



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Ivan Matin

**MODULARNI SISTEM ZA
PROJEKTOVANJE ALATA ZA
INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2014.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, RBR :		
Identifikacioni broj, IBR :		
Tip dokumentacije, TD :	Monografska dokumentacija	
Tip zapisa, TZ :	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada, VR :	Doktorska disertacija	
Autor, AU :	Ivan Matin	
Mentor, MN :	Prof. dr Miodrag Hadžistević	
Naslov rada, NR :	Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	
Jezik publikacije, JP :	Srpski	
Jezik izvoda, Jl :	Srpski/Engleski	
Zemlja publikovanja, ZP :	Srbija	
Uže geografsko područje, UGP :	Vojvodina	
Godina, GO :	2013.	
Izdavač, IZ :	Autorski reprint	
Mesto i adresa, MA :	Novi Sad, Pariske Komune 11	
Fizički opis rada, FO : (poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga)	11 / 128 / 211 / 16 / 108 / 0 / 0	
Naučna oblast, NO :	Tehničko-tehnološke nauke	
Naučna disciplina, ND :	Mašinsko inženjerstvo	
Predmetna odrednica/Ključne reči, PO :	Projektovanje alata / CAD-CAE, injekciono presovanje, modularni sistem	
UDK		
Čuva se, ČU :	Biblioteka Fakulteta Tehničkih nauka u Novome Sadu	
Važna napomena, VN :		
Izvod, IZ :	U disertaciji se prikazuje modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. Analizirani su različiti prilazi u projektovanu alata. Prikazana je koncepcija i funkcionisanje razvijenog sistema. Verifikacija sistema je izvršena na konkretnim plastičnim proizvodima. Na kraju su dati odgovarajući zaključci i mogući pravci budućih istraživanja.	
Datum prihvatanja teme, DP :	29.10.2011.	
Datum odbrane, DO :		
Članovi komisije, KO :		
Predsednik:	Prof.dr Janko Hodolič	
Član:	Prof. dr Miroslav Plančak	Potpis mentora
Član:	Prof. dr Bogdan Nedić	
Član:	Doc. dr Damir Godec	
Član:	Doc. dr Đorđe Vukelić	
Član, mentor:	Prof. dr Miodrag Hadžistević	



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual material printed
Contents code, CC :	Dr Sci Thesis
Author, AU :	Ivan Matin
Mentor, MN :	Dr Sci Miodrag Hadzistevic
Title, TI :	Modular system for plastic injection molding
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2013
Publisher, PB :	Authors reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Pariske Komune 11.
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appen dixes)	11 / 128 / 211 / 16 / 108 / 0 / 0
Scientific field, SF :	Technical and technological sciences
Scientific discipline, SD :	Mechanical Engineering
Subject/Key words, S/KW :	Mold Design / CAD-CAE, injection molding, modular system
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences
Note, N :	
Abstract, AB :	The dissertation shows the development of the modular system for mold design for plastic injection molding. Different approaches were analyzed in the field of mold design. The concept and functioning of the developed modular system is presented. Validation of the proposed system is made with the specific plastic parts. At the end the appropriate conclusions and possible directions for future research are given.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	2011-10-29.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Member: Member: Member: Member: Member, Mentor:
	Dr Sci Janko Hodolic
	Dr Sci Miroslav Plancak
	Dr Sci Bogdan Nedic
	Dr Sci Damir Godec
	Dr Sci Djordje Vukelic
	Dr Sci Miodrag Hadzistevic
	Menthor's sign

PREDGOVOR

Rezultati istraživanja izloženi u ovom radu, proizašli su iz trinaestogodišnjeg naučno-istraživačkog rada autora u oblasti automatizacije postupaka projektovanja u mašinskoj industriji, posebno u delu koji se odnosi na alate za injekciono presovanje plastike.

Prijatna mi je dužnost da izrazim veliku zahvalnost članovima komisije dr Janku Hodoliću, dr Miroslavu Plančaku, dr Bogdanu Nediću, dr Damiru Godecu, dr Đorđu Vukeliću i mentoru dr Miodragu Hadžisteviću. Njihove su sugestije, saveti i podrška imali presudan uticaj na konačna rešenja prikazana u disertaciji. Koristim priliku da se zahvalim dr Srđanu Vukmiroviću na pomoći u programiranju, svojim kolegama i prijateljima koji su na bilo koji način pomogli pri izradi doktorske disertacije. Zato disertaciju smatram i njihovim uspehom.

S obzirom da je modularni sistem nastao kao potreba proizvodnih sistema za automatizacijom projektovanja alata za injekciono presovanje plastike, očekujem i nadam se nastavku implementacije sistema u industriji.

PREGLED KORIŠĆENIH OZNAKA I SKRAĆENICA

A) OZNAKE*

Oznaka	Veličina	Jedinica
b_v	- dužina navoja vijka	m
d_{pv}	- prečnik pužnog vijka	m
D_v	- prečnik glave vijka	m
d_v	- prečnik navoja vijka	m
e	- rastojanje između susednih vođica	m
e_1	- veće rastojanje između susednih vođica	m
e_2	- manje rastojanje između susednih vođica	m
F	- sila zatvaranja alata	N
$F_{izb\ max}$	- najveća sila izbacivanja mašine	N
F_{mmax}	- maksimalna sila zatvaranja mašine	N
h_{amax}	- maksimalni kataloški hod otvaranja mašine	m
h_d	- visina dodatnog otvaranja alata	m
h_{mmax}	- najveći hod izbacivača	m
h_g	- visina grozda	m
h_o	- visina otpreska	m
h_{oa}	- hod otvaranja alata	m
h_{op}	- visina otpreska u pokretnom delu alata	m
h_{Umin}	- računsko minimalno potrebno rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice	m
h_i	- dužina puta izbacivača	m
h_{di}	- dopunski sigurnosni hod izbacivača	m

H_{Umax}	- najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice	m
k	- koeficijent sigurnosti	-
k_v	- visina glave vijka	m
l_{pv}/d_{pv}	- efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka	-
L_x	- dužina alatne ploče	m
L_{xm}	- najveća dužina alatne ploče koja se može postaviti na ubrizgavalicu	m
L_v	- dužina stabla vijka	m
m_o	- masa otpreska	kg
M	- srednji prečnik navoja na alatnoj ploči	m
m_g	- masa grozda	kg
M_g^*	- ukupna masa ubrizgavanja	kg
M_{max}	- maksimalna teorijska masa ubrizgavanja	kg
$M_{max}(PS)$	- maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal polistiren	kg
M_V	- srednji prečnik vijka	m
p_K	- specifičan pritisak u alatnoj šupljini	N/m ²
p_{max}	- maksimalni pritisak u alatnoj šupljini	N/m ²
p_{mmax}	- najveći pritisak ubrizgavanja mašine	N/m ²
T_a	- visina alata	m
T_{Amax}	- najveća ukupna visina alata koji se može postaviti na mašinu	m
T_{amin}	- minimalna katalogska visina alata koji se može postaviti na mašinu	m
T_{dis}	- debljina distantne letve	m
T_t	- preporučena temperatura ubrizgavanja	K
V_g	- zapremina grozda	m ³

W_y	- debljina alatne ploče	m
W_{ym}	- najveća širina alatne ploče koja se može postaviti na ubrizgavalicu	m

B) SKRAĆENICE

ABS	eng.	Acrylonitrile butadiene styrene	akrilonitril butadien stiren
AF	eng.	Assembly Feature	tipski oblik sklopa
AI	eng.	Artificial Intelligence	veštačka inteligencija
API	eng.	Application Programming Interface	interfejs za programiranje aplikacija
AR	eng.	Analogical Reasoning	rezonovanje na osnovu analogije
ATB	eng.	Associative Topology Bus	interfejs za konverziju formata
BEM	eng.	Boundary Element Method	metoda konačnih elemenata
BB	eng.	Branch and bound	povezivanje korišćenjem grananja i ograničenja
BBA	eng.	Blackboard architecture	arhitektura table
BP	srp.	Data Base	baza podataka
CAD	eng.	Computer Aided Design	projektovanje pomoću računara
CADD	eng.	Computer Aided Design and Drafting	računarom podržano projektovanje tehničke dokumentacije
CAE	eng.	Computer Aided Engineering	računarom podržane inženjerske analize
CAIMDS	eng.	Computer Aided Injection Mold Design System	sistem za automatizovano projektovanje alata za injekciono presovanje
CAM	eng.	Computer Aided Manufacturing	računarom podržana proizvodnja
CAMD	eng.	Computer Aided Mold Design	računarom podržano projektovanje alata za injekciono presovanje plastike
CAPP	eng.	Computer Aided Process Planning	računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa
CAQ	eng.	Computer Aided Quality	računarom podržan kvalitet
CAX	eng.	Computer Aided Everything	računarom podržana projektovanja

CBF	eng.	Component basic feature	osnovni tipski oblik elementa
CBR	eng.	Case-based Reasoning	zaključivanje na osnovu slučaja
CDF	eng.	Component Detailed Feature	detaljan tipski oblik elementa
CE	eng.	Concurrent Engineering	konkurentno inženjerstvo
CF	eng.	Conceptual feature	konceptualni tipski oblik
CG	eng.	Computer Graphics	računarska grafika
CIM	eng.	Computer Integrated Manufacturing	računarom integrisana proizvodnja
CNC	eng.	Computerized Numerical Control	računarom podržano numeričko upravljanje mašina alatki
CORBA	eng.	Common Object Request Broker Architecture	programski jezik
CSP	eng.	Constrain Satisfaction Problem	problem ograničenja
DBMS	eng.	Data Base Management System	sistem za upravljanje bazom podataka
DFA	eng.	Design For Assembly	projektovanje sklopova
DIN	nem.	Deutsches Institut fur Normung	nemački standard
DLL	eng.	Dynamic Link Libraries	dinamička veza između baza podataka
ED	eng.	Evolutionary Design	evolutivni dizajn
EDM	eng.	Electric Discharge Machining	elektro-eriozna obrada
EMX	eng.	Expert Mold Base Extension	modul programskog sistema Pro/E za projektovanje alata
ERP	eng.	Enterprise Resource Planning	planiranje proizvodnih resursa proizvodnog sistema
ES	eng.	Expert System	ekspertni sistem
EX-PIMM	eng.	Expert Programme for Injection Molding Machines	ekspertni sistem za izbor ubrizgavalice
FMLD	eng.	Family Mold Layout Design	projektovanje alata za injecciono presovanje familije otkovaka
GA	eng.	Genetic Algorithm	genetski algoritam
GBA	eng.	Gradient-based Algorithm	gradijentni algoritam

GUI	eng.	Graphical User Interface	grafički korisnički interfejs
HR	eng.	Heuristic Rules	heuristička pravila
HDPE	eng.	polyethylene-high density	polietilen niske gustine
IR	eng.	Iterative Redesign	iterativni metod
IKB-MOULD	eng.	Intelligent Knowledge Base Mould	inteligentan sistem za projektovanje alata
IM	eng.	Injection Molding	injekciono presovanje
IMM	eng.	Injection Molding Machine	ubrizgavalica
ISO	eng.	International Standard Organization	međunarodna organizacija za standardizaciju
IT	eng.	Information Technology	informacione tehnologije
JU	srp.		jedinica za ubrizgavanje
JUS	srp.		Jugoslovensko udruženje za standardizaciju
JZ	srp.		jedinica za zatvaranje
KB	eng.	Knowledge Base	baza znanja
KBE	eng.	Knowledge Base Engineering	inženjerstvo zasnovano na znanju
KBS	eng.	Knowledge Base System	sistem zasnovan na znanju (ekspertni sistem)
KS	eng.	Knowledge Source	izvor znanja
LAN	eng.	Local Area Network	lokalna računarska mreža
LDPE	eng.	polyethylene-low density	polietilen niske gustine
LP	eng.	linear programming	linarno programiranje
mat1	srp.	materijal simulacionog modela/ otpeska	
mat2	srp.	materijal elemenata alata, (alatne ploče, vodice, itd)	
MHS	eng.	Meta-heuristic Search	meta heurističko pretraživanje
MID	eng.	Modularity in Design	modularnost u projektovanju

MIU	eng.	Modularity in Use	modularnost u upotrebi
MIP	eng.	Modularity in Production	modularnost u proizvodnji
MPA	eng.	MoldFlow Plastic Adviser	sistem za simulaciju injekcionog presovanja kompanije MOLDFLOW
MPI	eng.	MoldFlow Plastic Insight	sistem za simulaciju injekcionog presovanja kompanije MOLDFLOW
MS	eng.	Microsoft	proizvođač softvera
NLP	eng.	non-linear programming	ne linearno programiranje
NN	eng.	neural networks	neuronske mreže
ODBC	eng.	Open DataBase Connectivity	program za razmenu podataka
OLE	eng.	Object Linking and Embedding	objektno orijentisano povezivanje
OOP	eng.	Object Oriented Programming	objektno-orijentisano programiranje
OSA	eng.	Open System Architecture	otvorena arhitektura sistema
OSI	eng.	Open System Interconnection	otvoren komunikacioni sistem
PDM	eng.	Product Data Management	upravljanje podacima o proizvodu
PDT	eng.	Parametric Design Template	parametarski izveštaj
PO	srp.		problem ograničenja
Pro/E	eng.	Pro/ENGINEER	programski sistem
PS	eng.	polystyrene	polistiren
PTC	eng.	Parametric Technology Corporation	kompanija, proizvođač softvera
RBR	eng.	Rule-based Reasoning	zaključivanje na osnovu pravila
SA	eng.	Simulation Annealing	simulacija
SIP	srp.		sistem za injekciono presovanje
SQL	eng.	Structured Quality Language	programski jezik
TS	eng.	Tabu Search	tabu pretraživanje

UDF	eng.	User Defined Feature	korisnički definisana modelska forma
VB	eng.	Visual Basic	programski jezik
VBA	eng.	Visual Basic for Application	programski jezik
WAN	eng.	Wide Area Network	široko pojasna računarska mreža

SADRŽAJ

1. UVOD

1.1.	UVODNA RAZMATRANJA	1
1.2.	PREDMET ISTRAŽIVANJA	2
1.2.1.	Pregled dosadašnjih istraživanja razvijenih ekspertnih modularnih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	2
1.3.	KRITIČKI OSVRT NA DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	8
1.3.1.	Globalne karakteristike sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	8
1.3.1.1.	Konvencionalni programi	8
1.3.1.2.	Ekspertni sistemi	9
1.3.1.3.	Sistemi zaključivanja na osnovu slučaja	10
1.3.1.4.	Sistemi neuronskih mreža	11
1.3.1.5.	Sistemi podržani genetskim algoritmima	12
1.3.1.6.	Hibridni sistemi	13
1.3.2.	Tehnike gradnje savremenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	13
1.3.3.	Poređenje i nedostaci tehnika gradnje savremenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	15
1.3.4.	Nedostaci savremenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike	16
1.4.	DEFINISANJE PROBLEMA I CILJA ISTRAŽIVANJA	17
1.5.	SAŽET PRIKAZ STRUKTURE RADA	20

2. EKSPERTNI SISTEMI

2.1.	DEFINICIJA EKSPERTNIH SISTEMA	21
2.2.	PODELA I STRUKTURA EKSPERTNIH SISTEMA	21
2.2.1.	Sticanje znanja za ekspertni sistem	24
2.2.2.	Evolucija ekspertnih sistema	27

3. ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE UNIVERZALNIH CA_x SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE ALATA I SIMULACIJU INJEKCIONOG PRESOVANJA PLASTIKE

3.1.	CA _x SISTEMI ZA PROJEKTOVANJE PLASTIČNIH PROIZVODA I ODGOVARAJUĆIH ALATA	29
3.1.1.	Sistemi za modeliranje proizvoda	31
3.1.2.	Sistemi za numeričku simulaciju injekcionog presovanja	31
3.1.3.	Sistemi za konstrukciju alata	32
3.1.4.	Sistemi za izbor ubrizgavalice	33

4.	ANALIZA KONSTRUKCIJE ALATA I UBRIZGAVALICA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE	
4.1.	ALAT KAO OSNOVNA OPREMA SIP-A	34
4.1.1.	Osnovni elementi i uloga alata	34
4.1.1.1.	Kućište alata	37
4.1.1.2.	Podsistem za temperiranje alata	37
4.1.1.3.	Podsistem za vođenje i centriranje elemenata alata	37
4.1.1.4.	Ulivni podsistem alata	37
4.1.1.5.	Podsistem za izbacivanje otpreska	38
4.1.2.	Systematizacija i grupisanje alata	38
4.2.	UBRIZGAVALICA KAO OSNOVNA OPREMA SIP-A	42
4.2.1.	Jedinica za ubrizgavanje	42
4.2.2.	Jedinica za zatvaranje	44
4.2.3.	Pogonske i upravljačke jedinice ubrizgavalica	45
5.	MODEL MODULARNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE ALATA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE	
5.1.	STRUKTURA MODULARNOG SISTEMA	46
5.2.	OPIS ARHITEKTURE MODULARNOG SISTEMA	52
6.	PRORAČUN I IZBOR ELEMENATA ALATA U MODULARNOM SISTEMU	
6.1.	IZBOR ELEMENATA KUĆIŠTA ALATA	54
6.2.	IZBOR ELEMENATA ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE	60
6.2.1.	Izbor stubne vodice tip FSC	62
6.2.2.	Izbor čaure vodice tip FBC	63
6.2.3.	Izbor čaure vodice tip TD	64
6.2.4.	Izbor čaure vodice tip GEB	65
6.2.5.	Izbor čaure vodice tip FBN	66
6.2.6.	Izbor stubne vodice tip FSN	67
6.3.	PRORAČUN ALATA	69
6.4.	IZBOR ELEMENATA ZA VEZU	70
7.	RAZVOJ MODELA MODULARNOG SISTEMA	
7.1.	AUTOMATIZACIJA MODELIRANJA ELEMENATA ALATA U MODULIMA 3 I 4	78
7.2.	POVEZIVANJE BAZE PODATAKA CAD I CAE SISTEMA	80
7.3.	RAZVOJ INTEGRISANE BAZE PODATAKA I BAZE ZNANJA	81

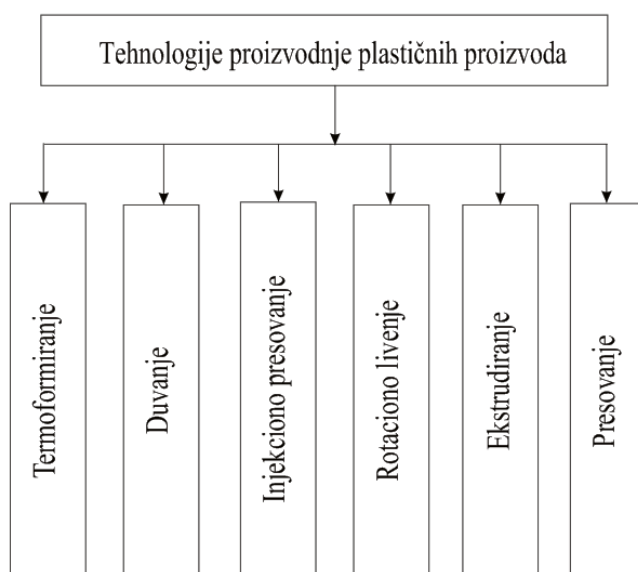
8.	IZBOR UBRIZGAVALICE U MODULARNOM SISTEMU	
8.1.	PODELA UBRIZGAVALICA	83
8.2.	PARAMETARSKI PRIKAZ UBRIZGAVALICE	84
8.3.	MANUALNI IZBOR UBRIZGAVALICE	86
8.4.	AUTOMATIZOVANI IZBOR UBRIZGAVALICE	88
9.	VERIFIKACIJA MODELA MODULARNOG SISTEMA	
	93
10.	ZAKLJUČAK	117
11.	LITERATURA	119

1. UVOD

1.1. UVODNA RAZMATRANJA

Savremeni proizvodni sistemi u mašinskoj industriji odlikuju se proširenjem asortimana proizvoda, visokom frekvencijom promene programa proizvodnje, zahtevima za stalnim poboljšanjem kvaliteta proizvoda, alata, smanjenjem rokova i troškova njihove izrade, stalnom potrebom podizanja tehnološkog nivoa proizvoda itd. Jedna od najvažnijih karakteristika savremenog proizvodnog sistema jeste sposobnost da se u što kraćem vremenu projektuje i proizvede mnoštvo visokokvalitetnih proizvoda. Brzo lansiranje novog proizvoda na tržište, pre nego što to učini konkurencija, predstavlja ključni faktor u obezbeđivanju većeg dela tržišta i viših profitnih stopa. Ključni aspekt u razvoju proizvoda jesu faze konceptijskog i detaljnog projektovanja u kojima treba da dođe do stvaranja i vrednovanja ideja za novi proizvod. To može biti dugačak, kompleksan i iterativan proces, koji obuhvata sledeće etape: identifikaciju potrebe za nekim proizvodom, stvaranje početnih ideja za potencijalno rešenje, vrednovanje tih ideja, korekciju tih ideja i definisanje dopunskih detalja, testiranje ideja u cilju daljeg vrednovanja, proizvodnju kompletne specifikacije za odabrano rešenje, pripremu neophodne dokumentacije, kao što su sklopni, radionički crteži, liste potrebnih materijala itd.

Podela tehnologija za proizvodnju proizvoda od plastike prikazuje se na slici 1.1 [28]:



Slika 1.1. Najrasprostranjenije tehnologije proizvodnje proizvoda od plastike [28]

Injekciono presovanje (brizganje) se definiše kao postupak prerade plastičnih masa ubrzavanjem rastopa u alatnu šupljinu gde se vrši njeno hlađenje i očvršćavanje, nakon čega se vrši otvaranje alata i vađenje otpresaka [28]. U preradi polimernih materijala, injekciono presovanje je po prerađenim količinama, odmah iza ekstrudiranja [95]. Ova tehnologija predstavlja najvažniji ciklični postupak prerade polimera [10, 28, 95]. Otpresak obično ne zahteva doradu, odnosno predstavlja gotov proizvod mada u nekim slučajevima otpresak može da ima doradu, što zavisi od alata, složenosti proizvoda od plastike, itd. U odnosu na ostale tehnologije proizvodnje proizvoda od plastike cena opreme i alata je visoka. Kratko vreme ciklusa, visoka ponovljivost kvaliteta dobijenih otpresaka, visoka dimenziona tačnosti i velika raznolikost otpresaka različite složenosti, čini tehnologiju injekcionog presovanja vrlo popularnom u preradi plastike. Glavne prednosti ovog postupka su u velikoj mogućnosti iskorišćenja plastičnog materijala, manjem vremenu izrade proizvoda, visokoj dimenzionoj tačnosti otpreska, i manjem potrebnom prostoru za proizvodnju. Proizvodi dobijeni ovom tehnologijom se mogu podeliti na [90]:

- Tehničke proizvode i
- Proizvode široke potrošnje.

Tehnički proizvodi i proizvodi široke potrošnje moraju da zadovoljavaju određene zahteve koji se pred njih postavljaju sa tim što proizvodi široke potrošnje imaju zahteve za lep izgled i površinski sjaj.

1.2. PREGLED I PREDMET ISTRAŽIVANJA

1.2.1. Pregled dosadašnjih istraživanja razvijenih ekspertnih modularnih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

U proteklih godinama računari se sve više koriste da potpomognu projektantske aktivnosti. Njihova prva primena zabeležena je 60-tih godina prošlog veka sa ciljem direktnog upravljanja mašinama alatkama. Posle toga dolazi do ekspanzije primene računara i na druge tehnologije. Razvija se koncept fleksibilnog proizvodnog sistema i računarom podržane proizvodnje. Danas je akcenat stavljen na inteligentne proizvodne sisteme koji se karakterišu sposobnošću rešavanja problema bez detaljnog i eksplicitnog algoritma, matematičke interpretacije i relacija. Različiti CAx sistemi se koriste kao pomoć pri projektovanju proizvoda i alata kako bi se smanjili vreme i troškovi realizacije ovih koraka u projektovanju i proizvodnji elemenata alata. Računarske podržane tehnologije unele su revoluciju u način na koji se danas odvija projektovanje i proizvodnja. Od samostalnih CAD/CAM aplikacija, do PDM/ERP sistema, računarske tehnologije ispunile su san svakog proizvođača - kraće vreme razvoja proizvoda, viši kvalitet proizvoda i sniženje troškova.

Računarom podržano projektovanje alata za injekciono presovanje plastike CAMD postalo je moguće kao etapa ove revolucije tako što su znanje o projektovanju alata i integraciji CAD, CAE, CAM platformi svrstavaju u jednu celinu. U cilju smanjenja troškova alata, tokom godina razvijeni su različiti CAIMDS koji predstavljaju pomoć projektantu alata.

Intenzivan tehničko-tehnološki razvoj uslovljava potrebu razvoja i primene CAx sistema nove generacije, koji teže potpunoj integraciji svih funkcija u okviru CIM sistema na modularnom principu [43].

Razvoj CAE sistema, koji pružaju mogućnost određivanja i optimizacije različitih geometrijskih i tehnoloških parametara injekcionog presovanja dovodi do potrebe integrisanja CAD/CAE sistema, što čini vrlo popularan način za rešavanje problema projektovanja alata za injekciono presovanje plastike.

Mnogi autori su razvijali sisteme za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, najčešće su to bili ekspertni sistemi.

Alami, M.R i dr. [1] razvijaju programski sistem za projektovanje alata koristeći Solid Edge-ov API, programski jezik VB.NET i MS Excell. Sistem koristi bazu znanja i bazu podataka za elemente alata pod nazivom „PMOLD“. BP sastoji se iz baze ulivnih podsistema, alatnih ploča i elemenata za vezu. Ovaj sistem zasnovan na znanju automatizovano izračunava silu zatvaranja, površinu poprečnog preseka alata na podeonoj ravni i silu izbacivanja. Ekspertni sistem ima mogućnost provere mehaničkih karakteristika modela elemenata alata. Ekspertni sistem sadrži geometrijske i tehnološke karakteristike modela ulivnih podsistema sistema iz baze podataka.

Britton G.A i dr. [5] vrše funkcionalnu dekompoziciju alata za injekciono presovanje. Vršu organizaciju dve BP alata na bazi funkcionalnih karakteristika. Funkcionalne modelske forme se na osnovu objektno-orijentisanog programiranja stvaraju, pretražuju, kodiraju i preuzimaju iz BP. Britton, G.A. i dr. [6] opisuju objektno-orijentisane baze podataka i BBA s ciljem integracije i komunikacije između različitih CAD alata, odnosno feature-a. Autori koriste BBA za projektovanje tehnologije injekcionog presovanja i alata. Različite oblasti znanja o projektovanju alata predstavljaju se izvorima znanja. Izvori znanja se generišu korišćenjem pravila, okvira, objekata, algoritama i procedura.

Deng i dr. [21, 22, 23, 70] proučavaju razvoj, stanje i tendencije razvoja CAD/CAE sistema za projektovanje alata i načine njihove integracije. Razvijaju sistem sastavljen od integrisane baze podataka i znanja dostupne u sva četiri modula. Autori predstavljaju najčešće korišćene metode integracije CAD/CAE sistema i prikazuje način integracije baze modelskih formi generisanih u Solid Works-u sa CAE modulom korišćenjem grafičkog korisničkog interfejsa. Za razvoj CAD modula koriste Solid Edge, a za CAE modul MPA. Koriste objektno orijentisano programiranje, Active X tehnologije i OLE veze. Sistem je zasnovan na CAD/CAE modelskim formama i UDF.

Godec i dr. [28, 29, 30, 66] su razvili programski sistem na osnovu dijagrama odlučivanja za proračun parametara injekcionog presovanja i izbor alata. Sistem omogućava analitički proračun alata korišćenjem MS Excel-a i MS Access-a. Ovaj ekspertni sistem za projektovanje koncepcije alata kroz interaktivan dijalog sa korisnikom omogućava načelno određivanje broja i rasporeda alatnih šupljina. Sistem je još namenjen za određivanje dimenzija kućišta alata, ulivnog podsistema, podsistema za temperiranje, podsistema za vođenje i centriranje, podsistema za izbacivanje, podsistema za temperiranje i podsistema za odzračivanje. Numerička simulacija izvršena je u programskom sistemu Moldex 3D. Sistem nije integrisan sa drugim programskim sistemima opšte namene (Pro/E, SolidWorks, CATIA, IDEAS, ANSYS i sl) ali kao nezavisna aplikacija u velikoj meri predstavlja pomoć inženjerima za pravilan izbor parametara injekcionog presovanja i optimizaciju konstrukcije alata. Ekspertni sistem na osnovu morfoloških matrica i dijagrama odlučivanja pomaže projektantu u rešavanju parcijalnih funkcija alata i izboru ubrizgavalice. Ovaj CAE sistem se dalje dopunjava elementima veštačke inteligencije. Za razvoj sistema autori koriste Visi Role (zasnovan na PROLOG programskom jeziku) [28].

Hiroki, H. i dr. [35] razvijaju specijalizovani CAD/CAE modularni sistem za projektovanje alata za proizvodni sistem „TORAY“. Programski sistem predstavlja integraciju CAD modula, i CAE „3D TIMON“ modula za proračun parametara injekcionog presovanja.

Park, H.S. i dr. [40] istraživanje baziraju na integraciji univerzalnih CAD/CAE sistema korišćenjem programskih jezika i API-ja. Razvoj integrisanog CAD/CAE programskog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje modularnog tipa je neophodno i skupo jer zahteva programiranje i prilagođavanje univerzalnih CAD/CAE sistema.

Razvoj integrisanog CAD/CAE programskog sistema modularnog tipa je još teže ako univerzalni CAD i CAE sistem nema direktan translator (ATB), odnosno ne postoji direktna kompatibilnost ulazno-izlaznih formata, već se moraju koristiti neutralni formati. Opšte je poznato

da neki programski sistemi poseduju sopstvene API-je npr. (Solid Works API na bazi VBA, Pro/E Toolkit na bazi C++, CATIA API na bazi VBA i C++, i UNIGRAPHICS C++ i UG/Open API) i skripte (script) koje programiranjem mogu rešiti problem integracije i povećati stepen automatizacije projektovanja alata.

Kennedy, P. i dr. [52] analiziraju istorijski razvoj računarske simulacije i numeričke simulacije injeksionog presovanja sa stanovišta razvoja simulacionog modela, materijala, geometrijskih interpretacija modela, alata i mašina. Analiziraju sisteme za numeričku simulaciju i mogućnost njihove pune implementacije u industriju kroz modularne sisteme.

Huang i G.Q. i dr. [41] razvijaju bazu alata za injeksiono presovanje plastike korišćenjem alata za kolaborativno projektovanje. BP je objektno orijentisana, parametarska i asocijativna. Baza alata je integrisana sa Pro/E-om.

Huang, M.Sh. i dr. [43] razvijaju modularni sistem za projektovanje alata za injeksiono presovanje plastičnog proizvoda. Autori vrše dekompoziciju plastičnog proizvoda sa stanovišta projektovanja, upotrebe i proizvodnje. Autori pod projektovanjem proizvoda podrazumevaju sledeće aktivnosti:

- određivanje smera izbacivanja otpreska,
- određivanje podeone ravni,
- definisanje alatne šupljine,
- određivanje zapreminskog skupljanja termoplasta,
- definisanje nagiba i radijusa,
- izbor alatnih ploča,
- pozicioniranje simulacionog modela u alatu,
- projektovanje alatne šupljine,
- definisanje kanala za temperiranje,
- definisanje povratnika, ulivnog podsistema, izbacivača, prstena za centriranje i vođica,
- pozicioniranje i određivanje ostalih elemenata alata i
- pozicioniranje alata na ubrizgavalicu.

Autori [43] vrše dekompoziciju proizvoda i alata na modularnom principu:

- klasifikacija proizvoda i karakteristika ubrizgavalice,
- dekompozicija funkcionalnih karakteristika alata na module,
- podela pojedinačnih modula na podmodule,
- standardizacija elemenata alata,
- kodiranje strukturnih jedinica odnosno elemenata alata, pri tome kodni niz sadrži podatke o alatu i proizvodu.

Jong, W.R. i dr. [48, 49] razvijaju integrisan sistem za projektovanje alata sa CAD bazom podataka na web-u, koristeći Pro/E modul Pro/Web Link. Ovaj kolaborativni sistem putem interneta omogućava projektovanje alata korišćenjem integrisanih baza elemenata alata. Sistem ne poseduje neophodne proračune alata i parametara injeksionog presovanja.

Kong, L. i dr. [53] su razvili parametarski sistem za projektovanje plastičnih proizvoda integrisan sa Solid Works-om. Sistem koristi Mold Works modul.

Lee K.S. i dr. [57, 58] razvijaju ekspertne sisteme sa integralnim bazama alata za injeksiono presovanje plastike kao što je IMOLD (IMOLD, ESMOLD, IKMOULD i IKBMOULD). Programski sistem IMOLD vodi korisnika kroz četiri faze: automatizovano modeliranje podeone ravni, automatizovano modeliranje alatne šupljine, modeliranje ulivnog podsistema i izbor standardnih elemenata alatnih ploča. Sistem ne poseduje CAE numeričku simulaciju i proračune

parametara injekcionog presovanja i proračun parametara alata. Hibridni i kolaborativni sistem „IKB-MOULD“ sadrži bazu znanja i podataka potrebnu za proizvodnju alata (CAM). Sistem dalje razvijaju Britton i dr. [4] i Huang i dr. [41] razvijajući baze podataka i znanja tehnoloških procesa izrade alata i razvoj alata za kolaborativno projektovanje.

Lee, S.H. i dr. [60] razvijaju modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje. Sistem je parametarski, objektno orijentisan, zasnovan na modelskim formama. Parametarski model sa geometrijskim karakteristikama potreban za CAD i CAE module, je integrisan u master model sa dodatim tehnološkim informacijama. Sistem zbog zasnovanosti na UDF-ima, ostvaruje brz i efikasan način projektovanja alata. Integrisani CAD/CAE sistem se sastoji od tri osnovna modula: modul za modeliranje zasnovan na modelskim formama, modul za uklanjanje detalja i modifikaciju dimenzija, odnosno modelskih formi i NMT jezgro sistema. Modelske forme su povezane međusobno hijerarhijskim relacijama, definisanim preko UDF-a.

Li, C.L. i dr. [61, 62, 63] razvijaju ekspertni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje modularnog tipa. Ekspertni sistem koristi „fuzzy“ logiku za izbor položaja i određivanje tipa i veličine kanala za temperiranje. Korišćenjem funkcionalnih šema obezbeđuje se pravilan izbor kanala za temperiranje. Sistem prvo razmatra „U“ raspored kanala za temperiranje. Ovakav krug kanala za temperiranje vrlo je rasprostranjen u praksi. BP sadrži kanale za temperiranje različitih poprečnih preseka.

Lin, B.T. i dr. [64, 65] su razvili sistem za projektovanje 3D modela alata korišćenjem modelskih formi uzimajući minimalan potreban broj parametara. Sistem je baziran na Pro/E modulima Pro/Program i Pro/TOOLKIT, a poseduje modul za izbor modelskih formi na alatu, modul za proračun i sklop generator.

Lou, Z. i dr. [67] su razvili programski sistem za integrisanom bazom alatnih ploča i sklopova korišćenjem programskog sistema Pro/E.

Ekspertni sistem koristi isključivo Pro/LIBRARY i Pro/Moldbase Library kao BP za elemente alata. Ovaj CAD/CAM/CAE sistem poseduje modul za proračun broja alatnih šupljina, proračun ulivnog podsistema, proračun dimenzija alata i manualni izbor ubrizgavalice. Sistem je parametarski, objektno orijentisan, modularan i otvoren za nadogradnju. Ovo programsko rešenje nije integrisano sa Pro/E modulom za numeričku simulaciju, već se smatra da korisnik poseduje informacije o parametrima injekcionog presovanja ili da koristi neki drugi sistem za numeričku simulaciju injekcionog presovanja.

Low, M.H.L. i dr. [68, 69] su razvili ekspertni sistem za standardizaciju alata i izbor alata za injekciono presovanje plastike. Sistem omogućava brzu i laku manipulaciju sa bazama standardnih alatnih ploča i podsistema za vođenje i centriranje.

Todić, V, Lukić, V. i dr. [71] su razvili ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za injekciono presovanje plastike zasnovan na tipskim tehnološkim procesima. Programski sistem predstavlja integrisan CAD/CAPP/CAM sistem. Baza tipskih elemenata alata definisana je po D-M-E standardu. Sistem ima mogućnost izbora standardnih dimenzija alatnih ploča. Za razvoj programskog rešenja korišćeni su MS Access, VBA i Pro/E. Na osnovu izabrane standardne alatne ploče i/ili sklopa, korisnik u interaktivnom radu generiše pripremak, tehnološki proces izrade sa potrebnom tehničkom dokumentacijom (sadržaj tehnološkog procesa, karte operacija i sl.). U programski sistem integrišu se moduli za procenu troškova proizvodnje i analizu tehnološkičnosti konstrukcije proizvoda.

Ma, Y.S. i dr. [73, 75, 76, 77] razvijaju CAD sistem sa bazom solid modela elemenata alata u neutralnim formatima dostupnu na internetu pod nazivom „QuickMold“. Sistem je objektno orijentisan, zasnovan na modelskim formama. U sistemu se koriste CAD/CAE geometrijske i ne geometrijske karakteristike. U najvećoj meri se koristi baza standardnih alata iz proizvodnog programa kompanije „MISUMI“. Sistem poseduje bazu podataka koja sadrži karakteristike

ubrizgavalica.

Matin, I. i dr. [78, 80, 81, 82] su razvili CAD/CAE programski sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike koji na osnovu izlaznih podataka numeričke simulacije injekcionog presovanja, odnosno usvojenog simulacionog modela kroz interaktivan rad vrši projektovanje i izbor alatnih ploča. Kao izlaz iz sistema dobijaju se parametri presovanja, simulacioni model i modeli svih alatnih ploča po D-M-E standardu. Za razvoj integrisanog modularnog CAD/CAE sistema autori su koristili sledeće inženjerske tehnike: LP, SA, IR, PDT, MHS i RBR. Razvijeni interaktivni sistem za projektovanje alata omogućava: modeliranje proizvoda, analizu proizvoda i simulacionog modela sa stanovišta podobnosti injekcionog presovanja, numeričku simulaciju injekcionog presovanja, projektovanje alata sa odgovarajućim proračunima.

Mok, C.K. i dr. [83, 84] razvijaju kolaborativan sistem za izbor alatnih ploča. Modeli alata razvijeni su u SolidWorks-u 2003, a BP u Microsoft Access-a. Autori koriste programski jezik JESS 4.4 za razvoj baze znanja u ekspertnom sistemu. Za upravljanje CAD bazom podataka koristi se SolidWorks-ov API zasnovan na VBA i C++ programskim jezicima. Sistem je namenjen za projektovanje standardnih alata u proizvodnom sistemu "Hundai". Master model sadrži CAD/CAE-UDF. Autori predstavljaju osnovnu strukturu interaktivnog CAD sistema zasnovanog na znanju „IKB-MOULD“. Ovaj ekspertni sistem je vrlo rasprostranjen na tržištu. Sistem je nastao integracijom grafičkog i računskog modula za projektovanje normalnih alata. BP u ovom sistemu sadrži metode, alternative modelskih formi, bazu podataka geometrijskih karakteristika alata, bazu standardnih elementata alata. Baza znanja sadrži činjenice i heurističko znanje o projektovanju alata. Činjenice predstavljaju široko upotrebljive javne podatke namenjene korisniku sistema. Pod heuristikom se podrazumeva ekspertsko znanje o donošenju odluka i upravljanju sa radom sistema. Autori za razvoj sistema za projektovanje alata koriste empirijsko (heurističko) znanje o strukturi i funkcijama elemenata alata.

Autori [83] definišu opšte karakteristike koje mora da poseduje savremeni računarom podržan sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje. Kod projektovanja arhitekture sistema, neophodno je analizirati "Šta inženjeri u nekom proizvodnom sistemu poseduju? i "Šta zahtevaju od sistema?" Pri projektovanju ekspertnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike mora se uzeti u obzir sledeće [83, 84]:

- zahtevi kupca o proizvodu ili alatu, uključujući detaljnu razradu geometrije alata i proizvoda,
- obezbeđenje funkcionisanja sistema sa već postojećom standardnom ili predhodno projektovanom bazom podataka elemenata i sklopova alata,
- nivo ekspertskog znanja inženjera u proizvodnom sistemu,
- veličina proizvodnog sistema, hijerarhijska struktura proizvodnih snaga i predhodni način IT komunikacije i
- implementacija znanja u sistemu zasnovanom na znanju obično se vrši na osnovu znanja i preporuka od strane iskusnih projektanata alata. Znanje se odnosi na konceptualno i detaljno projektovanje alata, uključujući znanje o izboru materijala, preporukama koeficijenta zapreminskog skupljanja, karakteristikama ubrizgavalica i sl.

Nardin, B. i dr. [89] su razvili ekspertni sistem "DISPITOS" namenjen programerima ubrizgavalica s ciljem direktnog prenosa rezultata simulacije na mašinu. Ovakav interfejs (GUI) omogućava prenos geometrijskih i tehnoloških informacija. Razvijeni CAE sistem obezbeđuje preko *.txt dokumenta komunikaciju sa ubrizgavalicom. Ekspertni sistem generiše izlazne parametre (temperatura alata, temperatura mlaznice, temperatura sredstva za temperiranje, profil brzina, pritiska ubrizgavanja, vremena hlađenja, vremena ciklusa i dr).

Nedić, B. i dr. [90, 91] definišu model ekspertnog sistema za izradu proizvoda od plastičnih masa u cilju predviđanja konačnog kvaliteta proizvoda u svim fazama njegove izrade. Razvijeni model služi kao BP za razvoj ekspertnog sistema. Koristeći informacije sadržane u tabelarnom prikazu s ciljem uspostavljanja relacija između ulaznih podataka (materijal, tehnološki parametri prerade, mašina i karakteristike proizvoda) sa tehnologijom injekcionog presovanja (ciklus-ubrizgavalica-podsistem za temperiranje-alat) i izlaznim podacima (otpresak, tolerancije-osobine otpreska, greške).

Tolga, B.A. i dr. [110] razvijaju „EX-PIMM”- CAE sistem zasnovan na znanju za izbor ubrizgavalice na osnovu nekolicine parametara injekcionog presovanja, vrste termoplasta, veličine alata, i veličine otpreska. Baza znanja sadrži produkciona pravila, strukturne algoritme za svaki od modula. Za razvoj baze znanja autori koriste „LISP“ programski jezik. Sistem poseduje BP za ubrizgavalice i BP za termoplaste. Ekspertni sistem se sastoji od modula za izbor podobne ubrizgavalice, modul za izbor termoplasta i modul za izbor broja alatnih šupljina.

Chan W.M. i dr. [11, 12] su razvili 3D CAD sistem zasnovan na znanju za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. Autori generišu bazu podataka i bazu znanja korišćenjem inženjerskih tehnika (RBR, CBR, i PDT). Autori definišu arhitekturu i strategiju razvoja arhitekture sistema. Autori analiziraju stanje, tendencije razvoja komercijalnih programskih sistema i patentiranih sisteme za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. Autori vrše poređenje mogućnosti primene različitih inženjerskih tehnika u automatizaciji projektovanja i optimizaciji konstrukcije alata za injekciono presovanje plastike.

Chung, J. i dr. [75, 68] razvijaju sistem za podršku projektovanju alata i simulaciji injekcionog presovanja na principima simultanog inženjerstva. Autori koriste programske jezike XML i CORBA za upravljanje web okruženjem. Jasno i precizno definišu korisnička ograničenja u skladu sa pripadajućim zadacima inženjera u simultanom projektovanju.

Xu, X. i dr. [120, 121] razmatraju upotrebu višekriterijumskog opisa modela korišćenjem tehnika modeliranja „multi-model technology – MMT“ zasnovanog na objektno orijentisanom programiranju. Opis modela zasnovan je na tipskim elementima, parametarskom modeliranju i objektno-orijentisanom programiranju s ciljem stvaranja strukture modela „multi-model structure – MMS“. Više modelna struktura sadrži model sklopa alata i model proizvoda. Model sklopa alata i model proizvoda sadrže geometrijske i tehnološke informacije. Klasičnim objektno orijentisanim programiranjem omogućava se prikaz modela proizvoda kao objektno orijentisanog, funkcionalnog i dinamičkog. MMT omogućava brzu promenu geometrijskih i tehnoloških karakteristika modela u CAD, CAE i CAM modulu. Modularni sistem poseduje BP sa karakteristikama CNC mašina i ubrizgavalica. Za razvoj CAD i CAM modula korišćen je programski sistem CATIA.

Ye, X.G. i dr. [122, 123] razvijaju objektno orijentisan sistem zasnovan na modelskim formama, hijerarhijskom predstavljanju i jednostavnoj simboličkoj geometriji.

Yeung, V.W.S. i dr. [124] smatraju da je neophodno integrisati sistem koji bi sadržao module za projektovanje plastičnih proizvoda, projektovanje alata, projektovanje parametara injekcionog presovanja, i kontrolu injekcionog presovanja odnosno rada ubrizgavalice. U ovakvom kompleksnom CAD/CAE sistemu autori tvrde da je najteže povezati module. Kao CAE sistem koriste C-MOLD koji se sastoji od sedam modula integrisanih u CIMP-Flow 3D sistemu.

Yin, C.G. i dr. [125] analiziraju parametarske modelske forme, ograničenja i načine mapiranja. Autori vrše klasifikaciju modelskih formi na: konceptualne (CF), modelske forme sklopova (AF), osnovne modelske forme elemenata (CBF), detaljne modelske forme (CDF). Autori analiziraju razvoj objektno-orijentisanog programiranja zasnovanog na modelnim formama u projektovanju alata.

Wong, C.T. i dr. [115] analiziraju probleme temperiranja alata za injekciono presovanje plastičnih proizvoda. Za simulaciju injekcionog presovanja, modeliranje proizvoda i alata, i izradu alata koriste specijalističke module programskog sistema Pro/E. Generišu algoritme toka projektovanja alata i određuju nekolicinu parametara za izbor ubrizgavalice.

Pored predhodno navedenih sistema, ranije razvijani ekspertni sistemi su: IMPARD za modeliranje otpreska, IMES GERES, FIT, CIMP, HyperQ/Plastic, PLASsex za izbor plastičnih materijala., ICAD [21, 84] je modularni ekspertni sistem razvijen na univerzitetu Dreksel (SAD, a KBS MD na univerzitetu MIT u Masačusetsu (SAD), CADFEED za projektovanje alata za injekciono presovanje najjednostavnih otpresaka [11, 12, 83].

1.3. KRITIČKI OSVRT NA DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

1.3.1. Globalne karakteristike sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje

Postoji nekoliko pravaca (prilaza) u automatizaciji projektovanja alata za injekciono presovanje plastike, a čine ih:

- konvencionalni programi,
- ekspertni sistemi (sistemi zasnovani na znanju),
- sistemi zaključivanja na osnovu slučaja,
- sistemi neuronskih mreža,
- sistemi podržani genetskim algoritmima i
- hibridni sistemi.

1.3.1.1. Konvencionalni programi

Konvencionalne programe karakteriše klasično algoritamsko programiranje. Ovi programi uglavnom se upotrebljavaju koristeći se jasno i tačno definisanim algoritmima koji, korak po korak, vode korisnika ka parcijalnom rešenju konstrukcije alata. Ukoliko program po svojoj semantici odgovara postavljenom problemu i ukoliko su ulazni podaci tačni, primenom konvencionalnog programa će se dobiti tačni rezultati. Konvencionalni programi rade na način koji je najčešće samo programerima razumljiv. Konvencionalno programiranje se odvija sekvencijalno (iterativno) u tri faze, a to su: projektovanje, kodiranje i provera/otklanjanje grešaka. U konvencionalnim obradama podataka proceduralno znanje je u programima, a deklarativno u podacima smeštenim u datotekama ili bazama podataka [113].

Kao opšte karakteristike razvijenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje zasnovano na klasičnom (konvencionalnom) programiranju, mogu se izdvojiti sledeće:

- projektovani su za tačno određene geometrijske oblike otpresaka (najčešće tipske) i za tačno određene tipove alata;
- sistemi su, po pravilu, interaktivni i omogućavaju interaktivno biranje i projektovanje elemenata alata, najčešće alatnih ploča, a sve to po unapred definisanim kriterijumima;
- bazirani su na CAD programskim sistemima opšte namene (Pro/E, Solid Works, CATIA i sl.).

Prednost ovih sistema je što je znanje iz posmatrane oblasti sistematizovano i kategorizovano na jednom mestu. Mana ovih sistema je upravo kruta algoritamska struktura (mala fleksibilnost) pogodna za rešavanje determinističkih zadataka. Znanje i tehnike znanja su izmešani, a novo znanje zahteva potpuno reprogramiranje.

1.3.1.2. Ekspertni sistemi

Primenom ekspertnih sistema je obezbeđeno čuvanje postojećih znanja na jednom mestu. Ekspertni sistemi koriste postojeća pravila za projektovanje alata i mogu relativno dobro da funkcionišu kao početni modeli. Međutim, oni su nefleksibilni, ne mogu da se prilagode i sami poboljšaju. Takođe, ne postoji formalizam koji omogućava detektovanje pojave mogućih konflikata u produkcionim pravilima kada se novo pravilo doda u bazu. Stoga je ekspertne sisteme poželjno koristiti u proizvodnim sistemima sa dobro uhodanom proizvodnjom, sličnim i ustaljenim proizvodnim programom. Analiza dobijenih rešenja je takođe prepuštena projektantu alata. Ekspertni sistemi ne mogu u potpunosti zameniti eksperte iz područja projektovanja alata, naročito u pogledu kreativnosti i korišćenja opšteg znanja. Pitanje indeksiranja je takođe problematično. Ne postoji nijedan formalan postupak za definisanje indeksa i, u opštem slučaju, korišćenje indeksa je prepušteno iskustvu projektanta. Razumevanje projektnih zahteva direktno je povezano sa neadekvatnim indeksiranjem, kodiranjem ili refraktorisanjem. Analiza dobijenih rešenja je takođe prepuštena projektantu alata i njegovom iskustvu. Ne postoji mogućnost revidiranja prethodnih faza ili unapređenja dobijenog rešenja, a da se celokupan postupak projektovanja alata ne ponovi od početka. U nekim istraživanjima ovaj problem je rešavan odgovarajućom arbitražom konflikta dimenzija i funkcije elemenata alata. Tako bi se u svakom momentu projektovanja mogli dobiti međurezultati, ali se problem time samo delimično rešava. Modularni prilaz gradnje ekspertnih sistema čini refraktorisanje mogućim i manje napornim što u velikoj meri povećava primenu ekspertnih sistema.

“Inteligentni računarski program koji koristi znanje i procedure zaključivanja za rešavanje problema koji su dovoljno teški da zahtevaju značajnu ljudsku ekspertizu za svoje rešavanje.

Prvi ekspertni sistemi su koristili isključivo ekspertsko znanje, dok se danas koristi i znanje iz knjiga, časopisa i slično, pa se termini ekspertni sistemi i sistemi zasnovani na znanju koriste kao sinonimi. Razlog za primenu ekspertnih sistema je težnja da znanje, iz raznih specifičnih oblasti ljudske delatnosti, postane dostupnije kroz primenu računarskih programa. Omogućeno je da u svakom trenutku zaključivanja bude na raspolaganju celokupno znanje iz određene oblasti. Zahvaljujući velikoj brzini računara iz tog znanja za kratko vreme je moguće izvući zaključke.

Ekspertni sistemi omogućavaju korisnicima da odgovore na specifična ili hipotetička pitanja koja eventualno rezultiraju dobijanjem specifičnih, relevantnih informacija. Postupak prikupljanja znanja počinje tako što inženjer znanja nastoji da od eksperta dobije heurističko znanje, da ga kodira i unese u eksperski sistem.

Karakteristike ekspertnog sistema su:

- simulira ljudsko razmišljanje o problemu,
- rezonuje na osnovu reprezentacije ljudskog znanja,
- probleme rešava korišćenjem heuristika ili aproksimacija, koje za razliku od algoritamskih metoda ne garantuju uspeh,
- obično je ograničen na neki specifičan domen znanja ili grupu znanja.

Razlike između konvencionalnog programa i ekspertnog sistema se sastoje u tome što, ekspertni sistem ima sposobnost zaključivanja i objašnjavanja, može da objasni svoje akcije, opravda svoje zaključke i obezbedi korisniku informacije o znanju koje poseduje. Čovek ne može potpuno biti zamenjen, naročito u pogledu kreativnosti i korišćenja opšteg znanja. Prednost ekspertnih sistema nad ljudima je što se ljudsko znanje vremenom gubi naročito ako se često ne koristi.

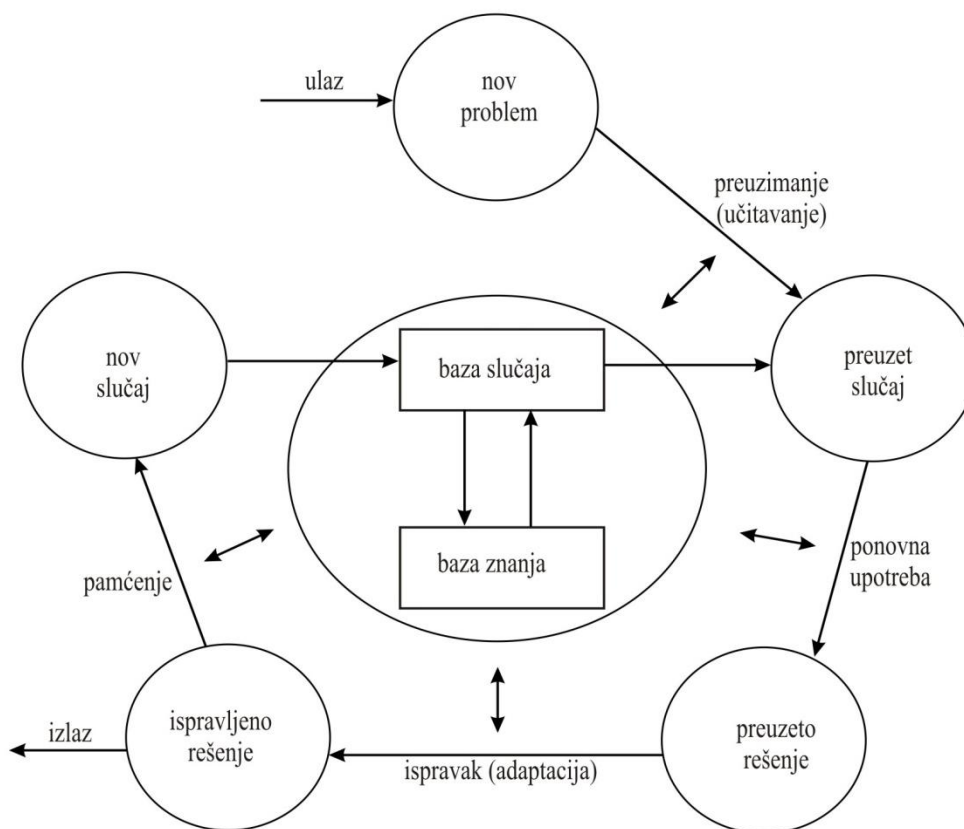
Prednosti ekspernih sistema su sledeće [150]:

- rešava probleme podjednako dobro ili bolje od eksperta iz date oblasti,
- cena ekspertize po korisniku je niža,
- često daje odgovor brže nego ekspert,
- ne uključuje emocije u svoj rad,
- može sadržati znanja više eksperata,
- može se koristiti u okruženjima opasnim za ljude,
- objašnjava i opravdava svoja rešenja i
- prikladni su u slučajevima kada postoji i ne postoji efikasno algoritamsko rešenje.

1.3.1.3. Sistemi zaključivanja na osnovu slučaja

Jedan od pristupa u projektovanju alata je zaključivanje na osnovu slučajeva kada se projektovanje novih konstrukcija alata bazira na prethodnim rešenjima, pa se svakoj novoj fazi projektovanja pristupa sa iskustvom. Ovakav koncept rešava nove probleme u projektovanju alata koristeći rešenja postojećih konstrukcija, odnosno upotrebljava i adaptira rešenja predašnjih problema.

Slika 1.2 predstavlja opšti model sistema zasnovanog na zaključivanju na osnovu slučaja [127].



Slika 1.2. Opšti model sistema zaključivanja na osnovu slučaja [127]

Zaključivanje na osnovu slučajeva sastoji se iz sledećih aktivnosti [113]:

- pronalaženja,
- korišćenja dela pronađenog znanja za rešavanje problema,
- ispravak i adaptiranje dela pronađenog znanja novom problemu, ukoliko ima potrebe,
- proveravanja da li je novo rešenje vredno pamćenja,
- termin „znanje“ se odnosi na raspoloživo znanje pri projektovanju alata.
- termin „problem“ se odnosi na problem projektovanja novog rešenja alata.
- pamćenja novog znanja, ukoliko je tako odlučeno u prethodnoj aktivnosti i
- prerade „novog“ znanja u bazi znanja, ukoliko za tim ima potrebe.

Aktivnosti zaključivanja na osnovu slučaja mogu da se grupišu u četiri faze odlučivanja, a to su: [113]:

1. strukturiranje problema,
2. normalizacija podataka,
3. agregacija podataka i
4. analiza.

Kod zaključivanja na osnovu slučaja potrebno je da se problem uredi, da se struktura. Problem projektovanja alata može se urediti preko tzv. slučajeva. Pošto nije lako pamtit ceo slučaj, kao veliku količinu neuređenog teksta, problem se rastavlja na potprobleme, tj. kriterijume. Time slučaj dobija svoju strukturu. Svaki slučaj sadrži kriterijume koji su podeljeni na ulazne i izlazne kriterijume. Ulazni kriterijumi pamte problem dok izlazni kriterijumi pamte rešenje problema. Slučaj se, prema tome, sastoji od skupa kriterijuma čije vrednosti nose informacije o problemu i skupa kriterijuma koji nose informacije o njegovom rešenju. Podskup skupa kriterijuma koji služe za pretraživanje baze znanja su indeksi. Svaki slučaj se sastoji iz tzv. indeksiranih i neindeksiranih kriterijuma. Indeksirani kriterijumi služe za pretraživanje baze znanja. Neindeksirani kriterijumi služe za opisivanje slučaja i mogu uticati na rešenje problema ukoliko indeksirani kriterijumi ne sadrže dovoljno informacija. Neindeksirani kriterijumi ne služe za upoređivanje slučajeva (nisu normalizovani), jer u sebi nose semantičke informacije neprikladne za normalizaciju (npr. grafički podaci). Indeksi, tj. kriterijumi za pretraživanje, trebalo bi da budu [113]: razumljivi, svrsishodni, dovoljno apstraktni (radi eventualnog proširivanja baze slučajeva) i konkretni kako bi pretraživanje bilo precizno.

Sistemi zaključivanja na osnovu slučaja zasnivaju se na konceptu da se za rešavanje aktuelnog problema koriste predhodna slična rešenja. Kada se problem predstavi, CBR sistem preuzima rešenje sličnog problema iz baze znanja rešenja.

CBR tehnika se često integriše sa ekspertnim sistemima za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike što stvara hibridni sistem [31, 127].

1.3.1.4. Sistemi neuronskih mreža

Svi dosadašnji prilazi u području primene neuronskih mreža u projektovanju alata omogućavaju dobijanje parcijalnih konceptijskih rešenja alata. Put koji treba preći od koncepcije do realne konstrukcije alata često je veoma dug, a veliko je pitanje da li je i rešiv. Prednost neuronskih mreža leži u visokoj toleranciji prema poremećajima u ulaznim informacijama i u sposobnosti mreža da uče. Neuronske mreže su stoga veoma pogodne za rešavanje makar i parcijalnih problema u veoma kompleksnoj problematici projektovanja alata čija je algoritamska interpretacija praktično nemoguća. Zato su neuronske mreže projektantu dobra podrška u rešavanju problema [57, 86, 99].

1.3.1.5. Sistemi podržani genetskim algoritmima

Genetski algoritmi su osmišljeni tako da oponašaju procese u prirodi vezane za evoluciju, genetiku i prirodnu selekciju. Da li će neka jedinka preživeti i ostaviti potomstvo u velikoj meri zavisi od toga koliko dobro može da iskoristi svoje osobine u datom okruženju. Osobine svake jedinke su određene hromozomima. Prirodna selekcija omogućuju da se uspešni hromozomi reprodukuju mnogo više nego oni koji to nisu. Pod uspešnošću se mogu podrazumevati različite osobine zavisno od konteksta i okruženja. Prilikom procesa reprodukcije postoje dva dodatna mehanizma koja sam proces prirodne selekcije čini vrlo složenim i nepredvidivim. Jedan je mutacija na osnovu koje potomak može biti mnogo drugačiji od svojih roditelja, a drugi je proces rekombinacije po kome se različitost potomka u odnosu na roditelje obezbeđuje kombinovanjem genetskog sadržaja oba roditelja. Slično kao u prirodi, genetski algoritmi pokušavaju da nađu najbolji hromozom manipulišući sa hromozomskim materijalom, i ne udubljujući se preterano u optimizacioni problem koji se rešava. Kod GA pod hromozomom se smatra binarni zapis neke od analiziranih veličina. Jedino o čemu genetski algoritmi vode računa jeste nivo kvaliteta koji pokazuju proizvedeni hromozomi. Ovakvi postupci, manipulisanja nad binarnim zapisima (hromozomima), mogu da reše izuzetno složene probleme a da pri tome nemaju uvid u kompleksnost i prirodu problema koji se rešava. Osnovni element kojim se GA bavi jeste string, pri čemu svaki string predstavlja binarni kod parametra u prostoru koji se pretražuje. Tokom primena različitih operatora genetskog algoritma, ukupni broj hromozoma ne menja, ali se menja njihov sastav.

Osnovni operatori genetskog algoritma su [113]:

- reprodukcija,
- ukrštanje i
- mutacija.

Reprodukcija je proces u kome se pojedini hromozomi (binarni stringovi) kopiraju u sledećoj generaciji u skladu sa njihovim kriterijumskim funkcijama. Kriterijumska funkcija se pridružuje svakoj jedinki u populaciji, pri čemu visoka vrednost ove funkcije označava visok kvalitet. Ova funkcija može biti bilo koja linearna, nelinearna, diferencijabilna ili nediferencijabilna funkcija sa ili bez prekida, pozitivna funkcija (jer algoritam uzima u obzir samo njenu vrednost i ni jednu drugu osobinu) [113].

GA predstavljaju stohastičke optimizacione metode za rešavanje problema. GA se razlikuju od uobičajenih optimizacionih metoda. Prvo, GA manipulišu sa velikim brojem stringova¹, tražeći veći broj lokalnih maksimuma u paraleli. Primenjujući mehanizme genetskih algoritama, razmenjuju se informacije o ovim lokalnim maksimumima, sa ciljem da se algoritam ne završi u jednom od njih, već da se među njima prepozna onaj koji je istovremeno i globalni maksimum. Druga značajna razlika jeste da ovi algoritmi rade sa kodiranim vrednostima argumenata a ne sa samim argumentima. Treća, značajna razlika jeste da GA zahtevaju samo poznavanje evaluacionih funkcija, a ne i njenih izvoda. Konačno, poslednja razlika leži u činjenici da je trajektorija pretraživanja stohastička, ne može se predvideti. Primenjujući operacije genetskih algoritama, ovo pretraživanje efikasno ispituje delove prostora projektovanja u kome leže argumenti funkcija koje se optimizuju.

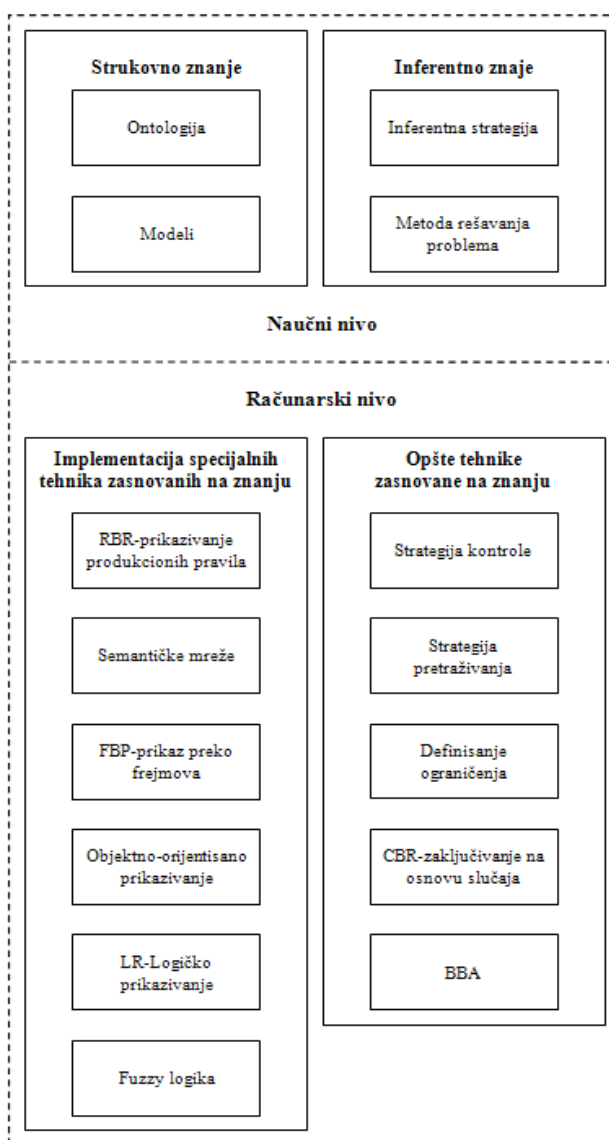
*string*¹ je tačka u prostoru pretrage.

1.3.1.6. Hibridni sistemi

Hibridni sistemi predstavljaju integraciju ekspertnog sistema sa drugim sistemima zasnovanim na veštačkoj inteligenciji (svi predhodno pomenuti sistemi osim konvencionalnih programa). U literaturi hibridni sistemi se nazivaju još i hibridni inteligentni, kompleksni sistemi i sistemi sa visokim stepenom integracije.

1.3.2. Tehnike gradnje savremenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

S obzirom da postoji nekoliko pravaca (prilaza) u automatizaciji projektovanja alata za injekciono presovanje plastike (poglavlje 1.3.1), može se konstatovati da CAIDMS se gradi na modularnom principu korišćenjem inženjerskih tehnika koje se prikazuju na slici 1.3. Ove inženjerske tehnike se mogu rasčlaniti na naučni i računarski nivo. Inženjerske tehnike zasnovane na znanju predstavljaju osnovu za gradnju savremenih sistema [6, 12, 127].



Slika 1.3. Savremene inženjerske tehnike (KBE) u projektovanju [6]

Za gradnju savremenih sistema za projektovanje alata mogu se koristiti sledeće inženjerske tehnike:

- LP linarno programiranje;
- NLP ne linarno programiranje;
- SA simulacija;
- IR iterativni metod;
- PDT parametarsko predstavljanje;
- GBA gradijentni algoritmi;
- BB povezivanje korišćenjem grananja i ograničenja;
- HR heuristička pravila;
- RBR zaključivanje na osnovu pravila;
- CBR zaključivanje na osnovu slučaja;
- MHS, meta heurističko pretraživanje;
- TS tabu pretraživanje;
- GA genetski algoritmi;
- SPA tehnika izdvojenog (dodeljenog) prostora;
- AR, analoško rezonovanje i
- ED evolutivni dizajn.

Slika 1.4 prikazuje inženjerske tehnike koje se mogu koristiti za stvaranje hibridnog sistema. Hibridni sistem predstavlja složeni sistem koji integriše neke od dodatnih AI tehnika (tehnika veštačke inteligencije).



Slika 1.4. Inženjerske tehnike za gradnju hibridnog sistema [6, 127]

1.3.3. Poređenje i nedostaci tehnika gradnje savremenih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

Detaljno poređenje mogućnosti različitih računaram podržanih tehnika za projektovanje i optimizaciju konstrukcije alata za istovremeno injekciono presovanje različitih plastičnih proizvoda prikazuje u tabeli 1.2 [11].

Funkcionalni zahtevi i karakteristike	Tehnike za projektovanje alata			Optimizacione tehnike u projektovanju alata									Ostale specijalne tehnike		
Vrsta tehnike gradnje CAIDMS	Klasične inženjerske tehnike (KBE)			Tradicionalne tehnike						Meta heurističke tehnike (MHS)					
Nazivi tehnika	RBR	CBR	PDT	NLP	LP	BB	GBA	IR	HR	TS	SA	GA	SPA	AR	ED
kombinacija projektovanja (modeliranje i optimizacija)	-	-	-	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	-	-	Y
ne ponovljive i generativne	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	Y
brzo projektovanje alternativa, ponovljivost	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	Y
vizuelizacija i evalucija	Y	Y	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	Y
predstavljanje projektovanja	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	Y	Y
kapacitet snimanja znanja	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	O
sposobnost ponovnog iskorišćenja znanja	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	O
mogućnost učenja	X	O	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	O

legenda:

- ”Y” - podržano,
- ”X” - ne podržano,
- ”O” - ima ograničenja,
- ”-” - ne primenljivo.

Tabela 1.2. Poređenje mogućnosti različitih računaram podržanih tehnika za projektovanje i optimizaciju konstrukcije alata za injekciono presovanje plastike

Različiti autori koriste različite inženjerske metode za automatizaciju projektovanja alata za injeksiono presovanje plastike kao što su (RBR, CBR, PDT), i tradicionalne optimizacione tehnike kao što su (NLP, LP, BB, GBA, IR, HR) i meta heurističke tehnike pretraživanja kao što su (TS, SA, GA) i ostale specijalne inženjerske tehnike kao što su (SPA, AR, ED). Različiti autori programskih sistema za projektovanje alata koriste fazi logiku, neuronske mreže, genetske algoritme i njihovu kombinaciju stvarajući hibridne programske sisteme [11, 34, 86, 127].

1.3.4. Nedostatci savremenih sistema za projektovanje alata za injeksiono presovanje plastike

Nedostatci komercijalnih programskih i patentiranih sistema za projektovanje alata za injeksiono presovanje više otpresaka jednovremeno prikazuju se tabelom 1.3 [11].

CAIDMS	komercijalni programski sistemi							patentirani sistemi				
	MCAD	CAE	određivanje troškova izrade alata					aplikativni sistem			hardver	
predviđanje cene	X	-	X	X	X	O	X	O	X	X	-	-
određivanje podeone ravni	O	-	-	O	O	O	O	O	-	-	O	-
optimizacija alatne šupljine	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
optimizacija ulivnog sistema	O	O	-	O	O	O	X	O	-	-	-	-
projektovanje hlađenja	O	-	-	O	O	O	X	O	-	-	-	-
projektovanje izbacivanja	O	-	-	O	O	O		X	-	-	-	-
izbor komponenata i alata iz BP	O	-	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
izbor materijala alata	O	-	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
balansiranje ulivanja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O

legenda:

„Y” - podržano,

„X” - ne podržano,

„O” - ima ograničenje/zavisi od znanja i iskustva projektanta alata,

”-” - ne primenljivo.

Tabela 1.3. Analiza komercijalnih i patentiranih sistema za projektovanje alata za injeksiono presovanje različitih otpresaka istovremeno

1.4. DEFINISANJE PROBLEMA I CILJ ISTRAŽIVANJA

Velika potražnja proizvoda od plastike na tržištu, uticala je na porast broja alata za njihovu proizvodnju, čiji troškovi izrade čine veliki udeo u ukupnoj ceni izrade proizvoda od plastike. Zbog toga je efikasnost proizvodnje proizvoda od plastike u velikoj meri uslovljena racionalnom i efikasnom konstrukcijom kvalitetnih alata.

Sve veća upotreba alata za injekciono presovanje plastike, dovela je do toga da se u svetu pojavi veliki broj kompanija, kao što su: D-M-E, Hasco, Misumi, Futaba, Strack, Meusberger, Pedrotti, itd., koji su se specijalizovali za projektovanje i izradu standardnih sklopova, odnosno standardnih elemenata alata. Pošto ovi proizvođači elemente alata proizvode u serijskoj proizvodnji, imaju brojne prednosti u odnosu na individualno projektovanje i izradu.

Cena standardnih elemenata alata svetskih proizvođača za naše uslove privređivanja, predstavlja opravdanje za rešenja ovih elemenata kroz internu standardizaciju, koja bi se bazirala na nekom od razvijenih standarda. Ovo bi predstavljalo jedno od rešenja koje bi mogle da primene domaće alatnice u cilju racionalizacije projektovanja i proizvodnje alata. Primena standardnih elemenata alata u našoj zemlji je na relativno niskom nivou i obuhvata relativno mali procenat od ukupnih potreba za alatima za injekciono presovanje plastike [71]. Iz tog razloga modularni sistem mora da poseduje sopstvenu BP zasnovanu na nekom od standarda. Sistem mora da obezbedi tok projektovanja bez kupovine elektronskih kataloga i specijalizovanih sistema za njihovu upotrebu (D-M-E Mold Configurator, HASCO Standard Elements Module V7.0, HASCO R2, PCS Part Server, Mold Quote, IDEAS NX Mold Base, EDS (Electronic Data Corporation), VGX Mold Base, Mold Works, MBI Mold Plates, PTC Mold Library, Strack Mold Base, Meusburger i sl.). U uslovima posedovanja elektronskih kataloga treba da obezbedi vezu za njihovu potpunu integraciju u bazu podataka.

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike u disertaciji se projektuje po D-M-E standardu, uz određenu prepravku mogao bi se adaptirati za korišćenje HASCO elektronskog kataloga. BP mora da sadrži sve upotrebne modelske forme (objekte u Pro/E model drvetu) sa kojima se može potpuno manipulirati (čitati, menjati, memorisati i sl.) što stvara mogućnost gradnje nezavisne BP koja je podložna lakoj promeni, unosu i nadogradnji. Od suštinske važnosti je obezbeđenje potpune upravljivosti u pogledu nadogradnje, menjanja i brisanja modelskih formi koji sačinjavaju sve elemente alata koji su sadržani u objektno orijentisanom BP.

Predhodna analiza različitih sistema prikazuje da se autori trude da korišćenjem različitih inženjerskih tehnika, problem projektovanja alata svedu na izbor alata (sklopa, podsklopa ili elemenata). Autori integrišu CAD/CAE kako bi generisali geometrijske i ne geometrijske informacije potrebne za izbor alata iz baze alata. Mnogi autori koriste CAE sistem za numeričku simulaciju injekcionog presovanja za određivanje parametara injekcionog presovanja, neki stvaraju svoj originalni CAE modul za proračun parametara presovanja. Na osnovu pomenutih modularnih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike (poglavlje 1.2.1 i 1.3.2), može se zaključiti da postoji raznolikost u tehnikama gradnje, integraciji i mestu koje CAIMDS zauzima u području opisivanja SIP, odnosno CIM-a.

Programski sistemi opšte namene odnosno univerzalni CAx sistemi ne poseduju definisane relacije i kriterijume za izbor elemenata alata pa se nameće ideja o razvoju modularnog sistema za projektovanje alata. Kriterijum i logika odlučivanja biće formirana na bazi produkcionih pravila za izbor elemenata alata i izbor ubrizgavalice.

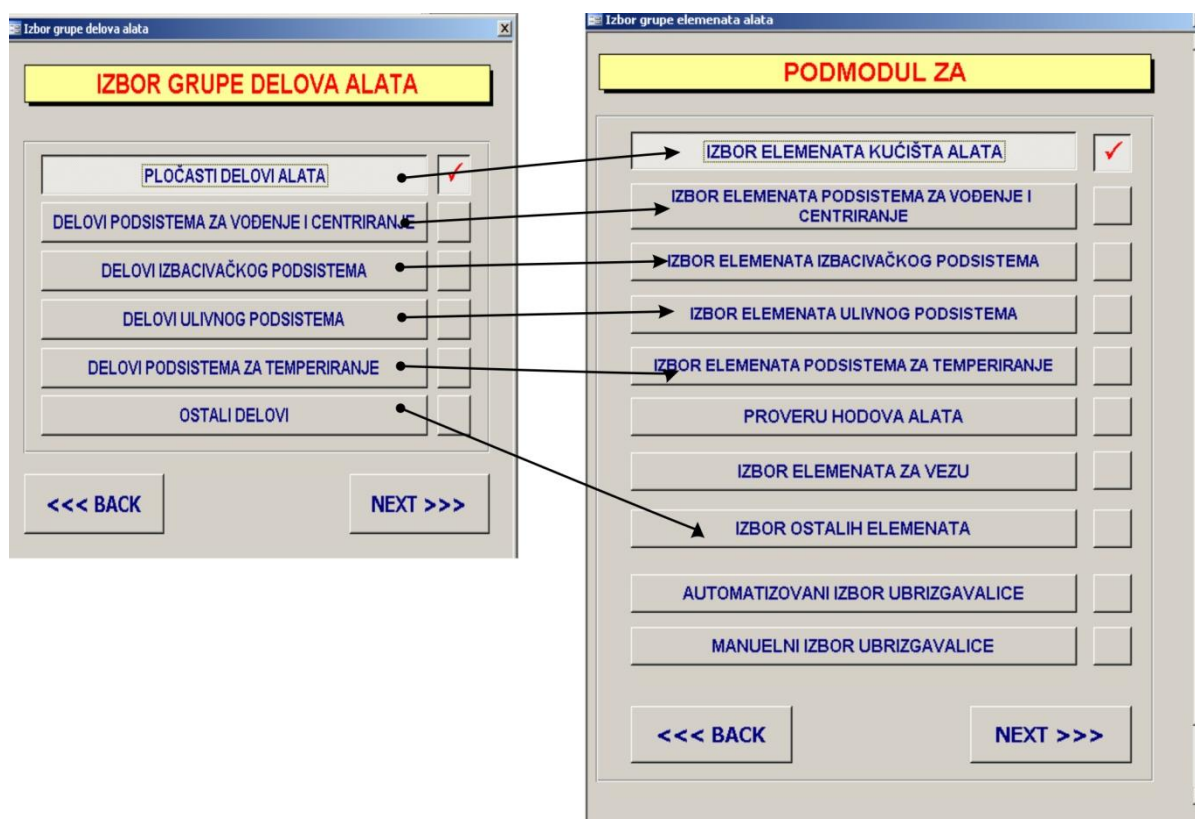
Nastavljajući istraživanja iz predhodnog vremenskog perioda, osnovni cilj istraživanja je usmeren na razvoj modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. Osnovni cilj istraživanja jeste razvoj integrisanog CAD/CAE modularnog sistema za projektovanje alata, parametara tehnologije injekcionog presovanja i izbor ubrizgavalice. Ovakav modularni

sistem mora obezbediti brzo i efikasno pretraživanje i dopunu baze podataka i znanja. Svaki modul može da bude celina sa svojim izlaznim rezultatima. Za izlaz iz sistema predlažu se parametri injekcionog presovanja dobijenih simulacijom, 3D model sklopa alata, model otpreska i preporuka ubrizgavalice. Modularni sistem za projektovanje alata mora da omogući modeliranje proizvoda i alata, izbor elemenata alata i izbor ubrizgavalice.

Razvoj sistema u doktorskoj disertaciji ima za cilj proširenje arhitekture razvijenog programskog sistema [82], integrisanje novih i razvoj sledećih podmodula za:

- izbor elemenata za vođenje i centriranje,
- izbor elemenata za vezu,
- proveru hodova alata,
- automatizovan izbor ubrizgavalice i
- manuelni izbor ubrizgavalice.

Slika 1.5 prikazuje vezu između predhodnih istraživanja i aktuelnih istraživanja na razvoju modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike.



Modul CAE/II → Modul 3

Predhodna istraživanja [39, 78, 80, 81, 82] → Istraživanja u doktorskoj disertaciji

Slika 1.5. Forma za izbor podmodula u modularnom sistemu

Autor je postavio hipotezu da je moguće izgraditi sistem koji će obezbediti integralni prilaz u projektovanju alata. Sistem bi trebao da omogući:

- unos potrebnih informacija bitnih za projektovanje alata,

- brzo i efikasno pretraživanje BP za (elemente i podsklopove alata, materijale alata, plastične materijale i sl.).
- određivanje parametara injekcionog presovanja numeričkom simulacijom [78, 79, 82],
- automatizovano modeliranje elemenata i/ili sklopa alata [39, 78, 80, 81, 82],
- izbor elemenata alata [39, 78, 80, 81, 82],
- modeliranje plastičnih proizvoda i automatizaciju projektovanja i modeliranja tipskih elemenata normalnih alata i
- visok stepen fleksibilnosti, univerzalnosti i otvorenosti za nadogradnju.

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike će se bazirati na primeni najsavremenijih tehnika za izbor elemenata alata, integrisano CAD/CAE programsko rešenje (aplikaciju) razvijenu od strane autora, uz primenu univerzalnog CAX sistema Pro/E, odnosno njegovih specijalističkih modula za modeliranje alata i numeričku simulaciju injekcionog presovanja.

Kao sekundarni cilj istraživanja predstavlja će modularni sistem za projektovanje alata koji mora da obezbedi:

- smanjenje manuelnog rada u okviru projektovanja alata,
- automatizovano modeliranje alata na osnovu simulacijom definisanih parametara injekcionog presovanja i parametara alata,
- razvoj i primenu odgovarajućih BP za plastične mase, materijale alata, elemente i sklopove alate, ubrizgavalice i sl.
- razvoj i primenu odgovarajuće baza znanja,
- određivanje parametara injekcionog presovanja i parametara za konstrukciju alata,
- brzo i efikasno modeliranje simulacionog modela i modela proizvoda, itd.
- zadovoljenje OSI i OSA lejera, D-M-E, ISO, DIN standarda i
- zadovoljenje zahteva o egzistenciji, razvoju i primeni u proizvodnim sistemima [39, 77, 83].

Svi predhodno navedeni sistemi (poglavlje 1.2) ne poseduju dovoljan broj modula za potpuno opisivanje SIP-a, što zahteva stvaranje novog sve obuhvatnog modularnog sistema koji bi mogao da zadovolji postavljenu hipotezu odnosno cilj istraživanja.

Kompletno istraživanje u okviru doktorske disertacije realizovaće se na principima poznatih metoda naučno-istraživačkog rada. Zbog specifičnosti teme doktorske disertacije, pored opštih metoda analize, sinteze i dedukcije koristiće se savremeni metodološki pristupi, eksperimentalno-računarske tehnike. Pri tome se posebno ističu:

- CAD modeliranje solida,
- numeričke simulacije²,
- parametarskog i objektno-orijentisanog programiranja,
- modularne gradnje sistema i
- priznate inženjerske (KBE) tehnike.

Modularni sistem treba da doprinese da alat bude lakše i brže konstruisan, a tehnička dokumentacija koja bi se u interaktivnom radu formirala, bila bi osnova za domaću proizvodnju. Najvažniji elementi alata su pokretna, nepokretna kokila, vođice, vijci i sl., a modularni sistem bi imao za cilj da omogućí njihov izbor, izvrši proveru podobnosti proizvoda sa stanovišta injekcionog presovanja.

*Numerička simulacija*²⁾ predstavlja segment predhodnog istraživanja [39, 78, 80, 81, 82].

Sistem treba da poseduje interaktivni sistem za objašnjavanje koji će korisniku dati potrebne upotrebne informacije za svaki podmodul. Modularni sistem za projektovanje alata koristiće informacije dobijene u modulu za numeričku simulaciju potrebne za projektovanje alata. Podmodul za izbor elemenata kućišta alata³, elemenata za vođenje i centriranje, izbor elemenata za vezu, proveru hoda alata, i izbor ubrizgavalice predstavlja će originalno rešenje autora.

1.5. SAŽET PRIKAZ STRUKTURE RADA

Doktorska disertacija se sastoji iz jedanaest poglavlja.

Prvo poglavlje sadrži uvodna razmatranja, pregled dosadašnjih istraživanja razvijenih ekspertnih modularnih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike i tehnika za njihovu gradnju. Dat je kritički osvrt na dosadašnja istraživanja u razvoju CAIMDS u svetu. Predložen je nastavak razvoja arhitekture predhodno razvijenog sistema. Definisani su problem i definisani ciljevi istraživanja.

Drugo poglavlje sadrži podelu i opštu strukturu savremenih ekspertnih sistema. U poglavlju se prikazuje razvoj ekspertnih sistema s obzirom na osu komunikacije, modeliranja i znanja.

Treće poglavlje sadrži pregled savremenih CAx programskih (komercijalnih) sistema opšte namene za injekciono presovanje plastičnih proizvoda, odnosno projektovanje alata. U poglavlju se navode sistemi i razmatra mogućnost njihovog korišćenja i integracije za razvoj modularnog sistema.

Četvrto poglavlje sadrži znanja neophodna za projektovanje alata za injekciono presovanje. U ovom poglavlju se prikazuje apstraktna formulacija alata kao centralnog elementa SIP-a. Predstavljene su osnove projektovanja alata, sa definisanjem osnovnih pod sistema i funkcija u alatu. Na kraju poglavlja se razmatra sistematizacija alata i definišu se osnovni kriterijumi za grupisanje alata. Poglavlje sadrži ocenu mogućnosti primene pojedinih modula na definisane grupe alata, osnovne napomene o ubrizgavalicama, i strukturnim jedinicama koje ih čine.

Peto poglavlje se odnosi na definisanje modela modularnog sistema, opisa strukture i toka informacija. U poglavlju se prikazuju opšte karakteristike komercijalnih sistema koji se koriste za razvoj modela modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje.

U šestom poglavlju predstavljen je način izbora elemenata alata. S obzirom da disertacija predstavlja nastavak istraživanja, u poglavlju se prikazuje izbor elemenata alata koji nisu bili obuhvaćeni u prethodnom istraživanju (elementa za vođenje i centriranje, elementa za vezu i proveru hodova alata).

U sedmom poglavlju je predstavljena automatizacija modeliranja i izbora elemenata alata, razvoj i integracija modula, BP i baze znanja.

Osmo poglavlje se odnosi na izbor ubrizgavalice u modularnom sistemu. U ovom poglavlju prikazuje se parametarski prikaz ubrizgavalice, i funkcionisanje podmodula za izbor.

Deveto poglavlje sadrži verifikaciju modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. Verifikacija se predstavlja na dva proizvoda i njima odgovarajućim alatima. Na osnovu izabranih standardnih elemenata kućišta alata³, prikazuje se verifikacija standardnih elemenata za vođenje i centriranje, standardnih elemenata za vezu.

Deseto poglavlje sadrži osvrt autora na rezultate istraživanja, kao i prikaz mogućih pravaca daljeg istraživanja.

Jedanaesto poglavlje sadrži pregled korišćene literature.

*Izbor elemenata kućišta alata*³ predstavlja segment predhodnog istraživanja [39, 78, 80, 81, 82]

2. EKSPERTNI SISTEMI

2.1. DEFINICIJA EKSPERTNIH SISTEMA

ES je programski sistem koji omogućuje stručno rešavanje problema u datom polju ili primenjenoj oblasti izvođenjem zaključaka iz baze znanja, razvijene veštinom nekog stručnjaka - eksperta, u određenoj stručnoj oblasti. ES su inteligentni računarski programi koji se koriste znanjima i procedurama zaključivanja radi rešavanja problema koji su dovoljno teški da zahtevaju čovekovu ekspertizu [127].

Ekspertni sistemi koriste formalne načine predstavljanja znanja koje ekspert posjeduje i metode logičkog zaključivanja, da putem odgovarajućih računarskih programa obezbede ekspertni savet ili mišljenje o problemu za koji je korisnik zainteresovan.

Razlog za primenu ekspertnih sistema je težnja da znanje, iz raznih specifičnih oblasti ljudske delatnosti, postane dostupnije kroz primenu računarskih programa. Ekspertni sistemi predstavljaju jednu od najznačajnijih oblasti istraživanja i primene veštačke inteligencije. Ovi sistemi su najbrojniji i najznačajniji u komercijalnoj primeni rezultata. Osnovni termini ekspertnih sistema definisani su međunarodnim standardom ISO/IEC 2382-28:1995.

Ekspertni sistemi upravljaju bazom znanja i bazama podataka. Osnovne metode obrade se ogledaju u pretraživanju podataka na bazi razvijenih logističkih procesa pretraživanja. Baze podataka ekspertnog sistema se ocenjuju analizom koncepta, kojim se vrši unošenje znanja eksperata u računarski algoritam tj. predstavljanjem znanja eksperata u obliku programa (ili programskih sistema) za rad. Time ekspertni sistem postaje profesionalno sredstvo za projektovanje [127, 128].

Kompanije sadrže veliki broja različitih aktivnosti koje vrše određene funkcije unutar sistema i nalaze se u međusobnoj interakciji. Ove aktivnosti u svom delovanju zahtevaju veliku količinu odgovarajućih podataka. U cilju efikasnog poslovanja, organizacije i upravljanja proizvodnim sistemom, kao i njegovog brzog prilagođavanja tržištu, neophodno je da potrebni podaci budu dostupni na što jednostavniji način i u što kraćem vremenskom periodu. Zbog toga je potrebno izvršiti organizaciju podataka u odgovarajuću integralnu bazu podataka, bilo da se radi o podacima potrebnim za proračun ili grafičkim podacima.

2.2. PODELA I STRUKTURA EKSPERTNIH SISTEMA

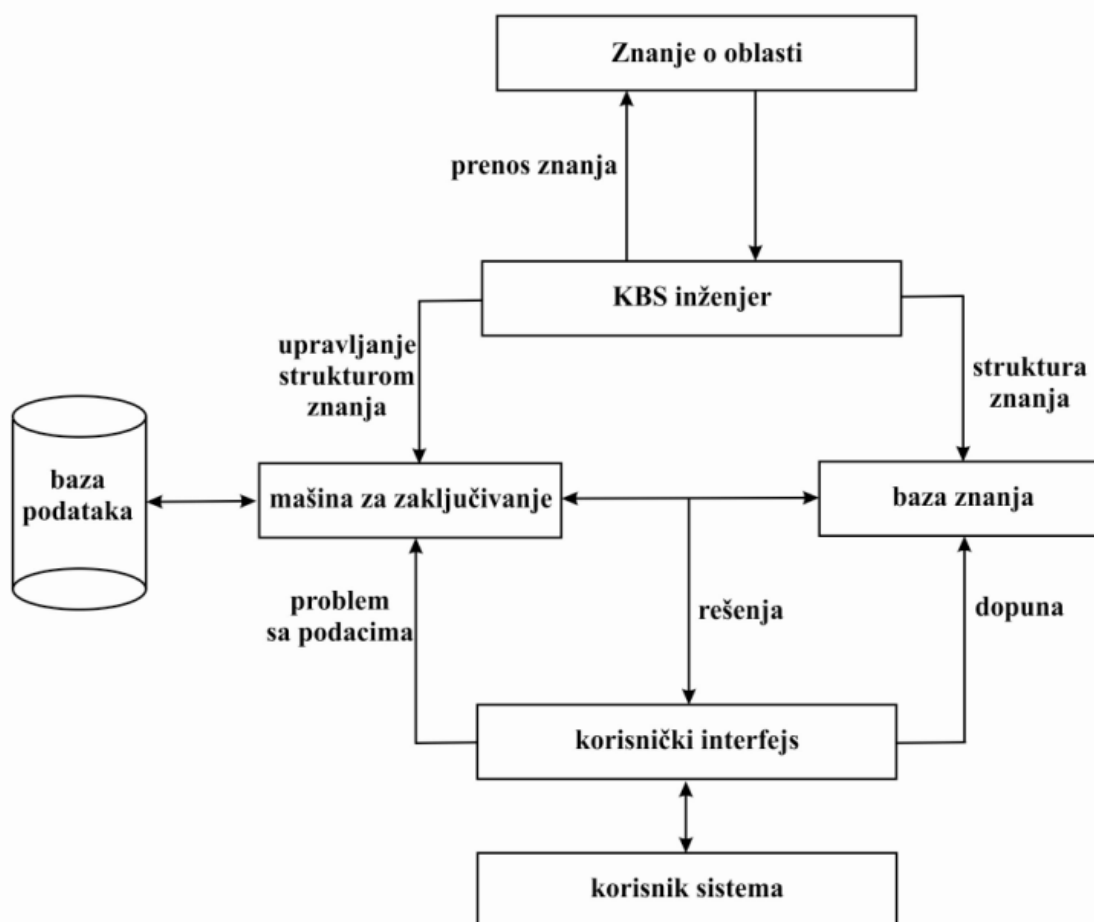
Ekspertni sistemi se mogu podeliti s obziroma na funkciju cilja odnosno zadatke koje obavljaju na [127]:

- Sistemi dijagnosticanja – na osnovu opservacija zaključuju o funkcijama objekata sistema,
- Sistemi za planiranje – oblikuju akcije i usresređeni su na objekte koji obavljaju date funkcije da bi prosudili putem modela njihove efekte,

- Sistemi za monitoring – upoređuju opservacije o ponašanju sistema sa odlikama i parametrima planiranih ishoda,
- Sistemi oblikovanja i projektovanja – razvijaju konfiguracije objekata koji zadovoljavaju zadata ograničenja,
- Sistemi predviđanja – zaključuju o verovatnim posledicama iz odgovarajućeg modela i vrednosti parametara za datu situaciju i
- Interpretativni sistemi – tumače opažene podatke kojima se opisuju situacije ili stanja sistema.

ES se razlikuju prema vrsti korisnika. Neki ES, kao što su sistemi medicinske dijagnostike, uključuju znanje grupe eksperata u cilju korištenja od strane jednog eksperta iz iste grupe (lekari kreiraju sistem za lekare). Neki ES prenose znanje jedne grupe eksperata grupi ili pojedincu koji to nisu. U ovu grupu spadaju sistemi finansijskog planiranja. Upotreba ove grupe ES se danas smatra najkontraverznijom.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja razvijenih ekspertnih modularnih sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike (poglavlje 1.2.1) i karakteristika ES (poglavlje 1.3.1.2) može se predstaviti opšta struktura savremenog ekspertnog sistema (slika 2.1).



Slika 2.1. Opšta struktura ekspertnog sistema [83]

Učesnici u razvoju ekspertnih sistema su:

1. ekspert (osoba koja poseduje znanje, veštinu i iskustvo na osnovu kojih rešava probleme iz određenog domena bolje i efikasnije od drugih ljudi),
2. inženjer znanja (koji projektuje, implementira i testira ekspertni sistem, zna koji je softverski alat pogodan za rešavanje problema koji definiše, intervjuiše eksperta, identifikuje koncepte, organizuje i formalizuje znanje koje se predstavlja, identifikuje inženjerske metode, vrši izbor programskog okruženja za razvoj, implementira, testira, revidira, instalira i održava ekspertni sistem).
3. krajnji korisnik (koji radi sa ekspertnim sistemom, unosi ulazne podatke i činjenice, zahteva objašnjenja, definiše zahteve vezane za korisnički interfejs).

Često jedan čovek (KBS inženjer) obavlja zadatke eksperta i inženjera znanja, a nekad jedan čovek obavlja poslove KBS inženjera i korisnika.

Glavne komponente ES su [132]:

1. Korisnički interfejs:
 - obezbeđuje interaktivan rad korisnik-ES,
 - razvoj i održavanje baze znanja.
2. Baza podataka (BP):
 - sadrži činjenice, podatke i informacije.
3. Baza znanja:
 - sadrži znanje kodirano pravilima.
4. Radna memorija:
 - sadrži trenutno aktuelne činjenice.
5. Mašina za zaključivanje (mehanizam za zaključivanje):
 - vrši zaključivanje izvršavajući pravilo sa najvišim prioritetom u agendi⁴,
6. Sistem za objašnjavanje:
 - objašnjava korisniku način korišćenja i rezonovanja ekspertnog sistema.

Ključni faktor za dobre performanse ES je kvalitet znanja koje je u njega ugrađeno. Znanje se čuva u bazi znanja i generalno se razlikuju dva tipa znanja:

- Prvi tip znanja je ono znanje koje se zove činjenicama datog domena, odnosno znanje koje je široko poznato i nalazi se napisano u udžbenicima, časopisima i slično.
- Drugi tip znanja je heurističko znanje, odnosno znanje koje ekspert gradi na osnovu iskustva i koje se može kombinovati prvim tipom znanja. Ovo znanje čini čoveka ekspertom.

Baza znanja ES mora postići optimum između niza potpuno kontradiktornih zahteva da bi se, bar minimalno, zadovoljile potrebe korisnika. S jedne strane broj podataka, činjenica i logičkih odluka mora biti što je moguće veći, a nasuprot tome vreme dobijanja određenog rešenja ili predloga mora biti što je moguće manje. Pri tome je potrebno odabrati najverovatnije rešenje, ali predložiti i moguće alternative.

*Agenda*⁴⁾ predstavlja spisak činjenica ili pravila koja se trebaju izvršiti u ES-u.

Osim znanja, ES zahteva i mehanizam za zaključivanje, koji se koristi da napravi spregu između znanja koje se čuva u računaru i problema koji postavlja korisnik. Ciklus mehanizma za zaključivanje sastoji se iz sledećeg:

- mašina za zaključivanje pronalazi pravila čiji su antecedenti⁵ zadovoljeni,
- leva strana IF-THEN pravila mora odgovarati činjenici u radnoj memoriji,
- pravila koja su zadovoljena smeštaju se u agendu i nazivaju se aktivirana pravila,
- pravila su u agendi poređana po prioritetu,
- razrešavanje konflikta (bira pravilo iz agende sa najvišim prioritetom),
- izvršenje pravila (sprovodi akcije određene posledicom odabranog pravila i uklanja pravilo iz agende⁴),
- nadograđuje agendu pravila (pravila čiji su antecedenti⁵ zadovoljeni dodaje u agendu, a iz iste uklanja pravila koja nisu zadovoljena),
- ciklus se završava kada u agendi nema više pravila ili kada se naiđe na eksplicitnu komandu za zaustavljanje programa, odnosno modula.

Na osnovu postojećih činjenica se odlučuje koja pravila su zadovoljena i izvršava se ono sa najvišim prioritetom. Najčešće korišćene metode zaključivanja su:

- Ulančavanje unapred (Forward chaining);
- Zaključivanje od činjenica ka zaključcima koji iz njih slede;
- Ulančavanje unazad (Backward chaining), i
- Zaključivanje od hipoteza (potencijalnih zaključaka) ka činjenicama koje podržavaju hipoteze.

ES treba da objasni korisniku na koji način je rezonovao da bi došao do rešenja, kao i način na koji se upotrebljava i/ili razvija, odnosno mora da poseduje korisnički sistem za objašnjavanje.

2.2.1. Sticanje znanja za ekspertni sistem

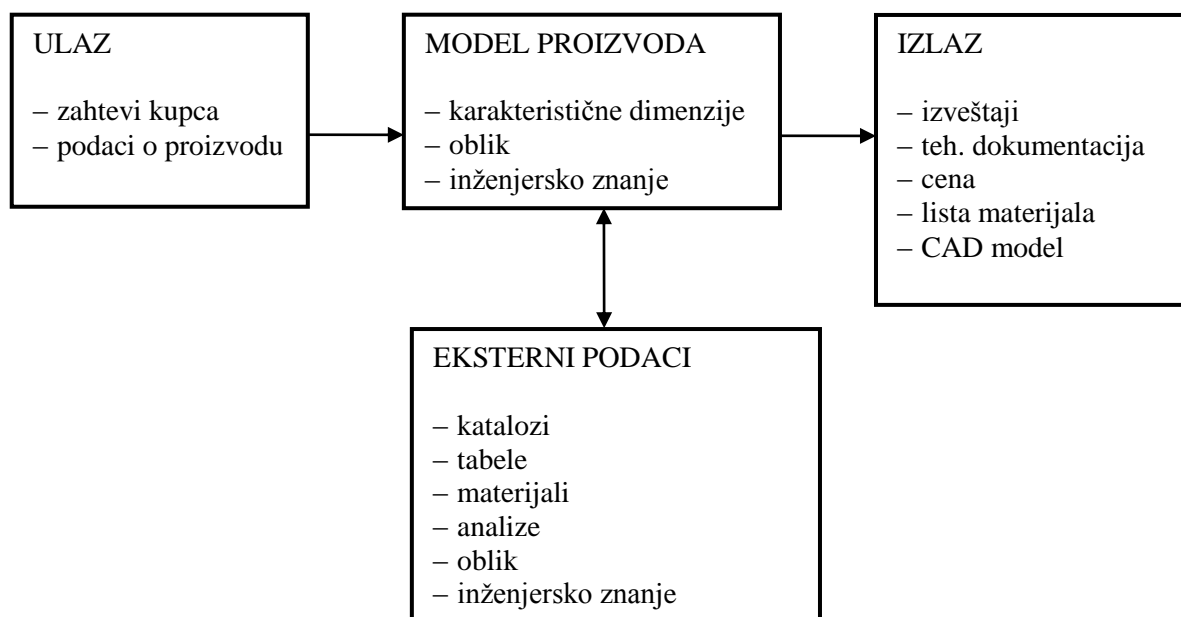
ES nije predviđen da daje konačna i neopoziva rešenja, već samo da pomaže u njihovom nalaženju. Takođe se podrazumeva da ES mora biti sposoban da stiče i prihvata nova znanja, shodno sa razvojem oblasti. Ponekad ne postoji mogućnost davanja konkretnog rešenja, pa je potrebno koristiti heuristiku, odnosno intuitivno znanje. Pri svemu ovome treba imati u vidu zahtev za što jednostavniju, bržu i lakšu komunikaciju čovek-računar, uz maksimalno izbegavanje nedoumica ili nejasnih zaključaka. ES, po potrebi, mora da traži od korisnika dodatne podatke.

Objekatno-orijentisan pristup omogućava da u slučaju jedne promene na simulacionom modelu nije neophodno ponovo izračunavanje čitavog modela kao u proceduralnom programiranju. Umesto toga samo objekti, koji su povezani sa promenom se ponovo računaju. Ovo se zove vođenje zahteva ili poziv-za-potrebe računanja [103].

Slika 2.2 prikazuje strukturu objektno-orijentisanog ekspertnog sistema. Dvosmeran tok informacija odnosno podataka između modela proizvoda i eksternih podataka predstavlja značajnu karakteristiku sistema.

*Agenda*⁴ predstavlja spisak činjenica ili pravila koja se trebaju izvršiti u ES-u.

*Antecedent*⁵ predstavlja činioac ili događaj koji prethodi narednom događaju.



Slika 2.2. Ekspertni sistem [103]

Znanje u ekspertnom sistemu se sastoji iz: činjenica, mišljenja i heuristike. Opšta struktura ekspertnog sistema novije generacije, kao softverskog proizvoda, sadrži šest elemenata i to: bazu znanja, radnu memoriju, mehanizam za zaključivanje, modul za učenje, komunikacioni interfejs i ulazno/izlazni modul za zaključivanje [103].

Faze sticanja znanja ekspertnog sistema su:

- Identifikacija** – određivanje karakteristika problema i njihov izbor za rešavanje pomoću ES;
- Konceptualizacija** – nalaženje i predstavljanje pojmova i relacija potrebnih pri opisu procesa rešavanja problema;
- Formalizacija** – oblikovanje strukture za organizovanje znanja;
- Implementacija** – formulisanje pravila za primenu znanja i
- Proveravanje** – vrednovanje pravila kojima se organizuje znanje.

Zadaci bitni za sticanje znanja su:

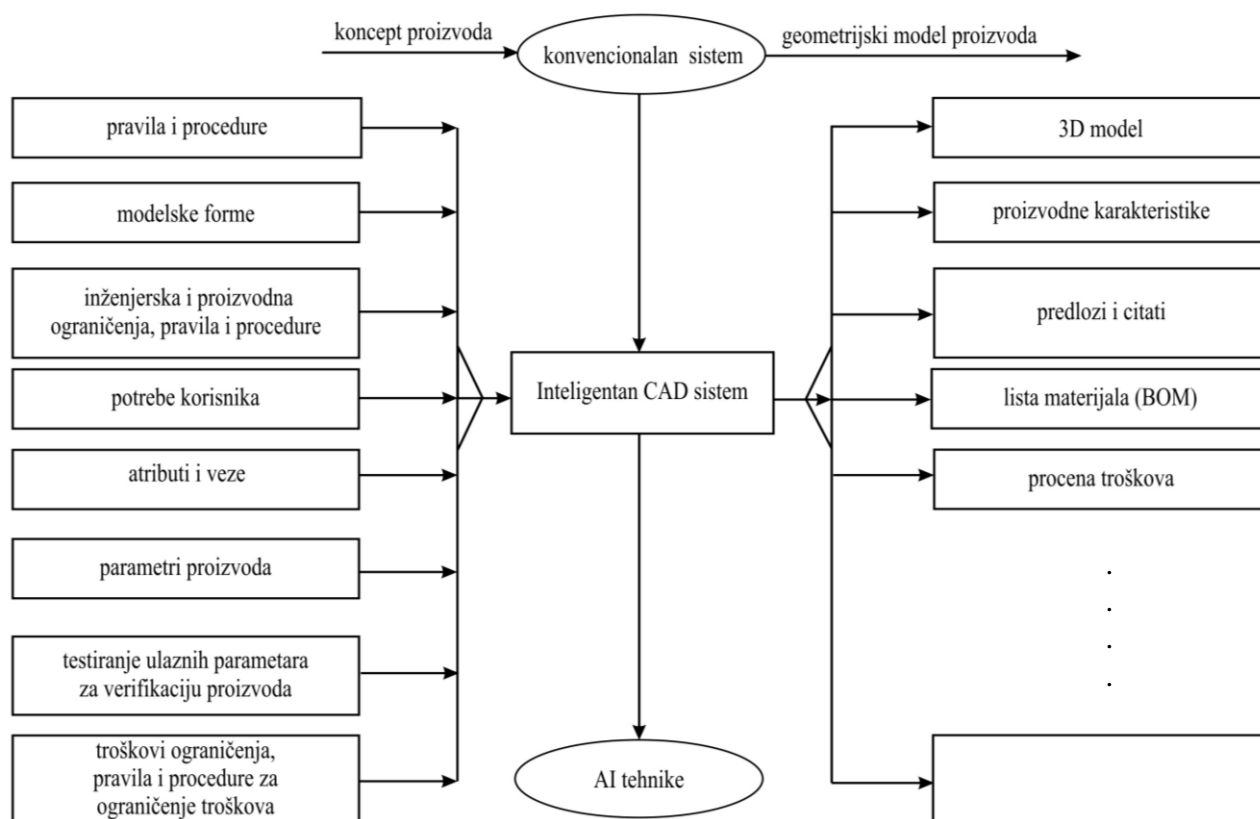
- 1) Definisane neophodnosti proširenja i modifikacije znanja;
- 2) Dobijanje potpuno novih znanja o sistemu;
- 3) Formiranje novih znanja u obliku koji sistem poznaje;
- 4) Usklađivanje starih i novih znanja i prelazak na korak (1).

ES mora biti zasnovan na dve osnovne činjenice:

- Izgradnji modula za zahvatanje znanja, koji omogućava automatizaciju zahvatanja znanja i
- Automatizacija zahvatanja znanja.

Svrha sticanja znanja je postizanje što potpunijeg i tačnijeg opis znanja, predstavljanje načina na koji se ekspert koristi svojim znanjima u rešavanju problema.

Znanje oplemenjuje ES (slike 2.1, 2.2, 2.3). Na slici 2.3 se prikazuje opšta struktura oplemenjenjenog CAD sistema, odnosno inteligentanog CAD sistema [127].



Slika 2.3. Inteligentni CAD sistem [127]

Većina sistema za automatizovano projektovanje primenjuje individualne tehnike veštačke inteligencije kao što su ES, neuronske mreže, fazi logika, genetski algoritmi i rezonovanje na osnovu slučaja [127].

Projektovanje ES sadrži sledeće faze:

1) Analiza

- Identifikacija potencijalne aplikacije (odnosno sistema i programskih jezika koji učestvuju u razvoju ES),
- Ocenjivanje podesnosti inženjerstva znanja za datu aplikaciju;

2) Specifikacija

- Upoznavanje sa namenom ES-a;
- Rad sa ekspertom, učenje o zadatku u cilju planiranja razvoja sistema;

3) Razvoj

- *Projektovanje koncepcije ES*: saznanje o rešavanju zadataka a zatim razvoj konceptualnog modela;
- *Implementacioni dizajn*: saznanje kako formalizmi zaključivanja, prezentacija mogu biti upotrebljeni u implementaciji konceptualnog modela;
- *Evaluacija*: test sistema u cilju verifikacije, odnosno spoznaje da li sistem izvršava zadatke korektno.

4) Razvoj u primeni

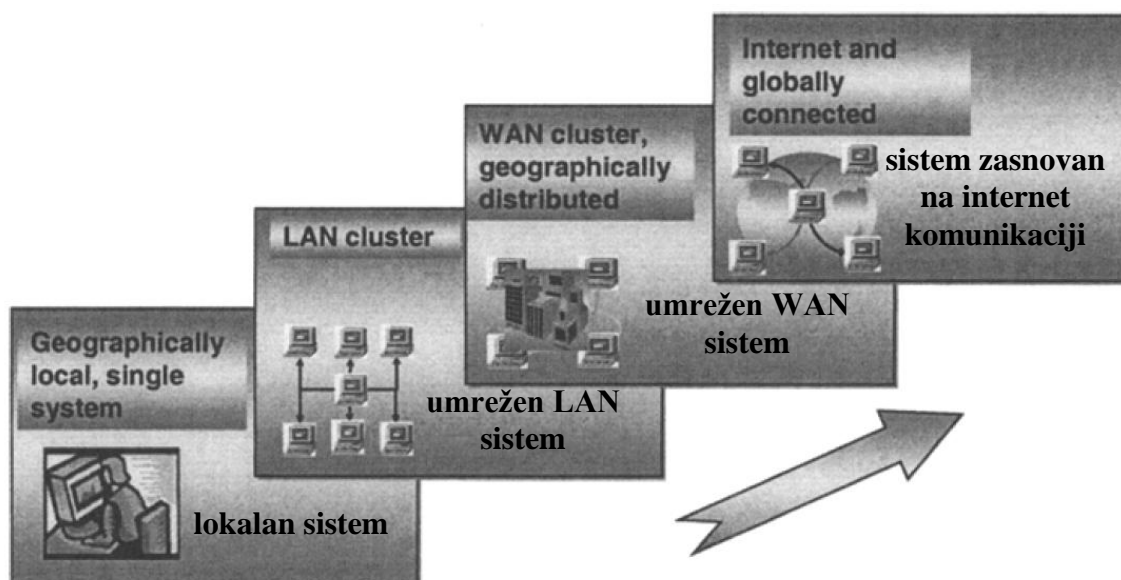
- *Primena*: instalisanje sistema za rutinsku upotrebu,
- *Održavanje*: pronalaženje grešaka, ažuriranje i poboljšanje vrednosti sistema.

2.2.2. Evolucija ekspertnih sistema

Evolucija sistema zasnovanih na znanju može se posmatrati s obzirom na sledeće ose [6]:

- komunikacije,
- modeliranja i
- znanja.

Slika 2.4 prikazuje evoluciju sistema s obzirom na osu komunikacije.



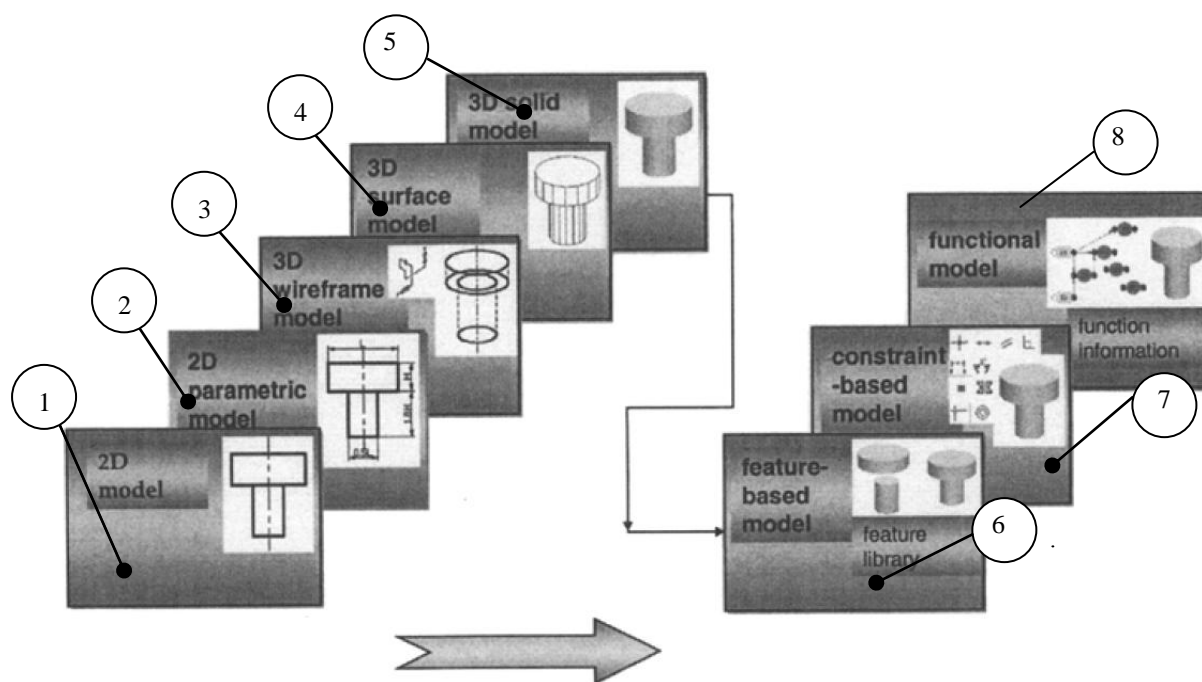
Slika 2.4. Evolucija sistema s obzirom na osu komunikacije [6]

ES se dele po načinu distribucije podataka na:

- lokalne, pojedinačne;
- umrežene lokalnom računarskom mrežom unutar proizvodnog sistema ili intraneta;
- umrežene na geografski udaljenim lokacijama pomoću WAN-a i
- zasnovane na internet komunikaciji ili komunikaciji na globalnom nivou.

Sistemi koji podržavaju komunikaciju na globalnom nivou, odnosno internet tehnologije se sve više grade i primenjuju. Takvi sistemi su po pravilu kolaborativni i modularni. Slika 2.5 prikazuje evoluciju sistema s obzirom na osu modeliranja. Najveći stepen razvoja sistema predstavlja BP modela, sastavljenih od modelskih formi, modela ograničenja, funkcionalnih modela i informacija. Slika 2.6 prikazuje evoluciju sistema s obzirom na osu znanja.

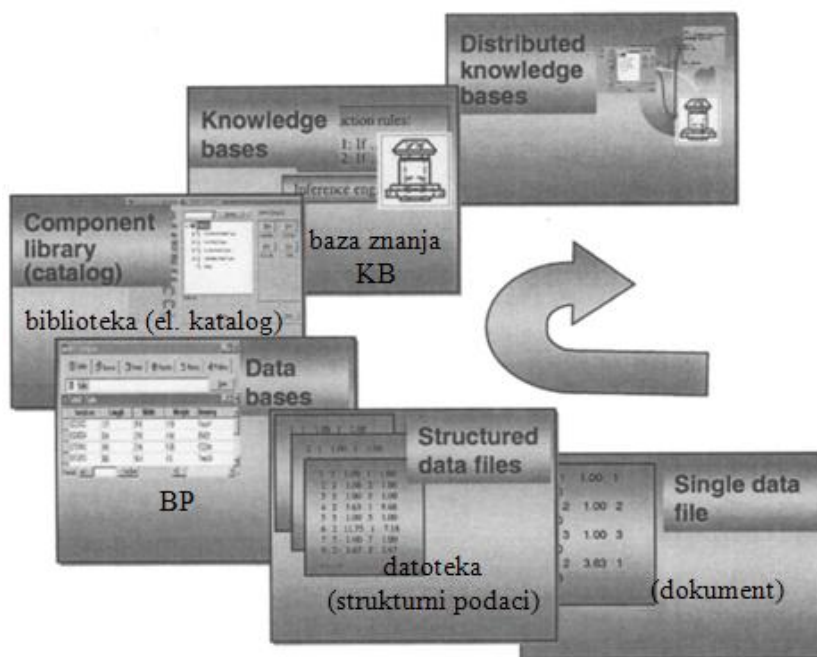
U savremenim sistemima najveći stepen razvoja predstavlja distribuirana baza znanja. Ova baza predstavlja obično karakteristiku kolaborativnih sistema. Lokalna baza znanja se sastoji najčešće od produkcionih pravila i inferentnog znanja [6].



legenda:

1. 2D model;
2. 2D parametarski model;
3. 3D žičani model;
4. 3D površinski model;
5. 3D solid model;
6. Model zasnovan na modelskim formama;
7. Model zasnovan na ograničenjima i
8. Funkcionalni model.

Slika 2.5. Evolucija sistema s obzirom na osu modeliranja [6]



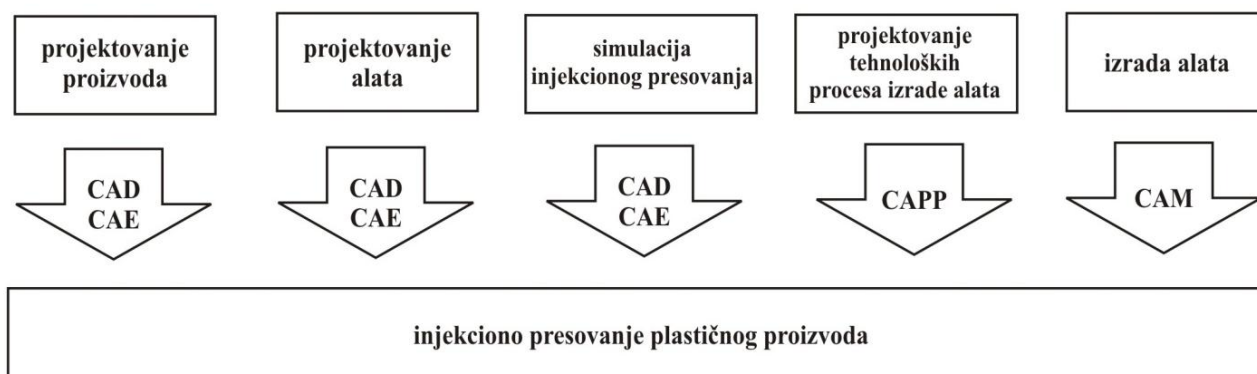
Slika 2.6. Evolucija sistema s obzirom na osu znanja [6]

3. ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE UNIVERZALNIH CA_x SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE ALATA I SIMULACIJU INJEKCIONOG PRESOVANJA PLASTIKE

3.1. CA_x SISTEMI ZA PROJEKTOVANJE PLASTIČNIH PROIZVODA I ODGOVARAJUĆIH ALATA

Sve aktivnosti u okviru projektovanja proizvoda, alata i tehnologije injekcionog presovanja sa aspekta CA_x tehnologija moguće je podeliti na (slika 3.1):

- Projektovanje proizvoda.,
- Simulaciju injekcionog presovanja (numerička simulacija).,
- Projektovanje alata.,
- Projektovanje tehnoloških procesa izrade alata, i
- Izrada alata (generisanje NC programa, EDM programa, i sl.).



Slika 3.1. CA_x programski sistemi projektovanja proizvoda, alata i simulacije injekcionog presovanja [71]

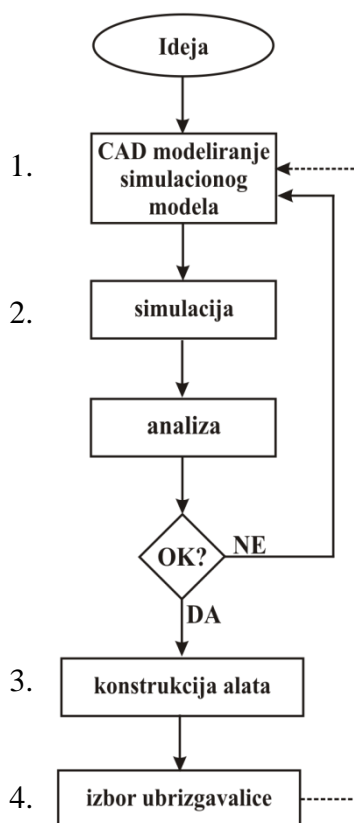
Za razliku od ekspertnih sistema danas postoji određeni broj komercijalnih CAD i CAD/CAM programskih sistema sa ugrađenim modulima za projektovanje i izradu alata, kao i relativno manji broj CAE sistema namenjenih za simulaciju injekcionog presovanja. U tabeli 3.1 su prikazani neki od najzastupljenijih CA_x sistema iz oblasti projektovanja proizvoda, alata i simulacije injekcionog presovanja.

CAD	CAD/CAM	CAM	CAE
Pro/ENGINEER CATIA Solidworks Unigraphics I-DEAS Cimatron AutoDesk (Auto CAD , Inventor) Top Solid Siemens NX	Pro/ENGINEER CATIA Solidworks Unigraphics Cimatron AutoDesk Siemens NX	SurfCAM Vericut MasterCAM EdgeCAM DellCAM NX	AutoDesk Moldflow PTC Pro/PLASTIC ADVISOR MoldFlow (MPA, MPI) SIGMASOFT Moldex 3D CadMouldPro P&C Flow analysis POLYCOOL MOULDCOOL

Tabela 3.1. CAD, CAM i CAE univerzalni programski sistemi za projektovanje proizvoda, alata, tehnologije injekcionog presovanja i izradu alata

Za razliku od savremenih ekspertnih sistema (poglavlje 1.2), savremeni univerzalni programski sistemi i ako imaju specijalizovane module za automatizovano modeliranje alata, simulaciju injekcionog presovanja, programiranje EDM i CNC mašina nisu namenjeni za automatizovani izbor sklopova/elementa alata, ubrizgavalica i sl. Savremeni univerzalni programski sistemi su integrisani sa BP proizvođača standardnih alata, ubrizgavalica i sl., ali time se ne rešava problem izbora elementa alata, materijala, ubrizgavalica i sl.

Na slici 3.2 prikazuje se opšti model sistema za projektovanje plastičnih proizvoda [36, 72, 79]. U cilju sveobuhvatnijeg opisa SIP-a, u odnosu na predhodno istraživanje nameće se potreba za automatizacijom izbora ubrizgavalice.



Slika 3.2. Opšti model sistema za projektovanje plastičnih proizvoda

Na osnovu opšteg modela sistema za projektovanje plastičnih proizvoda definiše se model modularnog sistema za projektovanje alata za injeksiono presovanje plastike (poglavlje 5.1. i 5.2). Modularni sistem treba da bude ekspertni sistem. Proces projektovanja plastičnih proizvoda na osnovu opšteg modela sistema za projektovanje plastičnog proizvoda (slika 3.2) sadrži četiri faze [10, 21, 27, 47, 90]:

1. Modeliranje proizvoda;
2. Numerička simulacija injeksionog presovanja;
3. Konstrukcija alata i
4. Izbor ubrizgavalice.

Za svaku fazu projektovanja plastičnog proizvoda, neophodno je odabrati univerzalne programske sisteme neophodne za razvoj modularnog sistema.

3.1.1. Sistemi za modeliranje proizvoda

Modeliranje proizvoda se vrši objektno-orijentisanim tehnikama modeliranja koje su u suštini slične za većinu CAD i CAD/CAM programskih sistema. Razlog tome je to što su CAD moduli najbolje proučeni i razvijeni u odnosu na ostale CAx module.

3.1.2 Sistemi za numeričku simulaciju injeksionog presovanja

Pomoću CAE sistema, koji su uglavnom bazirani na metodi konačnih elemenata, vrši se analiza tehnologije injeksionog presovanja, što se odnosi na simulaciju popunjavanja alatne šupljine različitim plastičnim materijalima, procesa hlađenja, skupljanja, i dr. Ovim se otklanjaju nedostaci kao što su mesta nagomilavanja materijala, suviše tanki zidovi, problemi u tečenju materijala, zaostali gasovi, itd., čime se značajno smanjuje škart.

CAE sistemi za simulaciju injeksionog presovanja mogu se koristiti kao podrška sistemima za projektovanje alata. Među poznatijim CAE sistemima za simulaciju ubrizgavanja i hlađenja su: MOULDFLOW kompanije Mouldflow sada kompanije Autodesk; FLOW ANALYSIS kompanije Plastics & Computer Inc.; CFLOW kompanije Advanced CAE Technology Inc.; POLYCOOL kompanije Structural Dynamics Research Corporation; MOULDCOOL kompanije Application Engineering i MOLDEX 3D kompanije CoreTech.

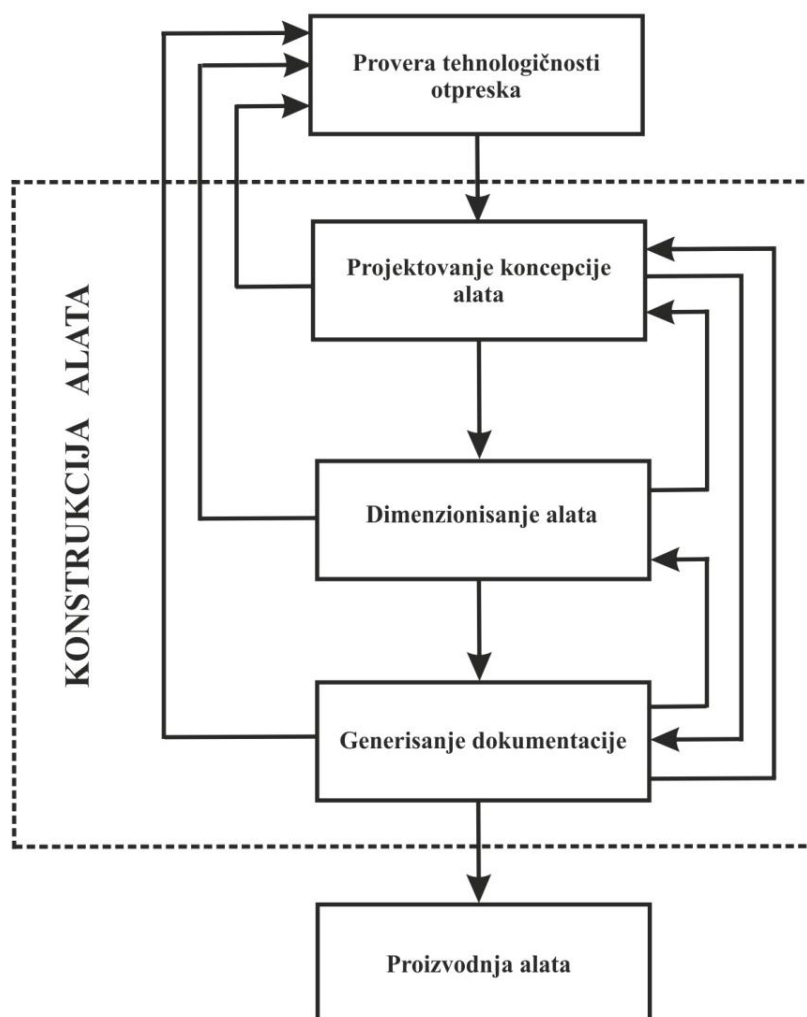
Optimizacija parametara injeksionog presovanja kod ovakvih sistema se zasniva na iterativnom postupku odnosno na metodi „Probaj i pogreši”.

CAE programski sistemi su namenjeni za analizu geometrijskih karakteristika simulacionog modela s obzirom na postavljene parametre injeksionog presovanja. Neki CAE sistemi kao što su MPI i MPA za pojedine plastične mase za injeksiono presovanje nude interval parametra injeksionog presovanja, kao što su pritisak ubrizgavanja, temperatura rastopa, temperatura kokila alata, itd. Ovim se omogućava potpuno popunjavanje alatne šupljine, ujednačeno hlađenje otpresaka, ravnomeran tok rastopa, otklanjanje zaostataka vazduha, smanjenje unutrašnjih napona i sl. [184, 198]

Ovi sistemi služe za proveru podobnosti proizvoda za injeksiono presovanje. Kao takvi služe kao smernice za eventualne rekonstrukcije simulacionog modela (dodavanje radijusa, nagiba, konusa, izbor pogodnijeg plastičnog materijala, izbor parametara injeksionog presovanja, a kasnije i za konstrukciju alata. BP za plastične materijale sadrži 8000 plastičnih materijala. Lako i brzo se može proširiti novim materijalima a postupak rada u ovom modulu dobro je poznat domaćoj industriji [18, 47, 89].

3.1.3. Sistemi za konstrukciju alata

Projektovanju alata za injeksiono presovanje plastike se pristupa nakon što je proizvod, odnosno simulacioni model u potpunosti definisan. Osnovne faze konstrukcije alata prikazuju se na slici 3.3 [29].



Slika 3.3. Osnovne faze konstrukcije alata za injeksiono presovanje plastike [29]

Modeliranje alata (slika 3.3) se najčešće vrši u nekom od komercijalnih CAD ili CAD/CAM sistema. Sistemi sa BP standardnih elemenata alata značajno utiču na racionalizaciju konstrukcije alata. Kao primer mogu se navesti sistemi u okviru programskog sistema Pro/E: Expert Moldbase Extension (EMX) ili Pro/MOLD DESIGN, razvijeni sa namerom da inženjerima pruži podršku u naprednom modeliranju alata za injeksiono presovanje plastike. Na ovaj način projektovanje alata se svodi na sklapanje izabranih standardnih elemenata alata. Analogno PTC modulima za modeliranje alata (EMX, Pro/MOLD DESIGN i Pro/CASTING) su moduli programskog sistema CATIA (Mold Tooling Design, Core&Cavity Design), programskog sistema Solid Works (Mold Design i Split Works) i modul programskog sistema NX (Mold Wizard).

Na osnovu prethodno navedenih programskih sistema, autor se opredelio za programski sistem Pro/E iz sledećih razloga:

- FTN poseduje najveći broj licenci u odnosu na druge konkurentne sisteme;
- Pro/E sadrži Pro/Plastic Advisor za simulaciju injekcionog presovanja;
- Sadrži kompletne BP upotrebljive u Mold Library, EMX i EFX za razliku od ostalih konkurentskih sistema;
- Koristi se intenzivno u domaćoj privredi i
- Prethodna verzija modularnog sistema zasniva se na ovom programskom sistemu [82].

3.1.4. Sistemi za izbor ubrizgavalice

CAX programski sistemi opšte namene (univerzalni programski sistemi) poseduju BP za ubrizgavalice, ali način izbora ubrizgavalice zavisi u potpunosti od znanja i umešnosti projektanta. Automatizovani izbor ubrizgavalice se rešava gradnjom specijalističkih ekspertnih modula koji se integrišu u sisteme opšte namene.

4. ANALIZA KONSTRUKCIJE ALATA I UBRIZGAVALICA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE

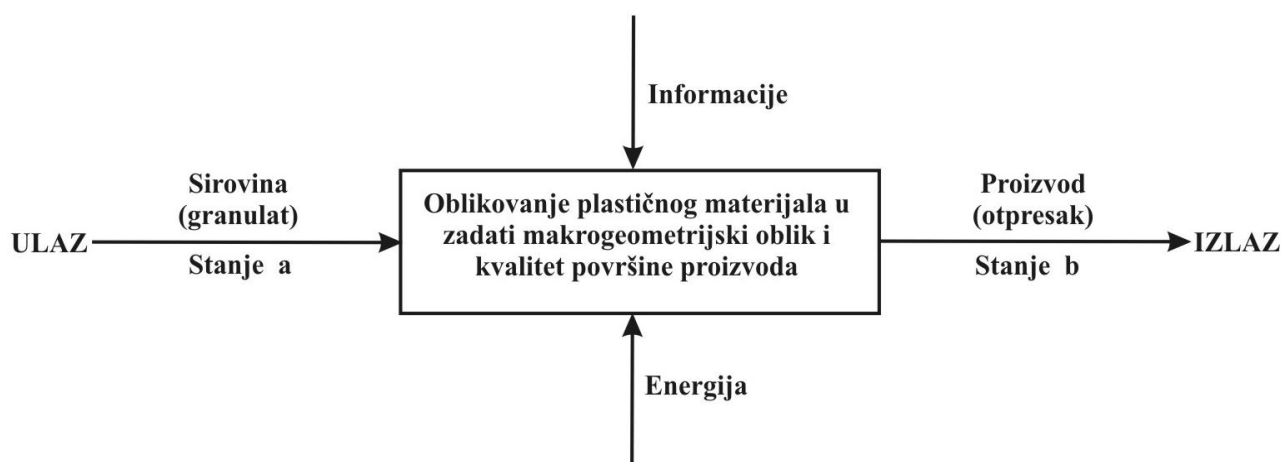
4.1. ALAT KAO OSNOVNA OPREMA SIP-A

Sistem za injekciono presovanje (SIP), se sastoji od osnovne i dodatne opreme. Osnovna oprema predstavlja tehnološki nužnu opremu za izvođenje procesa injekcionog presovanja. Osnovnu opremu čine ubrizgavalica, alat i uređaj za temperiranje, dok dodatnu opremu čine uređaji za manipulaciju materijala odnosno granulata, manipulaciju otpresaka, itd. Dodatna oprema služi za poboljšanje toka proizvodnog procesa. [28, 95].

Alat je središnji, specifični i vitalni element SIP-a. Alat predstavlja namenski proizvod za izradu jednog ili više proizvoda [10, 27, 28, 107]. U SIP-u sva ostala oprema je podređena nesmetanom radu alata. Specifičnost alata moguće je opisati činjenicom da se jednim alatom izrađuje po pravilu samo jedna vrsta otpreska. U tom slučaju zadani otpresak je moguće izraditi pomoću više tipova ubrizgavalica, ali samo u jednom alatu. Iz specifičnosti alata proizilazi i njegova vitalnost. Naime, pri otkazu funkcije ubrizgavalice ili uređaja za temperiranje, moguće je koristiti odgovarajuće zamene, te je SIP u kratkom zastoju. Međutim, ako dođe do kvara na alatu, SIP je izvan funkcije do trenutka popravke alata. Takvo stanje je moguće sprečiti izradom više istih alata, što je vrlo retko u praksi.

4.1.1. Osnovni elementi i uloga alata

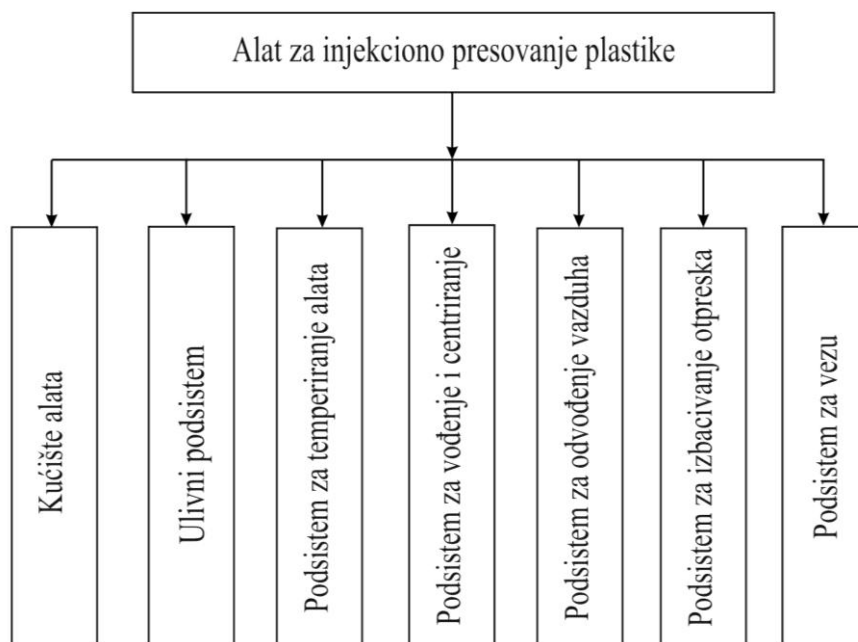
Alat za injekciono presovanje plastike predstavlja složen funkcionalni sklop. Njegova visoka složenost omogućava jednostavan opis ukupne njegove funkcije. Njegova ukupna funkcija predstavlja oblikovanje sirovine u zadani makrogeometrijski oblik (otpresak) određenih osobina i kvaliteta površine. Ova ukupna funkcija može se opisati pomoću crne kutije (slika 4.1), pri čemu se dolazi do apstraktne formulacije alata za injekciono presovanje plastike. Ispunjavanje ove funkcije predstavlja osnovni zadatak alata. Kvalitet otpreska direktno zavisi od alata, posebno od alatne šupljine, odnosno kokila [10, 28]. Slika 4.1 prikazuje apstraktnu formulaciju alata za injekciono presovanje plastike.



Slika 4.1. Apstraktna formulacija alata za injeksiono presovanje plastike [10, 28]

Slika 4.1 prikazuje da pri ispunjavanju ukupne funkcije alata, granulat na ulazu (a) uz dovođenje energije i informacija prevodi u proizvod (otpresak) na izlazu (b). Međutim, takva definicija ukupne funkcije alata ne opisuje sve funkcije alata. Zato je neophodno da se ukupna funkcija alata rasčlani na parcijalne funkcije. Parcijalne funkcije moraju biti dovoljno niskog stepena složenosti kako bi se za njihovo ispunjenje mogla definisati odgovarajuća konstrukciona rešenja. [10, 28, 29].

Svaki alat se može rasčlaniti na podsisteme (slika 4.2) i njima odgovarajuće osnovne parcijalne funkcije (tabela 4.1) neophodne za njegovo funkcionisanje.



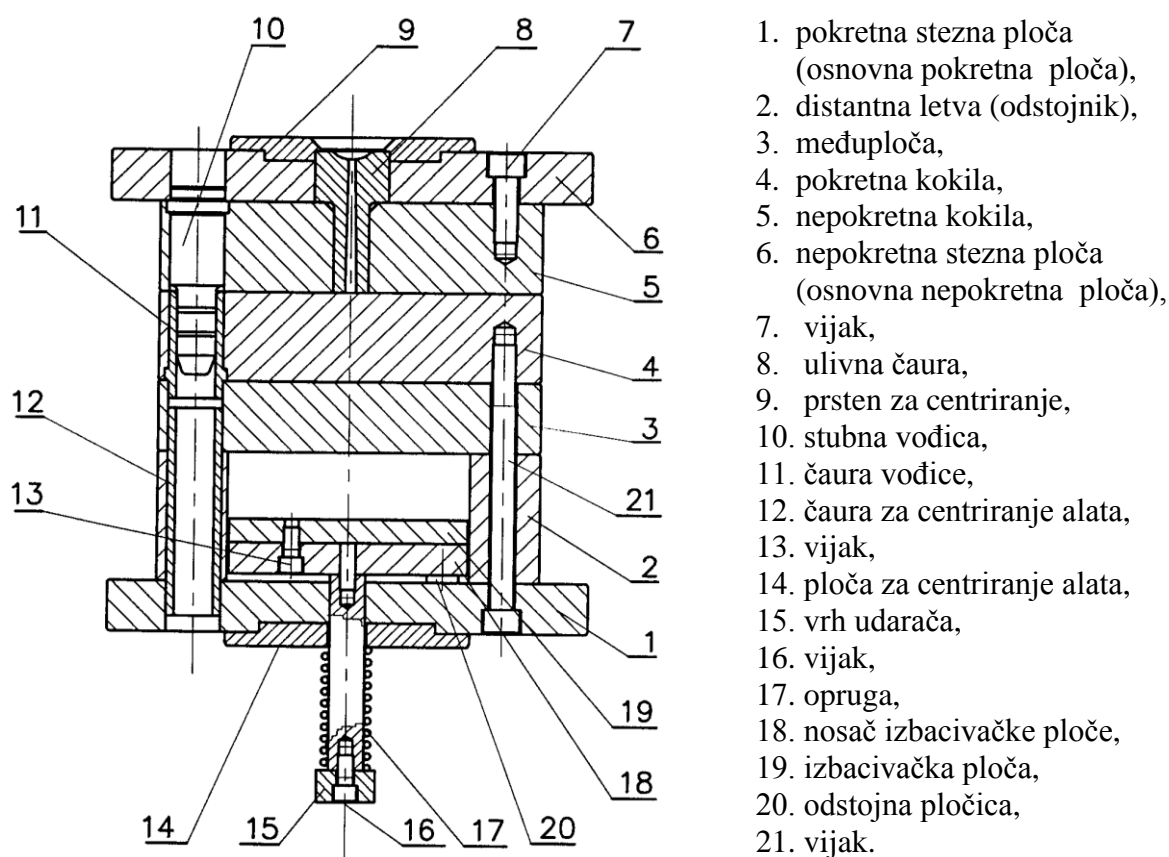
Slika 4.2. Podsistemi alata za injeksiono presovanje plastike

Parcijalne funkcije alata	Podsistemi alata
Deljenje i oblikovanje plastičnog rastopa, i prihvat i prenos sila	Kućište alata, alatna šupljina, ulivni podsistem alata
Održavanje temperaturnog polja u alatu	Podsistem za temperiranje alata
Vođenje i centriranje elemenata alata	Podsistem za vođenje i centriranje
Odvođenje vazduha iz alatne šupljine	Podsistem za odvođenje vazduha
Izbacivanje otpreska	Podsistem za izbacivanje otpreska
Povezivanje elemenata alata	Podsistem za vezu

Tabela 4.1. Parcijalne funkcije alata za injeksiono presovanje plastike

U procesu projektovanja alata, teži se ispunjavanju što većeg broja funkcija alata, uz što manji broj elemenata koji ga čine. Pri tome, kada je moguće koriste se standardni elementi alata.

Na slici 4.2 dat je opšti prikaz jednog standardnog alata normalne izvedbe sa prikazom osnovnih standardnih elemenata, proizvođača D-M-E pre obrade alatne šupljine, ulivnih kanala, razvodnih kanala, dovodnih kanala, kanala za temperiranje i sl.



Slika 4.2. Alat za injeksiono presovanje plastike normalne izvedbe [74, 84]

Alatna šupljina⁶ se definiše kao prostor koga zatvaraju kokile. Oblik alatne šupljine je identičan obliku otpreska, a dimenzije su joj uvećane zbog skupljanja plastičnog materijala koji se prerađuje. Ona predstavlja „negativ“ otpreska uvećan za koeficijent skupljanja termoplasta. Konstruisanje alatne šupljine koja je izdvojena podelom zavisi od komplikovanosti oblika. Prema broju podelnih ravni alatne šupljine mogu biti sa jednom, dve i više podelnih ravni.

Prema obliku otpreska imamo alatne šupljine za:

- jednostavne oblike,
- složene oblike,
- otpreske sa metalnim ulošcima,
- otpreske sa spoljašnjim navojem,
- otpreske sa unutrašnjim navojem i
- otpreske sa navojima sa obe strane.

Prema broju alatnih šupljina, kokile mogu biti:

- sa jednom alatnom šupljinom i
- sa više alatnih šupljina.

4.1.1.1. Kućište alata

Predstavlja osnovu alata. Kućište alata se sastoji od alatnih ploča. Kokile sadrže alatnu šupljinu⁶ neophodnu za formiranje oblika i dimenzija otpreska.

4.1.1.2. Podsystem za temperiranje alata

Temperiranje se vrši prinudnom cirkulacijom vode, vazduha ili ulja. Obično je dovoljno da se temperira samo jedna polovina kokile, a neki put je potrebno temperirati i drugu polovinu. Vrlo često se temperiranje vrši mešavinom vode i etilglikola. Intenzitet temperiranja kod alata može se regulisati protokom i temperaturom sredstva za temperiranje [95].

4.1.1.3. Podsystem za vođenje i centriranje elemenata alata

Podsystem za vođenje i centriranje elemenata alata služi da obezbedi pravilno pozicioniranje i vođenje elemenata alata, od čega u značajnoj meri zavisi pravilno funkcionisanje alata, kvalitet otpreska, vek alata, itd. U disertaciji, posebna pažnja se posvećuje izboru elemenata ovog podsystema.

4.1.1.4. Ulivni podsystem alata

Ulivni podsystem služi za dovod rastopljenog materijala iz radnog cilindra ubrizgavalice preko mlaznice do alatne šupljine koja oblikuje otpresak. Sastoji se od dovodnog kanala, razvodnog kanala i ulaznih (ulivnih) kanala.

Dovodni kanal se obično formira u ulivnoj čauri. Dovodni kanal mora biti tačno u osi mlaznice ubrizgavalice [95].

Alatna šupljina⁶ se naknadno modelira (modul 4), nakon izbora elemenata kućišta alata³), tako da se u disertaciji posmatra kao posebna celina.

4.1.1.5. Podsystem za izbacivanje otpreska

Ima zadatak da izbaci otpresak sa ili bez ulivnog podsystema. Postoje različiti podsystemi za izbacivanje otpreska, mada se najčešće primenjuju mehanički. Izvršni organi su izbacivači a pokreću se preko izbacivačke ploče. U poslednje vreme primenu nalaze i podsystemi za izbacivanje pomoću komprimovanog vazduha. Pri izboru izbacivačkog podsystema treba voditi računa da isti ne sme stvarati tragove na otpresku, ili da ih stvaraju na mestima koje ne narušavaju estetski izgled proizvoda.

4.1.2. Sistematizacija i grupisanje alata

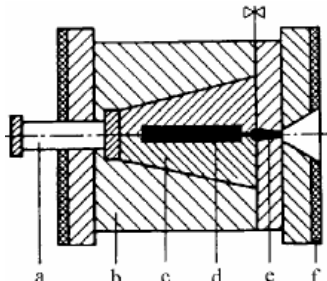
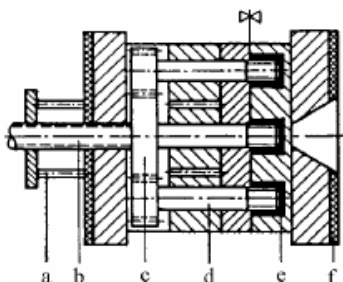
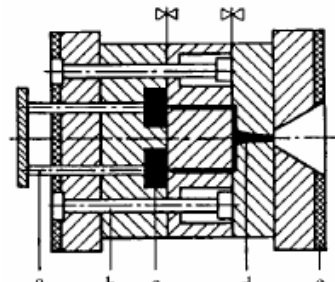
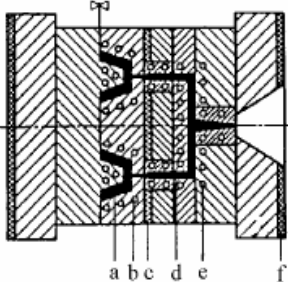
Osnovni kriterijumi za grupisanje alata za injekciono presovanje plastike u određene grupe su:

- Vrsta plastičnog materijala,
- Vrsta kućišta alata (pravougaono ili kružno),
- Vrsta ulivnog podsystema,
- Vrsta podsystema za izbacivanje otpreska iz alata,
- Broj alatnih šupljina,
- Broj podeonih ravni,
- Veličina alata, itd.

Uzimajući u obzir vrstu ulivnog podsystema i vrstu podsystema za izbacivanje otpreska, u tabeli 4.2 prikazana je sistematizacija alata za injekciono presovanje plastike u devet osnovnih grupa.

NAZIV GRUPE ALATA	ŠEMATSKI PRIKAZ	OPIS	KARAKTERISTIKE OTPRESAKA
NORMALNI ALAT	<p>a - pokretna stezna ploča b - podsystem za izbacivanje otpreska c - alatna šupljina d - ulivni podsystem e - nepokretna stezna ploča f - izolaciona ploča</p>	Alat ima najjednostavniju konstrukciju sa dve polovine, odnosno jednom podeonom ravni. Pravac otvaranja alata je jednosmeran, dok se izbacivanje otpresaka vrši gravitacijski ili pomoću izbacivača.	Otpresci svih oblika bez useka.
ALAT SA BOČNIM OTVARANJEM	<p>a - podsystem za izbacivanje otpreska b - podsystem za postrano otvaranje alata otpreska c - alatna šupljina d - klizač e - ulivni podsystem f - izolaciona ploča</p>	Konstrukcija ove grupe alata je dosta slična normalnim alatima uz upotrebu klizača (jezgra) koji se izvlače pomoću posebnih mehanizama (kosih vodica, hidraličnih cilindara, itd.).	Pljosnati otpresci sa usecima spolja i iznutra, i/ili sa spoljašnjim navojem.

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

<p>ŠKOLJKASTI ALAT</p>	 <ul style="list-style-type: none"> a - podsistem za izbacivanje otpreska b - vodeća ploča školjke c - školjka d - alatna šupljina e - ulivni podsistem f - izolaciona ploča 	<p>Konstrukcija slična normalnom alatu uz postojanje školjke radi mogućnosti izbacivanja otpresaka sa spoljašnjim usecima i/ili navojima.</p>	<p>Dugi i široki otpresci sa spoljašnjim usecima i/ili navojima.</p>
<p>ALAT SA ODVRTANJEM</p>	 <ul style="list-style-type: none"> a - podsistem za izbacivanje otpreska b - navojno vreteno c - zupčanici d - jezgro e - alatna šupljina f - izolaciona ploča 	<p>Konstrukciono rešenje kod koga se odvrtnje navojnog jezgra ili vretena vrši pomoću mehaničkih prenosnika.</p>	<p>Otpresci sa unutrašnjim i/ili spoljašnjim navojima.</p>
<p>ALAT SA OTKIDANJEM ULIVNOG PODSISTEMA</p>	 <ul style="list-style-type: none"> a - podsistem za izbacivanje otpreska b - povratnik c - alatna šupljina d - ulivni podsistem e - izolaciona ploča 	<p>Grupa alata sa dve podeone ravni. Kretanje međuploče pomoću povlačne kotve, pri čemu se otvaranje alata odvija u dve faze.</p>	<p>Otpresci sa automatskim odvajanjem ulivnog podsistema.</p>
<p>ALAT SA TOPLIM ULIVNIM PODSISTEOM</p>	 <ul style="list-style-type: none"> a - alatna šupljina b - podsistem za temperiranje alatne šupljine c - izolaciona ploča d - ulivni podsistem e - podsistem za temperiranje ulivnog podsistema f - izolaciona ploča 	<p>Grupa alata sa dve podeone ravni. Veći presek ulivnog podsistema koji se temperira zbog sprečavanja očvršćavanja. Potrebna je izolacija između vrućeg i hladnog dela alata.</p>	<p>Otpresci svih oblika, povećanog obima sa većim obimom ulivnog podsistema.</p>

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

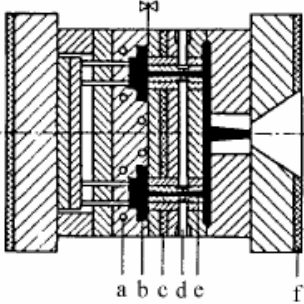
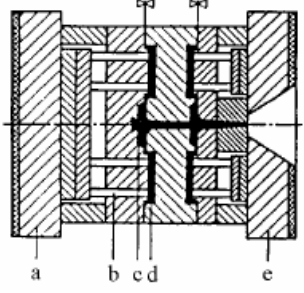
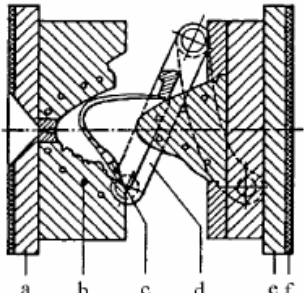
<p>ALAT SA TOPLIM RAZVODNIM KANALIMA</p>	 <p> a - podsistem za temperiranje alatne šupljine b - alatna šupljina c - izolaciona ploča d - podsistem za temperiranje razvodnih kanala e - razvodnik f - izolaciona ploča </p>	<p>Grupa alata sa dve podeone ravni. Razvodni kanali se temperiraju vodom zbog sprečavanja naglog očvršćavanja. Vršni se izolacija između vrućeg i hladnog dela alata.</p>	<p>Otpresci svih oblika, povećanog obima sa većim obimom ulivnog podsistema.</p>
<p>ETAŽNI ALAT</p>	 <p> a - pokretna stezna ploča b - podsistem za izbacivanje otpreska c - ulivni podsistem d - alatna šupljina e - nepomična stezna ploča f - izolaciona ploča </p>	<p>Alat sa dve ili više podeonih ravni. Otvaranje alata se odvija u dve ili više faza u istom smeru. Izbacivanje otpresaka se izvodi pomoću standardnih ili pločastih izbacivača.</p>	<p>Jednostavni pločasti otpresci relativno malog obima.</p>
<p>SPECIJALNI ALAT</p>	 <p> a - nepomična stezna ploča b - podsistem za izbacivanje alata c - izolaciona ploča d - podsistem za temperiranje razvodnih kanala e - razvodnik f - izolaciona ploča </p>	<p>Kombinacija konstrukcije prethodnih grupa i/ili posebne konstrukcije za otpreske sa posebnim zahtevima kod kojih nije moguće primeniti niti jedno od navedenih rešenja.</p>	<p>Otpresci posebne konstrukcije i posebnih zahteva.</p>

Tabela 4.2. Sistematizacija alata za injekciono presovanje plastike [28]

Alat kao složeni funkcionalni sklop mora obezbediti ekonomičnu i stabilnu proizvodnju proizvoda određenog kvaliteta. Široka primena plastičnih proizvoda zahteva sistematizaciju alata, i razvoj ekspertnih sistema za njihovo projektovanje (poglavlje 1.2).

NAZIV GRUPE ALATA	PROCENA PRIMENE MODULA MODULARNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE ALATA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE			
	MODUL ZA MODELIRANJE PROIZVODA I ALATA (MODUL 1)	MODUL ZA NUMERIČKU SIMULACIJU INJEKCIONOG PRESOVANJA (MODUL 2)	MODUL ZA PRORAČUNI IZBOR ALATA (MODUL 3)	MODUL ZA ZAVRŠNO MODELIRANJE ALATA (MODUL 4)
NORMALNI ALAT	1	1	1	1
ALAT SA BOČNIM OTVARANJEM	1	1	2	1
ŠKOLJKASTI ALAT	1	1	2	1
ALAT SA ODVRTANJEM	1	1	2	1
ALAT SA OTKIDANJEM ULIVNOG PODSISTEMA	1	1	2	1
ALAT SA TOPLIM ULIVNIM PODSISTEMOM	1	2	2	1
ALAT SA TOPLIM RAZVODNIM KANALIMA	1	2	2	1
ETAŽNI ALAT	1	1	2	1
SPECIJALNI ALAT	1	2	2, 3	1

1-Primenljivo
 2-Delimično primenljivo;
 3-Ne primenljivo.

Tabela 4.3. Procena mogućnosti primene modularnog sistema

Tabela 4.3 prikazuje mogućnost primene modularnog sistema na svih devet grupa alata. Modularni sistem je namenjen za projektovanje normalnih alata, čije su osnovne karakteristike da se sastoje od dve polovine alata, odnosno da imaju jednu podeonu ravan, i da se otvaraju u jednom smeru. Normalni alati spadaju u grupu najzastupljenijih alata i služe za izradu svih oblika otpresaka koji nemaju bočne useke. Ova grupa alata predstavlja najviše pokrivenu grupu alata od strane svetskih proizvođača standardnih elemenata alata. Najpoznatiji svetski proizvođači standardnih elemenata alata su:

- HASCO;
- D-M-E;
- Meusburger;
- Misumi;
- Strack i;
- Futaba.

Prethodno navedeni proizvođači poseduju svoje 3D elektronske kataloge sklopova i elemenata alata.

4.2. UBRIZGAVALICA KAO OSNOVNA OPREMA SIP-A

Element SIP-a u kojem se priprema rastop termoplasta za ubrizgavanje u alat, a koji se tokom ciklusa mora otvarati i zatvarati naziva se ubrizgavalicom. Ubrizgavalica ima ulogu da pripremi plastični materijal koji će se preradivati i da izvrši postupak ubrizgavanja. Svaka ubrizgavalica se sastoji od četiri jedinice [95]:

- jedinica za ubrizgavanje,
- jedinica za zatvaranje alata,
- pogonska jedinica i
- upravljačka jedinica.

Najčešće koriste tri vrste ubrizgavalica koje se razlikuju po načinu plastificiranja:

1. plastificiranje i ubrizgavanje klipom – klipna ubrizgavalica.
2. predplastificiranje pužnim vijkom, ubrizgavanje klipom – klipna ubrizgavalica sa predplastifikacijom,
3. predplastificiranje i ubrizgavanje pužnim vijkom– ubrizgavalica sa pužnim vijkom.

4.2.1. Jedinica za ubrizgavanje

Osnovni zadatak jedinice za ubrizgavanje je plastificiranje termoplasta i ubrizgavanje pod pritiskom u alat.

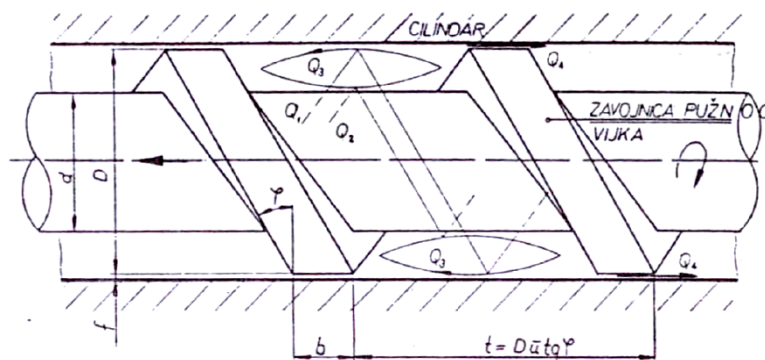
Dva osnovna elementa svake jedinice za ubrizgavanje jesu komora (cilindar) za topljenje i element za ubrizgavanje. Plastifikacija i ubrizgavanje može se vršiti pomoću klipa ili pužnog vijka. Jedinica za ubrizgavanje se klipom višestuko se manje koriste od jedinice za ubrizgavanje s pužnim vijkom [50, 95]:

Jedinice za ubrizgavanje sa pužnim vijkom imaju sledeće prednosti u odnosu na jedinice za ubrizgavanje sa klipom:

- bolja izmešanost rastopa termoplasta,
- smanjeno vreme zadržavanja pojedinih čestica rastopa u cilindru,
- veća sposobnost plastificiranja,
- manja toplotna opterećenost termoplasta,
- koristi se za injekciono presovanje otpresaka svih veličina,
- veći stepen iskorišćenja energije,
- potpuno odvojena faza plastificiranja od faze ubrizgavanja,
- kraće je zadržavanje materijala u cilindru od vremena zadržavanja u cilindru jedinice za ubrizgavanje sa klipom, tako da je moguća prerada termoplasta kao što su: PVC, poliacetati, celulozni acetati, i dr.,
- ravnomernije raspoređena brzina ubrizgavanja,
- manja buka i
- manji gabariti.

Osnova pužne plastifikacije je potpuno trodimenzionalno kretanje rastopa termoplasta u cilindru. Takvo kretanje svih delića termoplasta uslovljava rotacija puža. Glavno kretanja ima smer prema mlaznici cilindra a uzrok ovog kretanja je trenje koje stvara transportno dejstvo pužnog

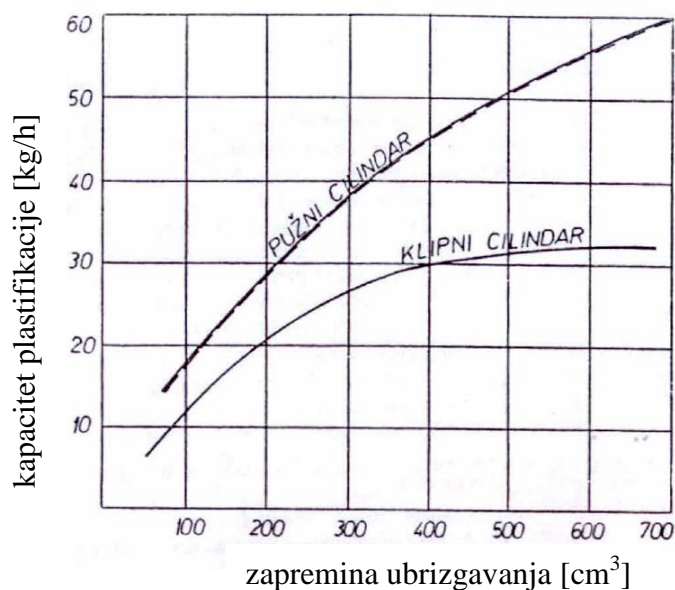
vijka. Povratno kretanje je posledica kompresije materijala u kompresionom delu pužnog vijka i pritiskoj komori. Komponente kretanja rezultuju jedan vrtložni, lepezasti oblik sličan elipsi. Takav uzvrloženi oblik pomiče se prosečno jednako prema napred tako da se svi delići rastopa kreću pod približno jednakim uslovima. Na slici 4.3 prikazuje se stisnuta elipsa koja predstavlja oblik trajektorije rezultujućeg protoka [95].



Slika 4.3. Šema kretanja delića rastopa u cilindru sa pužnim vijkom [95]

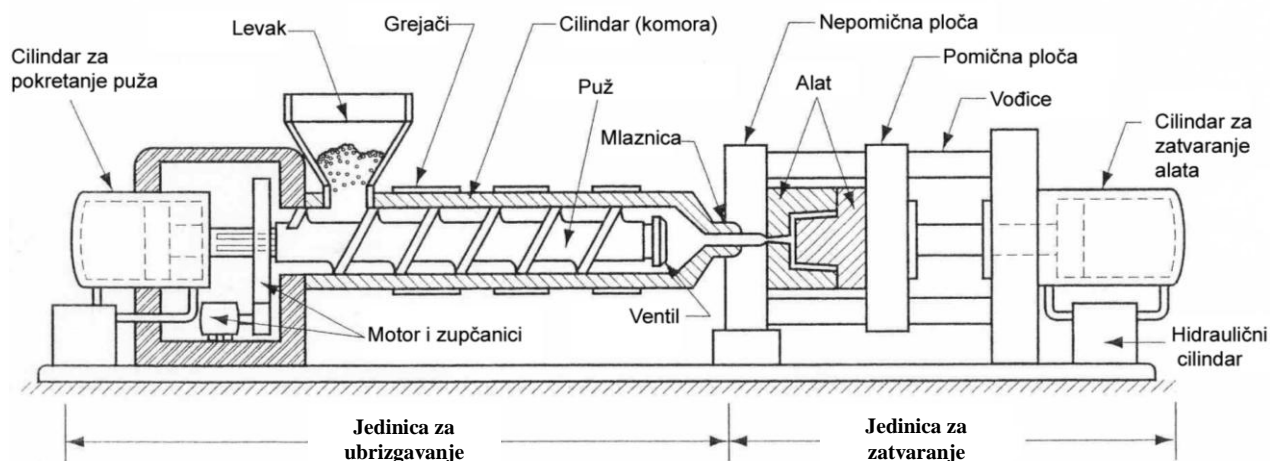
Osim jednakog protoka rastopa veoma je značajan i termički aspekt. Toplota dolazi u termoplast zagrevanjem spolja i trenjem čestica termoplasta usled intenzivnog mešanja. Mešanje čestica termoplasta vrši se pod visokim pritiskom pa je time proizvedena toplota velika. Pretvaranje mehaničke energije, odnosno energije rotacije u toplotnu energiju je vrlo intenzivno, a prouzrokuju ga pritisak pomicanja proizvedena oblikom i rotacijom pužnog vijka. Spolja dovedena toplota samo je deo ukupne energije predate rastopu termoplasta i nema glavnu ulogu kao kod klipnih jedinica za ubrizgavanje.

Kod cilindra sa pužnim vijkom potpuno su odvojene faza plastificiranja od faze ubrizgavanja. Takav sistem rada omogućava postizanje optimalnih uslova u svakoj fazi. Na slici 4.4 prikazuju se kapacitet plastifikacije za cilindar sa pužnim vijkom i cilindar sa klipom. Kod cilindra sa pužnim vijkom temperatura cilindra niža je od stvarne temperature rastopa jer se rastop plastificira usled toplote stvorene unutrašnjim trenjem granulata.



Slika 4.4. Kapacitet plastificiranja za pužni i klipni cilindar za PS [95]

Slika 4.5 prikazuje šematski prikaz ubrizgavalice sa pužnim vijkom i pripadajućim nazivima njenih sastavnih elemenata, sklopova i jedinica.

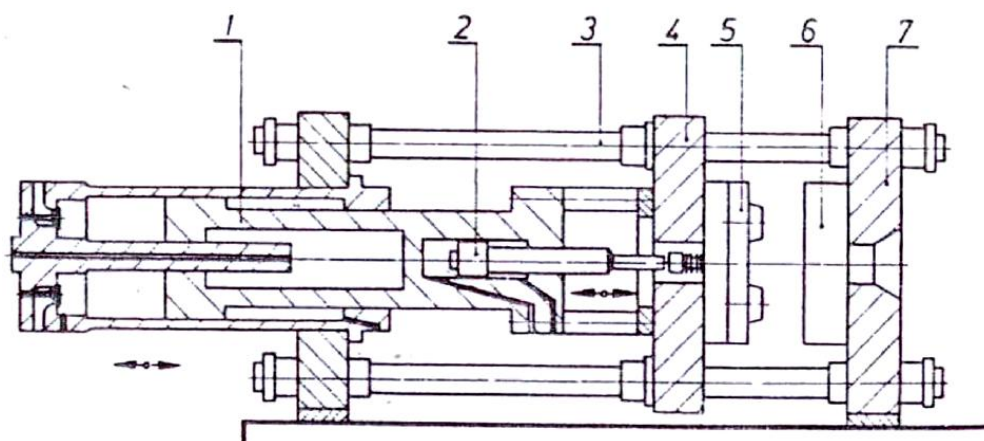


Slika 4.5. Šematski prikaz ubrizgavalice [95]

4.2.2. Jedinica za zatvaranje

Zadatak jedinice za zatvaranje je dovođenje u dodir nepomičnog i pomičnog podslopa alata, tj. zatvaranje alata, održavanje u dodiru elemenata alata za vreme ubrizgavanja i delovanja naknadnog pritiska i otvaranje alata.

Zatvaranje alata može se ostvariti direktno jednim ili sa više hidrauličkih cilindara (slika 4.6) ili mehaničkim sistemima.



Slika 4.6. Hidraulički sistem jedinice za zatvaranje alata [95]

Elementi hidrauličkog sistema za zatvaranje alata prikazanog na slici 4.6 su:

1. Hidraulički cilindar
2. Hidraulički izbijač
3. Vođica mašine
4. Pokretni nosač alata

5. Pokretni deo alata (pokretni podsklop alata)
6. Nepokretni deo alata (nepokretni podsklop alata) i
7. Nepokretni nosač alata.

Mehaničke sisteme za zatvaranje alata predstavljaju kolenaste poluge, čijim se kretanjem dobijenim od hidrauličkog cilindra vrši zatvaranje i otvaranje alata.

S obzirom da se u novije vreme na tržištu nude u najvećoj meri hidrauličke jedinice za zatvaranje alata, sila držanja alata u proračunu se smatra jednakom sa silom zatvaranja alata (F_z) [152, 154]. Sila držanja alata se razlikuje od sile zatvaranja alata kod mehaničkih jedinica za zatvaranje. Sila držanja (F_D) predstavlja zbir sila koje tokom ubrizgavanja deluju na vođicu i obavezno mora biti veća od sile uzgona. Sila zatvaranja je sila kojom se ostvaruje međusobni dodir nepokretnog i pokretnog dela alata. U katalozima u novije vreme merodavna je maksimalna sila zatvaranja mašine $F_{m\max}$, koja predstavlja neizostavan podatak [136, 152, 154]. S druge strane sila zatvaranja nezavisna je od deformabilnosti alata (C_k) dok sila držanja direktno zavisi od te veličine.

Prednosti hidrauličkih jedinica za zatvaranje [95]:

- brža i jednostavnija ugradnja alata,
- hod otvaranja alata se može lakše podesiti na potrebnu veličinu,
- mogu se ugrađivati alati različitih visina,
- veća sigurnost od prekoračenja dozvoljenih napona na vođicama ubrizgavalice,
- održavanje i popravke su jednostavnije.

Prednosti mehaničkih jedinica za zatvaranje [95]:

- lakše se obezbeđuje usporeno približavanje pokretnog prema nepokretnom podsklopu alata,
- ostvaruje se brže otvaranje i zatvaranje alata,
- jeftinije su od hidrauličkih, i
- manji gabariti prostora za ubrizgavalicu.

Obično kod manjih ubrizgavalica se koristi mehaničke a kod većih hidrauličke jedinice za zatvaranje alata [95].

4.2.3. Pogonske i upravljačke jedinice

Postoje veoma različita rešenja pogonskih i upravljačkih jedinica ubrizgavalica pa je veoma teško dati opšti pregled.

Pogonska jedinica obično je hidraulična i čini je elektromotor ili u nekim rešenjima dve krilne pumpe s mogućnošću regulacije protoka i pritiska ulja neposredno na pumpi. Primena ovakvih pumpi omogućava digitalno biranje svih radnih pritisaka i brzina kretanja u toku radnog ciklusa i njihovo prilagođavanje tehnološkim zahtevima. Potrebne sile ubrizgavanja i zatvaranja alata ostvaruju se pomoću hidrauličnih cilindara dok se primicanje i odmicanje kod jedinica za ubrizgavanje i zatvaranje obično vrši pomoćnim hidrauličkim cilindrima.

Primena računara za upravljanje radom ubrizgavalice postiže se nesmetan i precizan način vođenja i kontrole procesa u realnom vremenu.

Niz parametara kao što su temperatura cilindra, brzina kretanja, veličine pomaka i sile zatvaranja alata, upravljačka jedinica je u stanju da automatski predloži poslužiocu ubrizgavalice.

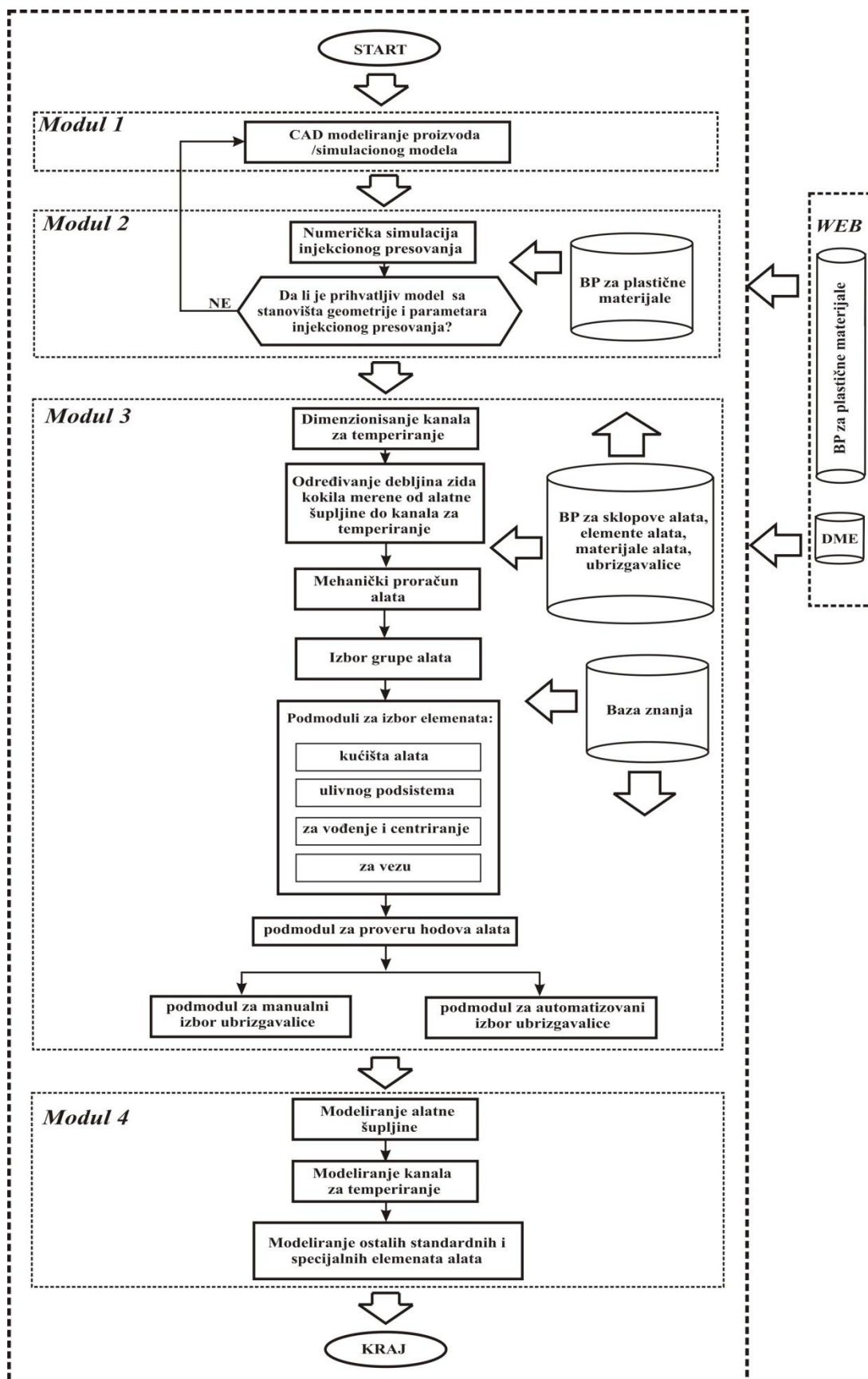
5. MODEL MODULARNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE ALATA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE

5.1. STRUKTURA MODULARNOG SISTEMA

Zbog raznovrsnosti proizvoda i nemogućnosti razvoja univerzalnog programskog sistema koji bi bio efikasan u projektovanju i planiranju velikog broja aktivnosti koji čine proces injekcionog presovanja, najčešće se pristupa razvoju specijalizovanih ekspertnih sistema za automatizovano projektovanje, primenom odgovarajućih programskih sistema opšte namene. Razvijeni programski sistemi namenjeni za automatizaciju projektovanja alata za injekciono presovanje plastike zasnivaju se na integraciji odgovarajućih CAx sistema, i uglavnom se sastoje iz više modula. Tako će se modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike zasnivati na integraciji CAD/CAE sistema. Kao polazna osnova za razvoj modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, postavljen je model odnosno algoritamska struktura sistema (slika 5.1). Moduli moraju da obezbede održiv razvoj modularnog sistema.

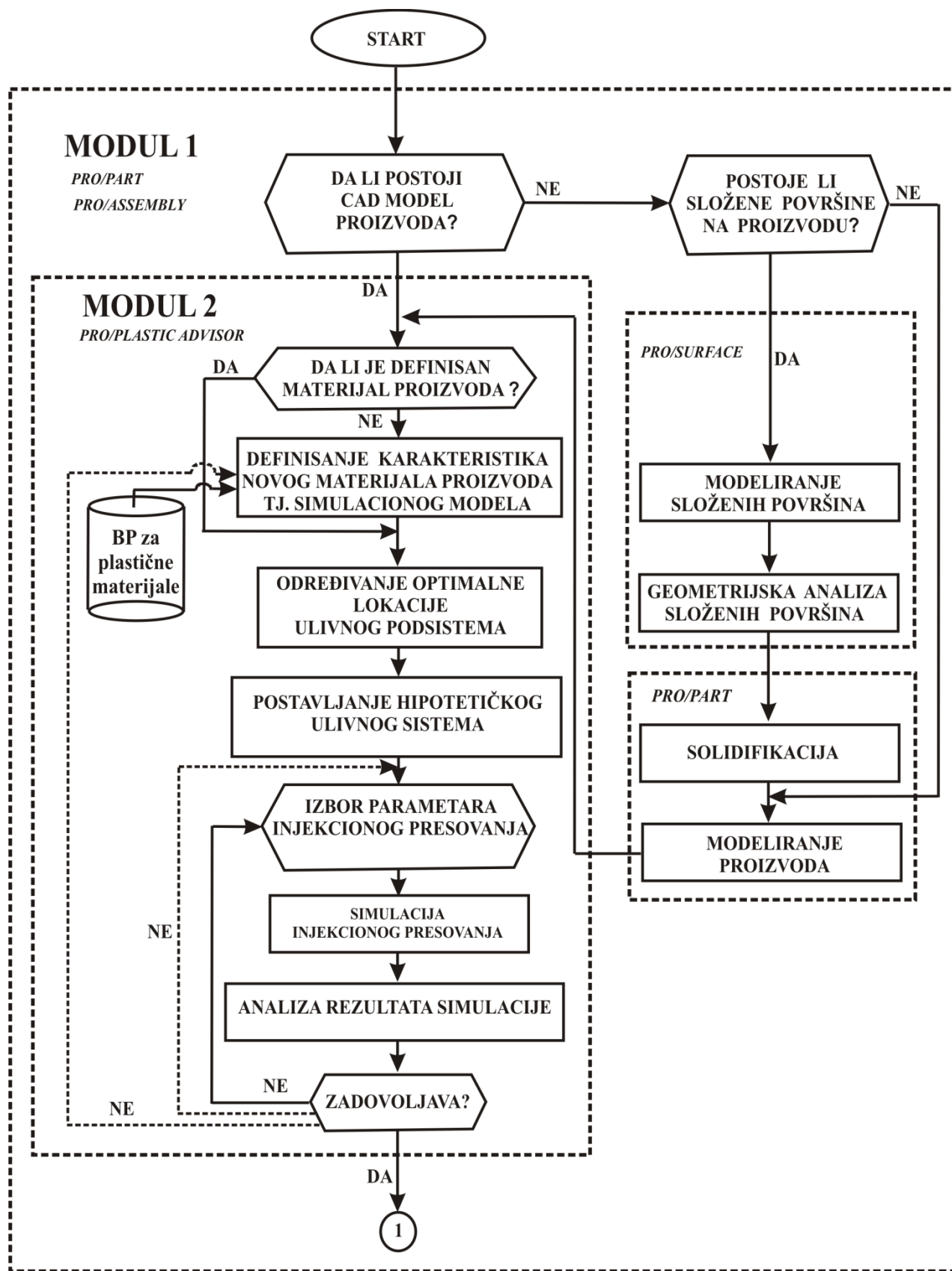
Predlažu se sledeći moduli za razvoj modularnog sistema:

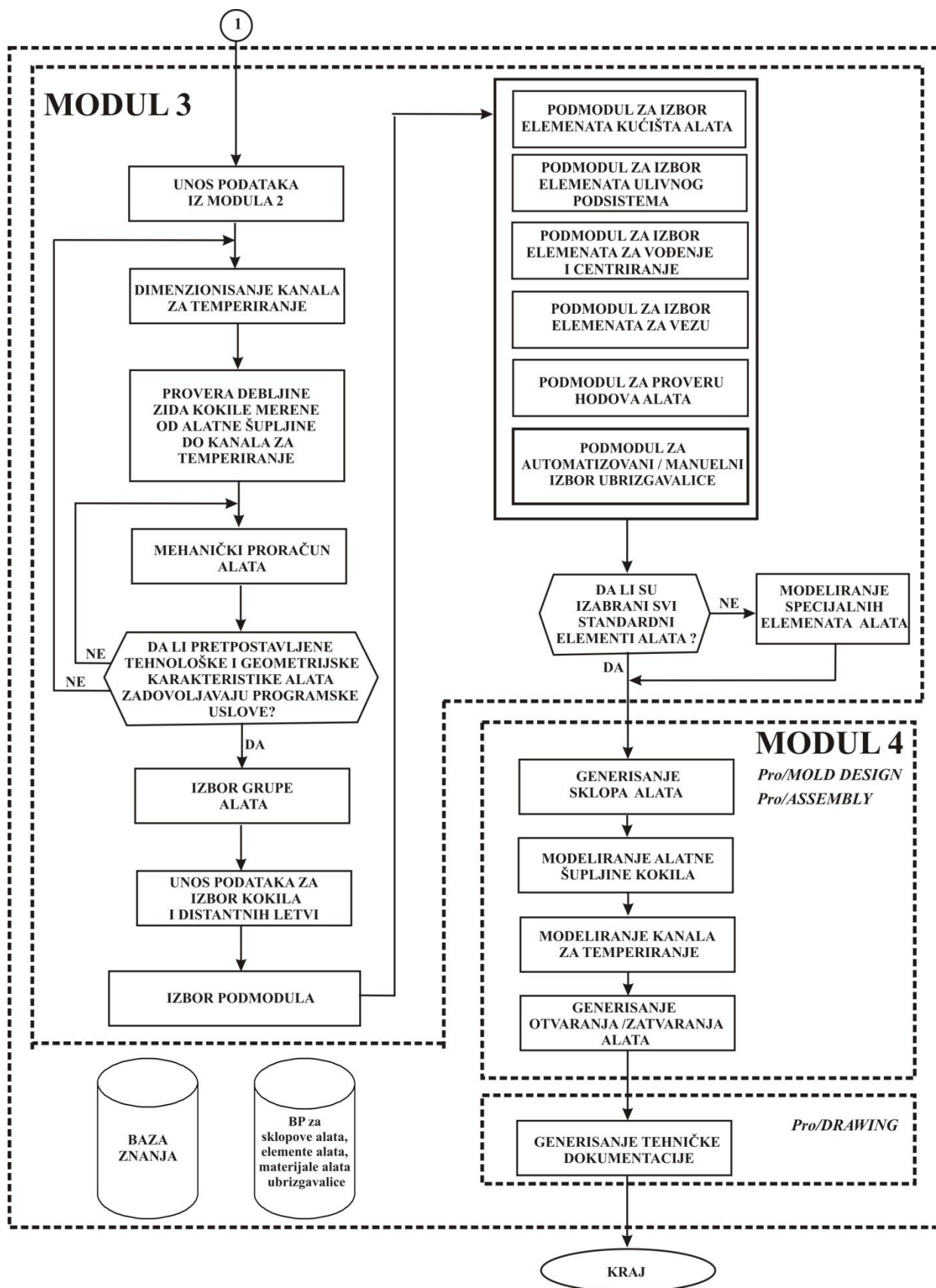
- 1. MODUL 1 (Modul za modeliranje proizvoda i alata);**
- 2. MODUL 2 (Modul za numeričku simulaciju injekcionog presovanja);**
- 3. MODUL 3 (Modul za proračun i izbor alata);**
 - 3.1. podmodul za izbor elemenata kućišta alata (alatnih ploča),*
 - 3.2. podmodul za izbor elemenata ulivnog podsistema,*
 - 3.3. podmodul za izbor elemenata za vođenje i centriranje,*
 - 3.4. podmodul za proveru hoda alata,*
 - 3.5. podmodul za izbor elemenata za vezu,*
 - 3.6. podmodul za izbor ubrizgavalice:*
 - 3.6.1. automatizovani (preporučeni) izbor,*
 - 3.6.2. manualni izbor.*
- 4. MODUL 4 (Modul za završno modeliranje alata).**



Slika 5.1. Model sistema za projektovanje alata za injkciono presovanje plastike

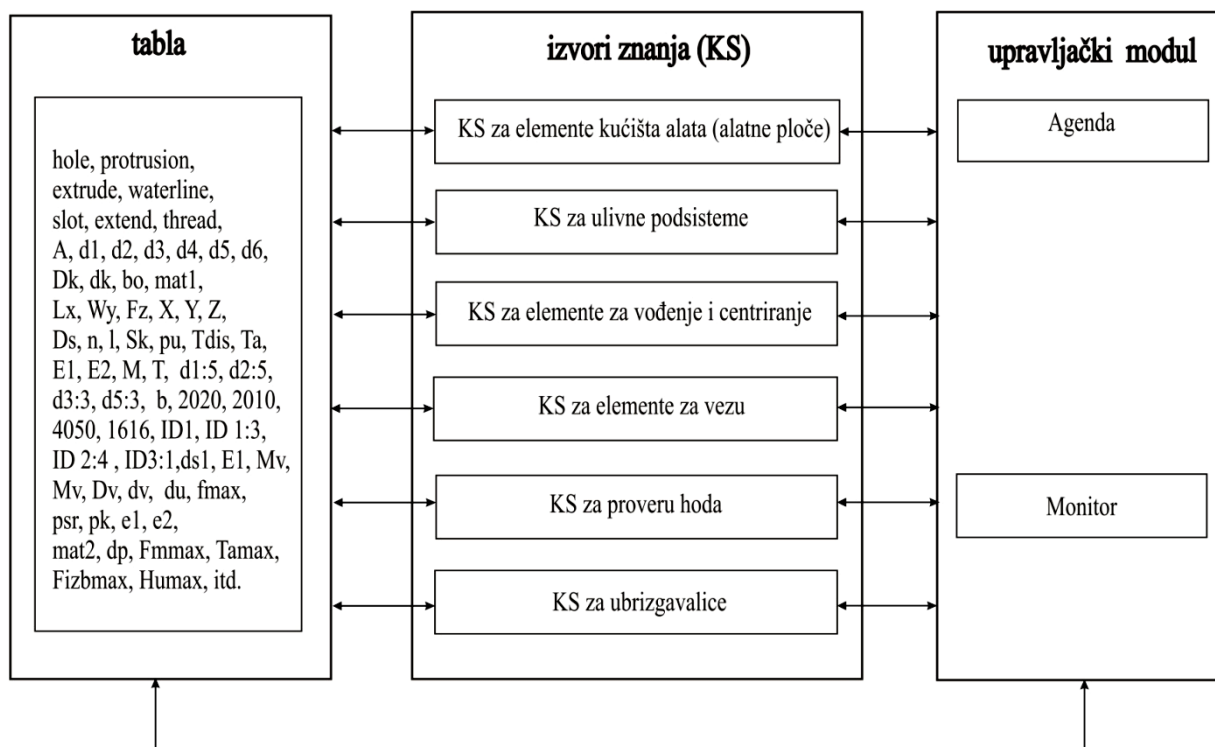
Slika 5.2 prikazuje tok aktivnosti i informacija u modularnom sistemu.





Slika 5.2. Algoritamska struktura modularnog sistema

Slika 5.3 prikazuje, arhitekturu modula 3, zasnovanu na BBA.



Slika 5.3. Arhitektura modula 3 za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

Na slici 5.3 prikazuje se nekolicina formalizovanih ulaznih, odnosno izlaznih informacija. Neke od operativnih informacija (geometrijskih i ne geometrijskih) nad prostorom znanja modularnog sistema su:

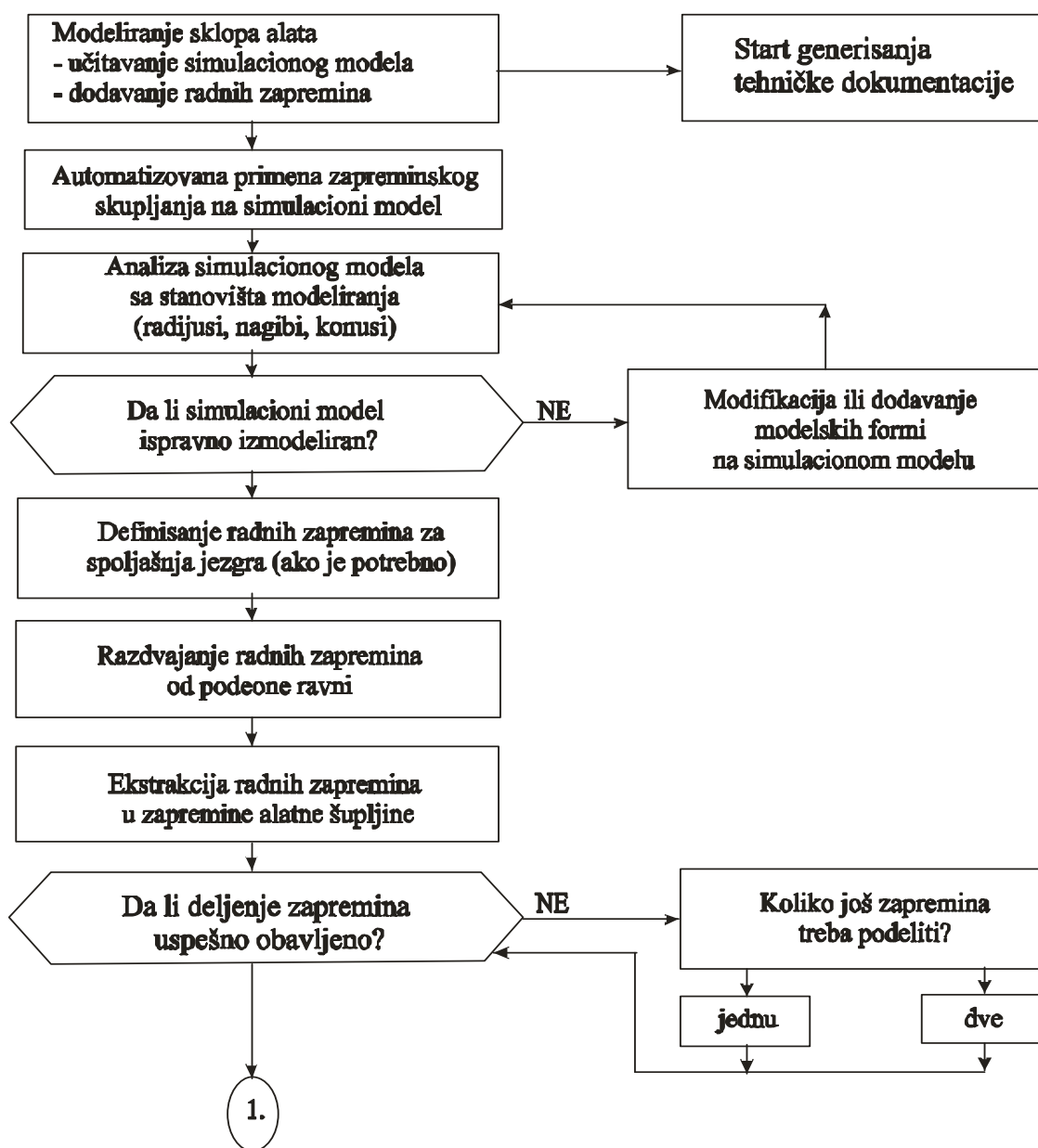
- ime modelske forme: (protrusion, extrude, hole, waterline, extend, split i dr.);
- ime UDF-a: (SBX, gl-osa1, M4-isto, vijak1, i dr.);
- broj modelske forme: (ID1, ID2, ID 2:1, ID2:2, ID2:4 i dr.);
- dimenzione karakteristike alatnih ploča: (d1, d2, d3, d4, d5, dk, A, Lx, Wy, Tdis, i dr.);
- dimenzione karakteristike elemenata za vođenje i centriranje: (E1k6, F1, A1, B1, F3, x2, y2, U2, L2tol, i dr.);
- pozicija (koordinate) modelske forme: (X,Y,Z, lo, l1, CS1, CSYS2 i sl.);
- atributivne karakteristike: (serija, 2020, 2010, 4050, 1616) i dr.;
- karakteristike materijala: (mat1, mat2, E1, E2, i dr.);
- dimenzione karakteristike vijaka: (Mvij, Dvij, dv, B i dr.);
- parametri za izbor ubrizgavalice: (pk, Ta, Tdis, e1, e2, Fizb, Fmax, Wx, Wy, i dr.);
- parametri ubrizgavalice: (H_{umax}, T_{Amax}, F_{izbmax}, JU, H_{max}, oznaka ARBURG, i dr.);
- relacije: (IF T(N10A)=36 THEN t2=t3=T(N10A)), i dr.).

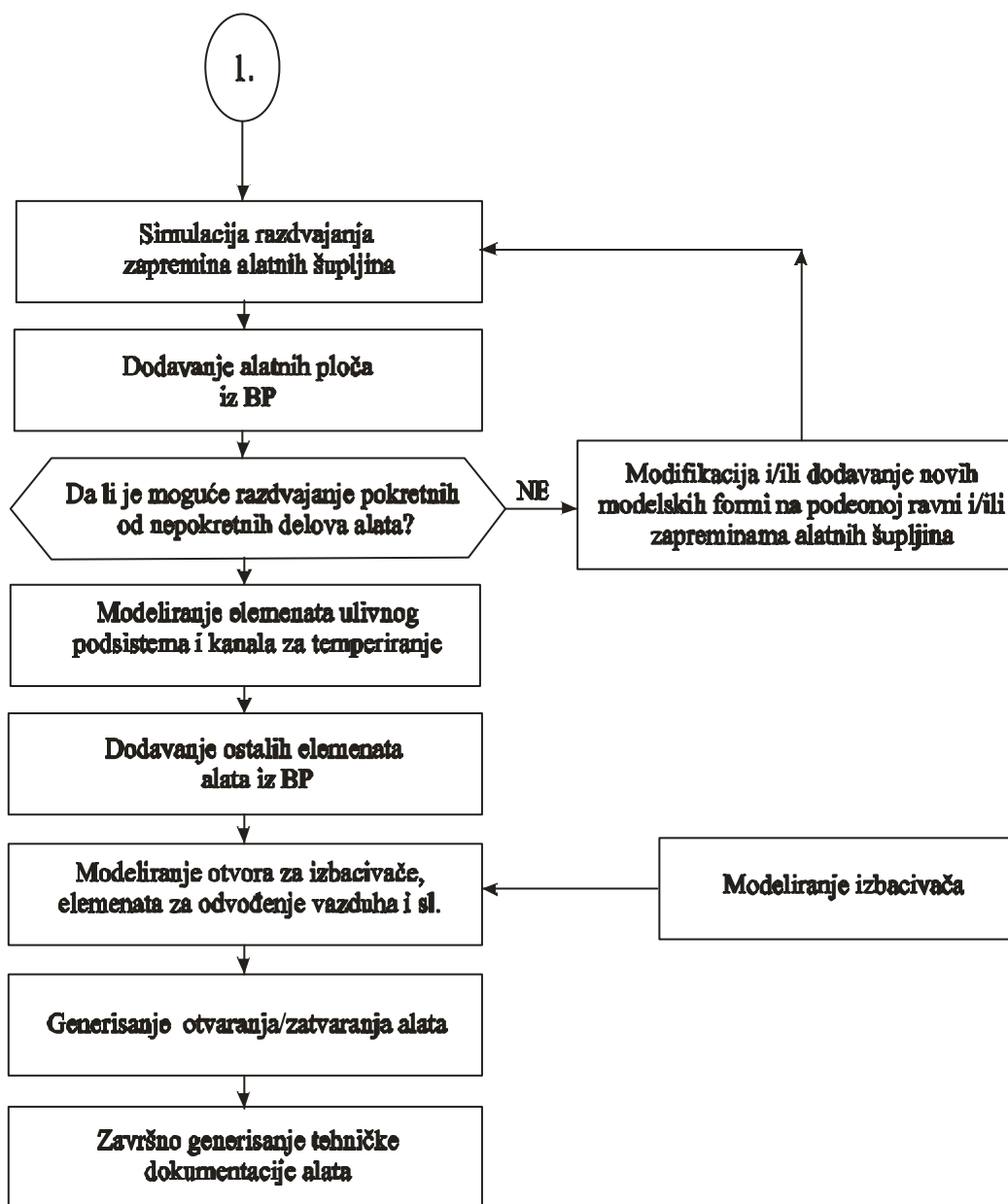
BBA je pogodna za rešavanje problema kod kojih više različitih izvora znanja mora biti integrisano. Ova arhitektura je pogodna za dobijanje zadovoljavajućeg konačnog rešenja nad velikim prostorom znanja. Rešavanje problema preko BBA uključuje kooperativno donošenje odluka između podmodula koji sadrže različite vrste stručnog znanja odnosno izvora znanja. Svaki izvor znanja generiše delimično rešenje problema projektovanja. Izvor znanja (KS) može da

generiše rešenja na osnovu drugih KS rešenja. Konačno rešenje se postiže kada su sva parcijalna rešenja ispunila zahteve i ograničenja od strane eksperta, odnosno modularnog sistema.

Arhitekture table sadrži podeljene izvore znanja, monitor, i upravljački modul (slika 5.3). KS mogu se definisati preko bilo koje od predhodno navedenih inženjerskih tehnika (poglavlje 1.3.2). Podela znanja, izvora znanja, i domena je obično jasna samo ekspertu. Tabla je globalno dostupna BP koja sadrži relevantne podatke i parcijalna rešenja data jednačinama. Za upravljački modul koristi se VBA.

Struktura modula za završno modeliranje alata (modul 4) prikazana je na slici 5.4.





Slika 5.4. Struktura modula za završno modeliranje alata [78, 80]

5.2. OPIS ARHITEKTURE MODULARNOG SISTEMA

Arhitektura sistema predstavlja jedan od osnovnih elemenata u projektovanju sistema, odnosno daje osnovu za opis modula sistema, njihovih veza i međusobnih odnosa.

Ulaz u sistem čini model proizvoda od plastike.

U prvom koraku, u okviru numeričke simulacije vrši se određivanje parametara injkcionog presovanja u modulu 2 (slika 5.2, i slika 5.3) sa stanovišta podobnosti proizvoda za injkciono presovanje, a potom se vrši proračun alata, izbor i dimenzionisanje alatnih ploča, elemenata za vođenje i centriranje, elemenata za vezu u modulu 3 (slika 5.1, slika 5.2, slika 5.3). Na osnovu ulaznih geometrijskih i tehnoloških podataka o proizvodu od plastike, odnosno osnovnih gabaritnih

dimenzija proizvoda, potrebne sile zatvaranja alata, oblika alata (pravougaoni ili kružni), itd. u drugom koraku modula 3 se vrši izbor preporučenih tipskih elemenata alata, sa odgovarajućim pripadajućim oznakama. Tako na primer, kod izbora kokila potrebno je definisati i dodatne podatke, kao što je prečnik kanala za temperiranje, dubina (visina) alatne šupljine kokile, itd. Izabrani tipski elementi alata i njihovi modeli mogu da posluže kao ulaz u proces završnog modeliranja alata, tako što bi se na bazi modela tipskih elemenata alata modelirale ostale modelske forme, a zatim izvršilo projektovanje sklopa alata. U interakciji sa bazama podataka (3D elektronskim katalozima) sklopova i elemenata alata moguće je preuzimanje gotovih konstrukcionih rešenja i/ili modeliranje novih (modul 3).

Kao prvi izlaz iz modula 3 dobija se spisak ili pregled preporučenih elemenata kućišta alata sa adekvatnom oznakom po D-M-E standardu.

Kao drugi izlaz iz modula 3 mogu se dobiti 3D modeli elemenata kućišta alata po D-M-E standardu.

Na osnovu izabranih alatnih ploča, serije alata, treći izlaz predstavljaju 3D modeli svih neophodnih elemenata za vođenje i centriranje i elemenata za vezu. Baza znanja koja se koristi u okviru ovog sistema sastoji se od produkcionih pravila i činjenica za automatizovani izbor elemenata za vođenje i centriranje, elemenata za vezu kao i za definisanje, odnosno preciziranje njihovih geometrijskih i mehaničkih karakteristika.

Na osnovu izabranih elemenata kućišta alata i podloga za izbor ubrizgavalice izlaz iz sistema predstavlja oznaka izabrane ubrizgavalice i njene karakteristike.

Modul 3 predstavlja autentično i originalno rešenje autora u smislu modeliranja elemenata za vođenje i centriranje, proveru hoda, elemenata za vezu i izbor ubrizgavalice.

Standardni elementi alata se učitaju iz BP a specijalni se mogu modelirati u modulu 4. Modul 4 (Pro/Mold Design) (slika 5.4) služi za CAD modeliranje (izbacivača, kanala za temperiranje, alatnih šupljina, ulivnih kanala i sl.).

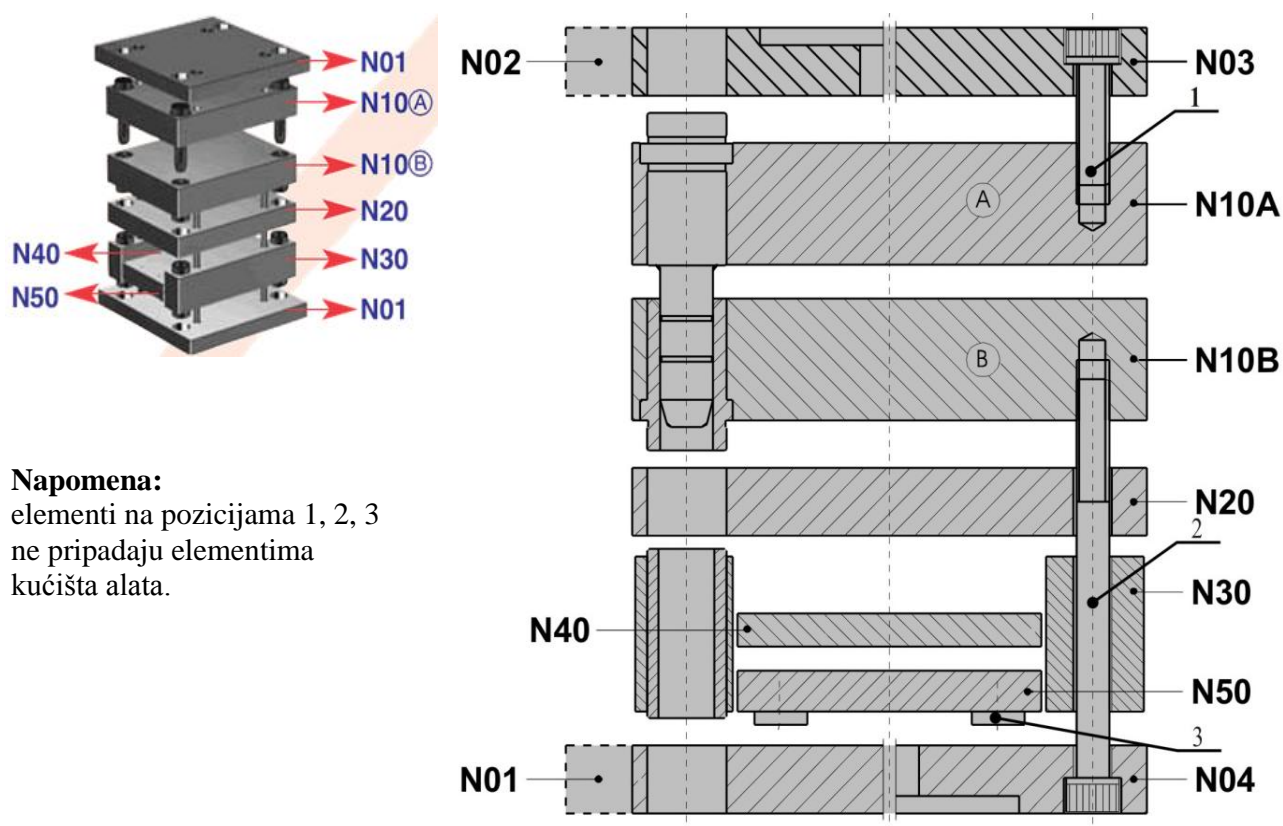
Alatna šupljina se generiše na osnovu inverznog preslikavanja zapremine simulacionog modela na izabrane kokile (N10A i N10B) (modul 4). Modul 4 se može koristiti za grafičku proveru otvaranja/zatvaranja alata.

6. PRORAČUN I IZBOR ELEMENATA ALATA U MODULARNOM SISTEMU

6.1. IZBOR ELEMENATA KUĆIŠTA ALATA

U ovom poglavlju će se ukratko prikazati opšte napomene o tipskim elementima kućišta alata⁷ koji su neophodni za izbor ostalih elemenata alata.

U poglavlju 4.1.3 definisana je podela alata na određene grupe u okviru kojih je definisana grupa normalnih alata. Na slici 6.1 je prikazano pravougaono kućište sa pripadajućim standardnim elementima i njihovim oznakama prema D-M-E standardu.



Napomena:
elementi na pozicijama 1, 2, 3
ne pripadaju elementima
kućišta alata.

Slika 6.1. Kućište alata za injekciono presovanje plastike sa elementima za vezu [173,174,175,177]

⁷⁾ Tipski elementi kućišta alata predstavljaju segment prethodnog istraživanja [39, 78, 80, 81, 82].

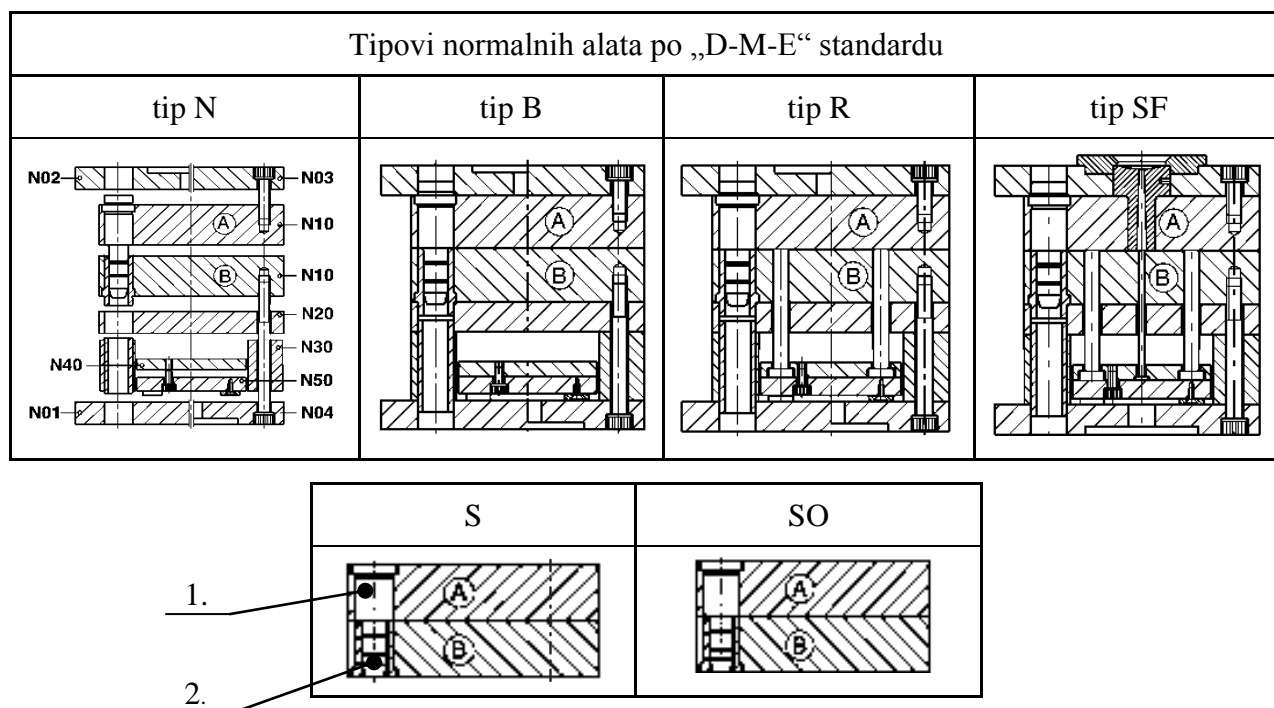
Prema slici 6.1, standardni nazivi i oznake elemenata kućišta alata, su:

- Pokretna stezna ploča (osnovna pokretna ploča) N01, N04;
- Nepokretna stezna ploča (osnovna nepokretna ploča) N02, N03;
- Nepokretna kokila N10A;
- Pokretna kokila N10B;
- Međuploča N20;
- Distantna letva (odstojnik) N30;
- Izbacivačka ploča N40 i
- Nosač izbacivačke ploče N50.

Standardni normalni alati se mogu podeliti na sledeće tipove:

- tip N - sastoji od alatnih ploča, koje nisu sastavljene u podsklop kućišta alata;
- tip B - sastoji od alatnih ploča tip N, koje su sastavljene u podsklop kućišta alata;
- tip R - sastavljen podsklop tip B sa četiri povratnika;
- tip SF - sastavljen podsklop tip R sa vođicama, ulivnim čaurama, povratnicima; izbacivačima ulivnog podsistema;
- tip S - sastoji se od dve alatne ploče N10, 3+1 vođice tipa FSN, 3+1 vođica tipa FBN;
- tip SO - predstavlja tip S bez otvora za vijke.

Na slici 6.2 se prikazuju tipovi normalnih alata po D-M-E standardu.

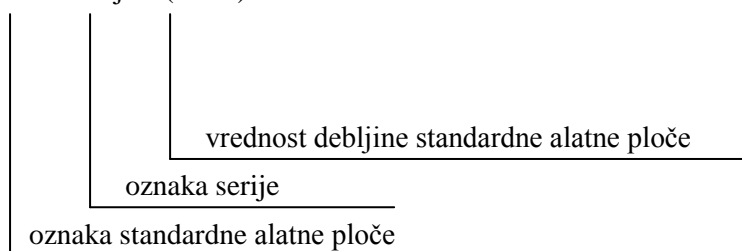


Slika 6.2. Standardni tipovi normalnih alata [173,174,175,177]

Svi tipovi normalnih alata proizvode u širokom intervalu serija od 1010 (99,5x99,5)mm do 6090 (596x896)mm. Zajednička karakteristika svih serija je da su svi elementi kućišta alata izmenjivi.

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da elementi kućišta alata imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.3 dat je prikaz označavanja standardnih ploča pravougaonog oblika.

NXXY-serija-T(NXX)



gde su:

(T, N, Y) - slovne oznake;

X- celobrojne vrednosti.

Slika 6.3. Sistem označavanja standardnih elemenata kućišta alata

Primer definisanja oznake u ekspertnom sistemu za označavanje standardnih elemenata kućišta alata, prikazuje se u tabeli 6.1.

celobrojne vrednosti	XX	XXXX	XXX
oznaka standardne alatne ploče	NXXY	serija	T(NXX)
simbol oznake	N20	2020	T(N03)
primer oznake međuploče	N20	2020	20
simbol oznake	N10A	2020	T(N10A)
primer oznake nepokretne kokile	N10A	2020	20

Tabela 6.1. Primer označavanja standardnih elemenata kućišta alata u ES

Oznaka „serija“ alata je definisana gabaritnim merama alata i daje osnovne smernice za izbor elemenata alata koji mogu da čine konstrukciju jednog alata, sa stanovišta mogućnosti njihovog sastavljanja (jednačine 7.2, 7.3, 7.4).

Tabela 6.2 prikazuje da za serije 1212 do 6090 je moguće razmatrati izbor svih tipova alata. Ista tabela prikazuje da je moguća alternativa između jedan od dva načina vođenja alata od serija 2020 do 6090. Tabela 6.2 prikazuje zavisnost tipa alata od gabarita odnosno, serije alata.

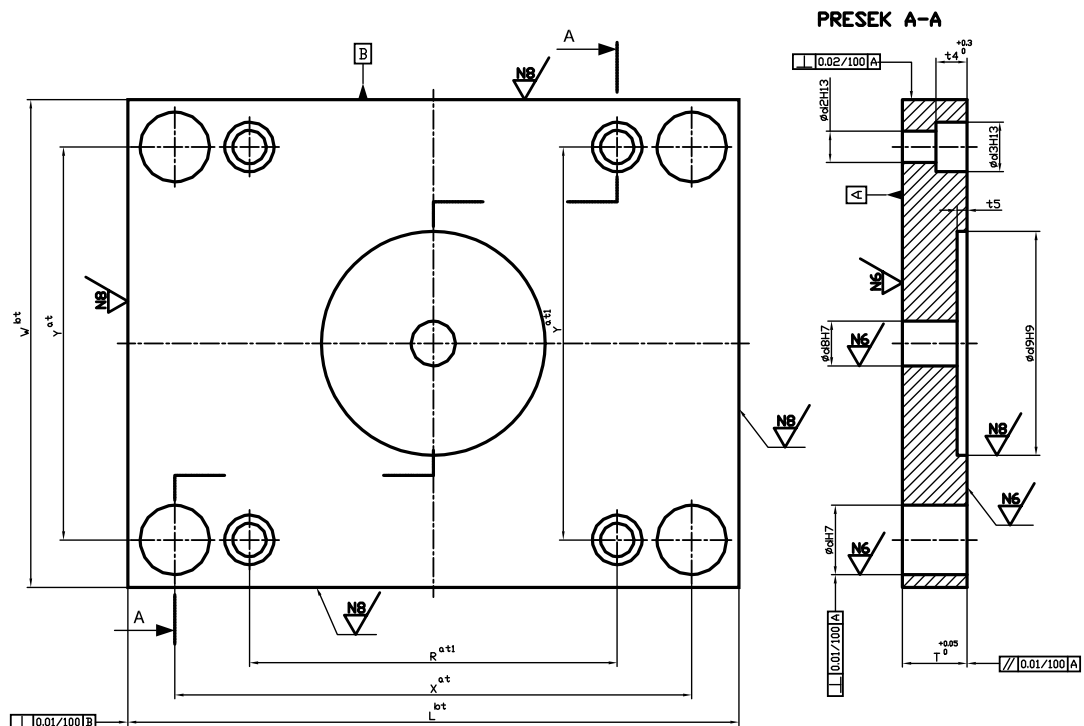
serija	tip N	tip B	tip R	tip SF	vođena izbacivačka ploča	SB	GEB
1010	Y	Y	N	N	N	N	N
1012	Y	Y	N	N	N	N	N
1212	Y	Y	Y	Y	N	N	N
1216	Y	Y	Y	Y	N	N	N
1616	Y	Y	Y	Y	N	Y	N
1620	Y	Y	Y	Y	N	Y	N
1625	Y	Y	Y	Y	N	Y	N
2020	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2025	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2030	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2035	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2040	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2225	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2225	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6090	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

legenda:
Y- ima,
N- nema.

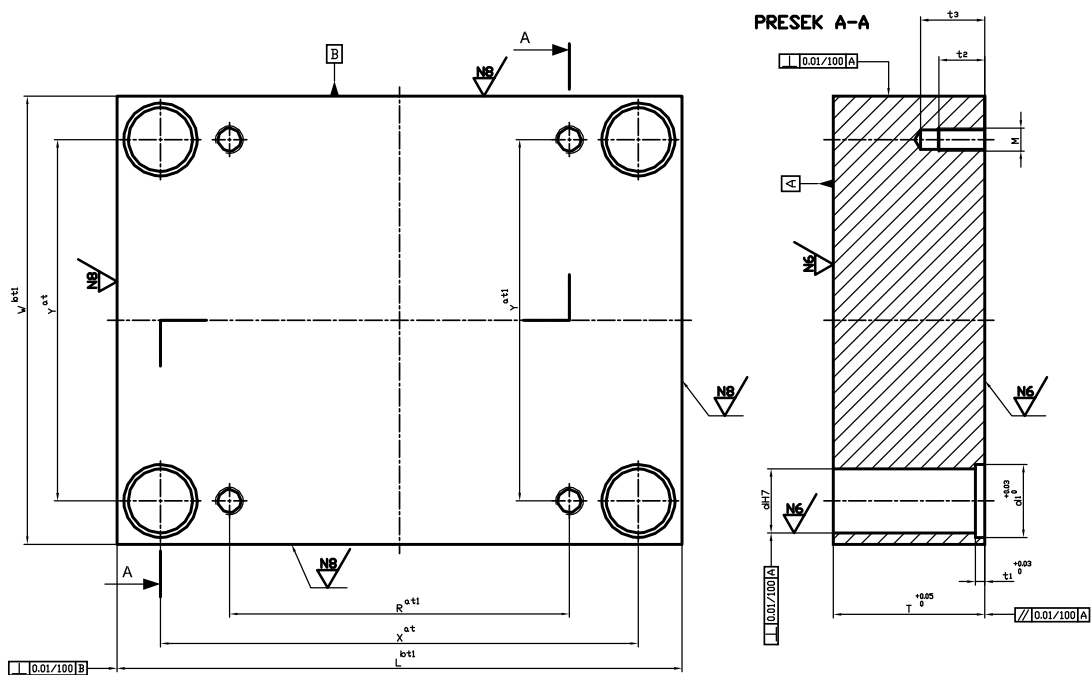
Tabela 6.2. Pregled tipova alata sa obzirom na izabranu seriju [173,174,175,177]

Tipski crteži elemenata kućišta alata²⁾ prema D-M-E standardu, prikazani su na slikama 6.4-6.9 [173, 174, 175, 177].

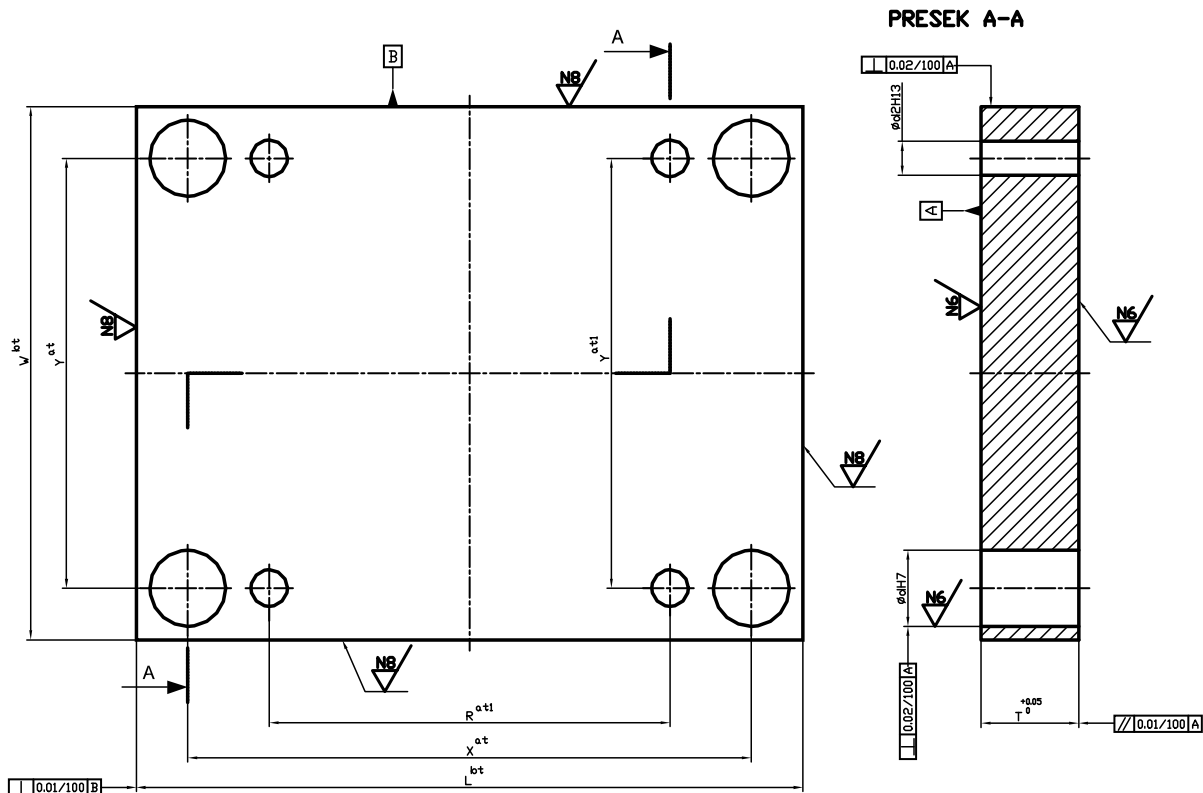
Na slikama 6.4-6.7 predstavljene su karakteristične dimenzije preko opštih brojeva neophodne za dalji izbor elemenata za vođenje i centriranje, izbor elemenata za vezu, proveru hoda alata i izbor ubrizgavalice.



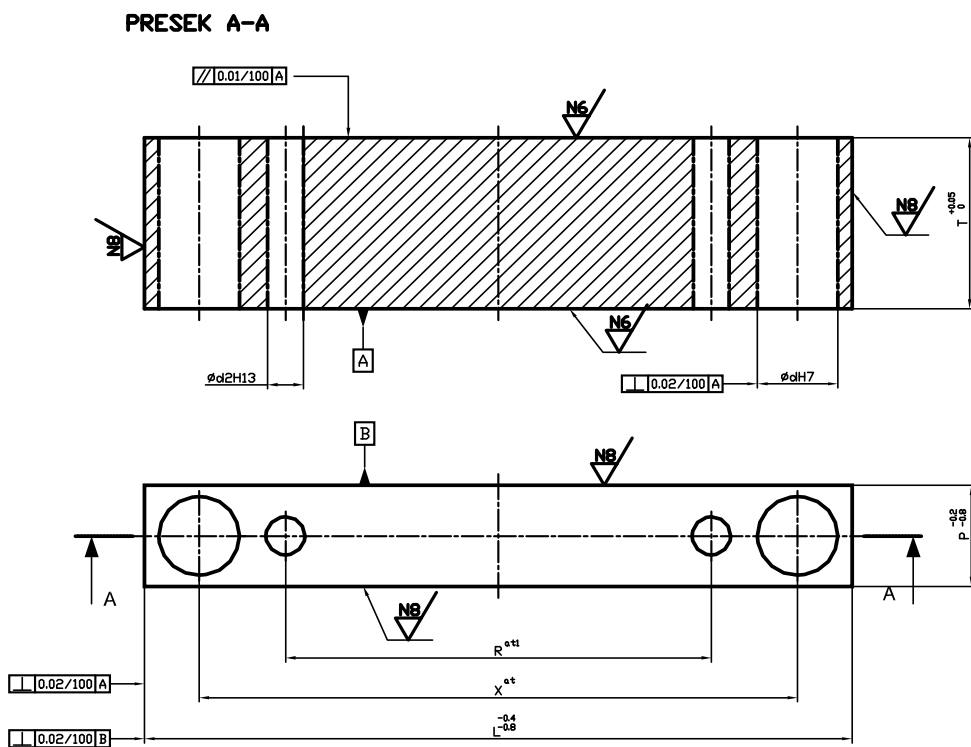
Slika 6.4. Tipski crtež pokretne i nepokretne stezne ploče



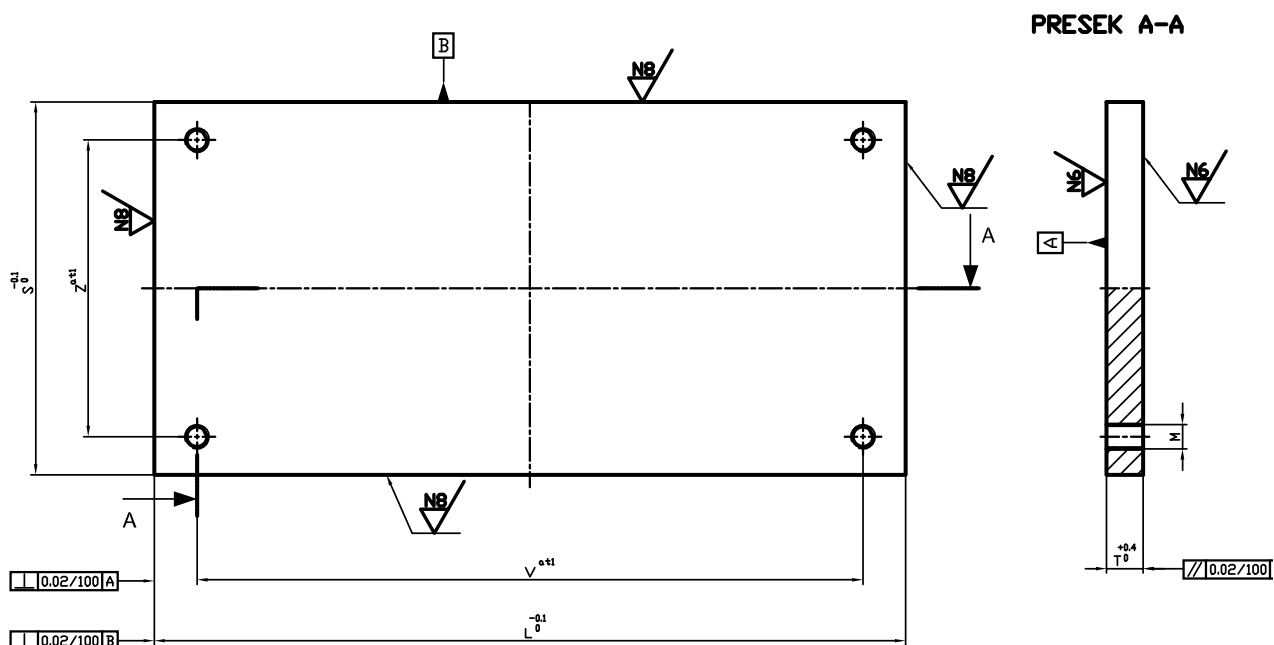
Slika 6.5. Tipski crtež nepokretne i pokretne kokile



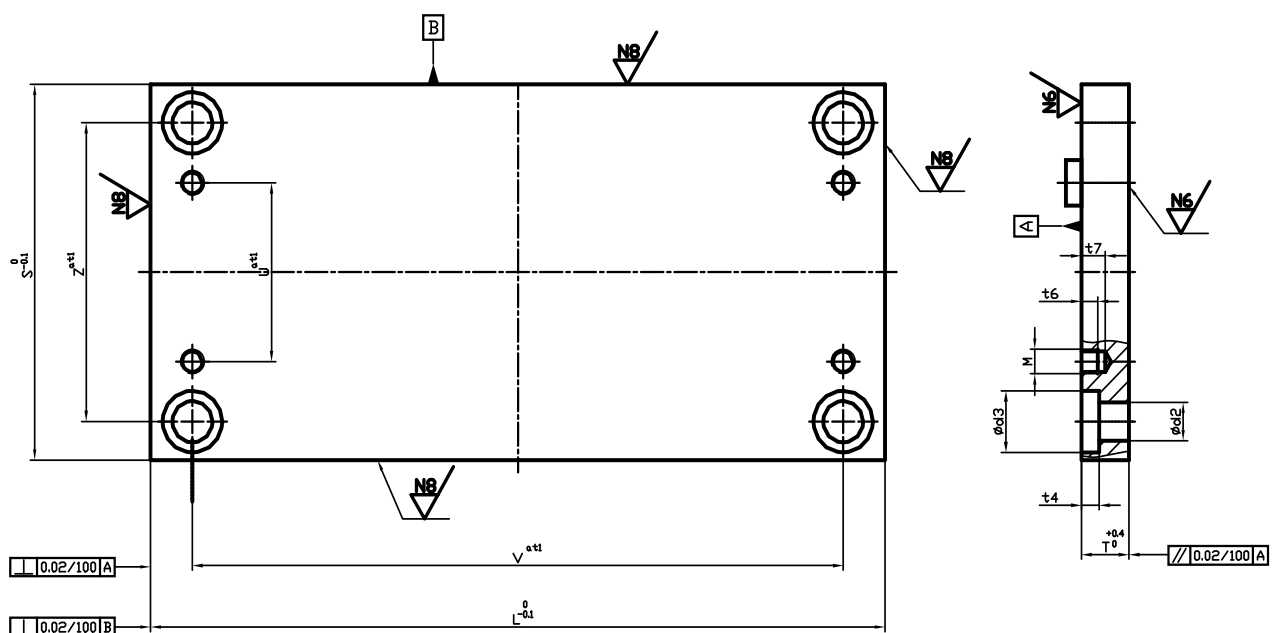
Slika 6.6. Tipski crtež međuploče



Slika 6.7. Tipski crtež distantne letve



Slika 6.8. Tipski crtež izbacivačke ploče



Slika 6.9. Tipski crtež nosača izbacivačke ploče

6.2. IZBOR ELEMENATA ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE

U cilju što efikasnijeg funkcionisanja i eksploatacije alata, veoma je bitno izvršiti pravilno pozicioniranje, odnosno centriranje i vođenje alata.

U odnosu na mesto gde se vrši centriranje, razlikuje se spoljašnje i unutrašnje centriranje alata.

Spoljašnje centriranje se vrši pozicioniranjem alata na ubrizgavalici dok unutrašnje centriranje, i vođenje, se najčešće vrši preko stubnih vođica i čaura za vođenje i centriranje. Cilj ovih elemenata je da se izvrši precizno vođenje i centriranje alata pri njegovom otvaranju i zatvaranju.

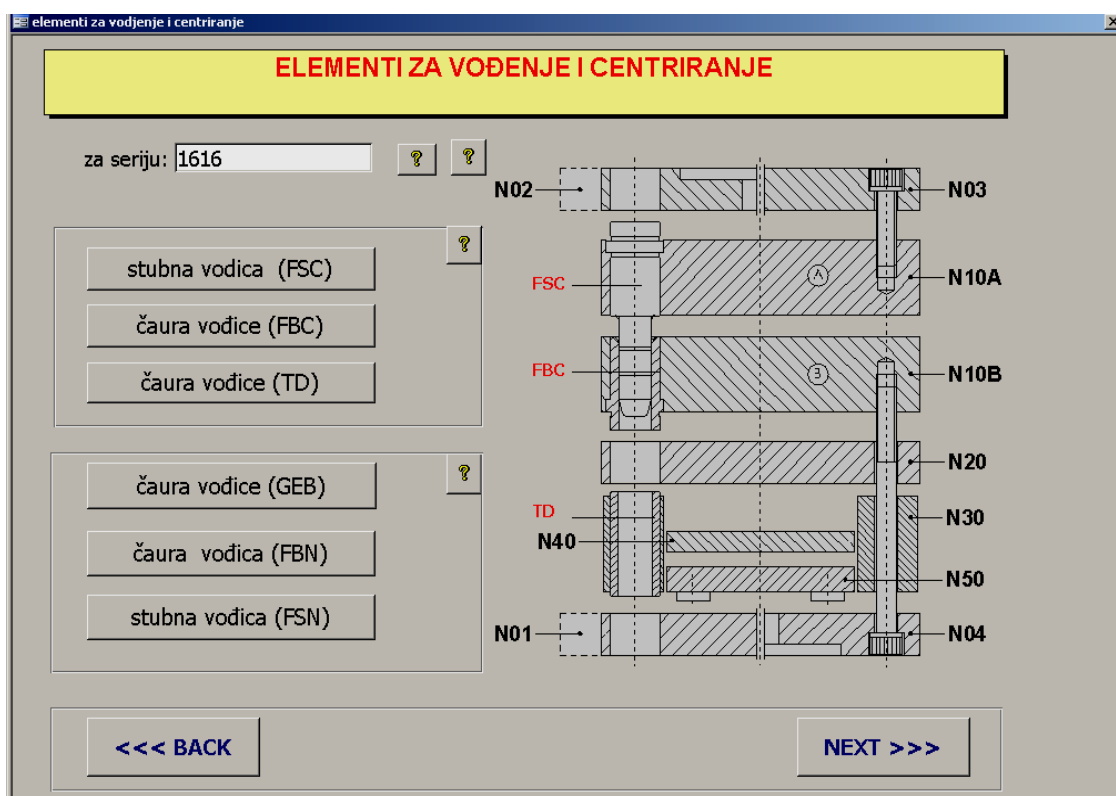
Elementi za vođenje i centriranje su [177]:

- stubna vođica tip FSC,
- čaura vođice tip FBC,
- čaura vođice tip TD,
- čaura vođice tip GEB,
- čaura vođice tip FBN i
- stubna vođica tip FSN.

Postoje dva osnovna načina vođenja alata:

- pomoću steznog mehanizma i
- sa vođenom izbacivačkom pločom.

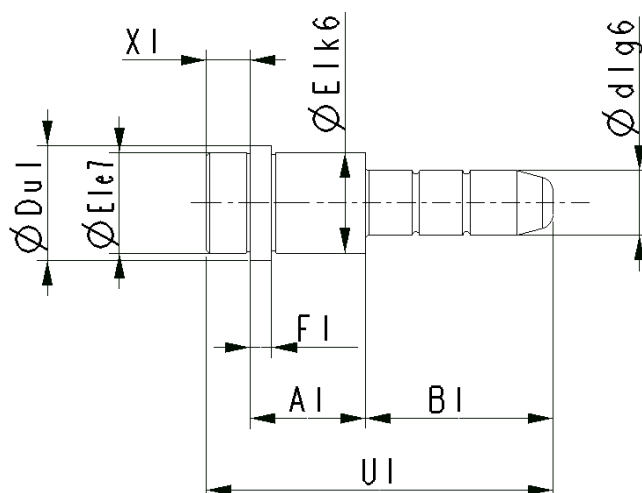
Izbor standardnih tipskih elemenata za vođenje i centriranje vrši se nakon izbora svih alatnih ploča (slika 7.9). Oznaka serije alata se koristi za izbor elemenata za vođenje i centriranje [174, 175, 176, 177]. U zavisnosti od serije alata, tipa i načina vođenja mogu se definisati pripadnost pojedinih elemenata za vođenje i centriranje kućištu alata (tabela 6.2). Na osnovu predhodne podele elemenata za vođenje i centriranje generisana je forma za selekciju standardnih elemenata alata za vođenje i centriranje koja se prikazana na slici 6.10.



Slika 6.10. Forma za selekciju standardnih elemenata alata za vođenje i centriranje

6.2.1. Izbor stubne vođice tip FSC

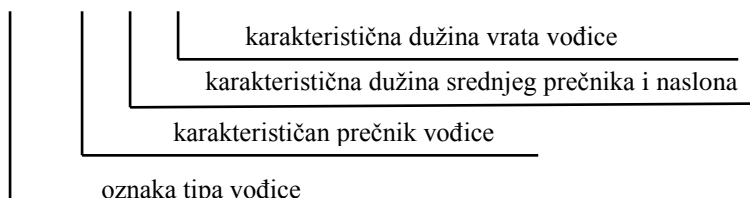
Na slici 6.11 prikazana je skica tipskog crteža stubne vođice tip FSC



Slika 6.11. Tipski crtež stubne vođice tip FSC

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da stubne vođice FSC (slika 6.11) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.12 dat je prikaz označavanja stubnih vođica tipa FSC po D-M-E standardu.

FSC- ϕd_1 - A_1 - B_1



gde su:

FSC - slovna oznaka;

(ϕd_1 , A_1 , B_1) - celobrojne vrednosti.

Slika 6.12. Sistem označavanja standardnih vođica tipa FSC

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (serija, T(N10A), T(N10B)) THEN (ϕd_1 , A_1 , B_1)(6.1).

- ϕd_1 f (serija),
- A_1 f (T(N10A)),
- B_1 f (T(N10B))

Pošto je oznaka standardne vođice tip FSC definisana, sistem učitava iz tablice [177, 180] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.2), slika 6.11.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (FSC- ϕd_1 -A₁-B₁) THEN (ϕE_1 , U₁, F₁, X₁, ϕDu_1 , itd.)(6.2).

gde su:

(ϕE_1 , U₁, F₁, X₁, ϕDu_1 , itd.) – celobrojne vrednosti i

(k6, g6, e7, m6) – tekst.

Inferentno pravilo za određivanje tolerancije srednjeg prečnika vođice:

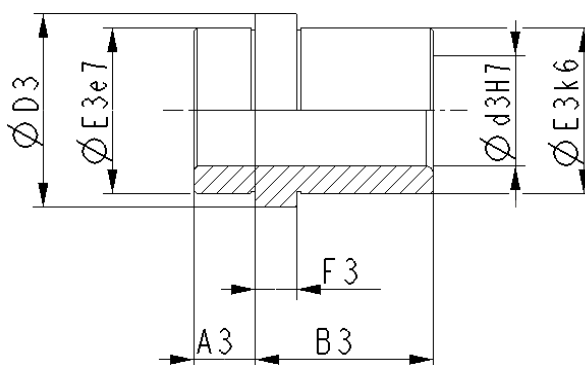
IF B₁>36 AND B₁<46 THEN ϕE_1 k6(6.3).

IF B₁≥46 THEN ϕE_1 m6(6.4).

Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

6.2.2. Izbor čaure vođice tip FBC

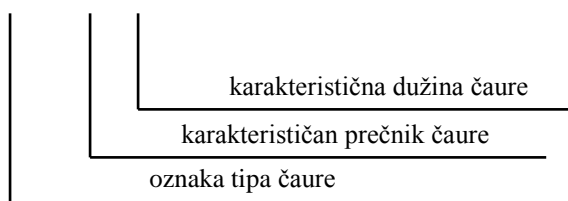
Na slici 6.13 prikazana je skica tipskog crteža čaure vođice tip FBC



Slika 6.13. Tipski crtež čaure vođice tip FBC

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da čaure vođice FBC (slika 6.13) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.14 dat je prikaz označavanja standardnih čaura vođice tip FBC po D-M-E standardu.

FBC- ϕd_3 -B₃



gde su:

FBC - slovna oznaka;

(ϕd_3 , B₃) - celobrojne vrednosti.

Slika 6.14. Sistem označavanja standardnih čaura vođice tip FBC

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (serija, T(N10B)) THEN (ϕd_3 , B_3)(6.5).

- ϕd_3 f (serija),
- B_3 f (T(N10B))

Pošto je oznaka standardne čaure vođice tip FBC definisana, sistem učitava iz tablice [173, 175, 176, 180] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.6), slika 6.13. Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

IF (FBC- ϕd_3 - B_3) THEN (ϕd_3 , ϕE_3 , F_3 , A_3 , ϕDu_1 , ϕD_3 , itd.)(6.6).

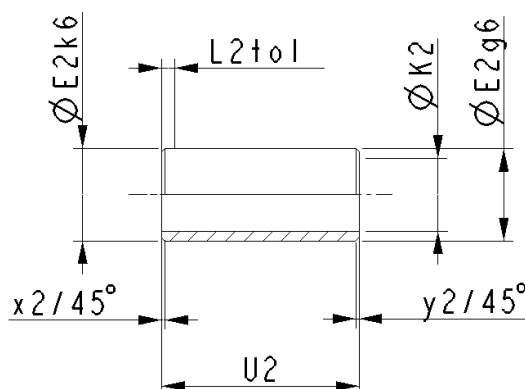
gde su:

(ϕd_3 , ϕE_3 , F_3 , A_3 , ϕDu_1 , ϕD_3 , itd.) – celobrojne vrednosti

(H7, e7, k6) – tekst.

6.2.3. Izbor čaure vođice tip TD

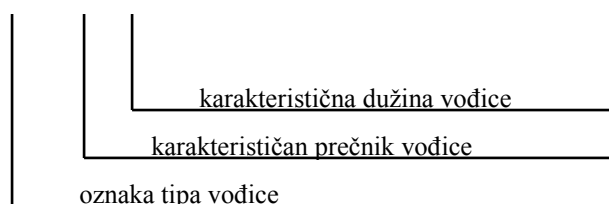
Na slici 6.15 prikazana je skica tipskog crteža čaure vođice tip TD



Slika 6.15. Tipski crtež čaure vođice tip TD

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da čaure tip TD (slika 6.15) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.16 dat je prikaz označavanja standardnih čaura tip TD po D-M-E standardu.

TD- ϕE_2 - U_2



gde su:

TD – slovna oznaka;

(ϕE_2 , U_2) – celobrojne vrednosti.

Slika 6.16. Sistem označavanja standardnih vođica tipa TD

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (serija, T(N30)) THEN (ϕE_2 , U_2)(6.7).

- ϕE_2 f (serija),
- U_2 f (T(N30))

Pošto je oznaka standardnih vodica tip TD definisana, sistem učitava iz tablice [173, 175, 176, 180] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.7), slika 6.16. Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (TD- ϕE_2 - U_2) THEN (L_2 tol, x_2 , y_2 , ϕk_2 itd.)(6.8).

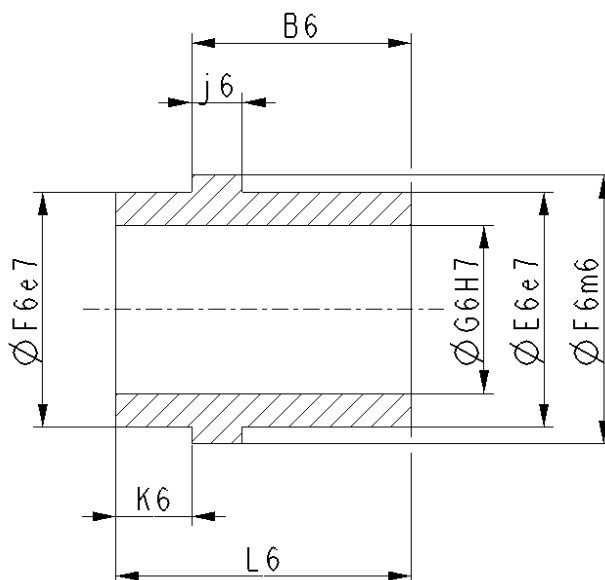
gde su:

(L_2 tol, x_2 , y_2 , ϕk_2 , itd.) – celobrojne vrednosti

(k_6 , g_6) – tekst

6.2.4. Izbor čaure vodice tip GEB

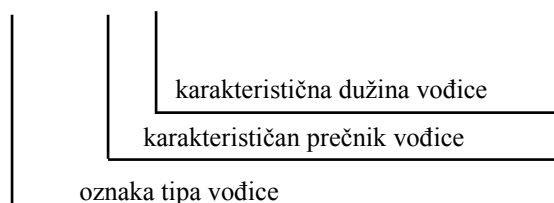
Na slici 6.17 prikazana je skica tipskog crteža čaure vodice tip GEB



Slika 6.17. Tipski crtež čaure tip GEB

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da standardne čaure tip GEB (slika 6.17) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.18 dat je prikaz označavanja standardnih čaura tipa GEB po D-M-E standardu [173, 175, 176, 180].

GEB- ϕG_6 - B_6



gde su:

GEB – slovna oznaka;

(ϕG_6 , B_6) – celobrojne vrednosti.

Slika 6.18. Sistem označavanja standardnih vođica tip GEB

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (serija, T(N30)) THEN (ϕG_6 , B_6)(6.9).

- ϕG_6 f (serija),
- B_6 f (T(N30)),
- mat6.

Pošto je oznaka standardne čaure tip GEB definisana, sistem učitava iz tablice [173, 175, 176, 180] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.10.), slika 6.18. Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (GEB- ϕG_6 - B_6) THEN (ϕG_6 H7, ϕE_6 e7, ϕF_6 m6, k_6 , L_6 , j_6 , B_6 , mat6, itd.)(6.10).

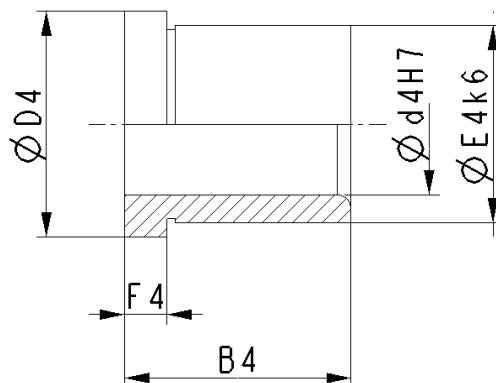
gde su:

(ϕG_6 , ϕE_6 , ϕF_6 , k_6 , L_6 , j_6 , B_6 , mat6, itd.) – celobrojne vrednosti,

(H7, e7, m6) – tekst.

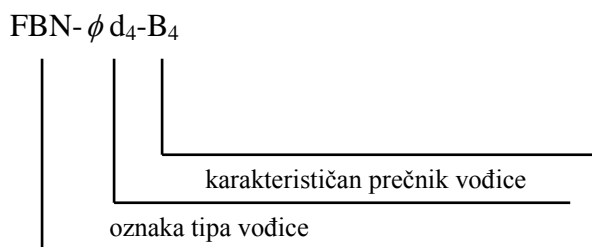
6.2.5. Izbor čaure vođice tip FBN

Na slici 6.19 prikazana je skica tipskog crteža čaure vođice tip FBN



Slika 6.19. Tipski crtež čaure vođice tip FBN

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da standardne čaure vođice tip FBN (slika 6.19) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.20. dat je prikaz označavanja standardnih čaura tipa FBN po D-M-E standardu.



gde su:

FBN – slovna oznaka;

(ϕd_4 , B_4) – celobrojne vrednosti.

Slika 6.20. Sistem označavanja standardnih čaura tip FBN

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (oznaka serije, T(N10B)) THEN (ϕd_4 , B_4).....(6.11).

- ϕd_4 f (serija),
- B_4 f (T(N10B)).

Pošto je oznaka standardne čaure tip FBN definisana, sistem učitava iz tablice [173, 175, 176, 180] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.12.), slika 6.19. Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

IF (FBN- ϕd_4 - B_4) THEN (ϕd_4 , ϕE_4 , F_4 , ϕD_4 , B_4 , mat4, itd.)(6.12).

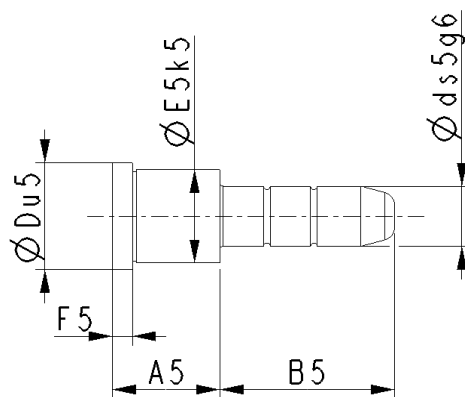
gde su:

(ϕd_4 , ϕE_4 , F_4 , ϕD_4 , B_4 , itd.) – celobrojne vrednosti.

(H7, k6, mat4) – tekst.

6.2.6. Izbor stubne vođice tip FSN

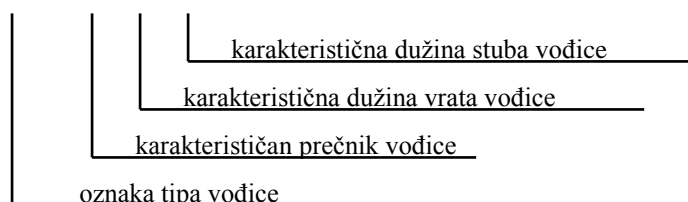
Na slici 6.21 prikazana je skica tipskog crteža stubne vođice tip FBN



Slika 6.21. Tipski crtež stubne vođice tip FSN

U sistemu standardizacije, postoji razvijen sistem označavanja, tako da standardne stubne vođice tip FSN (slika 6.21) imaju svoje klasifikacione oznake koje definišu osnovu za njihovo prepoznavanje i pretraživanje. Na slici 6.22 dat je prikaz označavanja standardnih stubnih vođica tip FSN po D-M-E standardu.

FSN- ϕd_{s5} -A₅-B₅



gde su:

FSN – slovna oznaka;

(ϕd_{s5} , A₅, B₅) – celobrojne vrednosti.

Slika 6.22. Sistem označavanja standardnih stubnih vođica tip FSN [173, 175, 176, 180]

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (serija, T(N01), T(N04)) THEN (ϕd_{s5} , B₅).....(6.13).

- ϕd_{s5} f (serija),
- A₅ f ((T(N01)) V (T(N04))),
- B₅ f (T(N30)).

Pošto je oznaka standardne stubne vođice tip FSN definisana, sistem učitava iz tablice [79, 173, 83] ostale vrednosti predstavljene na desnoj strani jednačine (6.14.), slika 6.22. Tada se može učitati odgovarajući CAD model iz BP.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilom:

IF (FSN- ϕd_{s5} -A₅-B₅) THEN ($\phi d_{s5}g_6$, ϕE_5k_5 , F₅, ϕDu_5 , itd.)(6.14.).

gde su:

(ϕd_{s5} , ϕE_5 , F₅, ϕDu_5 , itd.) – celobrojne vrednosti,

(g₆, k₅) – tekst.

S obzirom da se elementi kućišta alata prethodno biraju, u toku izbora elemenata za vođenje i centriranje, sistem proverava dimenzije stubnih vođica i čaura vođica sa odgovarajućim dimenzijama alatnih ploča (otvora, rupa, debljina ploča i sl.) (slike 6.4-6.9) čime se isključuje mogućnost greške.

6.3. PRORAČUN ALATA

Za izbor standardnih tipskih elemenata alata, potrebno je izvršiti proračun alata. Tok proračuna alata u modularnom sistemu obuhvata sledeće faze [37, 39,78, 81, 82]:

- Izbor ulivnog podsistema na osnovu preporuka;
- Dimenzionisanje kanala za temperiranje;
- Određivanje debljine zida kokile merene od alatne šupljine do otvora za temperiranje;
- Mehanički proračun;
- Određivanje koeficijenta skupljanja termoplasta i
- Provera hodova alata.

Sve faze osim provera hodova alata su obuhvaćene u predhodnom istraživanju [37, 39,78, 81, 82]. Zato se provera hodova alata predstavlja u daljem tekstu. Da bi se alat nesmetano otvarao i zatvarao mora se proveriti hod otvaranja alata. Hod otvaranja alata određuje se na osnovu sledeće jednačine [28, 88]:

$$h_{oa} = h_g + h_{op} + h_d \dots\dots\dots (6.15).$$

gde su:

h_{oa} – hod otvaranja alata,

h_g – visina grozda,

h_{op} – visina otpreska u pomičnom delu alata,

h_d – dopunski sigurnosni hod alata,

h_{di} – visina dodatnog otvaranja alata,

$h_{di} = h_d = 4$ [mm], po preporuci D-M-E.

Visina grozda određuje se na sledeći način:

$$h_g = h_o + l \dots\dots\dots (6.16).$$

gde su:

h_g – visina grozda,

h_o – visina otpreska i

l – dužina dovodnog kanala.

Minimalni potrebni razmak između ploča ubrizgavalice određuje se na osnovu sledeće jednačine [28]:

$$h_{v_{min}} = h_{oa} + Ta \dots\dots\dots (6.17).$$

Ukupna visina alata (sklopa alatnih ploča) kod koga su stezne ploče iste širine kao kokile određuje se na osnovu jednačine (6.17).

$$Ta = \sum T(NX) = T(N03) + T(N10A) + T(N10B) + T(N20) + T(N30) + T(N04) \dots\dots\dots (6.18).$$

Ukupna visina alata, čije su stezne ploče različite od širine kokila određuje se na osnovu jednačine (6.18).

$$Ta = \sum T(NX) = T(N02) + T(N10A) + T(N10B) + T(N20) + T(N30) + T(N01) \dots\dots\dots(6.19).$$

gde su:

T(N03), T(N10A), T(N10B), T(N20), T(N04), T(N02), T(N01) - odgovarajuće visine (debljine) alatnih ploča.

Računsko minimalno potrebno rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice mora biti manje ili jednako najvećem rastojanju između steznih ploča ubrizgavalice, odnosno mora biti zadovoljen izraz: [28, 105,136, 110]

$$h_{U_{\min}} \leq H_{U_{\max}} \dots\dots\dots(6.20).$$

gde su:

$h_{U_{\min}}$ – računsko minimalno potrebno rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice,

$H_{U_{\max}}$ – najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice [136, 140, 141]:

Dužina puta izbacivača odnosno hod izbacivača određuje se na osnovu jednačine [28, 142]:

$$h_i = h_o + h_{di} \dots\dots\dots(6.21).$$

gde su:

h_i – hod izbacivača,

h_o – visina otpreska,

h_{di} – visina dodatnog otvaranja alata,

$h_{di} = h_d = 4$ [mm], po preporuci D-M-E [176].

Najveći hod izbacivača mašine predstavlja katalošku vrednost proizvođača ubrizgavalica. (tabela 8.1). Pri izboru ubrizgavalice treba voditi računa da hod izbacivača mora biti manji ili jednak od najvećeg hoda izbacivača mašine, odnosno mora biti zadovoljen sledeći izraz:

$$h_i \leq h_{m_{\max}} \dots\dots\dots(6.22).$$

$h_{m_{\max}}$ – najveći hod izbacivača mašine [136, 141].

Najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice predstavlja kataloški podatak ubrizgavalice. Ovo rastojanje zadovoljava sledeću jednačinu [142]:

$$H_{U_{\max}} = Ta_{\min} + h_{a_{\max}} \dots\dots\dots(6.23).$$

gde su:

Ta_{\min} - minimalna kataloška visina alata koji se može postaviti na mašinu [136] i

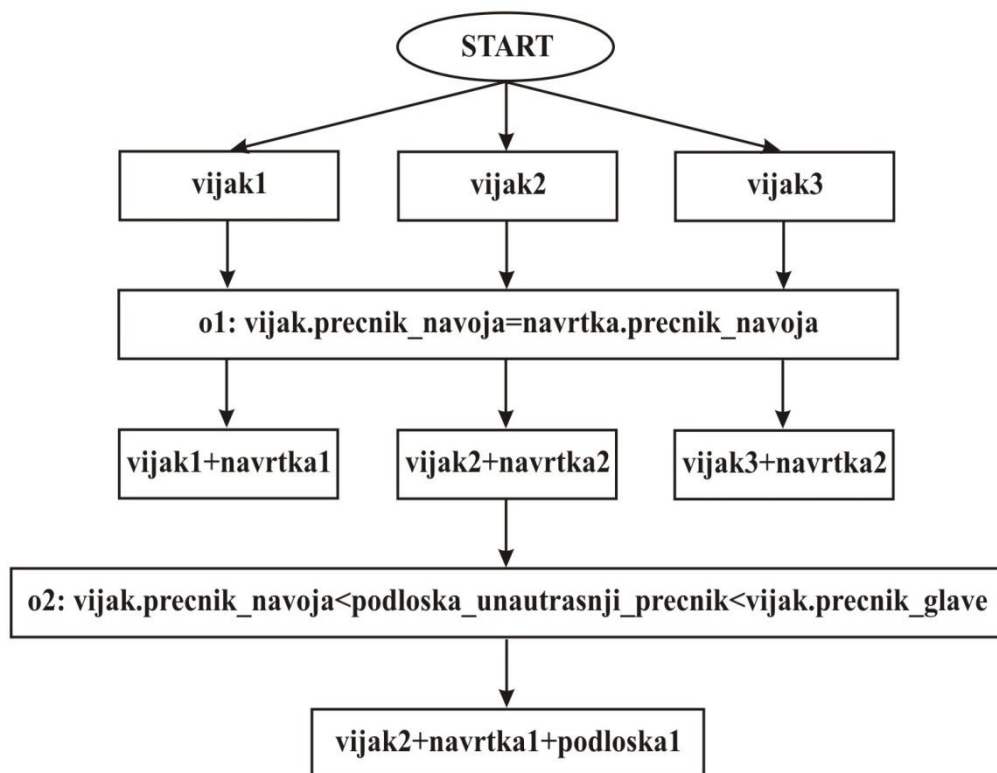
$h_{a_{\max}}$ - maksimalni kataloški hod otvaranja mašine [136, 141].

6.4. IZBOR ELEMENATA ZA VEZU

Pravilno definisanje ograničenja predstavlja obavezan korak u projektovanju modularnog sistema. Ograničenja se koriste za ograničavanje opsega vrednosti promenljivih i dozvoljenih odnosa (veza) između dva ili više atributa ili promenljivih. Postoje dve vrste ograničenja u domenu projektovanja: tvrda i meka [9, 27].

Cilj ograničenja u inženjerskom projektovanju je da se minimizira prostor pretrage meta heurističkog pretraživanja, procenom trenutno dodeljene vrednosti za promenljive u okviru dozvoljenih vrednosti, kao i propagiranje informacije o ograničenjima pomoću mreža ograničenja. Ovo je poznato kao problem ograničenja, koji se rešava korišćenjem tehnike postavke ograničenja.

Slika 6.23 prikazuje mrežu ograničenja za sledeće objekte: vijak, navrtka i podloška. Svaki objekat poseduje instancu (konkretni slučaj): vijak1, vijak2, vijak3, navrtka1, navrtka2, podloška1 i podloška2.



Slika 6.23. Primer mreže ograničenja dimenzionalnih karakteristika vijčane veze

Ograničenje „O1“ odnosno funkcionalna veza se predstavlja sledećim izrazom:

$$O1: \text{vijak.precnik_navoja} = \text{navrtka.precnik_navoja} \dots\dots\dots(6.24).$$

Ograničenje „O2“ odnosno funkcionalna veza se predstavlja sledećim izrazom:

$$O2: \text{vijak.precnik_navoja} < \text{podloska.unutrasnji_precnik} < \text{vijak.sirina_glave} \dots\dots\dots(6.25).$$

Projektovanje ograničenja počinje od izbora prvog elementa vijčane veze, npr. vijka. Postoje tri alternative, vijak1, vijak2 i vijak3. Ograničenja neophodna za razvoj programskog sistema se dodatno proširuju sa tri nova slučaja (alternative), vijak1+navrtka1, vijak2+navrtka1 i vijak3+navrtka2, što implicira "O1" ograničenje. Slika 6.23 prikazuje da druge alternative nisu funkcionalne, npr. vijak1 ne može biti u sklopu sa navrtkom2 jer ograničenje "O1" nije zadovoljeno. Konačno, samo vijak2+navrtka1+podloska1, predstavlja moguće projektovano programsko rešenje nametnuto ograničenjem "O2". Druge dve alternative su odbačene jer nema podloške koja zadovoljava "O2" ograničenje, odnosno funkcionalnu vezu.

Ograničenja se mogu rešavati putem različitih formalizama uključujući pravila, semantičke mreže, okvire, objekte, fazi logiku, i sl., tako da je moguća njihova integracija u bilo koju fazu projektovanja ili bilo koji modul sistema. Zheng i dr. [132] predlažu da se više koriste objektno-orijentisana ograničenja i za projektovanje sistema, čime se refraktorisanje sistema potpuno ili delimično izbacuje. Tabela 6.3 prikazuje neke od atributa, kao što su prečnik navoja, unutrašnji navoj i prečnik (širina) glave. U tabeli 6.3. se prikazuje primer izbora vijčanog spoja [132].

	Atributi		
ime elementa (objekta)	precnik_navoja	unutrasnji_precnik	sirina_glave (otvor ključa)
vijak1	10		14
vijak2	10		18
vijak3	20		28
navrtka1	10		
navrtka2	20		
podloska1		15	
podloska2		30	

Tabela 6.3. Atributi konkretnih slučaja (instanci) elemenata vijčanog spoja

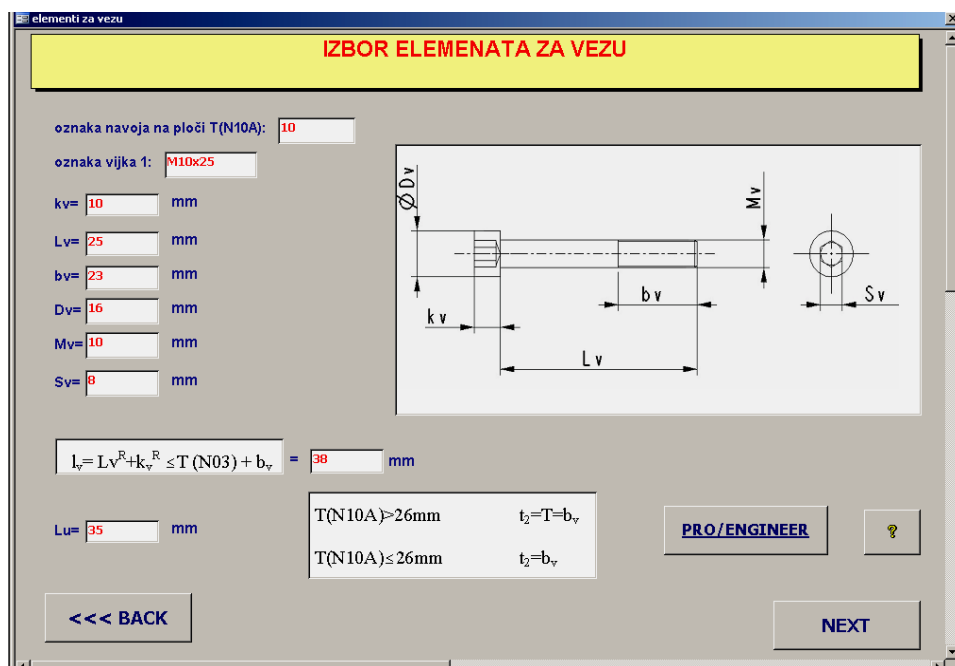
Izbor elemenata za vezu u modularnom sistemu zahteva definisanje funkcionalnih veza između objekata. Funkcionalna veza između objekata može se definisati sledećim izrazom:

$$M_v = M \dots\dots\dots(6.26).$$

gde su:

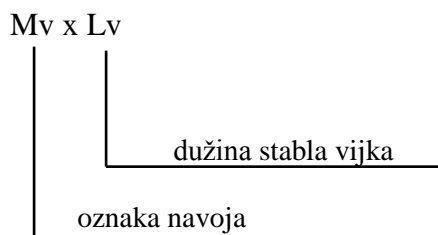
- M_v - srednji prečnik navoja vijka;
- M - srednji prečnik navoja na kokili N10A.

Na slici 6.24 prikazuje se forma za izbor elemenata za vezu („vijak 1.", pozicija 1, slika 6.1).



Slika 6.24. Forma za izbor elementa za vezu (vijak pozicija 1)

Na slici 6.25 prikazuje se sistem označavanja “vijak 1” (pozicija 1 slika 6.1) [180].



gde su:

M_v – srednji prečnik navoja vijka;

L_v – dužina stabla vijka.

Slika 6.25. Sistem označavanja “vijak 1”

Funkcionalne veze između objekata na formi mogu se prikazati preko uređene n-torke:

- $M_v(M(T(N10A)))$ f $M(T(N10A))$
- L_u f $(T(N10A), (T(N02)VT(N03)), t_2(N10A))$

gde su: $L_u, T_i, M, t_2, b_v, L_v, k_v, D_v, s_v$ – celobrojne vrednosti.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilima:

IF $(M(T(N10A)))$ THEN $M_v=M(T(N10A))$ (6.27).

IF $T(N10A) > 26$ THEN $t_2=T(N10A)=b_v$ (6.28).

IF $T(N10A) \leq 26$ THEN $t_2=b_v$ (6.29).

gde je:

t_2 – dužina urezanog navoja u kokili N10A

Ukupna dužina vijka se može izračunati iz izraza:

$$L_u = k_v + L_v \dots\dots\dots(6.30).$$

gde su:

k_v - standardna visina glave vijka;

L_v - standardna dužina stabla vijka;

L_u - ukupna dužina vijka.

Ukupna računaska dužina vijka se može izračunati iz sledećih izraza u zavisnosti od ranije izabrane nepokretne stezne ploče (N03 ili N02):

$$l_v = L_v^R + k_v^R \leq T(N03) + b_v \dots\dots\dots(6.31).$$

odnosno:

$$l_v = L_v^R + k_v^R \leq T(N02) + b_v \dots\dots\dots(6.32).$$

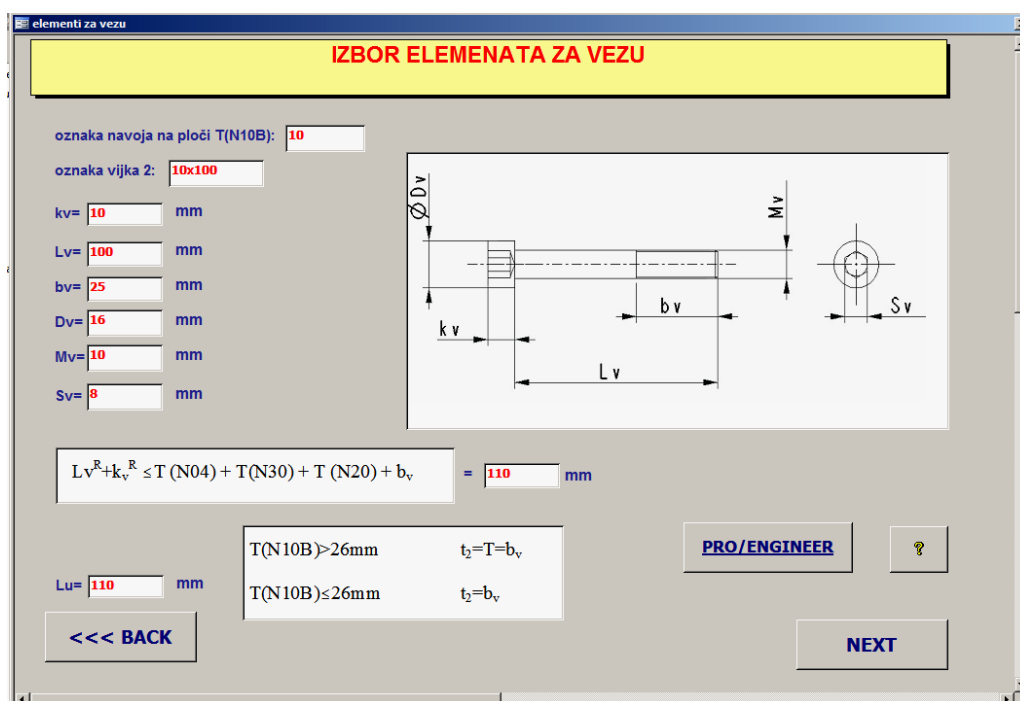
$$L_v^R \leq T(N03) + b_v - k_v^R \dots\dots\dots(6.33).$$

odnosno:

$$L_v^R \leq T(N02) + b_v - k_v^R \dots\dots\dots(6.34).$$

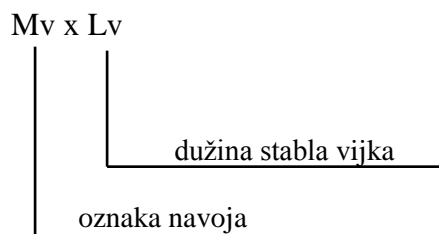
L_v - vrednost iz tabele 6.4;

Na slici 6.26 prikazuje se forma za izbor elementa za vezu („vijak 2.”, pozicija 2, slika 6.1).



Slika 6.26. Forma za izbor elementa za vezu (vijak pozicija 2)

Na slici 6.27 prikazuje se sistem označavanja “vijak 2” (pozicija 2, slika 6.1) [180]



gde su:

M_v - srednji prečnik navoja vijka;

L_v –dužina stabla vijka.

Slika 6.27. Sistem označavanja “vijak 2”

Funkcionalne veze između objekata na formi mogu se prikazati preko uređene n-torke:

- M_v f $M(T(N10B))$
- L_u f $(T(N10B), (T(N01) \vee T(N04)), t_2(N10B), T(N30), T(N20))$

gde su: T_i , M , t_2 , b_v , L_v , k_v , D_v , s_v – celobrojne vrednosti.

L_v - se usvaja iz tabele 6.4.

Ukupna dužina vijka se može izračunati iz izraza:

$$L_u = k_v + L_v \dots \dots \dots (6.35).$$

gde su:

k_v - standardna visina glave vijka;

L_v - standardna dužina stabla vijka;

L_u - ukupna dužina vijka.

Ukupna računaska dužina vijka se može odrediti iz sledećeg izraza:

$$L_u^R = L_v^R + k_v^R \leq T(N04) + T(N30) + T(N20) + b_v \dots \dots \dots (6.36).$$

$$L_v^R \leq T(N04) + T(N30) + T(N20) + b_v - k_v^R \dots \dots \dots (6.37).$$

L_v - vrednost iz tabele 6.4.

U modularnom sistemu je generisana BP solid modela elemenata za vezu, što znači da nije potrebno koristiti standardni PTC elektronski katalog. U slučaju da se koristi PTC elektronski katalog postoji direktna OLE veza između Pro/Mold Design-a, EMX i PTC Mold Library.

Parametri vijaka značajni za izbor „vijka 1“ i „vijka 2“ i generisanje njihovih 3D modela prikazani su u tabeli 6.4 [161, 173, 180, 195, 196].

br	oznaka	$d_v=M_v$	L_v	D_v	b_v	k_v	s_v
1	M4x10	4	10	7	8	4	3
2	M4x20	4	20	7	12	4	3
3	M4x30	4	30	7	12	4	3
4	M5x10	5	10	9	15	5	4
5	M5x16	5	16	9	15	5	4
6	M5x20	5	20	9	15	5	4
7	M5x25	5	25	9	15	5	4
8	M5x35	5	35	9	15	5	4
9		6	10				

Tabela 6.4. Parametri vijka

gde su:

D_v - prečnik glave vijka,

k_v - visina glave vijka,

L_v - dužina stabla vijka,

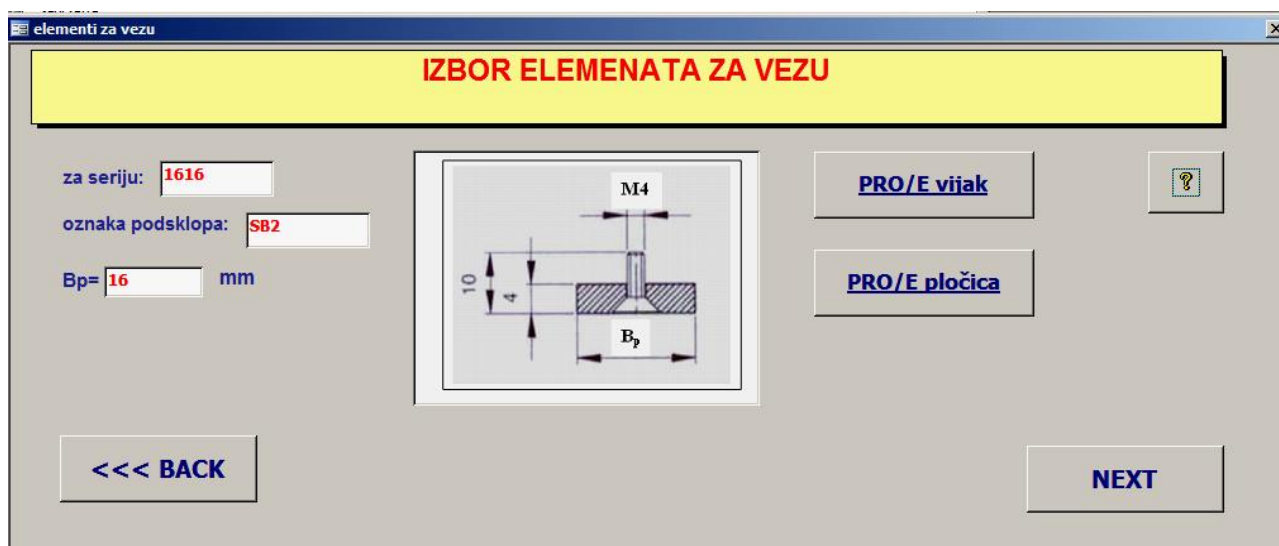
b_v - dužina navoja,

d_v - prečnik navoja,

s_v - otvor ključa i

L_u - ukupna dužina vijka.

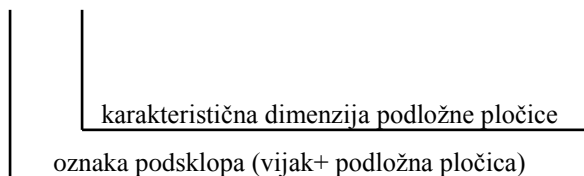
Na slici 6.28 prikazuje se forma za izbor podsklopa „veza 1” koji se sastoji iz podložne pločice (odstojnika) i odgovarajućeg vijka (pozicija 3, slika 6.1).



Slika 6.28. Forma za izbor podsklopa „veza 1”

Na slici 6.29 prikazuje se sistem označavanja podsklopa: „veza 1”.

SBX - Bp



gde su:

SB – slovna oznaka,

X, Bp – celobrojne vrednosti.

Slika 6.29. Sistem označavanja podsklopa "veza 1"

Funkcionalne veze između objekata na formi mogu se prikazati na sledeći način:

- SBX f (serija)
- Bp f (serija)
- vijak M4x10 se koristi za sve serije alata.

Relaciona zavisnost parametara može se predstaviti sledećim pravilima:

IF (serija) THEN (SBX, Bp)(6.38).

7. RAZVOJ MODELA MODULARNOG SISTEMA

Model modularnog sistema (poglavlje 5) i proračun i izbor elemenata alata (poglavlje 6) predstavlja polaznu osnovu za razvoj modularnog sistema. U nastavku će se prikazati metod korišćen za razvoj modularnog sistema sa stanovišta modeliranja.

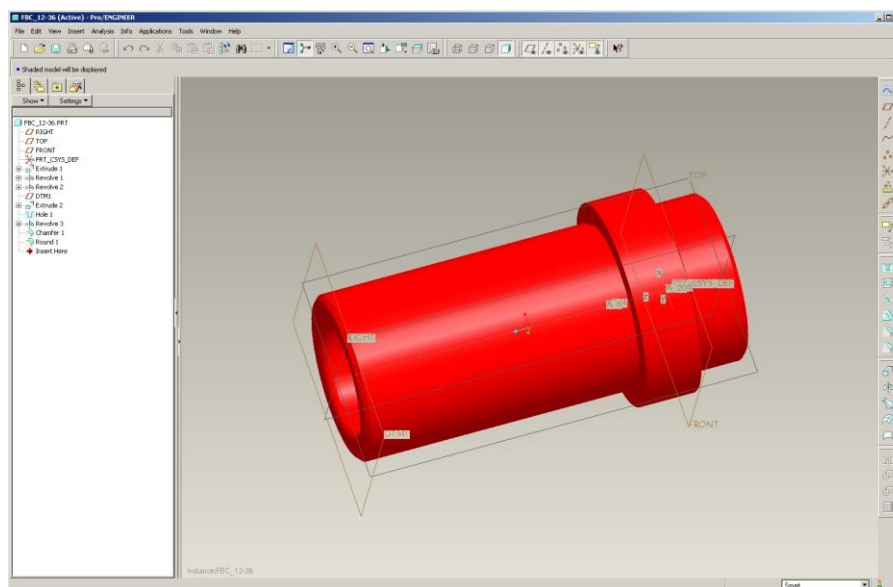
7.1. AUTOMATIZACIJA MODELIRANJA ELEMENATA ALATA U MODULIMA 3 I 4

U razvoju ovog modularnog sistema iskorišćena je opcija za modeliranje grupa elemenata od tipskog predstavnika, koja nudi mogućnost primene metoda za varijantno i parametarsko projektovanje, kao i razvoj BP elemenata alata.

Da bi se izvršilo modeliranje elemenata koji pripadaju određenoj grupi, potrebno je kreirati model tipskog predstavnika koji sadrži sve elementarne modelske forme koji se nalaze na pojedinim elementima alata. Zatim se na osnovu modela tipskog predstavnika, može dobiti bilo koji element alata koji pripada datoj seriji. Ovaj tipski predstavnik predstavlja "roditelj" za seriju elemenata, a elementi koji se na osnovu njega kreiraju nazivaju se „instance“. Pri modeliranju tipskog predstavnika mora se voditi računa da se sve modelske forme modeliraju kao nezavisne i što jednostavnije celine, kako bi se na osnovu njegovog modela mogli generisati pojedini konkretni elementi. Generisanje pojedinih elemenata se vrši izborom modelskih formi koje poseduje konkretan element, i definisanjem vrednosti karakterističnih dimenzija. Definisanje parametara modelske forme vrši se u odgovarajućim tabelama Access-a, Excel-a ili Pro/Table-a). Opcija „Family Table“ primenjena je za definisanje modelske forme, parametara i dimenzija svakog od tipskih elemenata za:

- elemente kućište alata [39, 78, 80, 81, 82],
- elemente za vođenje i centriranje,
- elemente za vezu.

Pojedini tipski elementi alata imaju iste modelske forme i različite vrednosti karakterističnih dimenzija. Na slici 7.1 dat je prikaz modela tipskog predstavnika čaure vođice tip FBC.



Slika 7.1. Model tipskog predstavnika čaure vođice tip FBC

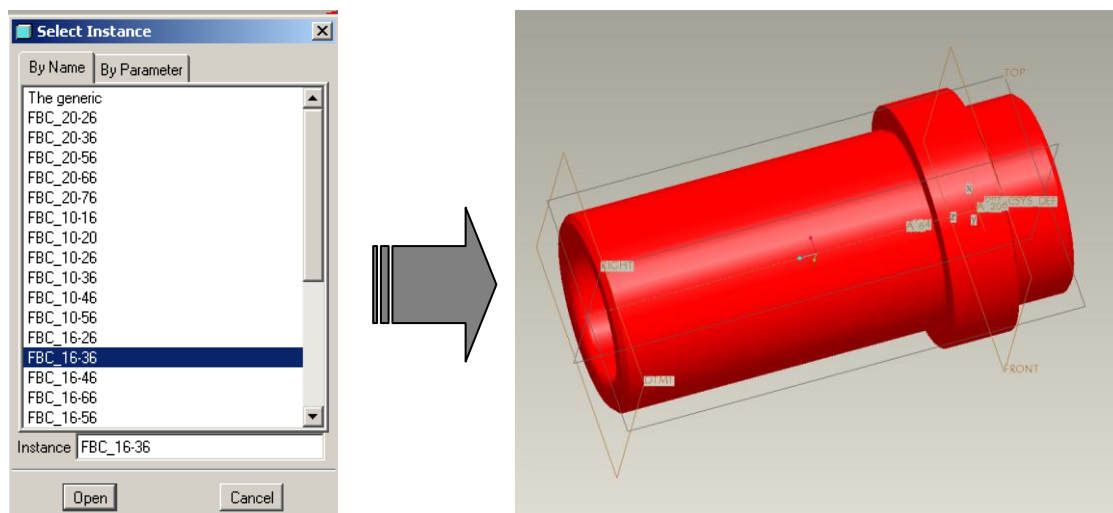
Slika 7.2 prikazuje strukturu tabele za definisanje tipskih elemenata, odnosno konkretnog elementa na osnovu tipskog predstavnika čaure vođice tip FBC. [173].

Type	Instance Name	Common Na..	d5	d6	d1	d25	d24	d0	d26
	FBC	fbc.prt	14.00	16.00	16.00	14.00	6.10	3.00	10.00
	dim FBC		E3k6	B3	D3	E3e7	A3	F3	d3H7
	FBC_20-26	fbc.prt	28.00	26.00	32.00	28.00	9.00	6.00	20.00
	FBC_20-36	fbc.prt	28.00	36.00	32.00	28.00	9.00	6.00	20.00
	FBC_20-56	fbc.prt	28.00	56.00	32.00	28.00	9.00	6.00	20.00
	FBC_20-66	fbc.prt	28.00	66.00	32.00	28.00	9.00	6.00	20.00
	FBC_20-76	fbc.prt	28.00	76.00	32.00	28.00	9.00	6.00	20.00
	FBC_10-16	fbc.prt	14.00	16.00	16.00	14.00	3.00	3.00	10.00
	FBC_10-20	fbc.prt	14.00	20.00	16.00	14.00	3.00	3.00	10.00
	FBC_10-26	fbc.prt	14.00	26.00	16.00	14.00	3.00	3.00	10.00
	FBC_10-36	fbc.prt	14.00	36.00	16.00	14.00	3.00	3.00	10.00
	FBC_10-46	fbc.prt	14.00	46.00	16.00	14.00	3.00	3.00	10.00
	FBC_10-56	fbc.prt	14.00	56.00	16.00	14.00	3.00	3.00	12.00
	FBC_16-26	fbc.prt	24.00	26.00	28.00	24.00	9.00	6.00	16.00
	FBC_16-36	fbc.prt	24.00	36.00	28.00	24.00	9.00	6.00	16.00
	FBC_16-46	fbc.prt	24.00	46.00	28.00	24.00	9.00	6.00	16.00
	FBC_16-66	fbc.prt	24.00	66.00	28.00	24.00	9.00	6.00	16.00
	FBC_16-56	fbc.prt	24.00	56.00	28.00	24.00	9.00	6.00	16.00

Slika 7.2. Struktura podataka za generisanje pojedinih elemenata u okviru tipske vođice FBC

Na slici 7.2 prvi red definiše generički, odnosno tipski predstavnik, dok svaki naredni red definiše po jednu instancu, odnosno konkretan element koji pripada posmatranom tipu. Svaka od ovih instanci sadrži oznaku elementa i vrednost dimenzija. Kolone predstavljaju odgovarajuće dimenzije pojedinih elemenata u okviru posmatranog tipa. Automatizacija modeliranja u ovom slučaju se odnosi na dobijanje modela konkretnih elemenata, na bazi modela tipskih predstavnika.

Model tipskog ili konkretnog željenog elementa se dobija veoma lako, izborom oznake pomoću dijalog prozora, (slika 7.3) ili imena instance (slika 7.2). Na ovaj način svi elementi koji pripadaju određenom tipu su smešteni u jednu datoteku, čime se postiže kompaktnost, a samim tim se izbegava mogućnost gubljenja podataka.



Slika 7.3. Selekcija konkretnog elementa pomoću dijalog prozora

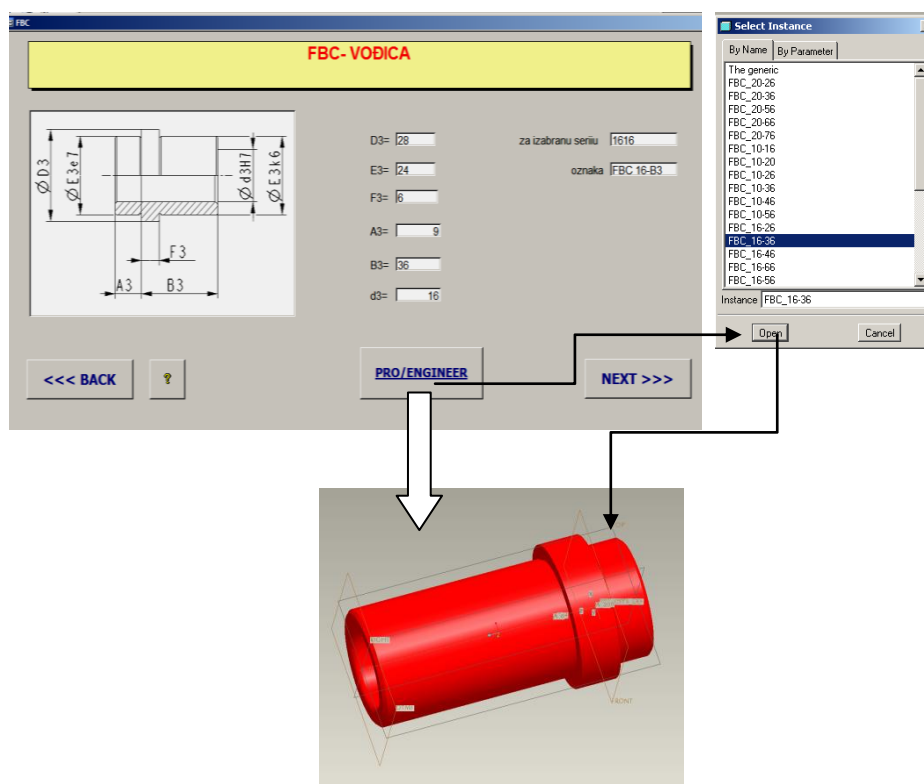
Nakon modeliranja ovi tipski elementi se mogu efikasno iskoristiti u fazi projektovanja i modeliranja sklopova alata za injekciono presovanje. Na pojedinim tipskim elementima će se u toku projektovanja alata morati modelirati dodatne modelske forme, kao što su na kokilama alatna šupljina, kanali za temperiranje, otvori za izbacivače, i sl. Korišćenjem asocijativnosti, kao jedne od bitnih karakteristika parametarskih univerzalnih sistema, za svaki od elemenata alata koji pripadaju određenom tipu, veoma brzo se iz 3D modela mogu generisati tehnički crteži, čime se u značajnoj meri racionalizuje ovaj deo aktivnosti rutinskih, nekreativnih aktivnosti. Predstavljeni način modeliranja koristi se za sve tipske elemente u alatu. Ovakav način modeliranja je prihvatljiviji za modeliranje brzih i jednostavnih modelskih formi tipskih predstavnika u odnosu na način modeliranja u Pro/Program-u ili J-Link-u, jer je popunjavanje tabela brže i jednostavnije.

7.2. POVEZIVANJE BAZE PODATAKA CAD I CAE SISTEMA

Za razvoj modularnog sistema koriste se programski sistemi opšte namene koje je potrebno na neki način povezati, kako bi se ostvarila što bolja integracija. U konkretnom slučaju, razmatra se povezivanje Pro/E-a, odnosno njegovih modula (1, 2 i 4) i MS Access-a, kao sistema za razvoj BP.

Povezivanje BP u Access-u i CAD sistema, izvršeno je korišćenjem OLE tehnologije, koja služi za povezivanje i ugrađivanje objekata koji se koriste u Windows aplikacijama. Na ovaj način model tipskih elemenata alata iz CAD modula sa definisanim tabelama elemenata je povezan sa Access BP. Pozivanje konkretnog tipskog elementa alata se vrši pomoću njegove oznake u formiranoj tabeli za tipske elemente alata.

Pošto se elementi za vođenje i centriranje (poglavlje 6.1), i elementi za vezu (poglavlje 6.4) mogu jednoznačno izabrati, može se pozvati njihov odgovarajući CAD model (slika 7.4). Slika 7.4 prikazuje ostvarenu OLE vezu na primeru čaure vođice tip FBC.



Slika 7.4. Primer ostvarene veze između Pro/E i MS Access-a

7.3. RAZVOJ INTEGRISANE BAZE PODATAKA I BAZE ZNANJA

Zaključivanje se vrši na osnovu ulaznih podataka zadatih od strane korisnika i podataka koji su memorisani u BP. Ovi podaci se uglavnom odnose na geometrijske i tehnološke podatke. Ulazni podaci, koje unosi korisnik, definišu se pomoću namenskog grafičkog korisničkog okruženja. BP je relaciona i objektno orijentisana i integralna na nivou čitavog sistema.

BP sadrži geometrijske i tehnološke podatke za:

- plastične materijale,
- sklopove alata,
- elemente alata,
- materijale alata i
- ubrizgavalice.

Baza znanja je integrisana na nivou celog sistema, u okviru koje se mogu izdvojiti određene klase ili elementi baze znanja, gde se vrše određena odlučivanja. Definisane su sledeće klase baze znanja posmatranog sistema:

- za izbor standardnih elemenata kućišta alata [39, 78, 80, 81, 82],
- za izbor standardnih elemenata za vođenje i centriranje,
- za izbor standardnih elemenata za vezu,
- za materijale elemenata alata [80, 81, 82, 161, 162, 173],
- za plastične materijale [80, 81, 82, 193, 198] i
- za izbor ubrizgavalice.

Integrirana baza znanja je razvijena kombinovanjem strukture podataka koji su memorisani u BP i procedura razvijenih u VBA okruženju. Na ovaj način se razvija produkcionni sistem koji se zasniva na ideji uspostavljanja uslovno posledičnih parova, odnosno primeni produkcionih pravila. To znači da je produkcija „uslov – akcija“ par u kome se na levoj strani navode elementi koje treba posmatrati, odnosno elementi koji predstavljaju uslove, a sa desne strane je lista aktivnosti, odnosno pravila koje treba realizovati.

AKO (Uslov)→ONDA (Akcija) (IF→THEN)

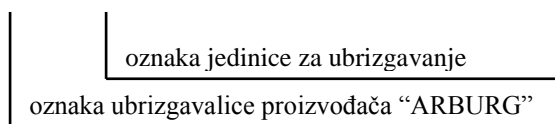
Ispunjavanjem uslova nastaje posledica, a sukcesivnim aktiviranjem više pravila nastaje lanac zaključivanja. Nalaženje rešenja postavljenog problema vrši se pretraživanjem pravila iz određene baze znanja. U disertaciji uglavnom se primenjuje povezivanje pravila unapred, odnosno ulančavanje unapred, gde korisnik polazi od istinitih iskaza i ide ka pojedinačnim međurezultatima i na kraju dolazi do rešenja problema.

8. IZBOR UBRIZGAVALICE U MODULARNOM SISTEMU

8.1. PODELA UBRIZGAVALICA

U modulu 3 (slika 5.1, slika 5.2) modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike je usvojen sledeći sistem označavanja ubrizgavalica, prikazan na slici 8.1 [136, 138, 139, 152, 153].

AAAB - JU



gde su:

- AAA - celobrojna vrednost,
- B - slovna oznaka i
- JU - celobrojna vrednost.

Slika 8.1. Označavanje ubrizgavalice

Oznaka ubrizgavalice proizvođača „ARBURG” (oznaka ARBURG) „AAAB” sastoji se iz oznake jedinice za zatvaranje „AAA” i oznake pripadajućeg tipa ubrizgavalice „B”.

Ubrizgavalice se mogu podeliti s obzirom na veličinu radnog intervala brzine obrtanja pužnog vijka [136, 154]:

- velike brzine obrtanja pužnog vijka, $v_{pv}=0,4$ do $1,5$ [m/s],
- standardne brzine obrtanja pužnog vijka, $v_{pv}=0,2$ do $0,4$ [m/s] i
- male brzine obrtanja pužnog vijka, $v_{pv}=0,05$ do $0,2$ [m/s].

Ubrizgavalice se prema položaju alata dele na:

- horizontalne i
- vertikalne.

Horizontalne ubrizgavalice se mogu podeliti na sledeće tipove:

- tip A (sa električnim servo pogon)
- tip S (sa hidrauličkim pogonom) i,
- tip H (hibridne).

Vertikalne ubrizgavalice⁸ (tip V) se prema vrsti stola mogu podeliti na:

- ubrizgavalice sa prizmatičnim stolom i
- ubrizgavalice sa rotacionim stolom.

Vertikalne ubrizgavalice⁸ nisu indeksirane u BP modularnog sistema.

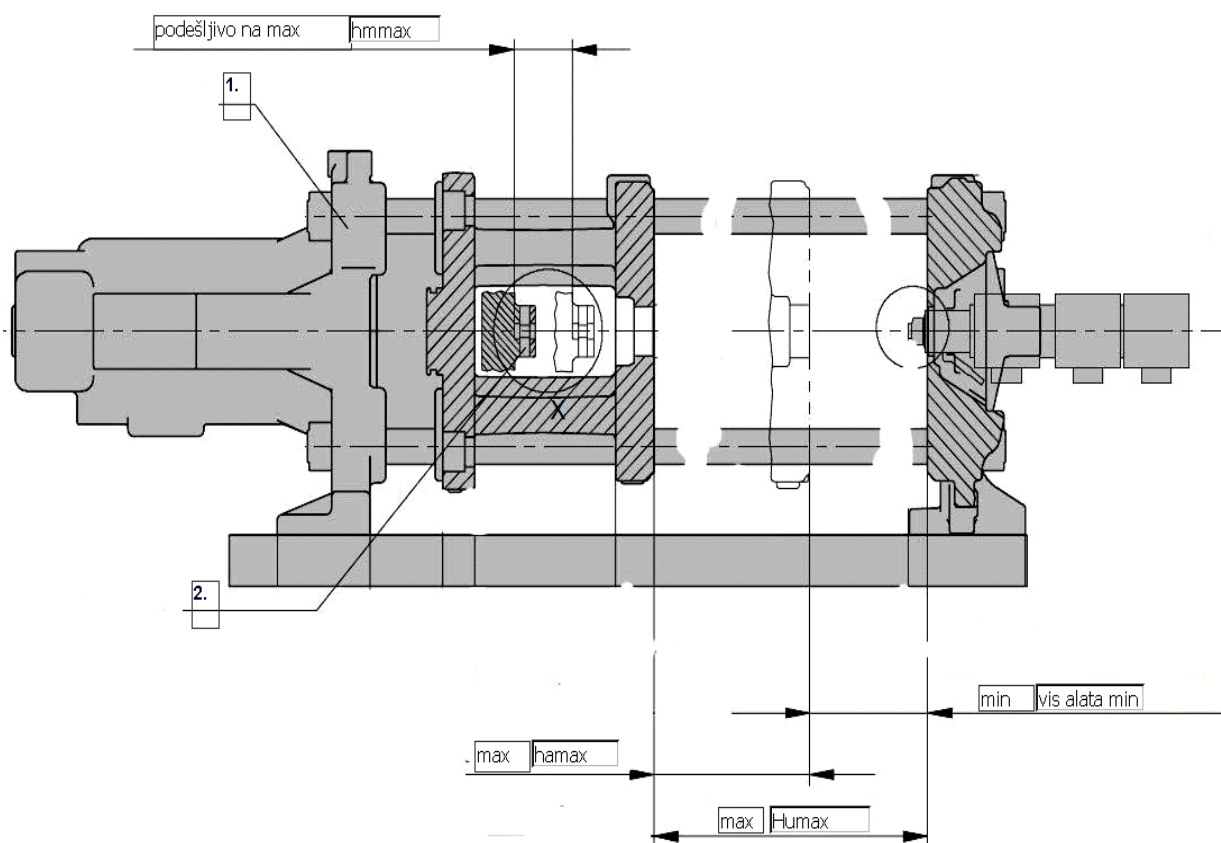
8.2. PARAMETARSKI PRIKAZ UBRIZGAVALICE

Parametarski prikaz (PDT) jedne od više ubrizgavalica iz BP sadrži odgovaraju skicu, dimenzione karakteristike i oznaku ubrizgavalice što prikazuju slike 8.2 i 8.3.

Dimenzione karakteristike ubrizgavalica su (slika 8.2):

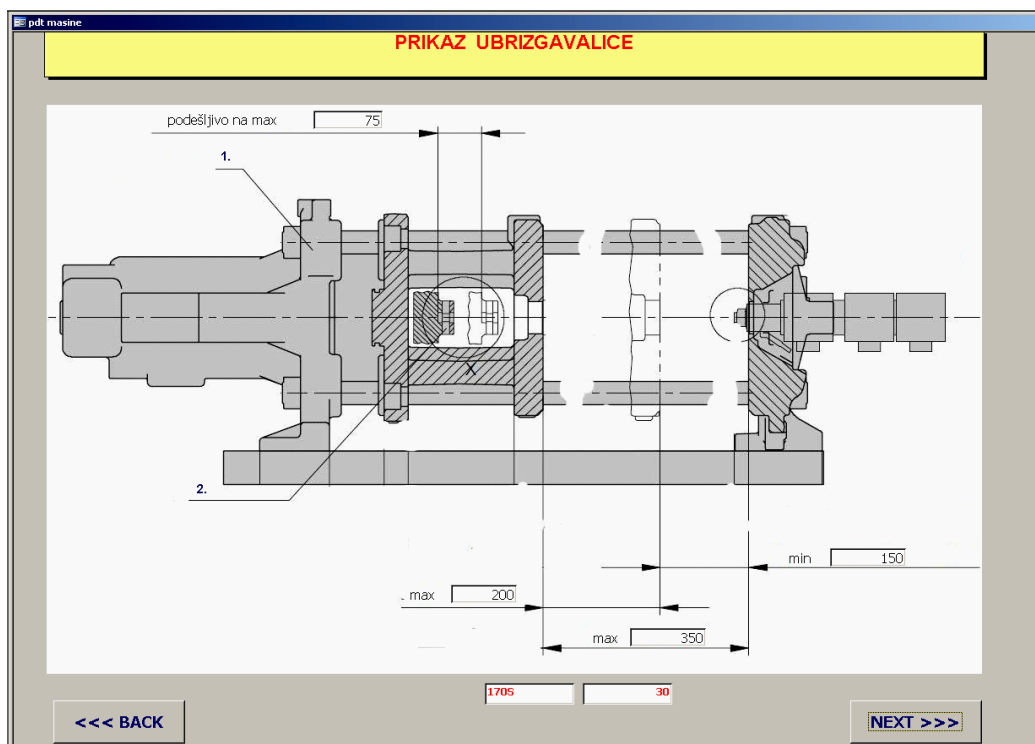
- h_{mmax} - najveći hod izbacivača mašine,
- h_{amax} - najveći kataloški hod otvaranja alata na mašini,
- H_{Umax} - najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice,
- T_{Amax} - najveća ukupna visina alata koji se može postaviti na mašinu i
- T_{amin} – minimalna kataloška visina alata koji se može postaviti na mašinu.

Slika 8.2 prikazuje parametarski prikaz ubrizgavalice na primeru ubrizgavalice „170S-30” izražen preko promenljivih.



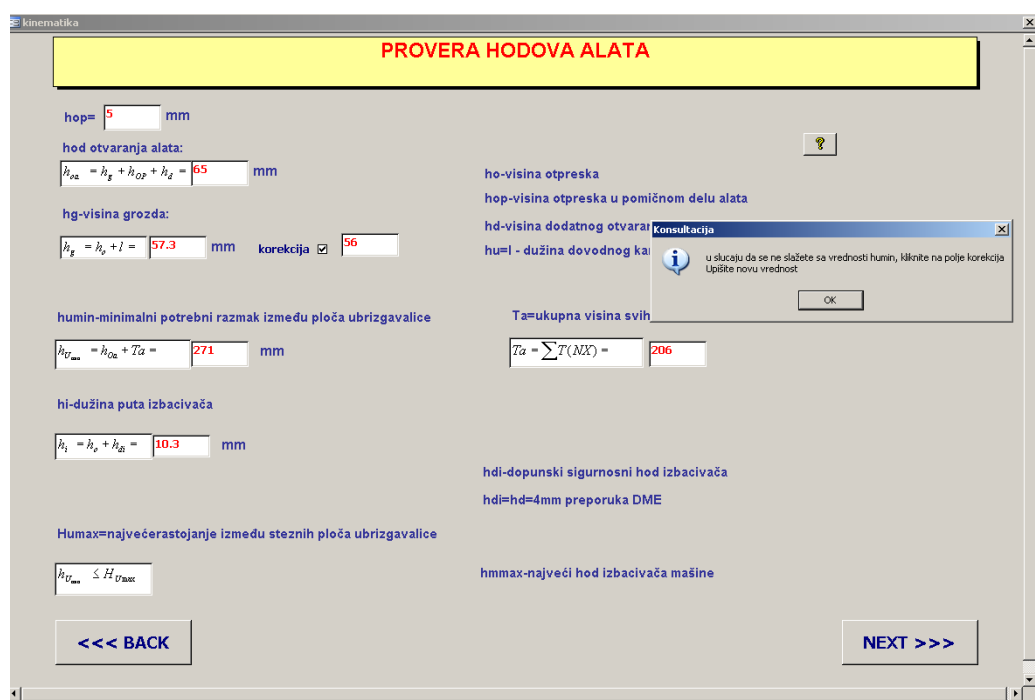
Slika 8.2. Parametarski prikaz ubrizgavalice „170s – 30”

Slika 8.3 prikazuje parametarski prikaz ubrizgavalice na primeru ubrizgavalice „170S – 30” izražen preko konkretnih vrednosti za promenjive prikazane na slici 8.2.



Slika 8.3. Forma za parametarski prikaz ubrizgavalice „170s – 30”

S obzirom da brzine primicanja/odmicanja pokretne od nepokretne polovine alata preporučuje i kontroliše upravljačka jedinica, potrebno je proveriti hodove neophodne za pravilno kretanje elemenata alata i izbor ubrizgavalice. Na slici 8.4 prikazuje se forma za proveru hodova alata.



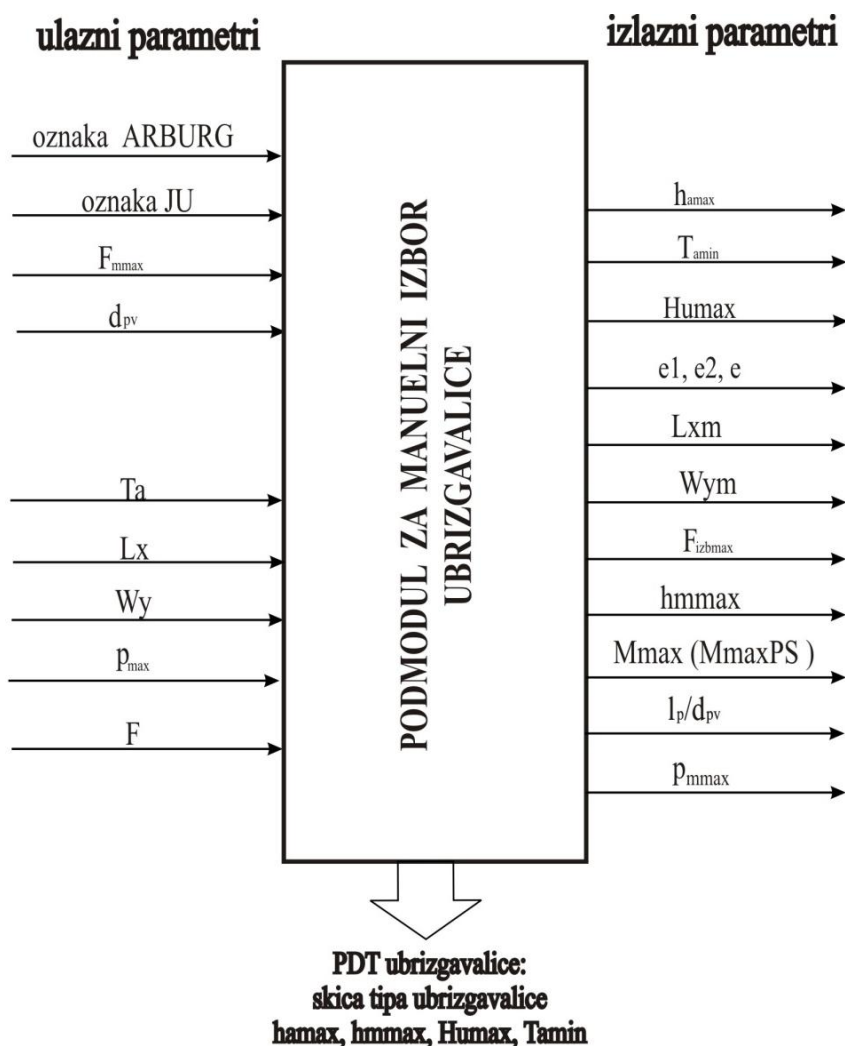
Slika 8.4. Forma za proveru hodova alata

Na osnovu jednačina 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 određuju se parametri značajni za nesmetano kretanje elemenata alata. Uslov predstavljen izrazom 6.20, mora biti zadovoljen.

Veličine hodova pri otvaranju/zatvaranju alata mogu se proveriti grafički u "Pro/MOLD DESIGN-u" (modul 4) [78, 81, 179].

8.3. MANUALNI IZBOR UBRIZGAVALICE

Često se u proizvodnim sistemima dešava da je slobodna jedna, dve a vrlo retko više ubrizgavalica. Manualni izbor ubrizgavalice, odnosno izbor raspoložive mašine obavlja se nakon što je projektovan alat (odnosno definisani svi elementi kućišta alata, elementi za vođenje i centriranje, elementi za vezu, proračunati hod i sl.). Struktura podmodula za manualni izbor ubrizgavalice prikazana je na slici 8.5.



Slika 8.5. Ulazno-izlazni parametri podmodula za manualni izbor ubrizgavalice

U skladu sa strukturom podmodula za manualni izbor ubrizgavalice, biraju se sledeće ulazne veličine:

- oznaka ubrizgavalice ARBURG (AAAB),
- odgovarajuću jedinicu za ubrizgavanje (oznaka JU),
- katalogsku silu zatvaranja, tako da bude veća od izračunate,
- prečnik pužnog vijka za selektovanu mašinu.

Ostale ulazne veličine (slika 8.5) su predhodno proračunate u modulu 3. Forma za manualni izbor ubrizgavalice je prikazana na slici 8.6.

KARAKTERISTIKE RASPOLOŽIVE UBRIZGAVALICE

izaberite tip raspoložive mašine: 170S

izaberite jedinicu za ubrizgavanje: 30

izaberite silu zatvaranja: $F_{mmax} = 125$

izaberite prečnik pužnog vijka: $dpv = 15$

SKICA MAŠINE

Karakteristike ubrizgavalice (katalog):

maksimalna sila zatvaranja mašine: $F_{mmax} = 125$ [kN]

maksimalni hod otvaranja alata: $h_{amax} = 200$ [mm]

min visina alata postavljenog na mašinu: $T_{amin} = 150$ [mm]

najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice: $H_{Ummax} = 350$ [mm]

rastojanje između susednih vodica: $e_1 = e_2 = e = 170$ [mm]

dimenzije ploča: h x v: 275 x 275 [mm]

najveća sila izbacivanja mašine: $F_{izb max} = 16$ [kN]

maksimalni hod izbacivača mašine: $h_{mm max} = 75$ [mm]

Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja: $M_{max} = 9.5$ [g]

Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal PS: $M_{max(PS)} = 9.5$ [g]

efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka: $lpv/dpv = 17.7$

Najveći pritisak ubrizgavanja mašine: $p_{m max} = 2200$ [bar]

Proračunate veličine:

$F = 27.9$ [kN]

$Ta = 206$ [mm]

L x X Wy: 156x156 [mm]

<<< BACK

NEXT >>>

Slika 8.6. Forma za manualni izbor ubrizgavalice

Ovaj podmodul nudi korisniku modularnog sistema da na osnovu izračunatih parametara izabere ubrizgavalicu na sledeći način:

- selektuje oznaku ubrizgavalice koja je raspoloživa (prvu u padajućem meniju od raspoloživih ubrizgavalica, u slučaju da ih ima više),
- selektuje odgovarajuću oznaku jedinice za ubrizgavanje, (najmanju, odnosno prvu raspoloživu),

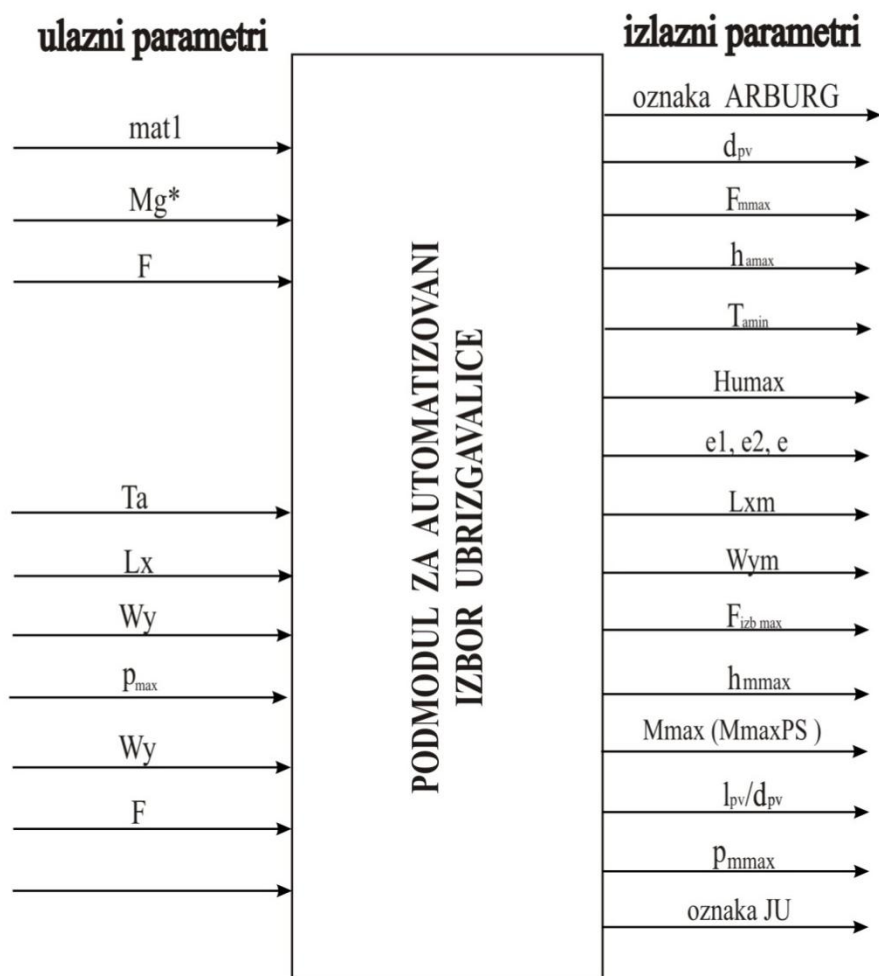
- izabere silu zatvaranja tako da bude veća od izračunate i
- izabere prečnik pužnog vijka za predhodno selektovanu mašinu (najmanji, odnosno prvi raspoloživi).

Ovaj način manualnog izbora zahteva koncentraciju korisnika. Korisnik može da pogreši. Način izbora je iterativan postupak. Rezultat izbora predstavlja parametarski prikaz (templejt) ubrizgavalice (slika 8.3). Potrebna rastojanja i dimenzione karakteristike zadovoljavaju, ako su kataloški parametri ubrizgavalice prikazani na formi veći od proračunom definisanih.

Predstavljeni način izbora u odnosu na izbor bez korišćenja računara, u izvesnoj meri smanjuje vreme potrebno za izbor ubrizgavalice.

8.4. AUTOMATIZOVANI IZBOR UBRIZGAVALICE

Automatski izbor ubrizgavalice se obavlja nakon što je projektovan alat (odnosno definisani svi elementi kućišta alata, elementi za vođenje i centriranje, elementi za vezu, proračunati hodovi, i sl.). Struktura podmodula za automatizovani izbor ubrizgavalice je prikazana na slici 8.7.



Slika 8.7. Struktura podmodula za automatizovani izbor ubrizgavalice

U skladu sa strukturom podmodula za automatizovani izbor ubrizgavalice, korisnik bira ubrizgavalicu na sledeći način:

- selektuje plastični materijal, (mat1) (izabran u modulu 2);
- ako je potrebno, upisuje ukupnu masu grozda uvećanu za 20% (izračunatu u modulima 1 i 2);

Ostale ulazne veličine su ranije proračunate u modulu 3. Forma za automatizovani izbor ubrizgavalice je prikazana na slici 8.8.

IZBOR UBRIZGAVALICE

Materijal otkovka: ?

Mg[°] merodavno: [g]

prečnik pužnog vijka: [mm] oznaka jedinice za ubrizgavanje:

Oznaka ubrizgavalice "ARBURG":

Karakteristike ubrizgavalice (katalog):

maksimalna sila zatvaranja mašine: $F_{mmax} =$ [kN]

maksimalni hod otvaranja alata: $h_{a,max} =$ [mm]

min visina alata postavljenog na mašinu: $T_{amn} =$ [mm]

najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice: $H_{vm,max} =$ [mm]

rastojanje između susednih vodica: $e_1 = e_2 = e =$ [mm]

dimenzije ploča: h x v x [mm]

najveća sila izbacivanja mašine: $F_{izm,max} =$ [kN]

maksimalni hod izbacivača mašine: $h_{m,max} =$ [mm]

Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja: $M_{max} =$ [g]

Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal PS: $M_{max(PS)} =$ [g]

efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka: $l_{pv} / d_{pv} =$

Najveći pritisak ubrizgavanja mašine: $p_{m,max} =$ [bar]

Proračunate veličine:

$F =$ [kN]

$T_a =$ [mm]

Lx X Wy: [mm]

<<< BACK

Slika 8.8. Forma za automatizovani izbor ubrizgavalice

U podmodulu za automatizovani izbor ubrizgavalice vrši se provera:

- vrednosti sile zatvaranja alata (modul 3) i prve veće vrednosti maksimalne sile zatvaranja mašine;
- prečnika pužnog vijka d_{pv} (za isti tip ubrizgavalice, sistem analizira najmanje vrednosti);
- proračunatih hodova iz podmodula za proveru hoda sa odgovarajućim kataloškim, odnosno provera veličine alata sa radnim prostorom ubrizgavalice;

- proverava odnos veličina p_{mmax} i p_{max} ;
- podmodul proverava ukupnu masu ubrizgavanja za izabrani plastični materijal sa maksimalnom teorijskom masom ubrizgavanja (M_{max}). U slučaju da ne postoje podaci za potreban termoplast u BP plastičnih materijala za izbor ubrizgavalice, tada se za vrednost M_{max} , usvaja $M_{max}(PS)$, kao da je materijal PS, u skladu sa preporukama. [136, 141, 142, 152].

Funkcionalne veze i relacije zavisnosti parametara mogu se predstaviti sledećim izrazima:

$$\text{IF (mat1, } M_g^*) \text{ THEN (} d_{pvmin}, JU_{min}, M_{max}) \dots\dots\dots (8.1).$$

$$p_{max} < p_{mmax} \dots\dots\dots (8.2).$$

$$h_i \leq h_{mmax} \dots\dots\dots (8.3).$$

$$(L_x, W_y) < (h, v) \dots\dots\dots (8.4).$$

$$M_g^* < M_{mmax} \dots\dots\dots (8.5).$$

$$T_{amin} < T_a \dots\dots\dots (8.6).$$

$$(e_1, e_2) < (h, v) \dots\dots\dots (8.7).$$

$$F \leq F_{mmax} \dots\dots\dots (8.8).$$

Tabela 8.1. prikazuje parametre ubrizgavalica iz BP.

tabela 8.1.														
JU	F_{mmax}	$T_a \text{ min}$	H_{mmax}	e	h _{xv}	F_{izbmax}	h_{amax}	h_{mmax}	d_{pv}	l_{pv}/d_{pv}	M_{max}	M_{maxPS}	P_{mmax}	oznaka
30	125	150	350	170	275	16	200	75	15	17.7	9.5	9.5	2200	170S
30	150	150	350	170	275	16	200	75	18	14.5	13.5	14	2000	170S
30	180	150	350	170	275	16	200	75	18	14.5	13.5	21	2000	170S
30	700	200	600	370	510	30	400	125	15	17.7	9.5	9.5	2200	370S
30	700	200	600	370	510	30	400	125	18	14.5	13.5	14	2000	370S
70	150	150	350	170	275	16	200	75	18	24.5	20	21	2500	170S
70	180	150	350	170	275	16	200	75	22	20	30	31	2000	170S
70	350	150	350	270	380	10	200	60	18	24.5	20	21	2500	270A
70	350	150	350	270	380	10	200	60	22	20	30	31	2000	270A
70	350	150	350	270	380	10	200	60	25	17.5	39	40	1550	270A
70	200	200	550	270	446	30	350	125	18	24.5	20	21	2500	270C
70	200	200	550	270	446	30	350	125	22	20	30	31	2000	270C
70	200	200	550	270	446	30	350	125	25	17.5	39	40	1550	270C
70	700	200	600	370	510	30	400	125	22	20	30	31	2000	370S
70	180	150	350	170	275	16	200	75	25	17.5	39	40	1550	170S
70	700	200	600	370	510	30	400	125	25	17.5	39	40	1550	370S
100	700	200	600	370	510	30	400	125	20	25	27			
100	700	200	600	370	510	30	400	125						
100	700	200	600	370	510	30	400	125						
170	700													

Tabela 8.1. Parametri ubrizgavalice [141, 142]

Maksimalni pritisak ubrizgavanja predstavlja merodavni pritisak za poređenje sa pritiskom koji definiše proizvođač mašine. Maksimalni pritisak ubrizgavanja je specifičan pritisak u ulivnoj šupljini usvaja na formi za proračun sile zatvaranja alata [82]. Zbog potpune sigurnosti pri izboru ubrizgavalice može se izračunati specifični pritisak pomnožiti sa koeficijentom sigurnosti (jednačina 8.9).

$$p_{max} = p_K \cdot 1,2 \dots\dots\dots (8.9).$$

p_{max} - maksimalni pritisak u alatnoj šupljini,

p_{mmax} - maksimalni pritisak ubrizgavanja mašine.

Tabela 8.2 prikazuje zavisnost jedinice za ubrizgavanje (JU), prečnika pužnog vijka i maksimalne teorijske mase ubrizgavanja za različite termoplaste. U slučaju da ne postoji materijal otpreska u tabeli 8.2, modul koristi maksimalnu teorijsku masu ubrizgavanja za materijal PS (M_{max} (PS)) u skladu sa preporukama.

d_{pv}	ABS	CA	CAB	JU	PA 6-6	PA6	PA6-10	PC	PMMA	POM	PS	PSU	SAN	SB	PE-HD	PE-LD	PA11
15	9.5	11	10	30	9.5	9.5	9	10	10	12	9.5	10.5	9.5	9.5	7.5	7.5	9
18	13.5	15.5	14.5	30	14	21	13	14.5	14.5	17	13.5	15	13.5	13.5	11	10.5	13
18	20	24	22	70	21	21	19	22	22	26	21	23	20	21	16	16	19
20	27	32	30	100	28	26	26	30	30	35	29	31	27	28	22	22	26
22	20	24	33	70	31	31	29	33	32	39	31	34	30	31	24	24	29
25	39	45	42	70	40	40	37	42	42	50	40	44	39	40	31	30	37
25	43	50	47	100	44	44	41	47	46	55	45	49	43	44	35	34	41
25	52	61	56	170	53	53	50	57	56	66	54	58	52	53	42	41	50
30	93	109	101	290	96	96	90	102	100	120	97	105	93	95	76	73	90
30	62	73	68	100	64	64	60	68	67	80	65	70	62	63	50	49	60
30	74	87	81	170	77	77	72	81	80	96	77	84	74	76	60	59	72
35	101	119	110	170	104	104	98	111	109	130	105	115	101	103	82	80	98
35	126	148	138	290	131	131	122	139	136	163	132	143	126	129	103	100	122
35	135	158	147	400	140	140	131	148	145	174	141	153	135	137	110	106	131
40	176	207	192	400	183	183	171	193	190	227	184	199	176	179	143	139	171
40	165	194	180	290	171	171	160	181	178	213	172	187	165	168	134	130	160
45	223	262	243	400	231	231	216	244	240	287	232	252	223	227	181	176	216
45	278	327	304	800	288	288	271	309	305	359	291	315	284	284	227	218	309

Tabela 8.2. Maksimalne teorijske mase ubrizgavanja za najčešće korišćene termoplaste [141, 142]

Modul na osnovu poznate ukupne mase ubrizgavanja (Mg^*) i vrste materijala, usvaja prvu veću vrednost M_{max} ; JU_{min} i d_{pmin} .

Karakteristični parametri jedinice za ubrizgavanje (JU):

- d_{pv} - prečnik pužnog vijka, [mm]
- l_{pv} / d_{pv} - efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka,
- M_{max} - maksimalna teorijska masa ubrizgavanja, [g]
- $M_{max}(PS)$ - maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal polistiren, [g]
- p_{max} - maksimalni pritisak ubrizgavanja, [N/mm²]
- p_{mmax} - maksimalni pritisak ubrizgavanja mašine [N/mm²]

Karakteristični parametri jedinice za zatvaranje alata:

- $F_{m\max}$ - maksimalna sila zatvaranja mašine,
- $h_{a\max}$ - maksimalni kataloški hod otvaranja mašine,
- $T_{a\min}$ - minimalna kataloška visina alata koji se može postaviti na mašinu,
- $H_{U\max}$ - najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice,
- e_1 - veće rastojanje između susednih vođica,
- e_2 - manje rastojanje između susednih vođica,
- $e = e_1 = e_2$ rastojanje između susednih vođica za ($L_x=W_y$).

U modularnom sistemu generisana je nezavisna BP ubrizgavalica od standardnog PTC elektronskog kataloga. U slučaju da se koristi PTC katalog, postoji direktna OLE veza između Pro/Mold Design-a, EMX i elektronskog kataloga „Mold Library“. Generisana BP za ubrizgavalice, predstavlja integralni deo modula 3 i može se koristiti sa drugim univerzalnim CAX sistemima (CATIA, Solid Works i sl.) ili sa Pro/E bez kupovine PTC Mold Library. S obzirom da FTN poseduje elektronski katalog „Mold Library“, isti se može vrlo lako proširiti (dograditi) sa novim ubrizgavalicama.

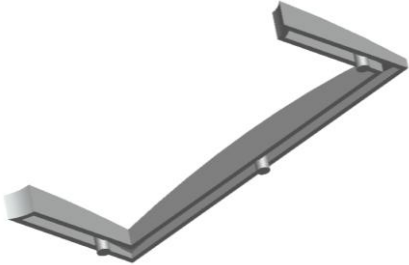
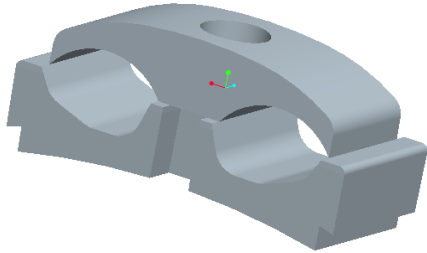
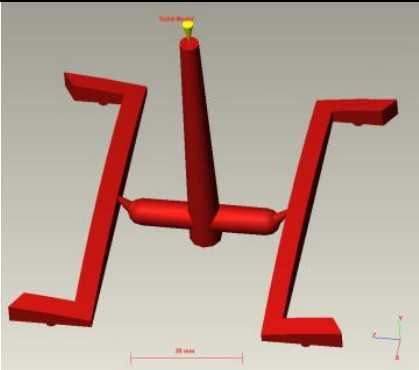
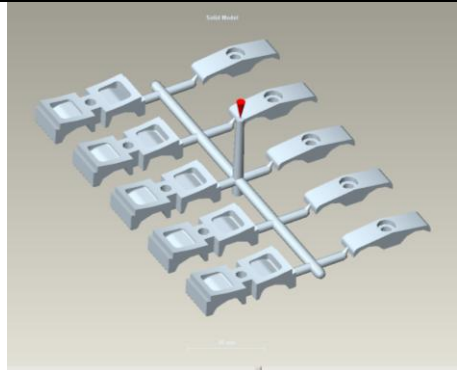
U odnosu na PTC elektronski katalog, razvijena BP uzima u obzir više parametara o ubrizgavalicama.

U BP uvrštene su ubrizgavalice sa jedinicom za ubrizgavanje sa pužnim vijkom zbog prednosti u odnosu na one sa klipnim cilindrom (poglavlje 4.1.2).

9. VERIFIKACIJA MODELA MODULARNOG SISTEMA

Verifikacija modela modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike (slika 5.1 i 5.2) prikazuje se na primeru dva alata.

U tabeli 9.1 su predstavljena dva plastična proizvoda, njihovi simulacioni modeli i elementi kućišta alata izabrani korišćenjem ranije razvijenog sistema.

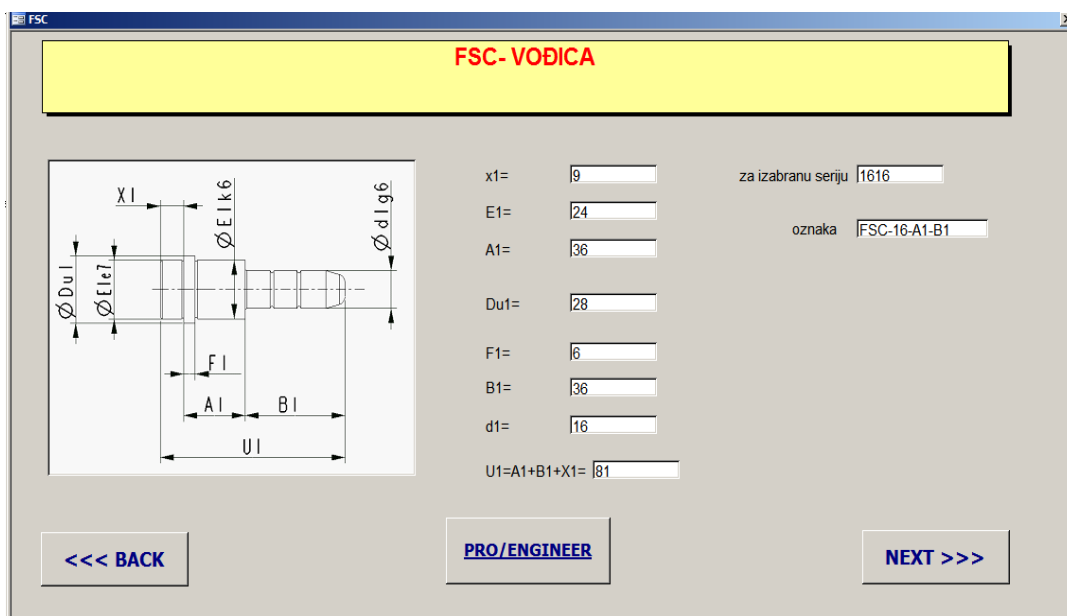
	Primer 1	Primer 2
Naziv proizvoda:	Međuram	Šelna
Model proizvoda:		
Materijal proizvoda:	ABS 780	ABS 728-B
Broj zahtevanih otpresaka u alatu:	2	5
Simulacioni model:		

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike

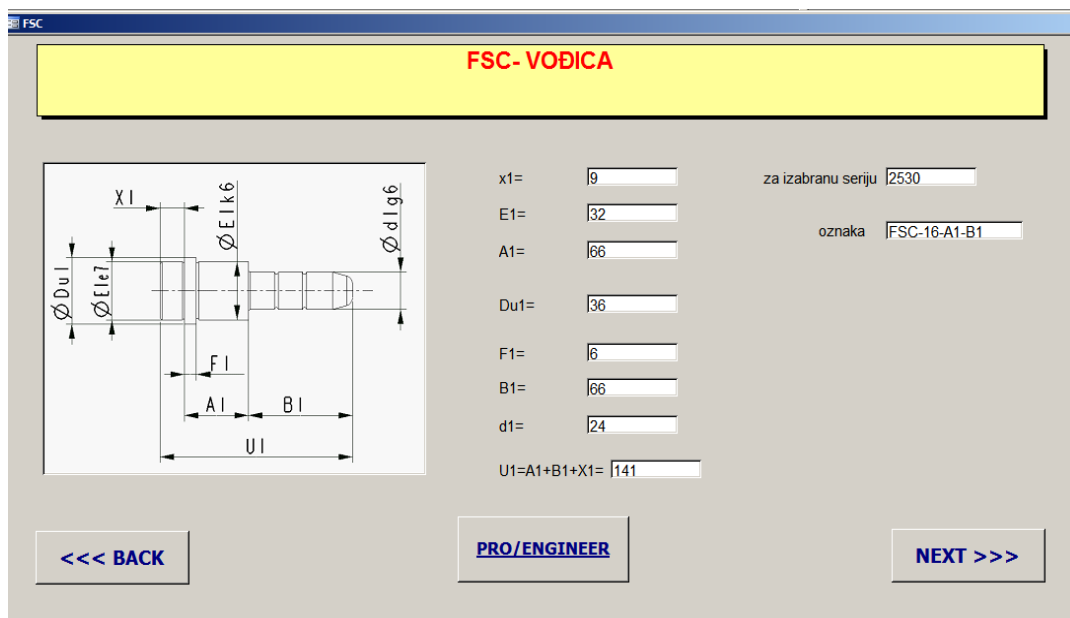
	Primer 1	Primer 2
Crtež simulacionog modela:		
Izabrana serija alata:	1616	2530
Dimenzije osnove kućišta alata [mm]:	156x156	246x296
Nepokretna stezna ploča:	N03-1616-20	N03-2530-26
Pokretna stezna ploča:	N04-1616-20	N04-2530-26
Nepokretna kokila:	N10A-1616-36	N10A-2530-66
Pokretna kokila:	N10B-1616-36	N10B-2530-66
Međuploča:	N20-1616-26	N20-2530-36
Distantne letve:	N30-1616-46	N30-2530-66
Izbacivačka ploča:	N40-1616-10	N40-2530-16
Nosač izbacivačke ploče:	N50-1616-12	N50-2530-26

Tabela 9.1. Izabrani elementi kućišta alata

Na osnovu prethodno usvojene serije alata (tabela 9.1), podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačine 6.8., 6.9, 6.10, 6.11 (poglavlje 6.2) bira stubnu vodiču FSC, i prikazuje njene osnovne dimenzione karakteristike (slika 9.1a i 9.1b).

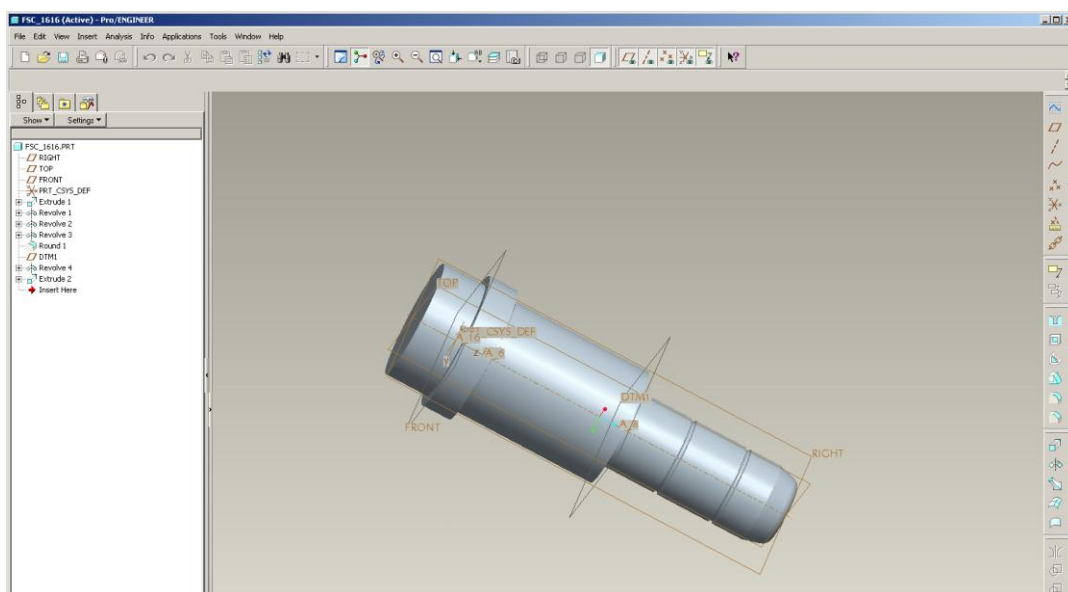


Slika 9.1a. Forma stubne vodiče FSC (primer 1)

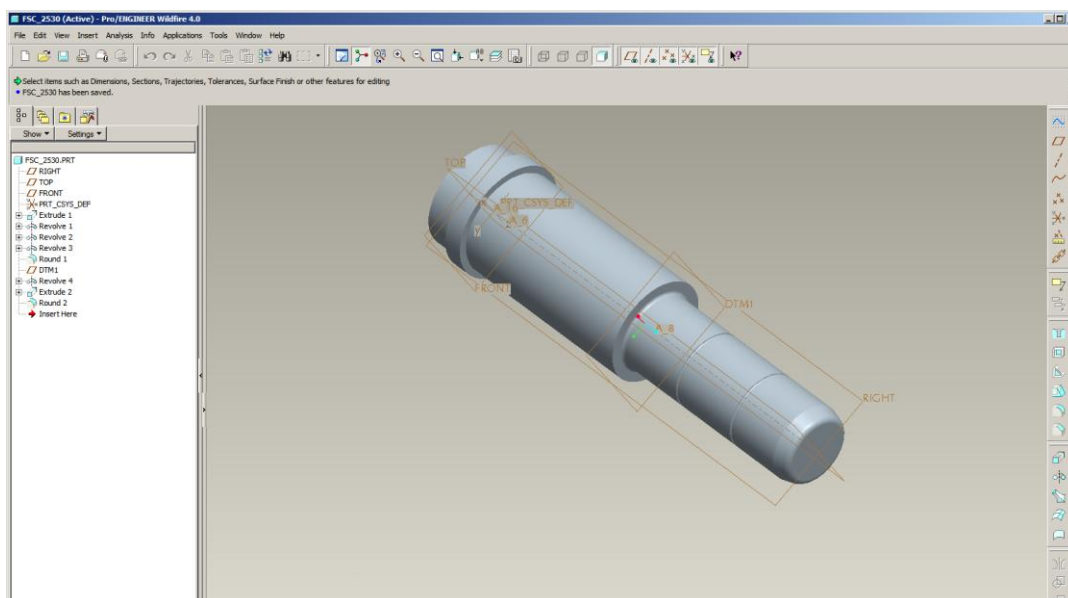


Slika 9.1b. Forma stubne vodiče FSC (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP (slika 9.2a i 9.2b).

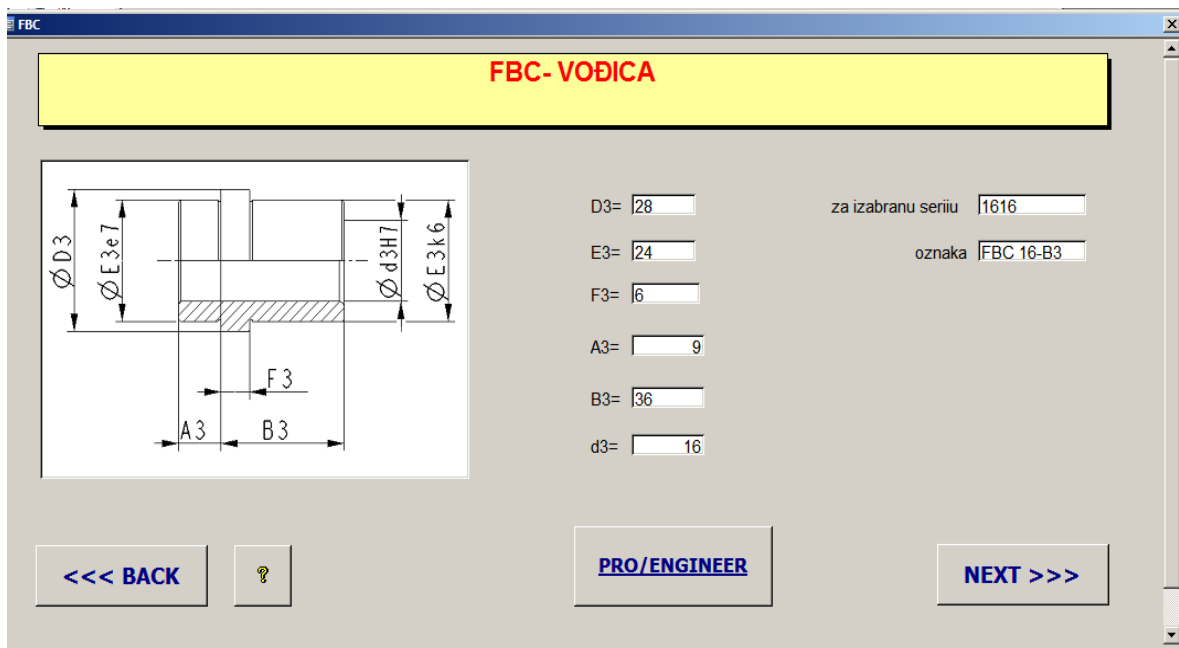


Slika 9.2a. Model stubne vođice FSC (primer 1)

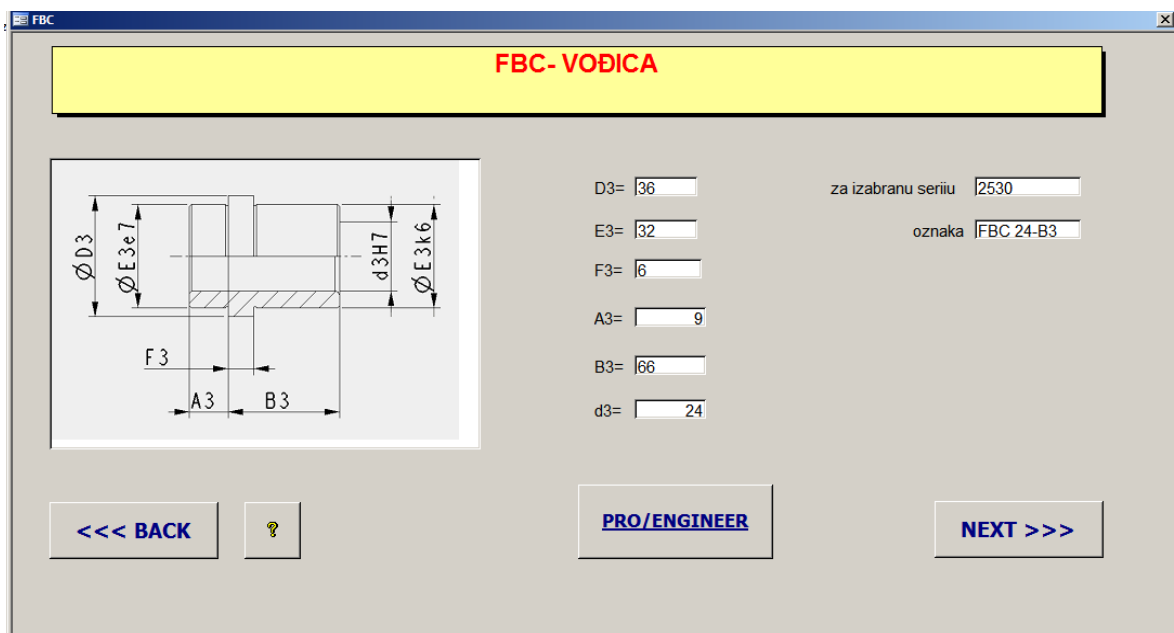


Slika 9.2b. Model stubne vođice FSC (primer 2)

Na osnovu prethodno usvojene serije alata (tabela 9.1), podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačine 6.12., 6.13 (poglavlje 6.2) bira čauru vođice FBC, i prikazuje njene osnovne dimenzije karakteristike (slika 9.3a i 9.3b).

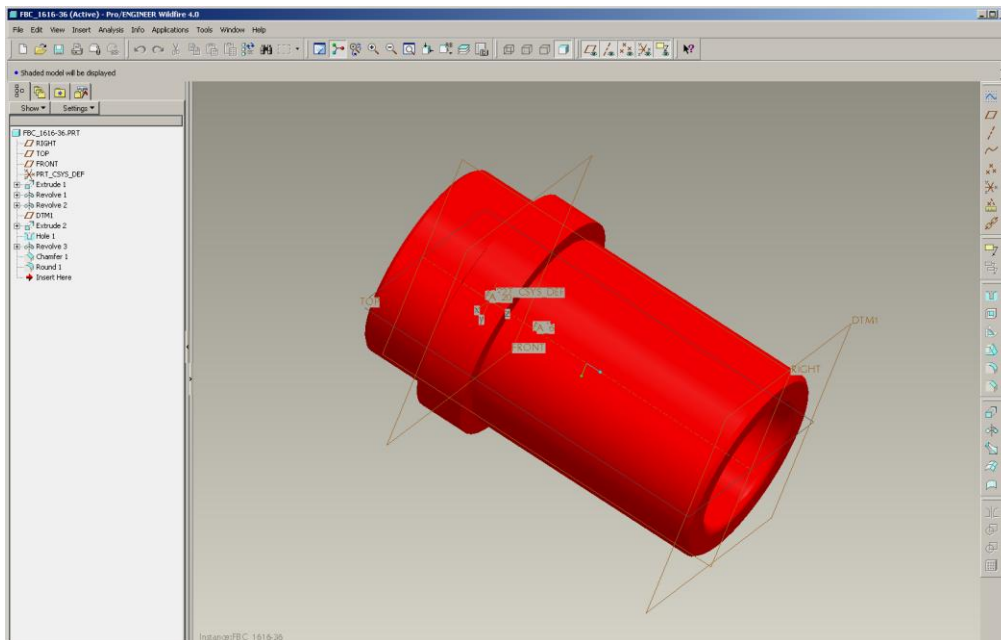


Slika 9.3a. Forma čaure vođice FBC (primer 1)

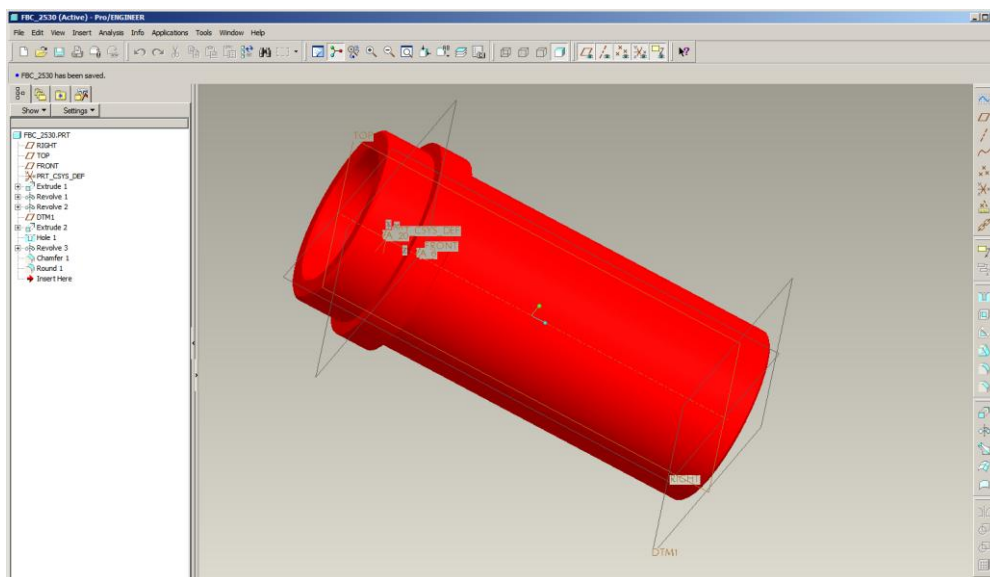


Slika 9.3b. Forma čaure vođice FBC (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP (slika 9.4a i 9.4b).

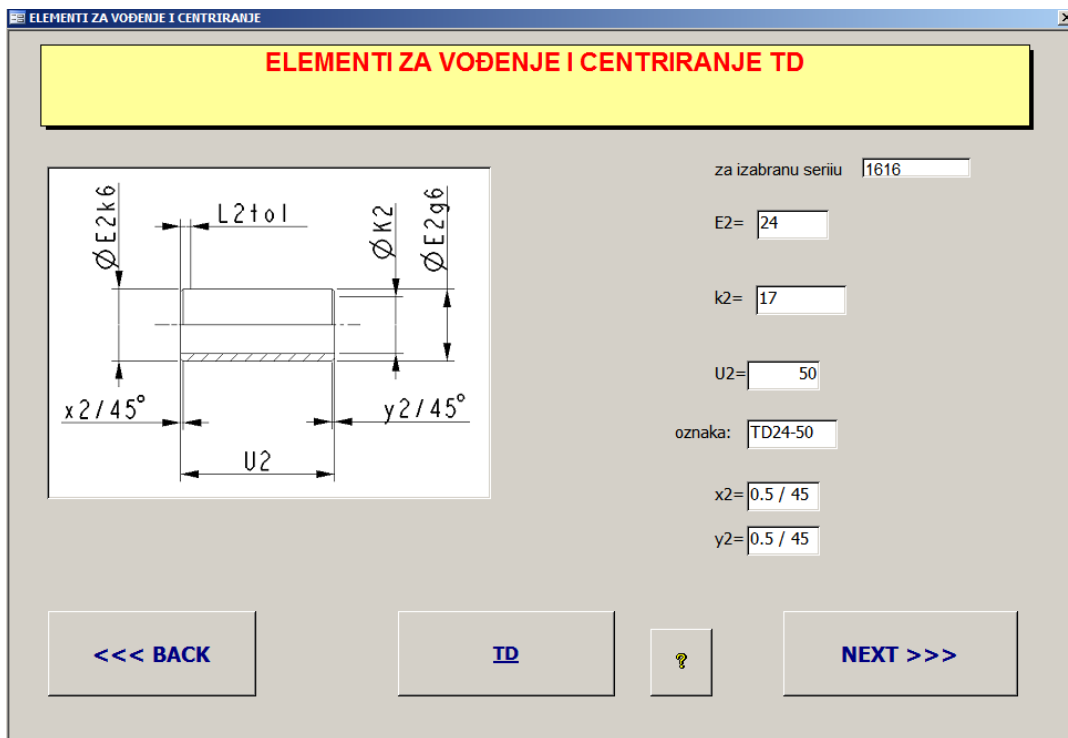


Slika 9.4a. Model čaure vođice FBC (primer 1)

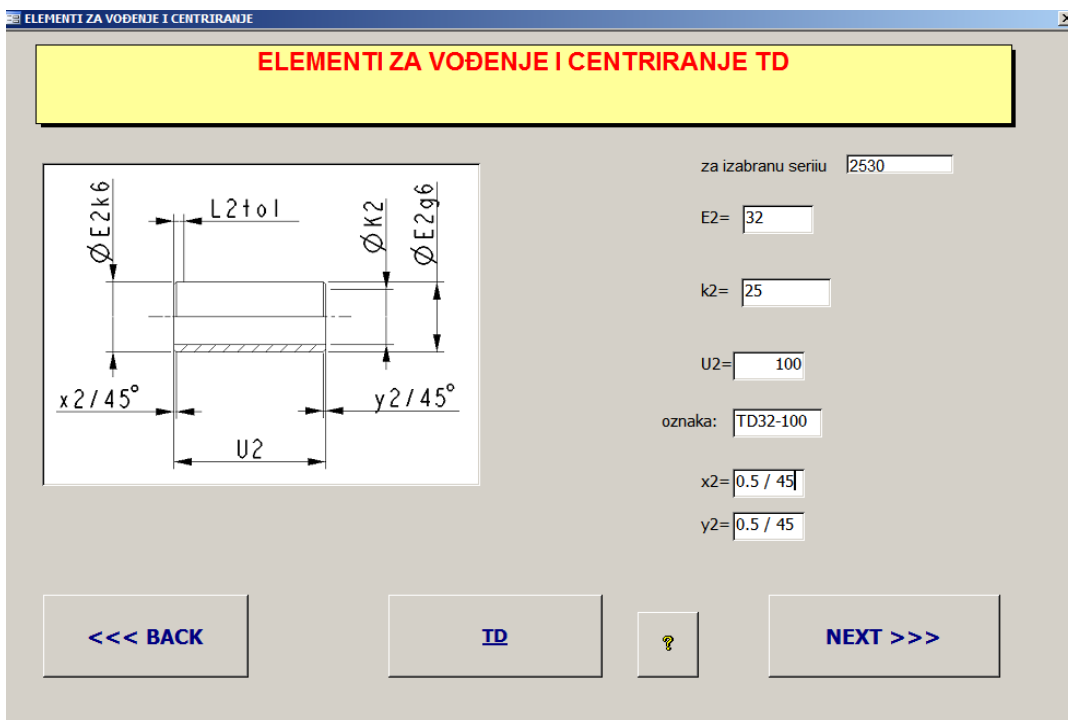


Slika 9.4b. Model čaure vođice FBC (primer 2)

Na osnovu prethodno usvojene serije alata (tabela 9.1), i način vođenja, podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačine 6.14., 6.15 (poglavlje 6.2) bira čauru za centriranje alata TD, i prikazuje njene osnovne dimenzije karakteristike (slika 9.5a i 9.5b).

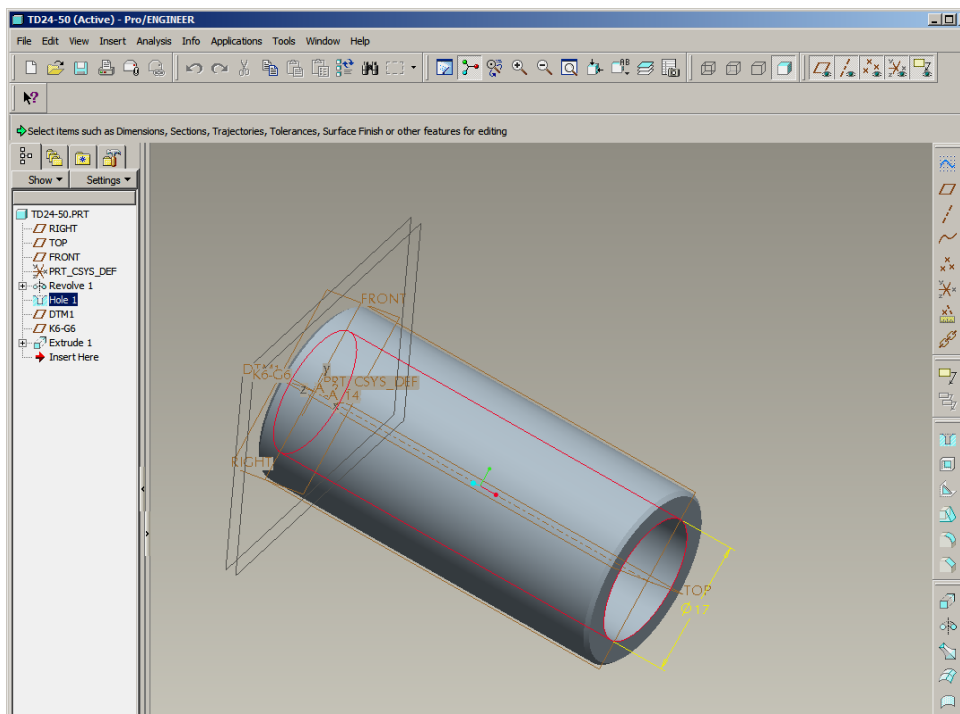


Slika 9.5a. Forma čaure vođice TD (primer 1)

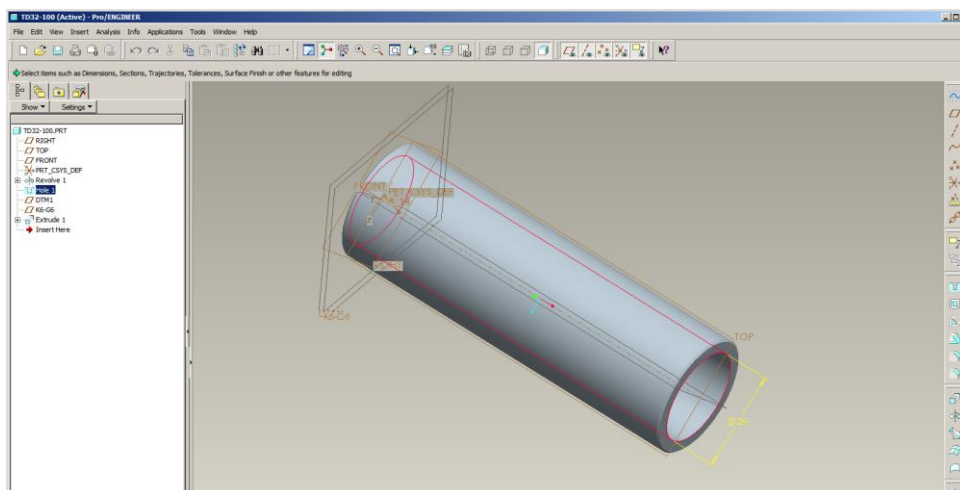


Slika 9.5b. Forma čaure vođice TD (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP (slika 9.6a i 9.6b).



Slika 9.6a. Model čaure TD (primer 1)

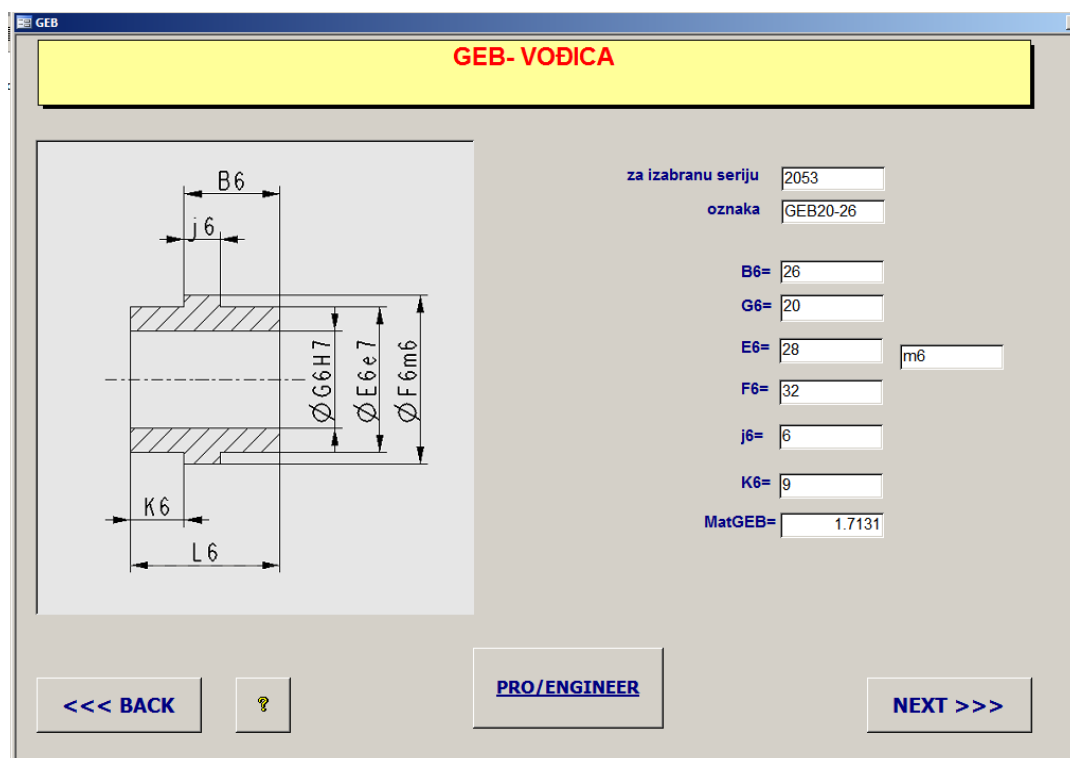


Slika 9.6b. Model čaure TD (primer 2)

Na osnovu prethodno usvojene serije alata (tabela 9.1), podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačina 6.14., 6.15 (poglavlje 6.2), tabele 6.2 i pretrage BP zaključuje da alat (primer 1), serije 1616 ne sadrži GEB čauru. Slika 9.7a prikazuje formu bez dimenzija. Alat (primer 2), serije 2530 sadrži GEB čauru čije su osnovne dimenzije karakteristike prikazane na slici 9.7b.



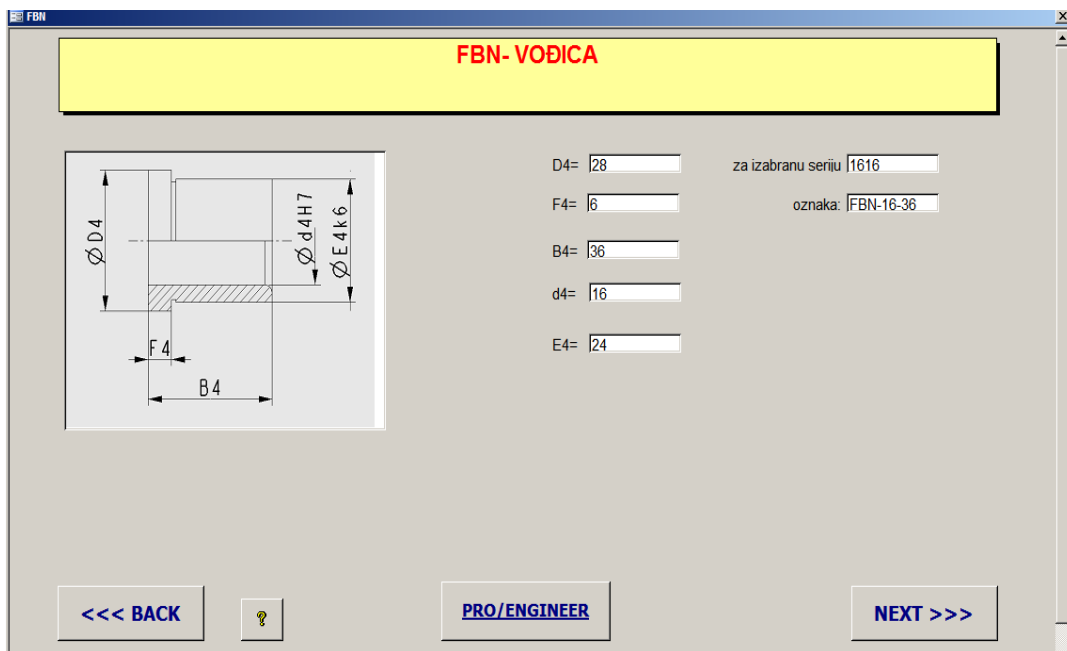
Slika 9.7a. Forma čaure vođice GEB (primer 1)



Slika 9.7b. Forma čaure vođice GEB (primer 2)

Na slici 9.7a i 9.7b prikazano je tolerancijsko polje „m6“ i materijal „1.7131“, jer su ove vrednosti iste za sve GEB vodice u BP.

Na osnovu prethodno usvojene serije alata, podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačine 6.11., 6.12 (poglavlje 6.2) bira čauru FBN, i prikazuje njene osnovne dimenzione karakteristike (slika 9.8a i 9.8b).

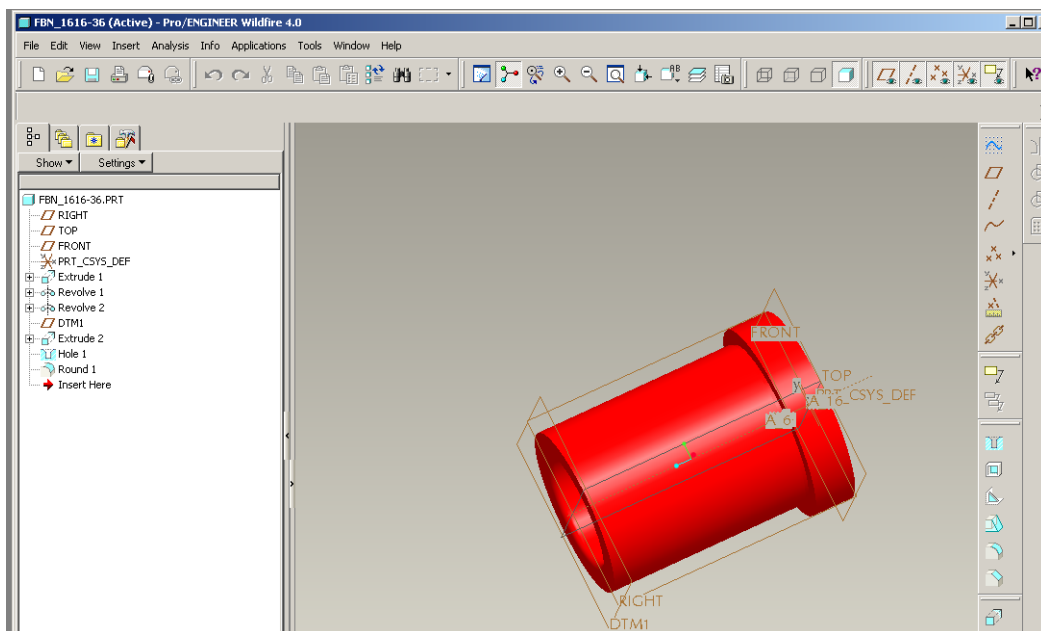


Slika 9.8a. Forma čaure vodice FBN (primer 1)

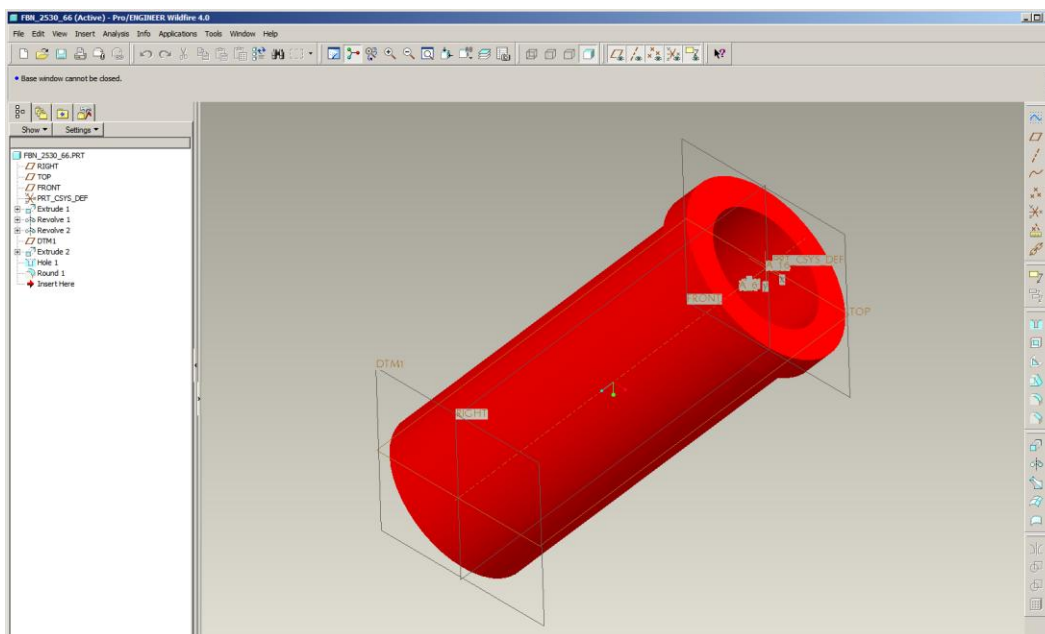


Slika 9.8b. Forma čaure vodice FBN (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP (slika 9.9a i 9.9b).

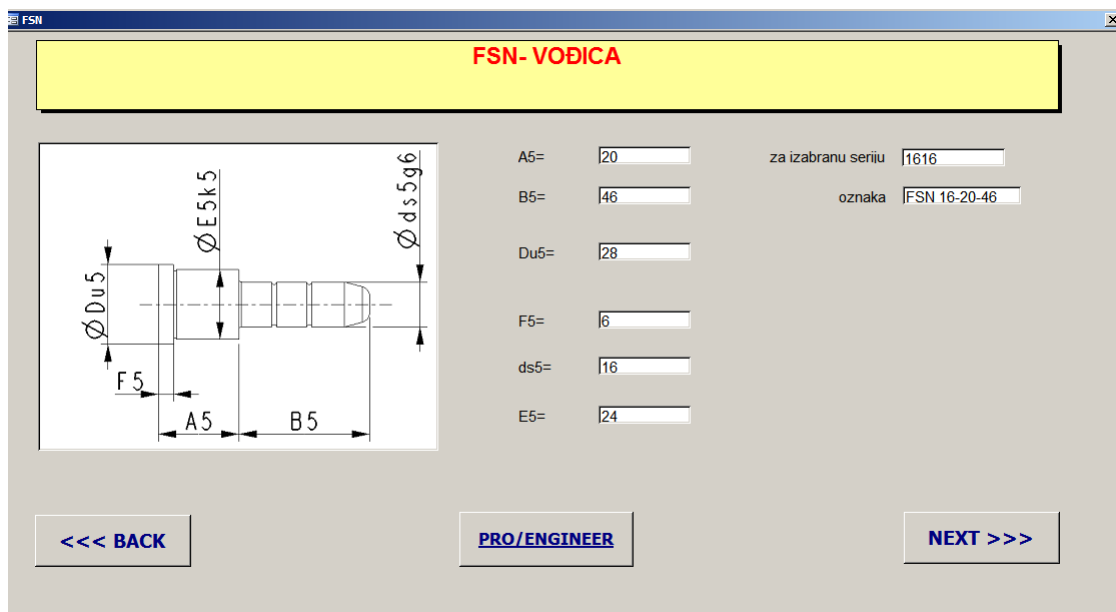


Slika 9.9a. Model čaure vodice FBN (primer 1)

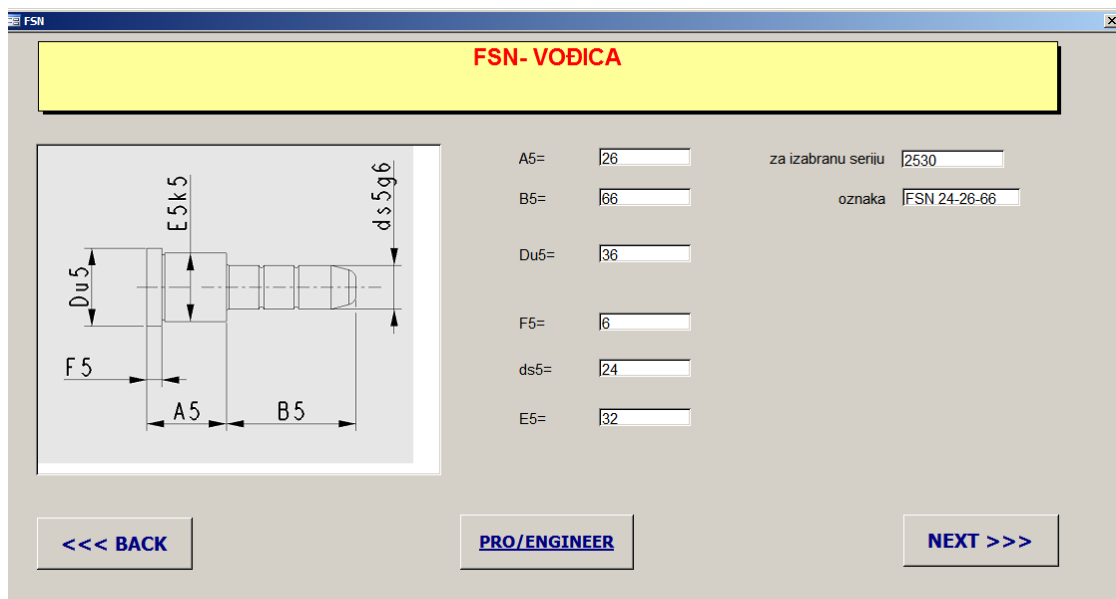


Slika 9.9b. Model čaure vodice FBN (primer 2)

Na osnovu prethodno usvojene serije alata i načine vođenja, podmodul za vođenje i centriranje na osnovu jednačine 6.13., 6.14 (poglavlje 6.2) bira stubnu vodicu FSN, i prikazuje njene osnovne dimenzije karakteristike (slika 9.10a i 9.10b).



Slika 9.10a. Forma stubne vođice FSN (primer 1)



Slika 9.10b. Forma stubne vođice FSN (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP.

Slike 9.11a i 9.11b prikazuju rezultate provere hoda alata dobijene na osnovu jednačina 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 (poglavlje 6.4.6).

kinematika

PROVERA HODOVA ALATA

hop= mm

hod otvaranja alata: ?

$h_{oa} = h_g + h_{op} + h_d =$ mm

hg-visina grozda:

$h_g = h_c + l =$ mm korekcija

hominimalni potrebni razmak između ploča ubrizgavalice

$h_{v_{min}} = h_{oa} + Ta =$ mm

hi-dužina puta izbacivača

$h_i = h_p + h_{st} =$ mm

Humax=najvećerastojanje između steznih ploča ubrizgavalice

$h_{v_{min}} \leq H_{v_{max}}$

Ta=ukupna visina svih alatnih ploča

$Ta = \sum T(NX) =$

hdi-dopunski sigurnosni hod izbacivača

hdi=hd=4mm preporuka DME

hmmax=najveći hod izbacivača mašine

<<< BACK

NEXT >>>

Slika 9.11a. Forma podmodula za proveru hodova alata (primer 1)

kinematika

PROVERA HODOVA ALATA

hop= mm

hod otvaranja alata: ?

$h_{oa} = h_g + h_{op} + h_d =$ mm

hg-visina grozda:

$h_g = h_c + l =$ mm korekcija

hominimalni potrebni razmak između ploča ubrizgavalice

$h_{v_{min}} = h_{oa} + Ta =$ mm

hi-dužina puta izbacivača

$h_i = h_p + h_{st} =$ mm

Humax=najvećerastojanje između steznih ploča ubrizgavalice

$h_{v_{min}} \leq H_{v_{max}}$

Ta=ukupna visina svih alatnih ploča

$Ta = \sum T(NX) =$

hdi-dopunski sigurnosni hod izbacivača

hdi=hd=4mm preporuka DME

hmmax=najveći hod izbacivača mašine

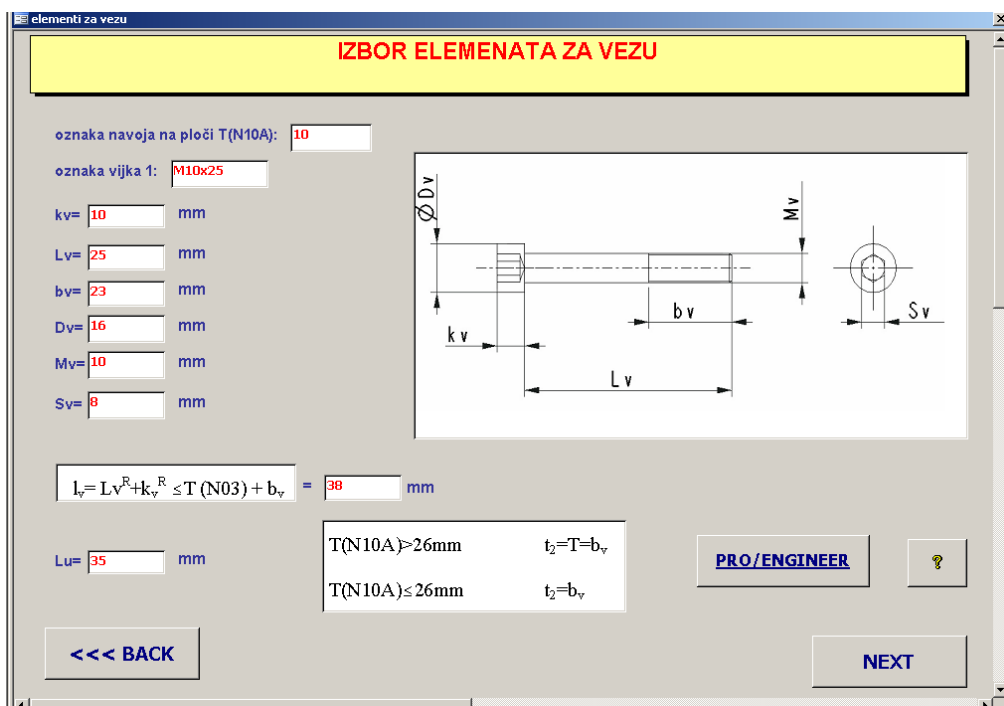
<<< BACK

NEXT >>>

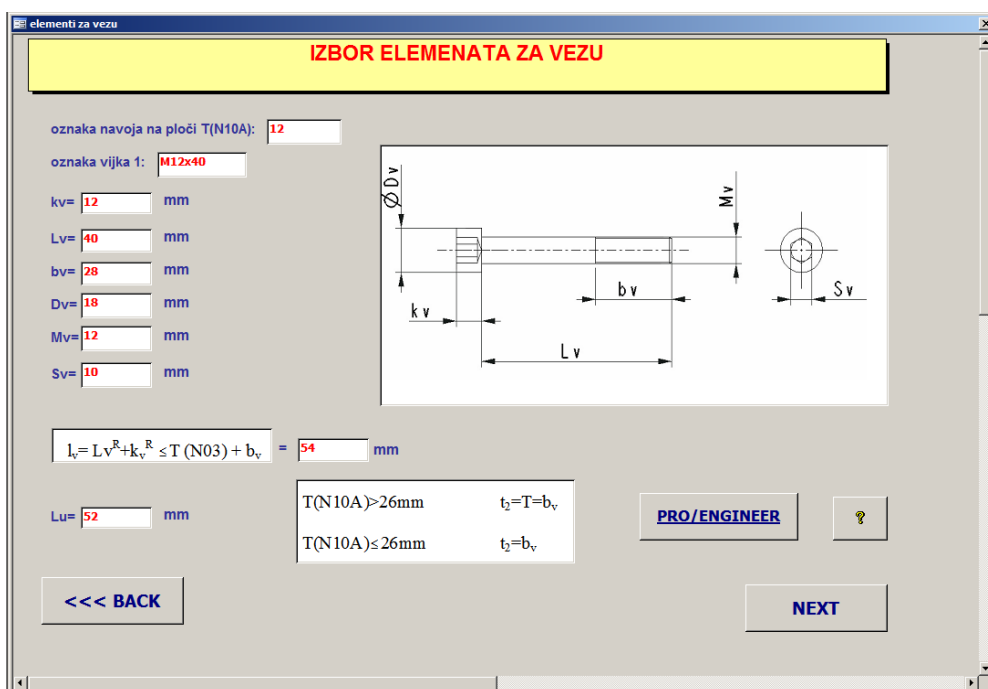
Slika 9.11b. Forma podmodula za proveru hodova alata (primer 2)

Podmodul za izbor elemenata za vezu služi za izbor vijaka pozicija 1 i 2 i podsklopa „veza 1“ (pozicija 3) (slika 6.1). Podsklop „veza 1“ sastoji se od vijka i podložne pločice.

Prvo se bira „vijak 1“ (pozicija 1, slika 6.1). Na osnovu jednačina 6.26, 6.27, 6.28, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32, 6.33 i tabele 6.4 poglavlje 6.5, podmodul za izbor elemenata za vezu bira vijke čije su karakteristične dimenzije prikazane na slikama 9.12a i 9.12b.

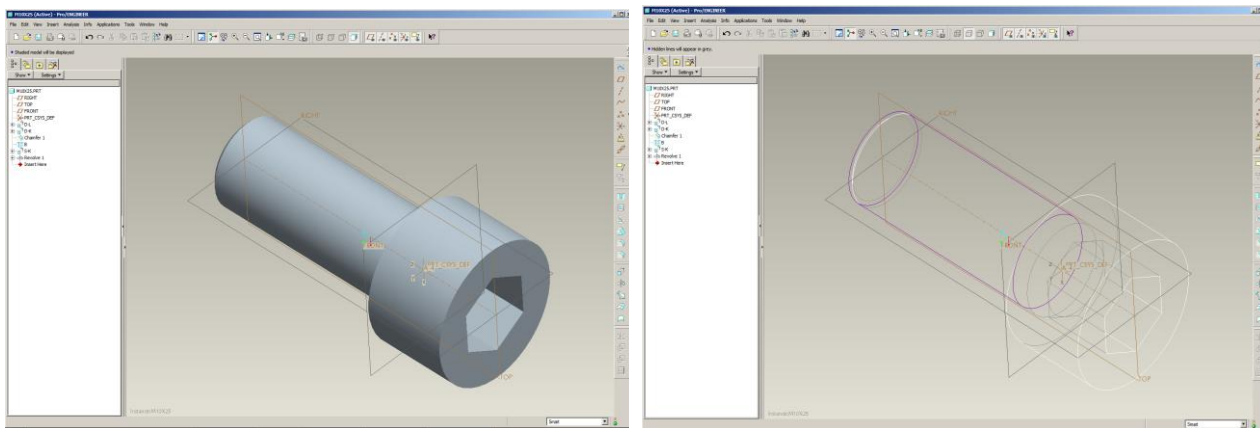


Slika 9.12a. Forma za izbor vijka pozicija 1 (primer 1)

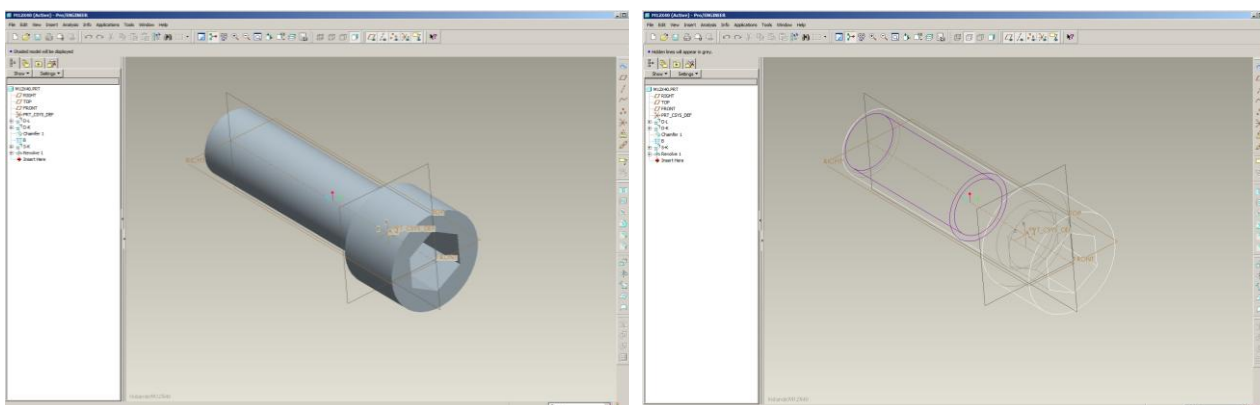


Slika 9.12b. Forma za izbor vijka pozicija 1 (primer 2)

Pošto su poznate osnovne dimenzije karakteristike 3D model je moguće učitati iz BP (slike 9.13a i 9.13b). Slike 9.13a i 9.13b prikazuju modele vijaka u osenčenom i žičanom prikazu.

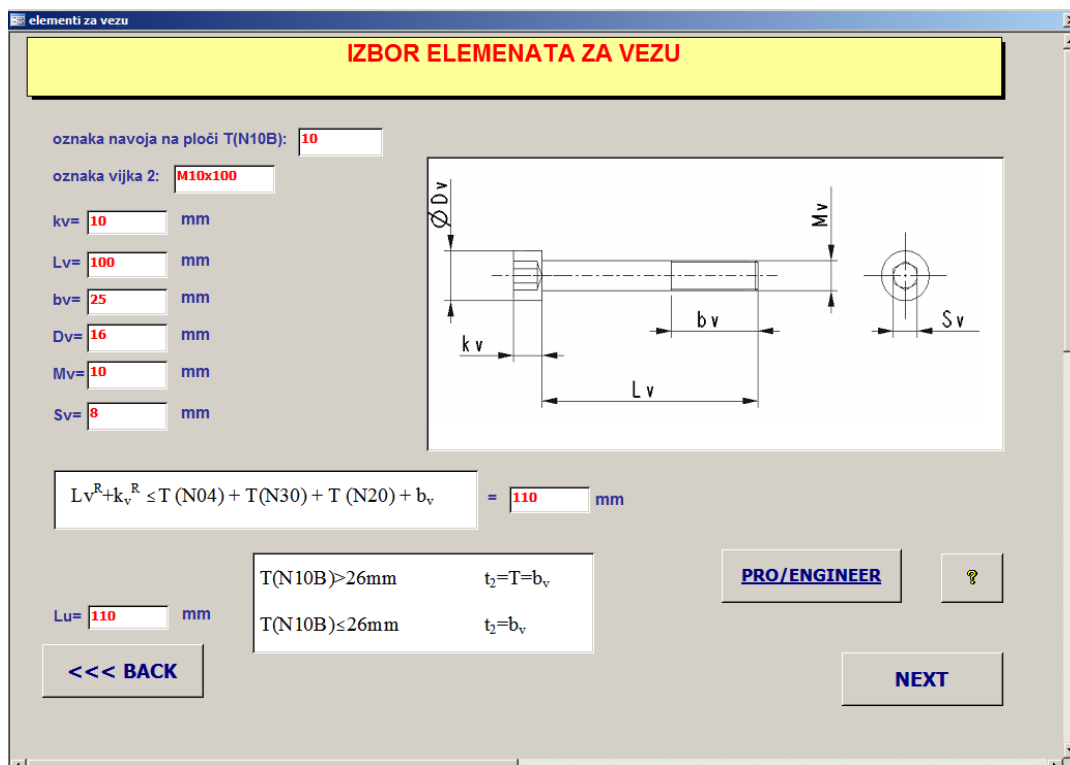


Slika 9.13a. Model “vijak 1” u osenčenom i žičanom prikazu (primer 1)

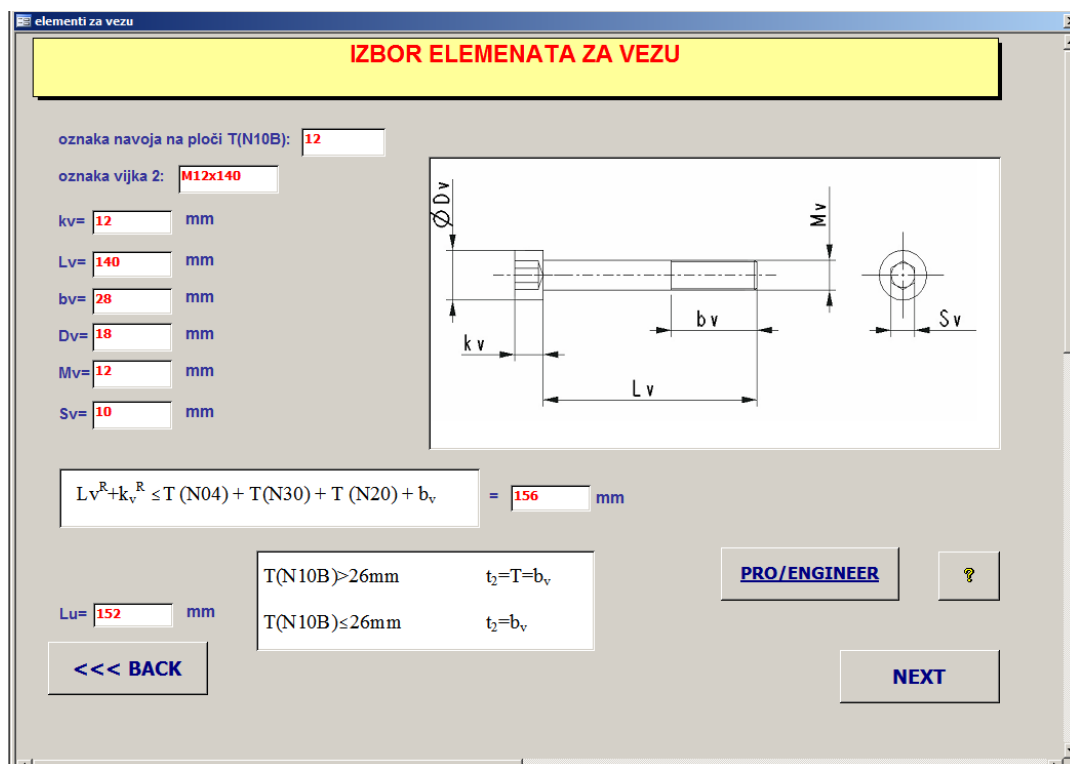


Slika 9.13b. Model “vijak 1” u osenčenom i žičanom prikazu (primer 2)

Sledi izbor „vijak 2“ (pozicija 2, slika 6.1.). Na osnovu jednačina 6.26, 6.35, 6.36 i tabele 6.4 poglavlje 6.5, podmodul za izbor elemenata za vezu bira vijke čije su karakteristične dimenzije prikazane na slikama 9.14a i 9.14b.

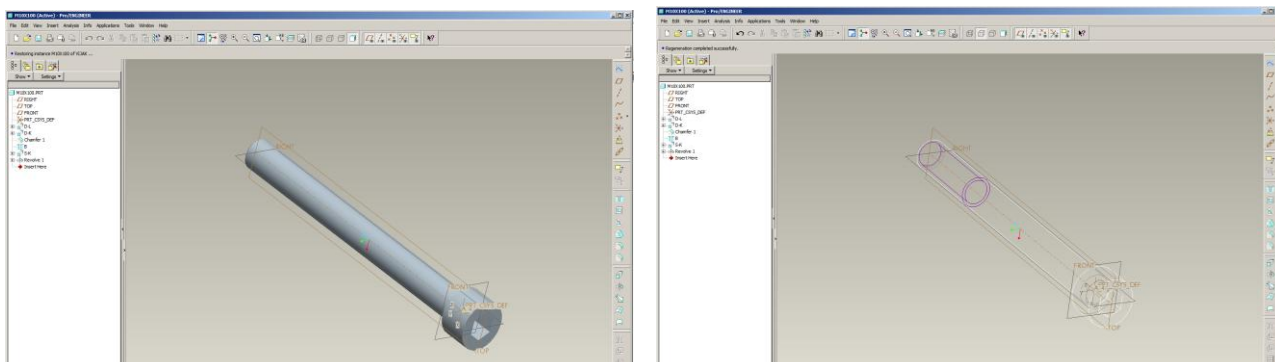


Slika 9.14a. Forma za izbor vijka pozicija 2 (primer 1)

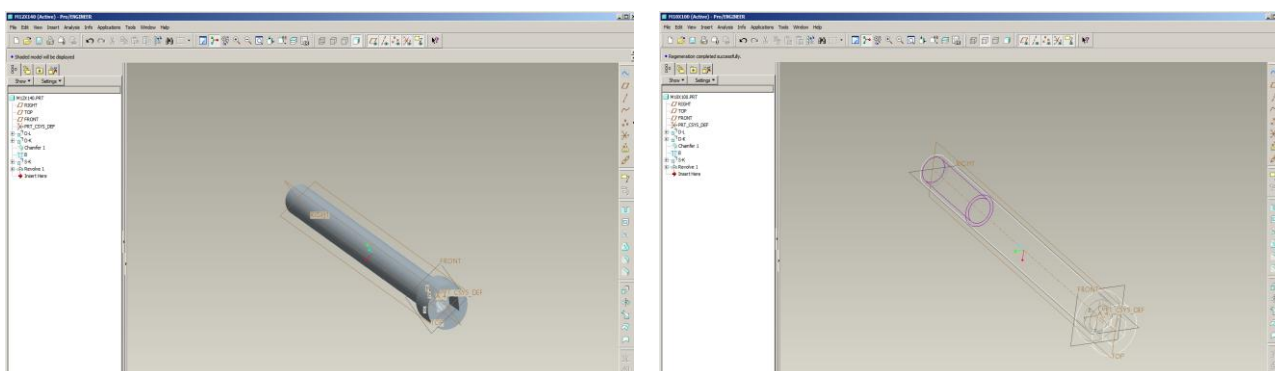


Slika 9.14b. Forma za izbor vijka pozicija 2 (primer 2)

Na osnovu dimenzionih karakteristika modeli vijaka se mogu učitati iz BP (slike 9.15a i 9.15b). Slike 9.15a i 9.15b prikazuju modele „vijak 2“ u osenčenom i žičanom prikazu.

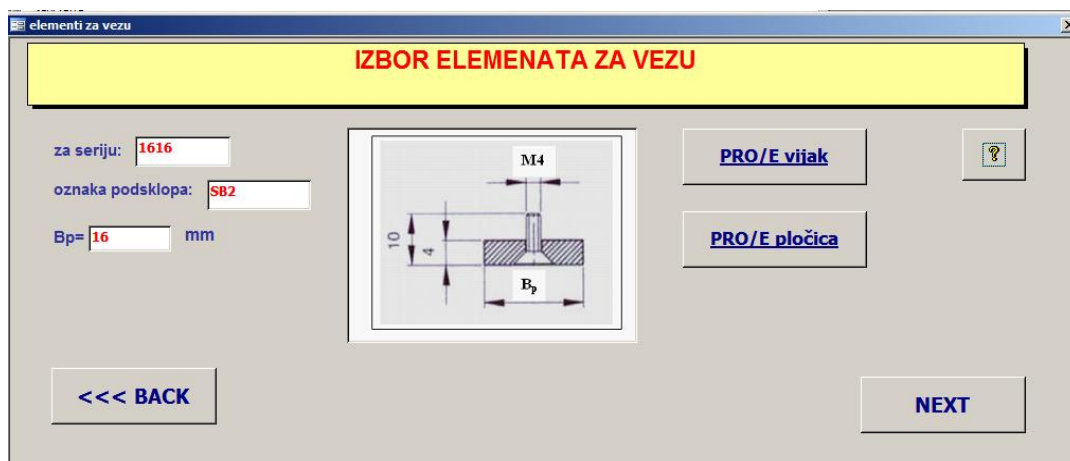


Slika 9.15a. Model “vijak 2” u osenčenom i žičanom prikazu (primer 1)

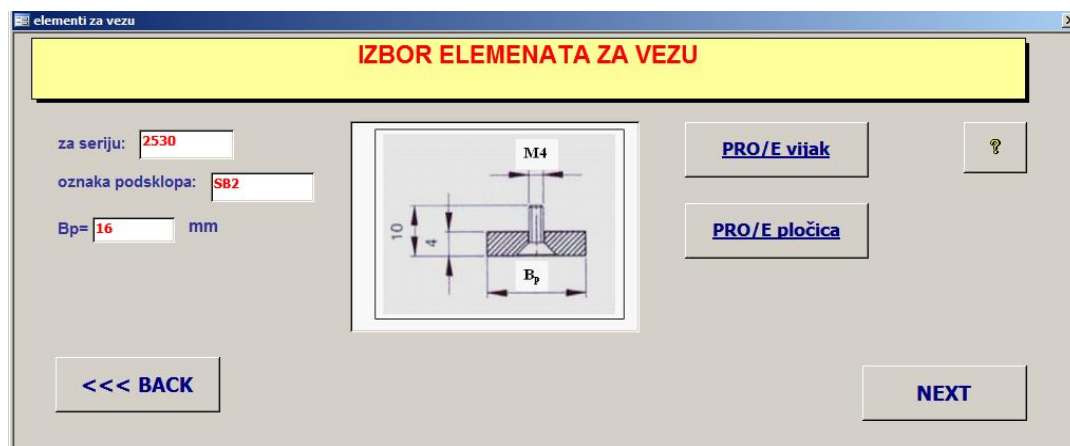


Slika 9.15b. Model “vijak 2” u osenčenom i žičanom prikazu (primer 2)

Sledi izbor podsklopa “veza 1” (pozicija 3, slika 6.1). Na osnovu podloga za izbor elemenata za vezu (poglavlje 6.5), serije alata i jednačine 6.38, podmodul bira podsklop čija je oznaka prikazana na slikama 9.16a i 9.16b.

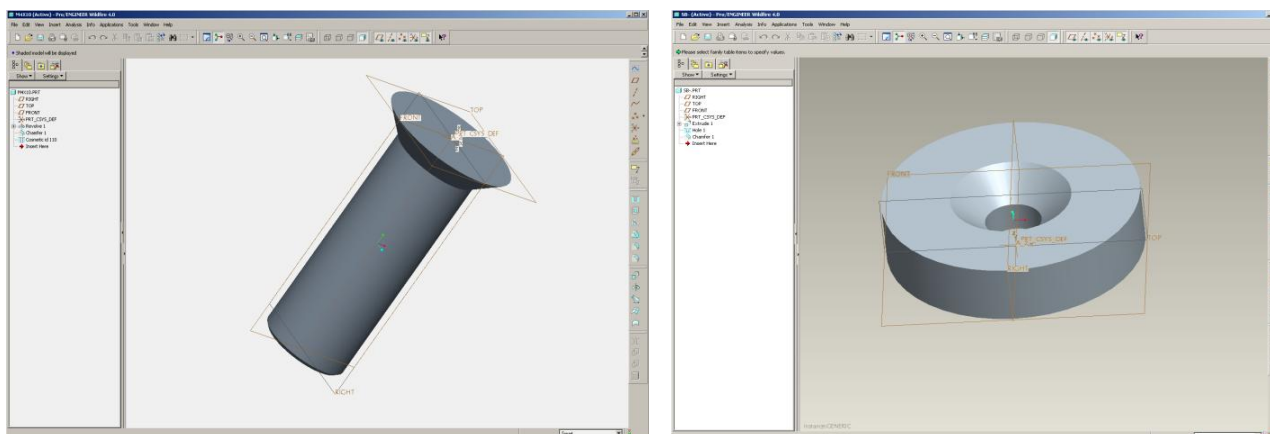


Slika 9.16a. Forma za izbor podsklopa „veza 1“ (primer 1)



Slika 9.16b. Forma za izbor podsklopa „veza 1“ (primer 2)

Modeli elemenata podsklopa “veza 1” prikazani su na slici 9.17.



Slika 9.17. Modeli elemenata podsklopa “veza 1” (primer 1 i 2)

Podmodul za automatizovani izbor ubrizgavalice izračunava ukupnu merodavnu masu ubrizgavanja. Merodavna masa ubrizgavanja predstavlja masu grozda pomnoženu sa koeficijentom sigurnosti 1.2. (tabela 9.2)

$M_g^* = m_g \cdot 1,2 = 2,1 \cdot 1,2 = 2,63844 \text{ [g]}$	$M_g^* = m_g \cdot 1,2 = 62,073 \cdot 1,2 = 74,4876 \text{ [g]}$
Primer 1	Primer 2

Tabela 9.2. Merodavna masa ubrizgavanja

Podmodul za automatizovani izbor ubrizgavalice poredi merodavnu masu ubrizgavanja sa maksimalnom teorijskom masom ubrizgavanja. Segment forme za automatizovani izbor ubrizgavalice je prikazan na slici 9.18a i 9.18b.

Slika 9.18a. Segment forme za automatizovani izbor ubrizgavalice (primer 1)

Slika 9.18b. Segment forme za automatizovani izbor ubrizgavalice (primer 2)

Podmodul za automatizovani izbor ubrizgavalice predlaže ubrizgavalicu, na osnovu podloga za izbor (poglavlje 8.4). Na slikama 9.19a. i 9.19b. su prikazane karakteristike izabranih ubrizgavalica.

Karakteristike ubrizgavalice (katalog):	Proračunate veličine:
maksimalna sila zatvaranja mašine: $F_{m\max} =$ <input type="text" value="125"/> [kN]	$F =$ <input type="text" value="27.9"/> [kN]
maksimalni hod otvaranja alata: $h_{a\max} =$ <input type="text" value="200"/> [mm]	
min visina alata postavljenog na mašinu: $T_{a\min} =$ <input type="text" value="150"/> [mm]	$T_a =$ <input type="text" value="206"/> [mm]
najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice: $H_{U\max} =$ <input type="text" value="350"/> [mm]	
rastojanje između susjednih vodica: $e_1 = e_2 = e =$ <input type="text" value="170"/> [mm]	
dimenzije ploča: h x v <input type="text" value="275"/> x <input type="text" value="275"/> [mm]	$L_x \times W_y =$ <input type="text" value="156x156"/> [mm]
najveća sila izbacivanja mašine: $F_{izb\max} =$ <input type="text" value="16"/> [kN]	
maksimalni hod izbacivača mašine: $hm\max =$ <input type="text" value="75"/> [mm]	
Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja: $M\max =$ <input type="text" value="9.5"/> [g]	
Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal PS: $M\max(PS) =$ <input type="text" value="9.5"/> [g]	
efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka: $lpv / dpv =$ <input type="text" value="17.7"/>	
Najveći pritisak ubrizgavanja mašine: $pm\max =$ <input type="text" value="2200"/> [bar]	
<input type="button" value="<<< BACK"/>	<input type="button" value="NEXT >>>"/>

Slika 9.19a. Segment forme za automatizovani izbor ubrizgavalice (primer 1)

Karakteristike ubrizgavalice (katalog):	Proračunate veličine:
maksimalna sila zatvaranja mašine: $F_{m\max} =$ <input type="text" value="700"/> [kN]	$F =$ <input type="text" value="456.4"/> [kN]
maksimalni hod otvaranja alata: $h_{a\max} =$ <input type="text" value="400"/> [mm]	
min visina alata postavljenog na mašinu: $T_{a\min} =$ <input type="text" value="200"/> [mm]	$T_a =$ <input type="text" value="286"/> [mm]
najveće rastojanje između steznih ploča ubrizgavalice: $H_{U\max} =$ <input type="text" value="600"/> [mm]	
rastojanje između susjednih vodica: $e_1 = e_2 = e =$ <input type="text" value="370"/> [mm]	
dimenzije ploča: h x v <input type="text" value="510"/> x <input type="text" value="510"/> [mm]	$L_x \times W_y =$ <input type="text" value="246x296"/> [mm]
najveća sila izbacivanja mašine: $F_{izb\max} =$ <input type="text" value="30"/> [kN]	
maksimalni hod izbacivača mašine: $hm\max =$ <input type="text" value="125"/> [mm]	
Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja: $M\max =$ <input type="text" value="85"/> [g]	
Maksimalna teorijska masa ubrizgavanja za materijal PS: $M\max(PS) =$ <input type="text" value="77"/> [g]	
efektivni odnos dužine i prečnika pužnog vijka: $lpv / dpv =$ <input type="text" value="20"/>	
Najveći pritisak ubrizgavanja mašine: $pm\max =$ <input type="text" value="2000"/> [bar]	
<input type="button" value="<<< BACK"/>	<input type="button" value="NEXT >>>"/>

Slika 9.19b. Segment forme za automatizovani izbor ubrizgavalice (primer 2)

Podmodul vrši proveru kataloških vrednosti parametara ubrizgavalice (tabela 8.1., poglavlje 8.4) i proračunatih vrednosti na osnovu relacija (poglavlje 8.4). Relacije date jednačinama (8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9.) moraju da budu zadovoljene.

$$F \leq F_{mmax}$$

$$p_K < p_{mmax}$$

$$h_i \leq h_{mmax}$$

$$(L_x, W_y) < (h, v)$$

$$M_g^* < M_{max}$$

$$IF (mat1, M_{max}) THEN (d_{pvmin}, JU_{min})$$

Tabela 9.3 prikazuje izabrane ubrizgavalice koje zadovoljavaju relacije.

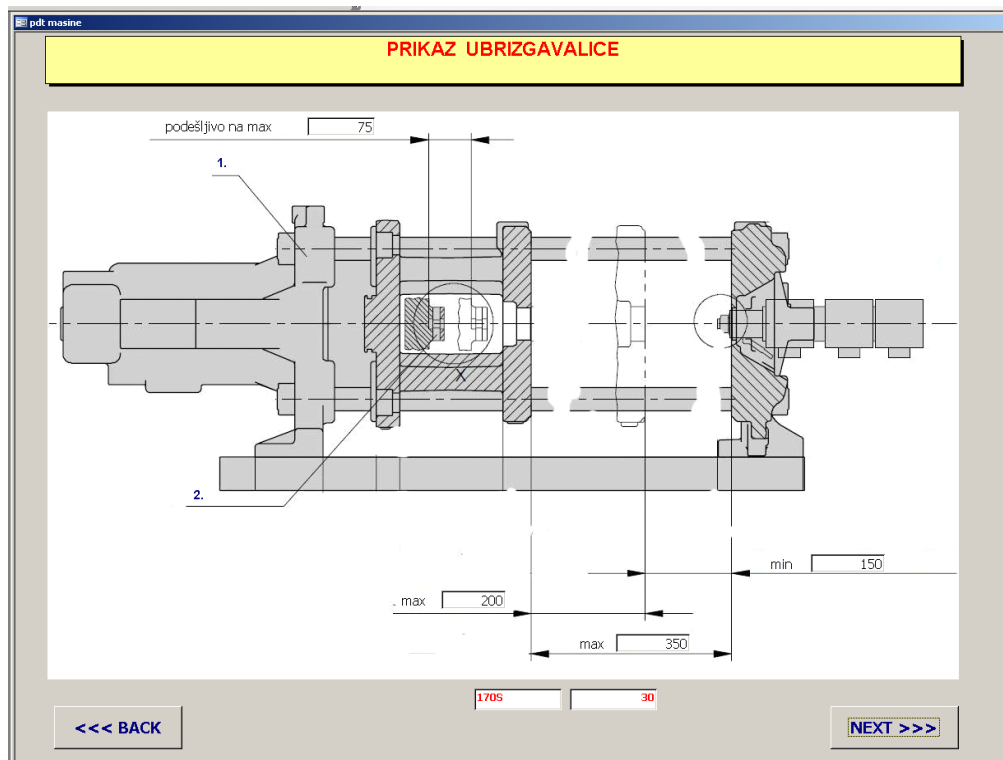
	Primer 1	Primer 2
oznaka ubrizgavalice:	170s-30	370s-170
prečnik pužnog vijka:	$d_{pv}=15$ [mm]	$d_{pv}=30$ [mm]

Tabela 9.3. Oznaka izabranih ubrizgavalica

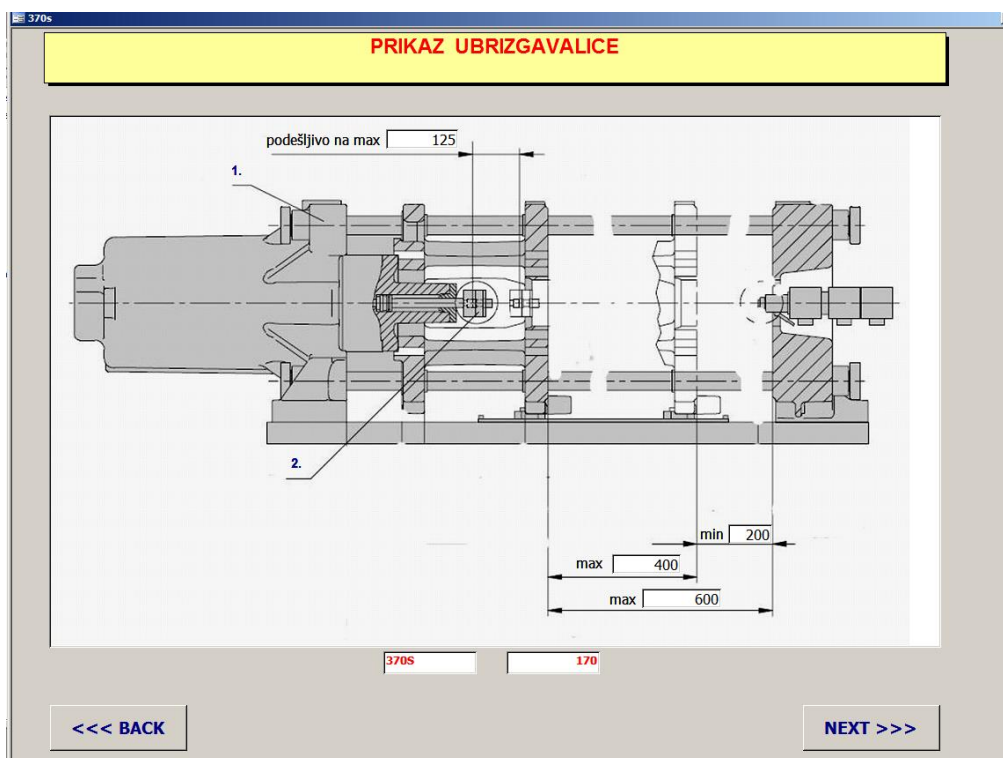
Ubrizgavalice u podmodulu za manualni izbor su poredane po rastućem redosledu u padajućem meniju „od najmanje do najveće“, korisnik bira prvu raspoloživu ubrizgavalicu. Izabrane ubrizgavalice „170s-30“ (primer 1, slika 9.21a) i „370s-170“ (primer 2, slika 9.21b), zadovoljavaju relacije 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9. Parametarski izveštaj o izabranim ubrizgavalicama je prikazan na slikama 9.22a i 9.22b.

Slika 9.21a. Segment forme za manuelni izbor ubrizgavalice (primer 1)

Slika 9.21b. Segment forme za manuelni izbor ubrizgavalice (primer 2)



Slika 9.22a. Parametarski prikaz ubrizgavalice (primer 1)

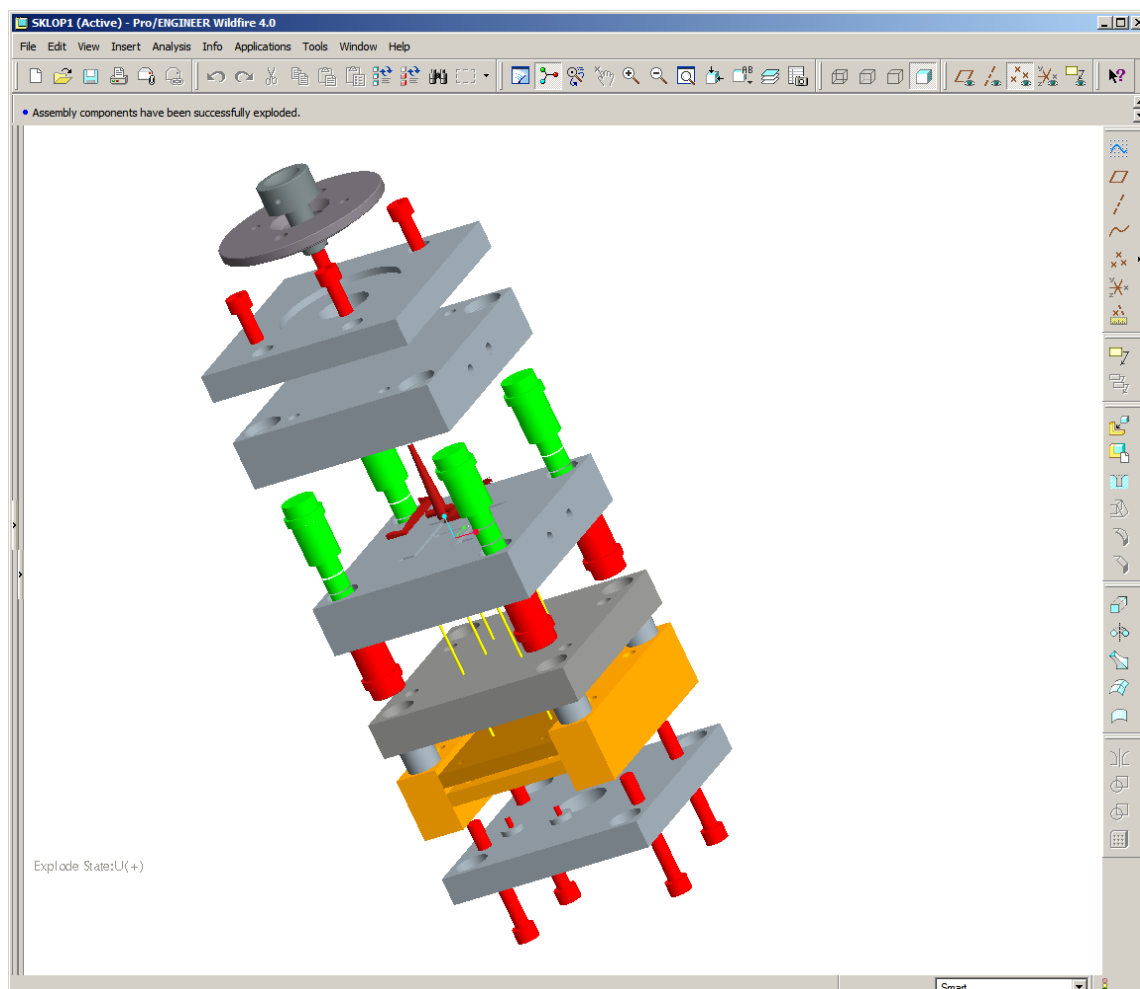


Slika 9.22b. Parametarski prikaz ubrizgavalice (primer 2)

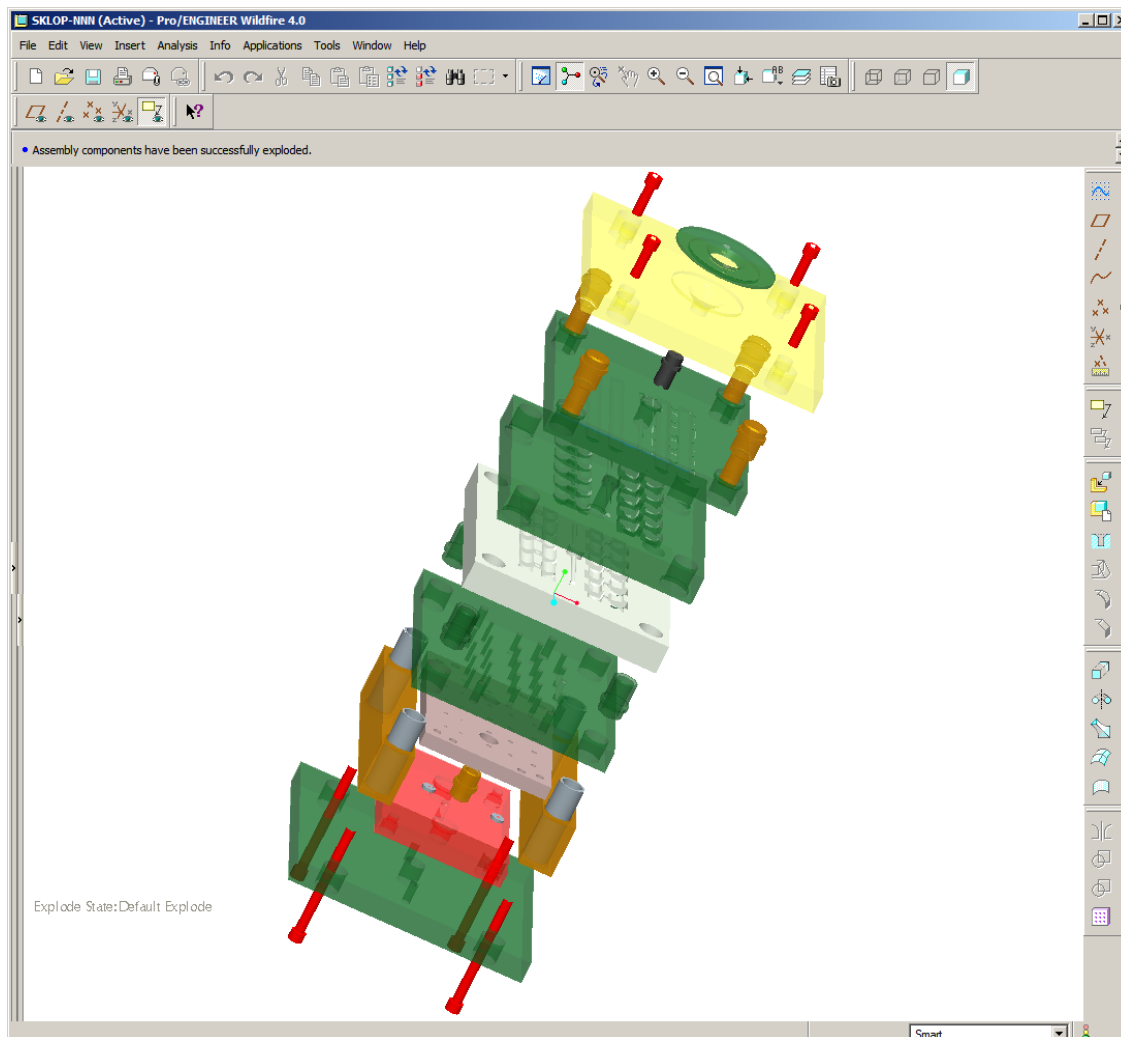
Ako je korisniku unapred poznata ubrizgavalica tada bi se ovaj podmodul mogao koristiti kao prvi podmodul u modularnom sistemu, jer na osnovu ubrizgavalice može se uticati na razvoj simulacionog modela i konstrukciju alata.

Sledi modeliranje alatne šupljine na nepokretnoj i pokretnoj kokili, u modulu 4 („Pro/MOLD DESIGN“) i, izbor i modeliranje preostalih standardnih elemenata alata iz D-M-E kataloga kao što su ulivna čaura AGN 36-3,5-18 i prsten za centriranje R120 (primer 1); i ulivna čaura AGN 50-5-25 i prsten za centriranje R121 (primer 2).

Slike 9.23a i 9.23b prikazuju modele alata za injeksiono presovanje u eksplodiranom prikazu.



Slika 9.23a. Eksplodirani prikaz modela alata za injeksiono presovanje međurama (primer 1)



Slika 9.23b. Eksplozirani prikaz modela alata za injekciono presovanje šelne (primer 2)

10. ZAKLJUČAK

Kao rezultat opšte prisutnih težnji prilagođavanja savremenim zahtevima tržišta, postavljaju se novi i sve složeniji zahtevi pred proizvodne sisteme, što se u velikoj meri ogleda u potrebi za visokim stepenom automatizacije svih aktivnosti, počevši od projektovanja proizvoda, alata i njihove proizvodnje.

U poslednje vreme javlja se sve veća potražnja za proizvodima od plastike, a samim tim i za alatima neophodnim za njihovu proizvodnju. Osnovni cilj istraživanja u disertaciji je usmeren na projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, kao osnovne opreme povišene tačnosti izrade.

U cilju racionalizacije i unapređenja projektovanja alata za injekciono presovanje plastike, razvijen je model modularnog sistema za proveru podobnosti proizvoda za injekciono presovanje, projektovanje alata i izbor ubrizgavalice. Ovo rešenje predstavlja integrisani CAD/CAE sistem.

Istraživanja se mogu podeliti u dve osnovne celine: Prvu celinu čini pregled literaturnih izvora iz oblasti istraživanja sa naglaskom na ekspertne sisteme, dok drugu celinu čini postavka modela i razvoj modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, primenom raspoloživih programskih sistema i VBA.

U okviru prve celine, obuhvaćene su teorijske osnove projektovanja alata sa akcentom na ekspertne sisteme za projektovanje alata i simulaciju injekcionog presovanja, odnosno CAE sisteme.

U drugom delu teorijskih rezultata, prikazana je analiza konstrukcije alata za injekciono presovanje plastike. Izvršena je sistematizacija i grupisanje alata. Posebna pažnja je usmerena na standardizaciju alata, kao osnove za racionalno projektovanje. Date su osnovne podloge za izbor preporučenih elemenata za vođenje i centriranje, elemenata za vezu i izbor ubrizgavalice.

Na osnovu izvršene analize i sinteze, došlo se do saznanja da postoji opravdanost razvoja modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, primenom raspoloživih programskih sistema opšte namene (univerzalnih programskih sistema) uz razvoj originalnog i autentičnog modula 3.

Druga celina istraživanja se odnosi na razvoj modela i prikaz razvijene strukture modularnog sistema za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike. U realizaciji ekspertnog sistema, odnosno sistema zasnovanog na znanju primenjeni su programski sistemi koji zadovoljavaju sve potrebne uslove za razvoj posmatranog modela; Pro/ENGINEER u svojstvu CAD/CAE, MS Access kao sistema za razvoj i upravljanje relacionim bazama podataka i Visual Basic kao programski jezik za razvoj aplikacije i podrške MS Access-u.

Modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike, omogućava:

- CAD modeliranje proizvoda, odnosno simulacionog modela,
- automatizaciju modeliranja tipskih elemenata alata,

- proveru podobnosti proizvoda sa stanovišta injekcionog presovanja,
- određivanje parametara injekcionog presovanja, numeričkom simulacijom,
- izbor standardnih elemenata kućišta alata,
- izbor standardnih elemenata za vođenje i centriranje,
- izbor standardnih elemenata za vezu,
- proveru hoda alata i,
- izbor ubrizgavalice.

Verifikacija primene modularnog sistema izvršena je na primerima dva alata za injekciono presovanje. Na osnovu postupka verifikacije (poglavlje 9.) može se konstatovati da modularni sistem daje u potpunosti validne rezultate. Ekspertni sistem se može koristiti u praksi a funkcionalnost modela sistema je na prihvatljivom nivou.

Upotrebom u radu opisanog (deskriptivnog) pristupa postiže se skraćenje vremena projektovanja alata, podizanje aktivnosti u projektovanju alata na kvalitativno viši stepen, uz smanjenje mogućnosti grešaka. Deskriptivni pristup projektovanju i proračunu alata takođe omogućava mladim i manje iskusnim konstruktorima vrlo rano osamostaljivanje u projektovanju alata i izboru ubrizgavalice a iskusnim konstruktorima može poslužiti za proveru i proširenje stečenih znanja.

Na osnovu ostvarenih i prikazanih rezultata istraživanja, može se zaključiti da je modularni sistem za projektovanje alata za injekciono presovanje plastike predstavlja originalno i autentično rešenje. Sistem je zadovoljio postavljene ciljeve, odnosno potvrdio pretpostavljene hipoteze.

Modularni sistem, je projektovan za normalnu izvedbu alata, ali bi u cilju poboljšanja rešenja trebalo izvršiti proširenje i na druge grupe alate. Razvoj interfejsa koji bi mogao da prepozna geometrijske i tehnološke parametre na osnovnom CAD/CAE modelu, značajno bi unapredilo stepen automatizacije sistema. Iako MS Access spada u grupu najrasprostranjenijih sistema za razvoj i upravljanje integrisanim BP, trenutno postoje sistemi koji imaju bolje karakteristike u pogledu upravljanja, distribucije i zaštite podataka, kao što su Oracle, SQL, itd. Modularni sistem ispunjava sve zahteve gradnje i egzistencije koje mora da ispuni savremen "CAIMDS", kao što su OSA i OSI, D-M-E i EUROMAP standardi. Složenost i obimnost problematike automatizovanog projektovanja alata, uticali su na to da neki od segmenata modularnog sistema nisu u potpunosti rešeni, pa se u većoj ili manjoj meri mogu poboljšati.

Poboljšanje u budućnosti može se odnositi na automatizaciju izbora i modeliranja preostalih elemenata alata (elemenata koji formiraju ulivni podsistem, podsistem za izbacivanje otpreska, podsistem za temperiranje i sl.).

Pravci daljih istraživanja mogu se odnositi na poboljšanje postojećih modula primenom AI i drugih KBE metoda, mogućnost integrisanja sa CAPP sistemom za tehnološku pripremu proizvodnje razvijenog na FTN-u, sistemom DISPITOS i sl. Dalje istraživanje može biti razvoj kolaborativnog sistema za projektovanje alata primenom web tehnologija. S obzirom da je sistem nastao kao potreba proizvodnih sistema za automatizacijom projektovanja alata za injekciono presovanje plastike, nastaviće se, i intenzivirati njegova implementacija u industriji.

11. LITERATURA

- [1]. Alami, M.R., Asad, B.M.A., Rahman, M., Lee, K.S.: An Automated Mold Design System for Transfer Molding Process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering ICME07-AM-70, Dhaka, India, 2007.
- [2]. Au, C.K.: A geometric approach for injection mould filling simulation. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.45, No.1, pp.115-124, 2005.
- [3]. Au, K.M, Yu, K.M.: A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.34, No.5-6, pp.496-515, 2007.
- [4]. Britton, G.A, Beng, TS., Wang, Y., Virtual concurrent product development of plastic injection moulds, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering, Vol.14, pp.165-168, USA, 2000.
- [5]. Britton, G.A., Tor, S.B., Lam, Y.C., Deng, Y.M.: Modelling functional design information for injection mould design. International Journal of Production Research, Vol.39, No.12, pp.2501-2515, 2001.
- [6]. Britton, G.A., Tor, S.B., Zhang, W.Y.: Techniques in Knowledge-Based Expert Systems for the Design of Engineering Systems. Intelligent Knowledge-Based Systems, Vol.3, pp.745-796, 2005.
- [7]. Brunetti, G., Golob, B.: A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information. Computer Aided Design, Vol.32, No.14, pp.877-887, 2000.
- [8]. Budak, I., Matin, I., Hodolič, J., Antić, A.: Primena Pro/E modula kod projektovanja proizvoda od plastike. Zbornik radova VIII međunarodne konferencije MMA, str.79-81, FTN, Novi Sad, 2003.
- [9]. Cinquegrana, D.: Knowledge-based injection mould design automation. D.Eng. thesis, University of Lowell, Vol.51, No.6, p.200, USA, 1990.
- [10]. Čatić, I.: Izmjena topline u kalupima za injekciono prešanje plastomera, Biblioteka polimerstvo, Zagreb, Hrvatska, 1985.
- [11]. Chan, W.M., Pinfold, M., Kwong, C.K., Szeto, W.H.: A review of research, commercial software packages and patents on family mould layout design automation and optimization. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.57, No.1-4, pp.23-47, 2011.
- [12]. Chan, W.M., Yan, L., Xiang, W., Cheok, BT.: A 3D CAD knowledge-based assisted injection mould design system. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.22, No.5-6, pp.387-395, 2003.

- [13]. Chang, R.Y., Chen, C.H., Su, K.S.: Modifying the Tait Equation With Cooling-Rate Effects to Predict the Pressure-Volume-Temperature Behaviors of Amorphous Polymers: Modeling and Experiments. *Polymer Engineering and Science*, Vol.36, No.13, pp.1789-1795, 1996.
- [14]. Chen, K.C, Chang, R.Y, Hsu, D.C, Lin, A.S, Lu, K.: A fast approach to automatic runner balance. *ANTEC 2000 Conference Proceedings*, Vol.1, pp.609-611, 2000.
- [15]. Chin, K.S., Wong, T.N.: Knowledge-based evaluation for the conceptual design development of injection molding parts. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.9, No.4, pp.359-376, 1996.
- [16]. Chung, J., Lee, K.: A framework a collaborative Design enviroment for injection moulding. *Computers in Industry*, Vol.47, No.3, pp.319-337, 2002.
- [17]. Čatić, I.: Izmjena topline u kalupima za injekciono prešanje plastomera. *Biblioteka polimerstvo*, p.248, Zagreb, 1985.
- [18]. Deneux, D.: Introduction to assembly features: an illustrated synthesis methodology. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.10, No.1, pp.29-39, 1999.
- [19]. Deng, Y.M., Britton, G.A, Tor, S.B. Constraint-based functional design verification for conceptual design. *Computer Aided Design*, Vol.32, No.14, pp.889-99, 2000.
- [20]. Deng, Y.M., Edwards, K.L.: The role of materials identification and selection in engineering design. *Materials and Design* Vol.28, No.1, pp.131-139, 2007.
- [21]. Deng, Y.M., Lam, C.: A CAD-CAE Integrated Injection Molding Design System. *Journal of Engineering and Computers*, Vol.18, pp.80-92, 2002.
- [22]. Deng, Y.M., Britton, G.A., Lam, Y.C., Ma, Y.S.: A feature-based CAD-CAE integration model for injection molded product design. *Proceedings of the 16th International Conference on Production Research*, pp.234-241, Prague, Czech Republic, 2001.
- [23]. Deng, Y.M., Britton, G.A., Lam, Y.C., Ma, Y.S.: Feature-based CAD/CAE integration model for injection-moulded product design. *International Journal of Production Research*, Vol.40, No.15, pp.3737-3750, 2002.
- [24]. Edwards, K.L.: Selecting materials for optimum use in engineering components. *Materials and Design*, Vol.26, No.5, pp.469-473, 2005.
- [25]. Fagade, A.A., Kazmer, D.O.: Early cost estimation for injection moulded components. *Journal of Injection Molding Technology*, Vol.4, No.3, pp.97-106, 2000.
- [26]. Frenkler, D., Zawistowski, H.: *Hot Runners in Injection Moulds.*, p.343., Rapra Technology Limited, UK., 2001. ISBN: 1-85957-208-1.
- [27]. Fuh, J.Y.H., Zhang, Y.F., Nee, A.Y.C., Fu, M.W.: *Computer-aided injection mold design and manufacture*, p.375, New York, USA, 2003. ISBN 0-8247-5314-3.
- [28]. Godec, D.: Doprinostavnom razvoju kalupa za injekciono prešanje termoplasta, *Fakultet strojarstva i brodogradnje*, p.146, Zagreb, Hrvatska, 2000.
- [29]. Godec, D., Čatić, I., Šercer, M.: Konceptijsko projektovanje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, *Polimeri*, Vol.24, No.2-4, pp.95-102, 2003. ISSN 0351-1781
- [30]. Godec, D., Šercer, M., Osrečki, G.: Konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje otpresaka s unutrašnjim navojem. *Tehnički vjesnik*, Vol.15, No.1, pp.53-62, 2009, ISSN 1330-3651.
- [31]. Guo, Y., Hu, J., Peng, Y.: A CBR system for injection mould design based on ontology: A case study. *Computer Aided Design*, Vol.44, No.6, pp.496-508, 2012.
- [32]. Hadžistević, M., Vukelić, Đ., Budak, I., Matin, I., Stepien, K., Adamczak, S.: *Merenje/modeliranje geometrijskih specifikacija proizvoda*, str.175, FTN, Novi Sad, 2009., ISBN 978-86-7892-194-0.
- [33]. Hassan, H., Regnier, N., Pujos, C., Defaye, G.: 3D Study on the Effect of Process Parameters on the Cooling of Polymer by Injection Molding. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.114, No.5, pp.2901-2914, 2009.

- [34]. He, W., Zhang, Y.F., Lee, K.S., Fuh, J.Y.H., Nee, A.Y.C.: Automated process parameter resetting for injection moulding: a fuzzy-neuro approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.9, No.1, pp.17-27, 1998.
- [35]. Hiroki H., Katsuya S., Yasuo, S.: 3-dimensional Injection Molding Simulation. Software Business Department, Toray Industries Inc., Siga, Japan, 2007.
- [36]. Hodolič, J., Budak, I., Matin, I., Antić, A. : Subsystem for Simulation of the Production of Plastic Parts in the System of Automated Process Design. *Annals of DAAAM & Proceedings of the 14th International DAAAM Symposium*, pp.85-186, Vienna, Austria, 2003.
- [37]. Hodolic, J., Matin, I., Stevic, M., Kovacevic, I., Kuric, I.: Mold Design and Simulation of Plastic Injection Molding Process in the CAD/CAE Software, XII International conference on mechanical engineering, Bratislava, Slovakia, 2008.
- [38]. Hodolic, J., Matin, I., Vukelic, DJ., Antic, A.: Using Complex Surfaces for Core and Cavity Design of Mold. *Proceedings of the 8th International Conference, New ways in manufacturing technologies*, Technical University of Košice, pp.299-303., Košice, Slovakia, 2006.
- [39]. Hodolic, J., Matin, I., Stevic, M., Vukelic, DJ.: Development of Integrated CAD/CAE System for Mold Design for Plastic Injection Molding, *Materiale Plastice*, Vol.46, No.3, pp.236-242, 2009.
- [40]. Huang, G.Q., Dang, X.P.: Structural optimization based on CAD/CAE Integration and metamodeling techniques. *Computer Aided Design*, Vol.42, No.10, pp.889-902, 2010.
- [41]. Huang, G.Q., Lee, S.W., Mak, K.L.: Collaborative product definition on the Internet: A case study. *International Journal of Material Processing Technology*, Vol.139, pp.51-57, 2003.
- [42]. Huang, J.M., Jou, Y.T., Zhang, L.C., Wang, Sh., Huang, Ch.X: A web-based model for developing a mold base system. *Expert System with Application*, Vol.36, pp.8356-8367, 2009.
- [43]. Huang, M.Sh., Hsu, M.K.: Modular design applied to beverage-container injection molds. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.53, No.1-4, pp.1-10, 2011.
- [44]. Hu, W., Masood, S.: An intelligent cavity layout design system for injection moulds. *International Journal of CAD/CAM*, Vol.2, No.1, pp.69-75, 2002.
- [45]. Jia, Zh.X., Li, H.L., Zhang, X.Ch., Wu, H.B., Fang, M.C.: Study on the correlated design method of plate holes for progressive dies based on functional feature. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.49, No.1-4, pp.1-12, 2010.
- [46]. Jiao, R.J., Simpson, T.W., Siddique, Z.: Product family design and platform-based product development: A state-of-the-art review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.18, No.5-29, 2007.
- [47]. Jiang R.D., Lauw, B.T., Nee, A.Y.C.: Insert design automation for progressive dies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.28, No.3-4, pp.279-285, 2006.
- [48]. Jong, W.R., Li, T.Ch., Syu, R.Z.: Algorithm for automatic parting surface extension in the mold design navigating process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.62, No.5-8, pp.421-441, 2012.
- [49]. Jong, W.R., Wu, Ch., Liu, H.H, Li, M.Y: A collaborative navigation system for concurrent mould design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.40, No.3-4, pp.215-225, 2009.
- [50]. Kazmer, D.O.: *Injection Mold Design Engineering*. Hanser, Germany, 2007., ISBN 978-3-446-41266-8.

- [51]. Kawk, S., Kim, T., Park, S., Lee, K.: Layout and sizing of ejector pins for injection mould design using the wavelet transform. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, pp.463-473, 2003.
- [52]. Kennedy, P.: Practical and Scientific Aspects of Injection Molding Simulation. p.143, CIP-Data Library Technische Universiteit Eindhoven, Belgium, 2008., ISBN 978-90-386-1275-1.
- [53]. Kong, L., Fuh, Y., Lee, K., Liu, X., Ling, L., Zhang, Y.: A Windows-Native 3D Plastic Injection Mold Design System. International Journal of Materials Processing Technology, Vol.139, No.1-3, pp.81-89, 2003.
- [54]. Lam, Y.C., Britton, G.A., Liu, D.S: Optimisation of gate location with design constraints. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.24, No.7-8, pp.560-566, 2004.
- [55]. Lam, Y.C., Jin, S.: Optimisation of gate location for plastic injection moulding. Journal of Injection Mold Technology, Vol.5, No.3, pp.180-192, 2001.
- [56]. Lam, Y.C., Seow, L.W.: Cavity balance for plastic injection moulding. Polymer Engineering and Sciences, Vol.406, No.6, pp.1273-1280, 2000.
- [57]. Lee, K.S., Lin, J.C.: Design of the runner and gating system parameters for a multi-cavity injection mould using FEM and neural network. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.27, No.11-12, pp.1089-1096, 2006.
- [58]. Lee, K.S., Li, Z., Fuh, J.Y.H., Zhang, Y.F., Nee, A.Y.C.: Automatic initial design of injection mould. International Journal of Materials and Production Technology, Vol.15, No.6, pp.503-517, 2000.
- [59]. Lee, R.S., Chen, Y.M., Lee, C.Z.: Development of a concurrent mould design system: A knowledge-based approach. Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol.10, No.4, pp.287-307, 1997.
- [60]. Lee, S.H.: Feature-based non-manifold modeling system to integrate design and analysis of injection molding products. Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.23, pp.1331-1341, 2009.
- [61]. Li, C.L.: A feature-based approach to injection mould cooling system design. Computer Aided Design, Vol.33, pp.1073-1090, 2001.
- [62]. Li, C.L.: Part segmentation by superquadric fitting-a new approach towards automatic design of cooling system for plastic injection mould. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.35, No.1-2, pp.102-114, 2007.
- [63]. Li, C.L., Li, C.G., Mok, A.C.K.: Automatic layout design of plastic injection mould cooling system, Computer Aided Design, Vol.37, No.7, pp.645-662, 2005.
- [64]. Lin, B.T., Chang, M.R., Huang, H.L., Liu, Ch.Y.: Computer-aided structural design of drawing dies for stamping processes based on functional features. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 42, No.11-12, pp.1142-1152, 2009.
- [65]. Lin, B.T., Chan, Ch.K., Wang, J.Ch: A knowledge-based parametric design system for drawing dies. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.36, pp.671-680, 2007.
- [66]. Lisjak, D., Godec, D., Pilipovic, A.: Application of Artificial Intelligence in Conceptual Mould Design. Proceedings of 7th International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies, pp.277-280, Ljubljana, Slovenia, 2009.
- [67]. Lou, Z., Jiang, H., Ruan, X.: Development of An Integrated knowledge-based system for mold-base Design. Journal of Material Processing Technology, Vol.150, pp.194-199, 2004.
- [68]. Low, M.L.H., Lee, K.S.: Application of standardization for initial design of plastic injection moulds. International Journal of Production Research, Vol.41, No.10, pp.2301-2324, 2003.

- [69]. Low, M.L.H, Lee, K.S.: A parametric-controlled cavity layout design system for a plastic injection mould. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.21, No.10-11, pp.807-819, 2003.
- [70]. Lu, W.F., Deng, Y.M.: A systems modeling methodology for materials and engineering systems design integration. *Material and Design*, Vol.25, No.6, pp.459-469, 2004.
- [71]. Lukić, D.: Razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike. Magistarska teza, FTN, Novi Sad, 2006.
- [72]. Luzanin, O., Plancak, M.: Virtual Reality technologies in Virtual Manufacturing – Notes on current trends and applications, *Journal for Technology of Plasticity*, pp. 103-111., Vol. 33, No. 1-2., 2008.
- [73]. Ma, Y.S., Britton, G.A., Tor, S.B., Jin, L.Y.: Associative assembly design features: concept, implementation and application. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.32, No.5-6, pp.434-444, 2007.
- [74]. Ma, Y.S., Chen, G., Thimm, G.: Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.19, No.6, pp.645-641, 2008.
- [75]. Ma, Y.S., Tang, S.H., Chen, G.: A Fine-grain and Feature-oriented Product Database for Collaborative Engineering. *Collaborative Product Design and Manufacturing Methodologies and Applications*, pp.110-136, 2007., ISBN 978-1-84628-801-2.
- [76]. Ma, Y.S., Tor, S.B., Britton, G.A.: The development of standard component library for Plastic Injection Mould Design using an object-oriented approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.22, No.9-10, pp.611-618, 2003.
- [77]. Ma, Y.S, Tong, T.: An object-oriented design tool for associative cooling channels in plastic injection moulds. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.23, No.1-2, pp.79-86, 2004.
- [78]. Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ., Lukic, D.: A CAD/CAE-integrated injection mold design system for plastic products. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012. ISSN 0268-3768.
- [79]. Matin, I., Hodolic, J., Budak, I.: Injection Moulding simulation in the automated product designing systems. *International Journal of Simulation Modeling*, Vol.3, pp.69-79, 2004., ISSN 1726-4529.
- [80]. Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ.: An interactive CAD/CAE system for mold design. 34th International conference on production engineering, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, 2011.
- [81]. Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ., Tadic, B.: Development CAD/CAE software for mold design, *Journal of Production Engineering*, Vol.13, No.1, pp.61-64, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2010., ISSN: 1821-4932.
- [82]. Matin, I.: Razvoj programskog sistema za projektovanje alata za injeksiono presovanje plastike. Magistarska teza, FTN, Novi Sad, 2010.
- [83]. Mok, C.K., Chin, K.S., Lan, H.: An internet-based intelligent design system for injection moulds. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.24, No.1, pp.1-15, 2008.
- [84]. Mok, C.K., Chin, K.S., Ho, J.K.L.: An interactive knowledge based CAD system for mould design in injection moulding processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.17, No.1, pp.27-38, 2001.
- [85]. Mok, H.S., Kim, Ch.K., Kim, Ch.B.: Automation of Mold designs with the reuse of standard parts, *Expert Systems with Applications*, Vol.38, No.10, pp.12537-12547, 2011.
- [86]. Mok, S.L., Kwong, C.K., Lau, W.S.: A Hybrid Neural Network and Genetic algorithm approach to the determination of initial process parameters for injection moulding.

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.18, No.6, pp.404-409, 2001.
- [87]. Nađ, M.: Termoplastične mase, prerada postupkom injekcionog prešanja, Publicitas, Zagreb, Hrvatska, 1974.
- [88]. Nađ, M.: Polimerni materijali - termoplasti i elastomeri. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska, 1991.
- [89]. Nardin, B., Kuzman, K., Kampus, Z.: Injection moulding simulation results as an input to the injection moulding process. Journal of Materials Processing Technology, Vol.130-131, pp.310-314, 2002.
- [90]. Nedić, B., Vesnić, N., Vasiljević, D.: Boja, kolorimetrija i plastične mase. str.246, MF Kragujevac, Kragujevac, 2008., ISBN 978-86-86663-23-8.
- [91]. Nedić, B.: Tehnologije prerade plastičnih masa, Mašinski Fakultet Kragujevac, Kragujevac, 2008.
- [92]. Norton, P., Groh, M: MS Access 2000, Kompjuterska biblioteka Čačak, p. 341, 2000.
- [93]. Neo, T.L., Lee, K.S: Three-dimensional kernel development for injection mould design. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.17, No.6, pp.453-461, 2001.
- [94]. Pavković, N.: Objektno orijentirani pristup modeliranju procesa konstruiranja. Doktorska disertacija, p.163., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [95]. Perošević, B.: Kalupi za injekciono presovanje termoplasta. Naučna knjiga, Beograd, 1995.
- [96]. Plancak, M., Vilotić D., Luzanin, O., Skakun, P.: Milutinović, M.: "Technology design using low-budget virtual reality technology", InterRegioSci, pp.52-53., Novi Sad 2007.
- [97]. Qiao, H.: A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding. International Journal of Mechanical Sciences, Vol.48, No.4, pp.430-439, 2006.
- [98]. Qiu, H.B., Li, C.X.: Conceptual design support system in a collaborative environment for injection moulding. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.24, No.1-2, pp.9-15, 2004.
- [99]. Raviwongse, R., Allada, V.: Artificial neural network based model for computation of injection mould complexity. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.13, No.8, pp.577-586, 1997.
- [100]. Rosen, D.W., Dixon, J.R., Poli, C.: Features and algorithms for tooling cost evaluation in injection moulding and die casting. Proceedings of ASME International Computer Engineering Conference, pp.45-52, 1992.
- [101]. Rujnić-Sokele, M., Šercer, M., Vlašić, N.: Utjecaj faze djelovanja naknadnog tlaka na svojstva otpreska od ABS-a. Tehnički vjesnik, Vol.16, No.2, pp.67-72, 2009., ISSN 1330-3651.
- [102]. Sachs, E., Wylonis, E., Allen, S., Cima, M., Guo, H.: Production of injection moulding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process. Polymer and Engineering Sciences, Vol.40, No.5, pp.1232-1247, 2004.
- [103]. Sikulec, L., Percić, K., Plancak, M., Car, Z., Krcmarčić, I., Strbac, B.: Analysing anomalies of injection tooling mold design., pp.425-429., Proceedings of International Conference on Innovative Technologies IN-TECH, 2013, Budapest, 2013., ISBN 978-953-6326-88-4.
- [104]. Siminiati, D., Pomenić, L., Orsić, F.: The base parameter adjustment for injection moulding of plastic. Journal of Mechanical Engineering, Vol.28, No.1, pp.119-127, 2008.
- [105]. Strong, A.B.: Plastics Materials and Processing, Second Edition. p.417, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2000., ISBN 0-13-021626-7.

- [106]. Šerčer, M., Barić, G.: Postupci proizvodnje polimernih tvorevina zanimljivi za primjenu u Hrvatskoj industriji. Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, Zagreb, Hrvatska, 2004.
- [107]. Tepic, J., Todić, V., Lukic, D., Milosevic, S., Borojevic, S.: Development of the Computer-Aided Process Planing (CAPP) System for polymer injection molds manufacturing. *Metalurgija*, Vol.50, No.4, pp.273-277, 2011.
- [108]. Todić, V., Lukic, D., Stevic, M., Milosevic, M.: Integrated CAPP System for Plastic Injection Molds Manufacturing. *Materiale Plastice*, Vol. 4, pp.381-389, 2008.
- [109]. Todić, V., Tatomirov, M., Duvnjak, D., Stefanović, B.: Koncept ekspertskeg sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastičnih masa. Zbornik radova VI međunarodne konferencije MMA, str.939-947, FTN, Novi Sad, 1997.
- [110]. Tolga, B.A.: Development of an expert system for the determination of injection moulding parameters of thermoplastic materials: EX-PIMM. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.128, No.3, pp.113-122, 2002.
- [111]. Vračević, M.: Prerada plastičnih masa brizganjem, POLI-biblioteka, Novi Sad, 1997.
- [112]. Vukelić, Đ.: Razvoj sistema za automatizovano projektovanje modularnih pribora, magistarska teza, FTN, Novi Sad, 2005.
- [113]. Vukelić, Đ.: Razvoj sistema za projektovanje i optimizaciju konstrukcije pribora, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 2010.
- [114]. Watson, I.: Case-based reasoning is a methodology not a technology. *Knowledge-Based Systems*, Vol.12, pp.303-308, 1999.
- [115]. Wong, C.T., Shamsuddin, S., Napsiah, I., Hamouda, A.M.S.: Design and Simulation of Plastic Injection Moulding Process. *Pertanika Journal of Science and Technology*, Vol.12, No.2, pp.85-99, 2004., ISSN 0128-7680.
- [116]. Wu, S.H., Fuh, J.Y.H., Lee, K.S.: Semi-automated parametric design of gating systems for die-casting die. *Computers and Industrial Engineering* Vol.53, No.2, pp.222-232, 2007.
- [117]. Wu, S. H., Lee, K.S., Fuh, J.Y.H.: Feature-Based Parametric Design of a Gating System for a Die-Casting Die. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.19, No.12, pp.821-829, 2002.
- [118]. Xie, S.Q., Tu, P.L., Zhou, Z.D.: Internet-based DFX for rapid and economical tool/mould making. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.24, No.11-12, pp.821-829, 2004.
- [119]. Xiong, J., Shen, Q.Zh., Zhou, J., Dai, X.: CAD Graphic Preview and Interaction of the Mould Collaborative Design. *International Conference on Advances in Engineering*, Vol.24, pp.634-637, *Procedia Engineering*, 2011.
- [120]. Xu, X., Sachs, E., Allen, S.: The design of conformal cooling channels in injection moulding tooling. *Polymer Engineering Science*, Vol.41, No.7, pp.1265-1279, 2001.
- [121]. Xu, X.Y., Wang, Y.Y.: Multi-model technology and its application in the integration of CAD/CAM/CAE. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.129, No.1-2, pp.563-567, 2002.
- [122]. Ye, X.G., Fuh, Y.H., Lee, K.S.: Automated assembly modeling for plastic injection moulds. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.16, No.10, pp.739-747, 2000.
- [123]. Ye, X.G., Lee, K.S., Fuh, J.Y.H., Zhang, Y.F.: Automatic initial design of injection mould. *International Journal of Material and Product Technology*, Vol.15, No.6-7, pp.592-604, 2004.
- [124]. Yeung, V.W.S., Lau, K.H.: Injection moulding, C-MOLD CAE package, process parameter design and quality function deployment: A case study of intelligent materials processing. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.63, No.1-3, pp.481-487, 1997.

- [125]. Yin, C.G., Ma, Y.S.: Parametric feature constraint modeling and mapping in product development. *Advanced Engineering Informatics*, Vol.26, No.3, pp.539-552, 2012.
- [126]. Zombade, N., Kazmer, D.: Analysis and validation of mold design guidelines for cooling time and runner sizing, *Journal of Society of Plastics Engineers.*, pp.128-139., USA, 2011.
- [127]. Zha, X.F.: Artificial intelligence and integrated intelligent systems in product design and development. *Intelligent Knowledge-Based Systems*, Vol.6, pp.1067-1123, 2005.
- [128]. Zha, X.F., Du, H.J., Qiu, J.H.: Knowledge-based approach and system for assembly oriented design, part I: the approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.14, No.1, pp.61-75, 2001.
- [129]. Zha, X.F., Du, H.J., Qiu, J.H.: Knowledge-based approach and system for assembly oriented design, part II: the system implementation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.14, No.2, pp.239-254, 2001.
- [130]. Zhai, M., Shen, C.: Algorithm to optimise number of gates and locations in an injection mould. *Plastics Rubber and Composites*, Vol.33, No.8, pp.330-334, 2004.
- [131]. Zhang, W.Y., Tor, S.B., Britton, G.A.: A two-level modeling approach to acquire functional design knowledge in engineering systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.19, No.6, pp.454-460, 2002.
- [132]. Zheng, R., Tanner, R., Xi-Jun, F.: *Injection Molding-Integration of Theory and Modeling Methods*, p.147 Springer, 2011., ISBN:978-3-642-21262-8.
- [133]. Zhou, J., Li, L., Hu, Y., Yang, J., Cheng, K.: Plastic mold design of top-cover of out-shell of mouse based on CAE. *Procedia Engineering*, Vol.15, pp.4441-4445, 2004.
- [134]. Zhou, H., Shi, S., Ma, B.: Virtual Injection Molding System Based on Numerical Simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.40, No.3-4, pp.297-306, 2009.
- [135]. -----: AutoDesk MOLDFLOW Insight user guide., <http://www.moldflow.com>, 2009.
- [136]. -----: ARBURG Practical Guide to Injection Moulding, p.265, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury, www.arburg.com, 2004, ISBN 1-85957-444-0.
- [137]. -----: ARBURG_Product_range_horizontal_ALLROUNDER_en_GB, <http://www.arburg.com>, 2010.
- [138]. -----: ARBURG_hybrid_ALLROUNDER_en_GB, www.arburg.com, 2011.
- [139]. -----: ARBURG Product information, www.arburg.com, 2009.
- [140]. -----: ARBURG Product information, www.arburg.com, 2010.
- [141]. -----: ARBURG Product information, www.arburg.com, 2012.
- [142]. -----: ARBURG GmbH+Co KG Technical brochure, www.arburg.com, 2009.
- [143]. -----: CalcMaster Brochure, <http://www.schouenberg.demon.nl>, 2011.
- [144]. -----: CalcMaster iKnowmoulding, <http://www.ccim.nl/download.html>, 2011.
- [145]. -----: Cavity and Core Components, D-M-E Catalog, MC164-165.pdf, <http://www.d-m-e.net>, 2009.
- [146]. -----: CimatronE mould design. http://www.cimatron.com/SIP_STORAGE/FILES/0/1762.pdf, 2010.
- [147]. -----: CimatronE mould quoting module. http://www.cimatron.com/SIP_STORAGE/FILES/0/1760.pdf, 2010.
- [148]. -----: Creo Plastic Advisor Extension. www.ptc.com, 2011.
- [149]. -----: Dassault systems Catia for mould and die brochure. http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/overview/add_on_apps/mold_design.shtml, 2011.
- [150]. -----: E-Expert Systems. <http://www.expertise2go.com/e2g3g/tutorials/ESIntro/>.
- [151]. -----: Euromap flyer 2. <http://www.euromap.org/files/EUROMAP-Flyer.pdf>, 2010.
-

- [152]. -----: Euromap 01. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [153]. -----: Euromap 02. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [154]. -----: Euromap 04. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [155]. -----: Euromap 06. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [156]. -----: Euromap 07. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [157]. -----: Euromap 10. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [158]. -----: Euromap 63. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [159]. -----: Euromap 65. <http://www.euromap.org/technical-issues/technical-recommendations>, 2012.
- [160]. -----: D-M-E Minicatalog1.pdf, www.d-m-e.net, 2008.
- [161]. -----: DME MoldBase Application, www.dme.net, 2010.
- [162]. -----: D-M-E mold configurator, Application, www.dme.net, 2010.
- [163]. -----: D-M-E mold configurator, Application, www.dme.net, 2012.
- [164]. -----: <http://www.euromap.org>, 2010.
- [165]. -----: HASCO DAKO Application, HASCO, www.hasco.com, 2010.
- [166]. -----: HASCO Digital Catalog, HASCO, CD, www.hasco.de, 2005.
- [167]. -----: HASCO Digital Catalog, HASCO, www.hasco.de, 2008.
- [168]. -----: HASCO SOFTWARE R3, HASCO, www.hasco.com, 2010.
- [169]. -----: HASCO 3D R6 Universal Modul, HASCO, www.hasco.com, 2011.
- [170]. -----: I know moulding 1.3.1, <http://www.ccim.nl>, 2010.
- [171]. -----: IMOLD for Solidworks technical specification., <http://www.imold.com/view/page/imold>, 2010.
- [172]. -----: Meusburger Digital Catalogue 5.0, CD, Meusburger, www.meusberger.com, 2010.
- [173]. -----: Mold Components Catalog, D-M-E 1_02a_4kt.pdf, www.d-m-e.net, 2008.
- [174]. -----: Mold Components Catalog, D-M-E 1_05a_4t.pdf, www.d-m-e.net, 2009.
- [175]. -----: Mold Components Catalog, D-M-E 1_05a_4tr.pdf, www.d-m-e.net, 2009.
- [176]. -----: Mold Components Catalog, Leader Pins D-M-E .pdf, www.d-m-e.net, 2009.
- [177]. -----: Mold Component Catalogue., <http://www.dmeeu.com>, 2011.
- [178]. -----: Mold Design, Tool Design Options, PTC, <http://www.ptc.com>, 2004.
- [179]. -----: Mold Design Documentation CD, PTC, Waltham, USA, 2004.
- [180]. -----: Mold Library Collection of Help Topics CD, PTC, Nashua, USA, 2003.
- [181]. -----: Mold Quote Program., www.bews.com, 2009.
- [182]. -----: Mold Works 2008., Digital Catalog V5., PLM Systems, 2008.
- [183]. -----: Missler Software TopSolid toolmaking.
http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/overview/add_on_apps/mold_design.shtml., 2009.
- [184]. -----: MPI&MPA, www.moldflow.com, 2012.
- [185]. -----: PCS Server Application, CD, www.partserver.se, 2010.
- [186]. -----: PCS Server Application, CD, www.partsolution.com, 2011.
- [187]. -----: Plastic Advisor Tutorial CD. Staffordshire University, Faculty of Computing and Technology, UK, 2008.
-

- [188]. -----: ProMax-One Injection Molding Machines Database, www.injecneering.com, 2012.
- [189]. -----: PX1 ProMax Tooling Engineer CD. Injection Net Solution Inc., 2007.
- [190]. -----: ProMax-One Product Life Management and Injection Molding Engineering Software, www.injecneering.com, 2012.
- [191]. -----: Pro/ENGINEER Expert Moldbase Extension 7.0 Release Notes. Pro/E Documentation CD, PTC, Ireland, 2010.
- [192]. -----: Pro/ENGINEER Wildfire Release Notes, Documentation CD, PTC, Ireland, 2010.
- [193]. -----: Pro/ENGINEER Wildfire 5.0, Documentation CD, PTC, Ireland, 2010.
- [194]. -----: Pro/ENGINEER PDE 6.0, Release Notes, Documentation CD, PTC, Ireland, 2009.
- [195]. -----: Pro/ENGINEER Basic Library, Release Notes, Documentation CD, PTC, Ireland, 2009.
- [196]. -----: Pro/ENGINEER Mold Base Library topics, CD, PTC, Ireland, 2009.
- [197]. -----: Pro/ENGINEER Toolkit, Release Notes, Documentation CD, PTC, Ireland, 2008.
- [198]. -----: Pro/E Wildfire, Collection of Help Topics CD, Nashua, USA, 2003.
- [199]. -----: PTC Pro/Engineer tool design and expert mould base brochure, http://www.ptc.com/WCMS/files/63763/en/4411_Manufacturing_DS_EN.pdf, 2010.
- [200]. -----: PTC Co-Create mould base data sheet. http://www.ptc.com/WCMS/files/71524/en/5193_CoCreate_Moldbase_dh1v2.1.pdf, 2012.
- [201]. -----: Siemens PLM Solidedge mould tooling. http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/, 2010.
- [202]. -----: solidedge/overview/add_on_apps/mold_design.shtml, 2010.
- [203]. -----: Strack Normalien CAD1, CD, www.strack.de, 2006.
- [204]. -----: Strack Normalien CAD2, CD, www.strack.de, 2006.
- [205]. -----: QuickParts QuickQuote datasheet., <http://www.quickparts.com/QuickQuote.aspx>., 2012.
- [206]. -----: Quick Ship 3D Download center., <http://downloadcenter.d-m-e.eu.com>, 2009.
- [207]. -----: Uporedni prikaz oznaka materijala <http://www.masfak.ni.ac.rs/>
- [208]. -----: VGX Mold Base Catalog Application. CD, EDS, 2004.
- [209]. -----: VISI Mould datasheet. http://www.verosoftware.com/cms/files/products/visi/downloads/VISI_Mould.pdf, 2010.
- [210]. -----: VX mould and die data sheet. http://www.vx.com/product_data_sheets/VX_MoldDie_datasheet.pdf, 2009.
- [211]. -----: www.metalravne.com/selector/, 2012.