju, proizvedu i prodaju proizvode, koji su u potpunosti u funkciji zahtjeva kupaca, u mogućnosti su da obezbijede stalni rast i razvoj. Kao rezultat zahtjeva kupaca, proizvodi su tokom vremena dostigli visok nivo složenosti, kvaliteta, fleksibilnosti, varijantnosti i adaptibilnosti. Preduzeća su, kao odgovor na visoke zahtjeve kupaca koje proizvod mora da ispuni, prinuđena da pronalaze i primjenjuju nova rješenja u procesima razvojnog i životnog ciklusa proizvoda.

Savremeni koncept razvojnog ciklusa proizvoda bazira se na principima simultanog (konkurentnog) inženjerstva. Osnovna premisa ovog koncepta bazira se na najvećem stepenu simultanosti i automatizacije izvođenja svih aktivnosti razvojnog ciklusa proizvoda. Visok nivo automatizacije aktivnosti razvojnog ciklusa proizvoda postiže se primjenom modernih, računarom podržanih programskih sistema (Cax) i tehnologija, posebno u oblasti razvoja, projektovanja i proizvodnje proizvoda (CAD, CAM, MRP, ERP). Međutim, ako se cjelokupni razvojni ciklus proizvoda, u kontekstu računarom integrisane proizvodnje (CIM koncept), posmatra kao neprekidni tok, još uvijek postoje prekidi u tom toku. Najveći prekid pojavljuje se između računarom podržanog projektovanja (CAD), računarom podržane proizvodnje (CAM), i računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa (CAPP). Identifikovani prekid u primjeni CAPP sistemima dovodi do pojave ostrva automatizacije i značajno ugrožava koncept simultanog inženjerstva i CIM koncepta.

Na osnovu izvršene analize stanja u oblasti simultanog inženjerstva i računarom podržanog projektovanja tehnoloških procesa, postavljen je osnovni cilj istraživanja koji se odnosi na razvoj opšteg modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Motiv ovog istraživanja predstavlja težnja za smanjenjem ili potpunim uklanjanjem prekida između oblasti CAD i CAPP. Osnovni ciljevi istraživanja u okviru predmetne disertacije su:

- *Razvoj opšteg modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Povećanje stepena automatizacije projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti konceptualnog i detaljnog projektovanja proizvoda i*
- *Programsko objedinjavanje aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda, dijelova i tehnoloških procesa.*

Polazeći od osnovnih ciljeva predmetne disertacije, realizovana su odgovarajuća istraživanja, čiji se rezultati mogu predstaviti u tri dijela:

- *Teorijski dio,*
- *Razvoj modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa i*
- *Razvoj i verifikacija programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.*

U teorijskom dijelu rada izvršena je analiza i istraživanje dostupnih literaturnih jedinica, što je omogućilo stvaranje podloga za razvoj opšteg modela sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa. Rezultati koji proizilaze iz ove cjeline predmetnog istraživanja odnose se na:

- *Analizu stanja i pravce razvoja u oblastima razvoja i projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Definisanje podloga za razvoj sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa baziranih na tehnologiji tehnoloških tipskih formi i primjeni vještačke inteligencije i*
- *Definisanje zahtjeva i značaja simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa u okviru razvojnog ciklusa proizvoda i CIM koncepta.*

Drugi dio predmetnog istraživanja odnosi se na razvoj opšteg modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, koji predstavlja centralni dio istraživanja.

Razvoj opšteg modela za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršen je na osnovu analize literaturnih izvora i identifikovanih praktičnih zahtjeva koji su u domenu znanja projektanata. Opšti model za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa obuhvata razvoj dva osnovna modula aktivnosti i to:

- *Modula aktivnosti konceptualnog projektovanja proizvoda i*
- *Modula aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa.*

U okviru modula aktivnosti detaljnog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa posebna pažnja usmjerena je na aktivnost simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa. Simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršeno je na bazi procesnog pristupa i modularne arhitekture konstrukcije proizvoda. Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa izvršeno je za grupu dijelova prizmatičnog oblika, koji se sastoje od ETTF glodanja i bušenja.

Opštim modelom za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa obuhvaćene su odgovarajuće aktivnosti računarom podržanog projektovanja proizvoda, projektovanja dijelova i tehnoloških procesa sa visokim nivoom simultanosti. Postavljenim modelom sistema SIPROTEX obezbijeđen je odgovarajući nivo uopštenosti, fleksibilnosti i proširivosti.

Treći dio predmetnog istraživanja odnosi se na razvoj i verifikaciju programskog sistema.

Pri razvoju programskog sistema, u dijelu koji se odnosi na konceptualno i detaljno projektovanje proizvoda i dijelova, primijenjene su tehnike algoritamskog modeliranja, programiranja i metode vještačke inteligencije. U dijelu sistema za planiranje tehnoloških procesa, pored pomenutih tehnika, primijenjene su metode vještačke inteligencije zasnovane na genetskim algoritmima.

Razvijeni programski sistem SIPROTEX integrisan je u programski sistem za zapreminsko modeliranje proizvoda SolidWorks. Prema tome, sistem obezbjeđuje nadogradnju i funkcionalno proširenje standardnog programskog sistema SolidWorks. Programski sistem SIPROTEX u okviru programskog sistema Solidworks, implementiran je kao cjelina koja se sastoji od tri zasebna modula, i to:

- *Modul za konceptualno projektovanje proizvoda,*
- *Modul za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa i*
- *Modul za upravljanje ETTF.*

Realizaciju aktivnosti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa izvode vodeći projektant i izvršni projektanti.

U okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda rješavaju se zadaci iz domena odgovornosti i uloge vodećeg projektanta. Ovi zadaci obuhvataju: pregled postojećih zapreminskih modela konceptualnih tipova proizvoda, usaglašavanje zahtjeva kupaca i proračun ključnih parametara za novi zapreminski konceptualni model proizvoda, generisanje i analizu novog zapreminskog modela proizvoda i distribuciju zadataka za detaljno projektovanje modula proizvoda.

Zadaci koji se rješavaju u okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa pripadaju izvršnim projektantima i obuhvataju: razradu modula proizvoda, preliminarno projektovanje dijelova, detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa, kao i planiranje tehnoloških procesa. Rješavanje pomenutih zadataka vrši se u okviru projektne aktivnosti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa.

Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa, kao i planiranje tehnoloških procesa, predstavlja centralnu aktivnost razvijenog sistema. Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa realizovano je primjenom metode projektovanja na bazi elementarnih tehnoloških tipskih formi (ETTF) koje predstavljaju nosioce geometrijskih i tehnoloških informacija, kao i znanja u obliku produkcionih pravila. Detaljnim projektovanjem dijelova na simultan način, generiše se zapreminski model dijela i tipski tehnološki zahvat za svaku od upotrebljenih ETTF. Nosioc ovih informacija, kao jedan od rezultata ovog procesa, predstavlja numerički zapis ETTF za dio, koji se koristi kao ulaz u aktivnost planiranja tehnoloških procesa. Ova aktivnost bazira se na procesu optimizacije redosljeda izvođenja zahvata obrade. Optimizacija redosljeda izvođenja zahvata obrade izvršena je primjenom metode vještačke inteligencije odnosno genetskih algoritama.

Izuzetno visok stepen fleksibilnosti i proširivosti sistema obezbijeđen je razvojem programskog modula za upravljanje elementarnim tehnološkim tipskim formama. U okviru ovog modula izvršeno je ažuriranje biblioteke ETTF, kako u pogledu definisanja novih geometrijskih karakteristika ETTF, tako i u pogledu definisanja tehnoloških karakteristika i sadržaja tehnoloških tipskih zahvata za pojedinačnu ETTF.

Verifikacija primjene razvijenog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršena je na primjeru proizvoda iz familije obradnih sistema za obradu deformisanjem primjenom razvijenih programskih modula. Programski modul za konceptualno projektovanje proizvoda verifikovan je na primjeru hidraulične prese za ugaono savijanje lima. Verifikacija programskog modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa izvršena je na primjeru razrade hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima. Detaljno projektovanje dijela i tehnološkog procesa, kao i planiranje tehnološkog procesa, izvršeno je na primjeru hidrauličnog cilindra kao sastavnog dijela hidrauličnog modula prese za ugaono savijanje lima.

Heuristički pristup u okviru metoda vještačke inteligencije, odnosno genetskih algoritama, implementiran je u cilju generisanja redosljeda izvođenja zahvata obrade. Generisanim rezultatima u vidu optimalne funkcije cilja, odnosno optimalnim redosljedom izvođenja zahvata izrade hidrauličnog cilindra, potvrđena je stabilnost i pouzdanost razvijenog genetskog algoritma.

Razvoj programskog sistema SIPROTEX baziran je na:

- *Procesnom pristupu projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa,*
- *Modularnoj arhitekturi konstrukcije proizvoda,*
- *Principima simultanog inženjerstva,*
- *Analizi mogućnosti integracije CAD i CAPP sistema i*
- *Opštoj algoritamskoj stukturi modela.*

Razvijeni programski sistem omogućava:

- *Simultano projektovanje proizvoda i tehnološki procesa,*
- *Konceptualno projektovanje složenih proizvoda,*
- *Razradu modula proizvoda,*
- *Automatizovano preliminarno projektovanje dijelova,*
- *Detaljno projektovanje dijelova i tehnoloških procesa i*
- *Automatizovano planiranje tehnološkog procesa izrade.*

Modularna struktura programskog sistema omogućava da aktivnosti detaljnog projektovanja dijelova i tehnološkog procesa, kao i planiranja tehnološkog procesa izrade, budu izvršene nezavisno od prethodno realizovanih aktivnosti. Ova činjenica ukazuje na postignuti odgovarajući nivo univerzalnosti i fleksibilnosti primjene razvijenog sistema.

9.2 PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Osnovni razvojni pravci u oblasti simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa usmjereni su na potpunu CAD/CAPP/CAM integraciju, kako bi se u potpunosti realizovali postulati simultanog inženjerstva i CIM koncepta. Postizanje CAD/CAPP/CAM integracije moguće je izvršiti preko korišćenja neutralnih formata podataka, tehnika objektno-orijentisanog programiranja, tehnologija na bazi tipskih formi, STEP standarda, metoda vještačke inteligencije, agent tehnologija, i njihove međusobne kombinacije. U konceptu CAD/CAPP/CAM integracije ne smije se zapostaviti mogućnost brzog razvoja novih informacionih tehnologija i metoda, interneta, novih programskih sistema i hardverskih mogućnosti uređaja u ovim oblastima.

Razvojem CAD/CAPP/CAM integracije potrebno je realizovati složene zahtjeve, kao što su:

- *Visok nivo automatizacije,*
- *Visok stepen fleksibilnosti i proširivosti sistema,*
- *Nezavisnost od vrste, tipa i složenosti proizvoda (dijelova),*
- *Nezavisnost od vrste proizvodnog sistema, programskih sistema, uređaja i/ili mašina i*
- *Jednostavnost integracije sa prethodnim i narednim aktivnostima u okviru simulatnog inženjerstva.*

Složeni zahtjevi, kao i postojeća problematika u oblasti CAD/CAPP integracije, uticali su na to da pojedini segmenti programskog sistema SIPROTEX nisu u potpunosti riješeni. Unaprjeđenje programskog sistema moguće je izvršiti u dijelovima razvijenih programskih modula.

U okviru modula za konceptualno projektovanje proizvoda moguće je izvršiti unaprijeđenje u pravcu:

- *Implementacije metoda za ocjenu i verifikaciju novog konceptualnog modela proizvoda,*
- *Uvođenja kolaborativnog okruženja i*
- *Razvoja modula za procjenu preliminarnih troškova novog konceptualnog modela proizvoda.*

U okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, u segmentu aktivnosti razrade modula proizvoda i detaljnog projektovanja dijelova, unaprijeđenja su moguća u pravcu:

- *Proširenja sistema za razradu drugih modula proizvoda,*
- *Uvođenja aktivnosti definisanja standardnih dijelova,*
- *Implementacije metoda za ocjenu i verifikaciju proizvoda i dijelova (FEM, CFD),*
- *Razvoja novih i automatizacije postojećih alata za detaljno projektovanje proizvoda na bazi ETTF,*
- *Detaljnog projektovanja dijelova cilindričnog i složenog oblika i*
- *Uvođenja ETTF struganja i ETTF složenih obrada i oblika.*

U okviru modula za detaljno projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa, u segmentu aktivnosti koje se odnose na projektovanje tehnoloških procesa, unaprijeđenja sistema SIPROTEX su moguća u pravcu:

- *Automatizovanog generisanja tehnoloških ograničenja u svrhu optimizacije izvođenja redoslijeda zahvata obrade,*
- *Razvoja podsistema za detaljno projektovanje tehnoloških procesa i generisanja NC programa i*
- *Razvoja podsistema za detaljan proračun troškova proizvodnje.*

Unaprijeđenje programskog sistema, kao cjeline moguća su u pravcima:

- *Razvoja sistema za simultano projektovanje proizvoda integralne arhitekture,*
- *Razvoja kolaborativnog okruženja,*
- *Implementacije dodatnih metoda vještačke inteligencije,*
- *Implementacije STEP standarda i*
- *Poboljšanja i unaprijeđenja algoritamskih struktura u svrhu ubrzanja procesa simultanog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa.*

Buduća istraživanja u oblasti CAD/CAPP integracije treba da doprinesu prevazilaženju jaza koji trenutno postoji između ovih aktivnosti i koji ozbiljno narušava filozofiju simultanog inženjerstva i CIM koncepta. Prema tome, istraživanja u narednom periodu treba usmjeriti na formiranje jedinstvene (univerzalne) CIM platforme, koja će omogućiti stvarnu i potpunu, kako CAD/CAPP/CAM integraciju, tako i integraciju sa prethodnim i narednim aktivnostima razvojnog ciklusa proizvoda.

10. LITERATURA

- [1] Kalajdžić, M.: *Tehnologija mašinogradnje*, Mašinski fakultet, Beograd, 2002.
- [2] Babić, B.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
- [3] Zhang, H. C., Alting, L.: *Computerized Manufacturing Process Planning System*, Chapman & Hall, London, 1994.
- [4] Todić, V.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [5] Jovišević, V.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2005.
- [6] Lukić, D.: *Razvoj opšteg modela tehnološke pripreme proizvodnje*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2012.
- [7] Marri, H.B., Gunasekaran, A., Bulent, K.: *Implementation of Computer - Integrated Manufacturing in Small and Medium Enterprises*, Industrial and Commercial Training, Vol. 35, No. 4, pp.151-157, 2003.
- [8] Kotler P., Wood M. : *Framework for Marketing Management*, Paperback, Prentice Hall, New Jersey, ISBN: 978-1405846745, 2006.
- [9] Obraz, R.: *Politika proizvodna*, Informator, Zagreb, 1975.
- [10] Petrović, B.: *Razvoj proizvodna*, Monografija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1997.
- [11] Crawford M., Di Benedetto A.: *New Products Management*, McGraw-Hill, New York, ISBN 978-0-07-340480-6, 2011.
- [12] Chryssolouris, G.: *Manufacturing Systems: Theory and Practice*, Springer Science and Business Media, Inc., New York, ISSN 978-0387-25683-2, 2006.
- [13] Dieter, G.E. : *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*, 3rd ed., McGraw-Hill, Singapore, 2000.
- [14] Rolstadas A.: *Planning and control of concurrent engineering project*, Int. J. Production Economics, Vol. 38, No. 3, pp: 3-13, 1995.
- [15] Chou, S., Trappey, A., Pokojski, J., Smith, S.: *Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology*, Proceedings of the 16th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Taiwan, 2009.
- [16] Anumba, C.J., Siemieniuch, C.E., Sinclair, M.A. : *Supply chain implications of concurrent engineering*, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 30:7/8, 566–597, 2000.
- [17] Willaert, S.S.A., De-graaf, R., Minderhoud, S. : *Collaborative engineering: A case study of concurrent engineering in a wider context*, Journal of Engineering Technology Management 15, 87–109, 1998.
- [18] Haque, B., Pawar, K.S., Barson, R.J.: *Analyzing organizational issues in concurrent new product development*, International Journal of Production Economics 67, 169–182, 2000.
- [19] Abdalla, H.S.: *Concurrent engineering for global manufacturing*, International Journal of Production Economics, 60–61:1, 251–260, 1999.
- [20] Ranky, P.G.: *Features concurrent engineering and enterprise modeling*, Assembly Automation, 14:3, 14–21, 1994.
- [21] Winner, R.I., Pennell, J.P., Bertrand, H.E., Slusarezuk, M.M.G. : *The role of concurrent engineering in weapon systems acquisition*, Institute for Defense Analysis, IDA Report R-338, Alexandria, VA, USA, 1998.
- [22] Herder, P.M., Weijnen, M.P.C. : *A concurrent engineering approach to chemical process design*, International Journal of Production Economics 64, 311–318, 2000.
- [23] Yassine, A., Braha, D. : *Four complex problems in concurrent engineering and the design structure matrix method*, Concurrent Engineering Research and Applications 11:3, 165–176, 2003.
- [24] Luh, D.B., Ko, Y.T., Ma, C.H.: *A dynamic planning approach for new product development*, Concurrent Engineering: Research and Applications 17:1, 43–59, 2009.

-
- [25] Wysk R. A., Wang H.P., Chang T.-C.: *Computer-Aided Manufacturing: 3rd Edition*, Paperback, Prentice Hall, New Jersey, 2006.
- [26] Hirz, M.: *CAX in automotive and engine technology*, Lecture script at Graz University of Technology, 2011.
- [27] French, M. : *Conceptual Design for Engineers*, 2nd Ed. London: Design Council, 1985.
- [28] Cross, N. : *Engineering Design Methods*, 2nd Ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. pp. 45, 1998.
- [29] Jones, J. C.: *A Method of Systematic Design in N. Cross*, Developments in Design Methodology, Chichester: John Wiley & Sons Ltd. pp.21., 1984.
- [30] Archer, L. B. : *Systematic Method for Designers in N. Cross*, Developments in Design Methodology,. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. pp.58, 64., 1984.
- [31] Pahl, G., Beitz, W.: *Engineering Design: A Systematic Approach*, London: Design Council, 1984.
- [32] VDI 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, Beuth Verlag, Berlin, 1993.
- [33] March L.: *The logic of design in N. Cross*, Developments in design methodology, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1984.
- [34] Andreasen, M.M., McAloone, T., Mortensen, N.H.: *Multi-Product Development- platforms and modularization*, Technical University of Denmark, ISBN:87-90130-34-0, Lyngby, 2001.
- [35] Riitahuhta, A., Andreasen M.M.: *Configuration by Modularization*, Proceeding of NordDesign '98, Stockholm, Sweden, 1998.
- [36] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D.: *Product Design and Development*, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [37] Erens, F., Verhulst, K.: *Architecture for Product Families*, Proceedings of the 2th WDK Workshop on Product Structuring, Delft, 1996.
- [38] Simpson T.W., Maier J.R.A., Mistree, F.: *Product platform design: method and application*, Research in Engineering Design, vol. 13, pp. 2 – 22, 2001.
- [39] O'Grady, P., Liang, W.Y., Tseng, T.L., Huang, C.C., Kusiak, A.: *Remote Collaborative Design With Modules*, Technical Report TR 97-03, University of Iowa, 1997.
- [40] Jokanović, S.: *Geometrijsko modeliranje*, Univerzitet u Banjaluci, Mašinski fakultet Banjaluka, 2006.
- [41] Matalin, A.A.: *Tehnologija mašinstroenija*, Mašinstroenije, Lenjingrad, 1986.
- [42] Wang, H.P., Li, J.K.: *Computer Aided Process Planning*, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- [43] Mitrofanov, S.P.: *The Scientific Principles of Group Technology*, National Landing Library Translation, Yorks, UK, Boston Spa, 1996.
- [44] A. C. Lin, S. Y. Lin, Cheng, S. B.: *Extraction of manufacturing features from a feature-based design model*, International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 12, pp. 3249-3288, 1997.
- [45] Milošević M.: *Kolaborativni sistem za projektovanje tehnoloških procesa izrade proizvoda baziran na internet tehnologijama*, Doktorska disertacija, Fakultet tehnickih nauka, Novi Sad, 2012.
- [46] Siller H.R., Estruch A., Vila C., Abellán J.V., Romero F.: *Modeling Workflow Activities for Collaborative Process Planning with Product Lifecycle Management Tools*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.19, No.6, pp.689-700, ISSN 0956-5515, Springer, 2008.
- [47] Kulvatunyou B., Wysk R.A., Cho H.B., Jones, A.: *Integration Framework of Process Planning Based on Resource Independent Operation Summary to Support Collaborative Manufacturing*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.17, No.5, pp.377–393, ISSN 0951-192X, Taylor & Francis, 2004.
- [48] Ming X.G, Yan J.Q., Wang X.H., Li S.N., Lu W.F., Peng Q.J., Mad Y.S.: *Collaborative Process Planning and Manufacturing in Product Lifecycle Management*, Computers in Industry Vol.59, No.2-3, pp.154-166, ISSN 0166-3615, Elsevier, 2008
- [49] Shah J, Mantyla M: *Parametric and Feature based CAD/CAM: Concepts, Techniques and Applications*, John Wiley, New York, ISBN 0471-00214-3, 1995.
-

- [50] Case, K., Hounsell, M.S.: *Feature modelling: a validation methodology and its evaluation*, Journal of Materials Processing Technology, 107 (1-3), pp. 15 – 23, 2000.
- [51] Mantyla M, Nau D., Shah J: *Research challenges in feature based manufacturing*, Communications of ACM, Feb. 1996.
- [52] Grayer, A. R.: *A Computer Link between Design and Manufacture*, Ph.D. Thesis, University of Cambridge, Cambridge, 1976.
- [53] Allada, V., Anand, S.: *Feature-based Modelling Approaches for Integrated Manufacturing: State-of-the-art Survey and Future Directions*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol. 8(6), pp. 411-440. 1995.
- [54] Hounsell, M. S. : *Feature-based Validation reasoning for Intent-driven Engineering Design*. PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1998.
- [55] Borja, V.R.: *Redesign Supported by Data Models with Particular Reference to Reverse Engineering*, PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1997.
- [56] Pratt, M. J., P. R. Wilson: *Requirements for Support of Form Features in a Solid Modelling System*, Final Report R-85-ASPP-01, CAM-I Inc., Arlington, Texas, USA. 1985.
- [57] Case, K. : *Feature Technology - an Integration Methodology for CAD and CAM*, International Conference on Manufacturing Automation, Hong-Kong. Vol. 1, pp. 613-624, 1992.
- [58] Bidarra, R., Bronsvoort, W. F. : *Semantic feature modeling*, Computer-Aided Design. vol. 32, Issue 3. pp 201-225, March 2000.
- [59] Gindy, N. N. Z.: *A hierarchical structure for form features*. Int. J. of Prod. Research. 27(12), 2089-2103. 1989.
- [60] Butterfield, W. R., Green, M. K., Scott, D. C., Stoker, W. J.: *Part features for process planning*, C-85-PPP-03, CAM-I Inc., Arlington, Texas, USA, 1985.
- [61] Han, J., Pratt, M., Regli, W.C.: *Manufacturing Feature Recognition From Solid Models: A status report*, IEEE Transaction on robotics and automation, Vol. 16, No. 6, pp 782-796. ISSN 1042-296X, 2000.
- [62] Tavakoli, A.B.: *Feature Based Workshop Oriented NC Planning for Asymmetric Rotational Parts*. PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1993.
- [63] Varvakis, G. J.R. : *Manufacturing Code Generation for Rotational Parts in a Feature Based Product Modelling Environment*, PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1991.
- [64] Nasr, A.E., Kamrani, A.K.: *A New Methodology For Extracting Manufacturing Features From CAD System*, International Journal of Computer and Industrial Engineering 1 (51), 389-415, 2006.
- [65] Choi, B.K., Barash, M.M., Anderson, D.C. : *Automatic Recognition of Machined Surfaces from a 3D Solid Model*, Computer Aided Design. March, 1984. vol. 16: pp. 81-86, 1984.
- [66] Milačić, V., Urošević, M.: *SAPT- Knowledge based CAPP System*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 1/2, pp. 69-76, 1988.
- [67] Gao, J., Zheng, D.T., Gindy, N.: *Extraction of machining features for CAD/CAM integration*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 24(7/8), p. 573–581, 2004.
- [68] Lee, J. Y., Kim, K.: *A feature-based approach to extracting machining features*, CAD, Vol.30, No. 13, pp.1019-1035, 1998.
- [69] Kim, Y. S.: *Volumetric Feature Recognition Using Convex Decomposition*, Advances in Feature-Based Manufacturing, Elsevier, Chapter 3:39-63, 1994.
- [70] Dong, J. , Vijayan, S.: *Manufacturing feature determination and extraction - Part I: optimal volume segmentation*, Computer Aided Design, Vol. 29, No.6, pp. 427 - 440, 1997.
- [71] Wang, E., Kim, S.K., Wo, Y.: *Feature recognition using combined convex and maximal volume decompositions*, Proceedings of IDETC/CIE 2005, ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Long Beach, California, USA2005,

- [72] Woo, Y., Sakurai, H. : *Recognition of maximal features by volume decomposition*, Computer Aided Design 34, 195-207, 2002.
- [73] Houshmand, M., Imani, D.M.: *A Volume Decomposition Model to Determine Machining Features for Prismatic Parts*, Journal of Applied Science 9, 1703-1710, Asian Network for Scientific Information, 2009.
- [74] Lu, H., Marazama, R., Mascle, C.: *Decomposition of Delta Volume for Machining*, 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June 18-21, 2007.
- [75] Tuttle, R., Little, G., Corney, J., Clark D.E.R.: *Feature recognition for NC part programming*, Computers in Industry 35, 275–289, 1998.
- [76] Yildiz, Y., Korkut, I., Sener, U.: *Development of a Feature Based CAM System for Rotational Parts*, G.U. Journal of Science 19(1): 35-40, 2006.
- [77] Milačić, V.R., Urošević, M., Veljović, A., Race I., Miler A.: *SAPT Expert System based on hybrid concept of Group Technology*, 2. Annals of the CIRP, Vol. 36, 1987.
- [78] Nasr, E.A., Vijayau, A., Kamarani A.K. : *A feature-based approach for integrated product design and process planning* , Proceedings of the 34th International Conference on Computers & Industrial Engineering, 2004.
- [79] Botef, I.: *Computational Technique Model for CAD-CAPP Integration*, 9th WSEAS Int. Conf. on mathematics & computers in business and economics (MCBE'08), Bucharest, Romania, June 24-26, 2008.
- [80] Jovišević V., Todić V.: *Ekspert- tehnolog sistem za projektovanje tehnologije hidrauličnih cilindara*, 27.Međunarodno savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš-Niška Banja, 1998.
- [81] Yang , Y.N., Parsaei, H.R., Leep H.R.: *A prototype of a feature-based multiple-alternative process planning system with scheduling verification*, Computers & Industrial Engineering 39, pp. 109-124, 2001.
- [82] Abu, R. , Tap, M.: *Attribute based feature recognition for machining features*, Jurnal Teknologi, 46(A) Universiti Teknologi Malaysia, 87–103 , 2007.
- [83] Lee, H.C., Jhee, W.C. , Park H.S.: *Generative CAPP through projective feature recognition*, Computers & Industrial Engineering 53, 241–246, 2007.
- [84] Ando, K., Muljadi, H., Takeda, H., Ogawa, M. : *Development of feature library for a process planning system*, In. Proc. of the 8th Int'l Conf. on Manufacturing & Management, pp. 885-890, 2004.
- [85] Meeran, S., Taib, J.M., Afzal, M.T.: *Recognizing features from engineering drawings without using hidden lines: a framework to link feature recognition and inspection systems*, International Journal of Production Research 41 (3) 465–495, 2003.
- [86] Gao, S., Shah J.J. : *Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition sub graph*, Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 9, pp. 727–739, 1998.
- [87] Verma, A.K., Rajotia S. : *A hint-based machining feature recognition system for 2,5D parts*, International Journal of Production Research, Vol. 46, No.6, 1515-1537, 2008.
- [88] Wong, T.N., Wong, K.W. : *A feature-based design system for computer aided process planning*, Journal of Material Processing Technology, Vol. 52, pp. 122-132, 1995.
- [89] Laakko, T., Mäntylä, M.: *Feature Modelling by Incremental Feature Recognition*, Computer Aided Design, Vol. 25(8), pp. 479-492, 1993.
- [90] Devedžić, G.: *Softverska rešenja CAD/CAM sistema*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004. ISBN 86-80581-67-4.
- [91] ISO 10303-11: *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*, 2004.
- [92] ISO 10303-21: *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure*, 2002.
- [93] Shah, J., Rogers, M.: *Expert Feature Modeling Shell*, J. of Computer Aided Design, U.K., V20, N9, pp. 515-524, 1988.

- [94] Chang, T. C., Anderson, D. C., Mitchell O. R.: *QTC-An Integrated Design/ Manufacturing/ Inspection System for Prismatic Parts*, Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, pp. 417-425, 1988.
- [95] Sani, E.T., Davis, R.E.: *Feature-based Distributed Computer Aided Process Planning System*, Advances - in Integrated Product Design and Manufacturing, pp. 163-179, 1999.
- [96] Sheu, L.C., Lin, J. : *Representation scheme for defining and operating form features*, Computer-Aided Design, Vol. 25, No. 6, pp. 335-347, 1993.
- [97] Das, D., Gupta, S.K., Nau, D.S. : *Estimation of setup time for machined parts: accounting for work-holding constraints using a vise*, Proceedings of the International Computers in Engineering Conference and Database Management Symposium, Boston, MA, USA, 17-20 September, pp. 619-631, 1995.
- [98] Hailong, J., Jianhua, J., Jinxiang, D., Yong, W.: *A feature-based, parametric modeling system for CAD/CAPP/CAM integrated system*, Proceeding of the IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 329-333, 1996.
- [99] Tseng, Y.J., Lin, C.C.: *Analysis on multiple sets of feature-based tool paths for prismatic machining parts*, INT J PROD, 36(12), pp. 3491-3509, 1998.
- [100] Febransyah, A. : *A feature-based approach to automating high-level process planning*, Ph.D. thesis, North Carolina State University, USA, 2001.
- [101] Zhang, F., Xue, D.: *Distributed database and knowledge base modeling for concurrent design*, Computer Aided Design 34, pp. 27-40, 2002.
- [102] Zimmermann, J.U., Haasis, S., Houten, F.J.A.M. van: *ULEO - Universal Linking of Engineering Objects*, CIRP Annals, 51 (1). pp. 99-102, ISSN 0007-8506, 2002.
- [103] Patil, L. ,Pande, S.S.: *An intelligent feature-based process planning system for prismatic parts*, International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 17, pp.4431-4447, 2002.
- [104] Gonzalez, F., Rosdop, P.: *General and flexible methodology and architecture for CAPP. GF-CAPP system*, International Journal of Production Research, Vol. 41, pp. 2643 –2662, 2003.
- [105] Cherng, J.G., Shao, X.Y., Chen, Y., Sferro, P.: *Feature-based part modeling and process planning for rapid responsive manufacturing*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 515-530, 1998.
- [106] Gayretli, A., Abdalla, H.S. : *A prototype constraint-based system for the automation and optimization of machining processes*, P I MEC E B, 213(7), pp. 655-676, 1999.
- [107] Kim, Y. S., Kim, Y., Pariente, F., Wang, E.: *Geometric reasoning for mill-turn machining process planning*, Computers & Industrial Engineering,33(3-4):501-504, 1997.
- [108] Xu, X.: *Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control - Principles and Implementation*, Information Science Reference, New York, 2009, ISBN 978-1-59904-714-0.
- [109] ISO 10303-42: *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 42: Integrated generic resource: Geometric and topological representation*, 2003.
- [110] ISO 10303-224: *Industrial automation systems and integration –Product data representation and exchange - Part 224: Application protocol: Mechanical product definition for process planning using machining features*, 2006.
- [111] ISO 10303-203: *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 203: Application Protocols: Configuration controlled 3D design*. 2007.
- [112] ISO 10303-209: *Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 209: Application protocol: Multidisciplinary analysis and design*, 2014.
- [113] ISO 10303-210: *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 210: Application protocol: Electronic assembly, interconnect and packaging design*, 2014

- [114] ISO 10303-242: *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering*, 2014.
- [115] Wang, H., Xu, X., Tedford, J.D.: *An Adaptable CNC System based on STEP-NC and function blocks*, International Journal of Production Research, 45 (17), 3809–3829, 2007.
- [116] *Whitepaper: Development of STEP AP 242 ed2, Managed Model Based 3D Engineering*, 2014.
- [117] Kang, M., Han, J., Moon, J.G.: *An approach for interlinking design and process planning*, Journal of Materials Processing Technology, 139 (1–3 SPEC), 589–595, 2003.
- [118] Ong, S.K., Li, W.D., Nee, A.Y.C.: *STEP-based integration of feature recognition and design-by-feature for manufacturing applications in a concurrent engineering environment*, International Journal of Computer Applications in Technology, 18 (1–4), 78–92, 2003.
- [119] Amaitik, S.M., Kilic, S.E.: *STEP-based feature modeller for computer-aided process planning*, International Journal of Production Research, 43 (15), 3087–3101, 2005.
- [120] Yifei, T., et al.: *A feature-extraction-based process planning system*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 38 (11–12), 1192–1200, 2008.
- [121] Rameshbabu, V., Shunmugam, M.S.: *Hybrid feature recognition method for setup planning from STEP AP203*. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 25 (2), 393–408, 2009.
- [122] You, C.F., Lin, C.H.: *Java-Based Computer-Aided Process Planning*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.26, No.9-10, pp.1063–1070, ISSN 0268-3768, Springer, 2005.
- [123] Amaitik, S.M., Kilic, S.E.: *An intelligent process planning system for prismatic parts using STEP features*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 31 (9–10), 978–993, 2007.
- [124] Šormaz D.N., Arumugam J., Rajaraman S.: *Integrative Process Plan Model and Representation for Intelligent Distributed Manufacturing Planning*, International Journal of Production Research, Vol.42, No.17, pp.3397–3417, ISSN 0020-7543, Taylor & Francis, 2004.
- [125] Jovišević, V.: *Automatizacija projektovanja tehnoloških procesa*, Univerzitet u Banjaluci, Mašinski fakultet Banjaluka, 2002.
- [126] Veljović, A.: *Elementi ekspert sistema za projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet, JUPITER Asocijacija, Beograd, ISBN 86-7083-141-4, 1990.
- [127] Matsushima, K., Okada, N., Sata, T.: *The integration of CAD and CAM by application of Artificial Intelligence techniques*. Annals of the CIRP, 31, 329-332, 1982.
- [128] Descotte, Y., Latombe, J. C.: *GARI: a problem solver that plans how to machine mechanical parts*, Proceedings of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, Canada, August 24-28, 766-772, 1981.
- [129] Miao, H.K., Sridharan, N., Shah, J.J. : *CAD-CAM integration using machining features*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 15, Issue 4, pp. 296-318, 2002.
- [130] Dong, J., Parsaei, H. R., Leep, H.R.: *Manufacturing process planning in a concurrent design and manufacturing environment*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 83-93, 1996.
- [131] Lau, H.C.W., et al.: *Development of a computer integrated system to support CAD to CAPP*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26 (9–10), 1032–1042, 2005.
- [132] Waiyagan, K., Bohez, E.L.J.: *Intelligent Feature Based Process Planning for Mill-Turn Parts*, Computers in Industry, Vol. 60, Issue 5, pp. 296-316, 2009.
- [133] Mäntylä, M., Opas, J.: *HutCAPP- A machining operations planner*, Second International Symposium on Robotics and Manufacturing Research, New York, NY, USA, (ASME Press), pp. 901-910, 1988.
- [134] Tan, W., Khoshnevis, B.: *Integration of Process Planning and Scheduling – A Review*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 11, pp. 51-63., ISSN 0956-5515, 2000.

- [135] Wang, H. P., Wysk, R. A.: *Turbo-CAPP: A Knowledge-Based Computer Aided Process Planning System*, Proceedings of the 19th CIRP International Seminar on manufacturing System, State College, PA, pp.161-167, 1987.
- [136] Iwata, K., Fukuda, Y.: *A New Proposal Dynamic Process Planning in Machine Shop*, Proceedings of CIRP Int. Workshop on CAPP, Hannover, Sept. 1989, pp.73-83, 1989.
- [137] Kikojević Babić, J.: *Razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa za klasu rotacionih delova*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2002.
- [138] Domazet D., Manić, M., Trajanović, M.: *CIMROT-System for Concurrent Design, Engineering and Process Planning of Rotational Parts*, ICCIM 93, Second International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Singapore, 1993.
- [139] Abdalla, H. S., Knight, J.: *An Expert System for Concurrent Product and Process Design of Mechanical Parts*, Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol. 208, pp. 167-172, 1994.
- [140] Park J. Y., Khoshnevis, B.: *A real-time computer-aided process planning system as a support tool for economic product design*, Journal of Manufacturing Systems, 12(2):181-193, 1993.
- [141] Khoshnevis, B., Šormaz, D.N., Park, J.Y.: *An integrated process planning system using feature reasoning and space search-based optimization*, IIE Transactions, 31 (7), 597-616, 1999.
- [142] Wang, M.T.: *A geometric reasoning methodology for manufacturing feature extraction from a 3-D CAD model*, PhD Thesis, Purdue University, 1990.
- [143] Hwang, J.L., Henderson, M.R.: *Applying the perception to three-dimensional feature recognition*, Journal of design manufacture, 2(4), 187-198, 1992.
- [144] Prabhakar, S., Henderson, M.R.: *Automatic form-feature recognition using neural-network-based techniques on B-rep of solid models*, Computer Aided Design, Vol. 24(7),381-393, 1992.
- [145] Wu, M.C., Jen, S.R.: *Global shape modelling and classification of 2D work pieces*, International journal of computer Integrated Manufacturing. 7, 261-275, 1994.
- [146] Nezis, K., Vosniakos, G.: *Recognizing 2.5D shape features using a neural network and heuristics*, Computer Aided Design, 29(7), 523-439, 1997.
- [147] Chen, Y.H., Lee, H.M.: *A neural network system for 2D feature recognition*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 11(2), 111-117, 1998.
- [148] Onwubolu, G.C.: *Manufacturing features recognition using backpropagation neural networks*, J Intell Manuf 10(3-4):289-299, 1999.
- [149] Devireddy, C.R., Ghosh, K.: *Feature-based modelling and neural networks-based CAPP for integrated manufacturing*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 12(1), 61-74, 1999.
- [150] Ming, X.G., Mak, K.L., Yan, J.Q.: *A hybrid intelligent inference model for computer aided process planning*, Integrated Manufacturing Systems, 10(6), 343-353, 1999.
- [151] Deb, S., Ghosh, K., Paul, S.: *A neural network base methodology for machining operations selection in computer aided process planning for rotationally symmetrical parts*, Journal of Intelligent Manufacture. 17, 557-569, 2006.
- [152] Ding, L., Yue, Y., Ahmet, K., Jackson, M., Parkin, R.: *Global optimization of a feature-based sequence using GA and ANN techniques*, International Journal of Production Research, 15(1) 3247-3272, 2005.
- [153] Devireddy, C.R., Eid, T., Ghosh, K.: *Computer-aided process planning for rotational components using artificial neural networks*, International journal of Agile Manufacturing. 5(1), 27-49, 2002.
- [154] Ming, X.G., Mak, K.L.: *A hybrid Hopfield Network-Genetic approach to optimal process plan selection*, International Journal of Production Research, 38(8), 1823-1838, 2000b.
- [155] Balic, J., Korosec: *Intelligent tool path generation for milling of free surface using neural networks*, Journal of Machine Tools and Manufacture. 42, 1171-1179, 2002.

- [156] Park, M.W., Park, B.T., Rho, Y.M., Kim, S.K.: *Incremental supervised learning of cutting conditions using the Fuzzy ARTMAP neural network*, Annals of the CIRP, 49(1), 375-378, 2000.
- [157] Joo, J., Park, S., Cho, H.: *Adaptive and dynamic process planning using neural networks*, International Journal Production Research. 39(13), 2923-2946, 2001.
- [158] Khalifa, B. R., Yahia, B. N., Zghal, A.: *Integrated feed-forward artificial neural networks system for machines tools selection*, Proceedings of the Second International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Barcelona, Spain, September 14-17, 2005.
- [159] Ying, H.: *Fuzzy control and Modeling: Analytical foundations and applications*, The institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000.
- [160] El Baradie, M.A.: *A fuzzy logic model for machining data selection*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, n. 37, pp. 1353-1372, 1997.
- [161] Wong, S.V., Hamouda, A.M.S., El Baradie, M.A.: *Generalized fuzzy model for metal cutting data selection*, Journal of Materials Processing Technology, n. 89-90, pp. 310-317, 1999.
- [162] Hashmi, K., El Baradie, M.A., Ryan, M.: *Fuzzy logic based intelligent selection of machining parameters*, Computers and Industrial Engineering, Selected Papers from the 22nd ICC and IE Conference, n. 35, pp. 571-574, 1998.
- [163] AMAITIK, S.M.: *Fuzzy Logic Models for Selection of Machining Parameters in CAPP Systems*, International Journal of Computer and Information Technology, Vol. 02–Issue02, 2013.
- [164] Zhang, H-C., Huang S.H.: *A fuzzy approach to process plan selection*, The international journal of production research, Vol. 32, Issue 6, pp. 1265-1279, 1994.
- [165] Ognjanović Z., Krdžavac N.: *Uvod u teorijsko računarstvo*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2004.
- [166] Živković, M.: *Algoritmi*, Matematički fakultet, Beograd, 2000.
- [167] Golub, M.: *Genetski algoritam*, drugi dio, Zagreb, 2004. Dostupno na Internet adresi: <http://www.zemris.fer.hr/~golub>
- [168] Holland J.H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [169] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. Jr., Vecchi M.P.: *Optimization by simulated annealing*, Science, 220 (4598):671-80, 1983.
- [170] Goss, S., Deneubourg, J.L.: *Tile self-organizing clock pattern of Messor pergandei* (Fornlicidae, Myrmicinae). Soc. Ins. 36: 339-346, 1989.
- [171] Camazine, S., Deneubourg, J., Franks, N., Sneyd, J., Bonabeau, E., Theraulaz, G.: *Self-Organization in Biological Systems*, Princeton University Press, 2001.
- [172] Dorigo, M., Stützle, T.: *Ant Colony Optimization*, A Bradford Book, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, ISBN 0-262-04219-3, 2004.
- [173] Eberhart, R. C., Kennedy, J.: *A new optimizer using particle swarm theory*, Proceedings of the Sixth International Symposium on Micromachine and Human Science, Nagoya, Japan. pp. 39-43, 1995.
- [174] Jovišević, V.: *Razvoj modela projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa izrade sistema za obradu metala deformisanjem na osnovama grupne tehnologije i baze znanja*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 1997.
- [175] Reddy, S.V.B., Shunmugam, M.S., Narendran, T.T.: *Operation sequencing in CAPP using genetic algorithm*, International Journal of Production Research 37, 1063–1074, 1999.
- [176] Qiao, L., Wang, X. Y., Wang, S. C.: *A GA-based approach to machining operation sequencing for prismatic parts*, International Journal of Production Research, 38, 3283–3303, 2000.
- [177] Lee, D.H., Kiritsis, D., Xirouchakis, P.: *Branch and fathoming algorithms for operation sequencing in process planning*, International Journal of Production Research 39, 1649–1669, 2001.

- [178] Li, W.D., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.: *Hybrid genetic algorithm and simulated annealing approach for the optimization of process plans for prismatic parts*, International Journal of Production Research 40, 1899–1922, 2002.
- [179] Ma, G.H., Zhang, F., Zhang, Y.F., Nee, A.Y.C.: *An automated process planning system based on genetic algorithm and simulated annealing*, In: Proceedings of the ASME design engineering technical conference, pp. 57–63, 2002.
- [180] Alam, M. R., Lee, K. S., Rahman, M., Zhang, Y. F. : *Process planning optimization for the manufacture of injection moulds using a generic algorithm*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 16(3), 181–191, 2003.
- [181] Li, W.D., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.: *Optimization of process plans using a constraint-based tabu search approach*, International Journal of Production Research 42 (10), 1955–1985, 2004.
- [182] Azab A., ElMaraghy H.A.: *Mathematical Modelling for Reconfigurable Process Planning*, CIRP Annals 56/1:467–472, 2007.
- [183] Li, X. Y., Shao, X. Y., Gao, L. : *Optimization of flexible process planning by genetic programming*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 38, 143–153, 2008.
- [184] Salehi,M., Tavakkoli-Moghaddam, R.: *Application of genetic algorithm to computer-aided process planning in preliminary and detailed planning*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 22, 1179–1187, 2009.
- [185] Kafashi, S.: *Integrated setup planning and operation sequencing (ISOS) using genetic algorithm*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 56(5):589-600, , 2011.
- [186] Ming, X.G., Mak, K.L : *A hybrid Hopfield Network-Genetic approach to optimal process plan selection*, International Journal of Production Research, 38(8), 1823-1838, 2000.
- [187] Korošec, M., Balić, J., Kopač, J.: *Neural network based manufacturability evaluation of free form machining*, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 45, 13-20, 2005.
- [188] Chang, P.T., Chang C.H.: *An integrated artificial intelligent computer aided process planning system*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 13(6), 483-497, 2000.
- [189] Ming, X.G., Mak, K.L., Yan, J.Q.: *A hybrid intelligent inference model for computer aided process planning*, Integrated Manufacturing Systems, 10(6), 343-353, 1999.
- [190] Hewitt, C.: *Viewing control structures as patterns of passing messages*, Artificial Intelligence, 8, 323–364, 1997.
- [191] Wooldridge, M., Jennings, N.: *Intelligent agents: theory and practice*, The Knowledge Engineering Review, 10, 115–152, 1995.
- [192] Westkamper, E., Ritter, A., Schaefer, C. : *Asimov-holonc multi-agent system for AGVs*, In Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, 1999.
- [193] Chan, F. T. S., Zhang, J., Li, P.: *Agent- and CORBA®-based application integration platform for an agile manufacturing environment*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21(6), 460-468, 2003.
- [194] Toye, G., Cutkosky, M.R., Leifer, L.J., Tenenbaum, J.M., Glicksman J.: *SHARE: a methodology and environment for collaborative product development*, Journal International journal of intelligent and cooperative information systems, Vol.3, Issue 02, pp. 129-153, 1994.
- [195] Zhao F.L., Tso S.K., Wu P.S.Y.: *A Cooperative Agent Modelling Approach for Process Planning*, Computers in Industry, Vol.41, No.1, pp.83–97, ISSN 0166-3615, Elsevier, 2000.
- [196] Bose, U.: *A Cooperative Problem Solving Framework for Computer-Aided Process Planning*, Hawaii International Conference on System Sciences - HICSS , 1999.
- [197] Wang, L. H., Shen, W. M.: *DPP: An agent-based approach for distributed process planning*, Journal of Intelligent Manufacturing, 14, 429–439, 2003.

- [198] Jia, H.Z.; Ong, S.K.; Fuh, J.Y.H.; Zhang, Y.F.; Nee, A.Y.C.: *An adaptive and upgradable agent-based system for coordinated product development and manufacture*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 79–90, 2004.
- [199] Newman, S.T., Allen, R.D., Rosso Jr, R.S.U.: *CAD/CAM Solutions for STEP Compliant CNC Manufacture*, Proceedings of the 1st CIRP Seminar on Digital Enterprise Technology, Loughborough, Leicestershire, UK, pp. 123-128. 2005.
- [200] Xu, X., Wang, L., Newman, S.T.: *Computer-Aided Process Planning - A Critical Review of Recent Developments and Future Trends*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, Vol. 24, No. 1-3, pp. 1-31, ISSN 0951-192X, 2011.
- [201] Xu, X., W., He, Q.: *Striving for Total Integration CAD, CAPP, CAM and CNC*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 20, No. 2, pp. 101-109, ISSN 0736-5845, 2004.
- [202] Babic B., Nešić, N., Miljkovic, Z.: *A Review of Automated Feature Recognition With Rule-based Pattern Recognition*, Computers in Industry, Vol. 59, No. 4, pp. 321-337, ISSN 0166-0615, 2008.
- [203] Tan, W., Khoshnevis, B.: *Integration of Process Planning and Scheduling – A Review*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 11, pp. 51-63., ISSN 0956-5515, 2000.
- [204] Kamrani, K.A., Sferro, P., Handelman, J.: *Critical Issues in Design and Evaluation of Computer Aided Process Planning System*, Computers and Industry Engineering, Vol. 29, No. 1-4, pp. 619-623, ISSN 0360-8352, 1995.
- [205] Li, W. D., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.: *Integrated and Collaborative Product Development Environment: Technologies and Implementations*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, ISBN 981-256-680-5, 2006.