Procjena vremena izrade proizvoda regresijskim modelima

Antolić, Dražen

Scientific master's theses / Magistarski rad

2007

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:677608

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

PROCJENA VREMENA IZRADE PROIZVODA REGRESIJSKIM MODELIMA

magistarski rad

mentor

dr. sc. **ĆOSIĆ PREDRAG**, izvanredni profesor

DRAŽEN ANTOLIĆ

Z A G R E B, 2 0 0 7.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU:

UDK:	658.5
Ključne riječi:	osnovni tehnološki proces, projektiranje tehnoloških procesa grupna tehnologija redoslijed operacija osnovne tehnološke operacije osnovni uzorak višestruka postupna linearna regresija vrijeme izrade baza znanja metode optimiranja
Znanstveno područje:	TEHNIČKE ZNANOSTI
Znanstveno polje:	Strojarstvo
Institucija u kojoj je rad izrađen:	FSB Zagreb
Mentor rada	prof. dr. Predrag Ćosić
Broj stranica	162
Broj slika:	23
Broj tablica:	37
Broj korištenih bibliografskih jedinica:	33
Datum obrane	27.04.2007.
Povjerenstvo:	Dr. sc. Nikola Šakić, red. prof. Dr. sc. Stjepan Risović, izv. prof. Dr. sc. Predrag Ćosić, izv. prof.
Institucija u kojoj jer rad pohranjen:	FSB Zagreb

U diplomskom radu posebno sam zahvalio svojim roditeljima

Josipu i Mariji

za njihovu ljubav, trud i samoodricanje u pružanju mi podrške tokom cijelog mog obrazovnog puta od prvoškolske klupe do diplomskog rada.
Zahvaljujem im i sada, kada više na žalost nisu ovdje sa nama, ali se nadam i vjerujem da su ponovno zajedno sa mojima tetkom i tetom

Mirkom i Ankicom Mužar

kojima posvećujem ovaj rad.

U Zagrebu ,
na Uskrs, 08.04.2007.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Poslijediplomski znanstveni studij
Smjer Industrijsko inženjerstvo i menadžment

Zagreb, 2007-01-11

Zadatak za magistarski rad

Kandidat: *Dražen Antolić, dipl. ing. strojarstva*

Naslov zadatka: **Procjena vremena izrade proizvoda regresijskim modelima**

Sadržaj zadatka:

Današnje razvijeno postindustrijsko zapadno društvo obilja karakterizira, među ostalim, prekomjerna ponuda, značajke zahtjevnog kupca te transfer/redistribucija tehnologija i proizvodnje u manje razvijene zemlje s nižim troškovima proizvodnje.
Za tržišni opstanak pojedinačne i maloserijske proizvodnje, fleksibilnost proizvodnje jedan je od najvažnijih preduvjeta. U radu će se kreirati, među ostalim i model približne procjene vremena izrade kod maloserijske i pojedinačne proizvodnje. Stoga, rad će prikazati:

a) definiranje problema i uvid u moguće metode rješavanja uočenog problema,
b) pregled tehnoloških procesa te procedura za određivanje redoslijeda operacija,
c) razvoj modela za približnu procjenu vremena izrade, rokova isporuke i redoslijeda tehnoloških operacija u uvjetima pojedinačne ili maloserijske proizvodnje,
d) definirane utjecajne čimbenike na vrijeme izrade te prikaz mogućih zavisnih i nezavisnih varijabli,
e) selekcijsku proceduru mogućih nezavisnih varijabli regresija te odabir reprezentativnog uzorka,
f) razvijene regresijske modele koji povezuju značajke proizvoda i zavisne varijable (vrijeme, oblik i dimenzije pripremka i sl.),
g) provjeru modela temeljem tehničke i tehnološke dokumentacije kompleksnog proizvoda.

Zadatak zadan: 23.01.2007.

Rad predan:

Mentor:
Dr.sc. Predrag Ćosić,
izvanredni prof.

Predsjednik Odbora za poslijediplomske studije:
Dr.sc.Tomislav Filetin,
red.prof.

Voditelj smjera:
Dr.sc.Nikola Šakić,
red.prof.

Zahvaljujem profesoru dr. sc. prof. emeritus Dragutinu Taboršaku na savjetu da prvo odem u praksu, pa tek onda upišem poslijediplomski studij. Iako nisam siguran da mi je 1985. godine, kada sam kod njega diplomirao, predložio baš toliko prakse.

Zahvaljujem vlasnicima i upravi tvrtke INAS-LAG (bivša Prvomajska) na povjerenju koji su mi ukazali, davanjem mi na korištenje dokumentacije bez koje ne bi bilo moguće provesti istraživanje. I na strpljenju, jer da ga nisu imali tijekom procesa istraživanja koji je trajao dvostruko duže od planiranog, kako bih im mogao objasniti da nije bilo loše planirano, nego je temeljitije istraženo.

Zahvaljujem svojoj supruzi Karolini na podršci tijekom ovog razdoblja intenzivnog istraživanja, ali prvenstveno na pomoći prilikom unosa podataka u relacijsku bazu. Podršku ionako imam od 07.02.1987. godine.

Zahvaljujem profesoru dr. sc. Nikoli Šakiću, koji je najzaslužniji za odabir teme ovog rada, a koji je, iako neprimjetno u samom tijeku izrade, uvijek bio tu u ključnim etapama, što mi je davalo posebnu sigurnost i energiju koja me vodila završetku rada.

Posebno zahvaljujem profesoru dr. sc. Predragu Ćosiću, voditelju rada, na danim sugestijama tokom izrade magistarskog rada, koje su pridonosile kvaliteti ovog rada, ali i otvarale nove dimenzije mogućih rješenja. Zahvaljujem mu na vremenu koje je odvojio, na literaturi kojom me opskrbio, studioznosti kojom je vodio ovaj rad, ali nadasve na njegovom prirodnom daru kojim me i bez vidljivog poticanja uvijek u pravom trenutku uspio usmjeriti u pravom smjeru. Ili za taj dar treba zahvaliti nekom drugom.

SADRŽAJ

PREDGOVOR VIII
SAŽETAK IX
SUMMARY X
KLJUČNE RIJEČI XI
POPIS OZNAKA XII
POPIS JEDNADŽBI VEZANIH UZ VRIJEME IZRADE XV
POPIS SLIKA XVI
POPIS TABLICA XVII
1. DEFINIRANJE PROBLEMA 1
1.1 TEHNOLOŠKI PROCESI 5
1.1.1 Vrste tehnoloških procesa 6
1.1.2 OTP – osnovni tehnološki proces 7
1.1.3 Predviđeni tehnološki postupci kao operacije u OTP-u 9
1.1.4 Materijali u OTP-u 11
1.1.5 Redoslijed operacija u OTP-u 13
1.1.6 Vrijeme izrade u OTP-u 14
1.1.7 Utjecaj veličine serije na OTP 18
1.2 CRTEŽI 19
1.2.1 Karakteristike crteža 20
1.2.2 Osnovni podaci o proizvodu 23
1.2.3 Tehnički podaci o proizvodu 25
1.2.4 Podaci o materijalu proizvoda 26
1.2.5 Podaci o složenosti izratka 27
1.2.6 Podaci o zahtijevnosti izratka 28
1.3 VARIJABLE OTP-A 30
1.3.1 Zavisne varijable OTP-a 30
1.3.2 Uvjetno nezavisne varijable OTP-a 31
1.3.2 Nezavisne varijable OTP-a 31
1.4 PRETHODNO ISTRAŽIVANJE 36
1.4.1 Prethodni uzorak 36
1.4.2 Model prethodnog istraživanja 38
1.4.3 Rezultati prethodnog istraživanja 39
2. HIPOTEZE 41
3. ISTRAŽIVANJE 42
3.1 UZORAK 43
3.1.1 Opis uzorka 43
3.1.2 Prednosti i nedostaci uzorka 46
3.1.3 Ograničenja uzorka na istraživanje 47
3.2 PRIPREMA ISTRAŽIVANJA 48
3.2.1 Metoda istraživanja 48
3.2.2 Pohrana utvrđenih podataka 48
3.3 UTVRĐIVANJE VRIJEDNOSTI PODATAKA U UZORKU 51
3.3.1 Kvantificiranje elemenata tehnološkog procesa 52
3.3.2 Kvantificiranje karakteristika crteža 52

3.4 ANALIZA UZORKA 53
3.4.1 Osnovni podaci o uzorku za istraživanje (443 pozicije) 54
3.4.2 Ograničenja podataka obzirom na utvrđene vrijednosti 55
3.4.3 Statistički podaci o uzorku 56
3.4.4 Rezultati osnovnog regresijskog modela 57
4. OBRADA PODATAKA 59
4.1 PRIPREMA UZORKA ZA OBRADU 60
4.2 PRIPREMA PODATAKA ZA OBRADU 61
4.2.1 Utvrđivanje značajnih karakteristika crteža 61
4.2.2 Utvrđivanje značajnih osnovnih nezavisnih varijabli 62
4.2.3 Utvrđivanje značajnih uvjetno nezavisnih varijabli 63
4.2.4 Utvrđivanje značajnih dodatnih nezavisnih varijabli 64
4.2.5 Utvrđivanje značajnih tehnoloških parametara 64
4.2.7 Redoslijed značajnih tehnoloških postupaka u OTP-u 65
4.2.7 Vrijeme izrade kao zavisna varijabla 66
5. KLASIFIKACIJE U OTP-u 68
5.1 MATERIJALI OTP-a 71
5.2 TIPOVI OTP-a 79
5.3 GRANE OTP-a 85
6. REGRESIJSKI MODELI ZA PROCJENU VREMENA IZRADE 89
6.1 OBLIKOVANJE REGRESIJSKIH MODELA 91
6.1.1 Prethodno oblikovanje regresijskih modela 93
6.1.2 Uređenje uzorka za oblikovanje regresijskih modela 98
6.1.3 Matrice podataka za oblikovanje regresijskih modela 103
6.1.4 Značajni regresijski modeli 104
6.2 JEDNADŽBE ZA PROCJENU VREMENA 118
6.2.1 Analiza regresijskih jednadžbi za procjenu vremena izrade 119
6.2.2 Sinteza rezultata 121
7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA 123
7.1 OSTVARENA RJEŠENJA 124
7.1.1 Potvrđenost hipoteza 124
7.1.2 Dodatni elementi rješenje 126
7.1.3 Primjenljivost rješenja 127
7.2 MOGUĆI DALJNJI RAZVOJ RJEŠENJA 130
7.2.1 OTP i aplikacije za izradu tehničkih crteža 130
7.2.2 Generalni uzorak OTP-a 133
7.2.3 Aplikacija OTP-a 135
7.2.4 OTP i aplikacije za planiranje i praćenje proizvodnje 137
7.2.5 Implementacija OTP-a 138
ZAKLJUČAK 139
LITERATURA 140
ŽIVOTOPIS 142
CURRICULUM VITAE 143
PRILOZI 144

PREDGOVOR

«Vrijeme je osnovno organizacijsko mjerilo», općenito je pravilo iz kojeg proizlazi nužnost poznavanja osnovnih tehnoloških parametara prije početka bilo kojeg proizvodnog procesa.
U skladu s ovim pravilom potrebni tehnološki postupci i vremena izrade u slučaju masovne i velikoserijske proizvodnje određuju se unaprijed, dok je kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje potrebno vrijeme izrade vrlo često izvedena jedinica, najčešće iz prodajne cijene proizvoda. O-01-003
Vremena izrade određena na temelju prodajne cijene, umjesto obrnuto, upitne su točnosti, pa je i svako planiranje proizvodnje temeljeno na njima upitno.
Iako kriterij minimalnih troškova iziskuje koncept masovne proizvodnje, još uvijek se veliki dio proizvodnje provodi kao pojedinačna ili maloserijska proizvodnja, koju karakteriziraju

- **velik broj zahtjevnih pozicija u malim serijama**
- **kratki rokovi isporuke**
- **težnja tržišta da se cijene približe cijenama masovne proizvodnje,**

što sve skupa značajno skraćuje dostupno vrijeme za projektiranje tehnoloških procesa.
Istodobno, zbog povećane konkurencije na tržištu vjerojatnost dobivanja ugovora znatno je smanjena, pa se veliki dio ponuda na kraju niti ne realizira u ugovor, a trošak određivanja potrebnog vremena izrade nepovratno je izgubljen za tvrtku.

Dakle, za razliku od masovne proizvodnje kojoj je od osnovnog značaja financijski potencijal tvrtke, za opstanak na tržištu ***pojedinačne i maloserijske proizvodnje*** osnovni je ***preduvjet tehnološka fleksibilnost tvrtke***.
Za uspješno poslovanje nužan uvjet je poznavanje potrebnih vremena izrade za svaki izradak već u procesu prodaje, u aktivnosti obrade upita. Pri tome su tehnološka znanja i brzina projektiranja tehnoloških procesa značajniji od same tehnološke razine opreme i vještine i znanja ljudi koji tehnologiju neposredno provode.
Problem je što je za projektiranje tehnoloških procesa potreban angažman najstručnijih zaposlenika tvrtke, što stvara dodatne troškove za tvrtku, ali što je još značajnije, smanjuje kapacitete potrebne za optimiranje tehnoloških procesa.

Rješenje je u osnovnim tehnološkim procesima (OTP), koji se mogu brzo i jednostavno projektirati, po mogućnosti automatizirano i bez potrebe za sudjelovanjem tehnologa.[1]
OTP mora zadovoljiti potrebe procesa prodaje, uz istovremenu mogućnost da u slučaju dobivanja ugovora posluži kao podloga tehnologu za optimiranje. Za jednostavnije izratke čak i izravno operativnoj pripremi za planiranje i praćenje proizvodnje.
Budući se tehnološki procesi temelje na crtežu izratka, OTP bi se trebao određivati na temelju karakteristika crteža, veličina koje se daju brojčano izraziti, a čije kvantificiranje se može djelomično ili u potpunosti automatizirati izradom odgovarajuće računalne aplikacije. Pri tome treba naglasiti da kvantificiranje i unos podataka u aplikaciju može obaviti bilo koji zaposlenik tvrtke uz minimalnu poduku.

Svrha ovog rada je utvrditi postoje li dovoljno čvrste veze između karakteristika crteža i potrebnih vremena izrade, koje se daju izraziti jednadžbama na temelju kojih bi se sa zadovoljavajućom točnošću mogli projektirati osnovni tehnološki procesi.

[1] osnovni tehnološki proces (OTP) originalna je ideja autora ovog rada, detaljno opisana u nastavku

SAŽETAK

Rad se bavi projektiranjem tehnoloških procesa za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju.

Problem je definiranje parametara osnovnog tehnološkog procesa, potrebnih tehnoloških postupaka, redoslijeda tehnoloških operacija i potrebnog vremena izrade.

Postoje različiti pristupi projektiranju tehnoloških procesa, a svima je zajednička neizbježnost potrebe za tehnologom u procesu projektiranja tehnoloških procesa, koja se zasniva prvenstveno na osobnom stručnom znanju tehnologa.
Dakle, tehnolog rješava probleme projektiranja tehnoloških procesa koristeći uglavnom prijašnja vlastita ili tuđa iskustva, intuiciju, a u mnogo manjoj mjeri i zajedničko ekspertno znanje, strukturirano u baze znanja.

U praksi to rezultira velikim utroškom ljudskog rada u projektiranju tehnoloških procesa, a sve češće i za proizvode koji se u tvornici neće niti proizvoditi, jer je ugovor dobila konkurentska tvrtka na tržištu.
Troškovi koji time nastaju za tvrtku, ali i činjenica da se parametri tehnoloških procesa značajno razlikuju od tehnologa do tehnologa, što ukazuje na upitnost kvalitete projektiranih tehnoloških procesa, potaknuli su autora ovog rada na sagledavanje, definiranje, te rješavanje ovog problema.

Pri definiranju problema provedena je detaljna analiza poznatih rješenja, a izvršeno je i prethodno istraživanje u cilju utvrđivanja mogućih čimbenika koji utječu na tehnološke parametre, pri čemu su utvrđeni i oni koji do sada nisu uzimani u obzir.
Na temelju tako definiranog problema, izvršeno je obimno istraživanje na uzorku različitih pozicija, pri čemu su svi podaci pohranjivani u relacijsku bazu podataka razvijenu od strane autora. Ova baza podataka ujedno je i baza znanja, budući su i prije samog istraživanja u nju ugrađena poznata znanja vezana uz projektiranje tehnoloških procesa, kao primjerice, međusobni odnos razreda hrapavosti i reda tolerancije, predmnijevani redoslijed operacija i sl.)
Podaci su temeljito obrađeni, a za procjenu vremena izrade oblikovani su različiti regresijski modeli, uglavnom temeljeni na razgranatoj strukturi podataka iz uzorka.

Osmišljeno je i novo i originalno rješenje problema pod nazivom osnovni tehnološki proces (OTP).

OTP je model odlučivanja u projektiranju tehnoloških procesa kojeg je moguće u potpunosti automatizirati, budući se temelji na brzim, jednostavnim i relativno pouzdanim obrascima odlučivanja.
OTP povezuje postojeća tehnološka znanja u zajedničkoj bazi podataka, upotpunjenoj sa potpuno novim elementima i metodama za klasifikaciju dijelova i procjenu vremena izrade. Prvenstveno su to tip OTP-a, grana OTP-a, regresijski modeli i jednadžbe za procjenu vremena izrade na temelju regresijskih modela.

Predloženo rješenje moguće je relativno brzo primijeniti u praksi, a daljnja nadgradnja i razvoj rješenja išao bi u pravcu istraživanja zajedničkog regresijskog modela s većim stupnjem generalizacije.

SUMMARY

This paper deals with process planning for individual production, as well as for production of small series.

The problem lies in defining parameters of primary processes planning, required technological procedures, sequence operations and required machining time.

There are different approaches in process planning, but they all have something in common: the imminence of a need for a technologist in process planning, which is based primarily on personal expertise of the technologist.
The technologist solves problems of process planning mainly using prior, personal or somebody else's, experiences, intuition and, to a smaller extent, shared expertise, structured into a knowledge base.

In practice, it results with a lot of human labor in process planning, and very frequently even for products, which will not be produced in the factory, because a competitive company on the market got the deal.
What made the author of this paper to observe, define and resolve this problem are the costs that arise in this way, but also the fact that parameters of technological processes significantly differ from a technologist to a technologist, which points out the questionability of process planning quality.

By defining the problem, a detailed analysis of known solutions was conducted, as well as a prior research, with a goal to define possible factors influencing technological parameters, and it defined even those, which were not taken into account until now.
Based on such definition of the problem, a voluminous research was conducted, on the sample of different positions, while all data was saved in a relational data base developed by the author of this paper. This data base is at the same time a knowledge base, because prior knowledge related to process planning was integrated into it even before this research, as for example, correlation between roughness class and tolerance class, predefined sequence operations and similar.
Data was thoroughly processed and different regression models were formed for machining time estimate, mostly based on extended data structure from the sample.

A new and original solution of the problem was defined under the name Basic Technological Process (BTP).

BTP is a determining model in process planning, which can be fully automatized, since it is based on fast, simple and relatively reliable forms of determination.
BTP merges existing technological knowledge in shared data base, completed with entirely new elements and methods for parts classification and machining time estimate. Those are primarily BTP type, BTP branch, regression models and equations for machining time estimate based on regression models.

Proposed solution could be used in practice in a relatively short time, and further upgrade and solution development would be directed to research of shared regression model with a higher grade of generalization.

KLJUČNE RIJEČI

T-01	Tablica ključnih riječi	01-01
KLJUČNE RIJEČI		
Redni broj	***Hrvatski***	***Engleski***
1	osnovni tehnološki proces (OTP)	basic technological process
2	projektiranje tehnoloških procesa (PTP)	process planning
3	grupna tehnologija	group technology
4	redoslijed operacija	sequence operations
5	osnovne tehnološke operacije	basic technological operations
6	osnovni uzorak	basic sample
7	višestruka postupna linearna regresija	stepwise multiple regression
8	vrijeme izrade	machining time
9	baza znanja	knowledge base
10	metode optimiranja	optimization methods

POPIS OZNAKA

T-02	Tablica popisa oznaka		01-03
POPIS OZNAKA			
Redni broj	***VELIČINA***		
	Oznaka	Naziv	Mjerna jedinica
1	A_C	Potrebna površina crteža	m^2
2	*AD*	Karakteristike crteža	-
3	*AD01*	Oznaka dijela	-
4	*AD12*	Format crteža	-
5	*AD13*	Mjerilo crteža	-
6	*AD20*	Toplinska obrada	-
7	*AD23*	Površinska zaštita	-
8	*AD28*	Red tolerancije vanjskog promjera	-
9	*AD35*	Pred oznaka kvalitete materijala	-
10	*AD36*	Oznaka kvalitete materijala	-
11	*AD37*	Dopunska oznaka kvalitete materijala	-
12	A_F	Površina crteža	m^2
13	A_M	Površina oplošja polaznog materijala	dm^2
14	B_I	Širina izratka	mm
15	B_M	Širina polaznog materijala	mm
16	d_I	Debljina izratka	mm
17	d_M	Debljina polaznog materijala	mm
18	D_O	Dodatak za obradu	mm
19	G_M	Obujamska masa materijala	kg/m^3
20	I_I	Izmjera izratka	mm
21	I_M	Izmjera materijala	mm
22	I_P	Potrebna izmjera materijala	mm
23	$k_{\Delta t}$	Koeficijent greške procjene vremena izrade	broj
24	K_O	Broj običnih kota	
25	K_P	Broj posebnih kota	
26	K_T	Broj toleriranih kota	
27	k_t	Koeficijent vremena	broj
28	L_I	Duljina izratka	mm
29	L_M	Duljina polaznog materijala	mm
30	M_K	Masena čvrstoća materijala	$(kg/m^3)/(N/mm^2)$
31	m_M	Masa polaznog materijala	kg
32	N_G	Broj oznaka položaja	
33	N_H	Broj oznaka hrapavosti	

T-02	Tablica popisa oznaka		02-03
POPIS OZNAKA			
Redni broj	***VELIČINA***		
	Oznaka	Naziv	Mjerna jedinica
34	N_{HG}	Broj oznaka hrapavosti i geometrije	
35	N_L	Broj listova	
36	n_{nv}	Broj nezavisnih varijabli	
37	N_O	Broj opisa	
38	n_o	Broj operacija u OTP-u	
39	N_P	Broj pogleda	
40	n_p	Broj pozicija u uzorku	
41	N_{SK}	Broj svih kota	
42	N_{SO}	Broj svih oznaka	
43	N_{vs}	Broj komada u seriji (veličina serije)	komad
44	O_B	Odnos širine i duljine	broj
45	O_d	Odnos debljine i duljine	broj
46	O_Φ	Odnos promjera i duljine	broj
47	O_M	Odnos mjera na crteži i izratku	broj
48	O_P	Odnos širine i debljine	mm
49	O_s	Odnos debljine stjenke i duljine	broj
50	r^2	Koeficijent determinacije regresijske analize	broj
51	R_M	Vlačna čvrstoća materijala	N/mm^2
52	$RMSE$	Standardna greška regresijskog modela	ch (min)
53	R_T	Red tolerancije vanjskog promjera izratka (IT)	red tolerancije
54	S_H	Hrapavost slobodnih površina	razred hrapavosti
55	s_I	Debljina stjenke izratka	mm
56	S_{OK}	Složenost izratka	broj
57	t	OTP vrijeme izrade	ch (min)
58	t_d	Dodatno vrijeme izrade	ch (min)
59	t_n	Komadno vrijeme izrade	ch (min)
60	t_N	Vrijeme izrade serije	ch (min)
61	t_{pz}	Pripremno završno vrijeme	ch (min)
62	t_{tp}	Tehnološko pomoćno vrijeme	ch (min)
63	t_u	Projektirano vrijeme izrade	ch (min)

T-02	Tablica popisa oznaka		03-03
POPIS OZNAKA			
Redni broj	***VELIČINA***		
	Oznaka	Naziv	Mjerna jedinica
64	t_{zg}	Granično vrijeme	ch (min)
65	V_M	Volumen polaznog materijala	cm^3
66	Z_G	Položaj zahtjev	mm
67	Z_G^{-1}	Inverzni položaj zahtjev	1/mm
68	Z_H	Hrapavost zahtjev (Ra)	razred hrapavosti
69	Z_H^{-1}	Inverzna hrapavost zahtjeva	1/razred hrapavosti
70	Z_M	Mjera zahtjev	mm
71	Z_M^{-1}	Inverzna mjera zahtjev	1/mm
72	*ZN05*	Oblik polaznog materijala	-
73	*ZN06*	Vrsta prerade kojom se proizveo polazni materijal	-
74	Z_P	Promjer zahtjev (IT)	red tolerancije
75	Z_P^{-1}	Inverzni promjer zahtjev	1/red tol.
76	Z_T	Tvrdoća izratka	HRc
77	Δd	Razlika debljine	mm
78	ΔB	Razlika širine	mm
79	$\Delta\Phi$	Razlika vanjskog promjera	mm
80	ΔH	Razlika hrapavosti	razred hrapavosti
81	$\Delta\varphi$	Razlika unutarnjeg promjera	mm
82	ΔL	Razlika duljine	mm
83	Δ_{RM}	Apsolutna greška procjene vremena	ch (min)
84	δ_{RM}	Relativna greška procjene vremena	%
85	Φ_I	Vanjski promjer izratka	mm
86	φ_I	Unutarnji promjer izratka	mm
87	Φ_M	Vanjski promjer polaznog materijala	mm
88	φ_M	Unutarnji promjer polaznog materijala	mm
89	Γ_{RM}	Greška modela	%

Obrnuta kvačica iznad bilo koje navedene oznake u ovom radu ukazuje da se radi o procijenjenim vrijednostima. (Prvenstveno se to odnosi na procijenjena vremena izrade)

POPIS JEDNADŽBI VEZANIH UZ VRIJEME IZRADE

T-03	Tablica popisa jednadžbi			01-01
POPIS JEDNADŽBI				
Redni broj	Oznaka	***Jednadžba***	***Naziv jednadžbe***	***Stranica***
1	1.1	$t_d = t_{tp} \times k_d$	dodatno vrijeme	14
2	1.2	$t_u = t_{pz} + t_{tp}$	projektirano vrijeme	15
3	1.3	$k_t = \frac{t_{pz}}{t_{tp}}$	koeficijent vremena	15
4	1.4	$t_{pz} = k_t \times t_{tp}$	pripremno završno vrijeme	15
5	1.5	$t_{tp} = \frac{t_{pz}}{k_t}$	tehnološko pomoćno vrijeme	15
6	1.6	$t_{tp} = \frac{t_u}{1+k_t}$	tehnološko pomoćno vrijeme	15
7	1.7	$t_{pz} = \frac{t_u \times k_t}{1+k_t}$	pripremno završno vrijeme	15
8	1.8	$t_n = \frac{t_{pz}}{N_{vs}} + t_{tp} + t_d$	komadno vrijeme izrade	16
9	1.9	$t_N = t_{pz} + N_{vs} \times (t_{tp} + t_d)$	vrijeme izrade serije	16
10	1.10	$t_N = t_n \times N_{VS}$	vrijeme izrade serije	16
11	1.11	$t_n = t_{tp} \times (\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d)$	komadno vrijeme izrade	16
12	1.12	$t_n = \frac{t_u}{1+k_t} \times \left(\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d \right)$	komadno vrijeme izrade	16
13	6.1	$k_t = \frac{t_u - t_{tp}}{t_{tp}}$	koeficijent vremena	89
14	6.2	$\Delta_{RM} = t_{RM} - \hat{t}_{RM}$	apsolutna greška procjene	105
15	6.3	$\delta_{RM} = \frac{\Delta_{RM}}{t_{RM}} \times 100\%$	relativna greška procjene	105
16	6.4	$\Gamma_{RM} = \frac{\sigma(\Delta_{RM})}{\bar{x}(\hat{t}_{RM})} \times 100\%$	greška modela	105
17	7.1	$k_{\Delta t} = \frac{t - \hat{t}}{t}$	koeficijent greške procjene vremena izrade	127

POPIS SLIKA

T-04	Tablica popisa slika		01-01
	POPIS SLIKA		
Redni broj	***Oznaka***	***Naziv slike***	***Stranica***

1	1.1	Shematski prikaz povezanosti crteža i tehnološkog procesa	2
2	1.2	Dijagram toka projektiranja osnovnog TP-a	3
3	1.3	Pregled rezultata prethodnog istraživanja	40
4	3.1	Crtež pozicije iz uzorka	44
5	3.2	Tehnološki list pozicije iz uzorka	45
6	3.3	Shematski prikaz relacijske baze podataka	48
7	3.4	Obrazac za unos podataka sa crteža	49
8	3.5	Obrazac za unos podataka sa tehnološkog lista	50
9	3.6	Udio komponenti vremena u ukupnom utvrđenom vremenu u uzorku	56
10	3.7	Usporedba koeficijenata determiniranosti osnovnog regresijskog modela	58
11	3.8	Usporedba standardne greške osnovnog regresijskog modela	58
12	4.1	Prilagodba uzorka obzirom na zastupljenost varijabli	60
13	5.1	Način označavanja grana OTP-a	86
14	5.2	Statistički pokazatelji osnovnog uzorka «OTP 415-1692»	88
15	6.1	Statistički pokazatelji zavisne varijable za uzorak sa 394 pozicije	99
16	6.2	Statistički pokazatelji zavisne varijable za uzorak od 307 pozicija	100
17	6.3	Statistički pokazatelji raspodjele mase u uzorku od 307 pozicija	101
18	6.4	Statistički pokazatelji raspodjele nezavisne varijable «složenost proizvoda» u uzorku od 305 pozicija	101
19	6.5	Zastupljenost nezavisnih varijabli u generalnom regresijskom modelu	116
20	6.6	Frekvencija zastupljenih nezavisnih varijabli u generalnom regresijskom modelu	117
21	6.7	OTP rješenje	122
22	7.1	Crtež sa podacima karakteristika crteža	132
23	7.2	OTP kao veza između CAD i CAPP-a	137

POPIS TABLICA

T-05	Tablica popisa tablica		01-01
POPIS TABLICA			
Redni broj	Oznaka	***Naziv tablice***	Stranica

1	T-01	Ključne riječi ovog rada	XI
2	T-02	Popis oznaka u ovom radu	XII
3	T-03	Popis jednadžbi u ovom radu	XV
4	T-04	Popis slika u ovom radu	XVI
5	T-05	Popis tablica	XVII
6	T-06	Vrste tehnoloških procesa	6
7	T-07	Osnovni tehnološki proces - OTP	7
8	T-08	Mogući tehnološki postupci kao operacije u OTP-u	10
9	T-09	Mogući oblici materijala u OTP-u	12
10	T-10	Moguće izmjere materijala u OTP-u	13
11	T-11	Predviđene karakteristike crteža za OTP	22
12	T-12	Predviđene uvjetno nezavisne varijable OTP-a	31
13	T-13	Predviđene nezavisne varijable OTP-a	35
14	T-14	Značajne karakteristike crteža	61
15	T-15	Osnovne nezavisne varijable	62
16	T-16	Značajne uvjetno nezavisne varijable	63
17	T-17	Utvrđene vrijednosti uvjetno nezavisnih varijabli	63
18	T-18	Dodatne nezavisne varijable	64
19	T-19	Značajni tehnološki postupci kao operacije u OTP-u	65
20	T-20	Usporedna tablica oznaka podataka o materijalu	72
21	T-21	Mogući oblici materijala u «OTP 415»	73
22	T-22	Klasifikacijska tablica za izbor oblika materijala	78
23	T-23	Mogući značajni tipovi OTP-a	83
24	T-24	Rezultati prethodno oblikovanih regresijskih modela	94
25	T-25	Odnos ukupnog i sume pojedinačnih procijenjenih vremena izrade	95
26	T-26	Nezavisne varijable regresijskih modela	106
27	T-27	Regresijski model A0000 (sve pozicije uzorka 302)	108
28	T-28	Regresijski model A00B1 (okrugle šipke)	109
29	T-29	Regresijski model AB102 (osovine)	110
30	T-30	Regresijski model AB1C1 (diskovi)	111
31	T-31	Regresijski model AC102 (precizni diskovi)	112
32	T-32	Regresijski model AB103 (razni rotacijski dijelovi)	113
33	T-33	Regresijski model A0004 (plosnate šipke)	114
34	T-34	Regresijski model A0005 (ploče, limovi)	115
35	T-35	Rezultati regresijskih modela za sve grane OTP-a	120
36	T-36	Obrada upita za ponudu 7 pozicija	128
37	T-37	Prilozi	144

1. DEFINIRANJE PROBLEMA

Proizvodnja[2] je definirana tehničkom i tehnološkom dokumentacijom.
Tehnička dokumentacija:

- **određuje svojstva budućeg izratka**
- **nastaje u pravilu u procesu razvoja u tvrtci čiji je proizvod**
- **vlasništvo je tvrtke za proizvodnju vlastitih proizvode, ili vlasništvo kupca za proizvodnju po ugovoru**
- **uglavnom se podrazumijeva da je minimalna tehnička dokumentacija crtež, ili barem skica.**

Tehnološka dokumentacija:

- **određuje način na koji će se proizvesti izradak**
- **nastaje u pravilu u procesu izrade tvrtke koja proizvodi, rjeđe u procesu prodaje**
- **gotovo isključivo vlasništvo je tvrtke koja vrši proizvodnju**
- **uglavnom se podrazumijeva se da je minimalna tehnološka dokumentacija tehnološki list, ili barem operacijski list.**

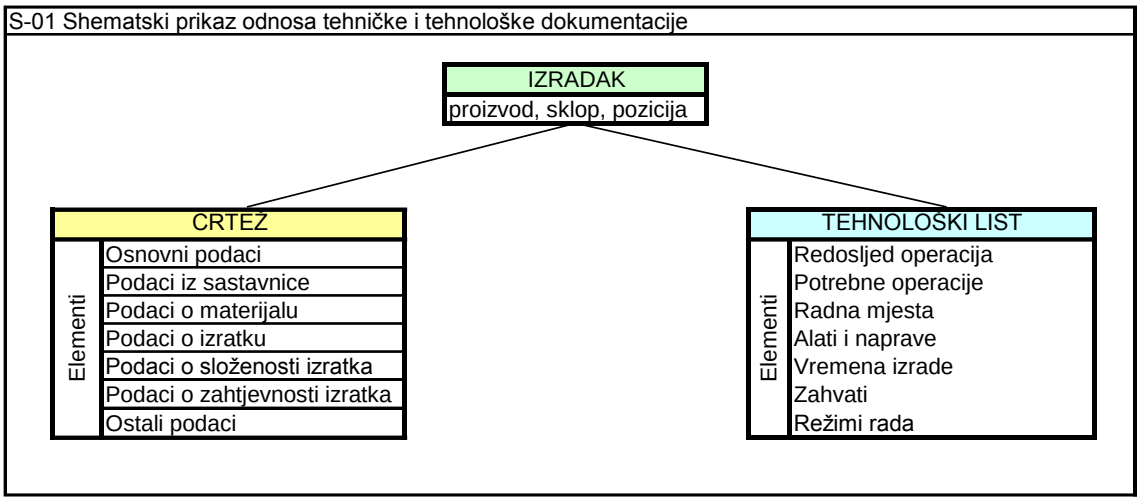
Iako postoje standardi za izradu tehničke i tehnološke dokumentacije, u praksi se ona razlikuje od tvrtke do tvrtke i to ne samo po obliku, nego i po elementima koje obuhvaća. Posebno se raznolikost očituje kod tehnološke dokumentacije, gdje su mogući primjeri detaljnije razrade na razini zahvata sa dodatnim opisima, pa do primjera u kojima je sva tehnološka dokumentacija svedena na popunjavanje redoslijeda operacija u žigom otisnutoj tabeli na samom crtežu izratka.[1] L-01-1-419 ***U pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji*** nije rijedak slučaj ni da je tehnička dokumentacija jedina dokumentacija koja se koristi pri izradi proizvoda, ***odnosno da tehnološka dokumentacija ne postoji***.

Uz trošak izrade tehnološke dokumentacije kao najčešći razlog nedovoljne definiranosti, ili čak nepostojanja tehnološke dokumentacije u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, postoji još i nekoliko dodatnih razloga:

- **kratki rokovi isporuke**
- **učestali upiti za novim izradcima što znači povećanje broja potrebnih novih tehnoloških procesa**
- **nužnost optimiranja postojećih tehnoloških procesa što značajno povećava potrebu za angažmanom stručnih osoba (tehnologa) u tvrtci**
- **razvoj CNC strojeva, gdje programi zamjenjuju tehnološke listove**
- **stručni zaposlenici na radnim mjestima koji sami mogu odrediti tehnološki postupak, pa ne trebaju posebne upute.**

[2] proces svjesnog, organiziranog djelovanja čovjeka na predmete rada pomoću sredstava za rad u cilju stvaranja materijalnih dobara za direktno ili indirektno zadovoljenje njegovih potreba

Razumljiv je različit stupanj razrade budućih proizvodnih aktivnosti kod različitih tvrtki, ili čak i unutar iste tvrtke za različite izratke. No, je ipak potrebno odrediti minimum razrade na temelju kojeg je moguće donositi poslovne odluke za budućnost, ali i uspoređivati postignute rezultate i ocjenjivati postojeće stanje u tvrtci.
Postojeće stanje u tvrtci može se objektivno ocjenjivati isključivo po kriterijima vezanim uz ostvarenje ciljeva, a elementi razrađenih tehnoloških procesa predstavljaju, kao planirane vrijednosti, upravo kriterije za ocjenu ostvarenja ciljeva.
Povezanost izratka, tehničke i tehnološke dokumentacije shematski je prikazanja na slici 1.1. S-01-002



Slika 1.1 Shematski prikaz povezanosti crteža i tehnološkog procesa

Ukoliko se karakteristike crteža i parametri tehnološkog procesa označe kao:

- ***AD*** **karakteristike crteža (elementi crteža)**
- ***PTP*** **parametri tehnološkog procesa (podaci na tehnološkom listu),**

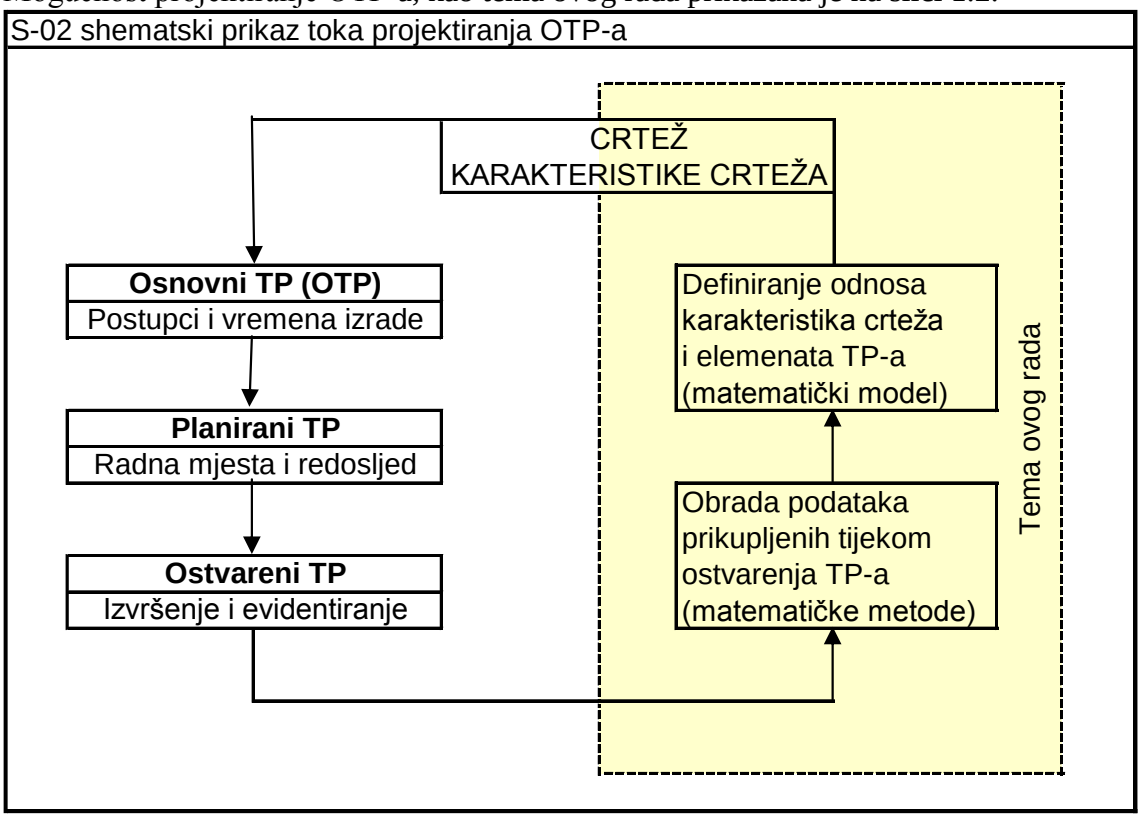
za isti izradak vrijedi:

- ***AD=f*(izratka)**
- ***PTP=f*(izratka)**
- ***AD*=const.**
- ***PTP*#const.**

Budući da po prirodi stvari vrijedi da crtež prethodi tehnološkom listu, odnosno da se tehnološka dokumentacija izrađuje na temelju tehničke dokumentacije postavlja se ***pitanje*** da li je za isti izradak moguće ***kvantificirati tehnološki proces na osnovu karakteristika crteža***. [2] L-02-1-000
Svrha ovog rada je utvrditi da li postoji funkcija koja povezuje tehnološke parametre sa karakteristikama crteža ***f(AD,PTP)***, koja zadovoljava kriterij prihvatljive pogreške, odnosno dozvoljenog odstupanja pri određivanju tehnoloških parametara izrade na temelju karakteristika crteža.

Ukoliko takva funkcija postoji, potrebno ju je definirati i kvantificirati uz navođenje područja za koje vrijedi, odnosno naznačiti njena ograničenja.

Projektirani tehnološki proces na temelju karakteristika crteža naziva se «Osnovni tehnološki proces», ili kraće «Osnovni TP», ili još kraće «OTP».
Mogućnost projektiranje OTP-a, kao tema ovog rada prikazana je na slici 1.2. S-02-003



Slika 1.2 Dijagram toka projektiranja osnovnog TP-a

O-01

Zašto je potreban OTP?

U praksi uvijek postoje barem dva vremena izrade, i to:

- planirano (unaprijed određeno)
- ostvareno (stvarno utrošeno).

Gotovo nikada planirano i ostvareno vrijeme izrade nekog proizvoda nije jednako. Samo odstupanje je razumljivo i očekivano u određenom mjeri, ali problem nastaje kada se to odstupanje značajno razlikuje.
U pravilu se u tvrtkama ovaj problem rješava raspravama tipa tko je kriv za loš rezultat, između odjela prodaje (planirano vrijeme izrade) i proizvodnje (ostvareno vrijeme izrade).
Pri rješavanju ovog problema uprava tvrtke umjesto vremena kao osnovnog organizacijskog mjerila vrlo često uvodi novo mjerilo, a to je novac, konstatacijom da konkurencija isti proizvod radi jeftinije. Ovaj pristup implicira da je potrošeno vrijeme izrade preveliko, odnosno da je krivnja na strani proizvodnje.
Nakon nekoliko takvih situacija u tvrtci novac postaje osnovno mjerilo, a vrijeme kao podloga za operativnu pripremu, rokove isporuke, potreban broj radnih mjesta i slično, postaje izvedeno mjerilo, upitne točnosti.
Pri tome se pod pojmom izvedeno mjerilo smatra da potrebno vrijeme izrade nije određeno znanstvenim metodama, već na temelju odnosa cijene proizvoda i cijene sata rada, gdje cijenu proizvoda određuje «Tržište», a cijenu sata rada uprava tvrtke.

S vremenom, budući da se proizvodnja planira na temelju ulaznih podataka upitne kvalitete, operativna priprema prestaje biti potrebna tvrtci.
Posljedica je loš poslovni rezultat tvrtke uslijed neizvršenja rokova, odnosno neizvršenja ugovorenih poslova. Dakle, tvrtka propada jer ima previše ugovora koje realno ne može izvršiti. Percepcija zaposlenih je da je uprava tvrtke namjerno uništila tvrtku koja je dobro kotirala na tržištu i imala velik broj ugovora, i u kojoj su na kraju krajeva zaposlenici puno radili.
Drugi, rjeđi pristup uprave je priklanjanje proizvodnji i odbijanje budućih poslova koji se ne uklapaju u planirana vremena izrade koja se ostvaruju u procesu proizvodnje. Ovaj pristup isključuje aktivnosti tvrtke na realno mogućim poboljšanjima proizvodnih i tehnoloških procesa u cilju smanjenja vremena izrade, pa tvrtka zaostaje za konkurencijom.
Posljedica je dobivanje sve manje i manje ugovora, što rezultira lošim poslovnim rezultatom tvrtke uslijede nedovoljne iskorištenosti kapaciteta. Dakle tvrtka propada zbog nedostatka posla. Percepcija zaposlenih je da je tvrtku uništila nesposobnost uprave tvrtke, prvenstveno odjela prodaje, ali prije svega «nepravedni» odnosi na tržištu, koji nisu zaposlenicima omogućili raditi.
Čest je slučaj da uprava tvrtke promijeni politiku, odnosno prikloni se prodaji, te rješenje počne tražiti na način uvođenja novca kao osnovnog mjerila. Zbog teške situacije u kojoj se tvrtka u trenutku zaokreta u pristupu nalazi, prihvaća ugovore pod bilo kakvim uvjetima tržišta. Ugovara pod nepovoljnijim uvjetima nego što su uobičajeni na tržištu, čime zapravo dodatno oslabljuju pozicije dobavljača na tržištu.
Posljedica oba slučaja je zanemarivanje struke i površnost pri ugovaranju poslova gledano sa stanovišta određivanja potrebnog vremena za izradu proizvoda.
Naravno da bez unaprijed definiranih potrebnih vremena izrade nije moguće govoriti o bilo kakvoj organizaciji proizvodnje, planiranju i praćenju rokova, a pogotovo ne o uvođenju novih metodologija rada.

Uvodna misao iz jedne šahovske početnice koja kaže ***«bolje je igrati i sa lošim planom, nego bez ikakvog plana»*** vrijedi i na području proizvodnje.
Iako je osnovni TP «plan» dobiven na brzinu, automatizmom, bez neposrednog sudjelovanja tehnologa u njegovu projektiranju, to ne znači da je loš, jer se temelji na zakonitostima koje nužan broj potrebnih podataka kvantificiraju uz očekivanu grešku.

Određivanje parametara tehnološkog procesa regresijskim modelima na temelju karakteristika crteža, originalno je rješenje ovog rada.
Iako su poznata brojna rješenja primjene računala u projektiranju tehnoloških procesa[3] [3] L-03-1-059; [4] L-04-1-000 ; [5] L-05-1-000 ; [6] L-06-1-000 ; [7] L-07-1-000 osnovni tehnološki proces (OTP) kao zajedničko rješenje ovog rada potpuno je novi pristup ovom problemu.

[3] Predrag Ćosić: «Planiranje procesa u WEB okruženju» [3] L-03-01-059

1.1 TEHNOLOŠKI PROCESI

Tehnološki proces[4] određuje podatke potrebne za izradu proizvoda za koji je projektiran, koji se najčešće prikazuju na dokumentu «Tehnološki list», ili «Operacijski list».[8] L-08-1-121

Podaci potrebni za izradu mogu se grupirati kao:

- **Osnovni podaci TP-a**
  - *Oznaka TP-a*
  - *Vrsta TP-a*
  - *Datum projektiranja TP-a*
  - *Projektant TP-a*
- **Podaci o izratku za koji se projektira**
  - *Oznaka dijela*
  - *Naziv dijela*
  - *Oznaka crteža po kojem je projektiran TP*
- **Podaci o polaznom materijalu**
  - *Kvaliteta materijala*
  - *Oblik materijala*
  - *Izmjere materijala*
  - *Masa materijala*
  - *Površina oplošja materijala*
- **Podaci o potrebnim tehnološkim postupcima**
  - *Naziv operacije*
  - *Redoslijed operacija*
  - *Pripremno završno vrijeme*
  - *Tehnološko komadno vrijeme*

O-02

- **Podaci o režimima rada**
  - *Način stezanja*
  - *Redoslijed faza obrade*
  - *Broj okretaja*
  - *Brzina posmaka*
  - *Dubina rezanja*
  - *Ostali podaci režima obrade zavisno o vrsti obrade*
- **Podaci o potrebnim elementima sustava**
  - *Radno mjesto*
  - *Alati*
  - *Naprave*
  - *Pribor*
  - *Mjerila*

[4] «skup teorijsko-naučnih znanja i praktičnih iskustava usmjerenih na definiranje slijeda, postupaka i režima procesa obrade s ciljem pretvaranja nižih upotrebnih vrijednosti pripremka u više kvalitetne vrijednosti gotovog proizvoda.» [8] L-08-1-021

- **Ostali podaci**
  - *Opis rada*
  - *Ostalo*

Navedeni su uglavnom svi potrebni podaci za opis postupka izrade, a o namjeni tehnološkog procesa ovisi koji će se podaci kvantificirati pri projektiranju, odnosno koji će se uvrstiti u izlazni dokument tehnološkog procesa.
Za masovnu proizvodnju definira se veći broj podataka, a mogu se pridodati i podaci utvrđeni Studijem rada.[9] L-09-1-000

1.1.1 Vrste tehnoloških procesa

Obzirom na podatke koje kvantificiraju, tehnološki procesi u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji mogu se podijeliti na:

- **IDEALNI TP**
  za ovaj rad nije interesantan za razmatranje
- **OPTIMALNI TP**
  temelji se na najboljem iskorištenju postojećih resursa sustava i okoline
- **PLANIRANI TP**
  korigirani optimalni TP u odnosu na trenutno stanje i mogućnosti sustava
- **OSTVARENI TP**
  ostvaren u izradi – zavisan o ljudima, stanju opreme, dostupnosti alata, nabavljenom materijalu, organizacija proizvodnje
- **OSNOVNI TP**
  nova vrsta TP-a koju uvodi autor ovog rada T-07-1-007

T-06 Tablica vrsta tehnoloških procesa 01-01

VRSTE TEHNOLOŠKIH PROCESA

R. broj	ELEMENTI PROCESA	VRSTE TEHNOLOŠKIH PROCESA			
		OPTIMALNI	**OSNOVNI**	**PLANIRANI**	**OSTVARENI**
1	Cilj	Tehnološka dokumentacija	Sastavnica proizvoda	Operativna dokumentacija	Kvalitetan proizvod
2	Objekt *	Izradak	Izradak	Izradak	Izradak
3	Kreator	Tehnološki tim	Operater na računalu	Tehnolog	Voditelj proizvodnje
4	Okolina	Sustav razvoja	Sustav prodaje	Sustav izrade	Sustav izrade
5	Početno stanje	Crtež izratka	Upit kupca	Optimalni, ili osnovni TP	Nalog
6	Završno stanje	Optimalni tehnološki proces	Obrađeni upit	Nalog	Podaci o ostvarenom

*Zajednički element svih navedenih vrste tehnološkog procesa je objekt procesa (izradak – proizvod, sklop, pozicija, dio), i upravo je izradak osnovna poveznica svih vrsta tehnoloških procesa.

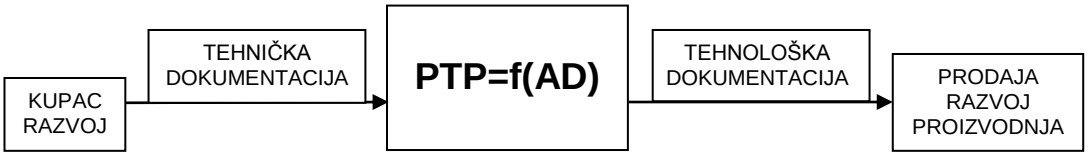
U praksi često se optimalni i planirani tehnološki proces poistovjećuju, odnosno postoji samo jedan tehnološki proces za izradu pojedinog izratka.
Poistovjećivanje planiranog TP sa optimalnim TP-om rezultirat će povećanim koeficijentom protoka, a obrnuto će uzrokovati povećane troškove proizvodnje, i povećanje kvalitete izratka.
Isto tako u praksi gotovo nikad nema povratne informacije o ostvarenom TP-u, odnosno analize između planiranog i izvršenog s tehnološkog aspekta.

Nedostatak povratnih informacija organizacijski je problem uzrokovan najčešće činjenicom da ne postoji dokumentacija u koju bi se izravno u proizvodnji pohranjivali podaci o ostvarenom TP-u. Zbog toga je neophodno postojanje osnovnog tehnološkog procesa (OTP-a) koji osigurava uvjete za minimalno dokumentiranje potrebno za planiranje, ali i praćenje odvijanja tehnoloških procesa.

1.1.2 OTP – osnovni tehnološki proces

T-07	Tablica Osnovni tehnološki proces				01-02
OSNOVNI TEHNOLOŠKI PROCES					
Def.	Osnovni tehnološki proces je tehnološki proces koji je projektiran automatizirano, isključivo na temelju karakteristika crteža, korištenjem regresijskih modela.				
CILJ					
Redni broj	KRITERIJ	MJERILO	VRIJEDNOST		
			oznaka	granica	željeni iznos
Glavni cilj	**ODREĐIVANJE POTREBNIH TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA I VREMENA IZRADE**				
1	Greška procijene vremena izrade	$\left\lvert \frac{t-\hat{t}}{t} \right\rvert$	broj	max	0,25
2	Izostavljene operacije	$n_o - \hat{n}_o$	broj	max	2
Sporedni cilj	**ODREĐIVANJE POLAZNOG MATERIJALA**				
1	Greška procjene količine materijala	$\frac{m_M - \hat{m}_M}{m_M}$	broj	max	0
Posredni cilj	**ODREĐIVANJE REDOSLJEDA OPERACIJA U POSTUPKU IZRADE**				
1			broj	max	0

Shema



ELEMENTI	Objekt	Proizvod
	Početno stanje	Tehnička dokumentacija (crtež)
	Završno stanje	Tehnološka dokumentacija (tehnološki list)
	Okolina	Obavezno Prodaja tvrtke (obrada upita za ponudu) Potrebno Razvoj tvrtke (sastavnica proizvoda) Poželjno Proizvodnja tvrtke (optimiranje i planiranje i praćenje)
	Kreator	Administrativni djelatnik u tvrtci (npr. operater na računalu)
SVOJSTVA	Karakter promjene	Nematerijalna promjena na materijalnom objektu
	Vrste	Umjetni, nematerijalni, svrhoviti, determinirani, diskontinuirani
	Povrativost	povrativi proces (moguće i kružni proces)
	Struktura	promjena, provjera
	Optimalizacija	moguća
	Automatizacija	moguća

T-07	Tablica Osnovni tehnološki proces	02-02

OSNOVNI TEHNOLOŠKI PROCES

ZAKONITOSTI	Funkcija povezanosti	$$\hat{t} = a + \sum_{i=1}^{n_o} b_i \times X_i$$ ▪ $\hat{t}$ procijenjeno vrijeme izrade – zavisne varijable – posljedica, a izražava se kao ukupno vrijeme izrade ili vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka ▪ X_i karakteristike crteža – nezavisne varijable – utjecajni faktori, različite fizikalne veličine prikazane u tabeli karakteristika crteža T-11-1-022 ▪ a zajednički koeficijent jednadžbe ▪ b_i koeficijenti jednadžbe za svaku nezavisnu varijablu posebno
	Moguća stanja	▪ Automatizirani unos karakteristika crteža ▪ Poluautomatizirani unos karakteristika crteža ▪ Automatizirani izlaz zavisnih varijabli u druge aplikacije
	Ograničenja	▪ Mogućnost projektiranja isključivo predodređenih postupaka izrade, i to maksimalno 30 različitih postupaka, koji su prikazani u tabeli mogućih postupaka osnovnog tehnološkog procesa T-08-1-010 ▪ Unaprijed definiran redoslijed operacija svakog postupka izrade u odnosu na druge predodređene postupke izrade ▪ Ne mogućnost projektiranja više istih postupka izrade u jednom tehnološkom procesu ▪ Projektiranje vremena izrade uz grešku od 25% ▪ Primjerenost za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju ▪ Pouzdanost isključivo na temelju podataka tvrtke za koju se vrši implementacija
	Dokumentacija	Tehnološki list koji kvantificira slijedeće podatke za izradu: ▪ Polazni materijal (oblik, izmjere i masu) ▪ Potrebne tehnološke postupke sa vremenima izrade ▪ Redoslijed operacija
	Moguće aktivnosti na objektu	▪ Funkcija povezanosti na temelju ostvarenih tehnoloških procesa ▪ Funkcija povezanosti na temelju tehnoloških procesa bilo koje vrste ▪ Dinamička funkcija povezanosti, promjenljiva s vremenom
	Moguće aktivnosti sa objektom	▪ Dio sastavnice proizvoda ▪ Podloga za izradu ponude ▪ Podloga za izradu optimalnog tehnološkog procesa ▪ Podloga za izradu planiranog tehnološkog procesa ▪ Podloga za planiranje i praćenje proizvodnje
Komentar		▪ pretpostavka je da postoji funkcije povezanosti f(AD,PTP) ▪ cilj ovog rada je potvrđivanje ove pretpostavke

1.1.3 Predviđeni tehnološki postupci kao operacije u OTP-u

OTP se temelji na principu praktičnosti, odnosno stvarne primjenljivosti u praksi. Praktičnost je osnovni razlog ograničenog izbora tehnoloških postupaka koji mogu biti dio OTP-a.
Strojarska proizvodnja razvila je čitav niz tehnoloških postupaka, koji su svi skupa grupirani u 6 osnovnih strojarskih tehnologija. Obzirom na učestalost pojavljivanja u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji u praksi se najčešće pojavljuju tehnološki postupci obrade skidanjem strugotine, obrade deformiranjem, zavarivanje, pa i sastavljanje i montaža. Strojarske tehnologije detaljno su opisane u literaturi i autoru ovog rada dobro poznati. [10] L-10-1-000, [11] L-11-1-000, [12] L-12-1-000
Na temelju svog 25 godišnjeg iskustva autor ovog rada je predvidio 30 tehnoloških postupaka, za koje smatra da se kombinacijom njihove primjene može proizvesti više od 90 % uobičajenih proizvoda pojedinačne i maloserijske proizvodnje.

Odabir za OTP značajnih predviđenih tehnoloških postupaka izvršen je obzirom na:

- **učestalost pojavljivanja**
  učestali postupci uključuje se kao pojedinačni postupci u OTP. Primjer je «Piljenje»
- **srodnost tehnoloških postupaka**
  pri čemu se srodni tehnološki postupci koji nisu učestali, grupiraju u jedan OTP tehnološki postupak, kao što je to slučaj sa raznim postupcima lijevanja, a koja su sva obuhvaćena u zajednički OTP tehnološki postupak «Lijevanje». Isto vrijedi i za tehnološki postupak OTP-a « Polimeri». Dakle, svi tehnološki postupci jedne cijele grupe strojarskih tehnologija postaju u OTP-u jedan tehnološki postupak.
- **reprezentativnost**
  za grupu sličnih tehnoloških postupaka u pravilu se odabire najuniverzalniji. Primjer je tehnološki postupak «Tokarenja» koji podrazumijeva sve pojedine vrste tokarenja (karusel, univerzalni, CNC...)
- **specifičnost tehnoloških postupaka**
  u pravilu su izuzeti iz OTP-a, osim u slučaju učestalijeg pojavljivanja u praksi, kao što je to slučaj sa različitim vrstama rezanja (piljenje, rezanje škarama, rezanje plinom, rezanje mlazom) koji su zbog svoje specifičnosti svi uvršteni u OTP.

Suženjem izbora tehnoloških postupaka značajno su transparentniji i njihovi međusobni odnosi u pogledu slijednosti u tehnološkom procesu, što omogućuje određivanje fiksnog redoslijeda tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u.
Pri tome se redoslijed može utvrditi za svaki pojedini tehnološki postupaku odnosu na sve druge tehnološke postupke, i to po principu:

- **isključivosti**
  neki tehnološki postupci u pravilu se ne pojavljuju zajedno u istom tehnološkom procesu, iz čega proizlazi da je svejedno koje mjesto u redoslijedu operacija zauzimaju. Primjer je «Lijevanje», «Obrada deformiranjem» i «Polimeri».
- **slijednosti**
  pri čemu se razlikuje slijed grupa tehnologija (npr. bravarija gotovo uvijek prethodi površinskoj zaštiti), i slijed unutar iste grupe tehnologija (npr. brušenje gotovo uvijek dolazi poslije tokarenja ili glodanja).

Na temelju navedenog moguće je odabrati potrebne tehnološke postupke i vrlo precizan redoslijed njihova pojavljivanja u tehnološkim procesima, što je autor ovog rada i napravio.
Mogući tehnološki postupci kao operacije OTP-a prikazani su u tablici T-08. T-08-1-10

T-08	Mogući tehnološki postupci kao operacije u OTP-u			01-01
MOGUĆI TEHNOLOŠKI POSTUPCI KAO OPERACIJE U OTP-u				
TEHNOLOŠKI POSTUPAK				VRSTA OBRADE
Redni broj	Naziv	Redoslijed u TP-u		
		Standard	Zahtjev	
1	Polimeri	1	1	Prerada polimera
2	Lijevanje	2	2	Lijevanje
3	Ostalo deformiranje	3	3	Oblikovanje deformiranjem
4	Piljenje	4	4	Obrada odvajanjem čestica
5	Rezanje škarama	5	5	Oblikovanje deformiranjem
6	Rezanje plinom	6	6	Zavarivanje
7	Rezanje mlazom	7	7	Zavarivanje
8	Tokarenje	11	11	Obrada odvajanjem čestica
9	Blanjanje	12	12	Obrada odvajanjem čestica
10	Glodanje	13	13	Obrada odvajanjem čestica
11	Bušenje	14	18	Obrada odvajanjem čestica
12	Obrada na obradnim centrima	15	19	Obrada odvajanjem čestica
13	Ručna dorada	16	14	Obrada odvajanjem čestica
14	Toplinska obrada	17	15	Toplinska obrada
15	Brušenje okruglo	18	16	Obrada odvajanjem čestica
16	Brušenje plansko	19	17	Obrada odvajanjem čestica
17	Fina obrada	20	20	Obrada odvajanjem čestica
18	Obrada bez oštrice	21	21	Obrada odvajanjem čestica
19	Savijanje	10	10	Oblikovanje deformiranjem
20	Prešanje	8	8	Oblikovanje deformiranjem
21	Štancanje	9	9	Oblikovanje deformiranjem
22	Limarija	22	22	Zavarivanje
23	Zavarivanje	23	23	Zavarivanje
24	Bravarija	24	24	Zavarivanje
25	Kontrola	25	25	Sklapanje
26	Površinska zaštita	26	26	Površinska zaštita
27	Lakiranje	27	27	Površinska zaštita
28	Ostali postupci	28	28	Ostale obrade
29	Sklapanje	29	29	Sklapanje
30	Transport	30	30	Sklapanje

Brojčane oznake redoslijeda u tablici su apsolutne. To znači da bez obzira na kombinaciju tehnoloških postupaka u OTP-u, po redoslijedu operacija uvijek dolazi ranije tehnološki postupak sa manjim brojem od preostalih u OTP uključenih postupaka.

1.1.4 Materijali u OTP-u

O-03

Pod pojmom materijal podrazumijeva se polazni materijal koji se obradom pretvara u izradak. Uobičajeni naziv za polazni materijal je pripremak, a za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju to su uglavnom poluproizvodi.
Za jednoznačan opis materijala potrebno je kvantificirati više veličina, a podaci se mogu podijeliti u tri osnovne grupe, i to:

a) Podaci vezani uz kvalitetu materijala

b) Podaci vezani uz oblik materijala

c) Podaci vezani uz izmjere materijala

ad a) Podaci vezani uz kvalitetu materijala
Potrebna kvaliteta materijala iz kojeg će se napraviti izradak u pravilu se definira kod tehničkog razvoja proizvoda i naznačena je u tehničkoj dokumentaciji. Materijali i njihova svojstva (mehanička , tehnološka,...) detaljno su opisana u literaturi, [13] L-13-1-000 pa se ovdje posebno ne obrazlažu.

ad b) Podaci vezani uz oblik materijala
Oblik materijala najznačajnije od svih nezavisnih varijabli djeluje na zavisne varijable kod projektiranja tehnoloških procesa.
Oblik materijala je vrlo često naznačen na crtežu, dakle predstavlja jednu od karakteristika crteža, te se s tog osnova može tretirati kao nezavisna varijabla.
Ukoliko konstruktor vodi računa o tehnologičnosti proizvoda, oblik materijala i izmjere koje on upisuje u sastavnicu na crtežu najčešće su prihvatljivi podaci i za tehnologa.
U slučaju da na crtežu nije naveden oblik materijala, određivanje polaznog oblika materijala moguće je i na temelju drugih karakteristika crteža.

Iako postoje znanstveni radovi [14] L-14-1-000 kojima se nastoji oblik materijala brojčano iskazati, rezultati još uvijek nisu pogodni za praktičnu primjenu kod projektiranja tehnoloških procesa.

Budući da oblik materijala nije jednoznačno brojčano iskazljiv ne ulazi kao varijabla u jednadžbu, nego se za svaki oblik materijala posebno traži funkcijska povezanost karakteristika crteža i vremena izrade, što će rezultirati posebnim setom jednadžbi za svaki oblik materijala.

Odabir seta jednadžbi vrši se logičkim operatorima u algoritmu, te se pojedini oblici materijala mogu označavati na bilo koji način. Iako teorijski ne treba biti ograničenja u broju mogućih oblika materijala, zbog praktičnosti potrebno je ipak propisati razuman broj mogućih oblika materijala za osnovni TP.

Ovim radom određuje se skup od 12 osnovnih oblika materijala koji zadovoljavajuće opisuju bilo koji oblik polaznog materijala sa stajališta ***projektiranja osnovnog TP-a***.
Svaki od 12, za osnovni TP dozvoljenih, mogućih oblika materijala obuhvaća više vrsta standardiziranih oblika materijala, i zapravo predstavlja grupu oblika. U bazi podataka podaci su podijeljeni u više međusobno povezanih tablica sa pred definiranim oblicima. Baza omogućuje dodavanje novih oblika materijala po želji korisnika, ali samo kao element osnovnog oblika (podgrupu), pri čemu osnovne oblike nije moguće mijenjati.

U tablici T-09-1-012 je dat prikaz svih mogućih polaznih oblika materijala za OTP, i to na način da je uz naziv i kratki opis svakom dodijeljena i jedinstvena oznaka.

T-09	Tablica predviđenih materijala u OTP-u	01-01
PREDVIĐENI OBLICI MATERIJALA U OTP-u		
Oznaka	***Naziv***	***Opis***
1	ploča	sve vrste pločastih materijala (najčešće limovi)
2	okrugla šipka	sve vrste okruglog punog profila
3	šesterokutna šipka	sve vrste šesterokutnog punog profila
4	plosnata šipka	sve vrste pravokutnih punih profila
5	okrugla cijev	sve vrste okruglih cijevi (osno simetrični šuplji profili)
6	pravokutna cijev	sve vrste pravokutnih cijevi (osno simet. šuplji profil)
7	bravarski profili	razne vrste profila (U, C, T,...)
8	nosači	sve vrste nosivih profila (razne izvedbe I profila)
9	odljevak	sve vrste odljevaka, osim okruglih šipki
10	otkovak	sve vrste otkovaka i otpresaka, osim šipki
11	zavareni sklop	sve vrste sklopova, uglavnom zavareni
12	proizvodi	standardni dijelovi na kojima je potrebna dorada

* ukoliko je otkovak ili odljevak identičnog oblika nekom od ostalih oblika materijala navedenih u tabeli, odabire se taj polazni oblik s kojim je identičan, a ne otkovak, ili odljevak (npr. za okrugli puni odljevak odabire se oznaka 2 a ne 9)

Već na primjeru oblika materijala vidljivo je da se pri projektiranju TP-a susreće sa više međusobno povezanih podataka, te je pogodan oblik za pohranu podataka relacijska baza podataka. To je slučaj i sa većinom drugih zavisnih i nezavisnih varijabli, te je postojanje relacijske baza podataka nužan zahtjev za ostvarenje osnovnog TP-a.

ad c) Podaci vezani uz izmjere materijala

Izmjere materijala isključivo su zavisna varijabla, iako se vrlo često ističu na crtežu, što bi značilo da su nezavisna varijabla, odnosno karakteristika crteža koja je utjecajni faktor.

Izmjere materijala kao zavisne varijable određuju se na temelju odabranog oblika materijala, kvalitete materijal i izmjera izratka, pri čemu:

- **Oblik materijala**
  određuje potreban broj i vrstu karakterističnih izmjera. T-10-1-013
- **Kvaliteta materijala**
  zajedno sa oblikom materijala definira standardne izmjere materijala. Pod pojmom ***«standardne izmjere»*** podrazumijeva se dobavljive karakteristične izmjere materijala za određenu kvalitetu i oblik materijala.
- **Izmjere izratka**
  kvantificiraju svaku potrebnu vrstu izmjere na način da se uvećaju za dodatke obrade koji su zavisni o polaznom obliku materijala. Na temelju dobivenih vrijednosti kao izmjere materijala odabire se jedna od standardnih izmjera.
  Najčešće se odabire prva veća standardna izmjera od potrebne, a u određenim slučajevima (ako je potrebna izmjera jednaka standardnoj) odabire se standardna izmjera jednaka potrebnoj (za slučaj vučenih materijala npr.)

  Pri projektiranju osnovnog TP-a sve vrijednosti izmjera navode se sa jedinicom mjere milimetar (mm).

U tablici T-10-1-013 navode se karakteristične i varijabilne izmjere materijala i njihova povezanost sa izmjerama izratka.

T-10	Tablica mogućih izmjera materijala							01-01
MOGUĆE IZMJERE MATERIJALA								
OBLIK MATERIJALA		***IZMJERE (mm)***						
		Karakteristične					***Varijabilne***	
Oznaka	***Naziv***	promjer osovine	promjer rupe	visina	širina	debljina	duljina	širina ploče	**Mjerna jedinica**
		Φ	***ϕ***	***h***	***b***	***d***	***L***	***B***	jedinična masa
1	ploča					X	X	X	kg/m^2
2	okrugla šipka	X					X		kg/m
3	šesterokutna šipka					X	X		kg/m
4	plosnata šipka				X	X	X		kg/m
5	okrugla cijev*	X	(X)			(x)	X		kg/m
6	pravokutna cijev			X	X	X	X		kg/m
7	bravarski profili			X	X	X	X		kg/m
8	nosači			X	X	X	X		kg/m
9	odljevak	x	x	X	X	X			kg/kom
10	otkovak	x	x	X	X	X			kg/kom
11	zavareni sklop	x	x	X	X	X			kg/kom
12	proizvodi	x	x	X	X	X	x	x	kg/kom
IZMJERA IZRATKA		***Φ***	***ϕ***	***h***	***b***	***d***	***l***	***b***	kg/kom

* Oblik oznake 5 (okrugla cijev) može se označavati i pomoću promjera osovine i debljine

X - obavezna izmjera (X)-uobičajena obavezna izmjera

(x) - moguća obavezna izmjena x - neobavezna izmjera

1.1.5 Redoslijed operacija u OTP-u

Unatoč brojnoj literaturi vezanoj uz redoslijed operacija u tehnološkom procesu, ovaj parametar tehnološkog procesa izrazito je zavisan o tehnologu. [15] L-15-1-000; [16] L-16-1-000; [17] L-17-1-000

Broj tehnoloških postupaka u OTP-u ograničen je na 30, bez mogućnosti njihovog ponavljanja, pa je dakle 30 najveći mogući broj operacija u OTP-u.
U praksi se nikada ne pojavljuje potreba za izvršenjem svih propisanih mogućih tehnoloških postupaka, tako da je realan broj operacija u OTP-u znatno manji, gotovo nikada ne prelazi 10, a vrlo rijetko 5.

U OTP uvrštavaju se samo oni tehnološki postupci čiji je rezultat jednadžbi za konkretne nezavisne varijable (karakteristike konkretnog crteža) veći od nule, ili u posebnim slučajevima i blizu nule.

Sam redoslijed operacija se određuje automatizmom prema rednom broju koji svaki pojedini tehnološki postupak zauzima u određenim uvjetima (standardni ili zahtjevniji proces).
Za potrebe automatiziranog određivanja redoslijeda operacija aplikacija se temelji na relacijskim bazama podataka, pri čemu su neki od podataka i podaci znanja.
Podaci o mogućim tehnološkim postupcima, uključujući i redni broj operacije povezani su sa podacima o vrstama obrade, i vrstama operacija.
Mogući tehnološki postupci kao i njihov redni broj operacije prikazani su u posebnoj tablici T-08-1-010

1.1.6 Vrijeme izrade u OTP-u

Vrijeme rada i njegovi sastavni elementi teorijski su detaljno objašnjeni u literaturi [9] L-09-1-000 , [18] L-18-1-000, pri čemu je uočeno da pojedini elementi vremena imaju različite oznake.
Budući da je za OTP dovoljna samo podjela na osnovne elemente vremena rada, a da su i u navedenoj literaturi korištene različite oznake pojedinih elemenata vremena rada, potrebno je za OTP nedvosmisleno definirati nazive, oznake i međusobne odnose pojedinih značajnih elemenata vremena izrade u OTP-u.

U OTP-u svi elementi vremena, obzirom na obuhvatnost, mogu predstavljati vrijeme za svaki pojedini tehnološki postupak kao operaciju OTP-a, ukupno vrijeme svih pojedinih tehnoloških postupaka, ali i skupno vrijeme određenog skupa tehnoloških postupaka OTP-a.

Vrijeme izrade u OTP-u sastoji se od tri osnovna elementa vremena, i to:

- t_{pz} **pripremno završno vrijeme**

  obuhvaća pripremno završne poslove koji su uglavnom vezani uz početak i završetak izrade serije proizvoda. Za ovo vrijeme u OTP-u u potpunosti vrijedi opisano u literaturi. L-09-1-042

- t_{tp} **tehnološko pomoćno vrijeme**

  predstavlja zbroj tehnološkog (t_t) i pomoćnog (t_p) vremena izrade prema postojećoj podjeli vremena rada na sastavne elemente, opisano u literaturi L-09-1-041
  U OTP-u se ne vrši razrada vremena na tehnološko i pomoćno, a pogotovo ne još i daljnja podjela ovih elemenata vremena. L-09-1-044
  Kako se u literaturi ovo vrijeme različito i naziva ([9]:vrijeme izrade - t_i, L-09-1-041 ili [18]:komadno vrijeme - t_k L-18-1-011), u ovom radu je ovaj element vremena rada nazvan novim imenom i označen novom oznakom t_{tp}, pri čemu je vođeno računa da i naziv i oznaka ostanu u duhu postojećih oznaka pojedinih elemenata vremena rada.

- t_d **dodatno vrijeme**

  predstavlja organizacijske i druge gubitke vremena, a za ovo vrijeme u OTP-u u potpunosti vrijedi opisano u literaturi. L-09-1-049

  Dodatno vrijeme u pravilu se određuje kao koeficijent kojim je potrebno množiti tehnološko pomoćno vrijeme, L-09-1-041, dakle, izračunava se po jednadžbi:

  $$t_d = t_{tp} \times k_d \quad \text{.....} \quad (1.1)$$

  Koeficijent dodatnog vremena označuje se kao k_d, i za njega u OTP-u u potpunosti vrijedi opisano u literaturi. L-09-1-049

Iako općenito vrijedi da je ukupno vrijeme izrade zbroj tri navedena osnovna elementa vremena izrade, u praksi je potrebno voditi računa i o veličini serije, koja se u ovom radu označava kao N_{vs}.
Naime, pripremno završno vrijeme vezano je uz veličinu serije, odnosno udio elementa vremena izrade t_{pz} u ukupnom vremenu izrade određuje se kao $\frac{t_{pz}}{N_{vs}}$.

Uz navedena tri osnovna elementa vremena izrade u OTP-u, uvode se dva pomoćna elementa vremena, i to:

- t_u **projektirano vrijeme**
  koje obuhvaća pripremno završno i tehnološko pomoćno vrijeme , a određuje se po jednadžbi
  $t_u = t_{pz} + t_{tp}$ ..... (1.2)

- k_t **koeficijent vremena**
  predstavlja odnos pripremno završnog i tehnološko pomoćnog vremena, a određuje se prema jednadžbi:
  $k_t = \frac{t_{pz}}{t_{tp}}$ ..... (1.3)
  koeficijent vremena utvrđuje se istraživanjem, na temelju podloga (baza znanja), ili procjenjuje regresijskim modelom.

U slučaju poznavanja vrijednosti koeficijenta vremena (k_t) i tehnološko pomoćnog vremena (t_{tp}) lako je utvrditi pripremno završno vrijeme (t_{pz}) po jednadžbi izvedenoj iz jednadžbe 1.3 J-03-015 i to kao:

$t_{pz} = k_t \times t_{tp}$ ..... (1.4)

Isto tako je poznavanjem vrijednosti koeficijenta vremena (k_t) i pripremno završnog vremena (t_{pz}) po jednadžbi izvedenoj iz jednadžbe 1.3 J-03-015 lako utvrditi tehnološko pomoćno vrijeme (t_{tp}), i to kao:

$t_{tp} = \frac{t_{pz}}{k_t}$ ..... (1.5)

Iz jednadžbi 1.2 J-02-015 i 1.3 J-03-015 na temelju (k_t) i poznavanja projektiranog vremena (t_u) moguće je utvrditi tehnološko pomoćno vrijeme (t_{tp}) pomoću jednadžbe:

$t_{tp} = \frac{t_u}{1 + k_t}$ ..... (1.6)

nakon čega je lako utvrditi i pripremno završno vrijeme (t_{pz}) po jednadžbi 1.4. J-04-015

Iz jednadžbi 1.2 J-02-015 i 1.3 J-03-015 na temelju (k_t) i poznavanja projektiranog vremena (t_u) moguće je utvrditi i pripremno završno vrijeme (t_{pz}) pomoću jednadžbe

$t_{pz} = \frac{t_u \times k_t}{1 + k_t}$ ..... (1.7)

nakon čega je lako utvrditi i tehnološko pomoćno (t_{tp}) vrijeme po jednadžbi 1.5. J-05-015

Iako je i to na temelju definiranih jednadžbi moguće, u pravilu se u OTP-u vrijeme izrade ne utvrđuje na temelju kombinacije pripremno završnog vremena (t_{pz}) i koeficijenta vremena (k_t).

Na temelju navedenih elemenata vremena izrade, obzirom na broj komada u seriji N_{vs} moguće je utvrditi ukupna vremena izrade, i to kao:

- t_n **- komadno vrijeme izrade**

  predstavlja vrijeme izrade jednog komada u seriji od N_{vs} komada, koje se izračunava prema jednadžbi:

  $$t_n = \frac{t_{pz}}{N_{vs}} + t_{tp} + t_d \quad \text{.....} \quad (1.8)$$

- t_N **- vrijeme izrade serije**

  vrijeme izrade svih komada u seriji od N_{vs} komada, koje se izračunava prema jednadžbi:

  $$t_N = t_{pz} + N_{vs} \times (t_{tp} + t_d) \quad \text{.....} \quad (1.9)$$

Iz jednadžbe 1.8 J-08-016 i 1.9 J-09-016 vidljivo je da su komadno vrijeme izrade i vrijeme izrade serije čvrsto povezani, što se može iskazati jednadžbom:

$$t_N = t_n \times N_{VS} \quad \text{.....} \quad (1.10)$$

Obzirom na broj komada u seriji, u OTP-u se određuje **isključivo komadno vrijeme izrade** t_n, iz kojeg se za potrebe procesa prodaje (ponude) ili planiranja proizvodnje, prema jednadžbi 1.10 J-10-016 lako određuje vrijeme izrade serije, i to nakon završenog OTP-a, te se u ovom radu vrijeme izrade serije dalje neće razmatrati.

Jednadžba za određivanje komadnog vremena izrade 1.8 J-08-016 može se razviti po tehnološko pomoćnom vremenu t_{tp} kao:

$$t_n = \frac{k_t \times t_{tp}}{N_{vs}} + t_{tp} + t_{tp} \times k_d \qquad \Rightarrow \text{ odnosno općenito vrijedi jednadžba:}$$

$$t_n = t_{tp} \times \left(\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d\right) \quad \text{.....} \quad (1.11)$$

Jednadžba za određivanje komadnog vremena izrade 1.8 J-08-015 može se razviti i po projektiranom vremenu t_u i to kao:

$$t_n = \frac{\frac{t_u \times k_t}{1+k_t}}{N_{vs}} + \frac{t_u}{1+k_t} + \frac{t_u \times k_d}{1+k_t} \qquad \Rightarrow \text{ odnosno općenito vrijedi jednadžba:}$$

$$t_n = \frac{t_u}{1+k_t} \times \left(\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d\right) \quad \text{.....} \quad (1.12)$$

Komadno vrijeme izrade moguće je raspodijeliti na tehnološke postupke, odnosno moguće je utvrditi koliki udio od ukupnog potrebnog vremena izrade otpada na pojedine tehnološke operacije.
Npr. može se utvrditi podatak da je za izradu 20 osovina bilo potrebno 40 sati rada, od čega 1 sat piljenja, 30 sati tokarenja, 8 sati brušenja i 1 sat površinske zaštite.
Iz tih podataka moguće je utvrditi da je ukupno vrijeme izrade 2 sata (40/20), od čega otpada 3 minute na piljenje, 1,5 sati na tokarenje, 24 minute na brušenje i 3 minute na površinsku zaštitu.
Jedinice vremena koje se uobičajeno koriste su minute ili sati. Mogući su i drugi oblici vremena, kao npr. podjela sata na 100 jedinica, a sam odabir oblika vremena koji se koristi nije ograničenje, budući da su odnosi različitih oblika mjerila za vrijeme jasno definirani, te da ih će ih računalna aplikacija automatski pretvoriti u željeni oblik.

Razlikovanje raspodijeljenih elemenata komadnog vremena izrade obzirom na tehnološke postupke, tehnološke cjeline ili proizvodne odjele vrši se dodavanjem brojčanog indeksa uz osnovnu oznaku elementa vremena. Brojevi indeksa pridružuju se oznaci kao apsolutne vrijednosti, pri čemu oznaka bez indeksa uvijek predstavlja ukupno vrijeme svih pojedinih tehnoloških postupaka.

Dakle, od OTP-a se očekuje da odredi komadno vrijeme izrade, i to komadno vrijeme izrade ukupno (t_n), i pojedinačna komadna vremena izrade tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u. (t_{n_t}).

Pri tome je komadno vrijeme izrade ukupno (t_n) moguće utvrditi na dva načina, i to:

- **izravno na temelju regresijske jednadžbe**
  koja se određuje po istom algoritmu kao i vremena pojedinih tehnoloških postupaka, uz uvjet da se za određivanje jednadžbe kao skup izlaznih podataka promatra upravo suma komadnih vremena izrade svih tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u, po općenitoj jednadžbi $t_n = a + \sum_{i=1}^{n_{nv}} b_i \times X_i$, (gdje je n_{nv} broj nezavisnih varijabli uključenih u jednadžbu po kojoj se određuje komadno vrijeme izrade).
- **posredno kao zbroj komadnih vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka**
  $t_n = \sum_{i=1}^{no} t_{n_{ti}}$, (gdje je n_o potreban broj operacija u OTP-u)

O-04

Budući se u OTP-u određuju isključivo komadna vremena izrade (t_n), komadno vrijeme izrade u OTP naziva se jednostavno ***«OTP vrijeme izrade»***, i označuje se oznakom t.

Procijenjena vremena izrade označuju se dopunskom oznakom obrnute kvačice iznad osnovne oznake. (Npr. $\hat{t}_4$ označava procijenjeno OTP vrijem izrade tehnološkog postupka tokarenja, što odgovara uobičajenoj oznaci procijenjenog komadnog vremena izrade tokarenja $\hat{t}_{n_{tokarenja}}$).

1.1.7 Utjecaj veličine serije na OTP

Veličina serije N_{vs} toliko je značajna za način izrade proizvoda da se prema njoj vrši osnovna podjela proizvodnje po tipu na:

- **masovnu**
- **velikoserijsku**
- **serijsku**
- **maloserijsku**
- **pojedinačnu**

Ukupno potrebno vrijeme za izradu serije t_N proporcionalno raste sa povećanjem broja komada u jednoj seriji, J-02-015 pa je za velike serije vrlo značajno da tehnološko i pomoćno vrijeme t_{tp} bude što manje. Kako t_{tp} izravno ovisi o tehnološkom procesu od velikog je značenja kvaliteta projektiranja tehnološkog procesa.

Budući da kod visoko serijske proizvodnje pripremno završno vrijeme postaje zanemarivo u odnosu na ukupno vrijeme izrade potrebno je projektirati tehnološki proces sa ciljem maksimalnog smanjenja tehnološkog i pomoćnog vremena. Smanjenje t_{tp} može se postići:

- *primjenom kvalitetnijeg alata koji povećava režime obrade*
- *primjenom specijalnih naprava koje ubrzavaju stezanje obratka*
- *korištenjem CNC strojeva kod kojih su pomoćna vremena zanemariva*
- *korištenjem obradnih centara za obradu koji smanjuju potreban broj operacija*
- *prilagođavanjem polaznog materijala konačnom obliku izratka, korištenjem poluproizvoda tipa odljevka, otkovka, ili zavarenog spoja koji smanjuju potrebnu količinu obrade sa stanovišta promjene oblika*
- *uvođenjem novih tehnologija ili specijalnih linija za proizvodnju*

Postoje različite metode pomoću kojih se može odrediti granična veličina serije za primjenu neke od navedenih mogućnosti za smanjenje potrebnog vremena izrade, od kojih je relativno najjednostavnija metode izjednačavanje troškova proizvodnje, odnosno minimalizacija troškova. [19] L-19-1-153

OTP odnosi se na maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju, te su male serije područje za koje se projektira optimalni TP. Dakle, za ovaj rad sa stajališta optimalizacije tehnološkog procesa veličina serije nije značajna.

S druge strane, kod malih serija pripremno završno vrijeme značajno utječe na ukupno komadno vrijeme izrade, pa je veličina serije značajna nezavisna varijabla o kojoj ovise parametri tehnološkog procesa.

Dakle, u ovom slučaju veličina serije ne određuje druge varijable, npr. polazni oblik materijala, već izravno sudjeluje u određivanju potrebnog vremena kao nezavisna varijabla.

Veličina serije u pravilu nije navedena na crtežu, te kao takva ne može biti karakteristika crteža, već se radi o ulaznoj veličini koju određuje tržište, ili služba prodaje. Veličina serije nezavisna je varijabla za projektiranje OTP-a koja je sastavni dio naloga za projektiranje OTP-a, dakle, poznata je na početku projektiranja, pa je prema tome sastavni dio osnovnih podataka o tehnološkom procesu.

1.2 CRTEŽI

Tehnički crtež, ili kako se uobičajeno naziva crtež, je temeljni dokument inženjerske grafike.[20] L-20-1-313
Crteži se mogu podijeliti prema različitim kriterijima, a za ovaj rad zanimljiva je podjela crteža prema namjeni, odnosno po vrsti informacija koje obuhvaća:

- **skica**
  nastaje u procesu razvoja, aktivnost spoznaje i obuhvaća samo osnovne podatke o zamisli budućeg proizvoda. Za razliku od ostalih vrsta crteža gotovo nikad nije crtana u točnom mjerilu.
- **sastavni crtež**
  nastaje u procesu razvoja, aktivnost kreacije, i obuhvaća detaljne podatke o odnosima elemenata u određenom proizvodu ili sklopu
- **tehnički crtež**
  nastaje u procesu razvoja, aktivnost razvoja i obuhvaća sve potrebne podatke za jednoznačno definiranje budućeg dijela
- **radionički crtež**
  nastaje u procesu razvoja, aktivnost prototip a predstavlja tehnički crtež upotpunjen sa podacima potrebnim za olakšano snalaženje kod izrade proizvoda. Npr. dodatna tablica sa kotama koordinata rupa za potrebe koordinatnog bušenja, dodatna izmjera razvijene dužine lima prije savijanja, dodatni opisi, dodatne oznake tolerancijskih polja i slično.

Razlika između tehničkog i radioničkog crteža vrlo često i ne postoji, nego se tehnički crtež izravno koristi za radioničku izradu, te se u ovom radu pod pojmom crtež podrazumijeva i tehnički i radionički crtež.

Pretpostavke da

- **crtež prethodi obradi izratka**[5]
- **crteži imaju zajednička svojstva**[6]

sa činjenicom da se vrijednosti tih zajedničkih svojstava razlikuju od crteža do crteža, a zavisne su o izratku koji crtež opisuje, potaknula su autora ovog rada da ***pokuša istražiti zavisnost vrijednosti parametara izrade sa vrijednostima zajedničkih svojstava crteža.***

Parametri izrade nalaze se na tehnološkoj dokumentaciji nastaloj na temelju projektiranja tehnoloških procesa i opisani su u ovom radu, a primjer tehnološke dokumentacije prikazan je na slici 3.2. S-05-044
Zajednička svojstva crteža kao mogući utjecajni faktori za projektiranje tehnološkog procesa opisuju se u nastavku.

---

5 U [20] L-20-1-313 navedeno je: *«Redosljed je, prema tome ovaj :zamisao, skica, crtež ,izradba predmeta.»* pri čemu su autori zanemarili potrebu izrade tehnološke dokumentacije poslije crteža, a prije provedbe izradbe.

6 Iz navoda *«Jezik» crteža je mađunarodan, tako da postoje međunarodni propisi u skladu s kojima se izrađuju crteži koji se mogu čitati i shvatiti u svim dijelovima svijeta»* [20] L-20-1-313 koji potvrđuje da postoje pravila opisivanja crteža, zaključuje se da postoje zajednička svojstva koja imaju svi crteži.

1.2.1 Karakteristike crteža

Pod pojmom karakteristike crteža podrazumijevaju se podaci čije vrijednosti je moguće utvrditi temeljem analize crteža, odnosno, koji su u bilo kojem obliku vidljivi na crtežu.

Karakteristike crteža razlikuju se po:

- **svojstvima proizvoda koja opisuju**
  - *osnovni podaci o proizvodu*
  - *tehnički podaci o proizvodu*
  - *podaci o materijalu proizvoda*
    izuzev oznake kvalitete materijala ostali podaci o materijalu proizvoda ne moraju nužno biti navedeni na crtežu, ali najčešće jesu
  - *podaci o složenosti proizvoda*
  - *podaci o zahtijevnosti proizvoda*
- **tipu podatka kojim su prikazani**
  - *broj*
  - *tekst*
  - *datum*
- **vrsti podatka**
  - *veličina*
  - *opis*
  - *oznaka*
  - *veza sa drugim elementima*
- **mjerilima kojima se mogu iskazati**
  ukoliko se radi o podacima vrste veličina
- **pripadnosti elementu crteža, a koji mogu biti:**
  - *sastavnica*
  - *kote*
  - *crtež*
  - *papir*
- **uobičajenosti njihovog prikaza na crtežu**
  - *uvijek*
    obavezni podatak na crtežu
  - *često*
    uobičajeni podatak na crtežu
  - *rijetko*
    ne uobičajeni podatak na crtežu
  - *nikada*
    posebni podaci
- **načinu kvantificiranja podatka**
  - *čitanjem*
    izravno očitanje vrijednosti sa crteža
  - *brojenjem*
    izravno utvrđivanje vrijednosti prebrojavanjem

- *usporedbom*
  neizravno utvrđivanje vrijednosti usporedbom sa bazom znanja
- *kombinacijom navedenih mogućnosti*

Zbog složenosti pojedinih karakteristika crteža, ali i zbog njihove brojnosti, raznolikosti i međusobne povezanosti potrebno je podatke o karakteristikama crteža pohranjivati u relacijskoj bazi podataka.
Uz podatke o karakteristikama crteža baza mora sadržavati i različite standardne oznake, kao i teorijski poznate odnose različitih svojstava vezanih uz karakteristike crteža.
Za korištenje podataka za potrebe OTP-a ***baza*** mora obuhvatiti i ***određene tehnološke podatke***, a što sve skupa uvjetuje da se radi o ***određenoj bazi znanja***.

Postojeći crteži, usprkos standardizaciji crteža, ipak se razlikuju od tvrtke do tvrtke, pa i od samog konstruktora do konstruktora. Zbog osiguranja jednoznačnog pohranjivanja vrijednosti karakteristika crteža u bazu podataka potrebno je standardizirati elemente crteža.
Budući se crteži pretežito izrađuju primjenom sofisticiranih aplikacija, vrlo često u 3D modeliranju moguće je vrijednosti karakteristika utvrditi automatski iz aplikacije u kojoj je crtež izrađen. Način prikaza ili transfer podataka isto je tako moguće standardizirati.

Preduvjet automatizaciji utvrđivanja podataka o vrijednostima karakteristika crteža za potrebe projektiranja OTP-a je standardizacija crteža.
Zbog preglednosti ovog teksta standardizacija crteža za potrebe projektiranja OTP-a ovdje se navode samo karakteristike crteža uz kraći opis dostatan za razumijevanje ovog rada.

U tablici T-11-1-022 navedene su ukupno 63 karakteristike crteža uz navođenje njihovih osnovnih obilježja prema stanju koje je uobičajeno. Primjenom standardizacije crteža za potrebe OTP-a podaci o vrijednostima za svaku karakteristiku crteža bili bi na crtežu eksplicitno vidljivi, i to na jednom od slijedećih mogućih elemenata crteža:

- **osnovna sastavnica**
- **sastavnica proizvoda**
- **sastavnica dijelova**
- **tablica ostalih karakteristika crteža.**

Navedene karakteristike crteža razlikuju se po složenosti, tako da je za njihovo potpuno razumijevanje:

- **neke dovoljno samo nabrojiti**
  Budući da karakteristike crteža mogu postati nezavisne varijable pri projektiranju osnovnog TP-a, od velikog su značenja za razumijevanje ovog rada, te će se u cilju izbjegavanja nesporazuma uz minimalni opis spomenuti i one karakteristike crteža koje su po svom nazivu dovoljno poznate i razumljive
- **za neke je dovoljan i mali opis uz samo navođenje**
- **za složenije potreban je detaljniji opis**
- **za najsloženije potreban je opis koji u sebi sadrži i druge veličine i dodatne parametre.**

T-11 Tablica popisa predviđenih karakteristika crteža 01-01

PREDVIĐENE KARAKTERISTIKE CRTEŽA

	Redni broj	KARAKTERISTIKA CRTEŽA		PODATAK NA CRTEŽU					
		Naziv	Oznaka	Tip	Vrsta	Mjerilo	Pripadnost	Vidljiv	Način
OSNOVNI PODACI	1	Oznaka dijela	AD01	tekst	veza sa	-	sastavnica	često	čitanje
	2	Oznaka vrste crteža	AD02	tekst	oznaka	-	sastavnica	nikada	usporedba
	3	Broj pozicija u sklopu	AD03	broj	veličina	kom	sastavnica	često	brojenje
	4	Naziv vlasnika crteža	AD04	tekst	veza	-	sastavnica	često	čitanje
	5	Naziv crteža	AD05	tekst	opis	-	sastavnica	uvijek	čitanje
	6	Broj crteža	AD06	tekst	opis	-	sastavnica	uvijek	čitanje
	7	Revizija	AD07	tekst	veza sa	-	sastavnica	često	čitanje
	8	Konstruktor	AD08	tekst	veza sa	-	sastavnica	uvijek	čitanje
	9	Datum crteža	AD09	datum	opis	dat	sastavnica	uvijek	čitanje
	10	List broj	AD10	broj	veza sa	-	sastavnica	često	čitanje
	11	Broj listova	AD11	broj	veličina	kom	sastavnica	često	kombinacija
	12	Format crteža	AD12	tekst	oznaka	-	sastavnica	često	usporedbom
	13	Mjerilo crteža	AD13	tekst	oznaka	-	sastavnica	uvijek	čitanje
	14	Hrapavost slobodnih površina	AD14	broj	veličina	razred	sastavnica	često	
	15	Tolerancija slobodnih oblika	AD15	broj	oznaka	-	sastavnica	rijetko	kombinacija
	16	Tolerancija slobodnih položaja	AD16	broj	oznaka	-	sastavnica	rijetko	kombinacija
	17	Tolerancija slobodnih mjera	AD17	broj	oznaka	-	sastavnica	rijetko	kombinacija
TEHNIČKI PODACI	18	Broj komada u proizvodu	AD18	broj	veličina	kom	sastavnica	često	čitanje
	19	Broj pozicije	AD19	broj	veza sa	-	sastavnica	često	čitanje
	20	Toplinska obrada	AD20	tekst	oznaka	-	papir	često	kombinacija
	21	Tvrdoća izratka	AD21	tekst	veličina	HRc	papir	rijetko	čitanje
	22	Dubina tvrdog sloja	AD22	broj	veličina	mm	papir	rijetko	čitanje
	23	Površinska zaštita	AD23	tekst	oznaka	-	papir	rijetko	čitanje
	24	Debljina zaštitnog sloja	AD24	broj	veličina	mikron	papir	rijetko	čitanje
	25	RAL	AD25	tekst	oznaka	-	papir	nikada	čitanje
	26	Sjajnost površine	AD26	tekst	oznaka	-	papir	nikada	čitanje
	27	Tolerancijsko polje I1	AD27	tekst	oznaka	-	kota	često	čitanje
	28	Red tolerancije I1	AD28	broj	veličina	IT	kota	često	čitanje
	29	I1 – vanjski promjer izratka	AD29	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	30	I2 – unutarnji promjer izratka	AD30	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	31	I3 – visina izratka	AD31	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	32	I4 – širina izratka	AD32	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	33	I5 – debljina izratka	AD33	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	34	I6 – duljina izratka	AD34	broj	veličina	mm	kota	uvijek	čitanje
MATERIJAL	35	Pred oznaka materijala	AD35	tekst	oznaka	-	sastavnica	često	čitanje
	36	Oznaka kvalitete materijala	AD36	tekst	oznaka	-	sastavnica	uvijek	čitanje
	37	Dopunska oznaka materijala	AD37	tekst	oznaka	-	sastavnica	često	čitanje
	38	Standard oblika materijala	AD38	tekst	oznaka	-	sastavnica	rijetko	čitanje
	39	*Tolerancijsko polje M1*	*AD39*	*tekst*	*oznaka*	*-*	*kota*	*često*	*čitanje*
	40	*Red tolerancije M1*	*AD40*	*broj*	*veličina*	*IT*	*kota*	*često*	*čitanje*
	41	*M1 – vanjski promjer materijala*	*AD41*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	
	42	*M2 – unutarnji promjer materijala*	*AD42*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	*čitanje*
	43	*M3 – visina profila*	*AD43*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	*čitanje*
	44	*M4 – širina materijala*	*AD44*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	*čitanje*
	45	*M5 – debljina materijala*	*AD45*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	*čitanje*
	46	*M6 – duljina materijala*	*AD46*	*broj*	*veličina*	*mm*	*sastavnica*	*često*	*čitanje*
SLOŽENOST	47	Broj pogleda	AD47	broj	veličina	kom	papir	uvijek	brojenje
	48	Broj opisa	AD48	broj	veličina	kom	papir	uvijek	brojenje
	49	Broj tablica ozubljenja	AD49	broj	veličina	kom	papir	rijetko	brojenje
	50	Broj oznaka zavara	AD50	broj	veličina	kom	papir	često	brojenje
	51	Broj oznaka hrapavosti	AD51	broj	veličina	kom	crtež	uvijek	brojenje
	52	Broj oznaka oblika	AD52	broj	veličina	kom	crtež	uvijek	brojenje
	53	Broj oznaka položaja	AD53	broj	veličina	kom	crtež	uvijek	brojenje
	54	Broj toleriranih kota	AD54	broj	veličina	kom	kota	uvijek	brojenje
	55	Broj posebnih kota	AD55	broj	veličina	kom	kota	uvijek	brojenje
	56	Broj višestrukih kota	AD56	broj	veličina	kom	kota	uvijek	brojenje
	57	Broj kota u tablicama	AD57	broj	veličina	kom	papir	uvijek	brojenje
	58	Broj običnih kota	AD58	broj	veličina	kom	kota	uvijek	brojenje
ZAHTJEV	59	Hrapavost zahtjev	AD59	broj	veličina	razred	crtež	često	kombinacija
	60	Oblik zahtjev	AD60	broj	veličina	mm	crtež	često	čitanje
	61	Položaj zahtjev	AD61	broj	veličina	mm	crtež	često	čitanje
	62	Mjera zahtjev	AD62	broj	veličina	mm	kota	često	čitanje
	63	Promjer zahtjev	AD63	broj	veličina	IT	kota	često	čitanje

1.2.2 Osnovni podaci o proizvodu

Većina podataka svrstanih u ovu grupu nisu veličine i kao takvi nisu izravno pogodni za utjecajne faktore koji bi bili sastavni dio jednadžbe u kojoj bi na temelju pripadajućih koeficijenata utvrđivali utjecaj na zavisne varijable.

U osnovne podatke o proizvodu ubrajaju se slijedeći karakteristike crteža:

- **Oznaka dijela**
  je obavezan podatak koji povezuje crtež sa izratkom, a preko njega i crtež sa osnovnim TP-om
- **Oznaka vrste crteža**
  je podatak koji smješta crtež u određenu vrstu crteža. Za potrebe ovog rada značajni su tehnički (radionički) crteži. Obzirom na karakteristike, sklopni crtež uz sve karakteristike radioničkih crteža ima i dodatne karakteristike koje govore o sastavnim dijelovima sklopa. Ima dodatnu sastavnicu dijelova koja se na crtežu upisuju kao nadogradnja sastavnice proizvoda, pri čemu se za svaki pojedini dio umjesto tipa proizvoda navode podaci o nazivu crteža oznaci dijela i broju crteža.
- **Broj pozicija u sklopu**
  je podatak koji je važan ukoliko se radi o sastavnom crtežu. Za radioničke crteže njegova vrijednost je konstantna i iznosi 1. Kako se u ovom radu koriste pretežito tehnički crteži pozicija, a ne i sklopova, nije značajan za ovaj rad.
- **Naziv vlasnika crteža**
  najčešće je to podatak o tvrtci, i to vlastitoj ukoliko se radi o vlastitim proizvodima, ili kupcu ukoliko se radi o proizvodnji po crtežima kupca. Nije značajan za ovaj rad, ali bi mogao imati značaj kod implementacije rješenja u praksi
- **Naziv crteža**
  podatak je značajan za principe grupne tehnologije, budući da pravilan izbor naziva crteža može puno olakšati klasifikaciju izratka. Za ovaj rad nije značajan kao podatak, jer se projektiranje TP-a zasniva na potpuno drukčijim principima od grupne tehnologije. Ovaj podatak može se dovesti u vezu sa podatkom
  - *Tip izratka*
    koji je relativno nezavisna varijabla, što ovisi o načinu utvrđivanja podatka. Ukoliko je to podatak kojim konstruktor prema svom znanju raspoređuje proizvod u jedan od mogućih tipova izradaka koje predviđa osnovni TP radi se o nezavisnoj varijabli OTP-a. Ukoliko se pak tip proizvoda određuje na temelju drugih karakteristika crteža u procesu projektiranja OTP-a, tada se radi o zavisnoj varijabli (slično kao i sa podacima o materijalu).
    Značaj ovog podatka nije izravan za projektiranje tehnološkog procesa, ali može poslužiti za određene logičke operacije u bazi znanja. Podatak «tip izratka» ne smatra se karakteristikom crteža.
- **Broj crteža**
  je podatak koji bi mogao poslužiti kao ID crteža, ali s informatičkog stajališta u ovom slučaju ne bi bio dobar kao primarni ključ u tabeli osnovnih podataka
- **Revizija**
  je podatak koji omogućuje postojanje više crteža za isti izradak, i njihovo prepoznavanje

- **Konstruktor**
  je podatak o osobi koja je izradila crtež. Može biti značajan obzirom da o konstruktoru ovise vrijednosti karakteristika crteža (broj kota, broj presjeka...). Ukoliko se uzme kao valjana pretpostavka o standardizaciji izrade crteža, utjecaj konstruktora trebao bi biti minimalan
- **Datum crteža**
  podatak je koji govori o vremenu nastanka crteža, a što implicitno može ukazivati na raznolikost crteža obzirom na dostupnost materijala u tom vremenu, ili korištenju oznaka tog vremena i slično
- **List broj**
  je podatak koji govori o rednom broju lista za slučaj da je se jedan izradak ne može prikazati samo na jednom listu, nego je potrebno više listova. Potreba za većom površinom crteža, za složenije dijelovi koji iziskuju veći potreban broj pogleda, ili dijelove većih izmjera, u pravilu se rješava korištenjem većih formata papira, ili smanjenim mjerilom. Više listova koristi se uglavnom kod sastavnih crteža, a rijetko se radionički crteži iskazuju na više listova. Za ovaj rad podatak nije značajan, već se navodi samo kao podsjetnik da bi se i taj podatak trebao naći na crtežu.
- **Broj listova**
  je uobičajen podatak na crtežu koji govori prvenstveno o tome da li su svi podaci iskazani na jednom listu, ili je za potpuni opis budućeg izratka bilo potrebno više listova. Uzima se da su svi listovi istog formata i mjerila, odnosno ne navodi se za svaki list posebno njegov format i mjerilo za potrebe projektiranja osnovnog TP-a. Veličina ovog podatka je brojčana količina, a mjerna jedinica komad (kom).
- **Format crteža**
  obavezan je podatak koji se iskazuje standardnom oznakom formata crteža (npr. A4), a u jednadžbi se koristi fizikalna veličina površina iskazana u mjernoj jedinici četvorni metar (m^2). Orijentacija formata u okomit ili vodoravan položaj nije značajna, te se može tvrditi da svaki format papira ima jedinstvenu površinu, i upravo je površina veličina koja mu omogućuje korištenje u jednadžbi.
- **Mjerilo crteža**
  «Mjerilo predočuje omjer veličina na crtežu prema istim veličinama u naravi». L-20-1-319
  Mjerilo je obavezna je karakteristika crteža, a kao nezavisna varijabla za potrebe projektiranja osnovnog TP-a koristi se kvocijent mjere na papiru i mjere u stvarnosti.
- **Osnovne tolerancije**
  su podaci koji govore o potrebnoj točnosti izratka, i odnose se na sve površine i duljine izratka koje na samom crtežu nisu dodatno označene. Skup osnovnih tolerancija obuhvaća:
  - *toleranciju slobodnih oblika*
  - *toleranciju slobodnih položaja*
  - *toleranciju slobodnih mjera*
  - *hrapavost slobodnih površina*

    pri čemu se napominje da su za opći slučaj osnovne tolerancije međusobno povezane, a da imaju različite jedinice mjere. [21] L-21-1-410

1.2.3 Tehnički podaci o proizvodu

Podaci svrstani u ovu grupu nisu svi podaci koji se nalaze u sastavnici. Ostali podaci koji se uobičajeno nalaze u sastavnici a govore o izratku, kao npr. kvaliteta materijala, svrstani su u grupu sa ostalim podacima koji govore o materijalu.
Najbolje bi bilo kada bi svi podaci potrebni za projektiranje osnovnog OTP-a bili na jednom mjestu, grafički u jednoj tablici, a digitalno u jednoj datoteci iz koje bi se automatizmom prenijeli u aplikaciju za projektiranje OTP-a.

U tehničke podatke o proizvodu uvršteni su slijedeće karakteristike crteža:

- **Broj komada u proizvodu**
  je podatak koji govori koliko dijelova na crtežu je potrebno za izradu jednog proizvoda. Potreban je u slučaju kada se razrađuje tehnološka dokumentacija svih dijelova jednog proizvoda. U tom slučaju ukupna veličina serije pojedinih dijelova dobiva se množenjem zadane veličine serije sa ovim podatkom
- **Broj pozicije**
  podatak je koji u sklopnom crtežu povezuje podatke sa crteža sa podacima u sastavnici dijelova. Ako je naveden u radioničkom crtežu onda vrlo često zamjenjuje karakteristiku crteža «oznaka dijela». Služi za kao podatak za povezivanje, a nije značajan za ovaj rad.
- **Tvrdoća izratka**
  kao podatak koji govori o vizualno ne mjerljivom svojstvu izratka. Sam podatak u nekim slučajevima nije dovoljan, već je potrebno navesti i dodatne parametre (npr. dubina tvrdog sloja u nekim slučajevima) ali se bazom znanja ovaj podatak može utvrditi na osnovu usporedbe sa kvalitetom materijala. Predstavlja fizikalnu veličinu i mjeri se uobičajeno u HRc, što određuje i metodu mjerenja. Postoje i druge metode i mjerne jedinice, pa je potrebna baza znanja za općenitu primjenu ovog podatka kao karakteristike crteža.
- **Površinska zaštita**
  podatak je koji govori o željenom stanju površine izratka, ali i načinu na koji ju ostvariti. Izvorno nije brojčani podatak, ali je moguće iskoristiti skup podataka u bazi znanja i jednoznačno definirati i stanje površine i postupak. Debljina zaštitnog sloja pri tome je najznačajnija fizikalna veličina za kvantificiranje.
- **Debljina zaštitnog sloja**
  podatak je koji govori o debljini zaštitnog sloja na površini izratka
  Predstavlja veličinu koja se izražava brojčano, a mjeri u mikronima (mikron). Ova veličina zavisna je o postupku površinske zaštite.
- **Izmjere izratka**
  su podaci koji govore o dimenzijama i djelomično o obliku izratka. Izmjere izratka nisu navedene u sastavnici, a morale bi biti, jer su one, a ne izmjere polaznog materijala, karakteristike crteža. Izmjere izratka detaljnije su opisane, T-10-1-013 a ovdje se samo navode, i to:
  - *I1 Vanjski promjer izratka (Φ□$_I$)*
    uz ovaj podatak vežu se i dopunske oznake koje govore o toleranciji promjera:
    Tolerancijsko polje govori kako je ukupna tolerancija smještena u odnosu na nultu liniju (nazivnu mjeru), a
    Red tolerancije govori koliki je ukupni raspon tolerancije mjere
  - *I2 Unutarnji promjer izratka (φ_I)*

- *I3 Visina izratka (H_I)*
- *I4 Širina izratka (B_I)*
- *I5 Debljina izratka (d_I)*
- *I6 Duljina izratka (L_I)*

pri čemu je duljina izratka varijabla, dakle uvijek veća od nule, a sve ostale su karakteristične izmjere koje mogu ali i ne moraju uvijek imati vrijednost veću od nule. Sve izmjere izratka izražavaju se u milimetrima.

1.2.4 Podaci o materijalu proizvoda

Podaci o materijalu opisani su u dijelu ovog rada koji se odnosi na parametre tehnološkog procesa. O-03-011

Podaci o materijalu u pravilu se nalaze u sastavnici na crtežu, i to:

- **Pred oznaka materijala**
  često je potrebna za razlikovanje ne čeličnih materijala obzirom na postupak dobivanja. Podatak nije veličina.
- **Oznaka kvalitete materijala**
  osnovna je oznaka materijala koja jednoznačno opisuje svojstva materijala. Standardizacija oznaka raznolika je od zemlje do zemlje što uvjetuje svrstavanje tih podataka u bazu znanja. Oznaka nije fizikalna veličina, ali se može iskazati i sa svojstvima materijala koji jesu fizikalne veličine, i to jednim ili kombinacijom više njih.
- **Dopunska oznaka materijala**
  često se koristi za opis posebnih stanja u kojem se isporučuje čelik. Opisuje dodatna svojstva polaznog materijala, a povezana je i sa podacima o obliku polaznog materijala. Značajna je za osnovni TP, jer su svojstva koja opisuje vrlo često usko povezana sa podacima o izratku
- **Standard oblika materijala**
  odnosi se na polazni oblik materijala, pri čemu standardom nije definiranim samo oblik poluproizvoda, već i dodatni parametri. Standard razlikuje različite izvedbe istog oblika, (npr. vučene ili valjane okrugle šipke)
- **M1 vanjski promjer (Φ_M)**
  karakteristična je izmjera za okrugle šipke. Kao i ostale karakteristične izmjere predstavlja fizikalnu veličinu duljinu, a mjeri se u milimetrima (mm)
- **M2 unutarnji promjer (φ_M)**
  je karakteristična izmjera za okrugle cijevi
- **M3 visina profila (H_M)**
  je karakteristična izmjera za razne profile i pravokutne cijevi
- **M4 širina (B_M)**
  je karakteristična izmjera za više oblika materijala (plosnati čelik, profili, pravokutne cijevi
- **M5 debljina (d_M)**
  je karakteristična izmjera za limove, šesterokutne i kvadratne profile, a potrebna je za opis i svih ostalih oblika materijala, izuzev okruglih cijevi ukoliko se one opisuju pomoću unutarnjeg promjera

- **M6 duljina (L_M)**
  nije karakteristična izmjera, već varijabilna izmjera potrebna za opis ne oblika materijala, nego količine materijala

Oznaka kvalitete materijala jedini je podatak u ovoj grupi koji se doista mora zadati na crtežu kao karakteristika crteža, budući da on određuje završne karakteristike izratka. U praksi se najčešće na crtežu upisuju i izmjere materijala, a ukoliko su navedeni mogu poslužiti tehnologu da lakše odredi potreban materijal. Iz tog razloga svi navedeni podaci klasificiraju se kao karakteristike crteža.

1.2.5 Podaci o složenosti izratka

Složenost izratka ***karakteriziraju brojevi potrebnih standardnih elemenata crteža da bi se detaljno i jednoznačno opisao izradak***. Zajednička karakteristika podataka svrstanih u ovu grupu je da su svi određeni brojem kao matematičkom količinom mjerna jedinica komada (kom). Posljedica toga je da se vrijednosti svakog podatka utvrđuju jednostavnim brojenjem elemenata na crtežu.
Potreba za manualnim utvrđivanjem vrijednosti pojedinih karakteristika značajno umanjuje prednosti OTP-a u odnosu na druge načine projektiranja tehnoloških procesa. Budući da se crteži standardno izrađuju pomoću računala i zapravo su skup digitalnih podataka, utvrđivanje vrijednosti svakog podatka može biti potpuno automatizirano. (Za slučaj 3D crteža, u bilo kojem od postojećih formata, CATIA Part, IGES,...)

U grupu podataka koji govore o složenosti izratka ubrajaju se:

- **Broj pogleda**
  podrazumijeva broj posebnih cjelina na crtežu. Pri tome se broje svi pogledi, projekcije, presjeci i detalji na crtežu.
- **Broj opisa**
  predstavlja broj tekstualnih opisa na crtežu. Tu se ubrajaju razna pojašnjenja, ali ne i tekst na kotama, ili oznakama hrapavosti.
- **Broj oznaka hrapavosti**
  uključuje sve oznake hrapavosti koje su izravno vezane na određene površine na crtežu.
- **Broj oznaka oblika**
  predstavlja broj svih oznaka oblika na crtežu izravno vezanih na određeni oblik na izratku. Na crtežu se najčešće toleriraju oblici ravnosti i cilindričnosti. L-20-1-338
- **Broj oznaka položaja**
  podatak je koji govori o količini oznaka položaja na crtežu. Oznaka baza na koje se tolerancija položaja odnosi ne broje se. Najčešće se propisuju paralelnost i okomitost površina.
- **Broj toleriranih kota**
  podrazumijeva kote kojima se ne određuju slobodne mjere izratka.
- **Broj posebnih kota**
  podrazumijeva kote koje imaju u prefiksu određenu slovnu oznaku koja označuje složeni oblik površine. Najčešće su to kote navoja, ali i upuštenja centralnih uvrta i slično.

- **Broj višestrukih kota**
  podrazumijeva one kote koje kao sufiks u zagradi imaju neki broj koji označuje koliko puta se ta karakteristika izratka ponavlja, iako je kotirana samo jednom. Najčešći primjer su rupe istog promjera simetrično razmještene po kružnici ili rjeđe pravcu.
- **Broj kota u tablicama**
  predstavlja karakteristiku crteža koji složenost izratka opisuje kotama u posebnoj tabeli na crtežu. Najčešće se radi izradcima sa puno rupa čiji promjer i koordinate su naznačeni u tabeli.
- **Broj običnih kota**
  podrazumijeva kote kojima su određene mjere izratka za koje vrijedi točnost propisan tolerancijom slobodnih mjera.

1.2.6 Podaci o zahtijevnosti izratka

Zahtijevnost proizvoda očituje se u zahtjevima na određena svojstva izratka većim od uobičajenih. Najčešće se ***povećani zahtjevi*** odnose na ***točnost izratka*** koja iziskuje povećanost točnosti kod izrade. Posljedica zahtjeva povećane točnosti kod izrade, osim što ograničava izbor opreme na kojoj se izrada vrši, izravno **povećava i potrebno vrijeme izrade**. Kako je potrebno vrijeme izrade osnovna zavisna varijabla OTP-a, jasno je da je velik i značaj karakteristika crteža koje opisuju zahtijevnost izratka, a u koje se ubrajaju:

- **Najfinija hrapavost**
  je podatak o najfinijoj površini na izratku, bez obzira da li se radi o samo jednoj ili više jednako finih površina. Najfinija hrapavost iskazuje jednom od standardnih mjera razreda hrapavosti, najčešće ka o Ra u mjernoj jedinici mikron (μ). Obzirom na različite oznake koje se koriste za hrapavost na crtežu potrebno je postojanje baze znanja koje će prepoznati bilo koju oznaku, i svesti je na jedinicu Ra. Za potrebe ovog rada mjera hrapavosti izražavat će se razredom hrapavosti. Budući da svaki razred hrapavosti obuhvaća određeni interval vrijednosti Ra, uzima se najveća vrijednost Ra u pojedinom razredu kao usporedna vrijednost. [L-21-1-410]
- **Najuža tolerancija oblika**
  je podatak o najstrožem zahtjevu na izradak sa stajališta oblika, ne zavisno o kojem obliku se radi. Ako na crtežu postoje različiti zahtjevi na različitim oblicima, što nije čest slučaj, kao karakteristika crteža odabire se onaj oblik čija tolerancija je zahtjevnija. Najuža tolerancija oblika iskazuje se u mjernoj jedinici milimetar (mm).
- **Najuža tolerancija položaja**
  podatak je o najstrožem zahtjevu na izradak sa stajališta geometrijskih odnosa površina na izratku. Kao i kod najuže tolerancije oblika kao vrijednost odabire se vrijednost zahtjevnije tolerancije oblika ako ih ima više, što je čest slučaj. Npr. okomitost između više površina i paralelnost više površina. Iskazuje se u mjernoj jedinici milimetar (mm)
- **Najuža tolerancija mjere**
  podrazumijeva tolerancije duljine, a odabire se najmanji raspon tolerantnog polja i iskazuje u mjernoj jedinici milimetar (mm)

- **Najuža tolerancija promjera**
  predstavlja toleranciju duljine, ali okruglih površina. Odabire se najmanji raspon tolerantnog polja a iskazuje se redom tolerancije. Razlog tome je što je tako uobičajeno označeno na crtežu, ali i iz razloga što sa stajališta obrade kružnih površina nije isto postići toleranciju u apsolutnoj vrijednosti na značajno različitim promjerima. Red tolerancija podrazumijeva relativnost raspona tolerancijskog polja u odnosu na promjer (nazivnu mjeru).

Za slučaj kada na crtežu nije naznačena posebna finoća hrapavosti podatku se dodjeljuje vrijednost osnovne tolerancije hrapavosti.
Ukoliko nisu posebno navedeni ni ostali mogući zahtjevi njihovim podacima se pridružuje vrijednost osnovnih tolerancija, a ako ni one nisu istaknute na crtežu, tada im se pridružuju vrijednosti odgovarajuće prema osnovnoj toleranciji hrapavosti, što se određuje na temelju baze znanja. Baza znanja mora u sebi sadržavati usporedne podatke o povezanosti finoće površine sa vrstama obrade i tolerancijama mjera, oblika i položaja. [L-20-1-337]

1.3 VARIJABLE OTP-A

Varijable OTP-a uz manja odstupanja, mogu se podijeliti na:

- **zavisne varijable**
  predstavljaju ***parametre tehnološkog procesa*** i posljedica su kreiranja OTP-a
- **uvjetno nezavisne varijable**
  predstavljaju elemente polaznog materijala iz kojeg će se proizvesti izradak za koji se projektira OTP
- **nezavisne varijable koje su posljedica kreiranja i razvoja proizvoda**
  predstavljaju karakteristike crteža i iz njih izvedene veličine, a posljedica su kreiranja i razvoja proizvoda.

Moguće odstupanje ove podjele je vezano uz varijable koje opisuju polazni oblik i izmjere materijala. Teorijski, polazni oblik i izmjere materijala zavisne su o obliku i izmjerama proizvoda. Praktično se polazni oblik i izmjere materijala navode na crtežu, te za potrebe OTP-a najčešće ostaju nepromijenjene, iz čega proizlazi da se radi o nezavisnim varijablama.
U svakom slučaju, oblik polaznog materijala i njegove izmjere moraju biti poznate prije definiranja ostalih parametara tehnološkog procesa, pa je moguće o obliku i izmjerama materijala govoriti kao o uvjetno nezavisnim varijablama.
Budući da podaci o polaznom materijalu svakako moraju biti dio tehnoloških parametara, neće ih se koristiti kao podatke dobivene na temelju karakteristika crteža, bez obzira da li su oni preuzeti s crteža, ili određeni na drugi način.

Zavisne varijable su točno definirane, a cilj ovog rada je da se na temelju dostupnih karakteristika crteža odredi optimalan potreban broj nezavisnih varijabli na temelju kojih se mogu kvantificirati zavisne varijable OTP-a.

1.3.1 Zavisne varijable OTP-a

Zavisne varijable predstavljaju unaprijed definirane podatke o potrebnim parametrima koje pri projektiranju tehnološkog procesa treba kvantificirati.
Određivanje vrijednosti zavisnih varijabli cilj je projektiranja tehnološkog procesa, a u slučaju OTP-a zavisne varijable su:

- **oblik polaznog materijala**
- **izmjera polaznog materijala (na temelju baze znanja)**
- **redoslijed operacija na temelju baze znanja**
- **vremena izrade za 30 postupaka obrade**
- **dodatno ukupno vrijeme izrade i vremena izrade po skupovima postupaka**

Uz navedene obavezne zavisne varijable, moguće je kao zavisnu varijablu uvesti i **Tip OTP-a** koja bi se određivala nakon određivanja oblika i izmjera polaznog materijala. U daljnjem tijeku projektiranja OTP-a ova zavisna varijabla preuzela bi ulogu koju u standardnom postupku ima oblik polaznog materijala. To znači da bi se za izračunavanje ***potrebnog vremena izrade*** koristili ***setovi specijalnih jednadžbi koje vrijede za pojedine tipove OTP-a.*** Ove jednadžbe određuju se za suženo područje, te bi trebale određivati ***vremena izrade*** točnije u odnosu na setove jednadžbi koje se temelje na ***polaznom obliku materijala***.

Zavisne varijable prikazuju se na obrascu «Tehnološki list OTP-a», koji uz njih mora sadržavati i podatke o izratku na koji se odnosi. Umjesto opisivanja svakog podatka, na slici 3.2 S-05-045 prikazan je «Tehnološki list OTP-a» koji dovoljno zorno objašnjava zavisne varijable OTP-a.

1.3.2 Uvjetno nezavisne varijable OTP-a

Zavisne varijable predstavljaju parametre tehnološkog procesa koje OTP-om treba kvantificirati.

Moguće odstupanje od navedene podjele zavisnih varijabli u prethodnom podnaslovu je vezano uz varijable koje opisuju polazni oblik i izmjere materijala. Teorijski, polazni oblik i izmjere materijala zavisne su o obliku i izmjerama proizvoda. Praktično se polazni oblik i izmjere materijala navode na crtežu, te za potrebe OTP-a najčešće ostaju nepromijenjene, iz čega proizlazi da se radi o nezavisnim varijablama.

U svakom slučaju, oblik polaznog materijala i njegove izmjere moraju biti poznate prije definiranja ostalih parametara tehnološkog procesa, pa je moguće ***o obliku i izmjerama materijala*** govoriti kao o ***uvjetno nezavisnim varijablama***.

Budući da podaci o polaznom materijalu svakako moraju biti dio tehnoloških parametara, neće ih se koristiti kao podatke dobivene na temelju karakteristika crteža, bez obzira da li su oni preuzeti s crteža, ili određeni na drugi način.

Podaci o predviđenim uvjetno nezavisnim varijablama prikazani su u T-12 T-12-1-031

T-12	Tablica predviđenih uvjetno nezavisnih varijabli				01-01
PREDVIĐENE UVJETNO NEZAVISNE VARIJABLE					
Red. broj		Naziv karakteristike crteža	Oznaka	Mjera	Oznaka varijable
1		Pred oznaka polaznog materijala	ZN01	-	-
2		Oznaka kvalitete polaznog materijala	ZN02	-	-
3		Dopunska oznaka polaznog materijala	ZN03	-	-
4		Standard materijala	ZN04	-	-
5	*	Oblik polaznog materijala	ZN05	-	-
6	*	Vrsta prerade kojom se proizveo polazni materijal	ZN06	-	-
7		Vanjski promjer polaznog materijala	ZN07	mm	Φ_M
8		Unutarnji promjer polaznog materijala	ZN08	mm	φ_M
9		Visina polaznog materijala	ZN09	mm	H_M
10		Širina polaznog materijala	ZN10	mm	B_M
11		Debljina polaznog materijala	ZN11	mm	d_M
12		Duljina polaznog materijala	ZN12	mm	L_M

* uz uobičajene parametre materijala, za potrebe OTP-a uvode se i dva nova parametra. Iako ih je moguće utvrditi iz ostalih parametara, praktičnije je odabrati ih za izravne relativne karakteristike, tim više što je na crtežima vrlo rijetko materijal definiran sa svim parametrima (standard poluproizvoda gotovo nikad nije naveden).

1.3.2 Nezavisne varijable OTP-a

Nezavisne varijable OTP-a su veličine čija vrijednost se može utvrditi na temelju karakteristika crteža.

Nezavisne varijable mogu biti izravno veličine pojedinih karakteristike crteža, ali i veličine koje se mogu neizravno utvrditi na temelju karakteristika crteža.

Na temelju vrijednosti nezavisnih varijabli za svaki pojedini crtež i pripadajućeg im koeficijenta u jednadžbi odredit će se stanje zavisnih varijabli, odnosno vrijednosti parametara osnovnog tehnološkog procesa.

Veličina je definirana sa:

- **Nazivom**
- **Oznakom**
- **Definicijom**
- **Mjernom jedinicom**
- **Mjernim brojem**

Kvantificiranja nezavisnih varijabli (pridruživanje mjernog broja mjernoj jedinici) na temelju karakteristika crteža može se izvršiti na 4 osnovna načina:

- **O - Očitanjem (izravno očitanje sa crteža)**
- **B - Brojenjem (neizravno očitanje sa crteža, prebrojavanje)**
- **U - Usporedbom (uspoređivanjem sa bazom znanja)**
- **R - Računanjem (po unaprijed definiranim jednadžbama)**

Obzirom na odnos fizikalnih veličina i karakteristika crteža, nezavisne varijable se mogu podijeliti kao:

d) matematičke veličine
iskazane su na crtežu u izvornom obliku kao karakteristike crteža

e) fizikalne veličine
iskazane su na crtežu u izvornom obliku kao karakteristike crteža, ali sa mogućom upotrebom različitih mjernih jedinica

f) posebne veličine
neko od svojstava karakteristike crteža koja nije na crtežu prikazana kao fizikalna veličina. Odabrano svojstvo mora jednoznačno i u potpunosti odgovarati samo jednoj i točno toj karakteristici crteža

g) objedinjene veličine
veličine nastale objedinjavanjem dviju ili više međusobno povezanih karakteristika crteža u zajedničko

h) izvedene veličine
nove veličine koje su posljedica međusobne povezanosti dviju ili više karakteristika crteža

i) relativne veličine
nove veličine koje nastaju kao odnos dviju ili više različitih karakteristika crteža (npr. razlika mase materijala i mase izratka)

<u>ad a) matematičke veličine</u>

1. *Veličina serije*
2. *Broj pozicija u sklopu (za sklopni crtež)*
3. *Broj komada u proizvodu*
4. *Broj listova*
5. *Broj pogleda*
6. *Broj opisa*
7. *Broj oznaka hrapavosti*

8. *Broj oznaka oblika*
9. *Broj oznaka položaja*
10. *Broj toleriranih kota*
11. *Broj posebnih kota*
12. *Broj višestrukih kota*
13. *Broj kota u tabelama*
14. *Broj običnih kota*
sve veličine ove grupe iskazuju se brojem

ad b) Fizikalne veličine

1. *Hrapavost slobodnih površina* (Razred; Ra; Rz; Rmax; broj trokuta)
2. *Tolerancija slobodnih mjera* (oznaka stupnja točnosti; mm; mikroni)
3. *Tolerancija slobodnih položaja* (oznaka stupnja točnosti; mm; mikroni)
4. *Tolerancija slobodnih oblika* (oznaka stupnja točnosti; mm; mikroni)
5. *Najfinija hrapavost* (Razred; Ra; Rz; Rmax; broj trokuta)
6. *Najuža tolerancija mjera* (mm; mikroni)
7. *Najuža tolerancija promjera* (mm; mikroni)
8. *Najuža tolerancija položaja* (mm; mikroni)
9. *Najuža tolerancija oblika* (oznaka stupnja točnosti; mm; mikroni)
10. *Tvrdoća izratka* (HRc; HRb; HB;HV; N/mm^2)
11. *I1- Vanjski promjer izratka* (mm uobičajeno, col; cm u graditeljstvu)
12. *I2- Unutarnji promjer izratka* (mm uobičajeno, col; cm u graditeljstvu)
13. *I3- Visina izratka* (mm uobičajeno; cm u graditeljstvu)
14. *I4- Širina izratka* (mm uobičajeno; cm u graditeljstvu)
15. *I5- Debljina izratka* (mm uobičajeno; cm u graditeljstvu)
16. *I6- Duljina izratka* (mm uobičajeno; cm u graditeljstvu)

ad c) Posebne veličine

1. *Površina crteža* ***f(AD12)*** ..... m^2
2. *Odnos mjera* ***f(AD13)*** ..... broj
3. *Debljina zaštitnog sloja* ***f(AD23)*** ..... mikron
4. *Masena čvrstoća* **(** $\frac{G_M}{R_M}$ **)** ***f(AD36)*** ..... $\frac{kg/m^3}{N/mm^2}$

ad d) Objedinjene veličine

1. *Ukupni broj komada* $= N_{vs} \times N_{kp}$ ..... kom

2. *Ukupni broj kota* $= K_T + K_P + K_V + K_B + K_O$ ..... kom

3. *Potrebna površina crteža* $= \frac{A_F \times N_L}{O_M}$ ..... m^2

4. *Klasa obrade* ***f(AD14;AD15;1D16;AD17)*** ..... IT
određivanje na temelju baze znanja (međusobna povezanost razreda hrapavosti sa redom tolerancija, te međusobna povezanost reda tolerancija sa tolerancijama slobodnih mjera, površina i oblika)

ad e) Izvedene veličine

1. *Masa izratka* ..... kg
je podatak o neto količini izratka, a određuje se automatski 3D modeliranjem izratka. Predstavlja fizikalnu veličinu mase, a iskazuje se mjernom jedinicom kilogram (kg).

2. *Površina oplošja izratka* ..... m^2
je brojčani podatak o površini svih otvorenih površina izratka, a određuje se automatski 3D modeliranjem izratka. Predstavlja fizikalnu veličinu površina, a iskazuje se mjernom jedinicom metar četvorni (m^2)

3. *Masa materijala* ..... kg
je podatak o potrebnoj količini materijala sa svim dodacima za obradu, a određuje se na temelju kvalitete, oblika i izmjera materijala Predstavlja fizikalnu veličinu mase, a iskazuje se mjernom jedinicom kilogram (kg).

4. *Površina oplošja materijala* ..... m^2
je brojčani podatak o površini svih otvorenih površina polaznog materijala uključujući i unutarnje površine cijevi, i čelne površine šipke. Predstavlja fizikalnu veličinu površina, a iskazuje se mjernom jedinicom metar četvorni (m^2)

ad f) Relativne veličine

1. *Razlika mase materijala i izratka* $= m_M - m_I$ ..... kg

2. *Razlika površine oplošja materijala i izratka* $= A_M - A_I$ ..... m^2

3. *Relativno smanjenje mase* $\frac{m_M - m_I}{m_M}$ ..... broj

Moguće je postojanje i drugih nezavisnih varijabli koje nisu navedene. Posebno se to odnosi na mogućnost korištenja posebnih varijabli, te na korištenje različitih objedinjenih, izvedenih i relativnih veličina.
Izbor potencijalnih nezavisnih varijabli prvenstveno ovisi o uzorku za koji se određuju zakonitosti budućeg OTP-a, pri čemu trenutno značajan uvjet izbora može biti dostupnost podataka. Značaj ovog uvjeta u budućnosti bit će još i veći ukoliko će se provesti standardizacija crteža obzirom na potrebe OTP-a.

Izvjesno je da postoje određene veze između nezavisnih varijabli, što će omogućiti da se smanji potreban broj nezavisnih varijabli.
Istraživanjem će se vjerojatno utvrditi i da su neke od predviđenih varijabli nevažne, a neke da čak i loše utječu na ukupan rezultat. Neke varijable će vrijediti generalno, a neke će vrijediti u ograničenom području.

Popis pretpostavljenih mogućih nezavisnih varijabli prikazan je u tablici T-13 T-13-1-035

T-13	Tablica predviđenih nezavisnih varijabli OTP-a				01-01
PREDVIĐENE NEZAVISNE VARIJABLE OTP-a					
Redni broj	VELIČINA				Način kvantificiranja
	Naziv	Znak	Definicija	Mjera	
MATEMATIČKE					
1	Veličina serije	N_{vs}	*broj komada u seriji*	komad	Očitanjem
2	Broj pozicija u sklopu	N_{ps}		komad	Brojenjem
3	Broj komada u proizvodu	N_{kp}		komad	Očitanjem
4	Broj listova	N_L		komad	Očitanjem
5	Broj pogleda	N_P			Brojenjem
6	Broj opisa	N_O			Brojenjem
7	Broj oznaka hrapavosti	N_H			Brojenjem
8	Broj oznaka oblika	N_B			Brojenjem
9	Broj oznaka položaja	N_G			Brojenjem
10	Broj toleriranih kota	K_T			Brojenjem
11	Broj posebnih kota	K_P			Brojenjem
12	Broj višestrukih kota	K_V			Brojenjem
13	Broj kota u tabelama	K_B			Brojenjem
14	Broj običnih kota	K_O			Brojenjem
OVISNE O MJERNOJ JEDINICI					
15	Hrapavost slobodnih površina	S_H	*srednje odstupanje profila*	Razred hrap.	Očitanjem
16	Tolerancija slobodnih oblika	S_O		mm	Usporedbom
17	Tolerancija slobodnih položaja	S_G		mm	Usporedbom
18	Tolerancija slobodnih mjera	S_M		mm	Usporedbom
19	Najfinija hrapavost	Z_H	*srednje odstupanje profila*	Razred hrap.	Očitanjem
20	Najuža tolerancija oblika	Z_O		mm	Očitanjem
21	Najuža tolerancija položaja	Z_G		mm	Očitanjem
22	Najuža tolerancija mjere	Z_M		mm	Očitanjem
23	Najuža tolerancija promjera	Z_P		Red tol.	Očitanjem
24	Tvrdoća izratka	Z_T		HRc	Očitanjem
25	I1 – vanjski promjer izratka	Φ_I		mm	Očitanjem
26	I2 – unutarnji promjer izratka	ϕ_I		mm	Očitanjem
27	I3 – visina izratka	H_I		mm	Očitanjem
28	I4 – širina izratka	B_I		mm	Očitanjem
29	I5 – debljina izratka	d_I		mm	Očitanjem
30	I6 – duljina izratka	L_I		mm	Očitanjem
POSEBNE					
31	Površina crteža	A_F	*=visina papira * širina papira*	m^2	Usporedbom
32	Odnos mjera	O_M	*=na papiru/na izratku*	broj	Usporedbom
33	Debljina zaštitnog sloja	Z_Z	*zahtjev na crtežu*	mikron	Usporedbom
34	Masena čvrstoća*	M_K	$=G_M/R_M$	$(kg/m^3)/(N/mm^2)$	Usporedbom
OBJEDINJENE					
35	Ukupan potreban broj komada	N_K	$=N_{vs}*N_{kp}$	komad	Računanjem
36	Ukupan broj kota	N_{SK}	$=K_T+K_P+K_V+K_B+K_O$		Računanjem
37	Potrebna površina crteža	A_C	$=A_F * N_L / O_M$	m^2	Računanjem
38	Klasa obrade	K_O		IT	Usporedbom
IZVEDENE					
39	Masa izratka	m_i	$=G_M*V_I$	kg	Računanjem
40	Površina oplošja izratka	o_i	*= prema jednadžbi oblika*	m^2	Računanjem
41	Masa materijala	m_m	$=G_M*V_M$	kg	Računanjem
42	Površina oplošja materijala	o_m	*=prema jednadžbi oblika*	m^2	Računanjem
Relativne					
43	Razlika mase	Δ_m	$=m_M - m_I$	kg	Računanjem
44	Razlika površine oplošja	Δ_o	$=A_M - A_I$	m^2	Računanjem
45	Relativno smanjenje mase	δ_m	$=(m_M - m_I)/m_M$	postotak	Računanjem

* Masena čvrstoća posebna je veličina kojom se iskazuje vrijednost dvije objedinjene karakteristike crteža (oznake kvalitete)

1.4 PRETHODNO ISTRAŽIVANJE

Da bi se utvrdilo postoji li zakonitost između karakteristika crteža i tehnoloških parametara potrebno je napraviti istraživanje na stvarnim podacima.
Kao što je već utvrđeno T-11-1-022 postoje 63 moguće karakteristike crteža, i 30 postupaka obrade T-08-1-010 za koje se želi utvrditi vrijeme trajanja. Uzimajući u obzir i činjenicu da je za određivanje nekih karakteristika crteža potrebno postojanje baze znanja, vidljivo je da je potrebno istraživanje vrlo obimno. Pri tome se obimnost istraživanja ne očituje samo u velikom broju podataka koje će biti potrebno utvrditi, nego i u potrebnim aktivnostima na pripremi samog istraživanje.
U cilju utvrđivanja opravdanosti utroška potrebnog vremena za buduće detaljno istraživanje, prije aktivnosti potrebnih za pripremu detaljnog istraživanja, izvršeno je prethodno istraživanje.

Prethodno istraživanje izvršeno je na manjem uzorku sa unaprijed određenim karakteristikama crteža kao nezavisnim veličinama.
Unaprijed određene nezavisne veličine utvrđene su na temelju pretpostavljenog utjecaja na zavisne varijable, i na temelju dostupnosti utvrđivanja karakteristika crteža na probnom uzorku.
Detaljni opis prethodnog istraživanja dat je u prilogu A ovog rada P-A-000 a ovdje se navode samo najvažniji podaci, o:

- **probnom uzorku**
- **model obrade**
- **ocjena rezultata**

1.4.1 Prethodni uzorak

Probni uzorak su tehnička i tehnološka dokumentacije iz iste tvrtke u kojoj je predviđeno i detaljno istraživanje.
Elementi probnog uzorka nisu podskup budućeg osnovnog uzorka za detaljno istraživanje detaljnog uzorka.

Podaci su pohranjeni u tablici MS Excela, a osnovne značajke probnog uzorka su:

- **veličina uzorka je 44**
  veličina uzorka posljedica je dostupnosti tehničke dokumentacije u trenutku provođenja prethodnog istraživanja, uz ograničenje da se u prethodnom uzorku ne koriste tehnička i tehnološka dokumentacija za izratke koji će se obuhvatiti detaljnim istraživanjem
- **veličina serije za svaki uzorak je konstantna i iznosi 1**
  N_{vs}=1= const. što znači da veličina serije nije nezavisna varijabla koja će biti obuhvaćena jednadžbom regresije
- **vremena izrade kao zavisne varijable**
  za svaki uzorak ukupno vrijeme izrade utvrđeno je kroz utvrđeno je t_{pz} i t_{tp}
- **polazni oblik materijala za sve elemente uzorka je odljevak**
  pri čemu nije napravljena razlika po obliku odljevka za slučaj da je oblik odljevka jedan od predviđenih standardnih oblika polaznog materijala

- **pozicije na crtežima pripadaju različitim proizvodima**
  zbog čega su moguća odstupanjima pojedinih uzoraka od uobičajenih pozicija u tvornici.
- **tehnološka dokumentacija je vlasništvo tvrtke**
  projektirana u tvrtci i za sustav tvrtke, što smanjuje mogućnost raznolikosti uzorka po osnovu dostupnih parametara tehnološkog procesa
- **tehnička dokumentacija je vlasništvo različitih tvrtki**
  pa su i same karakteristike crteža raznolike, ali ne u smislu vrijednosti, što bi bilo značajno), nego u pogledu načina prikazivanja na crtežu

Usporedbom probnog i budućeg detaljnog uzorka može se zaključiti:

- **sa stajališta zavisnih varijabli uzorci se podudaraju gotovo u potpunosti**
  razlika je u samo u obimu istraživanja i broju zavisnih varijabli za koje se utvrđuje povezanost sa karakteristikama crteža. Prethodnim istraživanjem nastoji se odrediti utjecaj karakteristika crteža na samo jednu zavisnu varijablu, i to ukupno vrijeme izrade
- **sa stajališta zavisno-nezavisne varijable, oblik polaznog materijala, razlika je značajna**
  u budućem detaljnom istraživanju predviđeno je da podjela po polaznom obliku materijala bude finija. Polazni oblik odljevak u detaljnom istraživanju obuhvatit će samo one odljevke koji nisu jednaki nekom od standardnih oblika materijala (ploča, šipka, cijev ili profil)
- **sa stajališta nezavisnih varijabli uzorci se neznatno razlikuju**
  razlika nije u vrijednosti nezavisnih varijabli, već u smanjenom broju karakteristika crteža za koje će se u prethodnom istraživanju kvantificirati podaci. U prethodnom istraživanju neće se vršiti analiza utjecaja svake od mogućih nezavisnih varijabli, nego samo utjecaj nekoliko unaprijed određenih nezavisnih varijabli na ukupno potrebno vrijeme izrade kao jedinu zavisnu varijablu

1.4.2 Model prethodnog istraživanja

Obzirom na cilj prethodnog istraživanja odabire se jednostavni model obrade podataka na temelju malog uzorka. Model obrade podataka u prethodnom istraživanju karakteriziraju:

- **Aplikacija Microsoft Excel**
  alati – analiza podataka - korelacija – regresijska analiza
- **višestruka linearna regresijska analiza**
  očigledno je da vrijeme izrade ovisi o više nezavisnih varijabli
- **broj nezavisnih varijabli je 13 (utvrđene vrijednosti u prethodnom istraživanju)**
  - *X1 - veličina serije* ..... kom
  - *X2 - širina ili promjer polaznog materijala* ..... mm
  - *X3 - debljina polaznog materijala* ..... mm
  - *X4 - dužina polaznog materijala* ..... mm
  - *X5 - broj pogleda na nacrtu* ..... kom
  - *X6 - broj kota na nacrtu (ukupni broj kota)* ..... kom
  - *X7 - broj oznaka na nacrtu(hrapavosti + položaja + oblika)* ..... kom
  - *X8 - broj opisa na nacrtu (tekstualni opisi)* ..... kom
  - *X9 - broj toleriranih kota na nacrtu* ..... kom
  - *X10 - najuža tolerancija dužinskih mjera na nacrtu* ..... mm
  - *X11 - najuža tolerancija promjera (najfiniji red tolerancije)* ..... IT
  - *X12 - najuža tolerancija geometrije (bilo oblika ili položaja)* ..... mm
  - *X13 -najfinija hrapavost površine Ra* ..... mikron
- **broj zavisnih varijabli je 1**
  - *t -vrijeme izrade*

  zavisna varijabla je ukupno vrijeme izrade, i to uz ograničenje »za izratke čiji je polazni oblik odljevak».

  Budući da se utvrđeno ukupno vrijeme izrade sastoji od dva elementa i to pripremno završnog vremena t_{pz} i tehnološko pomoćnog vremena t_{tp} moguće je analizirati podatke i obzirom na veličinu serije, odnosno izvršiti istraživanje uz:

  - *uvjet pojedinačne proizvodnje* ($N_{vs} = 1; t_{pz} > 0$)

    veličina serije je 1, a pripremno završno vrijeme je značajno.
    Vrijeme izrade određuje se kao: $t = t_{pz} + t_{tp}$

  - *uvođenje veličine serije kao nezavisne varijable u model* ($1 \geq N_{vs} \geq 100$)

    pri tome se veličina serije za svaki element uzorka određuje kao slučajni broj i to sa mogućnošću ponavljanja u rasponu od 1 do 100.

    Vrijeme izrade određuje se kao: $t = \frac{t_{pz}}{N_{vs}} + t_{tp}$

  - *uvjet velikoserijske proizvodnje* ($N_{vs} = 10.000 \rightarrow t_{pz} \cong 0$)

    Veličina serije je 10.000, a pripremno završno vrijeme je zanemarivo.
    Vrijeme izrade određuje se kao: $t = t_{tp}$

1.4.3 Rezultati prethodnog istraživanja

Obrada podataka izvršena je metodom višestruke regresijske analize u aplikaciji MS Excel. [22]. L-22-1-000

Regresijska analiza[7] kao statistička metoda, ne opisuje se u ovom radu posebno, budući je iscrpno opisana u postojećoj literaturi. [23];L-23-1-000 [24];L-24-1-291 ; [25].L-25-1-249

Na temelju prethodnog istraživanja koje je izvršeno na uzorku od 40 elementa, i to različitih oblika (odljevak), može se zaključiti slijedeće:

- **zavisna varijabla je čvrsto povezana sa nezavisnim varijablama**
  - *r = 0,9354*
  - *r^2 = 0,8750*
  - *objašnjeno = 0,8319*
  - *standardna greška = 148,1565*
- **model koji opisuje povezanost zavisne varijable sa nezavisnima može se općenito izraziti kao**
  - $\hat{Y} = b + \sum_{i=1}^{13} b_i \times X_i$
- **razlika stvarne i očekivanje vrijednosti nezavisne varijable značajno se razlikuje za pojedine pozicije uzorka**
  - *odstupanje u plus = 427,06 ch*
  - *odstupanje u minus = 259,58 ch*
  - *standardna devijacija = 127,76 ch*

    što je preveliko u odnosu na prosječnu vrijednost zavisne varijable, koja iznosi 516,60 ch (max = 1.448 ch; min =94 ch, uz standardnu devijaciju od 361,37 ch).

Prethodnim istraživanjem dobivena je funkcija

$$T = -25{,}10 + 0{,}459 \times X1 + 0{,}951 \times X2 - 0{,}396 \times X3 - 0{,}075 \times X4 + 5{,}445 \times X5 - 2{,}458 \times X6 - 9{,}905 \times X7 + 2{,}817 \times X8 + 0{,}500X9 - 2{,}230X10$$

koja za pozicije čije se potrebno vrijeme izrade nalazi u intervalu od cca 1 sat do cca 14,5 sati daje očekivana vremena izrade sa standardnom greškom od cca 1,5 sat.

Na temelju rezultata prethodnog istraživanja može se pretpostaviti da će se istraživanjem na većem uzorku utvrditi funkcija povezanosti zavisne varijable sa nezavisnima varijablama koja će riješiti i postojeće rasipanje rezultata.

Iako je cilj istraživanja utvrđivanja koeficijenata funkcije koja će zadovoljavajuće vrijediti za pojedinačne slučajeve, potrebno je predvidjeti i mogućnost da je funkcija povezanosti drugačijeg oblika, ili da postoje i druge značajne nezavisne varijable koje prethodnim istraživanjem nisu obuhvaćene.

U svakom slučaju potrebno je dodatno istražiti problem, pri čemu treba detaljno pripremiti istraživanje, a sve utvrđene podatke pohranjivati u relacijskoj bazi podataka, kako bi bilo moguće oblikovati različite modele i vršiti različite metode obrade podataka.

Rezultati prethodnog istraživanja detaljno su prikazani u prilogu, P-A-000 a ovdje su na slici 1.3 S-03-040 prikazani samo rezultati najboljeg regresijskog modela. P-A-028

[7] iako su u teoriji poznati različiti modeli regresijske analize, obzirom na prirodu problema, u ovom radu primjenjuje se višestruka linearna regresijska analiza. Iz tog razloga u oznakama veze prema literaturi navedeni su brojevi stranica u literaturi na kojima počinje opis upravo višestruke regresijske analize.

S-03 REZULTATI REGRESIJSKOG MODELA F | 01-01

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0,935420614
R Square	0,875011725
Adjusted R Square	0,83191232
Standard Error	148,1565601
Observations	40

AD-ODSTUPANJE POJEDINIH ELEMENATA UZORKA			
Redni broj	Odstupanje	POTREBNO - OČEKIVANO Iznos	%
1	Maksimalno	427,06	50,64%
2	Prosječno	0,00	-14,54%
3	Minimalno	-259,58	-202,83%
4	Stand. dev.	127,76	51,96%
5			

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	10	4456402,07	445640,207	20,3021763	1,685E-10
Residual	29	636560,623	21950,3663		
Total	39	5092962,7			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-25,103325	91,5828194	-0,27410518	0,78594685	-212,411324	162,204674	-212,411324	162,204674
X Variable 1	0,459253224	0,82320895	0,55788172	0,58120674	-1,22439904	2,14290549	-1,22439904	2,14290549
X Variable 2	0,950573663	0,30720441	3,09427093	0,00434052	0,32226976	1,57887756	0,32226976	1,57887756
X Variable 3	-0,395594656	0,25771201	-1,53502605	0,13561667	-0,9226752	0,13148588	-0,9226752	0,13148588
X Variable 4	-0,074567891	0,29311199	-0,25440069	0,80098132	-0,67404954	0,52491376	-0,67404954	0,52491376
X Variable 5	5,448156282	0,81700064	6,66848471	2,5917E-07	3,77720144	7,11911112	3,77720144	7,11911112
X Variable 6	-2,457710867	2,66186797	-0,92330307	0,36346814	-7,90184512	2,98642338	-7,90184512	2,98642338
X Variable 7	-9,904978688	2,94282455	-3,36580673	0,00216476	-15,923734	-3,8862234	-15,923734	-3,8862234
X Variable 8	2,817473551	1,17147946	2,40505587	0,02277648	0,42152773	5,21341937	0,42152773	5,21341937
X Variable 9	0,499512656	0,7092277	0,70430506	0,48686056	-0,95102164	1,95004695	-0,95102164	1,95004695
X Variable 10	-2,23006234	12,5596766	-0,17755731	0,86030506	-27,9174993	23,4573746	-27,9174993	23,4573746

RESIDUAL OUTPUT

Observation	Predicted Y	Residuals	ndard Residuals		PROBABILITY OUTPUT Percentile	Y
1	324,4754366	115,024563	0,90033268	26,17%	1,25	94
2	502,431196	29,3869859	0,23002099	5,53%	3,75	115,029412
3	724,7399505	-42,795506	-0,3349736	-6,28%	6,25	119,655172
4	883,063346	-52,0399542	-0,40733274	-6,26%	8,75	125,067416
5	810,6246308	123,422988	0,96606973	13,21%	11,25	144,265957
6	499,9276145	102,191727	0,79988611	16,97%	13,75	147,588889
7	472,5626475	-71,2418928	-0,55763223	-17,75%	16,25	157,536585
8	122,9719653	43,2337085	0,33840355	26,01%	18,75	166,205674
9	314,1319622	-121,875552	-0,95395747	-63,39%	21,25	190,5
10	402,7168316	152,213724	1,19142369	27,43%	23,75	192,25641
11	304,16952	94,8159872	0,74215393	23,76%	26,25	211,162791
12	165,4619511	125,004716	0,9784504	43,04%	28,75	290,466667
13	1459,891853	-12,0657662	-0,09444247	-0,83%	31,25	302,5
14	642,6554206	125,33069	0,98100191	16,32%	33,75	331,406593
15	511,433812	64,5323716	0,50511474	11,20%	36,25	339,201389
16	454,464599	-115,26321	-0,90220064	-33,98%	38,75	349,37037
17	608,9473043	-259,576934	-2,03178859	-74,30%	41,25	382,653061
18	1091,137124	-50,1490289	-0,39253189	-4,82%	43,75	398,985507
19	776,7440516	69,3878165	0,54311981	8,20%	46,25	401,320755
20	493,6324247	-86,3631939	-0,67599131	-21,21%	48,75	407,269231
21	641,3613835	-160,535297	-1,2565592	-33,39%	51,25	439,5
22	733,5095637	46,9252189	0,36729814	6,01%	53,75	446
23	416,2404977	427,058471	3,34271815	50,64%	56,25	480,826087
24	463,1163505	-80,4632893	-0,62981094	-21,03%	58,75	502,177083
25	215,8168985	86,6831015	0,67849533	28,66%	61,25	531,818182
26	314,3714405	-123,871441	-0,96957991	-65,02%	63,75	554,930556
27	239,3835478	-145,383548	-1,13796179	-154,66%	66,25	575,966184
28	378,7360439	-253,668628	-1,98554246	-202,83%	68,75	602,119342
29	154,4532066	-39,4237948	-0,30858218	-34,27%	71,25	681,944444
30	199,3453149	11,8174758	0,09249902	5,60%	73,75	729,177419
31	282,7451068	48,6614866	0,38088844	14,68%	76,25	767,986111
32	1422,417519	24,7253386	0,19353284	1,71%	78,75	780,434783
33	543,7649398	185,41248	1,45128057	25,43%	81,25	831,023392
34	469,1345437	33,0425397	0,25863413	6,58%	83,75	843,298969
35	486,6751183	-40,6751183	-0,31837668	-9,12%	86,25	846,131868
36	87,85753478	69,6790506	0,54539938	44,23%	88,75	934,047619
37	205,9648714	-86,309699	-0,67557259	-72,13%	91,25	1040,9881
38	270,7757849	-123,186896	-0,96422177	-83,47%	93,75	1314,33333
39	257,1761045	-112,910147	-0,88378249	-78,27%	96,25	1447,14286
40	1315,084879	-0,75154518	-0,00588258	-0,06%	98,75	1447,82609

Slika 1.3 Pregled rezultata prethodnog istraživanja

2. HIPOTEZE

Pretpostavka je da postoji matematička funkcija kojom se zadovoljavajuće točno mogu odrediti ***parametri osnovnog tehnološkog procesa*** (OTP) na temelju karakteristika crteža AD.

1. $OTP \cong f(AD)$

Odnosno, moguće je odrediti parametre osnovnog tehnološkog procesa, i to:

- ***oblik polaznog materijala***
  na temelju karakteristika crteža i baze znanja
- ***tip OTP-a***
  na temelju karakteristika crteža, oblika i izmjera polaznog materijala i baze znanja
- ***potrebne tehnološke postupke kao operacije u OTP-u***
  na temelju karakteristika crteža, očekivanih vremena izrade i baze znanja, ili na temelju tipa OTP-a, ili na temelju grane OTP-a
- ***redoslijed operacija***
  na temelju karakteristika crteža, potrebnih postupaka obrade i baze znanja
- ***potrebno vrijeme izrade***
  na temelju karakteristika crteža, pri čemu se očekivano vrijeme izračunava na temelju različitih jednadžbi zavisno o izboru nezavisnih varijabli i ograničenjima na njihove vrijednosti

2. $\hat{t}_{i=0} = f(AD)$

Ukupno očekivano vrijeme izrade funkcija je karakteristika crteža

3. $\hat{t}_{i;j} = f(AD, oblik\ polaznog\ materijala)$

Ukupno očekivano vrijeme izrade (i=0), i ukupno očekivano vrijeme pojedinog postupka izrade(i=1 do 30) funkcija su karakteristika crteža uz ograničenje na oblik polaznog materijala (j =1 do 12)

4. $\hat{t}_{i;k} = f(AD, tip\ OTP-a)$

Ukupno očekivano vrijeme izrade (i=0), i ukupno očekivano vrijeme pojedinog postupka izrade(i=1 do 30) funkcija su karakteristika crteža uz ograničenje na tip OTP-a, ili granu OTP-a (k=1 do n , tipovi OTP—a ili grane OTP-a)

5. $\hat{t}_{i=0;\ j=const.} \approx \sum_{i=1}^{n=30} t_{i;j}$

Ukupno očekivano vrijeme izrade približno je jednako sumi ukupnih očekivanih vremena svih postupaka obrade za isti oblik polaznog materijala.

6. $\hat{t}_{i=0;\ k=const.} \approx \sum_{i=1}^{n=30} t_{i;k}$

Ukupno očekivano vrijeme izrade približno je jednako sumi ukupnih očekivanih vremena svih postupaka obrade za isti tip OTP-a, ili granu OTP-a.

7. $\left|t - \hat{t} \geq \left|t - \hat{t}_{i=0;\ j=const.}\right| \geq \left|t - \hat{t}_{i=0;k=const}\right|\right.$

Razlika između ukupnog potrebnog i očekivanog vremena izrade (greška) je najveća za model bez ograničenja na karakteristike crteža, a najmanja za slučaj za model sa ograničenjem obzirom na tip OTP-a, ili granu OTP-a.

3. ISTRAŽIVANJE

Da bi se istražila mogućnost procjene vremena izrade u strojarskoj proizvodnji regresijskim modelima, za svaku poziciju potrebno je pri istraživanju utvrditi vrijednosti podataka dostupnih na:

- **crtežu**
  mogući su različiti skupovi podataka sa crteža, što ovisi o dostupnim crtežima i ocjeni potrebitosti pojedinih podataka od strane istraživača.
  U ovom radu ovi podaci nazivaju se karakteristike crteža, a podrazumijeva se da su to podaci čije vrijednosti je moguće utvrditi temeljem analize crteža, odnosno koji su u bilo kojem obliku vidljivi na crtežu.
- **tehnološkom listu**
  pri tome su na tehnološkom listu nezavisni podaci o veličini serije i rokovima isporuke, zavisni o karakteristikama crteža su podaci o izmjerama i obliku polaznog materijala, a svi ostali potpuno su zavisni o navedenima.
  U ovom radu ovi podaci nazivaju se elementi tehnološkog procesa, a podrazumijeva se da su to osnovni parametri tehnoloških procesa koji govore o redoslijedu operacija i potrebnom vremenu za njihovo izvođenje

Obzirom na postojanje uzročno posljedičnih veza među podacima koje je potrebno kvantificirati, najznačajnije je odabrati odgovarajući uzorak za istraživanje, što podrazumijeva da će uzorak:

- **za većinu pozicija obuhvatiti sve predviđene potrebne podatke**
  da za pojedine pozicije uzorka postoje i crteži i tehnološki listovi
- **imati međusobno usklađene nositelje istovrsnih informacija**
  - *svi crteži izrađeni prema zajedničkom standardu. Posebno se to odnosi na označavanje posebnih zahtjeva i način kotiranja*
  - *tehnološki listovi temeljeni na zajedničkom obrascu (istovrsni podaci o tehnološkom procesu)*
- **imati dovoljno velik broj pozicija**
  očekuje se da će uzorak sa većim brojem pozicija bolje zadovoljiti dva oprečna zahtjeva koji se postavljaju na uzorak za istraživanje, a to su:
  - *sličnost dijelova obzirom na parametre tehnološkog procesa*
    ovaj uvjet osigurava mogućnost grupiranja pozicija unutar uzorka, odnosno omogućava klasifikaciju dijelova po tipu proizvoda
  - *raznolikost dijelova obzirom na karakteristike crteža*
    ovaj uvjet osigurava postojanje značajno različitih vrijednosti nezavisnih varijabli, a što je jedan od osnovnih uvjeta da one postanu značajne za regresijske modele, odnosno da postanu potreban član jednadžbe za određivanje vrijednosti zavisne varijable.

Pri samom izboru uzorka ne analiziraju se pojedine pozicije uzorka, već se samo nastojalo osigurati gore navedene uvjete, odnosno provjerava se obuhvatnost, usklađenost i brojnost uzorka.

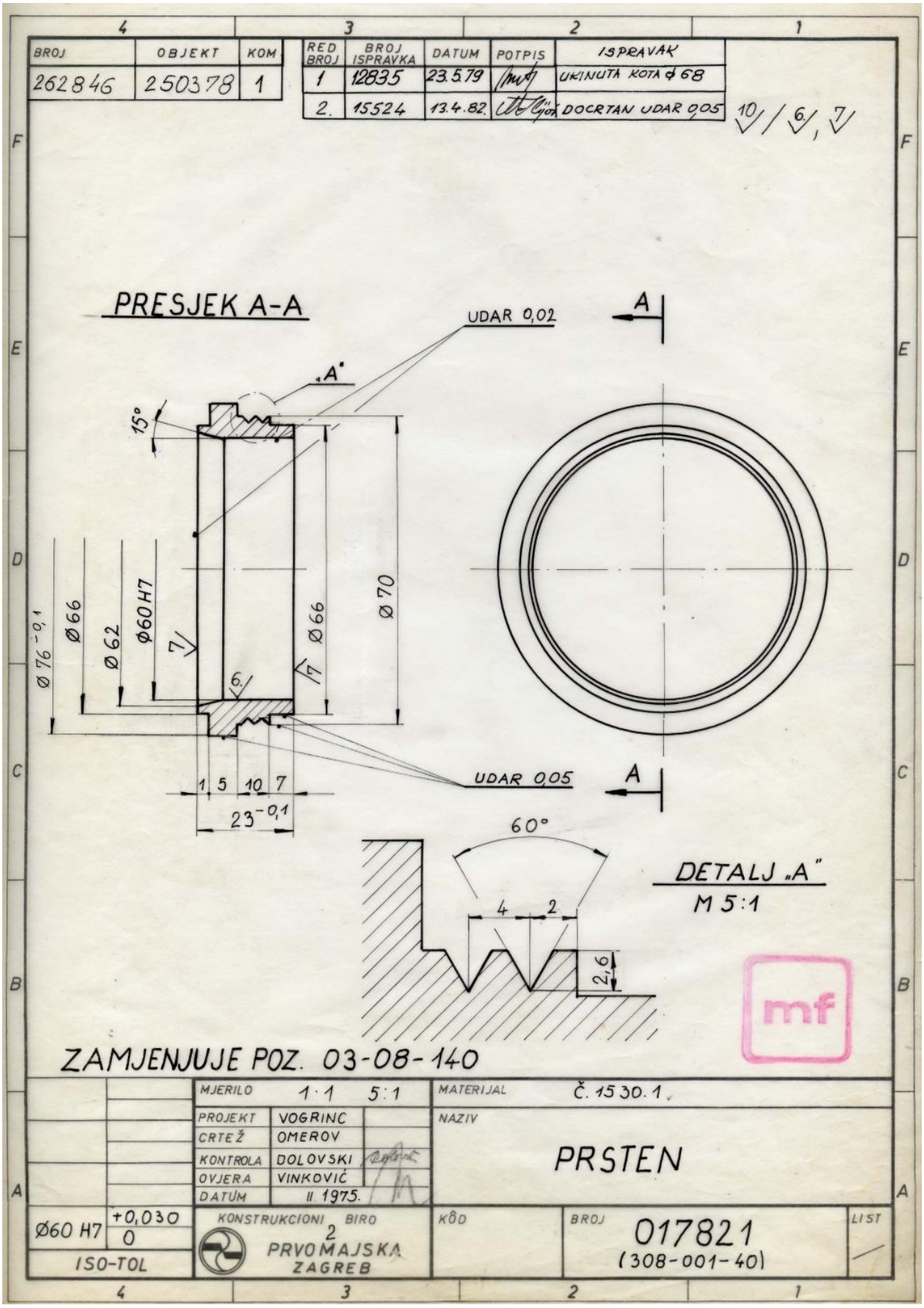
3.1 UZORAK

Elementi uzorka za istraživanje su tehnička i tehnološka dokumentacija jednog proizvoda iz vlastitog programa tvrtke «INAS-LAG» jedine zagrebačke tvornice koja se bavi proizvodnjom alatnih strojeva.
Tvrtka «INAS-LAG» slijednik je bivše tvornice alatnih strojeva «PRVOMAJSKA».
Svi elementi svake poziciji uzorka u potpunosti su vlasništvo tvrtke «INAS-LAG», a kako su svi nastali za vrijeme postojanja «Prvomajske» znači da su crteži svih elemenata proizvoda kreirani od strane djelatnika «Prvomajske» ali i da su svi parametri tehnoloških procesa projektirani od strane djelatnika «Prvomajske».
Ovo je značajno istaknuti da bi se naglasila homogenost uzorka obzirom na način nastanka pojedinih elemenata svake njegove pozicije.
U nastavku ovog rada tvrtka «INAS-LAG» navodi se kao «Tvornica».

3.1.1 Opis uzorka

- **Pozicije uzorka su stvarni dijelovi jednog stvarnog proizvoda koji se u «Tvornici» proizvodio dulji vremenski period.**
  Pod pojmom «Pozicija uzorka» podrazumijeva se skup svih podataka o jednom stvarnom dijelu proizvoda
  Stvarni (fizički) dijelovi u ovom radu nazivaju se dijelovi, a definiraju se podatkom nazvanim «oznaka dijela».
- **Svi podaci jedne pozicije u uzorku povezani su sa dijelom na koji se odnose**
  U osnovi podaci za svaku poziciju uzorka predstavljaju:
  - *tehničke karakteristike proizvoda iskazane na crtežima*
  - *parametre tehnološkog procesa iskazane na tehnološkim listovima.*
- **Uzorak čine**
  - *izvorni crteži na pausu, u formatima A4; A4*4; A3; A2 i A1, ručno crtani olovkom ili tuširani*
  - *izvorni tehnološki listovi, ispisani strojno na posebnom tvrdom papiru pogodnom za tadašnju tehniku umnažanja*

Na slikama 3.1 S-04-044 i 3.2 S-05-045 prikazani su za jedan dio njegov crtež i tehnološki list.
Zbog preglednosti prikaza u ovom radu odabrana je pozicija uzorka čiji dio koristi format A4 crteža za definiranje tehničkih karakteristika, a svi elementi tehnološkog procesa sadržani su mu na tehnološkom listu koji ima samo jednu stranicu.
Za slučaj kada se tehnološki list sastoji od više stranica slijedeće stranice po obliku su identične prvoj, te je za prikaz elemenata pozicije uzorka ovdje dovoljno predočiti samo elemente jedne pozicije uzorka.



Slika 3.1 Crtež pozicije iz uzorka

Obr. 763811

Broj dijela	Stara oznaka	Mj. troška	JM	Br. mat./polupr.	Vrsta mat.	ORIGINAL		List
017821	308-001-40		1	132397	Č.1530.1		20	1
Nadr. sklop	**Naziv dijela**	**Sirove dim.**	**Tež. po kom.**	**Oblik**	**Zajednička obrada**			**Slijedi**
	PRSTEN	ø80x26	1,2kg	šipka	ALG-200			-

	Br. RO / VK	NRO	Naziv radne operacije / Opis rada – naprave i alati	Kom. / Datum	Pogon / Str. grupa	Tpz / PG-Stroj	T. kom. / T. utroš.	Slijepi tjedan	Kalen. tjedan	Loš rad / Tvor. kvar	Dobri / Priznati
1	000		PRIPREMA MATERIJALA		00 910-0	-	-				
2	010		REZANJE Rezati ø80x26.&		45 250-3	17	12				
3	020		TOKARENJE Stegnuti, zaravnati stranicu.		20 100-0	67	26				
4			Tokariti izvana na ø76-0,1 i dužinu 1 na ø66. Skinuti bridove.Bušiti rupu i tokariti na ø59,7. Skinuti kosinu 15° do ø62..Okrenuti, stegnuti. Zaravnati stranicu na								
5			23,2. Tokariti dužinu 7,1 na ø66 i dužinu 10 na ø70. Urezati 2 ureza 60° u dubinu 2,6. Skinuti bridove . Održati udar 0,05.&								
6	030		BRUŠENJE UNUTARNJE Centrirati po ø76 i ø66 na "0".		20 321-2	50	14				
7			Brusiti rupu na ø60H7 i stranicu počistiti pod udar 0,02.&								
8	040		BRUŠENJE OKRETNO Brusiti drugu stranicu na		20 335-0	33	2,50				
9			23-0,1 pod udar i demagnetizirati.&								
10								završno			
11	050		S G D		20 916-0	-	-				
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

Razradio:	Prepisao:
9/95. Brežnjak	21.09.1995. Mesić

Slika 3.2 Tehnološki list pozicije iz uzorka

3.1.2 Prednosti i nedostaci uzorka

- **Prednosti**
  - *Uzorak ima više od 500 crteža i tehnoloških listova*
  - *Sve pozicije uzorka dijelovi su istog proizvoda*
  - *Proizvod je vrlo složen, pa su i dijelovi vrlo različiti*
  - *Crteže i tehnološku dokumentaciju za većinu pozicija u uzorku izradili su isti ljudi*
  - *Tehnološki listovi temeljeni su na zajedničkom obrascu (istovrsni podaci o tehnološkom procesu)*
  - *Svi elementi tehnološkog procesa izrađeni su za isti proizvodni sustav*
    Elementi tehnološkog postupka projektirani su prema strojevima i opremi koju je tvrtka u tom trenutku imala. U slučaju revizije obzirom na nabavu strojeva uz osnovni tehnološki postupak, na tehnološkim listovima navedene su i alternativni tehnološki postupci.
- **Nedostaci**
  - *Tehnička i tehnološka dokumentacija relativno je stara pa postoje određena odstupanja u označavanju od danas uobičajenih*
    npr. hrapavost je na crtežima označena brojem trokuta, ili u manjem dijelu oznakama razreda hrapavosti, a samo na nekoliko crteža mjerom hrapavosti Ra, što je danas uobičajeno.
  - *Crteži su oblikovani prvenstveno za potrebu obrade odvajanjem strugotine*
    iako su u tehnološkim listovima za pojedine pozicije uzorka navedena vremena površinske zaštite lakiranja, na njima pripadajućim crtežima nije nigdje vidljiv zahtjev za lakiranje. U pravilu na crtežu su od zahtjeva za površinskom zaštitom navedeni samo galvanski postupci.
  - *Crteži su ručno izrađeni što onemogućuje dostupnost nekih karakteristika koje se današnjim načinom izrade tehničke dokumentacije podrazumijevaju*
    ovdje se prvenstveno misli na nemogućnost automatiziranog upisa, ili barem izravnog očitanja sa crteža mase izratka i površine oplošja izratka.
  - *Ne postojanje podataka u digitalnom zapisu otežat će istraživanje*

Obzirom na cilj koji se istraživanjem želi postići, a to je prije svega utvrđivanje povezanosti karakteristika crteža i elemenata tehnološkog procesa, prednost uzorka kao relevantnog i homogenog skupu podataka puno je značajnija od nedostatka uzorka koji se očituje u potrebi za povećanim radom na istraživanju.

3.1.3 Ograničenja uzorka na istraživanje

O-05

Letimičnim pregledom prikupljene dokumentacije utvrđeno je da iz podataka koje je moguće utvrditi iz crteža i njima pripadajućih tehnoloških listova, nije moguće kvantificirati sve predviđene karakteristike crteža, kao ni sve predviđene elemente tehnološkog procesa. Pri tome se ograničenja razlikuju u zastupljenosti po pojedinim pozicijama uzorka i mogućnostima otklanjanja ograničenja prilikom istraživanja. Ograničenja uzorka na istraživanje može se podijeliti u tri osnovne grupe, i to kao predviđeni podaci koji se istraživanjem ne mogu:

- **neposredno ni posredno (bez dodatnog istraživanja) utvrditi za nijednu poziciju uzorka**
  - *karakteristike crteža*
    - Dubina tvrdog sloja (za toplinski obrađene dijelove)
    - RAL (boja površinske zaštite)
  - *elementi tehnološkog procesa*
    - **PODACI O REŽIMIMA RADA** O-02-005
- **neposredno ni posredno (bez dodatnog istraživanja) utvrditi za određen broj pozicija**
  - *karakteristike crteža*
    - Datum crteža
    - Broj komada u proizvodu
  - *elementi tehnološkog procesa*
    - Veličina serije
    - Vremena izrade za određene tehnološke postupke, i to:
      - toplinska obrada
      - površinska zaštita
- **neposredno utvrditi, ali ih je moguće kvantificirati posredno na temelju povezanosti sa drugim karakteristikama**
  - *karakteristike crteža*
    - *Tolerancija slobodnih mjera*
    - *Tolerancija slobodnih položaja*
    - *Tolerancija slobodnih oblika*
    - *Debljina zaštitnog sloja*
    - *Standard oblika materijala*
    - *Vrsta prerade*

Navedena ograničenja uzorka utvrđena su letimičnim pregledom pribavljene dokumentacije, a eventualna druga ograničenja uzorka na istraživanje utvrdit će se nakon kvantificiranja svih pozicija uzorka.

3.2 PRIPREMA ISTRAŽIVANJA

Budući da je potrebno prikupiti velik broj podataka za svaku poziciju uzorka potrebno je detaljno pripremiti istraživanje, i to iz tri razloga:

- **da se izbjegne potreba za višestrukim upisivanjem istog podataka**
- **da se izbjegne potreba za prepisivanjem utvrđenih podataka**
- **da se olakša sortiranje podataka i njihova priprema za obradu**

3.2.1 Metoda istraživanja

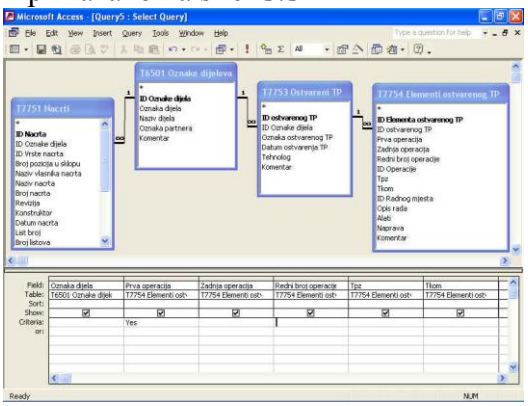
Obzirom na stanje dostupnih pozicija uzorka (svi podaci su na papiru) nije moguća nikakva automatizacija istraživanja, već se svaki utvrđeni podatak mora utvrditi i zabilježiti pojedinačno.
Dakle metodu istraživanja karakterizira

- **utvrđivanje vrijednosti elemenata uzorka koje vrši autor ovog rada osobno**
- **upis podataka izravno u digitalnom zapisu korištenjem osobnog računala, a koje može vršiti sam autor osobno, ili uz pomoć druge osobe**

Budući da je ocjenjeno da će za provedbu istraživanja biti potreban period od 60 do 90 dana, autor ovog rada uspio je sa vlasnikom tehničke i tehnološke dokumentacije dogovoriti posudbu dokumentacije.

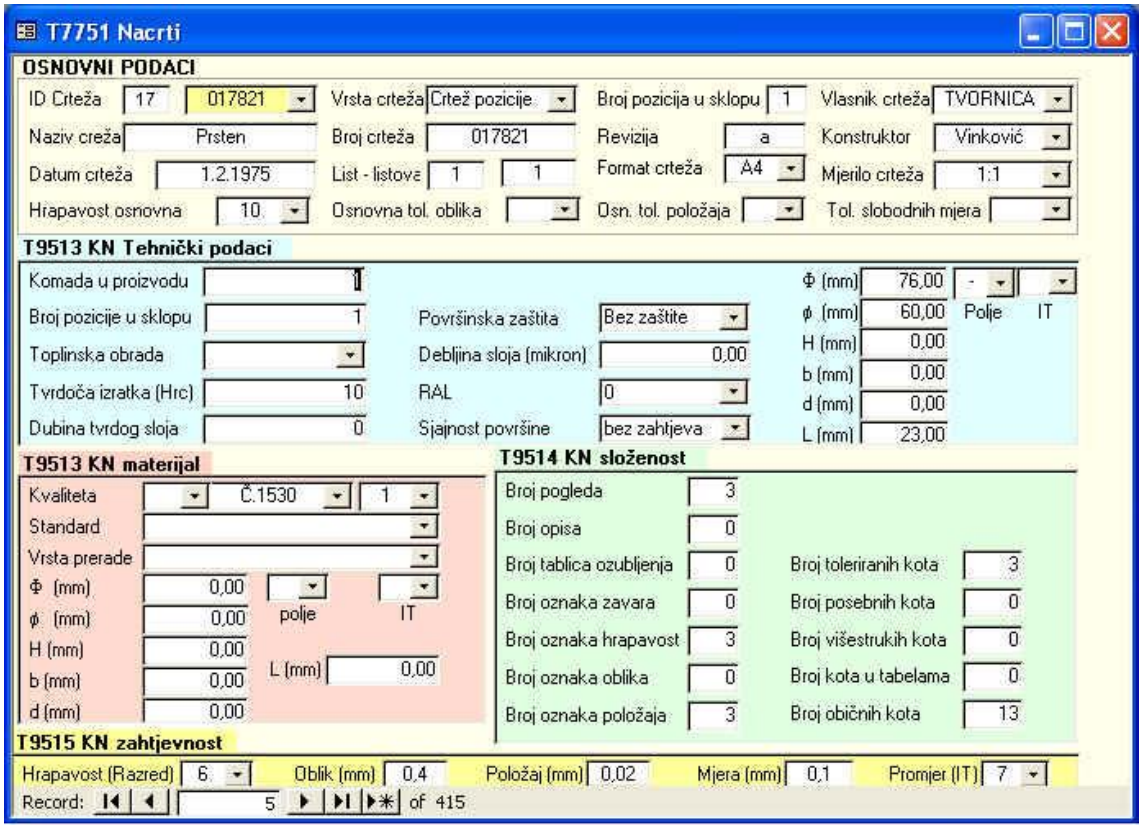
3.2.2 Pohrana utvrđenih podataka

Obzirom na stanje, raznolikost, složenost i međusobnu povezanost nezavisnih varijabli optimalni način pohrane utvrđenih podataka je zapis u relacijsku bazu podataka.
Za potrebe ovog rada izrađena je u aplikaciji MS Access relacijska baza podataka pod radnim nazivom MR baza.
Iako je osnovni cilj baze podataka pohrana podataka utvrđenih istraživanjem, autor ovog rada koji je ujedno i kreator relacijske baze odlučio se za bazu podataka sa mogućnošću pohrane i onih podataka koji u promatranom uzorku nisu dostupni.
Isto tako uz obavezno postojanje mjesta u bazi za upis ranije definiranih karakteristika crteža i elemenata tehnoloških procesa, baza sadrži i podatke vezane uz odabrane karakteristike, što je čini ***bazom znanja***.
Osnovne karakteristike relacijske baze za pohranu podataka istraživanja je pohrana podataka u više tablica, i povezanost podataka o karakteristikama crteža sa podacima o parametrima tehnološkog procesa za svaku poziciju uzorka upravo preko tablice dijelova, što je shematski prikazano na slici 3.3 S-06-048

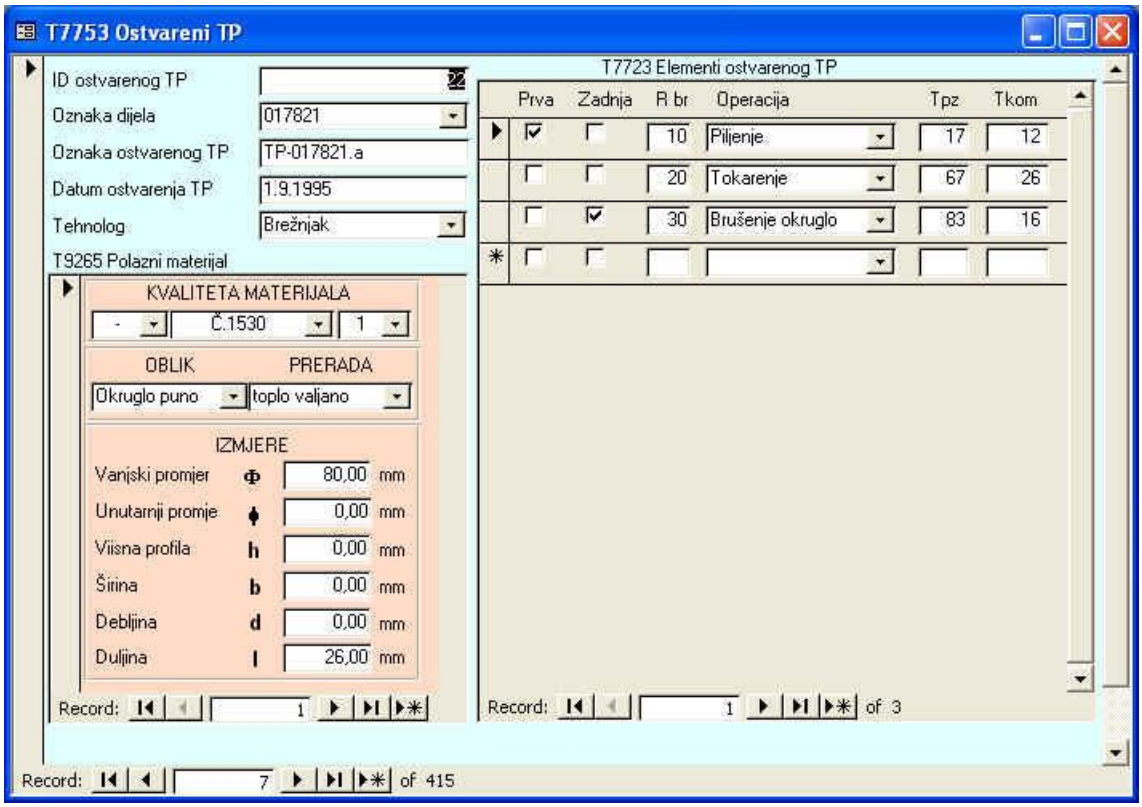


Slika 3.3 Shematski prikaz relacijske baze podataka

Iako je baza kompleksna (ima 77 posebnih tablica) ovdje se ne opisuje posebno, nego se na slikama 3.4 S-07-049 i 3.5 S-08-050 samo prikazuje obrasci za unos podataka sa crteža i podataka sa tehnološkog lista.
Baza podataka uzorka «OTP 415-1805» prikazana je u prilogu D P-D-000 ovog rada, kao izvorna datoteka aplikacije MS Access, gdje su vidljivi detaljni podaci o tablicama podataka, ali i o njihovoj međusobnoj povezanosti.



Slika 3.4 Obrazac za unos podataka sa crteža



Slika 3.5 Obrazac za unos podataka sa tehnološkog lista

Iz slika 3.4 S-07-49 i 3.5 S-08-50 vidljivo je da su podaci o materijalu upisivani u bazu podataka po dvije osnove. Jednom kao podaci koji su dio crteža, a drugi puta kao podaci koji su dio tehnološkog lista.
Pri tom su podaci pohranjeni u dvije različite tablice u bazi, i to:

- **T9513 KN materijal**
  tablica u koju su pohranjeni podaci o materijalu prikupljeni kao karakteristike crteža, a predstavljaju podatke o materijalu koje je ***predvidio konstruktor izratka.***
- **T9265 Polazni materijal**

tablica u koju su pohranjeni podaci o materijalu prikupljeni sa tehnoloških listova, a predstavljaju podatke o materijalu koje je ***projektirao tehnolog***.

Podaci o materijalu na tehnološkim listovima su potpuniji, a i značajniji, budući se na temelju njih nabavlja materijal za izradu, pa su oni značajni za daljnju obradu podataka.

3.3 UTVRĐIVANJE VRIJEDNOSTI PODATAKA U UZORKU

Uz navedena ograničenja uzorka na istraživanje O-05-047 prilikom kvantificiranja karakteristika crteža uočeno je i nekoliko podataka koji nisu na svim pozicijama uzorka jednoznačno navedeni, i to:

- **Hrapavost je prikazana kao broj trokuta, ali i brojčanom oznakom razreda hrapavosti, a na nekoliko crteža i vrijednošću Ra u mikronima**
  - RJEŠENJE: hrapavost je utvrđena na svim pozicijama brojčanom oznakom razreda, a potrebna konverzija izvršena je uz pomoć usporedbene tablice oznaka hrapavosti
  - U bazi postoji povezanost različitih oznaka hrapavosti međusobno, ali i povezanost hrapavosti površine sa tolerancijama mjera
  - Za pozicije koje nemaju posebno navedenu osnovnu hrapavost površine određena je i u bazu upisana hrapavost razreda 10
  - Na složenijim crtežima znakovi hrapavosti za istu površinu prikazani su na više pogleda
- **Tolerancije promjera su prikazane kao red tolerancije IT, ali i u milimetrima**
  - RJEŠENJE: sve tolerancije promjera su utvrđene kao redovi tolerancije IT, a konverzija je za svaki promjer toleriran u milimetrima izvršena na način da se pomoću tablice tolerancije za određeni promjer i navedeno dozvoljeno odstupanje u mm odredi red tolerancije IT.
- **Tvrdoća je izražena u HRc, ali na nekim pozicijama i u kg/mm^2**
  - RJEŠENJE: sve tvrdoće utvrđene su u HRc, pri čemu je konverzija iz kg/mm^2 prvo napravljena u N/mm^2 pa potom na temelju usporedne tablice tvrdoća i čvrstoće za određenu vrstu materijala, u HRc.
  - Dodatno, za pozicije koje nisu imale posebno navedenu tvrdoću određena je tvrdoća kao 10 HRc-a.
- **Uočeno je ponavljanje kota (promjer, i to često upravo tolerirana kota)**
  - RJEŠENJE: prilikom prebrojavanja toleriranih kota u slučaju višestrukog ponavljanja istih kota, ponovljene kote nisu se pribrajale
  - Navedeno rješenje nije jednoznačno primjenjivano, što znači da je za slučajeve gdje se kote nisu ponavljale na više od dva mjesta ponovljene kote nisu izuzete iz brojenja
- **Crteži sklopa obuhvaćaju i crteže pozicija (prekriženo)**
  - RJEŠENJE: prilikom utvrđivanja broja oznaka i kota prebrojavani su i prekriženi elementi crteža
  - Posebno je broj oznaka hrapavosti na tim pozicijama uzorka nerazmjeran sa ostalim pozicijama uzorka.
  - Budući se radi o malom broju pozicija u uzorku koji se odnose na crteže sklopova, određeno je da će se sve ove pozicije izuzeti iz uzorka, odnosno da se neće razmatrati u obradi podataka.

Zbog neusklađenosti broja crteža i broja tehnoloških postupaka u uzorku, te zbog obimnosti podataka, i navedenim poteškoćama pri utvrđivanju vrijednosti pojedinih podataka u uzorku nije pogodan način istovremenog utvrđivanja svih podataka za jednu poziciju uzorka.

Jednostavniji način istraživanja je u dva dijela, i to prvo kvantificiranje elemenata tehnološkog procesa iz razloga što je ovaj upis brži i jednostavniji od upisa crteža.
Parcijalno istraživanje omogućuje postojanje relacijske baze podataka u koju se upisuju utvrđeni podaci, a koje sve podatke povezuje preko dijela na koji se odnosi svaka pojedina pozicija uzorka.
Na ovaj način moguće je istraživanje podijeliti i u još manje segmente, što je i napravljeno u slučaju karakteristika crteža.

Posebna prednost upisa u unaprijed pripremljenu bazu podataka sa više međusobno povezanih tablica je i smanjena mogućnost pogreške (prethodno definirane mogućnosti upisa), kao i olakšana mogućnost provjere točnosti upisa, i to kako tijekom samog istraživanja, tako i nakon okončanja istraživanja.

3.3.1 Kvantificiranje elemenata tehnološkog procesa

Vrijednosti svih predviđenih elemenata tehnološkog procesa izravno su vidljivi na tehnološkom listu, te je njihovo kvantificiranje za svaku poziciju uzorka relativno jednostavno.
Budući se radi o prepisivanju vrijednosti sa tehnoloških lista, a obrazac za upis vrijednosti je unaprijed pripremljen i prilagođen za potrebne podatke, jednostavnost se očituje u mogućnosti da ove podatke utvrđuju i osobe bez posebnog potrebnog znanja.

3.3.2 Kvantificiranje karakteristika crteža

Za razliku od elemenata tehnološkog procesa samo manji dio karakteristika crteža moguće je utvrditi izravnim prepisivanjem podataka sa crteža. Većinu podataka potrebno je utvrditi brojenjem, a neke i usporedbom sa drugim podacima, što sve skupa uvjetuje potrebu za tehničkim znanjem prilikom istraživanja.
Složenost kvantificiranja karakteristika crteža uz potrebu za angažmanom samog autora ovog rada, očitovala se i u potrebnom većem vremenu za istraživanje.
I ovdje je istraživanje podijeljeno u dva dijela, i to na način da su prvo upisani osnovni podaci koje se mogu izravno očitati sa crteža, i to od strane jedne osobe, a potom su se upisivali dodatni podaci na način da je autor ovog rada utvrđivao i diktirao vrijednosti osobi koja je upisivala podatke u bazu podataka.

3.4 ANALIZA UZORKA

Iako je uzorak analiziran i prije samog istraživanja, tek nakon utvrđivanja podataka za svaku poziciju uzorka može se uzorak detaljnije analizirati.
Budući se radi o velikom broju različitih podataka nije moguće analizu uzorka iskazati jednim pokazateljem ili ga opisati u nekoliko rečenica.
Iz ovog razloga u ovom radu se uz opis osnovnih (nebrojčanih) podataka o uzorku kao cjelini, analiziraju elementi uzorka koji su izravno značajni za temu rada ovog rada.

U dobivenoj dokumentaciji od «Tvornice» bilo je ukupno ***543 crteža i 606 tehnoloških procesa***, a utvrđeno je da je moguće ***formirati uzorak od samo 456 pozicija***. Razlog je što u pribavljenoj dokumentaciji ne postoje svi tehnološki procesi za sve crteže i obrnuto, odnosno samo za 456 dijelova je u istraživanju utvrđeno da postoji i njihov crtež i njihov tehnološki postupak.
Prilikom upisa podataka u bazu podataka upisani su podaci za svih 606 dostupnih tehnoloških procesa iz razloga što je zbog jednostavnosti istraživanja odabrana metoda po kojoj se prvo vrši upis podataka sa tehnoloških listova, a naknadno podaci sa njima vezanih crteža.
Iako upisani podaci o 150 tehnoloških postupaka mogu poslužiti za neke druge analize, za regresijsku analizu oni su neiskoristivi budući da se radi o nepotpunoj poziciji uzorka. Isto vrijedi i za 87 crteža u pribavljenoj dokumentaciji, ali njihove vrijednosti nisu niti utvrđivane ni upisane u bazu.
Za istraživanje su značajni samo dijelovi za koje u prikupljenoj dokumentaciji postoje i crtež dijela i tehnološki list, odnosno oba elementa pozicije uzorka.
Obzirom na potpunost uzorka, od svih prikupljenih elemenata moguće je formirati uzorak od 456 pozicija, koji se naziva valjani uzorak.

Analizom uzorka od 456 pozicija obzirom na vrstu crteža utvrđeno je da su u uzorku ***443 crteža pozicija, a 13 crteža sklopova.***
Crteži pozicija obuhvaćaju podatke o isključivo jednom dijelu, a pripadajući tehnološki procesi obuhvaćaju podatke o izradi tog dijela.
Crteži sklopova sadrže podatke o samom sklopu, ali i o pojedinim dijelovima sklopa, dok pripadajući im tehnološki postupci obuhvaćaju samo operacije potrebne za sastavljanje i obradu sklopa. Crteži sklopova uglavnom predstavljaju zavarene sklopove.
Obzirom da tehnološki listovi i crteži sklopova nisu u potpunosti prilagođeni, pozicije uzorka predstavljene crtežima sklopova ne mogu se koristiti u daljnjoj obradi podataka.
Dodatno, crteži sklopova nisu primjereni za obradu jer ne sadrže osnovne podatke kao npr. broj zavara, a s druge strane sadrže broj oznaka hrapavosti na svim pogledima, projekcijama i detaljima, čime se potreban broj hrapavosti na crtežu nerealno povećava, što može značajno utjecati na određivanje utjecaja nezavisne veličine «broj oznaka hrapavosti».
Uz ove nedostatke, i slabe zastupljenosti crteža sklopova u ukupnom uzorku (25 pozicija, ili 5,34 %) pozicije uzorka koje su prikazane na sklopnim crtežima izostavljaju se iz uzorka.

Dakle, uzorak na kojem će se vršiti obrada podataka je **uzorak od 443 pozicije**, i naziva se uzorak za istraživanje.

3.4.1 Osnovni podaci o uzorku za istraživanje (443 pozicije)

Osnovni podaci uzorka za istraživanje vezani su uz karakteristike tehničke i tehnološku dokumentacije, odnosno uz crteže i tehnološke listove kao obavezne elemente svake pozicije u uzorku.
Ovdje se navodi nekoliko osnovnih podataka, i to za:

- **crtež**
  - *broj listova crteža*
    - 439 crteža na 1 listu ..... (99,10%)
    - 4 crteža na 2 lista (formata A1) ..... (0,90%)
  - *format crteža*
    - 308 crteža formata A4 ..... (69,53%)
    - 1 crtež A4*4 ..... (0,22%)
    - 95 crteža formata A3 ..... (21,44%)
    - 17 crteža formata A2 ..... (3,84%)
    - 22 crteža formata A1 ..... (4,97%)
  - *mjerilo crteža*
    - 351 crteža u mjerilu 1:1 ..... (79,23%)
    - 83 uvećana mjerila, od čega: ..... (18,74%)
      - 73 crteža u mjerilu 2:1 ..... (16,48%)
      - 8 crteža u mjerilu 5:1 ..... (1,81%)
      - 2 crteža u mjerilu 10:1 ..... (0,45%)
    - 9 crteža umanjenom mjerilu, od čega svih 9 u mjerilu 1:2..... (2,03%)
  - *datum crteža*
    - 19 crteža bez naznačenog datuma ..... (4,29%)
    - 424 crtež sa naznačenim datumom ..... (95,71%)
      i to u periodu od 27.02.1960 do 01.02.1986. godine, od čega.
      - 286 crteža u periodu od 27.02.1960. do 31.12.1969 .. (64,56%)
      - 128 crteža u periodu od 01.01.1970 do 31.12.1979 ... (28,89%)
      - 10 crteža u periodu od 01.01.1980 do 01.02.1986 ..... (2,26%)
- **tehnološki list**
  svi tehnološki listovi su formata A4, a broj listova nije posebno evidentiran u bazi podataka, budući da je za tehnološki list važniji broj operacija
  - *broj operacija na tehnološkom listu*
    - minimalno 1 operacija na tehnološkom listu
    - maksimalno 33 operacije na tehnološkom listu
    - prosječno 5,96 operacije na tehnološkom listu, i to:
      - 23 tehnoloških listova sa samo jednom operacijom .. (5,19%)
      - 380 tehnoloških listova sa od 2 do 10 operacija ..... (85,78%)
      - 37 tehnoloških listova sa od 11 do 20 operacija ..... (8,35%)
      - 2 tehnoloških listova sa od 21 do 30 operacija ..... (0,45%)
      - 1 tehnološka lista sa od 30 do 33 operacije ..... (0,23%)

- *datum tehnološkog lista*
  - svih 443 sa datumom, u periodu od 01.01.1962 do 01.03.1997. godine, od čega:
    - 4 tehnološka lista od 01.01.1962. do 31.12.1969 (0,90%)
    - 212 tehnoloških listova od 01.01.1970 do 31.12.1979 .. (47,86%)
    - 59 tehnoloških listova od 01.01.1980 do 31.12.1989 .... (13,32%)
    - 168 tehnološka listova od 01.01.1990 do 01.03.1997 ... (37,92%)

O-06

- **broj zapisa u bazi**

48.622 zapisa vrijednosti podataka ukupno, od čega

- *886 zapisa vrijednosti podataka o dijelovima*
- *25.694 zapisa vrijednosti podataka s crteža, od čega:*
  - 5.759 zapisa vrijednosti osnovnih podataka
  - 6.645 zapisa vrijednosti tehničkih podataka
  - 5.759 zapisa vrijednosti podataka o materijalu na crtežu
  - 5.316 zapisa vrijednosti podataka o složenosti
  - 2.215 zapisa vrijednosti podataka o zahtijevnosti
- *22.042 zapisa vrijednosti podataka s tehnoloških listova, od čega:*
  - 1.329 zapisa vrijednosti podataka o tehnološkim procesima
  - 4.873 zapisa vrijednosti podataka o polaznom materijalu
  - 15.840 zapisa vrijednosti podataka o elementima tehnološkog procesa

3.4.2 Ograničenja podataka obzirom na utvrđene vrijednosti

Obzirom na zastupljenost pojedinih podataka na crtežima i tehnološkim listovima, utvrđena je nemogućnost utvrđivanja vrijednosti za neke od predviđenih karakteristika crteža, T-11-1-022 što će ograničiti mogućnosti oblikovanja regresijskih modela.
Karakteristika crteža za koje nije moguće utvrditi vrijednosti prilikom istraživanja uglavnom su podaci vezani uz slobodne tolerancije, površinsku i toplinsku obradu, i materijal koji je naznačen na crtežu od strane konstruktora.
Kako je na svakom tehnološkom listu navedena kvaliteta i oblik polaznog materijala, za daljnje istraživanje kao polazni materijal uzimaju se podaci o materijalu navedeni u tehnološkim listovima, a podaci o materijalu na crtežu se zanemaruju.

Za 38 pozicija uzorka čiji je polazni oblik materijala odljevak izmjere polaznog materijala nisu naznačene niti na tehnološkim listovima.
Budući se radi o dijelovima od čeličnog lijeva, lijevano u pijesku, izmjere odljevka, za sve navedene pozicije određuju se na način da se izmjere izratka uvećaju za 10 mm.
Smatra se da ova intervencija na uzorak neće uzrokovati značajne posljedice na rezultat regresijskih jednadžbi.

3.4.3 Statistički podaci o uzorku

Statistički su obrađene sve karakteristike crteža i tehnoloških listova koje se mogu za svaku pojedinu poziciju uzorka brojčano iskazati, i to korištenjem standardnog statističkog opis uzorka aplikacije MS Excel. L-22-1-155

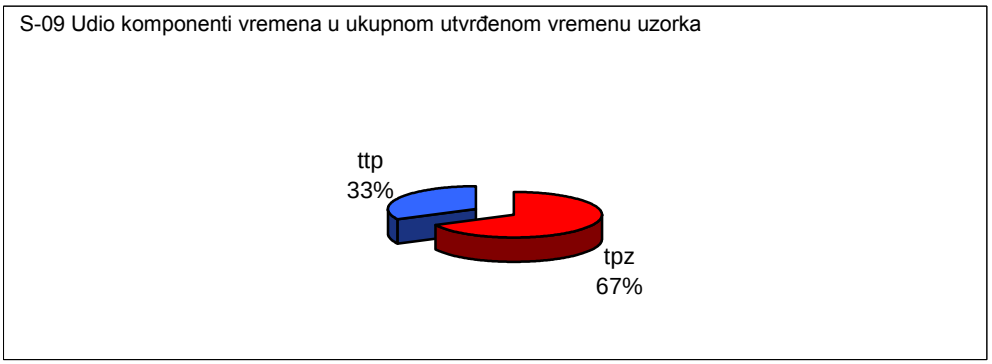
Statistički pokazatelji elemenata uzorka potrebnih za regresijsku analizu osnovnim modelom, u regresijske jednadžbe uključenih zavisnih i nezavisnih varijabli prikazani su u prilogu B ovog rada. P-B-000

Već i sama gruba analiza uzorka na temelju osnovnih statističkih pokazatelja P-B-000 ukazuje na značajno nehomogen uzorak, što će vjerojatno iziskivati potrebu za dodatnim uređenje uzorka.
Nehomogenost uzorka očituje se obzirom na obje vrste varijabli, i to:

- **zavisne varijable**
  - *ukupno je veće pripremno završno vrijeme u odnosu na tehnološko pomoćno*
  - *veliki interval vremena izrade* ($3 \geq t_{tp} \geq 4398$)
  - *značajno rasipanje podataka (za* t_{tp} *veće od njegove prosječne vrijednosti)*
- **nezavisne varijable**
  - *veliki intervali podataka pojedinih nezavisnih varijabli (npr.* $0{,}5 \geq L_M \geq 2350$*)*
  - *parametri oblika,* L-24-1-044 *koeficijent asimetrije i koeficijent spljoštenosti karakteristika crteža koje se odnose na zahtijevnost izratka imaju negativne vrijednosti.*

Na temelju statističkih pokazatelja može se očekivati da će greške procijenjenog vremena biti prevelike za regresijski model baziran na cijelom uzorku, odnosno da će umjesto jednog generalnog modela za procjenu vremena izrade, biti potrebno više međusobno povezanih regresijskih modela.

Posebno je potrebno obratiti pozornost na udio komponente pripremno završnog vremena (t_{pz}) u vremenu izrade, koje je značajno veće od komponente tehnološko pomoćnog vremena (t_{tp}),što značajno utječe na vrijeme izrade obzirom na veličinu serije N_{vs}.
Udio komponenti vremena za cijeli uzorak prikazan je na slici 3.6. S-09-056



Slika 3.6 Udio komponenti vremena u ukupnom utvrđenom vremenu u uzorku

3.4.4 Rezultati osnovnog regresijskog modela

Analiza regresijskim modelima vrši se korištenjem aplikacije MS Excel, koja dopušta ***maksimalno 16 nezavisnih i 1 zavisnu varijablu***.

Obzirom na prirodu problema procjene vremena, kao osnovni model odabire se **višestruka linearna regresija**, a za promatrani uzorak odabrane su slijedeće veličine:

- **nezavisne veličine**
  - *X1 – Vanjski promjer izratka* (Φ_I)
  - *X2 – Unutarnji promjer izratka* (φ_I)
  - *X3 – Širina izratka* (B_I)
  - *X4 – Debljina izratka* (d_I)
  - *X5 – Duljina izratka* (L_I)
  - *X6 – Broj pogleda* (N_P)
  - *X7 – Broj opisa* (N_O)
  - *X8 – Broj oznaka hrapavosti* (N_H)
  - *X9 – Broj oznaka položaja* (N_G)
  - *X10 – Broj toleriranih kota* (K_T)
  - *X11 – Broj posebnih kota* (K_P)
  - *X12 – Broj običnih kota* (K_O)
  - *X13 – Hrapavost zahtjev* (Z_H)
  - *X14 – Položaj zahtjev* (Z_G)
  - *X15 – Mjera zahtjev* (Z_M)
  - *X16 – Promjer zahtjev* (Z_P)
- **zavisna veličina**
  - *Y – tehnološko pomoćno vrijeme* (t_{tp}).
    Moguće je analizirati i pripremno-završno vrijeme (t_{pz}), ili projektirano vrijeme (t_u) kao zbroj oba vremena.

Obzirom na različit broj karakterističnih izmjera za pojedine oblike polaznog materijala, osnovni model regresijske analize razlikuje se po broju nezavisnih varijabli. Skup od 12 nezavisnih varijabli, i to sve varijable nevezane uz izmjere materijala plus duljina izratka (L_I), prisutne su u svim modelima, a zavisno o obliku polaznog materijala pridodaju se modelu i karakteristične izmjere oblika. Moguć je osnovni model sa:

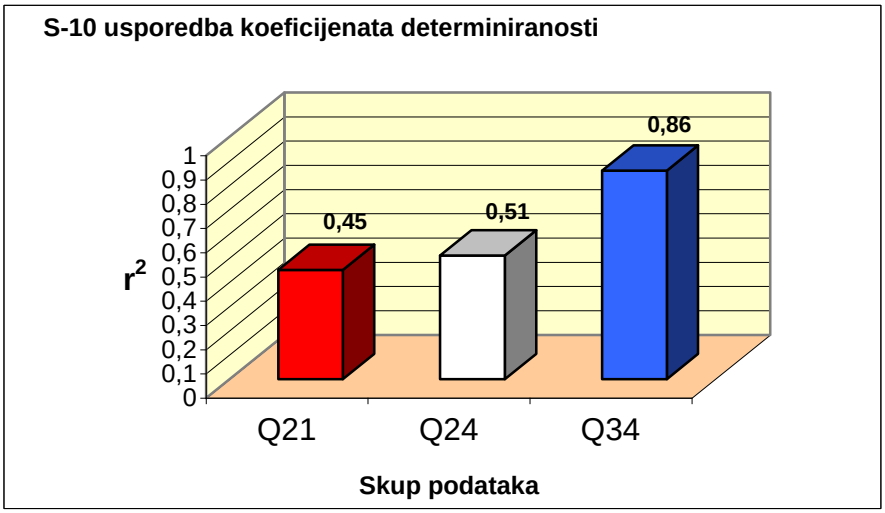
- **13 nezavisnih varijabli**
  - *okrugla šipka* (dodaje se Φ_I)
- **14 nezavisnih varijabli**
  - *okrugla cijev* (dodaju se Φ_I i φ_I)
  - *svi ostali oblici* (dodaju se B_I i d_I)
- **16 nezavisnih varijabli**
  - *cijeli uzorak* (dodaju se Φ_I, φ_I, B_I i d_I)

U prilogu B P-B-000 detaljno su navedeni rezultati osnovnog regresijskog modela na različitim skupovima podataka iz uzorka, a ovdje se ističu samo rezultati za tri skupa podataka koji predstavljaju jednu moguću liniju grananja, a koji zorno ukazuju na potrebu za klasifikacijom pozicija i detaljnim oblikovanjem regresijskih modela.
Rezultati osnovnog regresijskog modela odnose se na:

- **Q21 – skup svih pozicija u uzorku**
- **Q24 – skup svih rotacijskih dijelova u uzorku**
- **Q34 – skup svih brušenih rotacijskih dijelova u uzorku.**

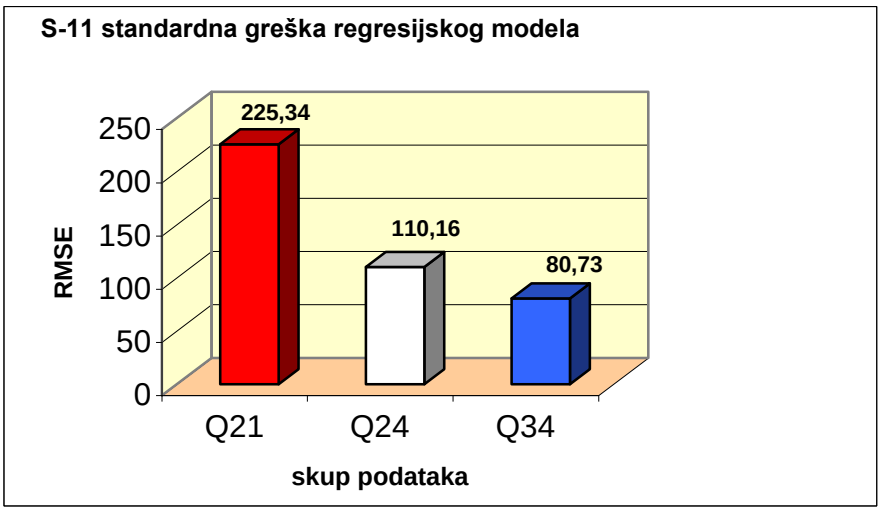
Rezultati su prikazani u usporednim grafikonima po značajnim pokazateljima regresijske analize, i to:

- **koeficijent determiniranosti (r^2)**



Slika 3.7 **Usporedba koeficijenata determiniranosti osnovnog regresijskog modela**

- **standardna greška regresijskog modela (RMSE)**



Slika 3.8 Usporedba standardne greške osnovnog regresijskog modela

Za očekivati je da će se oblikovanjem regresijskih modela (izborom primjerenih nezavisnih varijabli u regresijsku jednadžbu) za pojedine skupove pozicija u uzorku ostvariti bolji rezultati i neovisno o homogenizaciji uzorka.

4. OBRADA PODATAKA

Već i sama gruba analiza uzorka osnovnim regresijskim modelom potvrdila je osnovnu hipotezu, odnosno pokazala je postojanje jakih veza između karakteristika crteža i elemenata tehnološkog procesa.
Isto tako je potvrđena i hipoteza o boljim rezultatima regresijskih modela određenog skupa pozicija unutar uzorka u odnosu na rezultate preko cijelog uzorka. (Primjerice, za limove r^2=0,95, za pravokutne šipke r^2=0,84, a za cijeli uzorak r^2=0,45).
Pri tome je svim modelima obrade podataka zajednički element bila zavisna varijabla, odnosno svi modeli razmatrani su isključivo obzirom na potrebno vrijeme izrade (t), bez analize vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka (t_i).
U nastavku ovog rada analizirat će se i vremena pojedinih tehnoloških postupaka (t_i) na različitim modelima unutar osnovnog uzorka.

Budući je istraživanje izvršeno na način da su podaci pohranjeni u relacijskoj bazi podataka, te da su istražene i utvrđene vrijednosti za velik broj nezavisnih varijabli, moguće je kreirati različite modele za obradu podataka, i to obzirom na:

- **pojedine pozicije uzorka,**
- **karakteristike crteža kao klasifikatore tipa izratka,**
- **nezavisne varijable kao članove regresijske jednadžbe,**
- **zavisne varijable.**

Odgovarajućim izborom modela, moguće je uz određivanje jednadžbi za procjenu potrebnih vremena izrade (bilo ukupnog vremena izrade, ili pojedinačnih vremena tehnoloških postupaka) odrediti i potrebne operacije i njihov redoslijed u OTP-u.
Naravno da je moguće odrediti i polazni oblik materijala na temelju karakteristika crteža i veličine serije, a što sve skupa predstavlja elemente tehnološkog procesa.
Kako se ***ovaj rad odnosi na OTP, kao posebnu vrstu projektiranog tehnološkog procesa***, za koji su utvrđena određena ograničenja, T-07-2-008 ona će se uzimati u obzir i prilikom kreiranja modela za obradu podataka.

Obrada podataka izvršena je pomoću dvije osnovne aktivnosti grupirane kao:

- **priprema uzorka za obradu**
- **priprema podataka za obradu**

Kako su istraživanjem utvrđeni brojni podaci O-06-055 vezani uz karakteristike crteža i parametre tehnološkog procesa, obje navedene pripremne aktivnosti bile su isto tako vrlo opsežne.
Detaljni opis aktivnosti sa konkretnim učincima je opsežan, pa je u cilju preglednosti izuzet iz osnovnog teksta i prikazan posebno kao prilog C ovog rada. P-C-000

U nastavku ovog teksta prikazani su samo konačni rezultati obrade podataka, značajni za oblikovanje regresijskih modela.
Rezultati obrade podataka navedeni su po redoslijedu donošenja, pa se iz podnaslova u ovom poglavlju može utvrditi i dijagram toka rada na obradi podataka.

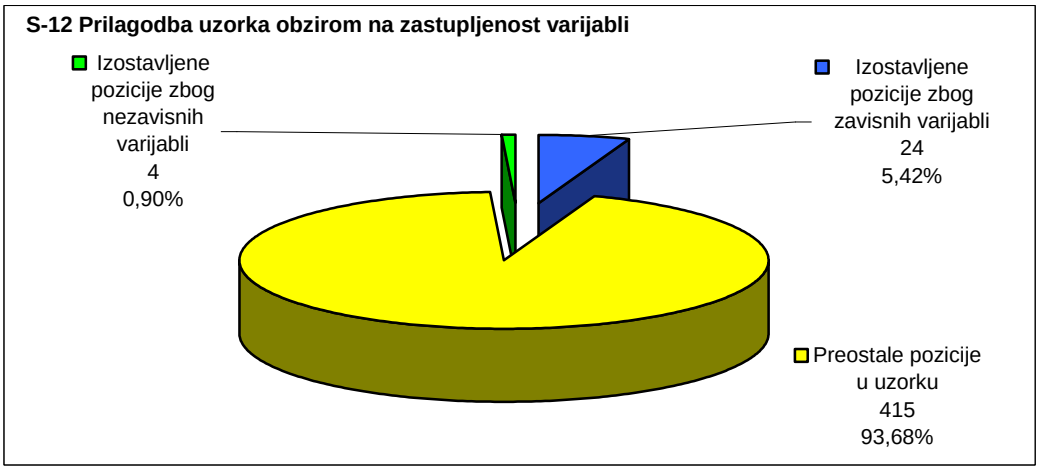
4.1 PRIPREMA UZORKA ZA OBRADU

Priprema uzorka za daljnju obradu iziskuje prilagodbu uzorka obzirom na zastupljenosti varijabli u pojedinim pozicijama u uzorku.
U slučaju minorne zastupljenosti zavisnih varijabli u uzorku, pozicije koje sadrže te zavisne varijable izostavljaju se iz uzorka. (Primjerice, samo jedna pozicija u uzorku sadrži tehnološki postupak zavarivanja, što znači da zavarivanje nije značajno za daljnju obradu podataka, pa se ta jedna pozicija izostavlja iz uzorka).
U slučaju nepostojanja ili minorne zastupljenosti pojedinih predviđenih karakteristika crteža, iz daljnje obrade izostavljaju se ti podaci, a broj pozicija u uzorku ostaje nepromijenjen.

Analizom zastupljenosti varijabli u uzorku iz osnovnog uzorka izostavljeno je 28 pozicija, i to:

- **24 pozicije na temelju parametara sa tehnoloških listova**
- **4 pozicije na temelju karakteristika crteža.**
  Iako se u pravilu zbog nezastupljenosti nezavisnih varijabli ne izostavljaju pozicije iz uzorka, nego varijable iz daljnjeg razmatranja, iznimno su iz uzorka izostavljene 4 pozicije.
  Radi se o pozicijama koje su u sebi sadržavale predviđenu karakteristiku crteža ***«broj tablica ozubljenja»***. Osnovni razlog za izostavljanje ovih pozicija iz uzorka, uz neznatnu zastupljenost u uzorku (svega 4 pozicije), je i činjenica da postojanje tablice ozubljenja na crtežu značajno utječe na potrebne tehnološke postupke i vrijeme.

Prikaz rezultata prilagodbe uzorka obzirom na broj pozicija dat je na slici 4.1. S-12-060



Slika 4.1 Prilagodba uzorka obzirom na zastupljenost varijabli

Može se zaključiti da ***uzorak*** koji će se koristiti **u daljnjoj obradi podataka «pokriva» 93,68 % dijelova koji se proizvode u «Tvornici».**

Ovako utvrđeni uzorak koji obuhvaća ***415 pozicija*** konačni je uzorak za obradu podataka, i po osnovi pozicija u uzorku više se neće mijenjati.

4.2 PRIPREMA PODATAKA ZA OBRADU

Nakon pripreme uzorka potrebno je izvršiti i pripremu podataka obzirom na utvrđene vrijednosti pojedinih karakteristika crteža i parametara tehnološkog procesa, odnosno potrebno je iz utvrditi značajne varijable za daljnju obradu podataka.
Značajne karakteristike crteža i varijable za daljnju obradu podataka, utvrđuju se na temelju predviđenih karakteristika crteža T-11-1-022 i njihove zastupljenosti u uzorku.

4.2.1 Utvrđivanje značajnih karakteristika crteža

Značajne karakteristike crteža prikazane su u tablici T-14 T-14-1-061

T-14	Tablica značajnih karakteristika crteža				01-01
ZNAČAJNE KARAKTERISTIKE CRTEŽA					
Red. broj	Naziv karakteristike crteža		Oznaka	Mjera	Oznaka varijable
1	1	Oznaka dijela	AD01	-	-
2	11	Broj listova	AD11	komada	N_L
3	12	Format crteža	AD12	-	-
4	13	Mjerilo crteža	AD13	-	-
5	17	Hrapavost slobodnih površina	AD14	razred hr	S_H
6	20	Toplinska obrada	AD20	-	-
7	21	Tvrdoća izratka	AD21	HRc	Z_T
8	23	Površinska zaštita	AD23	-	-
9	27	Tolerancijsko polje vanjskog promjera izratka	AD27	-	-
10	28	Red tolerancije vanjskog promjera izratka (IT)	AD28	red tol.	R_T
11	29	Vanjski promjer izratka	AD29	mm	Φ_I
12	30	Unutarnji promjer izratka	AD30	mm	φ_I
13	32	Širina izratka	AD32	mm	B_I
14	33	Debljina izratka	AD33	mm	d_I
15	34	Duljina izratka	AD34	mm	L_I
16	35	Pred oznaka kvalitete materijala izratka	AD35	-	-
17	36	Oznaka kvalitete materijala izratka	AD36	-	-
18	37	Dopunska oznaka kvalitete materijala izratka	AD37	-	-
19	47	Broj pogleda	AD47	komada	N_P
20	48	Broj opisa	AD48	komada	N_O
21	51	Broj oznaka hrapavosti	AD51	komada	N_H
22	53	Broj oznaka položaja	AD53	komada	N_G
23	54	Broj toleriranih kota	AD54	komada	K_T
24	55	Broj posebnih kota	AD56	komada	K_P
25	58	Broj običnih kota	AD55	komada	K_O
26	59	Hrapavost zahtjev	AD59	razred	Z_H
27	61	Položaj zahtjev	AD61	milimetar	Z_G
28	62	Mjera zahtjev	AD62	milimetar	Z_M
29	63	Promjer zahtjev (IT)	AD63	red tol.	Z_P

Stupac 2 u tablici predstavlja redne brojeve mogućih karakteristika crteža u tablici T-11-1-022
Karakteristike crteža koje nemaju vrijednosti u zadnja dva stupca u tablici nisu mjerljive i ne mogu biti nezavisne varijable

Dakle, za promatrani uzorak, ***od 63 predviđene karakteristike crteža***, za daljnju obradu podataka, ***značajno je 29 karakteristika crteža***, od kojih je 20 izravno mjerljivih, pa istodobno predstavljaju i nezavisne varijable.

4.2.2 Utvrđivanje značajnih osnovnih nezavisnih varijabli

Značajne osnovne nezavisne varijable prikazane su u tablici T-15. T-15-1-062

T-15	Tablica osnovnih nezavisnih varijabli				01-01
OSNOVNE NEZAVISNE VARIJABLE					
Red. broj	Naziv nezavisne varijable		Oznaka varijable	Mjera	Jednadžba
1	AD11	Broj listova	N_L	komada	-
2	AD17	Hrapavost slobodnih površina (Ra)	S_H	razred hr	-
3	AD21	Tvrdoća izratka	Z_T	HRc	-
4	AD28	Red tolerancije vanjskog promjera izratka	R_T	red tol.	
5	AD29	Vanjski promjer izratka	Φ_I	mm	-
6	AD30	Unutarnji promjer izratka	φ_I	mm	-
7	AD31	Širina izratka	B_I	mm	-
8	AD32	Debljina izratka	d_I	mm	-
9	AD33	Duljina izratka	L_I	mm	-
10	AD47	Broj pogleda	N_P	komada	-
11	AD48	Broj opisa	N_O	komada	-
12	AD51	Broj oznaka hrapavosti	N_H	komada	
13	AD53	Broj oznaka položaja	N_G	komada	-
14	AD54	Broj toleriranih kota	K_T	komada	-
15	AD55	Broj posebnih kota	K_P	komada	-
16	AD58	Broj običnih kota	K_O	komada	-
17	AD59	Hrapavost zahtjev (Ra)	Z_H	razred hr	-
18	AD61	Položaj zahtjev	Z_G	mm	-
19	AD62	Mjera zahtjev	Z_M	mm	-
20	AD63	Promjer zahtjev (IT)	Z_P	red tol.	-
21	AD12	Površina crteža	A_F	m²	Baza znanja
22	AD13	Odnos mjera na crteži i izratku	O_M	broj	Baza znanja
23	AD36	Obujamska masa materijala	G_M	kg/m³	Baza znanja
24		Vlačna čvrstoća materijala	R_M	N/mm²	Baza znanja
25		Potrebna površina crteža	A_C	m²	$\frac{N_L \times A_F}{O_M}$
26		Masena čvrstoća materijala	M_K		G_M / R_M
27	IZRADAK	Debljina stjenke izratka	s_I	mm	$\frac{\Phi_I - \varphi_I}{2}$
28		Odnos promjera i duljine	O_Φ	broj	Φ_I / L_I
29		Odnos debljine stjenke i duljine	O_s	broj	s_I / L_I
30		Odnos širine i duljine	O_B	broj	B_I / L_I
31		Odnos debljine i duljine	O_d	broj	d_i / L_I
32		Odnos širine i debljine	O_P	mm	B_I / d_I
33	SLOŽENOST	Broj svih oznaka	N_{SO}	komada	$N_P + N_O + N_H + N_G$
34		Broj svih kota	N_{SK}	komada	$K_T + K_P + K_O$
35		Složenost izratka	S_{OK}	komada	$N_{SO} + N_{SK}$
36	ZAHTJEV	Broj oznaka hrapavosti i geometrije	N_{HG}	komada	$N_H + N_G$
37		Razlika hrapavosti	ΔH	razred hr	$S_H - Z_H$

Stupac 2 u tablici značajnih osnovnih nezavisnih varijabli predstavlja oznake karakteristika crteža, T-11-1-022 a osjenčane kolone u stupcu 2 predstavljaju oznake karakteristika crteža na temelju kojih se posredno može odrediti brojčano vrijednost karakteristike crteža, pa ona može postati nezavisna varijabla

4.2.3 Utvrđivanje značajnih uvjetno nezavisnih varijabli

Značajne uvjetno nezavisne varijable prikazane su u tablici T-16 T-16-1-063

T-16	Tablica značajnih uvjetno nezavisnih varijabli				01-01
ZNAČAJNE UVJETNO NEZAVISNE VARIJABLE					
Red. broj		Naziv uvjetno nezavisne varijable	Oznaka	Mjera	Oznaka varijable
1	*	Pred oznaka materijala (AD35)	ZN01	-	-
2	*	Oznaka kvalitete materijala (AD36)	ZN02	-	-
3	*	Dopunska oznaka materijala (AD37)	ZN03	-	-
4	*	Oblik polaznog materijala	ZN05	-	-
5	*	Vrsta prerade kojom se proizveo polazni materijal	ZN06	-	-
6		Vanjski promjer polaznog materijala	ZN07	mm	Φ_M
7		Unutarnji promjer polaznog materijala	ZN08	mm	φ_M
8		Širina polaznog materijala	ZN10	mm	B_M
9		Debljina polaznog materijala	ZN11	mm	d_M
10		Duljina polaznog materijala	ZN12	mm	L_M

*Karakteristike crteža koje nemaju vrijednosti u zadnja dva stupca u tablici nisu mjerljive i ne mogu biti nezavisne varijable, ali predstavljaju značajne klasifikatore (koji ne moraju biti brojčano iskazljivi)

U tablici T-16 T-16-1-063 prve tri stavke odnose se na kvalitetu materijala, i u pravilu morale bi biti identične karakteristikama crteža AD35; AD36 i AD37.
Stavke pod rednim brojem 4 i 5 isto nisu mjerljive, pa se ne mogu koristiti u regresijskim jednadžbama, ali predstavljaju varijable koje mogu poslužiti u definiranju tipa OTP-a, ili regresijskog modela.
Od mogućih oblika materijala T-09-1-012 u uzorku je utvrđeno postojanje samo njih 5.
Obzirom na vrstu prerade utvrđeno je da su samo 4 vrste prerade dovoljne za proizvodnju svih polaznih materijala pozicija u uzorku.

U tablici T-17 T-17-1-063 prikazane su utvrđeni podaci o oblicima materijala i vrstama prerade, a dodatno su za svaki oblik materijala istaknute i maksimalne vrijednosti izmjera.

T-17	Tablica utvrđenih vrijednosti zavisno nezavisnih varijabli										01-01
UTVRĐENE VRIJEDNOSTI UVJETNO NEZAVISNIH VARIJABLI											
R. broj	***OBLIK MATERIJALA (ZN04)***		***VRSTA PRERADE (ZN05)***				***MAKSIMALNE IZMJERE ****				
			lijevano	toplo valjano	hladno valjano	vučeno					
	UKUPNO	***415***	**59**	**155**	**40**	**161**	ZN07	ZN08	ZN10	ZN11	ZN12
1	ploča	**42**	0	2	40	0	0	0	328	113	434
2	okrugla šipka	**279**	17	151	0	111	220	0	0	0	1.350
4	plosnata šipka	**51**	0	2	0	49	0	0	100	50	600
5	okrugla cijev	**6**	5	0	0	1	75	55	0	0	112
9	odljevak	**37**	37	0	0	0	200	0	737	405	2.360

*Podaci o maksimalnim izmjerama ne odnose se na istu poziciju uzorka, nego kao pojedinačno maksimalne vrijednosti od svih pozicija uzorka.

4.2.4 Utvrđivanje značajnih dodatnih nezavisnih varijabli

U tablici T-18 T-18-1-64 prikazano je svih 12 značajnih dodatnih nezavisnih varijabli.

T-18	Tablica dodatnih nezavisnih varijabli				01-01
DODATNE NEZAVISNE VARIJABLE					
Red. broj	Naziv nezavisne varijable		Oznaka varijable	Mjera	Jednadžba
01	Materijal	Površina oplošja polaznog materijala[8]	A_M	m²	T-21-1-073
02		Volumen polaznog materijala[9]	V_M	m³	T-21-1-073
03		Masa polaznog materijala	m_M	kg	$G_M \times V_{PM}$
04	Materijal - Izradak	Razlika vanjskog promjera	$\Delta\Phi$	mm	$\Phi_M - \Phi_I$
05		Razlika unutarnjeg promjera	$\Delta\varphi$	mm	$\varphi_I - \varphi_M$
06		Razlika širine	ΔB	mm	$B_M - B_I$
07		Razlika debljine	Δd	mm	$d_M - d_I$
08		Razlika duljine	ΔL	mm	$L_M - L_I$
09	Inverzne vrijednosti	Inverzna hrapavost zahtjeva	Z_H^{-1}	mikron^{-1}	$1/Z_H$
10		Inverzni položaj zahtjev	Z_G^{-1}	mm^{-1}	$1/Z_G$
11		Inverzna mjera zahtjev	Z_M^{-1}	mm^{-1}	$1/Z_M$
12		Inverzni promjer zahtjev	Z_P^{-1}	IT^{-1}	$1/Z_P$

4.2.5 Utvrđivanje značajnih tehnoloških parametara

Izbor značajnih zavisnih varijabli uz zastupljenost podataka u uzorku, temelji se prije svega na karakteristikama parametara tehnološkog procesa, a utvrđeno je slijedeće:

- **veličina serije** N_{vs}

  Za uzorak «OTP 415» vrijednost veličine serije se utvrđuje kao $N_{vs} = const. = 1$

- **polazni materijal**

  za potpuni opis polaznog materija potrebno je ***10 podataka***, i to:
  - *5 karakteristika materijala (brojčano nebrojčani podaci)*
  - *5 zavisnih varijabli*

- **tehnološki postupci**

  U «OTP 415» je utvrđena ***značajna zastupljenost 16*** od 30 predviđenih tehnoloških postupaka.

- **broj operacija u tehnološkom procesu**

  Zavisna varijabla «broj operacija u OTP-u označava se kao n_o, a budući je u uzorku «OTP 415» utvrđen njen raspon od 1 do 9, za daljnju obradu podataka vrijedi ograničenje $n_o \leq 9$, odnosno $n_{o_{\max}} = 9$.

- **redoslijed operacija**

  Za obradu podataka, a na temelju «OTP uzorka», broj ***operacija se ograničava na 9***, dakle zadnja operacija u redoslijedu može biti označena najviše kao 90.

---

[8] obzirom na izmjere materijala može se koristiti primjerenija mjerna jedinica (npr. dm²)

[9] obzirom na izmjere materijala može se koristiti primjerenija mjerna jedinica (npr. cm³)

u oba slučaja potrebno je prilagoditi jednadžbe iz tablice T-21 odabranoj mjernoj jedinici

4.2.7 Redoslijed značajnih tehnoloških postupaka u OTP-u

Standardni redoslijed tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u prikazan je u tablici mogućih tehnoloških postupaka, T-08-1-010 a redoslijed značajnih tehnoloških postupaka utvrđenih u uzorku «OTP 415-1805» moguće je odrediti na temelju utvrđenih vrijednosti tehnoloških parametara OTP-a i vremena izrade. P-C-000

Redoslijed značajnih tehnoloških postupaka određuje se za svaki tehnološki postupak kao apsolutna vrijednost, odnosno svakom tehnološkom postupku pridružuje se fiksni broj, pri čemu niži broj podrazumijeva ranije pojavljivanje tehnološkog postupka u tehnološkom procesu.

Relativni redoslijed operacija određuje se obzirom na zastupljenost pojedinih tehnoloških postupaka u OTP-u, pri čemu prvo mjestu u redoslijedu operacija zauzima zastupljeni tehnološki postupak sa najmanjim apsolutnim brojem, i tako redom.

Iako je u tehnološkim postupcima moguć različit redoslijed operacija, što prvenstveno zavisi o zahtjevima i posebnim tehničkim svojstvima izratka, za praktičnu primjenu u OTP-u dovoljno je korištenje samo standardnog utvrđenog redoslijeda značajnih tehnoloških postupaka.

Za uzorak «OTP 415-1805» standardni redoslijed operacija OTP-a prikazan je u tabeli značajnih tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u. T19 T-19-1-065

T-19	Značajni tehnološki postupci kao operacije u OTP-u		01-01
ZNAČAJNI TEHNOLOŠKI POSTUPCI KAO OPERACIJE U OTP-u			
TEHNOLOŠKI POSTUPAK			PRIMJEDBA
Red broj	Naziv	Redoslijed Standard	
1	Limarija	1	Limarsko bravarski radovi (škare, deformiranje, ...)
2	Piljenje	2	Rezanje tračnom (lisnom) pilom
3	Ostalo deformiranje	3	Kovanje poluproizvoda u približni oblik izratka
4	Tokarenje	4	Sve vrste tokarenja
5	Kontrola	5	Ocrtavanje dijelova (uglavnom odljevci prije obrade)
6	Blanjanje	6	Obuhvaća i provlačenje i dubljenje
7	Glodanje	7	Sve vrste glodanja
8	Bušenje	8	Koordinatno, završno bušenje
9	Ručna dorada	9	Skidanje bridova, dorada ...
10	Toplinska obrada	10	Ne određuje se vrijeme izrade
11	Brušenje okruglo	11	Brušenje vanjskih unutarnjih i čeonih površima
12	Brušenje plansko	12	Sve vrste planskog i profilnog brušenja
13	Fina obrada	13	Poliranje, honovanje i tuširanje
14	Površinska zaštita	14	Pred obrada odljevaka i priprema za lakiranje
15	Galvanska zaštita	15	Ne određuje se vrijeme izrade
16	Lakiranje	16	Uglavnom nanošenje boje špricanjem

4.2.7 Vrijeme izrade kao zavisna varijabla

Vrijeme izrade izrazita je zavisna varijabla, a njena procjena osnovna je zadaća ovog rada. Istraživanjem je utvrđeno da se u uzorku «OTP 415» vrijeme izrade sastoji iz dvije osnovne komponente, i to:

- t_{pz} **- pripremno završno vrijeme**
- t_{tp} **- tehnološko pomoćno vrijeme**[10]
  obuhvaća i tehnološko i pomoćno vrijeme

Uz navedene izravne zavisne varijable (koje se za svaku poziciju uzorka mogu izravno očitati sa tehnoloških listova), kao značajne zavisne varijable odabiru se i dvije dodatne zavisne varijable, izvedene na temelju izravnih, i to:

- t_u - *projektirano vrijeme*
  izvedeno po jednadžbi 1.2 J-02-015
  $t_u = t_{pz} + t_{tp}$
- k_t - *koeficijent vremena*
  izveden po jednadžbi 1.3 J-03-015
  $k_t = \frac{t_{pz}}{t_{tp}}$

Budući da su u uzorku utvrđena potrebna vremena za izradu jednog (1) komada, u obradi podataka podrazumijeva se da se sve vrijednosti zavisnih varijabli vezanih uz vrijeme izrade odnose na potrebno vrijeme za izradu jednog (1) komada u seriji od N_{vs} komada.
Mjerna jedinica uz vrijeme izrade u uzorku je ch (stoti dio vremenske jedinice sat), i u obradi podataka će se zbog jednostavnosti koristiti ista jedinica. Preračunavanje ch u sate i minute, što su uobičajene jedinice vremena jednostavno je.
Iako u literaturi postoje i tablice za preračunavanje vremena[11] jednostavnija je primjena jednadžbi za preračunavanje vremena.

Budući da se kao rezultat obrade podataka očekuje više regresijskih modela, a izvjesno je da će se zavisna varijabla određivati za različite tehnološke postupke, označavanje varijabli može postati nepregledno zbog postojanja više indeksa uz jednu varijablu. Općenito se očekuje iskaz vremena izrade za određeni tehnološki postupak po regresijskom modelu, što daje oznaku tipa $Y_{i;j}$ gdje ***i*** označuje tehnološki postupak, a ***j*** regresijski model.
Zbog lakšeg i preglednijeg označavanja, u obradi podataka uvode se interne oznake po kojima se značajne zavisne varijable označavaju jednim velikim slovom, i to:

O-07

- P **- pripremno završno vrijeme (zamjenjuje oznaku t_{pz})**
- T **- tehnološko pomoćno vrijeme (zamjenjuje oznaku t_{tp})**
- U **- ukupno projektirano vrijeme (zamjenjuje oznaku t_u)**
- K **- koeficijent vremena (zamjenjuje oznaku k_t)**

---

[10] u [9] L-09-1-041 označeno kao t_1, a u [18] L-18-1-011 označeno kao t_k
[11] [9] L-09-1-193 (tablica za preračunavanje vremena- prilogu broj 5)

Nakon završene pripreme podataka za obradu, formiran je uzorak «OTP 415», koji obuhvaća 415 pozicija, od kojih je svaka opisana sa slijedećim podacima:

- **9 karakteristika crteža**
- **49 nezavisnih varijabli**
  - *20 izravnih nezavisnih varijabli (ujedno i karakteristike crteža)*
  - *4 posredne nezavisne varijable*
  - *13 izvedenih nezavisnih varijabli*
  - *12 dodatnih nezavisnih varijabli (izvedene kao odnosi dvije ili više varijabli)*
- **10 podataka vezanih uz polazni materijal**
  - *3 karakteristike crteža*
  - *1 karakteristika oblika*
  - *1 karakteristike vrste prerade*
  - *5 uvjetno nezavisnih varijabli (izmjere materijala)*
- **5 parametara tehnološkog procesa**
  - *1 potreban broj operacija*
  - *1 prva operacija*
  - *1 zadnja operacija*
  - *1 redni broj operacije (može ih biti do 9 za jednu poziciju uzorka)*
  - *1 tehnološki postupak (može ih biti ukupno 16 različitih u uzorku)*
- **4 zavisne varijable vezane uz vrijeme izrade**
  - *2 izravne*
  - *2 izvedene*

Potrebno je utvrditi ***29 podataka (karakteristika crteža)***[T-14-1-061] na temelju kojih je moguće odrediti podatke o ***19 parametara tehnološkog procesa***.
Uz ovih ***48 podataka*** u uzorku su navedeni i podaci za ***29 izvedenih nezavisnih varijabli***, što sve skupa čini ***77 podatka za pojedinu poziciju uzorka***.

Dakle, zaključivanje o parametrima tehnološkog procesa moguće je na temelju 29 podataka, odnosno **za OTP je potrebno poznavati 29 karakteristika crteža**. Ukoliko utvrđivanje ovih podataka nije automatizirano, to je posao operatera na računalo, i to će ***ujedno biti i sav potreban ljudski rad pri projektiranju OTP-a***.

Ne uzimajući u obzir podatke iz baze znanja, i utvrđene podatke koji se ne koriste u obradi podataka, ***uzorak obuhvaća ukupno 43.075 istraživanjem utvrđenih značajnih podataka.***
Podaci o uzorku «OTP 415» prikazani su u prilogu D ovog rada. [P-D-000]

5. KLASIFIKACIJE U OTP-U

Klasifikacija dijelova višestruko je zastupljena u literaturi L-08-1-193 [26];L-26-1-000 [27];L-27-1-000 [28],L-28-1-000 ; [29], L-29-1-000 a gotovo uvijek cilj klasifikacije je kodiranje dijelova za potrebe primjene grupne tehnologije. [30] L-30-1-000
Grupnom tehnologijom se želi ostvariti primjena serijskih i velikoserijskih tehnoloških procesa u uvjetima pojedinačne i maloserijske proizvodnje.
Pojednostavljeno, sa tehnološkog stajališta vrlo je slično da li se proizvodi 100 sličnih dijelova, ili 10 različitih dijelova u seriji od po 10 komada., ukoliko su za proizvodnju i ovih 10 i onih 100 dijelova potrebne iste tehnološke operacije.

Iako se grupiranje može izvršiti po nekoliko različitih metoda[12], za sve metode je kritičan korak upravo određivanje grupe u koju promatrani izradak pripada, odnosno klasificiranje.
Poznati su različiti načini klasifikacije dijelova[13] i CAPP sustava[14], sa različitim uspjehom primjene u praksi.
Proizvodni program i tehnološke mogućnosti razlikuju se od tvrtke do tvrtke, što značajno utječu na primjenljivost projektiranih tehnoloških procesa. Zbog toga postojeće metode klasifikacije izradaka koje teže detaljnom razvrstavanju izradaka uz unaprijed određen broj nepromjenljivih kriterija, rijetko ostvaruju u praksi primjenljive rezultate.[15]

Projektiranje OTP-a značajno se razlikuje od projektiranja ostalih vrsta tehnoloških procesa, a pogotovo od projektiranja grupnih tehnoloških procesa, ali potreba za klasifikacijom dijelova ostaje prisutna i kod projektiranja OTP-a.
Međutim, upravo potreba za klasifikacijom dijelova, kao naizgled zajedničko svojstvo, značajno razlikuje OTP od poznatih sustava za projektiranje OTP-a.
Za razliku od postojećih rješenja, fleksibilnost klasifikatora i praktičan pristup u kojem je klasifikacija sastavni dio projektiranja OTP-a osiguravaju primjenljivost klasifikacije koja se koristi u daljnjem istraživanju u ovom radu.
Pri tome je najznačajnija prednost rješenja upravo u mogućnosti automatiziranju klasifikacije, što je i nužan preduvjet da bi se cjelokupno projektiranje OTP-a moglo automatizirano izvoditi.

Kod klasifikacije za potrebe OTP-a nema čvrstih klasifikatora, već je moguća klasifikacija korištenjem bilo koje karakteristike crteža, ili iz nje izvedene varijable, ili njihove kombinacije.
Dakle, ne koristi se «šifrarnik», nego baza podataka sa logičkim operatorima.
Klasificiranje se vrši na temelju značajnih karakteristika crteža T-14-1-061 i na temelju značajnih nezavisnih varijabli. T-15-1-062 ; T16-1-063 ; T-18-1-64 koje su već ranije prikazane u ovom radu, pa ih se ovdje posebno ne navodi.

---

[12] Klasifikacija i kodiranje; Empirijski; Proizvodni tok; Proizvodna metoda; Cluster analiza [26]

[13] Aachen (9 znakova); NITMAŠ (15 znakova); IAMA (10 znakova) [8] L-08-1-195

[14] GARI; XPLANE; MIPLAN; CAPP; AUTAP; TOM; EXCAP; APPAS; TIPPS [27] L-27-1-10

[15] «Provedena istraživanja pokazuju da je odabrani OPITZ-ov klasifikator u dijelu koji je testiran, neprikladan za projektiranje, te je potrebno izvršiti detaljnije ispitivanje tog klasifikacijskog sistema» [28]L-28-01-098
«Ovo su samo neki od CAPP sistema koji se razvijaju. Unatoč njihovom velikom broju, malo je njih za sada našlo primjenu u industriji.» [27] L-27-1-10

Za OTP je karakteristično da ne postoje ograničenja u primjeni dostupnih klasifikatora. Štoviše, moguće je jedan klasifikator koristiti u više navrata, zavisno o postupku klasificiranja.
Dakle, ne inzistira se na izgledu izratka, niti se broj karakteristika ograničava, što znači da ne postoji određeni čvrsti kod kojim se opisuje tip izratka.
Dijelovi se mogu klasificirati u OTP-u na tri osnovna načina, i to prema:

- **materijalu OTP-a**
  Kod OTP-a za svaki dio prvo se na temelju karakteristika crteža i iz njih izvedenih nezavisnih varijabli određuje polazni materijal (zavisno nezavisne varijable), a potom se dio razvrstava u jedan od unaprijed određenih tipova OTP-a, T-23-1-083 ili grana OTP-a
- **tipu OTP-a**
  Određivanje mogućih tipova OTP-a vrši prema zastupljenim tehnološkim postupcima kao operacijama u OTP-u, čime se zapravo određuje tip tehnološkog procesa, u ovom slučaju tip OTP-a.
  Pri tome je značajno napomenuti:
  - *mogući tipovi OTP-a definiraju se isključivo na temelju utvrđenih vrijednosti zavisnih varijabli u uzorku*
  - *tipovi OTP-a utvrđuju se na istom uzorku na kojem se temelje i regresijski modeli za procjenu vremena izrade proizvoda.*
  - *potrebni tehnološki postupci definirani su tipom OTP-a.*
  - *redoslijed operacija proizlazi iz potrebnih tehnoloških postupaka* T-08-1-010 *a predefinirano je tipom OTP-a.*
  - *klasifikacija dijelova potrebna prije poznavanja zavisnih varijabli*
- **grani OTP-a**
  određivanje mogućih grana OTP-a vrši se na temelju karakteristika crteža, odnosno nezavisnih varijabli.
  Za razliku od klasifikacije po tipu OTP-a, klasifikacija dijelova po grani OTP-a je jednostavnija. Pri tome je značajno napomenuti :
  - *temeljni princip određivanja mogućih grana OTP-a je grananje kriterija, odnosno proširivanje uvjeta za klasifikaciju*
  - *grane OTP-a razlikuju se po stupnju složenosti, odnosno razgranatosti karakteristika crteža*
  - *jednom izratku moguće je pridružiti više grana OTP-a*
    osovini je moguće pridružiti osnovnu granu, granu rotacijskih dijelova, ili granu rotacijskih dijelova sa posebnim zahtjevom na hrapavost, ili toleranciju mjera.
  - *grane OTP-a u uglavnom su primjenljive za procjenu zajedničkog vremena izrad za sve tehnološke postupke, ali je moguća i procjena vremena pojedinih tehnoloških postupaka, pri čemu je postupak složeniji u odnosu na postupak temeljen na tipovima OTP-a.*

Raznolikost klasifikatora i unaprijed definiran i ograničen broj praktički potrebnih tipova i grana OTP-a, osnovna je značajka klasifikacije za potrebe projektiranja OTP-a kao jednog od rješenja ovog rada.
Svakako da «dozvoljeni» tipovi OTP-a i grane OTP-a predstavljaju ograničenja na rješenje, ali njihov pravilan izbor ujedno je i prednost pri projektiranju tehnoloških procesa, u većini slučajeva u praksi.

U samom postupku klasifikacije ne razvrstava se izradak u određenu grupu, nego se izratku dodjeljuju mogući tipovi OTP-a ili grupe OTP-a.
Za uzorak «OTP 415-1085» ukupno je utvrđeno 77 mogućih parametara ili varijabli, koje su unaprijed poznate, ili ih je moguće, ili potrebno odrediti, i to:

- **9 karakteristika crteža**
  od čega 3 karakteristike samostalno nisu značajne (AD01;AD12;AD13)
- **49 nezavisnih varijabli**
  od čega su 4 dodatne varijable (inverzne) sadržane u nezavisnim varijablama
- **10 uvjetno nezavisnih varijabli**
  od čega su 3 varijable gotovo uvijek identične karakteristikama crteža, i to:
  - $ZN01 = AD35$
  - $ZN02 = AD36$
  - $ZN03 = AD37$
- **1 zavisna varijabla vezana uz potreban broj operacija u tehnološkom procesu**
  potreban broj operacija u OTP-u n_o
- **8 međusobno povezanih zavisnih varijabli vezanih uz vrijeme izrade**

Svih 77 vrsta podataka mogući su klasifikatori, pri čemu se na temelju 9 zavisnih varijabli određuju tipovi OTP-a, a na temelju preostalih podataka se razvrstavaju dijelovi za koje se projektira OTP.
Za razvrstavanje dijelova ukupno je utvrđeno ***58 mogućih klasifikatora***. (9-3+49-4+10-3)

Primjena bilo kojeg elementa za klasifikaciju dijelova može se u potpunosti automatizirati računalnom aplikacijom, čime je moguće u potpunosti automatizirati i klasifikaciju dijelova, odnosno je klasifikacija sastavni dio projektiranja OTP-a.
Utvrđene podatke svake završene faze projektiranja moguće je koristiti kao klasifikatore za slijedeći korak u projektiranju, što znači da svaka zavisna varijabla za koju je utvrđena vrijednost može biti potencijalni klasifikator OTP-a.
Jedna varijabla može se u procesu klasifikacije u OTP-u koristiti i više puta, ili za različite potrebe, a općenito vrijedi:

- **Polazni materijal definira se na temelju karakteristika crteža i nezavisnih varijabli**
- **Potrebni tehnološki postupci definiraju se izborom tipa OTP-a, na temelju karakteristika crteža, nezavisnih i zavisno nezavisnih varijabli**
- **Regresijski modeli definiraju se na temelju tipa OTP-a, ili razgranate strukture karakteristika crteža, polaznog materijala, karakteristika crteža i nezavisnih i zavisnih varijabli**
- **Vremena izrade procjenjuju se na temelju jednadžbi definiranih u regresijskom modelu**

Na temelju uzorka «OTP 415-1805» oblikovan je obrazac – nositelj znanja o klasifikaciji za potrebe OTP-a.
Za konkretna razvrstavanja ova tablica, kao osnovni obrazac, poprimit će odgovarajući izgled, odnosno u njoj će biti sadržani samo potrebni klasifikatori, sa graničnim vrijednostima upita na bazu podataka.
U ovom radu ne navodi se prazan obrazac, nego se obrazac prikazuje kao popunjena tablica T-22 za konkretan slučaj klasifikacije materijala. T22-1-078

5.1 MATERIJALI OTP-a

Uz zadovoljenje propisane kvalitete, temeljni kriterij za izbor materijala OTP-a (polaznog materijala iz kojeg će se proizvesti izradak) je njegova sličnost obliku i izmjerama izratka. Pri odabiru materijala općenito vrijedi:

- **Izbor materijala vrši se određivanjem podataka za svaku uvjetno nezavisnu varijablu** T-16-1-063
- **Postupak definiranja vrijednosti uvjetno nezavisnih varijabli jednak je njihovu redoslijedu u tablici značajnih uvjetno nezavisnih varijabli** T-16-1-063
- **Vrijednosti uvjetno nezavisnih varijabli određuju se na temelju karakteristika crteža i nezavisnih varijabli**
  kvaliteta polaznog materijala ovisi prvenstveno o zahtjevu konstruktora, odnosno o karakteristikama crteža (AD35; AD36 i AD37), T-14-1-061 dok izbor oblika, vrste prerade i izmjera polaznog materijala uz karakteristike crteža (AD27; AD28; AD29; AD30; AD32; AD33 i AD34) T-14-1-061 ovisi i o mogućnosti nabave, odnosno dostupnosti materijala.
  Po dostupnosti, mogu se materijali podijeliti u četiri osnovne grupe, i to:
  - *Materijali na vlastitom skladištu*
    Prihvatljiva primjena za pojedinačnu proizvodnje dijelova malih izmjera
  - *Uobičajeno dostupni materijali kod trgovaca*
    Uobičajena primjena za maloserijsku i serijsku proizvodnju različitih dijelova standardne kvalitete materijala
  - *Standardni materijali proizvođača materijala*
    Nužna primjena u velikoserijskoj proizvodnji složenih dijelova
  - *Posebni materijali dostupni samo uz posebne narudžbe proizvođačima materijala*
    Neizbježna primjena za dijelove sa posebnim zahtjevima na kvalitetu materijala, ili za masovnu proizvodnju

  Obzirom na oblik, vrstu prerade i izmjere materijala, za OTP kao polazni materijal, odabiru se materijali uobičajeno dostupni kod trgovaca, i to iz razloga što se OTP odnosi na pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju.
  Pri tome nisu zanemarivi ni rokovi dobave i cijena materijala koji se značajno razlikuju obzirom na grupu dostupnosti u koju spada traženi materijal.
- **nakon određivanja vrijednosti pojedine uvjetno nezavisne varijable i ona se može koristiti kao temelj za izbor preostalih nezavisno zavisnih varijabli**

Na temelju povezanosti podataka o materijalu i vrijednostima dostupnih klasifikatora u uzorku «OTP 415» moguće je odrediti algoritam za izbor materijala u OTP-u.
Osnovni elementi algoritma za odabir materijala prikazani su obzirom na potrebne podatke o materijalu, i to:

- **Izbor kvalitete materijala**
  Iako su moguća odstupanja od crtežom propisane kvalitete materijala, budući se za takvu promjenu mora dobiti suglasnost konstruktora, a alternativni materijali propisuju se i unose u crtež te postaju karakteristika crteža, smatra se da je kvaliteta materijala identična kvaliteti izratka, pri čemu vrijedi:
  - $ZN01 \equiv AD35$ *(pred oznaka kvalitete materijala)*
  - $ZN02 \equiv AD36$ *(oznaka kvalitete materijala)*
  - $ZN03 \equiv AD37$ *(dopunska oznaka kvalitete materijala)*

oblik materijala (ZN04)

Odabir oblika materijala složeniji je od odabira kvalitete materijala, a općenito vrijedi da je za izbor oblika materijala potrebno poznavati više od samo jednog klasifikatora.

Uz osnovne nezavisne varijable, npr. $(ZN04 \approx f(\Phi_I; AD28; R_T; \varphi_I; d_I; ...)$ kao klasifikatori značajni su i :

- *podaci o odabranoj kvaliteti materijala, kao zavisno nezavisnoj varijabli*
  AD35; AD36 i AD37 - određeni u koraku neposredno prije pristupanja određivanju oblika polaznog materijala
- *podaci o uobičajeno dostupnim materijalima kod trgovaca*
  ovi podaci mogu biti ili dio OTP aplikacije, koji je moguće mijenjati, ili može aplikacija «pretražiti» dostupne baze podataka dobavljača na internetu, koje ažuriraju sami dobavljači materijala.
  Neovisno o razlici po mjestu i načinu pohrane, skup podataka za svaki dostupni materijal mora sadržavati podatke o svim mogućim uvjetno nezavisnim varijablama, T-16-1-063 izuzev duljine polaznog materijala (L_M), koja ne spada u karakteristične izmjere materijala.
  Obzirom na jednostavnost u korištenju, način označavanja pojedinih parametara trebao bi se prilagoditi oznakama zavisno nezavisnih varijabli, pri čemu bi dio oznake «ZN» bio zamijenjen sa «DM», a oznake veličine imale bi u indeksu oznaku DM.
  Usporedne oznake podataka o materijalu prikazane su u tablici T-20. T-20-1-072

T-020	Tablica usporednih oznaka vezanih uz podatke o materijalu							01-01
USPOREDNE OZNAKE PODATAKA O MATERIJALU								
Red. broj	PODACI O MATERIJALU		IZRADAK		DOSTUPNI MATERIJAL		POLAZNI MATERIJAL	
	Parametar	mjera						
1	Pred oznaka materijala	-	AD35	-	DM01	-	ZN01	-
2	Oznaka kvalitete materijala	-	AD36	-	DM02	-	ZN02	-
3	Dopunska oznaka materijala	-	AD37	-	DM03	-	ZN03	-
4	Standard materijala	-	AD38	-	DM04	-	ZN04	-
5	Oblik materijala	-	AD28	-	DM05	-	ZN05	-
6	Vrsta prerade	-	AD29	-	DM06	-	ZN06	-
7	Vanjski promjer	mm	AD27	Φ_I	DM07	Φ_{DM}	ZN07	Φ_M
8	Unutarnji promjer	mm	AD30	φ_I	DM08	φ_{DM}	ZN08	φ_M
9	Visina	mm	AD31	H_I	DM09	H_{DM}	ZN09	H_M
10	Širina	mm	AD32	B_I	DM10	B_{DM}	ZN10	B_M
11	Debljina	mm	AD33	d_I	DM11	d_{DM}	ZN11	d_M
12	Duljina	mm	AD34	L_I	DM12	L_{DM}	ZN12	L_M

Upravo usporedba izmjera izratka sa karakterističnim izmjerama dostupnih oblika materijala najznačajniji je kriterij izbora oblika polaznog materijala, pa su prema tome i podaci o izmjerama dostupnih materijala najvažniji klasifikatori za izbor oblika materijala.

Podaci vezani uz dostupni materijal ne navode se posebno kao zavisno nezavisne varijable u ovom radu, jer su potrebni isključivo kao klasifikatori za izbor oblika (i izmjera) polaznog materijala, nakon čega podaci o odabranom materijalu postaju zavisno nezavisne varijable.

Iako je u, za potrebe istraživanja, kreiranoj bazi podataka kao dio baze znanja ugrađena i tablica «T2265 Dostupne izmjere materijala» koja sadrži podatke o dijelu standardnih poluproizvodi [X], L-014-01-358 u istraživanju se nije koristila.
Razlog tome je nedostatak uzorka obzirom na izbor oblika materijala.
Iz činjenica da je u uzorku «OTP 415» zastupljeno:

- *287 pozicija koje zadovoljavaju uvjet* $\Phi_I > 0$
  rotacijski dijelovi, od čega
- *158 pozicija koje zadovoljavaju uvjete* $\Phi_I > 0 \ i \ \varphi_I > 0$
  cjevasti dijelovi (rotacijski šuplji), od čega
- *128 pozicija koje zadovoljavaju uvjete* $\Phi_I > 0 \ i \ \varphi_I > 0 \ i \ AD36 \ Like$ *«Č.*»*
  čelični cjevasti dijelovi,

a da je istovremeno obzirom na oblik polaznog materijala u uzorku zastupljeno samo:

- *6 pozicija koje zadovoljavaju uvjet* $ZN05 = "okruglacijev"$
  okrugla cijev kao oblik polaznog materijala, od čega
- *1 pozicija koja zadovoljava uvjete* $ZN05 = "okruglacijev" \ i \ ZN05 \ Like$ *«Č.*»*
  čelična okrugla cijev kao oblik polaznog materijala,

jasno je da uzorak «OTP 415» ne može biti temelj za odabir klasifikatora za izbor zavisno nezavisne varijable ZN05 – oblik materijala.

Nedostatak uzorka za istraživanje nije značajan za izbor oblika polaznog materijala, jer se klasifikatori i njihove vrijednosti za izbor oblika polaznog materijala mogu utvrditi teorijski, odnosno bez potrebe za istraživanjem.

Bez obzira koliko su u uzorku «OTP 415» odabrani oblici polaznih materijala primjereni karakteristikama crteža, za daljnje istraživanje značajni su, jer se na temelju njih određuju zavisne varijable i izvode dodatne nezavisne varijable.

Uz navođenje 5, u «OTP 415», značajno zastupljenih oblika materijala T-17-1-063 u tablici T-21 T-21-1-073 navode se i jednadžbe potrebne za utvrđivanje vrijednosti dodatnih nezavisnih varijabli T-18-1-064 vezanih uz materijal.

T-21	Tablica mogućih OTP oblika u «OTP 415»				01-01
MOGUĆI OTP OBLICI MATERIJALA U «OTP 415»					
Red. broj	OTP OBLIK		JEDNADŽBE		Broj pozicija u uzorku
	Oznaka*	Naziv	površina oplošja (A_M)	volumen (V_M)	
1	***1***	ploča	$2\times(d_M\times(B_M+L_M)+B_M\times L_M)$	$B_M \times d_M \times L_M$	42
2	***2***	okrugla šipka	$\Phi_M\times\Pi\times\left(\frac{\Phi_M}{2}+L_M\right)$	$\frac{\Phi_M^2\times\Pi}{4}\times L_M$	279
3	***4***	pravokutna šipka	$2\times(d_M\times(B_M+L_M)+B_M\times L_M)$	$B_M \times d_M \times L_M$	51
4	***5***	okrugla cijev	$\Pi\times\left(\left(\frac{\Phi_M^2-\varphi_M^2}{2}\right)+L_M\times(\Phi_M+\varphi_M)\right)$	$\frac{L_M\times\Pi}{4}\times(\Phi_M^2-\varphi_M^2)$	6
5	***9***	odljevak	-	-	37

Kao oznaka materijala odabrane su brojčane oznake prema rednim brojevima predviđenih oblika materijala u tablici. T-09-1-012

Vrsta prerade

Vrsta prerade kojom je proizveden polazni materijal utječe na parametre OTP-a, jer o vrsti prerade ovise tehnološka i geometrijska svojstva polaznog materijala, kao na primjer:

- *toplinski predobrađeni materijali ne zahtijevaju tehnološki postupak «Toplinske obrade» u OTP-u*
- *provučeni materijali najčešće ne zahtijevaju dodatnu obradu površina koje su definirane karakterističnim izmjerama oblika materijala*
- *toplo valjani poluproizvodi najčešće iziskuju više prolaza kod skidanja strugotine*
- *lijevani poluproizvodi ponekad prije obrade zahtijevaju tehnološki postupak «Površinske zaštite»*

U pravilu se cijena koštanja istih poluproizvoda (ista kvaliteta, oblik i izmjere) razlikuje obzirom na vrstu prerade kojom je poluproizvod proizveden. To je ujedno i razlog da nisu svi dostupni poluproizvodi u jednom obliku ujedno dostupni i u svim vrstama prerade.
Najčešća posljedica nedostupnosti odgovarajuće vrste prerade je izbor istovrsnog materijala po kvaliteti i obliku ali većih karakterističnih izmjera od izmjera izratka.
Iako ograničenja dostupnosti materijala obzirom na vrstu prerade značajno djeluju na tehnologičnost izratka,[16] budući se OTP odnosi na pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju povećani troškovi uslijed ograničenja dostupnosti materijala obzirom na vrstu prerade nisu značajni.

Iz činjenica da je u uzorku «OTP 415» zastupljeno:

- *111 pozicija koje zadovoljavaju uvjete* $ZN05\,Like$ *«okrugla šipka» AND* $ZN06\,Like$ *«vučeno» i* $\Phi_I > 0$*, a da samo 51 pozicija zadovoljava uvjet* $\Delta\Phi = 0$
- *49 pozicija koje zadovoljavaju uvjete* $ZN05\,Like$ *«plosnata šipka» AND* $ZN06\,Like$ *«vučeno», a da samo 4 pozicije uzorka zadovoljavaju uvjet* $\Lambda B = 0$

može se zaključiti, slično kao i u slučaju oblika polaznog materijala, da uzorak «OTP 415» ne može biti temelj za odabir klasifikatora za izbor zavisno nezavisne varijable ZN06 – vrsta prerade.

Kao i za oblika polaznog materijala, tako i za vrstu prerade vrijedi da nedostatak uzorka za istraživanje nije značajan za izbor vrste prerade, jer se klasifikatori i njihove vrijednosti za izbor vrste prerade mogu utvrditi teorijski, odnosno bez potrebe za istraživanjem.

Za razliku od oblika materijala, odabir karakteristikama crteža neprimjerene vrste prerade ne može se koristiti u daljnjem istraživanju, odnosno utvrđene vrijednosti vrste prerade nisu značajne za daljnje istraživanje. Na temelju njih ne mogu se određivati zavisne varijable, niti izvoditi dodatne nezavisne varijable.

U uzorku «OTP 415» su utvrđene 4 vrste prerade T-17-1-063 pri čemu općenito vrijedi da se izbor karakteristikama crteža odgovarajuće vrste prerade temelji na osnovnim klasifikatorima vezanim uz dostupni materijal, ali i uz AD28 i AD29.

[16] [8] L-08-1-051 prvenstveno se to odnosi na k_{i1} i $k_{maš}$

Izmjere materijala

Nakon što je izvršen izbor kvalitete, oblika i vrste prerade, izbor izmjera polaznog materijala je jednostavan, a temelji se na usporedbi karakterističnih izmjera dostupnih materijala sa odgovarajućim izmjerama izratka i potrebnim dodacima za obradu.

Dodatak za obradu uz potrebnu širinu reza mora sadržavati i potrebne dodatke za tehnološke postupke obrade skidanjem strugotine u tehnološkom procesu.

Općenito vrijedi:

$I_P = I_I + D_o$, gdje je:

I_P *potrebna izmjera materijala (mm)*

I_I *izmjera izratka (mm)*

D_o *dodatak za obradu (mm).*

Dodaci za obradu karakterističnih izmjere materijala prvenstveno se razlikuju u zavisnosti od vrste prerade kojom je proizveden polazni materijal, pri čemu općenito vrijedi da je D_o:

- *0 mm za provučene materijale*
- *0-2 mm za hladno valjane materijale*
- *0-5 mm za toplo valjane materijale*
- *0-10 mm za odljevke*

Dodaci za obradu varijabilnih izmjera materijala prvenstveno se razlikuju u zavisnosti o prvom tehnološkom postupku u tehnološkom procesu, pri čemu općenito vrijedi da je D_o:

- *0-3 mm za rezanje škarama*
- *0-15 mm za rezanja mlazom*
- *3-10 mm za piljenje*
- *3-5 mm za tokarenje.*

Izmjere materijala I_M određuju se na način da se, za odgovarajuću kvalitetu, oblik i vrstu prerade materijala, iz skupa dostupnih materijala odabire najbliža izmjera, a općenito vrijedi da je:

$I_M \geq I_P$, izuzev za unutarnji promjer gdje vrijedi $\varphi_M \leq \varphi_P$.

Obzirom na dostupnost materijala izabrana karakteristična izmjera materijala u pravilu je:

- $I_M = I_P$ *jednaka potrebnoj izmjeri za* ***vučene materijale***
- $I_M \geq I_P$ *jednaka potrebnoj izmjeri ili prva veća dostupna izmjera za* ***hladno valjane materijale***
- $I_M > I_P$ *prva ili druga veća dostupna izmjera materijala za* ***toplo valjane materijale***

Varijabilna izmjera materijala u pravilu je jednaka potrebnoj izmjeri materijala, odnosno $I_M = I_P$.

Način utvrđivanja vrijednosti dodataka obrade moguć je :

- *računski*
- *korištenjem tehnoloških podloga*
- *vlastitim iskustvenim podacima tehnologa*
- *istraživanjem za specifične uvjete proizvodnje ili zahtjeve proizvoda.*

Obzirom na ograničenja uzorka «OTP 415» istraživanjem je moguće utvrditi samo dodatke za obradu za varijabilnu izmjeru L kod šipkastih materijala. Najčešća vrijednost (mode) u uzorku je 3 mm, a prosječna vrijednost (aritmetička sredina) dodatka materijala za izmjeru duljine u uzorku iznosi 3,44 mm).
Analizom crteža i tehnoloških listova može se zaključiti da su na tehnološkim listovima za duljinu šipkastog materijala navedene izmjere na koje je potrebno izrezati šipku, što znači da je za stvarnu potrebnu duljinu materijala ovim dodacima pribrojiti još i dodatak za odrez. Uz pretpostavku širine reza od 3 mm , može se zaključiti da je izmjeru duljine izratka za šipkaste materijale potrebno uvećati za dodatak od 7 mm.
Za napomenuti je da u svojoj praksi autor ovog rada kao dodatak za obradu na duljinu izratka za šipkaste materijale koristi upravo 7 mm, pa se u nastavku navode i dodaci na ostale izmjere izratka obzirom na oblik materijala i vrstu prerade kojom je proizveden, a koji se temelje na iskustvu autora, i to:

- *vanjski promjer*
  - *0 mm za vučene materijale*
  - *2 mm za hladno valjane materijale*
  - *5 mm za toplo valjane materijale*
  - *5 mm za odljevke*
- *unutarnji promjer*
  - *0 mm za vučene materijale*
  - *0 mm za standardne colne cijevi*
  - *-2 mm za hladno valjane materijale*
  - *-5 mm za toplo valjane materijale*
  - *-10 mm za odljevke*
- *širina*
  - *0 mm za ploče debljine do 5 mm*
  - *3 mm za ploče do 12 mm debljine*
  - *7 mm za ploče debljine od 12 do 50 mm (rezanje plinom)*
  - *10 mm za ploče debljine preko 50 mm (rezanje plinom)*
  - *0 mm za vučene šipke*
  - *2 mm za hladno valjanje*
- *debljina*
  - *0 mm za ploče*
  - *0 mm za vučene šipkaste materijale*
  - *2 mm za hladno valjane šipkaste materijale*
  - *5 mm za toplo valjane materijale*

- *10 mm za odljevke*

- *duljina*
  - *0 mm za ploče debljine do 4 mm*
  - *3 mm za ploče debljine do 12 mm (rezanje škarama)*
  - *7 mm za ploče debljine od 12 do 50 mm (rezanje plinom)*
  - *10 mm za ploče debljine preko 50 mm (rezanje plinom)*
  - *7 mm za šipkaste materijale i cijevi (piljenje)*
  - *10 mm za odljevke (lijevanje)*

Uzimajući u obzir sve navedeno, uz korištenje baza podataka o dostupnim materijalima, moguće je napraviti algoritam koji će na temelju karakteristika crteža (klasifikatora materijala) automatizirano izabrati primjereni polazni materijal kao element OTP-a.
U algoritmu će biti ugrađene slijedeće funkcije:

- $ZN01 \equiv AD35$ *(predoznaka kvalitete materijala)*
- $ZN02 \equiv AD36$ *(oznaka kvalitete materijala)*
- $ZN03 \equiv AD37$ *(dopunska oznaka kvalitete materijala)*
- $ZN04 \equiv f(ZN01; ZN02; ZN03; ZN05; karak.izmjera)$ *(standard materijala)*
- $ZN05 \approx f(klasifikacijske - tablice)$ *(oblik materijala)*
- $ZN06 \approx f(AD21; AD28; AD29)$ *(prerada kojom je proizveden polazni materijal)*
- $\Phi_M \geq \Phi_I$ *(vanjski promjer)*
- $\varphi_M \leq \varphi_I$ *(unutarnji promjer)*
- $B_M \cong B_I + 7$ *(širina)*
- $d_M \geq d_I$ *(debljina)*
- $L_M \cong L_I + 7$ *(duljina)*

  Sve oznake se odnose na karakteristike crteža, uvjetno nezavisne i nezavisne varijable. T-14-1-061 ; T-15-1-062 ; T-16-1-063

Tako izabrani polazni materijal od zavisne varijable u nastavku projektiranja OTP-a postaje nezavisna varijabla i mogući klasifikator za izbor tipa OTP-a ili regresijskog modela po kojem će se izvršiti procjena vremena izrade.

T-22	Klasifikacijska tablica za izbor oblika materijala							01-01
KLASIFIKACIJA OBLIKA MATERIJALA								
Redni broj		**KLASIFIKATOR**		**OBLIK MATERIJALA** T-17-1-063				
		Naziv	Oznaka	PLOČA	OKRUGLA ŠIPKA	OKRUGLA CIJEV	PLOSNATA ŠIPKA	ODLJEVAK
1	KARAKTERISTIKE CRTEŽA I OSNOVNE NV	Broj listova	N_L					
2		Hrapavost slobodnih površina	H_S					
3		Toplinska obrada	AD20					
4		Tvrdoća izratka	H_I					
5		Površinska zaštita	AD23					
6		Vanjski promjer izratka	Φ_I		>0	>0	=0	
7		Tolerancijsko polje vanj. promjera	AD28					
8		Red tolerancije vanjskog promjera	R_T					
9		Unutarnji promjer izratka	ϕ_I		=0	>0	=0	
10		Širina izratka	B_I	>0	=0	=0	>0	
11		Debljina izratka	d_I	>0	=0	=0	>0	
12		Duljina izratka	L_I					
13		Broj pogleda	N_P					
14		Broj opisa	N_O					
15		Broj oznaka hrapavosti	N_H					
16		Broj oznaka položaja	N_G					
17		Broj toleriranih kota	K_T					
18		Broj posebnih kota	K_P					
19		Broj običnih kota	K_O					
20		Hrapavost zahtjev Ra	Z_H					
21		Položaj zahtjev	Z_G					
22		Mjera zahtjev	Z_M					
23		Promjer zahtjev	Z_P					
24	POSREDNE I IZVEDENE NV	Površina crteža	A_F					
25		Odnos mjera na crteži i izratku	O_M					
26		Obujamska masa materijala	γ					
27		Vlačna čvrstoća materijala	σ					
28		Potrebna površina crteža	A_C					
29		Masena čvrstoća materijala	$M_{\gamma\sigma}$					
30		Debljina stjenke izratka	s_I					
31		Odnos promjera i duljine	O_Φ					
32		Odnos debljine stjenke i duljine	O_s					
33		Odnos širine i duljine	O_B					
34		Odnos debljine i duljine	O_d					
35		Odnos širine i debljine	O_P					
36		Broj svih oznaka	N_{SO}					
37		Broj svih kota	N_{SK}					
38		Složenost izratka	S_{OK}					
39		Broj oznaka hrapavosti i	N_{HG}					
40		Razlika hrapavosti	Δ_H					
41	MATERIJAL	Pred oznaka materijala	ZN01					
42		Oznaka kvalitete materijala	ZN02					Not Like »Č.»
43		Dopunska oznaka materijala	ZN03					
44		Oblik materijala T-17-1-063	ZN04					
45		Vrsta prerade materijala T-17-1-063	ZN05					
46		Vanjski promjer materijala	Φ_M					
47		Unutarnji promjer materijala	ϕ_M					
48		Širina materijala	B_M					
49		Debljina materijala	d_M					
50		Duljina materijala	L_M					
51	DODATNE NV	Površina oplošja materijala	A_M					
52		Volumen materijala	V_M					
53		Masa materijala	m_M					
54		Razlika vanjskog promjera	$\Delta\Phi$					
55		Razlika unutarnjeg promjera	$\Delta\phi$					
56		Razlika širine	ΔB					
57		Razlika debljine	Δd					
58		Razlika duljine	ΔL					
59		TIP OTP-a ,ili GRANA OTP-a						

5.2 TIPOVI OTP-a

Tehnološki procesi razlikuju se prvenstveno po broju i vrsti tehnoloških postupaka koji su potrebni za izradu nekog dijela.
Primjenjujući ograničenja OTP-a T07-2-008 na «OTP uzorak», iz činjenica da je:

- **u jednom tehnološkom procesu moguća pojava samo različitih tehnoloških postupaka**
  nema ponavljanja
- **redoslijed operacija unaprijed definiran**
  bez permutacije
- **16 maksimalni broj različitih tehnoloških postupaka**
- **9 maksimalni broj operacija u jednom tehnološkom procesu**
  moguće 9 kombinacija obzirom na broj operacija

Matematički je lako dokazati [31] L-31-1-044 da je na «OTP uzorku» moguće kreirati maksimalno 50.642 različita tehnološka procesa obzirom na zastupljenost tehnoloških postupaka.

Kako svaka kombinacija tehnoloških postupaka zapravo predstavlja jedan tip OTP-a, teorijski mogući broj kombinacija nije prihvatljiv za obradu podataka, te je potrebno odrediti samo značajne tipove OTP-a.
Očigledno je da je matematički teško odrediti značajne tipove OTP-a.
Iako je jasno da u praksi neki od mogućih tehnoloških postupaka nikada ne dolaze zajedno u istom tehnološkom procesu, vrlo teško bi bilo značajne tipove OTP-a odrediti samo na temelju teorijskih znanja.

Značajni tipovi OTP-a određuju se na temelju uzorka i to prvenstveno po kriteriju zastupljenosti u uzorku.
Analizom uzorka «OTP 415-1085» obzirom na zastupljenost ***svih 16 značajnih tehnoloških postupaka*** T-19-1-65 utvrđeno je postojanje ***134 različite kombinacije tehnoloških postupaka*** na pojedinim tehnološkim listovima.
Prvih devet tipova OTP-a po broju zastupljenih pozicija, sadrže ukupno 179 pozicija sa 591 operacijom, odnosno obuhvaćaju 43,13% pozicija uzorka, i 32,74% operacija u uzorku.
Tipovi OTP-a koji se temelje na zastupljenosti svih 16 značajnih tehnoloških postupaka, obuhvaćaju manje od polovice uzorka, što predstavlja značajno ograničenje na rezultate istraživanja.

Premali broj pozicija u uzorku, kojeg nije moguće u istraživanju povećati, za analizu tipova OTP sa 16 značajnih tehnoloških postupaka rezultirao je potrebom za dodatnom analizom uzorka sa manjim brojem značajnih tehnoloških postupaka.
Kako je već ranije utvrđeno da se neće vršiti procjena vremena za usluge «Toplinska obrada» i «Galvanska zaštita», redoslijed operacija u OTP-u unaprijed je određen, a potreba za tehnološkim postupcima «Toplinske obrade» i «Galvanske zaštite» izravno je naznačena na crtežu, analiza podataka bez ova dva tehnološka postupka ne uzrokuje nikakva ograničenja na rješenje.
Pojedini tehnološki postupci u uzorku sa 14 mogućih tehnoloških postupaka, označavaju se oznakom Y1 do Y14.

Naime, na temelju karakteristika crteža izuzeti tehnološki postupci automatizmom se uvrštavaju u redoslijed operacija u OTP-u, sa vremenom izrade koje je kao i redoslijed u OTP-u unaprijed definirano.
Izuzimanjem ova dva tehnološka postupka iz analize ukupni broj operacija u uzorku smanjuje se za 113, te iznosi 1.692 operacije za uzorak od 415 pozicija, a za daljnje razmatranje naziva se uzorak «OTP 415-1692».
Izuzetih 113 pozicija odnose se na 76 pozicija «Toplinske obrade» i 37 pozicija «Galvanske zaštite» P-D-000
Na temelju analize uzorka sa preostalih ***14 tehnoloških postupaka*** utvrđeno je postojanje ***105 različitih kombinacija u tehnološkim procesima***.
Prvih devet tipova OTP-a po broju zastupljenih pozicija, sadrže ukupno 231 poziciju sa 768 operacija, odnosno obuhvaćaju 55,66% pozicija, i 45,39% operacija u uzorku.
Tipovi OTP-a koji se temelje na zastupljenosti 14 značajnih tehnoloških postupaka, obuhvaćaju oko polovice uzoraka, što je povećanje obzirom na analizu sa zastupljenih 16 tehnoloških postupaka, ali još uvijek predstavlja značajno ograničenje na rezultate istraživanja.

Analizom zastupljenosti pojedinih tehnoloških postupaka u tipovima OTP-a vidljivo je da neki tehnološki postupci nisu prisutni ni u jednom od tipova OTP-a koji obuhvaćaju više od 10 pozicija uzorka.
Iz tog razloga nameće se potreba za njihovim uključivanjem u obradu podataka kao dijelom zajedničke grupe sličnih tehnoloških postupaka.
Obzirom na sličnost tehnoloških postupaka i u praksi postojeće odjele unutar strojarske proizvodnje, od 14 značajnih tehnoloških postupaka, moguće je odabirom, grupiranjem i pridruživanjem oblikovati 7 značajnih tehnoloških cjelina, i to:

- **W1 Obrade limova**
  - *Y1 Limarija*
- **W2 Rezanje**
  - *Y2 Piljenje*
- **W3 Tokarske obrade**
  - *Y4 Tokarenje*
- **W4 Obrada prizmatičnih dijelova**
  - *Y6 Blanjanje*
  - *Y7 Glodanje*
  - *Y8 Bušenje*
- **W5 Ručna obrada**
  - *Y3 Ostalo deformiranje*
  - *Y9 Ručna dorada*
- **W6 Brušenje**
  - *Y10 Brušenje okruglo*
  - *Y11 Brušenje plansko*
  - *Y12 Fina obrada*
- **W7 AKZ (antikorozivna zaštita)**
  - *Y5 Kontrola (ocrtavanje)*
  - *Y13 Površinska zaštita*
  - *Y14 Lakiranje*

Na temelju analize uzorka sa 7 značajnih tehnoloških cjelina utvrđeno je postojanje 39 različitih kombinacija u tehnološkim procesima, sa ukupno 1.483 operacije.
Prvih deset tipova OTP-a po broju zastupljenih pozicija, sadrže ukupno 313 pozicija sa 1.112 operacija, odnosno obuhvaćaju 75,42% pozicija, i 74,98% operacija u uzorku.
Tipovi OTP-a koji se temelje na zastupljenosti 7 značajnih tehnoloških cjelina, obuhvaćaju oko tri četvrtine uzoraka, što još uvijek predstavlja ograničenje na rezultate istraživanje, ali ne više toliko značajne.

Daljnja analiza uzorka obzirom na smanjenje objedinjavanje pojedinih tehnoloških postupaka moguće je po kriteriju organizacije proizvodnje u odjele. Tvrtke koje se bave maloserijskom proizvodnjom u pravilu imaju radna mjesta koja omogućavaju izvođenje tehnoloških postupaka različitih vrsta obrada, a službu proizvodnje najčešće organiziraju u tri odjela, i to:

- **Q1 Bravarija**
  - *Y1 Limarija*
  - *Y9 Ručna dorada*
  - *Y3 Ostalo deformiranje*

    obzirom na značajne tehnološke cjeline Q1 = W1 + W5
- **Q2 Strojna obrada**
  - *Y2 Piljenje*
  - *Y4 Tokarenje*
  - *Y6 Blanjanje*
  - *Y7 Glodanje*
  - *Y8 Bušenje*
  - *Y10 Brušenje okruglo*
  - *Y11 Brušenje plansko*
  - *Y12 Fina obrada*

    obzirom na značajne tehnološke cjeline Q2 = W2 + W3 + W4 + W6
- **Q3 Lakirnica**
  - *Y5 Kontrola (u uzorku ocrtavanje)*
  - *Y13 Površinska zaštita (sačmarenje, pjeskarenje, čišćenje, pranje)*
  - *Y14 Lakiranje*

    obzirom na značajne tehnološke cjeline Q3 = W7

Na temelju analize uzorka sa 3 proizvodna odjela utvrđeno je postojanje 6 različitih kombinacija u tehnološkim procesima, sa ukupno 753 operacije.
Ovih 6 tipova OTP-a po broju zastupljenih pozicija, sadrže ukupno 415 pozicija sa 753 operacije, odnosno obuhvaćaju 100,00% pozicija, i 100,00% operacija u uzorku.
Tipovi OTP-a koji se temelje na zastupljenosti 3 proizvodna odjela, obuhvaćaju uzorak u potpunosti, što znači da za ovaj slučaj nema ograničenja na rezultate istraživanja obzirom na pokrivenost uzorka značajnim tipovima OTP-a.

Obzirom na detaljnost razrade tipova OTP-a sa stajališta uključenosti tehnoloških postupaka, tipovi OTP-a mogu se razvrstati u četiri osnovne grupe, i to:

- **A – pojedinačni značajni tehnološki postupci**
  - *temelji se na svih 16 značajnih tehnoloških postupaka, odnosno na uzorku «OTP 415-1085»*
  - *zavisne varijable (tehnološki postupci) označavaju se oznakom «Yi»*
- **B – dostupni pojedinačni tehnološki postupci (bez usluga)**
  - *temelji se na 14 značajnih tehnoloških postupaka, odnosno na » OTP 415-1692» uzorku*
  - *zavisne varijable označavaju se sa «Yi», pri čemu je izvršena renumeracija postupaka obzirom na izostavljanje Y10 i Y14 iz razmatranja.* (*Y11* postaje *Y10*; *Y12* postaje *Y11*; *Y13* postaje *Y12*; *Y14* postaje *Y13* i *Y16* postaje *Y14*)
- **C – tehnološke cjeline**
  - temelji se na 7 značajnih tehnoloških cjelina, odnosno na «OTP 415-1112» uzorku
  - *zavisne varijable označavaju se sa «Wi»*
- **D – proizvodni odjeli**
  - *temelji se na 3 proizvodna odjela tvrtkama, odnosno na uzorku «OTP 415-753»*
  - *zavisne varijable označavaju se sa «Qi»*

Značajni tipovi OTP-a unutar svake grupe određuju se na temelju zastupljenosti pozicija, a izbor grupe vrši se na temelju ciljeva i zahtjeva koji se OTP-om žele ostvariti.

Grupe B, C i D ne obuhvaćaju tehnološke postupke «Toplinska obrada» i «Galvanska zaštita», pa ni njihovo ukupno vrijeme izrade koje je utvrđeno kao 2 ch za svaku operaciju. Iz tog razloga je ukupni broj operacija u grupama B, C i D u odnosu na grupu A manji za 113 (76+37), P-D-000 a ukupno vrijeme izrade manje za 226 ch (152+74). P-D-000
Potrebno je napomenuti da su u grupama D i E uključeni svi tehnološki postupci kao i u grupi B, odnosno da su i u njima zastupljene 1.692 operacije sa svojim vremenima izrade, ali sumirane u jednu novu cjelinu ili odjel. Neovisno o grupiranju tehnoloških postupaka ukupno utvrđeno vrijeme izrade za sve tri grupe je identično i iznosi 139.046 ch (odnosno 1.390,46 sata, odnosno 1.369 sati, 27 minuta i 36 sekundi), od čega :

- *97.208 ch (972,08 sati) pripada pripremno završnom vremenu izrade* $P\ (t_{pz})$
- *41.838 ch (418,38 sati) pripada komadnom vremenu* $T\ (t_{tp})$

Navedeni smanjeni brojevi operacija u uzorku C (1483) i D (768) nastali su kao posljedica spajanja različitih tehnoloških postupaka u novu cjelinu ili odjel, pri čemu je u uzorku ostalo vrijeme izrade svih pojedinačnih tehnoloških postupaka. Zbog objedinjavanja, smanjio se broj operacija u OTP-u, pri čemu pojedine operacije više ne predstavljaju pojedinačne tehnološke postupke, već tehnološke cjeline ili proizvodne odjele.

Tipovi OTP-a sa najvećim brojem pozicija u pojedinim grupama tipova OTP-a u uzorku prikazani su kao mogući značajni tipovi OTP-a u tablici T-23. T-23-1-083

T-23 Tablica mogućih značajnih tipova OTP-a 01-01

MOGUĆI ZNAČAJNI TIPOVI OTP-a

TIP OTP-a						TEHNOLOŠKI POSTUPAK															
Redni broj	Klasifikacija po	Oznaka tipa	Broj pozicija u uzorku	broj operacija u OTP-u	Ukupno vrijeme	LIMARIJA	PILJENJE	OST. DEFORM.	TOKARENJE	KONTROLA	BLANJANJE	GLODANJE	BUŠENJE	RUČNA DOR.	TOPLINSKA	BRUŠENEJE OKR.	BRUŠENJE PLAN.	FINA OBRADA	POVRŠINSKA	GALVANSKA	LAKIRANJE
GRUPA A				n_o	*Y0*	*Y1*	*Y2*	*Y3*	*Y4*	*Y5*	*Y6*	*Y7*	*Y8*	*Y9*	*Y10*	*Y11*	*Y12*	*Y13*	*Y14*	*Y15*	*Y16*
1	**«OTP 415-1805»**	**AA**	46	3	>0		>0		>0							>0					
2		**AB**	26	2	>0		>0		>0												
3		**AC**	26	5	>0		>0		>0			>0		>0		>0					
4		**AD**	18	4	>0		>0		>0			>0		>0							
5		**AE**	17	1	>0	>0															
6		**AF**	14	6	>0		>0		>0			>0		>0	>0	>0					
7		**AG**	12	3	>0		>0		>0				>0								
8		**AH**	11	4	>0		>0					>0	>0	>0							
9		**AI**	9	5	>0		>0		>0		>0			>0		>0					
10		**AX**	236	pozicije uzorka koje ne pripadaju ni jednom od 9 navedenih tipova OTPa																	
GRUPA B				n_o	*Y0*	*Y1*	*Y2*	*Y3*	*Y4*	*Y5*	*Y6*	*Y7*	*Y8*	*Y9*		*Y10*	*Y11*	*Y12*	*Y13*		*Y14*
11	**«OTP 415-1692»**	**BA**	52	3	>0		>0		>0							>0					
12		**BB**	41	5	>0		>0		>0			>0		>0		>0					
13		**BC**	34	2	>0		>0		>0												
14		**BD**	22	4	>0		>0		>0			>0		>0							
15		**BE**	21	1	>0	>0															
16		**BF**	21	4	>0		>0					>0	>0	>0							
17		**BG**	19	3	>0		>0		>0				>0								
18		**BH**	13	5	>0		>0		>0		>0			>0		>0					
19		**BI**	8	2	>0	>0															>0
20		**BX**	184	pozicije uzorka koje ne pripadaju ni jednom od 9 navedenih tipova OTPa																	
GRUPA C				n_o	*W0*	*W1*	*W2*		*W3*			*W4*		*W5*		*W6*					*W7*
21	**«OTP 415-1483»**	**CA**	78	5	>0		>0		>0			>0		>0		>0					
22		**CB**	52	3	>0		>0		>0							>0					
23		**CC**	39	4	>0		>0		>0			>0		>0							
24		**CD**	34	2	>0		>0		>0												
25		**CE**	28	3	>0		>0					>0		>0							
26		**CF**	21	1	>0	>0															
27		**CG**	19	3	>0		>0		>0			>0									
28		**CH**	15	4	>0		>0					>0		>0		>0					
29		**CI**	14	3	>0							>0		>0							>0
30		**CJ**	13	6	>0		>0		>0			>0		>0		>0					>0
31		**CX**	102	pozicije uzorka koje ne pripadaju ni jednom od 10 navedenih tipova OTP																	
GRUPA D				n_o	*Q0*	Q1	Q2														Q3
32	**«OTP 415 -768»**	**DA**	192	2	>0	>0	>0														
33		**DB**	117	1	>0		>0														
34		**DC**	61	3	>0	>0	>0														>0
35		**DD**	21	1	>0	>0															
36		**DE**	15	2	>0		>0														>0
37		**DF**	9	2	>0	>0															>0

Izbor grupe tipova OTP-a vrši se na temelju ciljeva i zahtjeva koji se OTP-om žele ostvariti, a značajni tipovi OTP-a unutar svake grupe određuju se na temelju broja pozicija uzorka koje pojedini mogući tip OTP-a obuhvaća.
Kao rješenje istraživanja za isti uzorak moguće je koristiti skup tipova OTP-a iz različitih grupa.
Analizom mogućih tipova OTP-a T-23-1-083 zaključuje se slijedeće:

- **Grupa A**
  nije značajna za razmatranje budući da obuhvaća manje od polovice pozicija uzorka, a pojedini mogući tipovi OTP-a unutar grupe A slični su onima unutar grupe B.
- **Grupa B, C i D**
  mogu biti značajne za razmatranje obzirom na zastupljenost pozicija uzorka u grupi, ali primjenljivost pojedinog mogućeg tipa OTP iz tih grupa za regresijske modele ovisi o broju pozicija unutar svakog mogućeg tipa OTP-a, odnosno veličini skupa podataka za svaki mogući tip OTP-a.
  - *Ukupno vrijeme izrade jednako je za sve tri grupe tipova OTP-a i označava se oznakom Y0.*
    Ukupno je moguć 1 podatak za ukupno vrijeme i zajednički je za grupe B, C i D
  - *Pojedine tehnološki postupci u grupi B označavaju se oznakom Y*
    Ukupno je moguće 14 podataka o vremenu za grupu B
  - *Pojedine tehnološki postupci u grupi C označavaju se oznakom W*
    Ukupno je moguće 7 podataka o vremenu za grupu C
  - *Pojedine tehnološki postupci u grupi D označavaju se oznakom Q*
    Ukupno su moguća 3 podatka o vremenu izrade za grupu D

  Dakle, ukupno je moguće postojanje 25 podatka o vremenima izrade za sve 3 grupe tipova OTP-a. (1+14+7+3)

Svaki od ***navedenih 25 podataka o vremenima izrade*** moguće je iskazati sa ***4 elementa vremena (P, T, U, K)*** O-07-066 pa je ukupno moguće postojanje 100 ***podataka o vremenima izrade za svaku pojedinu poziciju uzorka*** (4 elementa vremena x 25 vrsta tehnoloških postupaka, cjelina i odjela)

Za potrebe daljnjeg istraživanja podaci su razvrstani u matricu sa 415 redova i 168 stupaca, pri čemu redovi predstavljaju podatke o pojedinim pozicijama uzorka, a stupci podatke o karakteristikama crteža, nezavisnim varijablama i potrebnim vremenima izrade za pojedine elemente vremena.
Matrica ima ukupno 69.720 podataka (415 x 168) od čega se na ulazne podatke odnosi 28.220 podataka (415 x 68), a na vremena izrade 41.500 podataka (415 x 100).
Pod pojmom ulaznih podataka podrazumijevaju se svi podaci o poziciji uzorka izuzev podataka o vremenima izrade, neovisno o načinu i vremenu utvrđivanja vrijednosti podataka.
Ova matrica podataka koristit će se za klasifikaciju tipova OTP-a i grana OTP-a i oblikovanje regresijskih modela, a zbog potrebe za korištenjem njenog naziva prilikom daljnje obrade podataka označena je oznakom «M 415-168».

Matrica podataka pohranjena je u bazi podataka MS Access kao samostalna tablica, i u MS Excelu kao jedna tablica, u oba slučaja naziva se «M 415-168», a u prilogu E ovog rada prikazan je ispis matrice podataka kao tablica iz MS Excela. P-E-000

5.3 GRANE OTP-a

Za razliku od određivanja ***mogućih tipova OTP-a***, koje se temelji na ***utvrđenim vrijednostima zavisnih varijabli uzorka, određivanje grana OTP-a*** temelji se ***pretežito na utvrđenim vrijednostima karakteristika crteža***.
Prednost grana OTP-a u odnosu na tipove OTP-a, očituje se prvenstveno u lakšem razvrstavanju dijelova, a osnovni nedostatak je ne jedinstvenost grane po broju i vrsti potrebnih operacija u OTP-u, što onemogućuje, ili otežava procjenu vremena izrade po pojedinim tehnološkim postupcima.
Poznavanje samo ukupnog potrebnog vremena izrade ponekad je dovoljna podloga za proces prodaje u tvrtci, što je jedna od osnovnih zadaća OTP-a, ali vrlo često nedovoljno za potrebe planiranja i praćenja proizvodnje.

Procjena vremena potrebnih tehnoloških postupaka, cjelina i proizvodnih odjela, na temelju grana OTP-a moguća je, ali iziskuje:

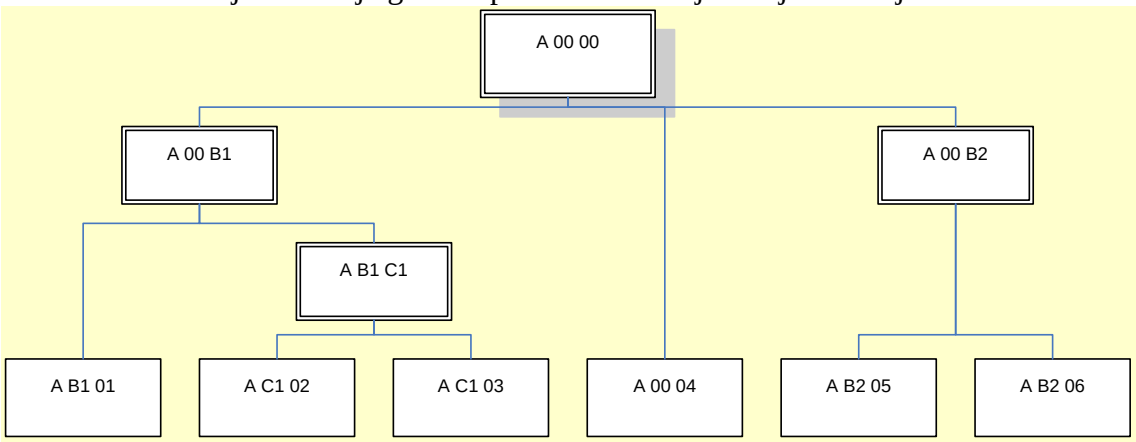
- **detaljniju razgranatost modela, odnosno postojanje većeg broja grana OTP-a**
  očekuje se da će veći broj grana omogućiti razvrstavanje dijelova u grupe sa sličnim tehnološkim procesom, odnosno istim ili sličnim tehnološkim postupcima potrebnim za izradu dijela. Grananje se vrši na temelju:
  - *veći broj uvjeta uključen u pojedinu granu OTP-a*
    «propustit» će u granu OTP-a upravo dijelove sa sličnim tehnološkim procesima
  - *specifični uvjeti na kojima se temelji grana OTP-a*
    grupirat će dijelove u granu koja obavezno sadrži određeni tehnološki postupak
- **regresijske modele sa jednadžbama za sve tehnološke postupke OTP-a**
  procjenjuju se vremena izrade za sve tehnološke postupke OTP-a, pri čemu se uzima za :
  - $\hat{t}_i \leq 0$ *tehnološki postupci nisu potrebni u tehnološkom procesu*
  - $\hat{t}_i < t_{zg}$ *tehnološki postupak je možda potreban u tehnološkom procesu, ali se ne uvrštava u OTP kao samostalna operacija, već se pribraja ukupnom vremenu izrade*
  - $\hat{t}_i \geq t_{zg}$ *tehnološki postupak je potreban u tehnološkom procesu*
    gdje je t_{zg} značajno vrijeme grane OTP-a koje se određuje za svaku granu OTP-a posebno i sastavni je dio regresijskog modela pojedine grane OTP-a
- **uvođenje dodatnog tehnološkog postupka, cjeline ili proizvodnog odjela u OTP**
  dodatni tehnološki postupak služi isključivo za korekciju ukupnog procijenjenog vremena izrade, označuje se indeksom 31 za tehnološke postupke, 32 za tehnološke cjeline i 33 za proizvodne odjele.
  Procjene vremena dodatnog npr. tehnološkog postupka određuje se na jedan od dva moguća načina, i to:
  - $\hat{t}_{31} = \sum_{i=1}^{14} (0 > \hat{t}_i < t_{zg})$ *kao zbroj procijenjenih vremena tehnoloških postupaka koji samostalno ne ulaze u OTP*
  - $\hat{t}_{31} = \hat{t} - \sum_{i=1}^{14} \hat{t}_i$ *kao razlika ukupnog procijenjenog vremena i sume procijenjenih vremena tehnoloških postupaka*

Međusobni odnosi grana OTP-a razlikuju se obzirom na način njihovog oblikovanja, a koji može biti temeljen na principu:

- **hijerarhijske povezanosti**
  po kojem svaki izvedena grana:
  - *ima nužno i sva obilježja grane iz koje je izvedena*
  - *ima i dodatna svojstva koja nema grana iz koje je izvedena*
- **isključivosti**
  po kojem :
  - *za sve grane postoji jedinstven skup uvjeta*
  - *ne postoje dvije grane sa istim graničnim vrijednostima jedinstvenog skupa uvjeta*

Moguće je i kombinirano oblikovanje grana OTP-a što znači da se u procesu grananja nakon određenog koraka može promijeniti princip oblikovanja, a mogućnost kombiniranja potrebna je za modele sa velikim brojem kombinacija, što je upravo slučaj sa projektiranjem tehnoloških procesa.
Nezavisno o metodi oblikovanja grana OTP-a, sve grane imaju iste elemente koji se razlikuju samo po graničnim vrijednostima, pa je moguće napraviti zajednički obrazac za definiranje bilo koje grane OTP-a.
U osnovi obrazac se temelji na klasifikacijskoj tablici OTP-a upotpunjenoj sa slijedećim podacima za svaku granu OTP-a:

- **jedinstvena oznaka grane OTP-a**
  svaka grana mora imati jedinstvenu oznaku, koja ujedno mora ukazivati i na poziciju grane u strukturi modela. Oznaka se određuje kao **X Yn mn,** gdje je:
  - *X - oznaka osnovne grane OTP-a, u kojoj su sadržani sve pozicije uzorka*
    slovna oznaka (veliko slovo)
  - *Yn – oznaka grane OTP-a iz koje neposredno slijedi (veliko slovo i broj),*
    ukoliko je oznaka «00» to označava da grana proizlazi izravno iz osnovne grane
  - *mn – oznaka grane OTP-a (brojčana ili slovno brojčana oznaka)*
    ukoliko je oznaka slovno brojčana, to označava da se grana OTP-a dalje dijeli, a ukoliko je samo brojčana oznaka to označava da nakon nje nema daljnje podjele, odnosno da je to zadnja grana u promatranom hijerarhijskom slijedu



Slika 5.1 Način označavanja grana OTP-a

Zbog boljeg korištenja prostora oznake se u praksi ponekad navode i bez razmaka između pojedinih cjeline u oznaci. Dakle, prazno mjesto nije dio oznake.

- **granična vrijednost značajnosti tehnoloških postupaka u grani OTP-a** t_{zg}
  predstavlja graničnu vrijednost procijenjenog vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka, na temelju kojeg se određuje značajnost postupka kao operacije u OTP-u za određenu granu OTP-a
  Koristi se pri procjeni vremena izrade za pojedine tehnološke postupke, cjeline ili proizvodne odjele. Vrijednost t_{zg} utvrđuje se za na temelju uzorka za svaku granu OTP-a posebno, a ovdje se navode samo orijentacijske vrijednosti, i to:
  - $t_{zg} = 0{,}01 \times \hat{t}$ *za tehnološke postupke izuzev piljenja*
  - $t_{zg} = 0{,}05 \times \hat{t}$ *za tehnološke cjeline*
  - $t_{zg} = 0{,}1 \times \hat{t}$ *za proizvodne odjele*
- **odabrani klasifikatori i njihove granične vrijednosti**
  klasifikatori se odabiru iz ranije utvrđenog skupa mogućih klasifikatora T-22-078 pri čemu je za složene uvjete (broj klasifikatora grane OTP-a veći od 1) potrebno definirati i njihove međusobne odnose (logičke operatore).
  Odnosi i granične vrijednosti unose se u sjecište stupca grane OTP-a i odabranog klasifikatora u tablici grana OTP-a.

Budući da je klasifikacijska tablica T-22-078 već prikazana u ovom radu, sama tablica OTP-a, obrazac - nositelj informacija o granama OTP-a, ne navodi se ovdje posebno.

Za napomenuti je da je u OTP klasifikaciji dozvoljeno jednom dijelu pridružiti više grana OTP-a, pri čemu nije uvjet da one budu međusobno hijerarhijski povezane, ili strukturno isključive.
Jedini uvjet pridruživanja grane dijelu za koji se želi projektirati OTP je da su u karakteristikama crteža i na njima temeljenim nezavisnim varijablama sadržani svi elementi grane OTP-a, koja mu se želi pridružiti, odnosno da grana zadovoljava sve utvrđene vrijednosti karakteristika crteža i iz njih izvedenih varijabli.

Iako nema ograničenja na izbor mogućih grana OTP-a, njihov izbor prvenstveno ovisi o uzorku na kojem se provodi istraživanje (u praksi to znači prema realni potrebama tvrtke), a potom i o procjeni kreatora o značajnim granama OTP-a. U praksi je to interaktivan proces, u kojem kreator prvo predvidi moguće grane OTP-a, a potom na temelju uzorka (frekvencije pozicija) utvrđuje za daljnju obradu značajne grane OTP-a.
Općenito vrijedi da grane OTP-a se većom oznakom redoslijeda daju točnije procjene vremena izrade, ali je ipak pri oblikovanju grana OTP-a potrebno voditi računa o činjenici da je složenost kriterija (veći broj upita) obrnuto proporcionalan sa brojem dijelova kojima se može pridružiti, i ne pretjerivati sa složenošću uvjeta grane OTP-a.
U slučaju ***vrlo detaljne razgranatosti, grane*** sa najvećim oznakama redoslijeda (mn) približavaju se tipovima OTP-a i gotovo da ***postaju tipovi OTP-a***.

Uz korištenje karakteristika crteža, iznimno je moguće prilikom oblikovanja grana OTP-a koristiti i u uzorku utvrđene vrijednosti zavisnih varijabli. To se koristi na samom početku oblikovanja grana i to na način da se ukupno područje podijeli na nekoliko područja u cilju dobivanja modela za točniju procjenu vremena izrade.
Nakon određivanja intervala pozicije koje zadovoljavaju uvjete intervala čine osnovni skup za daljnju analizu koji postaje samostalni model (A0000).

Statistička analiza osnovnog uzorka «OTP 415-1692» izvršena je na temelju utvrđenih vrijednosti zavisne varijable t_{tp} (tehnološko pomoćno vrijeme izrade) za koju će se i oblikovati regresijski modeli procjene vremena izrade.

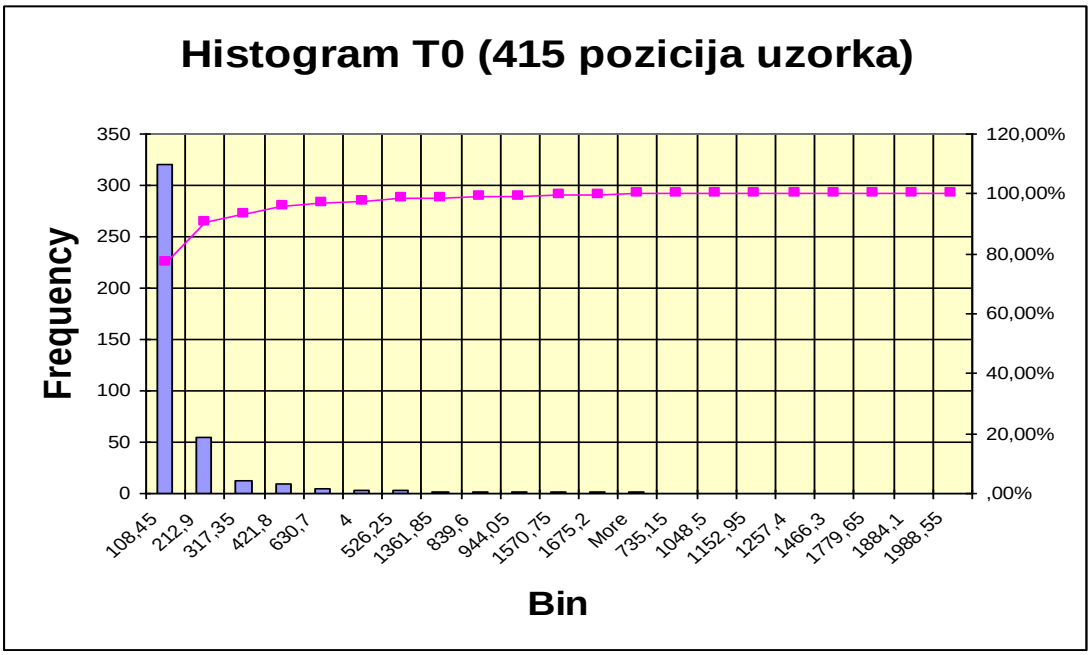
Statistički pokazatelji uzorka obzirom na zajedničko tehnološko pomoćno vrijeme t_{tp}, koje će se procjenjivati regresijskim modelima, utvrđeni su standardnim alatima aplikacije MS Excel – Alati - Analiza podataka.[17]

Vrijednosti statističkih pokazatelja prikazani su tablično i grafički na zajedničkom grafičkom prikazu, slika 5.2. S-14-088

S-14-90 Statistički podaci zavisne varijable (ukupno tehnološko pomoćno vrijeme izrade) cijeli uzorak

Desciptrive statistic	
Uzorak "OTP 415-1692"	
Zavisna varijabla T0	
Mean	100,81
Standard Error	9,77
Median	46
Mode	32
Standard Deviation	199,09
Sample Variance	39.635,67
Kurtosis	44,73
Skewness	6,01
Range	2.089
Minimum	4
Maximum	2.093
Sum	41.838
Count	415

Bin	*Frequency*	*Cumulative %*	*Bin*	*Frequency*	*Cumulative %*
4	3	,72%	108,45	321	77,35%
108,45	321	78,07%	212,9	54	90,36%
212,9	54	91,08%	317,35	12	93,25%
317,35	12	93,98%	421,8	10	95,66%
421,8	10	96,39%	630,7	5	96,87%
526,25	3	97,11%	4	3	97,59%
630,7	5	98,31%	526,25	3	98,31%
735,15	0	98,31%	1361,85	2	98,80%
839,6	1	98,55%	839,6	1	99,04%
944,05	1	98,80%	944,05	1	99,28%
1048,5	0	98,80%	1570,75	1	99,52%
1152,95	0	98,80%	1675,2	1	99,76%
1257,4	0	98,80%	More	1	100,00%
1361,85	2	99,28%	735,15	0	100,00%
1466,3	0	99,28%	1048,5	0	100,00%
1570,75	1	99,52%	1152,95	0	100,00%
1675,2	1	99,76%	1257,4	0	100,00%
1779,65	0	99,76%	1466,3	0	100,00%
1884,1	0	99,76%	1779,65	0	100,00%
1988,55	0	99,76%	1884,1	0	100,00%
More	1	100,00%	1988,55	0	100,00%



Slika 5.2 Statistički pokazatelji osnovnog uzorka «OTP 415-1692»

[17] Metode statističke analize u Excelu L-022-007

6. REGRESIJSKI MODELI ZA PROCJENU VREMENA IZRADE

Osnovni cilj regresijskih modela je procjena vremena izrade, a na temelju procijenjenih vrijednosti za pojedine tehnološke postupke moguće je odrediti i ostale parametre tehnološkog procesa.
Obzirom da je u uzorku «OTP 415-1805» vrijeme izrade utvrđeno kroz dvije komponente, (t_{pz} i t_{tp}), te da pripremno završno vrijeme samo za sebe u OTP-u nije od značaja, moguće je procijeniti vrijeme kao:

- T **- OTP vrijeme izrade temeljeno na tehnološko pomoćnom vremenu (t_{tp})**
  u uzorku je ovo vrijeme utvrđeno izravno kao tehnološko pomoćno vrijeme, a primjenljivo je za slučaj serijske, ili velikoserijske proizvodnje
- U **- OTP vrijeme izrade temeljeno na projektiranom vremenu (t_u)**
  u uzorku je ovo vrijeme izvedena zavisna varijabla iz utvrđenih vremena, i to prema jednadžbi 1.2 J-02-015, a primjenljivo je za slučaj pojedinačne proizvodnje

Temeljno ograničenje uzorka «OTP 415-1805» obzirom na ukupno vrijeme izrade je konstantna vrijednost broja komada u seriji $N_{vs} = const. = 1$, i zapravo predstavlja pojedinačnu proizvodnju, što u praksi najčešće nije slučaj.
Za slučaj maloserijske proizvodnje $100 > N_{vs} > 1$ potrebno je u jednadžbe uvrstiti i broj komada u seriji N_{vs}.
To se može riješiti uvođenjem odnosa pripremno završnog vremena i tehnološkog vremena u model, a taj odnos nazvan je koeficijent vremena k_t, u daljnjoj obradi K, koji se može na temelju uzorka «OTP 415-1805» odrediti pomoću jednadžbe 1.3 J-03-015
Dakle, za procjenu vremena izrade za slučaj maloserijske proizvodnje potrebno je odrediti istovremeno dva elementa vremena, i to ili $\lfloor k_t ; t_{tp} \rfloor$, ili $[k_t ; t_u]$.

Iako su za svaku kombinaciju elemenata vremena, jednadžbama J-04-015 ; J-06-015 ; J-07-15 točno utvrđeni njihovi međusobni odnosi, obzirom da se radi o procjeni vremena izrade, rezultati će se razlikovati obzirom na odabranu kombinaciju elemenata vremena na kojoj se temelji regresijski model za procjenu vremena izrade.
Dakle, nije svejedno na kojoj kombinaciji elemenata vremena se temelji regresijski model, pa je potrebno odabrati kombinaciju primjerenu stvarnom stanju (uzorku).

U slučaju postojanja oba modela, nakon procjene vremena (za poznate vrijednosti t_{tp} i t_u) moguće je izjednačavanjem jednadžbi J-11-016 ; J-12-016 utvrditi za regresijski model odgovarajući koeficijent vremena (k_t), i to kao:

$$t_{tp} \times \left(\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d \right) = \frac{t_u}{1 + k_t} \times \left(\frac{k_t}{N_{vs}} + 1 + k_d \right) \quad \Rightarrow \text{ odnosno općenito vrijedi jednadžba:}$$

$$k_t = \frac{t_u - t_{tp}}{t_{tp}} \quad \text{.....} \quad (6.1)$$

Usporedbom procijenjenog vremena izrade oba modela sa stvarno utvrđenim vremenom izrade moguće je utvrditi koja kombinacija elemenata vremena daje bolje rezultate procjene vremena, odnosno koja je primjerenija za oblikovanje regresijskih modela.

Iako pripremno završno vrijeme t_{pz} nije element vremena izrade koji je pogodan za korištenje u regresijskim modelima, njegovo poznavanje potrebno je da bi se mogao odrediti koeficijent vremena k_t, koji predstavlja konstantu za svaki regresijski model posebno.
Pripremno završno vrijeme t_{pz} za pojedine tehnološke postupke može se utvrditi na temelju:

- *pripremno završnih vremena iz tablica u literaturi* L-18-1-000
- *utvrđenih vrijednosti u uzorku «OTP 415-1085»*
- *iskustvenih podataka za svaku pojedinu tvrtku posebno*
- *primjene jednadžbe 6.1* J-13-089

Očigledno je da je regresijskom analizom moguće procjenjivati vrijeme izrade po modelima temeljenim na različitim elementima vremena, i kao vrijeme izrade ukupno za sve tehnološke postupke, i vrijeme izrade pojedinih tehnoloških postupaka, tehnoloških cjelina ili proizvodnih odjela.

Zbog razlikovanja podataka u obradi, uvodi se sustav označavanja procijenjenog vremena u obliku Ai_{jk}, gdje je

- *A - vrsta vremena* $(U;T;S;M)$
- *i – oznaka tehnološkog postupka, tehnološke cjeline ili proizvodnog odjela za koji se procjenjuje vrijeme izrade*
  - *i=0 odnosi se na OTP vrijeme izrade ukupno za sve tehnološke postupke. (oznaka nula se ne upisuje u indeksu uz oznaku vremena)*
  - *i=1 do 14 odnosi se na OTP vrijeme izrade pojedinih tehnoloških postupaka,*
  - *i=W1 do W7 odnosi se na OTP vrijeme izrade pojedinih tehnoloških cjelina,*
  - *i=Q1 do Q3 odnosi se na OTP vrijeme izrade pojedinih odjela*
  - *i=26 odnosi se na sumu procijenjenih OTP vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka, a samo se ne procjenjuje regresijskim modelom*
  - *i=27 odnosi se na sumu procijenjenih OTP vremena izrade pojedinih tehnoloških cjelina, a samo se ne procjenjuje regresijskim modelom*
  - *i=28 odnosi se na sumu procijenjenih OTP vremena izrade pojedinih proizvodnih odjela, a samo se ne procjenjuje regresijskim modelom*
- *j – oznaka tipa OTP-a, ili grane OTP-a za koju se procjenjuje vrijeme izrade*
  - *j= različite slovno brojčane oznake primjerene tipu ili grani OTP-a*
- *k – oznaka ograničenja na tip OTP-a obzirom na područje varijabli regresijskih jednadžbi*
  - *k= mala slova abecede (a,b,c,d,e,f...)*
  - *ukoliko nema oznake u indeksu znači da se jednadžba primjenjuje na cijelo područje «primjena bez ograničenja za tip OTP-a»*

6.1 OBLIKOVANJE REGRESIJSKIH MODELA

U pravilu višestruka regresijska analiza daje različite rezultate obzirom na broj uključenih nezavisnih varijabli u model, pri čemu se regresijski modeli mogu podijeliti na:

- **potpuni višestruki regresijski model**
  uključuje predmnijevani broj nezavisnih varijabli u model, pri čemu općenito vrijedi:
  - *postoji konačan broj nezavisnih varijabli (n_{nv}) koje se mogu uključiti u model*
  - *konačan broj nezavisnih varijabli ((n_{nv}) u pravilu je manji od ukupnog mogućeg broja nezavisnih varijabli na temelju kojih je oblikovan model*
  - *potpuni višestruki regresijski model najčešće je i model sa maksimalnim koeficijentom determinacije (r^2)*
  - *nezavisne varijable potpunog višestrukog regresijskog modela i njihovi koeficijenti mogu se potpuno automatizirano odrediti računalom*
    (MATLAB: stepwisestif, ili stepwise sa provođenjem svih koraka oblikovanja)
- **robusni višestruki regresijski model**
  uključuje optimalan broj nezavisnih varijabli u model, pri čemu općenito vrijedi:
  - *postoji optimalan broj nezavisnih varijabli koje uključene u regresijski model daju zadovoljavajuće rezultate*
  - *uključivanje dodatnih nezavisnih varijabli urobusni regresijski model, ne doprinosi značajno poboljšanju rezultata «proširenog regresijskog modela» u odnosu na robusni regresijski model*
  - *optimalan broj nezavisnih varijabli koje se uključuju u model određuje se na temelju trenutne postignute točnosti modela u odnosu na maksimalnu moguću točnost modela (usporedbom trenutnog koeficijenta determiniranosti r^2 sa koeficijentom determiniranosti potpunog modela)*
  - *nezavisne varijable robusnog višestrukog regresijskog modela i njihovi koeficijenti mogu se odrediti algoritmom uz sudjelovanje istraživača, pri čemu je na istraživaču da utvrdi korak nakon kojeg nema potrebe za uvođenjem daljnjih nezavisnih varijabli model.*
    (MATLAB: stepwise sa zaustavljanjem oblikovanja nakon određenog koraka)

Procijenjena vremena izrade na temelju regresijskih modela ovise i o ograničenjima modela obzirom na područja vrijednosti pojedinih varijabli, zbog čega je značajno za svaki model navođenje ograničenja, odnosno područja primjene regresijskog modela.
U slučaju značajne greške procijenjenog vremena, ili nedovoljne objašnjenosti pojave regresijskim modelom, rezultati se mogu poboljšati obzirom na izbor područja vrijednosti pojedinih nezavisnih varijabli, i to:

- **oblikovanjem više regresijskih modela za isti tip OTP-a**
  matematički: podjela nelinearne krivulje, na nekoliko segmenata koji se približno mogu opisati jednadžbom linearne regresije
- **sužavanje područja primjene modela**
  matematički: statističko uređenje uzorka (izostavljanje pozicija u kojima su utvrđene ekstremne vrijednosti pojedinih nezavisnih varijabli iz uzorka na kojem se temelji regresijski model)

Ograničenja regresijskog modela obzirom na vrijednosti nezavisnih varijabli naznačuju se uz svaku pojedinu nezavisnu varijablu uključenu u regresijski model, i to navođenjem njene minimalne i maksimalne vrijednosti u uzorku.

Dakle, regresijski model definiran je:

- **ulaznim podacima**
  - *tip OTP-a ili grana OTP-a*
  - *element vremena na kojem se temelji regresijska analiza*
- **sumarnim podacima o modelu višestruke regresijske analize**
  - *koeficijent determinacije* (r^2)
  - *stupanj objašnjenosti*
  - *standardna greška (RMSE)*
  - *adekvatnost modela – odnos objašnjenih i neobjašnjenih odstupanja (F)*
  - *broj pozicija na kojime je izvršeno modeliranje* (n_p)
- **podacima o elementima modela višestruke regresijske analize**
  - *opći oblik regresijske jednadžbe za procjenu vremena izrade*
  - *nezavisnim varijablama regresijske jednadžbe*
  - *graničnim vrijednostima nezavisnih varijabli unutar kojih vrijedi regresijska jednadžba (minimalna i maksimalna vrijednost)*
  - *koeficijenti regresijske jednadžbe*
  - *koeficijent vremena* k_t
  - *granične vrijednosti zavisne varijable u uzorku na kojem se temelji regresijski model (minimalna, maksimalna, prosječna vrijednost i standardna devijacija)*
- **podacima o primjenljivosti regresijskog modela**
  - *relativna greška* $RMSE/\bar{t}$

    predstavlja omjer standardne greške modela i prosječne vrijednosti zavisne varijable na koju se model odnosi, izraženo u postotcima.

Regresijski modeli mogu se oblikovati za procjenu samo ukupnog vremena izrade, ali i za procjenu vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka pri čemu se oblikuje set regresijskih jednadžbi.
Svi regresijski modeli imaju iste zajedničke elemente, pa ih je moguće prikazati u jedinstvenoj tablici – nositelju znanja o regresijskim modelima za procjenu vremena izrade, pri čemu je tablica oblikovana na način da omogući prikaz podataka o setu jednadžbi regresijskog modela. (jednadžba ukupnog vremena izrade i jednadžbe pojedinih postupaka, cjelina ili proizvodnih odjela)
Obrazac nositelja znanja o regresijskom modelu za procjenu vremena izrade ne prikazuje se posebno u osnovnom tekstu, ali je vidljiv u prilogu F ovog rada. P-F-006

6.1.1 Prethodno oblikovanje regresijskih modela

Višestruku regresijski modeli za isti skup podataka (nezavisnih varijabli) mogu se značajno razlikovati obzirom na način oblikovanja samog regresijskog modela.
Izbor elemenata zastupljenih u regresijskom modelu i način njihova kvantificiranja ovisi o kreatoru modela, a uz znanje kreatora i dostupne mu metode obrade podataka, u značajnoj mjeri ovisi i o samom skupu podataka na kojem se provodi analiza.

Kod modela za procjenu vremena izrade proizvoda, u ovom radu je utvrđena mogućnost različitog dimenzioniranja nekoliko osnovnih elemenata regresijskog modela, što značajno povećava mogući broj kombinacija, odnosno mogućih regresijskih modela.
Cilj prethodnog istraživanja bio je razriješiti dvojbe oko izbora:

- **vrste višestrukog regresijskog modela obzirom na klasifikaciju dijelova**
  - *po tipu OTP-a*
  - *po grani OTP-a*
- **tipa višestrukog regresijskog modela**
  - *potpun*
  - *robustan*
- **elementa vremena u kombinaciji sa koeficijentom vremena (k_t)**
  - t_{tp} *- tehnološko pomoćno vrijeme kao temelj za oblikovanje regresijskih modela*
  - t_u *- projektirano vrijeme* J-02-015 *kao temelj za oblikovanje regresijskih modela*
- **detaljnosti modela obzirom na uključenost tehnoloških postupaka u model**
  - Y *- tehnološki postupci (1 do 14)*
  - W *- tehnološke cjeline (1 do7)*
  - Q *- proizvodni odjeli (1 do 3)*
  - $Y0$ *jedinstveno vrijeme izrade bez raščlambena postupke, cjeline ili odjele*
- **izbor vrijednosti koeficijenta vremena**
  - $K_{\bar{x}}$
  - K_{mode}
  - $K_{\Sigma P/\Sigma T}$
- **primjenjene računalne aplikacije -metode oblikovanja modela**
  - *Excel – Alati – Analiza podataka -Regjression*
  - *Matlab – stepwise – stepwisefit - robustfit*

Prethodnim istraživanjem oblikovano je 12 modela sa po 2 elementa vremena, od čega u 9 slučajeva uz potpuni i robusni model, što sve skupa čini 33 različita modela regresijske analize.
Analiza regresijskih modela obzirom na elementa vremena (t_{tp} ili t_u) na kojem se model temelji prikazana je u tablici T-24 T-24-1-094
Istražen je i odnos između procijenjenog vremena izrade ($\hat{t}$) i sume procijenjenih vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka kao operacija u OTP-u, a rezultati su prikazani u tablici T-25. T-25-095

T-24 Tablica skupnih rezultata prethodnog oblikovanja regresijskih modela 01-01

REZULTATI PRETHODNO OBLIKOVANIH REGRESIJSKI MODELA

REZULTATI MODELA					$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$						
VARIJABLA			Tip RM	N_V	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
PROSIJEK ZA SVE MODELE				**7,03**	**0,8837**	**0,8720**	**80,83**	**158,33**	**8,5e-7**	**117,08**	**34,69%**
1	Cijeli uzorak	**T0A**	Potpuni	17	0,9300	0,9268	53,78	310,42	0	415	53,24%
			Robusni	5	0,8839	0,8822	68,23	623,352	0		67,55%
		U0A	Potpuni	17	0,9153	0,9115	103,97	252,637	0		31,04%
			Robusni	5	0,8675	0,8656	128,14	535,95	0		38,25%
2	Ploča	**T0Aa**	Potpuni	5	0,8151	0,7902	13,67	40,79	4,3e-13	42	33,65%
			Robusni								
		U0Aa	Potpuni	7	0,8692	0,8384	34,21	32,28	3,1e-13		31,85%
			Robusni								
3	Plosnata šipka	**T0Ab**	Potpuni	7	0,9313	0,9185	38,08	83,25	0	52	46,66%
			Robusni								
		U0Ab	Potpuni	6	0,8894	0,8719	77,19	58,99	0		27,17%
			Robusni								
4	Odljevak	**T0Ac**	Potpuni	5	0,9323	0,9191	137,97	85,34	0	37	30,88%
			Robusni								
		U0Ac	Potpuni	3	0,8976	0,8851	262,08	96,40	2,2e-16		29,60%
			Robusni								
5	Okrugla šipka	**T0Ad**	Potpuni	11	0,8350	0,8276	33,70	122,85	0	279	48,86%
			Robusni	5	0,7995	0,7951	36,74	217,72	0		53,26%
		U0Ad	Potpuni	13	0,8566	0,8490	80,93	121,78	0		26,33%
			Robusni	5	0,8138	0,8098	90,85	238,72	0		29,55%
6	Okrugla šipka AND Z_T>11	**T0Ae**	Potpuni	4	0,8918	0,8801	30,77	94,82	0	51	32,70%
			Robusni								
		U0Ae	Potpuni	4	0,8787	0,8655	90,83	83,28	0		22,21%
			Robusni								
7	Okrugla šipka; Z_T>11; Z_P<8	**T0Af**	Potpuni	4	0,8944	0,8780	32,31	67,80	3,6e-15	37	27,29%
			Robusni								
		U0Af	Potpuni	8	0,9267	0,9031	77,78	44,23	7,1e-14		16,05%
			Robusni	5	0,8611	0,8342	101,73	38,44	2,1e-12		20,99%
8	Okrugla šipka; Z_T>11; Z_P<7; PUI=0	**T0Ag**	Potpuni	3	0,9773	0,9643	12,01	100,34	4,1e-6	11	13,18%
			Robusni								
		U0Ag	Potpuni	1	0,8758	0,8452	72,32	63,48	2,3e-5		16,88%
			Robusni								
9	Tip OTP-a BX	**TOBX**	Potpuni	12	0,9314	0,9262	75,95	193,46	0	184	43,95%
			Robusni	5	0,8924	0,8887	93,24	295,15	0		53,95%
		UOBX	Potpuni	13	0,9241	0,9178	133,55	159,19	0		27,41%
			Robusni	5	0,8804	0,8763	163,85	261,96	0		33,63%
10	Tip OTP-a CX	**TOCX**	Potpuni	11	0,9431	0,9355	65,82	135,65	0	102	42,67%
			Robusni	5	0,8446	0,8349	105,34	104,34	0		68,29%
		UOCX	Potpuni	10	0,9367	0,9290	118,13	134,58	0		27,69%
			Robusni	5	0,9087	0,9030	138,06	191,18	0		32,36%
11	Tip OTP-a CA	**TOCA**	Potpuni	7	0,8513	0,8343	47,92	57,24	0	78	45,15%
			Robusni								
		UOCA	Potpuni	8	0,8972	0,8838	88,76				20,50%
			Robusni								
12	Tip OTP-a BX	**T0DB**	Potpuni	5	0,8864	0,8803	7,96	173	0	117	24,93%
			Robusni								
		U0DB	Potpuni	6	0,7239	0,7063	52,85	48,06	0		27,07%
			Robusni								

T-25	Tablica odnosa ukupnog procijenjenog vremena i procijenjenog vremena pojedinih operacija																01-01
Oznaka	ODNOS PROCIJENJENOG VREMENA TP-a I SUME PROCIJENJENIH VREMENA OPERACIJA																
dijela	UTVRĐENO VRIJEEM IZRADE						PROCiJENJENA VREMENA IZRADE						IZVEDENE (RACUNSKE) VELICINE				
AD01	T0	T2	T4	T7	T9	T10	Y0	Y2	Y4	Y7	Y9	Y10	ΣY	ΔT0Y0	ΔT0ΣY	ΔY0ΣY	%
016941	184	6	62	80	6	30	197	7	45	75	4	43	174	-13	10	23	11,68%
017660	44	3	27	6	3	5	48	3	20	11	4	16	55	-4	-11	-7	-14,13%
017800	124	13	67	8	2	34	89	17	73	9	4	35	138	35	-14	-49	-55,20%
017816	120	14	86	12	3	5	136	20	76	9	4	20	129	-16	-9	7	4,86%
017858	45	4	32	4	3	2	35	4	22	18	4	21	69	10	-24	-33	-94,60%
017879	237	17	125	30	10	55	181	17	88	21	4	48	178	56	59	3	1,67%
017907	35	2	10	4	3	16	63	2	10	23	4	20	60	-28	-25	3	4,75%
018626	31	1	25	2	1	2	45	1	25	-3	4	16	44	-14	-13	0	0,80%
018738	39	2	10	5	10	12	20	2	7	6	4	20	39	19	0	-19	-96,31%
018930	46	2	31	2	1	10	42	2	20	10	4	16	53	4	-7	-10	-23,77%
019121	81	7	42	3	1	28	86	7	34	-5	4	28	69	-5	12	18	20,57%
019964	37	3	27	3	2	2	40	3	18	15	4	-13	28	-3	9	13	31,84%
019985	126	4	25	80	5	12	115	4	38	46	4	8	101	11	25	14	12,12%
205459	61	3	33	8	2	15	68	3	45	2	4	28	82	-7	-21	-14	-19,90%
205604	69	2	35	5	2	25	67	3	44	1	4	28	79	2	-10	-12	-17,64%
206531	72	5	25	24	8	10	65	5	29	19	4	7	64	7	8	1	1,22%
206568	47	6	12	6	2	21	59	7	31	8	4	14	64	-12	-17	-5	-7,76%
206664	41	3	13	12	4	9	54	3	3	15	4	16	42	-13	-1	12	21,87%
207133	60	4	17	10	4	25	85	5	21	14	4	21	65	-25	-5	20	23,42%
207406	48	1	15	5	2	25	25	1	4	10	4	2	21	23	27	3	12,69%
207469	19	2	6	7	2	2	24	2	18	10	4	8	42	-5	-23	-18	-72,51%
207822	159	5	45	33	8	68	113	5	32	19	4	33	94	46	65	20	17,29%
207880	142	4	94	15	3	26	150	4	70	33	4	28	138	-8	4	12	7,76%
208216	45	4	17	3	1	20	52	3	27	-1	4	16	50	-7	-5	2	4,16%
208284	57	3	29	5	8	12	43	3	25	-7	4	16	42	14	15	1	1,78%
208300	65	4	23	4	4	30	78	6	35	9	4	22	76	-13	-11	2	2,22%
208487	54	2	28	3	8	13	59	3	36	2	4	16	61	-5	-7	-2	-3,74%
208739	19	2	9	4	2	2	12	2	6	8	4	8	28	7	-9	-16	-126,01%
208765	46	2	22	6	2	14	50	3	36	14	4	16	73	-4	-27	-23	-45,58%
208791	64	2	36	4	2	20	62	3	38	-2	4	16	59	2	5	3	5,12%
208989	64	9	34	4	1	16	103	11	46	5	4	28	93	-39	-29	10	9,25%
209073	44	8	27	2	5	2	55	12	45	3	4	-2	62	-11	-18	-7	-13,00%
209094	167	4	57	35	8	63	112	4	44	28	4	36	116	55	51	-4	-4,03%
210562	108	10	55	18	2	23	154	12	82	26	4	20	144	-46	-36	10	6,50%
210599	42	2	16	12	10	2	44	3	22	11	4	16	57	-2	-15	-13	-30,91%
249723	207	6	63	70	8	60	207	7	53	75	4	43	182	0	25	25	12,21%
249744	102	6	65	12	4	15	90	6	42	14	4	21	87	12	15	2	2,36%
249786	125	7	63	15	8	32	144	6	76	18	4	36	140	-19	-15	4	3,03%
249830	86	10	53	10	10	3	88	14	58	11	4	0	86	-2	0	1	1,64%
263154	92	4	46	10	2	30	92	4	55	9	4	16	88	0	4	3	3,68%
688062	67	4	30	18	3	12	69	3	39	11	4	20	76	-2	-9	-8	-10,92%
min	19	1	6	2	1	2	12	1	3	-7	4	-13	21	-46	-36	-49	-126,01%
max	237	17	125	80	10	68	207	20	88	75	4	48	182	56	65	25	31,84%
average	81,00	4,93	37,49	14,61	4,27	19,71	81,00	5,62	37,49	14,61	4,27	19,71	81,70	0,00	-0,70	-0,69	-10,04%
median	64	4	30	7	3	15	67	4	36	11	4	20	69	-3	-7	2	1,78%
mode	44	2	27	4	2	2	#N/D	7	36	75	4	16	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
raspon	218	16	119	78	9	66	195	19	85	82	0	61	160	102	101	74	157,85%
suma	3.321	202	1.537	599	175	808	3.321	230	1.537	599	175	808	3.350	0	-29	-28	

Iz tablice T-25-1-095 vidljivo je da razlika u procjeni ukupnog komadnog vremena i sume procijenjenih vremena pojedinih operacija iznosi:

- **0,87 % ukupno za skup svih pozicija promatranog tipa OTP-a**
  $\Delta T0\Sigma Y / \Sigma T0$ (-29/3.3211)
- **- 10,04% prosječno po pojedinim pozicijama promatranog tipa OTP-a**
  (average %)

Temeljem analize rezultata prethodnog oblikovanja regresijskih modela odabire se slijedeće:

- **grana OTP-a kao metoda klasifikacije**
  regresijski modeli temeljeni na uzorcima klasificirani po ovoj metodi ne daju lošije rezultate, a sama metoda je jednostavnija za klasifikaciju.
- **7 nezavisnih varijabli kao maksimalan broj potrebnih nezavisnih varijabli**
  odustajanje od potpunog modela i izbor robusnijeg sa maksimalno 7 nezavisnih varijabli temelji se na činjenicama da:
  - *prosječan broj nezavisnih varijabli u prethodno oblikovanim potpunim regresijskim modelima iznosi 7,68*
  - *u većini prethodno oblikovanih modela broj nezavisnih varijabli uključenih u model manji je ili jednak broju 7*
  - *broj potrebnih nezavisnih varijabli u regresijskim jednadžbama obrnuto je proporcionalan homogenosti skupa podataka za koji se oblikuje regresijski model, što će rezultirati manjim brojem nezavisnih varijabli u potpunom modelu regresijske analize za pod skupove uzorka.*
- t_{tp} **tehnološko pomoćno vrijeme kao element vremena**
  iako su modeli temeljeni na projektiranom vremenu (t_u) kao zavisnoj varijabli upravo primjereni za pojedinačnu proizvodnju, u većini slučajeva pokazali manju relativnu grešku, a utvrđene vrijednosti parametra (r^2) ne ukazuju na značajnu razliku modela obzirom na izbor zavisne varijable, ipak se za oblikovanje regresijskih modela kao temeljni element odabire tehnološko pomoćno vrijeme t_{tp} i to prvenstveno zbog:
  - *činjenice da je vrijeme izrade za seriju ($N_{vs} > 1$) proporcionalno vezano sa t_{tp}, pa je samim time prirodnije da se izravno procjenjuje upravo t_{tp}*
  - *činjenice da je pripremno završno vrijeme (t_{pz}) u uzorku 2,32 puta veće od tehnološko pomoćnog vremena (t_{tp}), što znači da t_{pz} čini više od dvije trećine projektiranog vremena (t_u).*
  - *činjenice da je procjena vremena temeljena na ukupnom vremenu izrade osjetljivija na pogrešku koeficijenta vremena k_t za slučajeve maloserijske, a pogotovo serijske proizvodne ($N_{vs} > 1$)*
- t **vrijeme izrade ukupno, kao jedina zavisna varijabla**
  regresijski modeli obavezno će sadržavati jednadžbu za procjenu OTP vremena izrade ukupno za sve tehnološke postupke, i to iz slijedećih razloga jer je :
  - *temeljni cilj ovog rada utvrđivanje funkcije povezanosti karakteristika crteža i potrebnog vremena izrade, što se može utvrditi na OTP vremenu izrade-ukupnom*
  - *prethodno oblikovanje regresijskih modela pokazalo da postoji povezanost procjene vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka sa procjenom ukupnog vremena izrade* T-25-1-095
  - *dogradnja regresijskih modela obzirom na dopunjavanje sa setovima jednadžbi za pojedine tehnološke postupke, cjeline i proizvodne odjele moguća u bilo kojem trenutku, bez utjecaja na postojeće stanje modela.*

- $K_{\Sigma P/\Sigma T}$ **prosječna utvrđena vrijednost koeficijenta vremena kao koeficijent vremena regresijskog modela**
  koeficijent vremena se izračunava za svaki pojedini regresijski model na temelju pozicija iz uzorka koje pripadaju tom modelu
- **stepwise alat aplikacije MatLab kao metoda izbora elemenata**
  - *regresijska analiza i to metodom dodavanja nezavisnih varijabli u model, od po značaju najveće prema manje značajnima*
  - *stepwise kao alat regresijske analize aplikacije MatLab, pri čemu će se broj nezavisnih varijabli (n_{nv}) ograničiti na maksimalno 7.*

    U pravilu će se kao rezultat prihvatiti rješenje dobiveno alatom stepwise, ali se ne isključuje ni ručno unošenje ili izostavljanje pojedinih nezavisnih varijabli u ili iz modela.

6.1.2 Uređenje uzorka za oblikovanje regresijskih modela

U prethodnom oblikovanju regresijskih modela utvrđeno je da postoji značajna povezanost karakteristika crteža sa vremenima izrade (r^2 =0,93 za potpuni model, odnosno 0,8839 za robusniji model sa 5 nezavisnih varijabli), ali i preveliko rasipanje rezultata po pojedinim pozicijama uzorka. (relativna greška za cijeli uzorak i robusni model iznosila je 67,55%).
Osnovni razlog ovog ne razmjera leži u uzorku na temelju kojeg je izvršeno prethodno oblikovanje, a koji je predstavljao «OTP-415-1692»

Iako promatrani uzorak nije potpuno slučajan, jer su izvršene prilagodbe osnovnog uzorka vezane uz frekvenciju zastupljenosti pojedinih predviđenih podataka u uzorku, ne može se govoriti o tome da je kao takav u dovoljnoj mjeri pogodan za detaljno oblikovanje regresijskih modela.

Dodatna analiza uzorka izvršena je obzirom na utvrđene vrijednosti pojedinih grupa podataka u uzorku, ali i statističkom analizom cjelovitog uzorka.
Analizom utvrđenih vrijednosti dodatnih nezavisnih varijabli uočena je nelogičnost negativnih iznosa razlika izmjera materijala i njima odgovarajućih izmjera izratka. Analizom svake pojedine pozicije u uzorku, utvrđeno je da se radi o dvije vrste uzroka:

- **pozicije kod kojih se vanjski promjer izratka dobiva iz pločastog materijala**
  kod materijala je vanjski promjer jednak nuli a kod izmjere izratka veći od nule. Uz negativnu razliku promjera, u takvim slučajevima debljina polaznog materijala predstavlja duljinu izratka, što može uzrokovati značajno povećanje razlike duljine. To nije opravdano budući se uspoređuju različite izmjere materijala i izratka, jer polazni oblik materijala i oblik izratka nisu istog oblika, pa prema tome niti istih karakterističnih izmjera.
- **pozicije kod kojih su zastupljeni tehnološki postupci ostalog deformiranja**
  slobodno kovanje, koje povećava duljinu ili širinu izratka na račun promjera ili debljine polaznog materijala.
- **pozicije kod kojih se izradci dobivaju savijanjem limova**
  izmjere crteža utvrđene su kao vrijednosti razvijenog lima, a izmjere izratka kao najveće tri prostorne izmjere izratka (gabariti). Posljedica su značajno manja duljina i širina, a značajno veća debljina izratka od istih izmjera materijala.

Iako su vrijednosti pozicija u bazi podataka korektno utvrđene, a slučajevi negativnih razlika izmjera materijala i izratka u praksi mogući, ipak su to izuzeci od pravila, te se takve pozicije mogu izostaviti iz daljnjeg razmatranja.
Zaključuje se da je prije oblikovanja regresijskih modela zbog negativne razlike izmjera materijala i izratka potrebno izostaviti 21 pozicija iz uzorka, i to:

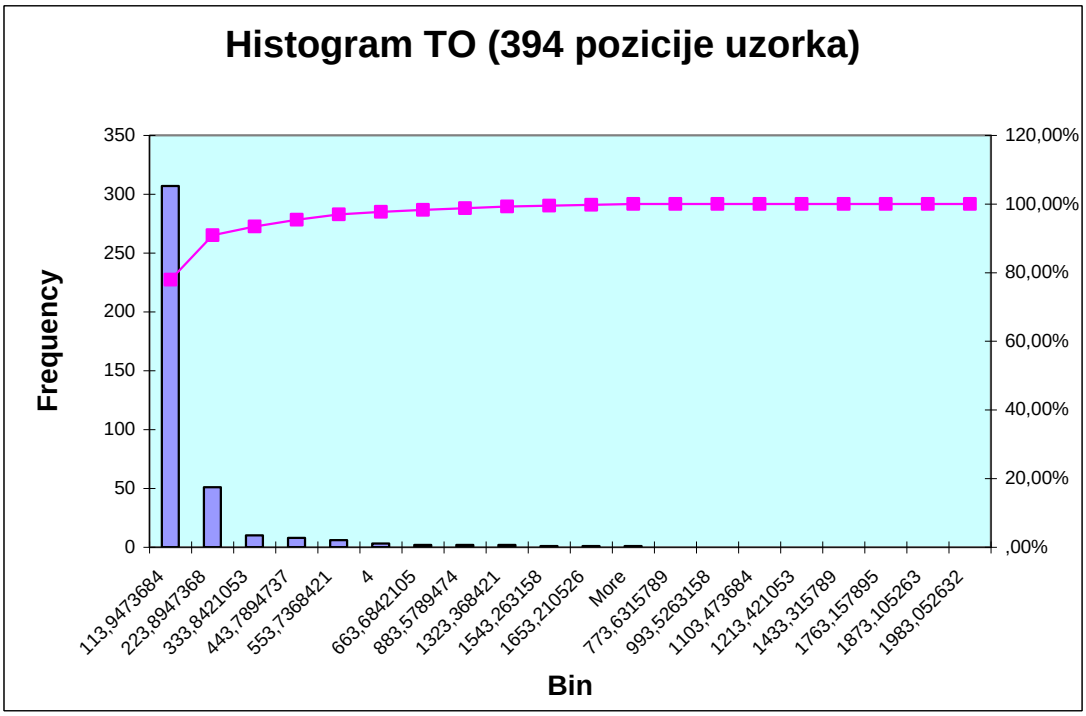
- **5 zbog vanjskog promjera**
  (204308; 208013; 208029; 204703 i 206708)
- **11 pozicija zbog širine**
  (205529; 207042; 208221; 208861; 207934; 206505; 206664; 207560; 206776; 233422 i 205214)
- **4 pozicije zbog debljine**
  (208627; 688062;208723 i 208583)
- **1 pozicija zbog duljine**
  (206302)

Izuzimanje navedenih pozicija iz uzorka nije značajno utjecalo na sam uzorak, što potvrđuju usporedba statističkih pokazatelja vezani uz zavisnu varijablu $T0$, a koji su prikazani na slici 6.1,[S-15-099] sa statističkim pokazateljima uzorka sa 415 pozicija. [S-14-088]

S-15 Statistički podaci zavisne varijable T0 (t_{tp}) za uzorak sa 394 poz.

Desciptrive statistic	
Uzorak "OTP 394"	
Zavisna varijabla T0	
Mean	102,33
Standard Error	10,25
Median	46
Mode	32
Standard Deviation	203,39
Sample Variance	41.369,06
Kurtosis	43,00
Skewness	5,91
Range	2.089
Minimum	4
Maximum	2.093
Sum	40.319
Count	394

Bin	*Frequency*	*Cumulative %*	*Bin*	*Frequency*	*Cumulative %*
4	3	,76%	113,9474	307	77,92%
113,9474	307	78,68%	223,8947	51	90,86%
223,8947	51	91,62%	333,8421	10	93,40%
333,8421	10	94,16%	443,7895	8	95,43%
443,7895	8	96,19%	553,7368	6	96,95%
553,7368	6	97,72%	4	3	97,72%
663,6842	2	98,22%	663,6842	2	98,22%
773,6316	0	98,22%	883,5789	2	98,73%
883,5789	2	98,73%	1323,368	2	99,24%
993,5263	0	98,73%	1543,263	1	99,49%
1103,474	0	98,73%	1653,211	1	99,75%
1213,421	0	98,73%	More	1	100,00%
1323,368	2	99,24%	773,6316	0	100,00%
1433,316	0	99,24%	993,5263	0	100,00%
1543,263	1	99,49%	1103,474	0	100,00%
1653,211	1	99,75%	1213,421	0	100,00%
1763,158	0	99,75%	1433,316	0	100,00%
1873,105	0	99,75%	1763,158	0	100,00%
1983,053	0	99,75%	1873,105	0	100,00%
More	1	100,00%	1983,053	0	100,00%



Slika 6.1 Statistički pokazatelji zavisne varijable za uzorak sa 394 pozicije

Statistička analiza uzorka izvršena je na temelju utvrđenih vrijednosti zavisne varijable $T0$ (tehnološko pomoćno vrijeme t_{tp}) za koje će se i oblikovati regresijski modeli procjene vremena izrade.

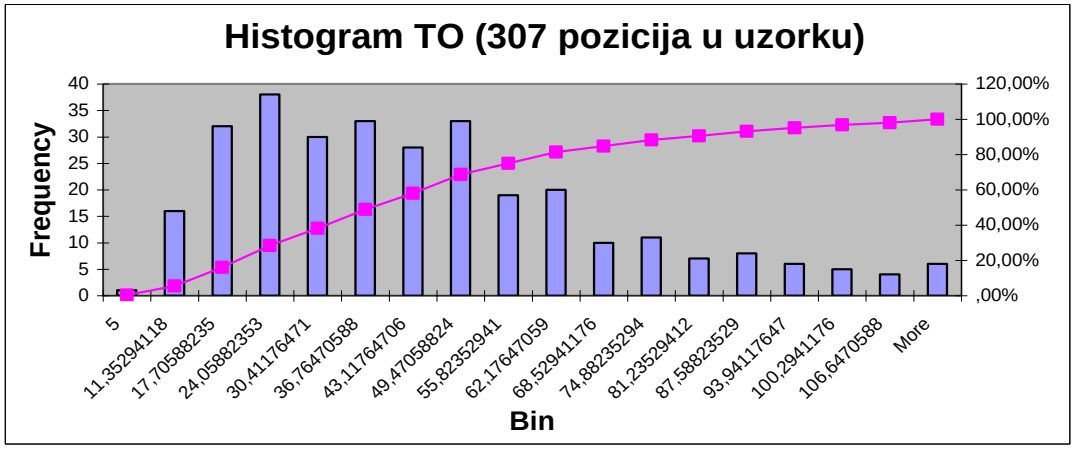
Vidljivo je da je utvrđena vrijednost standardne devijacije(σ)[18] gotovo dvostruko veća od utvrđene vrijednosti aritmetičke sredine($\bar{x}$)[19] što uvjetuje potrebu za statističkim uređenjem uzorka.
Iz histograma S-15-099 je vidljivo da je gustoća intervala (G_K)[20] po pojedinim intervalima izrazito različita, a da je najveća upravo u prvom intervalu, što ga čini statistički reprezentativnom mjerom varijabiliteta.
Statistička analiza uzorka «OTP 415-1692» upravo ukazuje na potrebu za podjelom osnovnog uzorka na nekoliko područja, pri čemu je upravo područje sa vremenima izrade od 4 ch do 113,9474 ch najzastupljenije sa pozicijama uzorka, i u ABC krivulji predstavlja područje A. (Parettov dijagram), dok područje B predstavlja slijedeći interval u rasponu od 109,9474 ch, odnosno od 113,9474 do 223,8947 ch.

Kao temelj za oblikovanje regresijskih modela uzima se područje A u dijagramu, za koji se statistički pokazatelji prikazuju na slici 6.2 S-16-100

S-16 Statistički podaci zavisne varijable T0 za područje A (307 pozicija)

Desciptrive statistic	
Uzorak "OTP 394"	
Zavisna varijabla T0	
Mean	42,04
Standard Error	1,42
Median	37
Mode	32
Standard Deviation	24,95
Sample Variance	622,56
Kurtosis	0,20
Skewness	0,86
Range	108
Minimum	5
Maximum	113
Sum	12.905
Count	307

Bin	*Frequency*	*Cumulative %*
5	1	,33%
11,35294	16	5,54%
17,70588	32	15,96%
24,05882	38	28,34%
30,41176	30	38,11%
36,76471	33	48,86%
43,11765	28	57,98%
49,47059	33	68,73%
55,82353	19	74,92%
62,17647	20	81,43%
68,52941	10	84,69%
74,88235	11	88,27%
81,23529	7	90,55%
87,58824	8	93,16%
93,94118	6	95,11%
100,2941	5	96,74%
106,6471	4	98,05%
More	6	100,00%



Slika 6.2 Statistički pokazatelji zavisne varijable za uzorak od 307 pozicija

[18] srednje odstupanje pojedinačnih vrijednosti x_i od njihove aritmetičke sredine [22] L-22-1-016
[19] prosjek danog niza brojčanih podataka [24] L-24-1-033
[20] odnos broja pozicija uzorka i intervala varijacije, razmaka [22] L-22-1-017

Budući se u oblikovanju značajnih regresijskih modela teži modelima sa što manjim brojem nezavisnih varijabli, za pretpostaviti je da će u modelima biti uključene ***nezavisne varijable*** koje su ***izvedene iz međusobnog odnosa pojedinih nezavisnih varijabli***. Takve, složene, varijable u jednadžbama zauzimat će jedno mjesto, a objašnjavat će pojavu po više osnova.

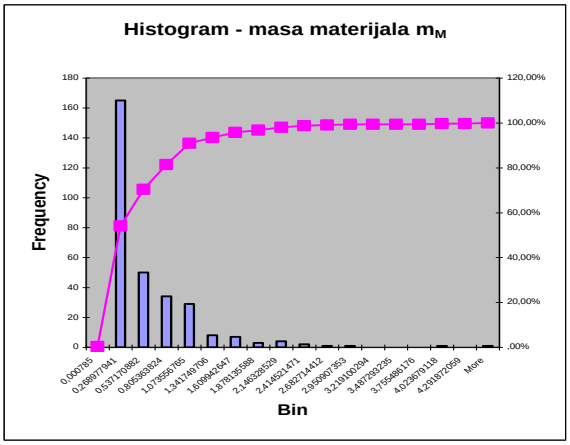
Na temelju slične analize uzorka kao i za zavisnu varijabli $T0$ izvršena je analiza uzorka obzirom na pretpostavljene najznačajnije složene varijable i utvrđena je potreba za izostavljanjem ukupno 3 pozicije iz uzorka, i to zbog :

- m_M **mase materijala izostavljaju se dvije pozicije**

  pozicije oznake 205620 i 210562, kao pozicije kod kojih je utvrđena najveća masa u uzorku (4 odnosno 4,56 kg). Ove pozicije značajno odstupaju od relativno ujednačene raspodjele masa preostalih pozicija u uzorku koji se kreću u intervalu od 0,000785 do 2,80 kg.

S-17 Raspodjela mase materijala u uzorku.

Bin	Frequency	Cumulative %
0,000785	1	,33%
0,268978	165	54,07%
0,537171	50	70,36%
0,805364	34	81,43%
1,073557	29	90,88%
1,34175	8	93,49%
1,609943	7	95,77%
1,878136	3	96,74%
2,146329	4	98,05%
2,414521	2	98,70%
2,682714	1	99,02%
2,950907	1	99,35%
3,2191	0	99,35%
3,487293	0	99,35%
3,755486	0	99,35%
4,023679	1	99,67%
4,291872	0	99,67%
More	1	100,00%



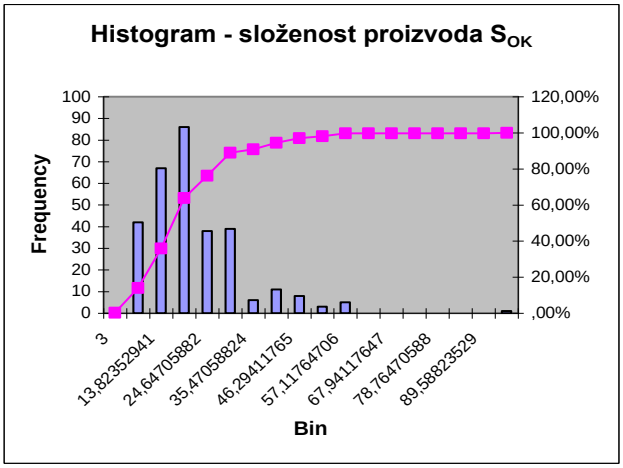
Slika 6.3 Statistički pokazatelji zavisne varijable za uzorak od 307 pozicija

- S_{OK} **složenost proizvoda**

  izostavlja se pozicija oznake 205282 sa 95 kao najvećom utvrđenom vrijednosti u uzorku, što značajno odstupa od vrijednosti u ostalim pozicijama u uzorku koje se kreću u intervalu od 3 do 57.

S-18 Grafičko tabelarni prikaz raspodjele nezavisne varijable složenosti proizvoda S_{OK}

Bin	Frequency	Cumulative %
3	1	,33%
8,411765	42	14,01%
13,82353	67	35,83%
19,23529	86	63,84%
24,64706	38	76,22%
30,05882	39	88,93%
35,47059	6	90,88%
40,88235	11	94,46%
46,29412	8	97,07%
51,70588	3	98,05%
57,11765	5	99,67%
62,52941	0	99,67%
67,94118	0	99,67%
73,35294	0	99,67%
78,76471	0	99,67%
84,17647	0	99,67%
89,58824	0	99,67%
More	1	100,00%



Slika 6.4 Statistički pokazatelji raspodjele nezavisne varijable «složenost proizvoda» u uzorku od 305 pozicija

Za napomenuti je da izostavljena pozicija po osnovu složenosti proizvoda, ujedno ima najveću vrijednost mase materijala od svih preostalih pozicija u uzorku nakon što su izuzete pozicije broj 205620 i 210562. Dakle, njeno izostavljanje iz uzorka ima opravdanje i po kriteriju mase materijala.

Nakon izostavljanja navedenih pozicija, izvršena je i analiza svih nezavisnih varijabli obzirom na ekstremne vrijednosti, pri čemu su uočena značajna odstupanja utvrđenih vrijednosti pojedinih nezavisnih varijabli.
Prvenstveno se to odnosi na izmjere materijala i izratka, i na njima izvedene nezavisne varijable.

Odstupanja su posljedica prvenstveno različitosti oblika polaznog materijala u cijelom uzorku, pa prema tome i različitih karakterističnih izmjera materijala po pozicijama uzorka. (Npr. za okrugle šipke debljina materijala je uvijek nula, a za plosnate šipke je vanjski promjer uvijek jednak nuli).
Ova odstupanja uzorka ne mogu se riješiti izostavljanjem pozicija iz uzorka, nego se rješavaju podjelom uzorka na više područja, upravo prema obliku polaznog materijala.
Rješenje je izbor grana OTP-a, pri čemu se očekuje da će osnovni regresijski model preko cijelog uzorka dati lošije rezultate od rezultata koje će dati grane OTP-a koje pokrivaju određeni oblik materijala.

Prilikom analize **ekstremnih vrijednosti svih nezavisnih varijabli** utvrđena je potreba za izostavljanjem još dviju pozicija iz uzorka, po osnovi nezavisnih varijabli koje se ne odnose na oblik materijala, i to:

- K_O **broj običnih kota**

  izostavlja se pozicija oznake 204628, sa 48 kao najvećom utvrđenom vrijednosti u uzorku, što značajno odstupa od vrijednosti u ostalim pozicijama u uzorku, koje se kreću u intervalu od 1 do 36.

- G_M **obujamska masa materijala**

  izostavlja se pozicija oznake 204285, sa 2.750 kg/m^3 kao najmanjom utvrđenom vrijednosti u uzorku, što značajno odstupa od vrijednosti u ostalim pozicijama u uzorku, koje se kreću u intervalu od 7.350 do 8.900 kg/m^3.
  Radi se o poziciji iz aluminija (oznaka kvalitete materijala $AD36 = ZN02 = Al99{,}8$).

  Ovime je **utvrđen konačni uzorak** na kojem se temelji oblikovanje regresijskih modela za procjenu vremena izrade proizvoda, a **koji sadrži 302 pozicije**, što obuhvaća 68,17 % pozicija osnovnog uzorka koji je brojio 443 pozicije.

6.1.3 Matrice podataka za oblikovanje regresijskih modela

Sve matrice potrebne za kvantificiranje pojedinih regresijskih modela izvedene su iz matrice podataka «M 415-168». P-E-000

Obzirom da nezavisne varijable regresijskih modela mogu biti isključivo brojčani podaci, i da po standardnoj pretpostavci u modelima višestruke regresije[21] ne bi trebala postojati linearna zavisnost između nezavisnih varijabli, iz temeljne matrice podataka «M 415-168» izostavljeno je 18 podataka i to:

- **9 podataka vezanih uz karakteristike crteža**
  nisu brojčani podaci
- **2 podatka vezana uz polazni materijal**
  nisu brojčani podaci (oblik polaznog materijala i vrsta prerade polaznog materijala)
- **3 podatka vezana uz oznake grupa OTP-a**
  nisu brojčani podaci, a i klasifikacija dijelova vršit će se po granama OTP-a, a ne po tipovima OTP-a
- **4 podatka vezana uz zahtijevnost proizvoda**
  izostavljaju se iz matrice podataka nezavisne veličine vezane uz zahtjeve proizvoda, čije vrijednosti su iskazane u njihovom prirodnom obliku (Z_H; Z_G; Z_M i Z_p), a zadržavaju se u matrici podataka za daljnju obradu varijable sa utvrđenim njihovim inverznim vremenom ($Z_H^{-1} = \frac{1}{Z_H}$; $Z_G^{-1} = \frac{1}{Z_G}$; $Z_M^{-1} = \frac{1}{Z_M}$ i $Z_P^{-1} = \frac{1}{Z_P}$).
  Razlog zadržavanja nezavisnih varijabli vezanih uz zahtjeve proizvoda sa inverznim vrijednostima temelji se na rezultatima prethodnog istraživanja gdje su modeli sa ovim varijablama imali manju grešku, a što se potvrdilo i testiranjem osnovnog modela.
  Testiranjem na osnovnom modelu od 302 pozicije razlika nije bila značajna, ali je model sa inverznim vrijednostima imao manju vrijednost slobodnog koeficijenta α, što nagovještava bolje procjene i pri manjim vrijednostima potrebnih vremena izrade.

Dakle, matrica podataka potrebna za regresijsku analizu imat će 150 stupaca (168 – 18).
Za regresijsku analizu pripremljena je osnovna tablica podataka u MS Excelu, koja se importira u aplikaciju MATLAB kao matrica od 302 reda (pozicije uzorka) i 150 stupaca (nezavisne i zavisne varijable)
Pri tome će za bilo koji model prva 50 stupaca zauzimati uvijek iste nezavisne varijable, stupac 51 odnosi se na ukupno komadno vrijeme izrade i potreban je u svakom regresijskom modelu. Podaci u stupcima od 52 do 150 odnose se na pojedine tehnološke postupke, tehnološke cjeline, ili proizvodne odjele. Preostali stupci neće se koristiti u samoj regresijskoj analizi, ali ostaju u matrici, prvenstveno zbog potrebe za analizom koeficijenta vremena (k_t).

Broj redaka u matrici mijenja se obzirom na broj pozicija koje su uključene u pojedini regresijski model.
Na temelju tablice podataka « M 415-168» P-E-000 moguće je rekonstruirati svaku ulaznu matricu za oblikovanje regresijskih modela, te se one u ovom radu, a ni u prilozima ovog rada ne navode.

[21] [24] : « Matrica ulaznih podataka X ima rang r (r < n), što znači da ne postoji linearna zavisnost između ulaznih varijabli « L-24-1-303

6.1.4 Značajni regresijski modeli

Na temelju prethodnog oblikovanja regresijskih modela razriješene su dvojbe oko elemenata na temelju kojih će se oblikovati regresijski modeli za procjenu vremena izrade, odnosno stvorene su pretpostavke za oblikovanje ***značajnih regresijskih modela***.
Značajni regresijski modeli odabiru se na temelju područja uzorka koji obuhvaćaju, i na temelju kvalitete kojom na tom području procjenjuju vrijeme izrade, pri čemu su ova dva zahtjeva u međusobnoj koliziji. U pravilu će općenitiji model (koji pokriva veće područje uzorka) lošije procjenjivati vrijeme izrade od kvalitetnijeg posebnog modela za određeno uže područje.

Iznalaženje kompromisnog rješenja zadaća je kreatora regresijskih modela, a svodi se na pronalaženje one matematičke funkcije koja sa što manjim brojem nezavisnih varijabli bolje procjenjuje vrijeme izrade, pri čemu se mora voditi računa i o dovoljnom broju pozicija u uzorku na koje se model temelji.

Za podjelu na cjeline na kojima će se temeljiti regresijski modeli izabrana je metoda grana OTP-a.
Grane OTP-a formiraju se u prvoj hijerarhijskoj razini prema obliku polaznog materijala, a potom obzirom na broj pozicija prema odgovarajućim kriterijima za svaku pojedinu novu granu OTP-a.

Osnovna grana OTP-a (**A0000**), koja obuhvaća sve pozicije odabranog uzorka (za koje vrijedi uvjet da je $4ch > T > 114ch$) podijeljena je na 5 cjelina po kriteriju polaznog obliku materijala (oznaka A00mn)
Za oblik materijala «Okrugla šipka» kao model sa najvećim brojem pozicija u uzorku izvršena je još i dodatna podjela na 4 modela u dvije razine.
Okrugle cijevi zastupljene su u uzorku sa svega 6, a odljevci sa 5 pozicija, pa se za njih ne oblikuju regresijski modeli zbog premalog broja pozicija u uzorku.

Kao ***značajni regresijski modeli*** za procjenu vremena izrade, utvrđuju se:

- **A0000 - osnovni model**
- **A00B1 - okrugle šipke**
- **AB101 - osovine**
- **AB1C1 - diskovi**
- **AC102 - diskovi sa povišenim zahtjevima kvalitete**
- **AB103 - ostali rotacijski dijelovi**
- **A0004 - plosnate šipke**
- **A0005 - ploče (limovi)**

Izbor nezavisnih varijabli i njihovi koeficijenti u svakom regresijskom modelu izvršeni su korištenjem «stepwise» alata iz statističkog dijela aplikacije MatLAb. Pri tome su korištene obje metode, i metoda unaprijed i unatrag, ali su rješenja temeljena uglavnom na optimalnim rezultatima modela sa uključenih 7 nezavisnih varijabli u model.

U cilju preglednosti podataka pri oblikovanju regresijskih modela nezavisne varijable su u matematičkoj obradi označene kao veličine X, a zavisna varijabla kao Y, pri čemu vrijede slijedeće oznake:

- **zavisne varijable**

  Napominje se još jednom da su svi regresijski modeli temeljeni na tehnološko pomoćnom vremenu (t_{tp}).

  Budući je za analizu rezultata potrebno poznavati i utvrđeno i procijenjeno vrijeme izrade potrebno ih je označiti različito. Kako je grana OTP-a označena sa 5 slovno brojčanih znakova, tako će i svaka zavisne varijable u indeksu imati isti broj znakova Općenito, svaka varijabla kod analize rezultata regresijskog modela označava se indeksom (RM), koji će za pojedine regresijske modele biti oznaka od 5 slovno brojčanih znakova.

  Pet je oznaka vezanih uz zavisne varijable, i to:

  - t_{RM} - *potrebno vrijeme izrade (utvrđeno u uzorku)*
  - $\hat{t}_{RM}$ - *procijenjeno vrijeme izrade regresijskim modelom*
  - Δ_{RM} - *apsolutna greška procijene, koja se određuje po jednadžbi:*

    $$\Delta_{RM} = t_{RM} - \hat{t}_{RM} \quad \text{.....} \quad (6.2)$$

  - δ_{RM} - *relativna greška procijene, koja se određuje po jednadžbi:*

    $$\delta_{RM} = \frac{\Delta_{RM}}{t_{RM}} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (6.3)$$

  - Γ_{RM} - *greška modela (postotni odnos standardne devijacije apsolutne greške procjene i prosječne vrijednosti procijenjenog vremena izrade za granu OTP-*

    $$\Gamma_{RM} = \frac{\sigma(\Delta_{RM})}{\bar{x}(\hat{t}_{RM})} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (6.4)$$

- **nezavisne varijable**

  nezavisnih varijabli ima 50, pri čemu je svaka označena posebnom oznakom i posebno opisana u testu ovog rada.

  Zbog preglednosti prilikom oblikovanja i analiziranja regresijskih modela svaka nezavisna varijabla označena je oznakom XN pri čemu N ide od 1 do 50.

  Ova oznaka je za svaku nezavisnu varijablu nepromjenljiva i vrijedi za sve regresijske modele, što znači da se unutar svakog pojedinog modela nezavisne varijable ne označavaju oznakama od X1, X2, X3... do maksimalno X7 (ograničenje modela na maksimalno 7 nezavisnih varijabli), nego jedinstvenom oznakom nezavisne varijable, bez obzira na redoslijed njenog uvrštavanja u jednadžbu.

Iako su sve nezavisne varijable detaljno opisane u tekstu ovog rada, zbog lakšeg snalaženja za korisnike ovog rada sve nezavisne varijable koje ulaze u obradu pri oblikovanju regresijskih modela prikazane su još jednom u zajedničkoj tablici, kao nezavisne varijable za regresijsko modeliranje. T-26 [T-261-1-106]

Pri tome se za svaku nezavisnu varijablu navode i podaci o njenom nazivu, oznaci u ovom radu, jedinici mjere.

U slučaju kada se radi o složenim nezavisnim varijablama, navedene su i međusobni odnosi njihovih elementa, i to iskazani jednadžbama sa oznakama korištenim u tekstu ovog rada, ali i oznakama korištenim u samom procesu matematičkog modeliranja.

T-26 Tablica nezavisnih varijabli u oblikovanju regresijskih modela 01-01

NEZAVISNE VARIJABLE U OBLIKOVANJU REGRESIJSKIH MODELA

Označavanje nezavisnih varijabli u oblikovanju			OPIS VARIJABLE		
MatLab	**Tekst**		**Jedinica mjere**	**Jednadžbe**	
	Naziv	**Oznaka**		Oznake u tekstu	MatlLab
X1	Red tolerancije vanjskog promjera	R_T	IT		
X2	Vanjski promjer materijala	Φ_M	mm		
X3	Unutarnji promjer materijala	φ_M	mm		
X4	Širina materijala	B_M	mm		
X5	Debljina materijala	d_M	mm		
X6	Duljina materijala	L_M	mm		
X7	Broj listova	N_L	komad		
X8	Hrapavost slobodnih površina	S_H	razred h		
X9	Tvrdoća izratka	Z_T	HRc		
X10	Vanjski promjer izratka	Φ_I	mm		
X11	Unutarnji promjer izratka	φ_I	mm		
X12	Širina izratka	B_I	mm		
X13	Debljina izratka	d_I	mm		
X14	Duljina izratka	L_I	mm		
X15	Broj pogleda	N_P	komad		
X16	Broj opisa	N_O	komad		
X17	Broj oznaka hrapavosti	N_H	komad		
X18	Broj oznaka položaja (geometrije)	N_G	komad		
X19	Broj toleriranih kota	K_T	komad		
X20	Broj posebnih kota	K_P	komad		
X21	Broj običnih kota	K_O	komad		
X22	Hrapavost zahtjev Ra	Z_H^{-1}	1/razred		
X23	Položaj zahtjev (geometrija)	Z_G^{-1}	1/mm		
X24	Mjera zahtjev	Z_M^{-1}	1/mm		
X25	Promjer zahtjev	Z_P^{-1}	1/IT		
X26	Površina crteža	A_F	mm^2	baza znanja	
X27	Odnos mjera na crteži i izratku	O_M	broj	baza znanja	
X28	Obujamska masa materijala	G_M	kg/m^3	baza znanja	
X29	Vlačna čvrstoća materijala	R_M	N/mm^2	baza znanja	
X30	Potrebna površina crteža	A_C	m^2	N_L x A_F / O_M	X7 x X26 / X27
X31	Masena čvrstoća materijala	M_K		G_M / R_M	X28 / X29
X32	Debljina stjenke izratka	s_I	mm	$(\Phi_I-\varphi_I)$ / 2	(X10-X11) / 2
X33	Odnos promjera i duljine	O_Φ		Φ_I / L_I	X10 / X14
X34	Odnos debljine stjenke i duljine	O_s		s_I / L_I	X32 / X14
X35	Odnos širine i duljine	O_B		B_I / L_I	X12 / X14
X36	Odnos debljine i duljine	O_d		d_I / L_I	X13 / X14
X37	Odnos širine i debljine	O_P		B_I / d_I	X12 / X13
X38	Broj svih oznaka	N_{SO}	komad	$N_P+N_O+N_H+N_G$	X15+X16+X17+X18
X39	Broj svih kota	N_{SK}	komad	$K_T + K_P + K_O$	X19+X20+X21
X40	Složenost izratka	S_{OK}		$N_{SO} + N_{SK}$	X38+X39
X41	Broj oznaka hrapavosti i geometrije	N_{HG}	komad	$N_H + N_G$	X17+X18
X42	Razlika hrapavosti	Δ_H	razred h	$S_H – (1 / Z_H^{-1})$	X8-(1 / X22)
X43	Površina oplošja materijala	A_M	dm^2	prema tablici	T-21-1-073
X44	Volumen materijala	V_M	cm^3	prema tablici	T-21-1-073
X45	Masa materijala	m_M	kg	V_M x G_M / 10^{-6}	X28 x X44 / 10^{-6}
X46	Razlika vanjskog promjera	$\Delta\Phi$	mm	$\Phi_M – \Phi_I$	X2-X10
X47	Razlika unutarnjeg promjera	$\Delta\varphi$	mm	$\varphi_I - \varphi_M$	X11-X3
X48	Razlika širine	ΔB	mm	$B_M - B_I$	X4-X12
X49	Razlika debljine	Δd	mm	$d_M - d_I$	X5-X13
X50	Razlika duljine	ΔL	mm	$L_M - L_I$	X6-X14

Oblikovano je 8 regresijskih modela, klasificiranih prvenstveno po obliku polaznog materijala, koji međusobno povezani čine cjelovito rješenje koje «pokriva» cijeli uzorak.
Rezultati svakog pojedinog regresijskih modela iziskuje 1 obrazac formata A4, pa je za prikaz svih modela potrebno 8 stranica. Iako je bilo moguće rezultate regresijskih modela izdvojiti u poseban prilog ovog rada, kao što je za opsežnije prikaze do sada bilo pravilo u ovom radu, svih 8 obrazaca ostaju kao tekst osnovnog rada.
Regresijski modeli međusobno su povezani i predstavljaju zajedničko rješenje, koje kao takvo treba biti zajednički i prikazano.

Napominje se da su nezavisne varijable uključene u model u obrascima navedene po redoslijedu uključivanja u model, drugim riječima, po značaju na zavisnu varijablu.

Obzirom da su regresijski modeli oblikovani samo za OTP vrijeme izrade $\frac{\text{O-04-017}}{}$ kao zavisnu varijablu, predviđene kolone za pojedine zavisne varijable pojedinih tehnoloških postupaka, cjelina i proizvodnih odjela ostale su nepopunjene, a na tom mjestu, u tablicu su umetnuti grafički prikazi rezultata pojedinih modela.

Grafički prikazi standardni su dio ispisa podataka aplikacije MatLab u kojoj je vršena regresijska analiza, pri čemu je za svaki model grafički prikazan utjecaj upravo najznačajnije nezavisne varijable na zavisnu. Kao što je na dijagramu i naznačeno prikazani utjecaj najznačajnije varijable u zavisnosti je sa djelovanjem drugih nezavisnih varijabli uključenih u regresijski model.

Grafički prikaz najzornije ukazuje na prednosti i nedostatke modela, ali i mogućnosti poboljšanja rješenja koje se prije svega očituje u utjecaju uzorka na rješenje. Iz toga proizlazi potreba za izradom generalnog uzorka na kojem će stvoriti generalni model OTP-a primjenljiv za bilo koju tvrtku strojarske proizvodne djelatnosti.
Pri tome se podrazumijeva da bi generalni model trebao u statistički dovoljnom broju, obuhvatiti dijelove koji se proizvode sa različitim strojarskim tehnologijama. Time bi se znatno proširilo područje primjenljivosti modela, prvenstveno sa stanovišta značajnih tehnoloških postupaka, a onda i intervala pojedinih nezavisnih varijabli.

T-27	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL A0000

GRANA OTP-a			A0000	CIJELI UZORAK
1	Uvjeti klasifikacije			NEMA POSEBNIH UVJETA
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

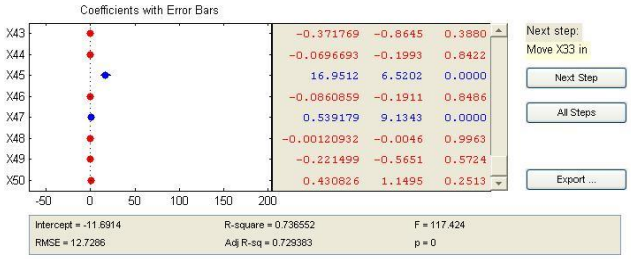
ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{A0000}	$\hat{t}_{A0000}$	Δ_{A0000}	δ_{A0000}	Γ_{A0000}
1	Minimalna vrijednost	min	5	7	-33	-261,46%	30,38%
2	Maksimalna vrijednost	max	113	117	54	63,44%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	41,41	41,41	0	-12,23%	
4	Standardna devijacija	σ	24,51	21,03	12,58	42,71%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	5,30	4,34	$\hat{t}_{pz,A0000} = 4{,}34 \times \hat{t}_{tp,A0000}$		
7		K_{σ}	2,86				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,34				

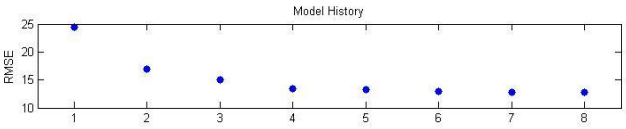
NEZAVISNE VARIJABLE					KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
Varijabla			min	max	
Slobodni član α					-11,6914
1	**X45**	m_M	0,0008	2,66	16,9512
2	**X40**	S_{OK}	3	57	1,21909
3	**X47**	$\Delta\varphi$	0	75	0,539179
4	**X22**	Z_H^{-1}	0,08	0,33	127,471
5	**X18**	N_G	0	6	-3,2436
6	**X32**	s_I	0	111,50	0,1541
7	**X6**	L_M	3	430	0,0316851

$$\hat{t}_{tp,A0000} = -11{,}69 + 16{,}95 \times m_M + 1{,}22 \times S_{OK} + 0{,}54 \times \Delta\varphi + $$
$$+ 127{,}47 \times Z_H^{-1} - 3{,}24 \times N_G + 0{,}15 \times s_I + 0{,}03 L_M$$

KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

Kao što je i očekivano za osnovni model u jednadžbe su pretežito uključene složene nezavisne varijable.
X22 - zahtjev hrapavosti može se smatrati reprezentativnom varijablom ostalih varijabli zahtjeva obzirom na međusobnu povezanost hrapavosti tolerancija oblika i mjera.
Smjer (predznak) koeficijenata je očekivan.
X18 se dvostruko pojavljuje u jednadžbi, a kao samostalna ima negativan koeficijent zbog ravnotežu svojoj uključenosti u varijablu ***X40.***

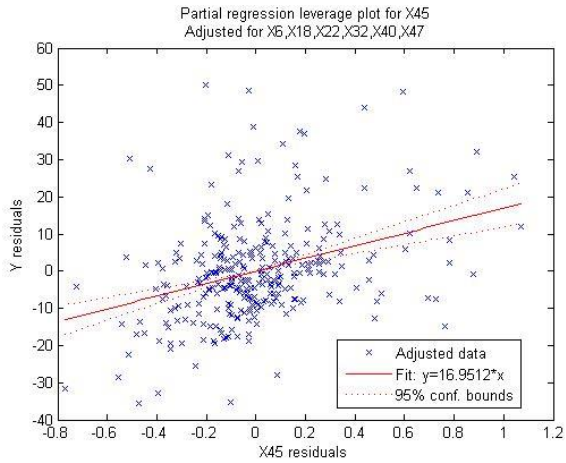




REZULTATI MODELA				$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$						
VARIJABLA			n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{A0000}$		7	0,736552	0,729383	12,7286	117,424	0	302	30,74%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Modeliranje je izvršeno postupkom unaprijed.
Potpuni model (bez ograničenja na 7 nezavisnih varijabli) imao bi 10 uključenih varijabli sa r^2 = 0,749538 i RMSE= 12,48.
Od 10 varijabli koje su činile potpuni model, iz jednadžbi su izostavljene tri, i to:
X8 – hrapavost slobodnih površina
X19 – broj toleriranih kota
X33 – odnos promjera i duljine



T-28	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

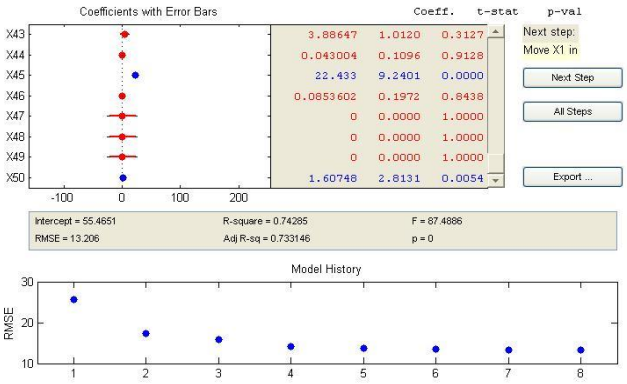
REGRESIJSKI MODEL A00B1

GRANA OTP-a			A00B1	OKRUGLE ŠIPKE
1	Uvjeti klasifikacije			**A0000** AND **ZN05 Like »Okrugla šipka»**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{A00B1}	$\hat{t}_{A00B1}$	Δ_{A00B1}	δ_{A00B1}	Γ_{A00B1}
1	Minimalna vrijednost	min	6	-2	-30	-253,67%	30,44%
2	Maksimalna vrijednost	max	113	122	52	120,12%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	42,67	42,67	0	14,09%	
4	Standardna devijacija	σ	25,62	22,08	12,99	47,02%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	5,82	4,61	$\hat{t}_{pz,A00B1} = 4{,}61 \times \hat{t}_{tp,A00B1}$		
7		K_{σ}	2,77				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,61				

NEZAVISNE VARIJABLE					KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
	Varijabla		min	max	
	Slobodni član α				55,4651
1	**X45**	m_M	0,0008	2,66	22,433
2	**X40**	S_{OK}	3	57	1,16221
3	**X11**	φ_I	0	75	0,430107
4	**X50**	Δ_L	0	18	1,60748
5	**X8**	S_H	6	13	-5,40881
6	**X18**	N_G	0	6	-3,26041
7	**X42**	Δ_H	0	7	1,78711

$$\hat{t}_{tp,A00B1} = 55{,}47 + 22{,}43 \times m_M + 1{,}162 \times S_{OK} + 0{,}43 \times \varphi_I + \\ + 1{,}61 \times \Delta_L - 5{,}41 \times S_H - 3{,}26 \times N_G + 1{,}78 \times \Delta_H$$



KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

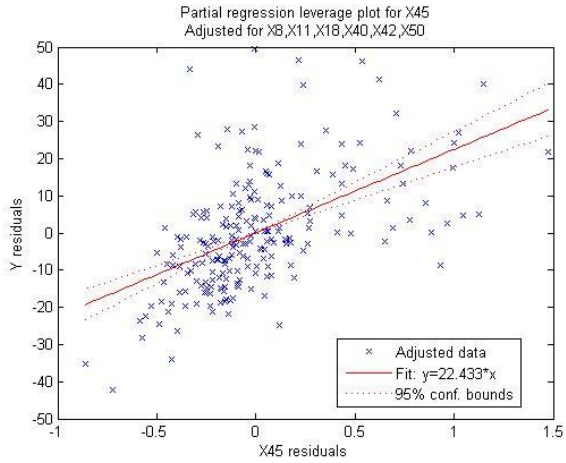
I u ovom modelu pretežito su zastupljene složene varijable.
X11 - unutarnji promjer izratka zauzima značajno mjesto budući se radi o rotacijskim dijelovima
Hrapavost je dvostruko zastupljena, kao osnovna **X8** i razlika osnovne i zahtijevane **X42**, što ukazuje na značaj hrapavosti.
Smjer (predznak) koeficijenata je očekivan.
X18 – vrijedi isto kao u modelu A0000.

REZULTATI MODELA				$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$						
	VARIJABLA		n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{A00B1}$		7	0,74285	0,733146	13,206	87,4886	0	220	30,95%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Modeliranje je izvršeno postupkom unaprijed.
Potpuni model (bez ograničenja na 7 nezavisnih varijabli) imao bi 9 uključenih varijabli sa r^2 = 0,754414 i RMSE= 12,97.
Od 9 varijabli koje su činile potpuni model, iz jednadžbi su izostavljene dvije, i to:
X1 – red tolerancije vanjskog promjera
X26 – površina crteža

Model je sličan modelu A00B1, što je očekivano budući da predstavlja 72,85% osnovnog uzorka.



T-29	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL AB101

GRANA OTP-a			AB101	OSOVINE
1	Uvjeti klasifikacije			**A00B1** AND **X33 ≤ 0,33**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{AB101}	$\hat{t}_{AB101}$	Δ_{AB101}	δ_{AB101}	Γ_{AB101}
1	Minimalna vrijednost	min	6	-4	-26	-293,39%	23,85%
2	Maksimalna vrijednost	max	111	100	30	160,55%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	49,40	49,40	0,00	-11,94%	
4	Standardna devijacija	σ	26,86	24,14	11,78	56,46%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	5,45	4,30	$\hat{t}_{pz,AB101} = 4{,}30 \times \hat{t}_{tp,AB101}$		
7		K_{σ}	3,08				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,30				

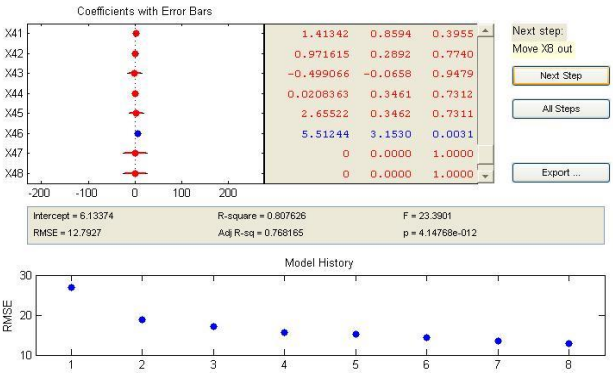
NEZAVISNE VARIJABLE

	Varijabla		min	max	KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
	Slobodni član α				6,13374
1	**X2**	Φ_M	3	40	0,829061
2	**X39**	N_{SK}	2	47	1,26818
3	**X8**	S_H	6	13	-3,29213
4	**X46**	$\Delta\Phi$	0	5	5,51244
5	**X18**	N_G	0	5	-6,86298
6	**X6**	L_M	15	333	0,0894941
7	**X22**	Z_H^{-1}	0,10	0,33	124,326

$$\hat{t}_{tp,AB101} = 6{,}13 + 0{,}83 \times \Phi_M + 1{,}27 \times N_{SK} - 3{,}30 \times S_H + $$
$$+ 5{,}51 \times \Delta_\Phi - 6{,}86 \times N_G + 0{,}09 \times L_M + 124{,}33 \times Z_H^{-1}$$

KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

I u ovom modelu pretežito su zastupljene jednostavne varijable.
X39 – broj svih kota i
X18 – broj oznaka geometrije značajniji su pojedinačno u modelu nego složena varijabla (npr. N_{SO})
Izmjere materijala **X2** i **X6** očekivano su značajnije od npr, volumena ili mase materijala
Hrapavost je dvostruko zastupljena, kao osnovna **X8** i zahtijevana **X22**, što ukazuje na značaj hrapavosti.



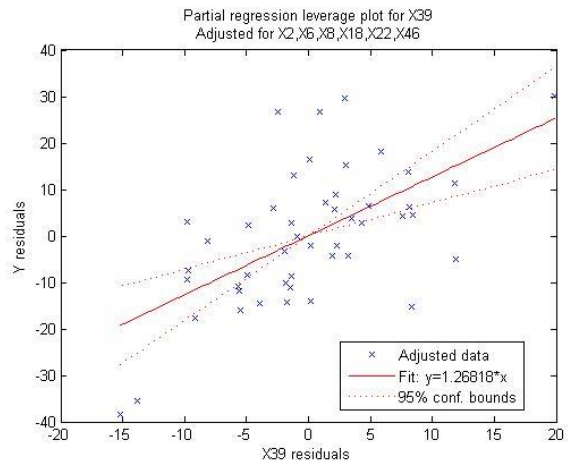
REZULTATI MODELA

$$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$$

	VARIJABLA		n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{AB101}$		7	0,807626	0,768165	12,7927	23,3901	4e-12	47	25,90%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Model obuhvaća uže područje rotacijskih dijelova, pa očekivano daje bolje rezultate nego model temeljen na grani A00B1, kojoj s mogu pridružiti svi rotacijski dijelovi.
No grana OTP-a koja pokriva osovine još je uvijek široko područje, koje je moguće podijeliti na segmente, i preko njih tražiti točnije pravce regresije.
Različiti su mogući kriteriji podjele osovina na grane niže hijerarhije, kao prva podjela nameće se podjela na pune osovine za što bi daljnji klasifikator bio **X11=0**, ili na šuplje, za što bi daljnji klasifikator bio **X11>0** (X11 je unutarnji promjer izratka)
Zbog ograničenog broja pozicija u uzorku u ovom radu se ne vrši daljnje podjela na hijerarhijski niže grane OTP-a po hijerarhijskoj liniji «OSOVINA»



T-30	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL AB1C1

GRANA OTP-a			AB1C1	DISKOVI
1	Uvjeti klasifikacije			**A00B1** AND **X33 > 1**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{AB1C1}	$\hat{t}_{AB1C1}$	Δ_{AB1C1}	δ_{AB1C1}	Γ_{AB1C1}
1	Minimalna vrijednost	min	8	2	-23	-90,09%	23,49%
2	Maksimalna vrijednost	max	113	106	49	79,32%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	43,00	43,00	0,00	-5,03%	
4	Standardna devijacija	σ	23,14	20,82	10,10	27,18%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	5,46	4,59	$\hat{t}_{pz,AB1C1} = 4{,}59 \times \hat{t}_{tp,AB1C1}$		
7		K_{σ}	2,26				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,59				

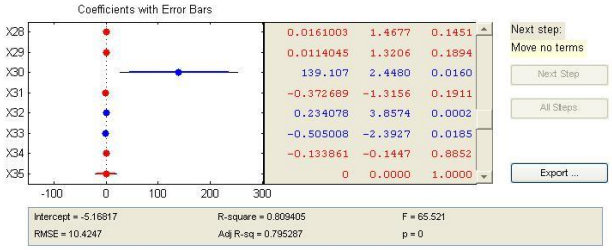
NEZAVISNE VARIJABLE — **KOEFICIJENTI JEDNADŽBE** β

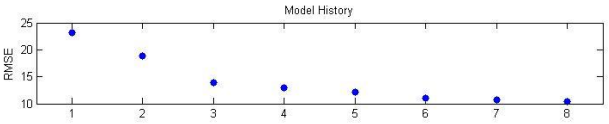
	Varijabla		min	max	
	Slobodni član α				-5,16817
1	**X47**	$\Delta\varphi$	0	75	0,723719
2	**X40**	S_{OK}	4	34	0,927538
3	**X20**	K_P	0	3	5,24883
4	**X24**	Z_M^{-1}	2,5	55,56	0,52175
5	**X30**	A_C	0,012	0,125	139,107
6	**X32**	s_I	2	111,50	0,234078
7	**X33**	O_Φ	1,04	36	-0,505008

$$\hat{t}_{tp,AB1C1} = -5{,}17 + 0{,}73 \times \Delta_\varphi + 0{,}93 \times S_{OK} + 5{,}25 \times K_P + $$
$$+ 0{,}52 \times Z_M^{-1} + 139{,}11 \times A_C + 0{,}23 \times s_I - 0{,}51 \times O_{\Phi/L}$$

KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

Očekivano je najznačajnija varijabla upravo **X47** - razlika unutarnjeg promjera, jer ona iziskuje dodatne obrade (bušenje, ili unutarnje tokarenje koje u pravilu ide sa manjim režimima od vanjskog tokarenja. **X30** – površina crteža nije očekivana u modelu, ali budući da nema ni jedne varijable vezane uz brojeve oznaka na crtežu, pretpostavlja se da su one zastupljene kroz upravo korelaciju sa X30.



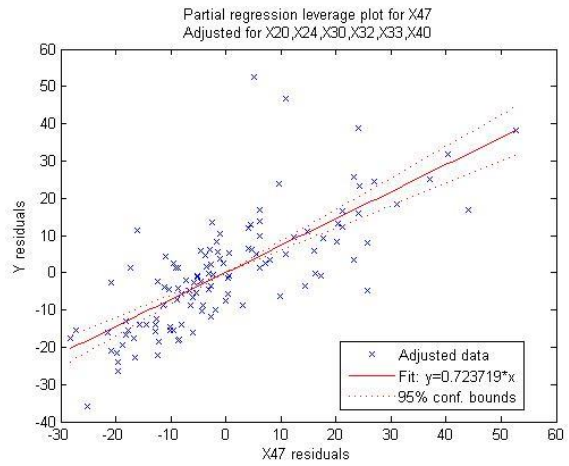


REZULTATI MODELA — $\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$

VARIJABLA		n_{nv}	r²	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{AB1C1}$	7	0,809405	0,795287	10,4247	65,521	0	116	24,24%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Ovaj model obuhvaća suprotno područje od modela AB101, a i kod njega je ista nezavisna varijabla **X33** odnos promjera i duljine uključena u model po dvije osnove, kao klasifikator za izbor grane OTP-a. Time se pokazuje da je očekivanje da se u jednadžbi ne pojavi klasifikator grane OTP-a, ili pogrešno, ili da je moguće uzorak po istom klasifikatoru podijeliti na još manja područja. To znači da se može napraviti više finijih uvjeta na vrijednost klasifikatora, odnosno da se može kreirati više grana OTP-a, pa samim time i modela OTP-a. Rezultat modela je približno jednak rezultatima modela AB101, koji je na istoj hijerarhijskoj razini kao i promatrani model ABV1C1 (prva grana ispod okruglih šipki)



T-31	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL AC102

GRANA OTP-a			AC102	DISKOVI – FINO OBRAĐENI
1	Uvjeti klasifikacije			**AB1C1** AND **X25 > 0,143**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

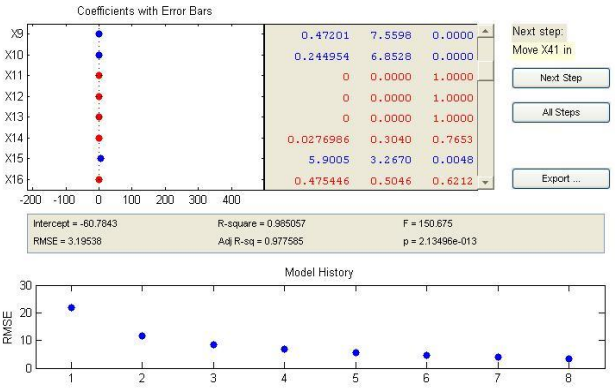
ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{AC102}	$\hat{t}_{AC102}$	Δ_{AC102}	δ_{AC102}	Γ_{AC102}
1	Minimalna vrijednost	min	10	10	-6	-32,71%	**7,20%**
2	Maksimalna vrijednost	max	93	92	5	17,71%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	39,88	39,87	0	0,05%	
4	Standardna devijacija	σ	21,80	21,64	2,87	10,26%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	5,87	4,83	$\hat{t}_{pz,AC102} = 4{,}83 \times \hat{t}_{tp,AC102}$		
7		K_{σ}	2,43				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,83				

NEZAVISNE VARIJABLE

	Varijabla		min	max	
	Slobodni član α				-60,7843
1	**X47**	$\Delta\varphi$	0	68	0,588626
2	**X9**	Z_T	10	58	0,47201
3	**X1**	R_T	5	12	0,738464
4	**X10**	Φ_I	12	100	0,244954
5	**X39**	N_{SK}	2	15	0,84307
6	**X25**	Z_P^{-1}	0,17	0,20	291,072
7	**X15**	N_P	1	2	5,9005

KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β

$$\hat{t}_{tp,AC102} = -60{,}78 + 0{,}59 \times \Delta\varphi + 0{,}47 \times Z_T + 0{,}74 \times R_T + $$
$$+ 0{,}25 \times \Phi_I + 0{,}84 \times N_{SK} + 291{,}07 \times Z_P^{-1} + 5{,}9 \times N_P$$



KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

X47 – razlika unutarnjeg promjera jedina je zajednička varijabla ovog modela sa modelom kojem hijerarhijski pripada (AB1C1) To je i razumljivo, budući da varijable iz hijerarhijski višeg modela utječu na promatrani model kao klasifikatori. Ostanak varijable **X7** i u ovom modelu samo potvrđuje njen značaj koji ima za rotacijske dijelove. Nezavisne varijable **X9** – tvrdoća izratka i **X1**- red tolerancije vanjskog promjera prvi puta se pojavljuju u modelima.

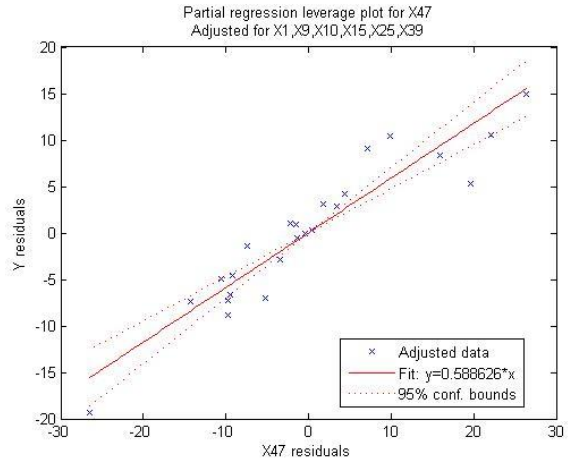
REZULTATI MODELA

$$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$$

VARIJABLA			n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{AC102}$		7	0,985057	0,977585	3,19538	150,67	2e-13	24	8,01%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Ovaj model očekivano ima bolje rezultate od modela na kojem se temelji, budući «pokriva» uže područje.
Iako je temeljen samo na 24 pozicije uzorka može se smatrati da su rezultati modela prihvatljivi za procjenu vremena novih, budućih pozicija koje se mogu pridružiti grani OTP-a na kojoj je temelje.
Naravno, vodeći pri tom i računa o ograničenjima vezanim uz nezavisne varijable . Ograničenja su prikazana uz svaku odabranu nezavisnu varijablu kao interval između minimalne i maksimalne vrijednosti varijable u uzorku na kojem je temeljen regresijski model za procjenu vremena nazvan AC102.
Rezultati modela značajno su bolji od rezultata hijerarhijski viših modela.



T-32	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL AB103

GRANA OTP-a			AB103	RAZNI ROTACIJSKI DIJELOVI
1	Uvjeti klasifikacije			**A00B1** AND **1 ≥ X33 > 0,33**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

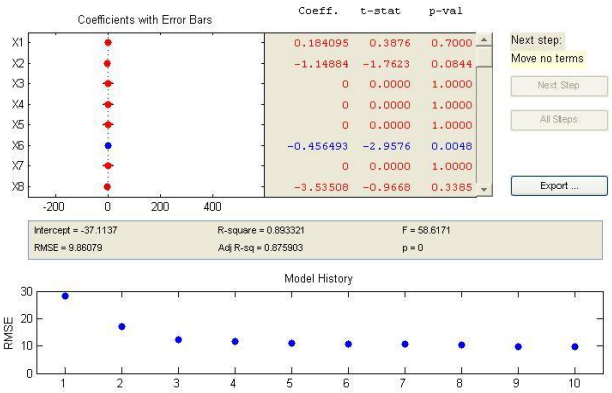
ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{AB103}	$\hat{t}_{AB103}$	Δ_{AB103}	δ_{AB103}	Γ_{AB103}
1	Minimalna vrijednost	min	6	5	-21	-113%	25,06%
2	Maksimalna vrijednost	max	112	109	26	44,24%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	36,44	36,44	0	-3,23%	
4	Standardna devijacija	σ	28,24	26,69	9,22	33,65%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	6,87	5,01	$\hat{t}_{pz,AB103} = 5{,}01 \times \hat{t}_{tp,AB103}$		
7		K_{σ}	3,20				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	5,01				

NEZAVISNE VARIJABLE					KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
	Varijabla		min	max	
	Slobodni član α				-37,1137
1	**X40**	S_{OK}	5	45	0,941031
2	**X29**	R_M	200	950	0,026875
3	**X26**	A_F	0,062	0,125	319,221
4	**X23**	Z_G^{-1}	2,5	200	0,12507
5	**X43**	A_M	0,02	2,01	114,67
6	**X45**	m_M	0,002	1,66	-80,9827
7	**X6**	L_M	8	108	-0,456493

$$\hat{t}_{tp,AB103} = -37{,}11 + 0{,}94 \times S_{OK} + 0{,}03 \times R_M + 319{,}22 \times A_F + \\ + 0{,}13 \times Z_G^{-1} + 114{,}67 \times A_M - 80{,}98 \times m_M - 0{,}46 \times L_M$$

KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

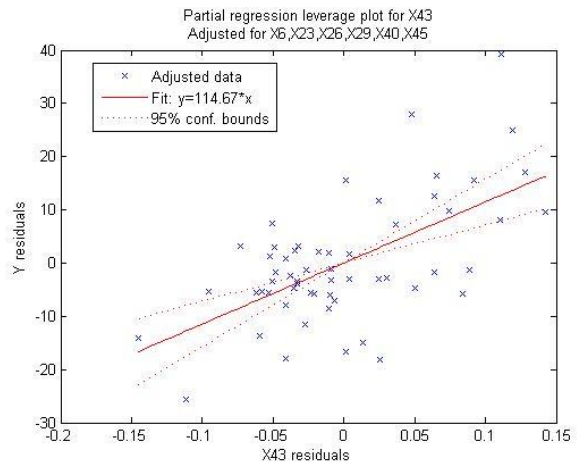
Potpuni model ponuđen od strane matematičke aplikacije sa uključenim varijablama **X2, X26, X29 i X40** rezultirao je sa r^2 =0,86876 i RMSE 10,9357.
Proširenje modela dodatnim nezavisnim varijablama u model poboljšano je rješenje modela, pri čemu je iz modela izostavljena varijabla **X2**, a uključene su nezavisne varijable **X6, X23,X43 i X45**.
U ovom modelu uključen je i utjecaj kvalitete materijala , posredno kroz **X29**.



REZULTATI MODELA				$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$					
VARIJABLA			n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{AB103}$		7	0,893321	0,875903	9,86079	58,6171	0	57	27,06%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Rezultat modela značajno je bolji od rezultata hijerarhijski višeg modela (A00B1). Obzirom na modele iste hijerarhijske razine (AB101 i AB1C1) bolji je po osnovi determiniranosti r^2, i neznatno bolji po standardnoj grešci RSME.
To je i očekivano, obzirom da su po kriteriju razine u sredini područje, što znači da je homogeniji skup podataka u odnosu na ostala dva modela koji obuhvaćaju i krajnje vrijednosti.
Obzirom da je prosječna vrijednost potrebnog vremena izrade manja u odnosu na AB101 i AB1C1, prividno je greška modela Γ veća od grešaka spomenutih modela.
Rezultati modela mogu se smatrati sličnima ili malo boljima u odnosu na AB101, i ABC101.



T-33	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

REGRESIJSKI MODEL A0004

GRANA OTP-a			A0004	PLOSNATE ŠIPKE
1	Uvjeti klasifikacije			**A0000** AND **ZN05 Like »Plosnata šipka»**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{A0004}	$\hat{t}_{A0004}$	Δ_{A0004}	δ_{A0004}	Γ_{A0004}
1	Minimalna vrijednost	min	13	16	-10	-46,70%	**14,34%**
2	Maksimalna vrijednost	max	84	88	16	44,29%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	41,13	41,13	0	-3,07%	
4	Standardna devijacija	σ	18,68	17,72	5,90	16,61%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	4,85	4,45	$\hat{t}_{pz,A0004} = 4{,}45 \times \hat{t}_{tp,A0004}$		
7		K_{σ}	1,66				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	4,45				

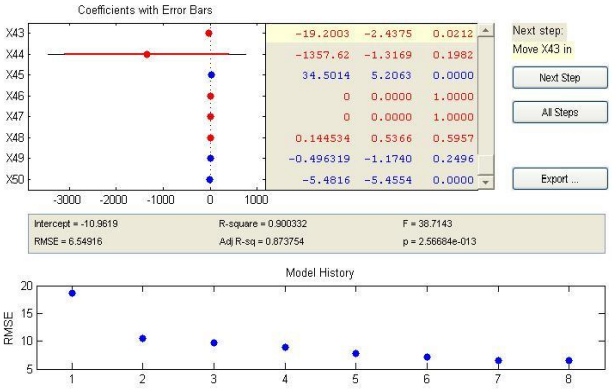
NEZAVISNE VARIJABLE

	Varijabla		min	max	KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
	Slobodni član α				-10.9619
1	**X40**	S_{OK}	8	42	0,58157
2	**X45**	m_M	0,0123	1,38	34,5014
3	**X22**	Z_H^{-1}	0,08	0,17	218,419
4	**X50**	Δ_L	1	10	-5,4816
5	**X26**	A_F	0,062	0,125	185,028
6	**X9**	Z_T	10	58	0,386743
7	**X49**	Δd	0	12,50	-0,496319

$$\hat{t}_{tp,A0004} = -10{,}96 + 0{,}58 \times S_{OK} + 34{,}50 \times m_M + 218{,}42 \times Z_H^{-1} - 5{,}48 \times \Delta_I + 185{,}03 \times A_F + 0{,}39 \times Z_T - 0{,}50 \times \Delta_d$$

KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

Potpuni model obuhvatio je 11 varijabli sa rezultatom r^2 0,954865 i standardnom greškom RMSE 4,73414.
X49 – razlika debljine očekivano je značajna za plosnate materijale, iako u manjoj mjeri no što se očekivalo.
Iznenađujući je značaj površine crteža **X26**, a može se tumačiti kao utjecaj više nezavisnih varijabli koje su u korelaciji sa X26 Prvenstveno, broj pogleda, i izmjere izratka.



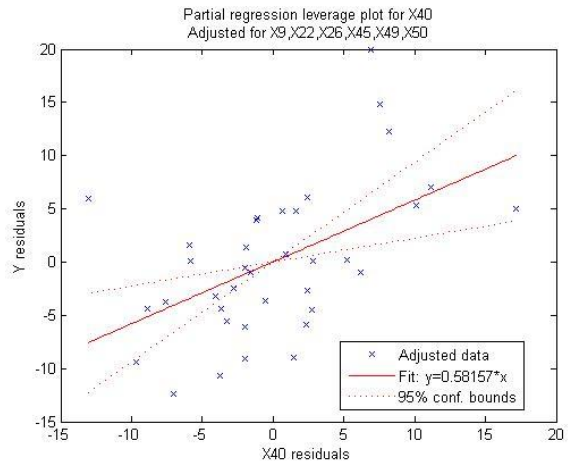
REZULTATI MODELA

$$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$$

	VARIJABLA		n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{A0004}$		7	0,900332	0,873754	6,54916	38,7143	2e-13	38	15,92%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Model je iste hijerarhijske razine sa modelom za okrugle šipke (AB100). Usporedbom ograničenja zajedničkih varijabli oba modela **X40, X456 i X50** vidljivo je da su ograničenja ovog modela za svaku pojedinačnu varijablu veća nego u slučaju modela AB100.
Stoga su i rezultati ovog modela očekivano bolji od rezultata modela AB100, ale ne toliko da bi se moglo govoriti o značajnoj razlici.
Pri tome se misli da će i za ovaj model biti potrebno osigurati veći broj pozicija u uzorku, i podijeliti ga na nekoliko grana OTP-a, za širu upotrebu modela sa zadovoljavajućom točnošću procjene vremena izrade. U ovom radu zbog ograničenja uzorka, ovaj se model dalje ne «grana».



T-34	Tablica regresijskog modela za procjenu vremena izrade proizvoda	01-01

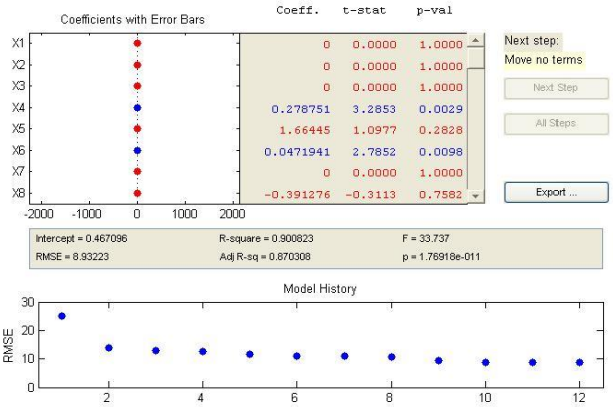
REGRESIJSKI MODEL A0005

GRANA OTP-a			A0005	LIMOVI
1	Uvjeti klasifikacije			**A0000** AND **ZN05 Like »Ploča»**
2	Značajno vrijeme grane OTP-a	t_{zg}	-	

ZAVISNE VARIJABLE		Oznaka	t_{A0005}	$\hat{t}_{A0005}$	Δ_{A0005}	δ_{A0005}	Γ_{A0005}
1	Minimalna vrijednost	min	5	1	-12	-124,10%	21,35%
2	Maksimalna vrijednost	max	103	101	27	79,62%	
3	Prosječna vrijednost	$\bar{x}$	37,15	37,15	0	-2,04%	
4	Standardna devijacija	σ	25,18	23,89	7,93	33,10%	
5	Koeficijent vremena	$K_{\bar{x}}$	1,73	1,52	$\hat{t}_{pz,A0005} = 1{,}52 \times \hat{t}_{tp,A0005}$		
7		K_{σ}	1,57				
8		$K_{\Sigma P/\Sigma T}$	1,52				

NEZAVISNE VARIJABLE					KOEFICIJENTI JEDNADŽBE β
	Varijabla		min	max	
	Slobodni član α				0,467096
1	**X40**	S_{OK}	5	46	1,2661
2	**X45**	m_M	0,0008	2,12	137,447
3	**X43**	A_M	0,02	27,34	-13,233
4	**X9**	Z_T	10	58	-0,701917
5	**X4**	B_M	5	325	0,278751
6	**X6**	L_M	7	430	0,0471941
7	**X16**	N_O	0	5	3,91408

$$\hat{t}_{tp,A0005} = 0{,}47 + 1{,}27 \times S_{OK} + 137{,}45 \times m_M - 13{,}23 \times A_M - 0{,}70 \times A_M + 0{,}28 B_M + 0{,}05 \times L_M + 3{,}91 N_O$$



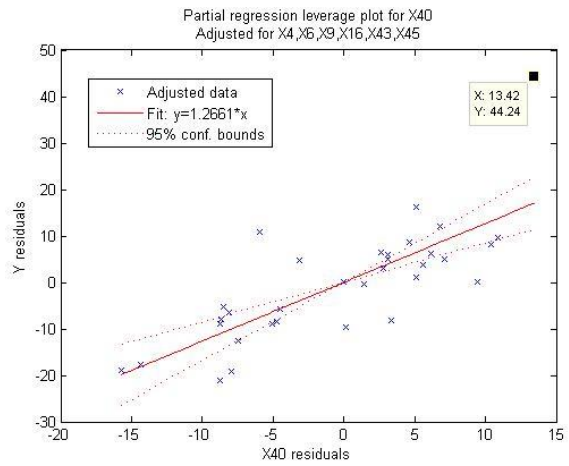
KOMENTAR NEZAVISNIH VARIJABLI

Model karakterizira prisutnost složenih varijabli **X40, X43, X45**, koje su upotpunjene sa isključivo pojedinačnim varijablama, i to koje se prvenstveno odnose na karakteristične izmjere materijala za limove, a to su **X4 i X9**.
Koeficijenti i predznaci koeficijenata su uglavnom očekivani, tim više što je konstanta jednadžbe vrlo blizu nule (0,47), i praktički ne utječe na procjenu vremena izrade.

REZULTATI MODELA				$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 ... \beta_n \times X_n$						
	VARIJABLA		n_{nv}	r^2	Objašnjeno	Greška	F	p	Uzorak	$Greška/\bar{x}$
1	$\hat{t}_{A0005}$		7	0,900823	0,870308	8,93223	33,737	1e-11	34	24,04%

KOMENTAR REGRESIJSKOG MODELA

Model «pokriva» malo uže područje od modela A00B1, a nešto šire od modela A0006, pa je i rezultat modela između rezultata navedenih modela.
Ovo još jednom potvrđuje ujednačenost rezultata modela obzirom na hijerarhijsku razinu, odnosno detaljnost klasifikacije.

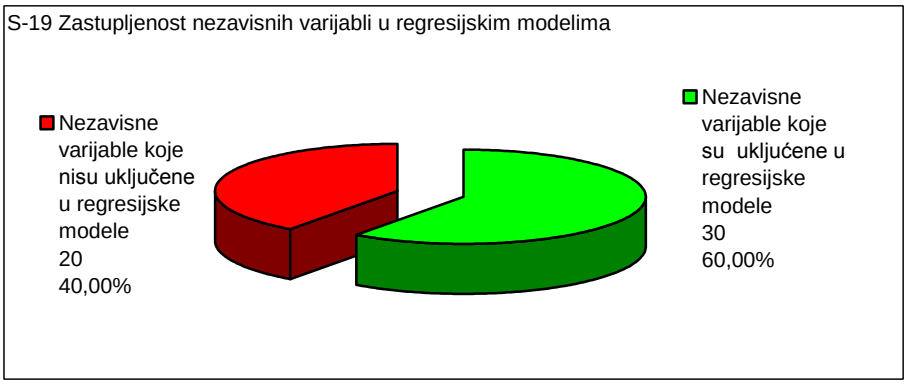


Sve navedene pojedinačne modele moguće je međusobno povezati u zajedničko rješenje za procjenu vremena izrade.
Skup svih pojedinačnih modela naziva se generalni model za procjenu vremena izrade.
Pojedini regresijski modeli detaljno su opisani u tablicama od T-27 do T-34, a ovdje se dodatno komentira samo generalni model.

Kompleksnost rješenja omogućuje brojne analize, a za ovdašnje potrebe se navode samo tri osnovne karakteristike cjelovitog rješenja, i to:

- **zastupljenost pojedinih varijabli u generalnom rješenju**
  - *od 50 značajnih varijabli, u svim modelima uključena je 30 različita varijabli, i to za modele ograničene na maksimalno 7 nezavisnih varijabli.*
  - *u 8 pojedinačnih regresijskih modela uključeno je ukupno 56 nezavisnih varijabli varijabla (svi modeli imaju maksimalno dozvoljenih 7 nezavisnih varijabli).*
  - *u slučaju potpunih modela broj uključenosti varijabli bio bi i veći, što opravdava široki pristup koje je istraživanje imalo, tim više što su i varijable koje nisu izravno uključene u regresijske jednadžbe za model značajne u procesu oblikovanja regresijskih modela, ili kao klasifikatori grana OTP-a.*

S-19– zastupljenost nezavisnih varijabli u generalnom rješenju



Slika 6.5 Zastupljenost nezavisnih varijabli u generalnom regresijskom modelu

Za napomenuti je još jednom da zbog nedostatka uzorka, nisu utvrđene vrijednosti za predviđenu varijablu vezanu uz površinu izratka, a koja bi sasvim sigurno bila uključena u regresijske modele, i to bilo izravno, ili posredno kao odnos prema površini materijala.
Isto vrijedi i za masu izratka, na temelju koje bi se mogla odrediti razlika mase materijala i mase izratka, što je očekivano značajna nezavisna varijabla za tehnološke postupke obrade odvajanjem čestica.

- **frekvencija pojedinih varijabli u generalnom rješenju**

broj pojavljivanja pojedinih nezavisnih varijabli pokazatelj je značaja pojedine varijable za procjenu vremena izrade.

U ovom slučaju značaj bi se mogao poistovjetiti sa univerzalnošću, pri čemu univerzalne varijable uglavnom grubo procjenjuju vrijeme izrade, a za točniju procjenu moraju biti nadopunjene sa nezavisnim varijablama primjerenim granama OTP-a na koje se odnose pojedini regresijski modeli.

Kao najuniverzalnije utvrđene su dvije nezavisne varijable, i to:

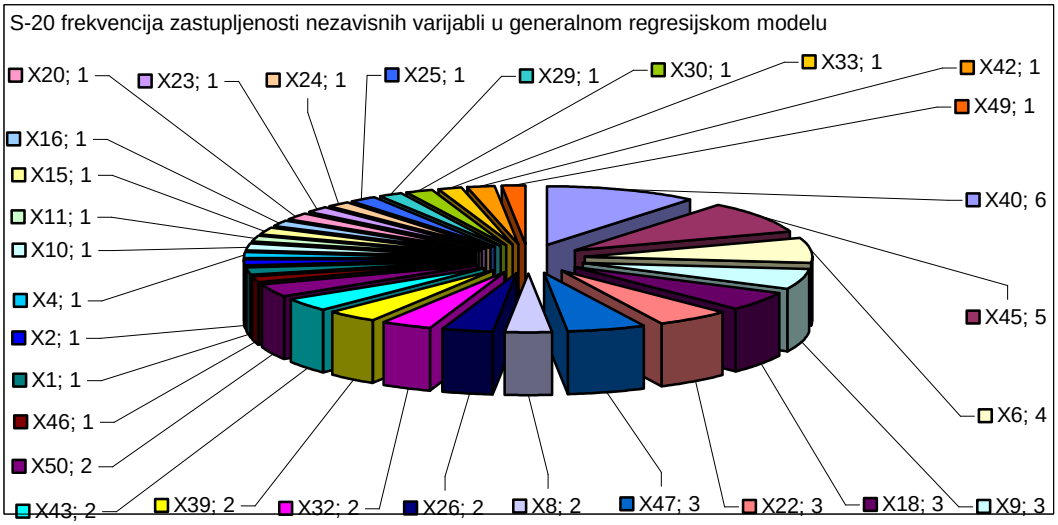
- *X40 – složenost izratka* S_{OK}

  pojavljuje se u 6 od 8 pojedinačnih regresijskih modela

  Gotovo da bi se na temelju ove nezavisne varijable moglo zaključiti da je potrebno vrijeme izrade proizvoda jednako ukupnom broju oznaka i kota na crtežu.

- *X45 – masa materijala* m_M

  pojavljuje se u 5 od 8 pojedinačnih regresijskih modela



Slika 6.6 Frekvencija zastupljenih nezavisnih varijabli u generalnom regresijskom modelu

- **točnost procjene obzirom na granu OTP-a**

točnost procjene razlikuje se od modela do modela, ali se može pretpostaviti da općenito vrijedi:

- *30% je greška modela prve hijerarhijske razine (A0000)*
- *15 do 25% je greška druge hijerarhijske razine (A00B1, A0004, A005)*
- *10 do20% je greška treće hijerarhijske razine(AB101, AB1C1, AB103)*
- *5% do 10% je greška četvrte hijerarhijske razine (AC102)*

6.2 JEDNADŽBE ZA PROCJENU VREMENA

Jednadžbe za procjenu vremena izrade proizvoda definirane su nezavisnim varijablama i njihovim koeficijentima.
Jednadžbe se razlikuju od modela do modela po broju i vrsti uključenih nezavisnih varijabli, a naravno i po pripadajućim im koeficijentima.

Nezavisne varijable i koeficijenti regresijskih jednadžbi za procjenu vremena prikazani su u tablicama kao sastavni dio regresijskog modela.
Nezavisne varijable navedene su u tablici po redoslijedu po kojem su uključivanje u regresijsku jednadžbu. Budući da je korištena metoda unaprijed, dakle dodavanjem najznačajnije pojedinačne nezavisne varijable, prema manje utjecajnima na procjenu vremena izrade, iz tablice je moguće utvrditi i relativni značaj nezavisnih varijabli.
Za svaku nezavisnu varijablu uključenu u jednadžbu u tablici su za svaki model navedene i njihove minimalne i maksimalne vrijednosti utvrđene u uzorku, koja predstavljaju ograničenja modela, odnosno područje u kojem vrijedi regresijski model obzirom na nezavisne varijable.

Iako se unaprijed ne zna koliko će biti procijenjeno vrijeme izrade, u tablici regresijskih modela navedeni su i podaci o području vrijednosti zavisnih varijabli u uzorku, koji mogu predstavljati kontrolni podatak pri analizi procijenjenog vremena.
Za svaki regresijski model naznačeni su i rezultati modela i to kao sumarni statistički podaci modela, na temelju kojih se može zaključiti o kvaliteti modela, i njegovoj primjeni u praksi.

Dodatno je u tablicu umetnut i grafički prikaz utjecaja najznačajnije nezavisne varijable (uvrštene u tablicu u prvom koraku regresijske analize) u interakciji sa ostalim uvrštenim nezavisnim varijablama u jednadžbu.

Budući se radi o jednadžbama višestrukih regresijskih modela, uključene varijable u pojedine regresijske modele, nisu jedino moguće rješenje.
Istraživanjem je utvrđeno da je moguće dobiti približno slične rezultate regresijskog modela sa više različitih kombinacija uključenih nezavisnih varijabli u jednadžbe. Ipak, u svim kombinacijama za pojedini regresijski model zastupljene su dvije ili tri uvijek iste nezavisne varijable, a izmjenjuju se manje značajne, i to na temelju njihova međusobna odnosa.
U n-tom koraku oblikovanja moguće je postojanje više nezavisnih varijabli sa vrlo sličnom statističkom značajnošću. Ukoliko se u tom trenutku u model ne uvrsti slijedeća statistički najznačajnija varijabla, nego statistički značajna, a po očekivanju kreatora modela fizikalno primjerenija, u daljnjem tijeku oblikovanja, najčešće izostavljena statistički najznačajnija varijabla n-tog koraka prestaje biti značajna i više se uopće ne uključuje u model.
Ova sloboda modeliranja može značajno utjecati na konačno rješenje, i to pogotovo u slučajevima za grane OTP-a na nižim hijerarhijskim razinama, zbog čega je potrebno pri oblikovanju posebno analizirati i pojedine vrijednosti utvrđenih karakteristika crteža u uzorku.
Budući da je temeljni cilj ovog rada bio utvrđivanje postojanja povezanosti vremena izrade i karakteristika crteža, što je regresijskim modelima i dokazano, u ovom radu nije izvršena daljnja optimizacija regresijskih modela obzirom na uzorak.

6.2.1 Analiza regresijskih jednadžbi za procjenu vremena izrade

Istraživanjem utvrđene jednadžbe vrijede za promatrani uzorak, i nisu sa stajališta uključenosti nezavisnih varijabli nepromjenljive.
Drugim riječima, utvrđene jednadžbe za pojedine regresijske modele nisu osnova na kojoj će se modeli temeljeni na drugim uzorcima razlikovati samo po vrijednostima koeficijenata na unaprijed definiranom «zadanom» setu nezavisnih varijabli.

To ujedno znači da je za svaki drugi uzorak potrebno provesti cjelovito istraživanje, po principima navedenim u ovom radu, a ne samo jednostavno u regresijske modele uvrstiti ovim radom utvrđene nezavisne varijable i samo za njih izračunati koeficijente.
Svakako, da ovaj rad ukazuje na značajne nezavisne varijable, ali jednadžbe pojedinih grana OTP-a (regresijskih modela) nisu sa stajališta uključenih nezavisnih varijabli nepromjenljive.
Na primjer, ukoliko se u nekoj tvornici proizvode dijelovi koji su isključivo toplinski obrađeni, izvjesno je da nezavisna varijabala koja predstavlja tvrdoću izratka ***X9 (Z_T)*** neće biti uključena u regresijski model jer svi uzorci imaju istu vrijednost tog podatka, pa samim time za ovaj uzorak ova nezavisna varijabla uopće nije od značaja. Zapravo ona je u ovom slučaju preuzela ulogu klasifikatora grana OTP-a, s time što se odnosi već na osnovnu granu OTP-a, pa samim time i na sve hijerarhijski niže grane OTP-a, odnosno vrijedi za sve regresijske modele promatranog uzorka.

Dakle, fizikalno najznačajnije nezavisne varijable, ne moraju ujedno biti i statistički značajne varijable.
Na ovoj činjenici temelji se rješenje ovog rada koje istovremeno koristi statistički i fizikalni značaj svake pojedine nezavisne varijable, na temelju čega se oblikuje generalno rješenje.

Već je rečeno da postoje ***barem dvije nezavisne varijable***, koje se pojavljuju u većini regresijskih modela, a to su :

- *X40 (S_{OK}) složenost proizvoda*
  složena nezavisna varijabla koja izravno obuhvaća broj svih opisa i svih kota na crtežu
- *X45 masa materijala*
  složena nezavisna varijabla koja neizravno obuhvaća karakteristike crteža vezane uz polazni materijal, i to uz kvalitetu materijala i podatke o izmjerama

Nakon provedenog istraživanja autor ovog rada je mišljenja da bi ove dvije varijable trebale biti uključene u sve regresijske modele, kao osnovne varijable regresijskih jednadžbi, koji bi se zavisno o pojedinim granama OTP-a nadopunjavale sa dodatnim potrebnim nezavisnim varijablama u cilju točnije procjene vremena izrade.
Drugim riječima, regresijske jednadžbe sa uključenim samo nezavisnim varijablama X40 i X45 predstavljaju najrobusniji regresijski model za bilo koju granu OTP-a.

Jednadžbe za procjenu vremena izrade djelomično su opisane u prikazu svakog pojedinog modela, a za potrebe ovog rada ne analiziraju se detaljno po svakoj nezavisnoj varijabli uključenoj u pojedini model, nego se samo još jednom prikazuju u skupnoj tablici T-35 sa podacima o točnosti i ograničenjima modela, i sa navođenjem u jednadžbe uključenih nezavisnih varijabli i pripadajućim im koeficijentima.[T-35-1-120]

T-35 Tablica rezultata regresijskij modela za sve grane OTP-a

REZULTATI REGRESIJSKIH MODELA SVIH GRANA OTP-a -ZAVISNA VARIJABLA UKUPNO KOMADNO VRIJEME T

		GRANA OTP-a		KARAKTERISTIKE GRANE OTP-a (UVJETI)													
VARIJABLA	min	K	omjer	r^2		Objašnjeno		Stan. greška		F test		P value		Broj pozicija		Rel. greška	
	max	aver	st.dev	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	aver	t_{zg}		*X1*		*X2*		*X3*		*X4*		*X5*		*X6*		*X7*	
	st.dev	**a**		b_1		b_2		b_3		b_4		b_5		b_6		b_7	
$Y0 = a + b_1 x X1 + b_2 x X2 + b_3 x X3 + b_4 x X4 + b_5 x X5 + b_6 x X6 + b_7 x X7$																	
		A0000		OSNOVNA GRANA: (bez ograničenja - sve pozicije uzrka)													
T	5	**4,34**	4,34	0,7366		0,7294		12,73		114,42		0,00E+00		302		30,74%	
	113	5,3	2,86	0,0008	2,66	3	57	0	75	0,08	0,33	0	6	0	111,5	3	430
	41,41			*X45*		*X40*		*X47*		*X22*		X18		X32		X6	
	24,51	**-11,69**		**16,95**		**1,22**		**0,54**		**127,47**		**-3,24**		**0,15**		**0,03**	
		A00B1		OKRUGLE ŠIPKE: A0000 AND ZN05 Like "Okrugla šipka"													
T	6	**4,61**	4,61	0,7429		0,7332		13,21		87,49		0,00E+00		220		30,95%	
	113	5,82	2,77	0,0008	2,66	3	57	0	78	0	18	6	13	0	6	0	7
	42,67			*X45*		*X40*		*X11*		*X50*		*X8*		*X18*		*X42*	
	25,62	**55,47**		**22,43**		**1,16**		**0,43**		**1,61**		**-5,41**		**-3,26**		**1,78**	
		AB101		OSOVINE: A00B1 AND X33≤0,33													
T	6	**4,3**	4,3	0,8076		0,7682		12,79		23,39		4,00E-12		47		25,90%	
	11	5,45	3,08	3	40	2	47	6	13	0	5	0	5	15	333	0,1	0,33
	49,4			*X2*		*X39*		*X8*		*X46*		*X18*		*X6*		*X22*	
	26,86	**6,13**		**0,83**		**1,27**		**-3,3**		**5,51**		**-6,86**		**0,09**		**124,33**	
		AB1C1		DISKOVI: A00B1 AND X33>1													
T	8	**4,59**	4,59	0,8094		0,7953		10,42		65,521		0,00E+00		116		24,24%	
	113	5,46	2,26	0	75	4	34	0	3	2,5	55,56	0,012	0,125	2	111,5	1,04	36
	43			*X47*		*X40*		*X20*		*X24*		*X30*		*X32*		*X33*	
	20,82	**-5,17**		**0,73**		**0,92**		**5,25**		**0,52**		**139,11**		**0,23**		**-0,51**	
		AC102		DISKOVI FINO OBRAĐENI: AB1C1 AND X25>0,143													
T	10	**4,83**	4,83	0,9851		0,9776		3,2		150,67		2,00E-13		24		8,01%	
	93	5,87	2,43	0	68	10	58	5	12	12	100	2	15	0,17	0,2	1	2
	39,88			*X47*		*X9*		*X1*		*X10*		*X39*		*X25*		*X15*	
	21,8	**-60,78**		**0,59**		**0,47**		**0,74**		**0,25**		**0,84**		**291,07**		**5,9**	
		AB103		RAZNI ROTACIJSKI DIJELOVI: A00B1 AND 1≥X33≥0,33													
T	6	**5,01**	5,01	0,8933		0,8759		9,86		58,62		0,00E+00		57		27,06%	
	112	6,87	3,2	5	45	200	950	0,062	0,125	2,5	200	0,02	2,01	0,002	1,66	8	108
	36,44			*X40*		*X29*		*X26*		*X23*		*X43*		*X45*		*X6*	
	28,24	**-37,11**		**0,94**		**0,03**		**319,22**		**0,13**		**114,67**		**-80,98**		**-0,46**	
		A0004		PLOSNATE ŠIPKE: A0000 AND ZN05 Like "Plosnata šipka"													
T	13	**4,45**	4,45	0,9003		0,8738		6,55		38,74		2,00E-13		38		15,92%	
	84	4,85	1,66	8	42	0,0123	1,38	0,08	0,17	1	10	0,062	0,125	10	58	0	12,5
	41,13			*X40*		*X45*		*X22*		*X50*		*X26*		*X9*		*X49*	
	18,68	**-10,96**		**0,58**		**34,5**		**218,42**		**-5,48**		**185,03**		**0,39**		**-0,5**	
		A0005		LIMOVI: A0000 AND ZN05 Like "Ploča"													
T	5	**1,52**	1,52	0,9008		0,8703		8,93		33,74		1,00E-11		34		24,04%	
	103	1,73	1,57	5	46	0,0008	2,12	0,02	27,34	10	58	5	325	7	430	0	5
	37,15			*X40*		*X45*		*X43*		*X9*		*X4*		*X6*		*X16*	
	25,18	**0,47**		**1,27**		**137,45**		**-13,23**		**-0,7**		**0,28**		**0,05**		**3,91**	

6.2.2 Sinteza rezultata

Sinteza rezultata prvenstveno se očituje u postojanju različitih modela koji sa zadovoljavajućom točnošću «prekrivaju» cijelo područje naznačeno u regresijskom modelu A0000.
Međusobna povezanost više regresijskih modela omogućuje kvalitetniju procjenu vremena izrade parcijalnim rješenjima koja pokrivaju cijelo područje uzorka kao i generalni model, ali svako na svom području kvalitetnije, što ne znači da ni osnovni model A000 nije primjenljiv u određenim slučajevima.
«Prekrivanje» područja omogućeno je klasifikacijom OTP-a, koja je na temelju istraživanja rezultirala originalnim i novim rješenjima ovog rada, prvenstveno kroz tipove OTP-a, a potom i kroz grane OTP-a.

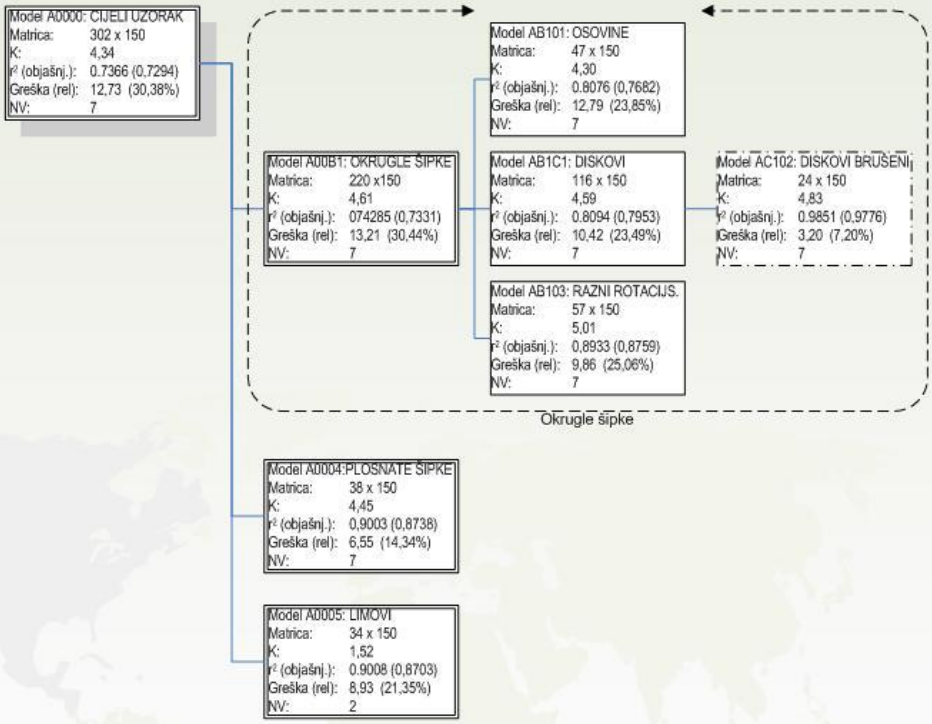
Skup pojedinačnih modela međusobno hijerarhijski i strukturno povezan predstavlja cjelovito rješenje za procjenu vremena izrade regresijskim modelima, a naziva se ***rješenje osnovnog tehnološkog procesa,*** ili kraće OTP rješenje.

Za napomenuti je još jedanput da se u ovom radu utvrđeno OTP rješenje odnosi samo na OTP vrijeme izrade t, što je dovoljno za potrebe procesa prodaje. To je svakako ograničenje za primjenu rješenja u procesu izrade, odnosno za planiranje, provođenje i praćenje proizvodnje.

U samom radu naznačen je primjer procjene vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka kao operacija OTP-a, iz kojeg se vidi da je moguće kvalitetno procjenjivati vremena izrade po pojedinim tehnološkim postupcima kao operacijama OTP-a.
Može se smatrati da je metoda procjene vremena izrade po pojedinim tehnološkim postupcima riješena ovim radom, a samo zbog ograničenog obujma ovog rada nije i konkretizirana u obliku seta regresijskih jednadžbi za procjenu vremena izrade pojedinih tehnoloških postupaka kao operacija OTP-a za svaki pojedini regresijski model.
Svakako da je rad na definiranju seta regresijskih jednadžbi jedna od značajnijih aktivnosti na daljnjem razvoju OTP rješenja.

Shematski prikaz OTP rješenja ovog rada temeljenog na 8 međusobno povezanih regresijskih modela prikazan je na slici 6.7 S-21-122 sa podacima o pojedinim granama OTP-a i sumarnim rezultatima regresijske analize svakog pojedinog regresijskog modela.

Uz shematski prikaz OTP rješenja navedene su i pojedinačne jednadžbe za procjenu vremena izrade za sve značajne regresijske modele.



$$\hat{t}_{tp,A0000} = -11{,}69 + 16{,}95 \times m_M + 1{,}22 \times S_{OK} + 0{,}54 \times \Delta\varphi + 127{,}47 \times Z_H^{-1} - 3{,}24 \times N_G + 0{,}15 \times s_I + 0{,}03 L_M$$

3

$$\hat{t}_{tp,A00B1} = 55{,}47 + 22{,}43 \times m_M + 1{,}162 \times S_{OK} + 0{,}43 \times \varphi_I + 1{,}61 \times \Delta_L - 5{,}41 \times S_H - 3{,}26 \times N_G + 1{,}78 \times \Delta_H$$

$$\hat{t}_{tp,AB101} = 6{,}13 + 0{,}83 \times \Phi_M + 1{,}27 \times N_{SK} - 3{,}30 \times S_H + 5{,}51 \times \Delta_\Phi - 6{,}86 \times N_G + 0{,}09 \times L_M + 124{,}33 \times Z_H^{-1}$$

$$\hat{t}_{tp,AB1C1} = -5{,}17 + 0{,}73 \times \Delta_\varphi + 0{,}93 \times S_{OK} + 5{,}25 \times K_P + 0{,}52 \times Z_M^{-1} + 139{,}11 \times A_C + 0{,}23 \times s_I - 0{,}51 \times O_{\Phi/L}$$

$$\hat{t}_{tp,AC102} = -60{,}78 + 0{,}59 \times \Delta\varphi + 0{,}47 \times Z_T + 0{,}74 \times R_T + 0{,}25 \times \Phi_I + 0{,}84 \times N_{SK} + 291{,}07 \times Z_P^{-1} + 5{,}9 \times N_P$$

$$\hat{t}_{tp,AB103} = -37{,}11 + 0{,}94 \times S_{OK} + 0{,}03 \times R_M + 319{,}22 \times A_F + 0{,}13 \times Z_G^{-1} + 114{,}67 \times A_M - 80{,}98 \times m_M - 0{,}46 \times L_M$$

$$\hat{t}_{tp,A0004} = -10{,}96 + 0{,}58 \times S_{OK} + 34{,}50 \times m_M + 218{,}42 \times Z_H^{-1} - 5{,}48 \times \Delta_I + 185{,}03 \times A_F + 0{,}39 \times Z_T - 0{,}50 \times \Delta_d$$

$$\hat{t}_{tp,A0005} = 0{,}47 + 1{,}27 \times S_{OK} + 137{,}45 \times m_M - 13{,}23 \times A_M - 0{,}70 \times A_M + 0{,}28 B_M + 0{,}05 \times L_M + 3{,}91 N_O$$

Slika 6.7 OTP rješenje

7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je nedvojbeno pokazalo da je procjena vremena izrade proizvoda regresijskim modelima moguća.
Obzirom na prirodu problema, koja se očituju u velikom broju karakteristika crteža, ali i postojanju različitih mogućnosti izrade istog dijela, radi se o višestrukoj regresiji.
Opća višestruka jednadžba regresije za procjenu vremena izrade proizvoda utvrđena je kao:

$$\hat{t}_{tp,RM} = a_{RM} + \sum_{i=1}^{n_{nv}} b_{RM,i} \times X_{RM,i}$$

Raznolikost zavisnih varijabli $t_{tp,RM}$ riješena je tipiziranjem tehnoloških procesa, a raznolikost vrijednosti karakteristika crteža riješena je izborom potrebnih nezavisnih varijabli $X_{RM,i}$ u jednadžbama za procjenu vremena.

Broj potrebnih nezavisnih varijabli (n_{nv}) u svakoj jednadžbi određuje se na temelju kriterija željene čvrstoće povezanosti zavisnih sa nezavisnim varijablama u regresijskom modelu, ali se težilo što robusnijim modelima, odnosno modelima sa manjim brojem nezavisnih varijabli, pa je za svih 8 značajnih regresijskih modela određen jedinstven potreban broj nezavisnih varijabli, i to kao skup od 7 nezavisnih varijabli.
Koeficijenti uz nezavisne varijable $b_{RM,i}$, kao i zajednički koeficijent a_{RM} izračunati su metodom regresijske analize.

Obzirom na raznolikost dijelova u strojarskoj proizvodnji, koja se očituje u značajno različitim vrijednostima pojedinih karakteristika crteža od proizvoda do proizvoda, za točnije procjene vremena izrade potrebno je bilo oblikovati različite modele regresije.

Sve karakteristike crteža, nezavisne i zavisne varijable pohranjene su u relacijskoj bazi podataka, što je omogućilo izradu optimalnih modela regresijske analize obzirom na uzorak. Budući da su svi podaci u relacijskoj vezi, moguće je napraviti procedura kojom se proizvodu automatski pridružuje određeni tip OTP-a, ili grana OTP-a , na temelju kojih se izračunava procijenjeno vrijeme izrade proizvoda.

Izbor modela definiran je procedurom logičkog odlučivanja na temelju karakteristika crteža i nezavisnih varijabli, što je značajna novost u odnosu na dosadašnje metode koje se koriste različitim fiksnim klasifikatorima.

U istraživanju je za promatrani uzorak utvrđeno 8 različitih regresijskih modela, za koje je izvršen izračun procijenjenih vrijednosti vremena izrade proizvoda primjenom jednadžbi regresije za svaki odabrani model.
Svih 8 modela zajedno predstavljaju cjelovito rješenje procjene vremena izrade za bilo koji proizvod, koji zadovoljava ograničenja uzorka na koje je vršeno istraživanje. i to kao osam jednadžbi obzirom na karakteristike crteža:

$$t_{tp,RM} = a_{RM} + \sum_{i=1}^{7} b_{RM;i;j} \times X_{RM;i;j} \text{ , gdje}$$

M ide od 1 do 8 (8 modela u cjelovitom rješenju)
i ide od 1 do 7 (7 nezavisnih varijabli uključeno u svaku jednadžbu regresije)
Rezultat istraživanje je OTP rješenje.

7.1 OSTVARENA RJEŠENJA

Sama činjenica da je istraživanjem nedvojbeno utvrđeno da je moguće procjenjivati vrijeme izrade proizvoda regresijskim modelima (r^2>0,8), što je i bio osnovni cilj istraživanja, dovoljna je da se rezultati istraživanja mogu smatrati dobrima.

Analiziranjem rezultata istraživanja na svim postavljenim hipotezama pokazuje se da se može govoriti i o više nego dobrim rezultatima istraživanja.

Istraživanje je bilo vrlo temeljito i konkretno, što je rezultiralo i nizom dodatnih, rješenja, od kojih većina predstavlja značajne novosti na promatranom znanstvenom području, pa se gledajući rezultate istraživanja u cjelini može govoriti o odličnim rezultatima rješenja.

Obzirom na konkretne rezultate vezane uz točnost procjene vremena izrade proizvoda po jednadžbama regresije, koji omogućuju izravnu primjene u praksi (za «Tvornicu»), može se slobodno zaključiti da su rezultati istraživanja izvrsni.

7.1.1 Potvrđenost hipoteza

Analiza rezultata istraživanja vrši se na temelju postavljenih hipoteza, a za provedeno istraživanje vrijedi slijedeće:

- **H1**

  $OTP \cong f(AD)$

  općenita pretpostavka da su parametri tehnoloških procesa povezani sa karakteristikama crteža potvrđena je već u prethodnom istraživanju, a samim istraživanjem nedvojbeno je utvrđeno postojanje povezanosti između karakteristika crteža i parametara tehnološkog procesa, što se očituje u mogućnosti, na temelju karakteristika crteža, određivanja svih parametara OTP-a, i to:

  - *polazni oblik materijala*
  - *potreban broj operacija u OTP-u*
  - *potrebni tehnološki postupci kao operacije u OTP-u*
  - *vrijeme izrade svake pojedine operacije, i ukupno vrijeme izrade*

  Objašnjenost pojave regresijskim modelima je između 73% i 97%.

  $$0{,}73 \geq OBJAŠNJENO \geq 0{,}97$$

- **H2**

  $\hat{t}_{i=0} = f(AD)$

  i pretpostavka da je moguće procijeniti vrijeme izrade na temelju karakteristika crteža potvrđena je već u prethodnom istraživanju, a samim istraživanjem nedvojbeno je utvrđeno postojanje čvrste povezanosti između karakteristika crteža i potrebnog vremena izrade.

  Uvjet čvrste veze je $r^2 \geq 0{,}64$, a utvrđeno $0{,}73 \geq r^2 \geq 0{,}98$

- **H3**

  $\hat{t}_{i;j} = f(AD, oblik\ polaznog\ materijala)$

  obzirom na ovu hipotezu značajniji je rezultat istraživanja da je polazni oblik materijala moguće računalnom aplikacijom automatizirano odrediti na temelju

karakteristika crteža, nego sama potvrda da postoji povezanost karakteristika crteža i oblika polaznog materijala sa potrebnim vremenima izrade.
Na temelju rezultata istraživanja oblik polaznog materijala u istraživanju utvrđen je kao uvjetnonezavisna varijabla, odnosno nije uvjet da on bude posebno istaknut na crtežu, što znači da polazni materijala ne mora nužno biti karakteristika crteža.

$$Materijal = f\left(AD27doAD38; N_{VS}\right)$$

- **H4**

$$\hat{t}_{i;k} = f(AD, tip\ OTP-a)$$

kao i u slučaju H3 i kod ove hipoteze značajniji je rezultat istraživanja da je izratku moguće automatizirano računalom pridružiti određenu granu OTP-a na temelju karakteristika crteža, i zavisno uvjetno nezavisnih varijabli, nego sama potvrda da postoji povezanost karakteristika crteža i tipa izratka sa potrebnim vremenima izrade.

Istraživanjem je utvrđeno da dosadašnje klasificiranja izradaka u tipove prvenstveno na temelju njihovih geometrijskih svojstava, za projektiranje tehnoloških procesa nije od presudnog značenja.
Štoviše, rješenje nije u određivanju tipa izratka, već u pridruživanju unaprijed definiranog tipa OTP-a ili grane OTP-a izratku, i to na temelju karakteristika crteža i nezavisnih i uvjetno nezavisnih varijabli).
Dakle, ne tip izratka nego tip ili grana OTP-a.

$$TipOTP = f(AD01doAD63; ZN01doZN10; X01doX40)$$

- **H5**

$$\hat{t}_{i=0;\ j=const.} \approx \sum_{i=1}^{n=30} t_{i;j}$$

pretpostavka o približno istim rezultatima procjene vremena izrade obzirom na raščlambu ukupnog vremena izrade na pojedine tehnološke postupke kao operacije u tehnološkom procesu potvrđena je u istraživanju.
Ukupno izračunato vrijeme po regresijskoj jednadžbi i zbroj izračunatih vremena svih pojedinih tehnoloških postupaka po setu regresijskih jednadžbi za isti dio razlikuje se unutar 10% što je prihvatljivo.
Istraživanjem je utvrđeno i da broj operacija u OTP-u ne prelazi 9 različitih tehnoloških postupaka, odnosno da je n_o maksimalno 9.

$$\hat{t} \cong \sum_{i=1}^{n_0} t_i$$

- **H6**

$$\hat{t}_{i=0;\ k=const.} \approx \sum_{i=1}^{n=30} t_{i;k}$$

vrijedi slično kao i kod hipoteze H5

- **H7**

$$\left|t-\hat{t} \geq \left|t-\hat{t}_{i=0;\ j=const.}\right| \geq \left|t-\hat{t}_{i=0;k=const}\right|\right.$$

pretpostavka da će greška procjene vremena biti to manja što je uzorak na kojem je temeljen model regresijske analize određeniji, potvrđena je već prilikom analize rezultata osnovnim regresijskim modelom. P-B-000

$$225{,}34 > 110{,}16 > 80{,}73$$

7.1.2 Dodatni elementi rješenje

Nakon istraživanja povećano je znanje o problemu, pa je uz analizu rezultata istraživanja moguće analizirati i samo rješenje koja je provedenim istraživanjem utvrđeno.
Za rješenje ovog istraživanja karakteristično je da je procjena vremena izrade proizvoda, kao osnovno rješenje temelj bez kojeg ne bi bilo dodatnih rješenja, ali i da bez dodatnih rješenja ne bi bilo moguće u praksi ostvariti osnovno rješenje.
Pod dodatnim rješenjima podrazumijevaju se elementi cjelovitog rješenja koji nisu obuhvaćeni postavljenim hipotezama, odnosno koji nisu na početku istraživanja bili predviđeni.
Dodatna rješenja ovog rada, koja su ujedno i značajna novost rješenja u odnosu na postojeće stanje, a koja su potrebna prvenstveno za automatiziranu računalnu primjenu rješenja su:

- **Relacijska baza podataka**
  u kojoj se pohranjuju podaci vezani uz izradu rješenja, ali koja će biti slična i pri izrade aplikacije, a karakterizira ju:
  - *77 tablica, od kojih 47 tablica znanja (pred definirani podaci)*
  - *31 stalni upit*
  - *mogućnost izrade različitih obrazaca, izvještaja i upita*
- **Polazni materijal OTP-a**
  kojima se prvenstveno određuje oblik i izmjere materijala iz kojeg će se proizvesti dio
  - *na temelju karakteristika crteža*
- **Tipovi OTP-a i grane OTP-a**
  kojima se prvenstveno određuju potrebni tehnološki postupci i njihov redoslijed kao operacija u OTP-u
  - *na temelju uvjetno nezavisnih i nezavisnih varijabli*
- **Pridruživanje tipovima OTP-a, i grana OTP-a izradcima**
  kao zamjena za postojeće klasificiranje proizvoda, a vrši se na temelju
  - *vrijednosti uvjetno nezavisnih i nezavisnih varijabli* T-15-1-59 ; 17-1-059
- **Koeficijent vremena izrade**
  potrebni su za izračun vremena izrade obzirom na veličinu serije J-03-015
  utvrđeni su koeficijenti vremena izrade za različite modele, i prikazani u tablici u prilogu osnovnog teksta P-D-000
  Novost je
  - *određivanje pripremno završnog vremena u odnosu na tehnološko vrijeme*
  - *različita pripremno-završna vremena obzirom na specifičnosti izratka*
- **Modeli OTP-a**
  kojima se za svaki tip OTP-a određuju jednadžbe za procjenu vremena izrade, i to kao:
  - *potrebne nezavisne varijable*
  - *koeficijenti uz nezavisne varijable*
  - *podaci o točnosti modela*

7.1.3 Primjenljivost rješenja

U ovom radu konkretni modeli OTP-a temelje se na uzorku iz prakse.
Dakle, rješenje je temeljeno isključivo na stvarnom uzorku, pa se može govoriti o OTP rješenju prilagođenom konkretnoj tvrtci, u ovom slučaju «Tvornici».
Iz razloga što ne postoji generalni uzorak, rješenje ovog rada nije primjenljivo na bilo koju tvrtku, nego je primjenljivo upravo samo za «Tvornicu».

Budući je jedan od osnovnih ciljeva OTP-a vezan uz proces prodaje, primjenljivost rješenja provjerit će se na primjeru izrade ponude u procesu prodaje, odnosno na aktivnosti obrade upita s ciljem određivanja vremena izrade kao podloge za ponudu.

Primjenljivost rješenja u ovom slučaju prvenstveno se određuje na temelju kvalitete procjene vremena izrade svih pozicija iz upita, a koja se određuje usporedbom sa propisanim vremenima izrade u tehnološkim listovima, po jednadžbi:

$$k_{\Delta t} = \frac{t - \hat{t}}{t} \qquad (7.1)$$

gdje je

$k_{\Delta T}$ koeficijent greške procjene

t stvarno potrebno vrijeme izrade (prema tehnološkim listovima)

$\hat{t}$ procijenjeno vrijeme izrade na temelju regresijskih modela

Upiti se najčešće sastoje od više elemenata, pa je za ponudu, točnost procijenjenog ukupnog potrebno vremena za proizvodnju svih elemenata značajnija od točnost procijenjenog vremena pojedine stavke.

Budući da se koeficijenti uz nezavisne varijable u regresijskim jednadžbama temelje na zahtjevu da suma odstupanja svih pozicija u uzorku bude jednaka nuli ne može se ukupna greška uzorka provjeravati na ukupnom uzorku korištenom u istraživanju. Iz tog razloga rješenje je potrebno provjeriti na posebnom uzorku.
Posebni uzorak moguće je oblikovati odabirom nekoliko pozicija iz uzorka, pa za njih odrediti ukupnu grešku uzorka, ili što je još bolje formiranjem potpuno novog uzorka sa pozicijama koje nisu zastupljene u uzorku na temelju kojeg su određene regresijske jednadžbe.

Za provjeru primjenljivosti rješenja ovog rada formiran je potpuno novi uzorak «UPIT». Uzorak se sastoji od dijelova koji nisu dio uzorka na kojem su kreirane regresijske jednadžbe, ali su isto na dijelovima iz proizvodnog programa «Tvornice». Dakle, pozicije «UPITA» čini skup dijelova koji nisu dio OTP uzorka, odnosno koji su elementi drugog proizvoda «Tvornice».
Kako su crteži i tehnološki listovi pozicija «UPITA» kreirani na sličan, ili isti način kao i kod osnovnog uzorka, novi uzorak je moguće analizirati modelima rješenja koji se temelje na osnovnom OTP uzorku ovog rada.
Iz skupa dijelova drugog proizvoda (koji nije bio zastupljen u osnovnom uzorku) odabrano je 7 pozicija , čiji je oblik polaznog materijala okrugla šipka, a duljina mu nije veća od duljine izratka.
Dakle sve pozicije «UZORKA» su dio iste hijerarhijske linije generalnog rješenja, a mogu se analizirati na tri različite hijerarhijske razine, odnosno korištenjem tri različita regresijska modela, i to:

- **A0000 (osnovni model hijerarhijske razine 1)**
  koji je primjenljiv na sve pozicije, pa tako i pozicije čiji je polazni oblik materijala okrugla šipka
- **A00B1 (model hijerarhijske razine 2)**
  koji je primjenljiv samo na pozicije čiji je polazni oblik materijala okrugla šipka
- **AB1C1 (model hijerarhijske razine 3)**
  koji je primjenljiv samo na pozicije čiji je polazni oblik materijala okrugla šipka, a promjer veći od duljine materijala.

Procjena vremena izrade izvršena je u MS Excelu, u tablici u kojoj su u odgovarajućim stupcima uneseni koeficijenti regresijskih jednadžbi za sva tri modela.
Vrijeme je procijenjeno za svaki regresijski model posebno, i to kao suma umnožaka utvrđenih vrijednosti nezavisnih varijabli, i njima pripadajućih koeficijenata, uvećano za slobodni član jednadžbe. (=SUMPRODUCT($S$2:$BP$2;$S22:$BP22)+$FM$2)

U tablici T-36 T-36-1-128 navedeni su osnovni rezultati vezani uz vrijeme izrade svih pozicija «UPITA», i to podaci o potrebnom vremenu (plavo), i podaci o procijenjenim vremenima izrade za svaki regresijski model posebno.

T-36	Tablica obrade upita za ponudu									01-01
OBRADA UPITA ZA PONUDU										
		A0000			A00B1			AB1C1		
		$K\Delta_t$	0,24		$K\Delta_t$	0,23		$K\Delta_t$	0,05	
AD01	T	Y	T-Y	%	Y	T-Y	%	Y	T-Y	%
min	46	35	3	3,87%	35	3	3,65%	38	-27	-25,21%
max	109	103	58	54,76%	105	51	48,23%	133	17	20,94%
ar. sred.	80,14	61,07	19,08	22,82%	61,57	18,58	22,86%	76,08	4,06	7,54%
st. dev.	22,54	21,74	18,99	17,47%	22,31	16,53	15,57%	32,59	15,00	16,79%
median	80	56	11	24,15%	55	16	24,86%	68	8	17,51%
raspon	63	68	55	50,89%	70	48	44,58%	95	43	46,15%
sum - omj	**561**	**427**	134	23,80%	**431**	130	23,18%	**533**	28	5,06%
199911	74	71,14	2,86	3,87%	71,17	2,83	3,83%	74,87	-0,87	-1,17%
199927	46	34,89	11,11	24,15%	35,40	10,60	23,04%	37,92	8,08	17,57%
225022	84	61,76	22,24	26,48%	63,11	20,89	24,86%	67,50	16,50	19,64%
203079	106	47,95	58,05	54,76%	54,88	51,12	48,23%	132,73	-26,73	-25,21%
249328	62	52,97	9,03	14,57%	46,37	15,63	25,21%	51,14	10,86	17,51%
500849	80	55,51	24,49	30,61%	55,01	24,99	31,24%	63,25	16,75	20,94%
501071	109	103,24	5,76	5,28%	105,03	3,97	3,65%	105,19	3,81	3,50%

Analiza rezultata pokazuje slijedeće:

- **A0000 (osnovna grana OTP-a)**
  - *561 ch je ukupno potrebno vrijeme izrade*
  - *427 ch je ukupno procijenjeno vrijeme izrade*
  - *134 ch je ukupna greška ponude (23,80% manje procijenjeno od potrebnog vremena)*
  - $k_{\Delta T} = 0{,}24$

  Za navedeni upit «Tvornica» bi na temelju modela A0000 ponudila izradu sa vremenom 23,80% manjim nego je to stvarno potrebno.
  Ukoliko se uzme u obzir da udio rada (vremena izrade) u takvim dijelovima u ukupnoj cijeni proizvoda sudjeluje sa oko 70% (ostalo su materijal i usluge),

proizlazi da bi ponuda «Tvornice» za ovaj upit bila 16,67 % manja nego što je to potrebno. To odgovara razlici u cijeni sata rada u iznosu oko 5 €/sat, ako se uzme u obzir i cijena sata rada na kojem se temelji ponuda, koji se kreće oko 30 €/sat.

Gubitak Tvornice» bio bi 40,20 € (1,36 sati x 30 €/sat), na ponudu od 168,30 €.

- **A00B1 (druga hijerarhijska grana OTP-a)**
  - *561ch je ukupno potrebno vrijeme izrade*
  - *431 ch je ukupno procijenjeno vrijeme izrade*
  - *130 ch je ukupna greška ponude (23,18% manje procijenjeno od potrebnog vremena)*
  - $k_{\Delta T} = 0{,}23$
  - *Gubitak =39,00 € (1,3 x30) na vrijednost posla od 168,30 €.*
- **AB1C1 (druga hijerarhijska grana OTP-a)**
  - *561 ch je ukupno potrebno vrijeme izrade*
  - *533 ch je ukupno procijenjeno vrijeme izrade*
  - *28 ch je ukupna greška ponude (5,06% manje procijenjeno od potrebnog vremena)*
  - $k_{\Delta T} = 0{,}05$
  - *Gubitak =8,40 € (0,28*30) na vrijednost posla od 168,30 €.*

U tablici su prikazani i podaci za svaku pojedinu stavku upita (poziciju uzorka), te se može izvršiti i pojedinačna analiza rješenja.
Ovo je u pravilu posao osoba u prodaji, koji na temelju svog znanja i iskustva mogu uočiti značajno odstupanje od tržištu prihvatljive cijene, a po potrebi mogu se konzultirati i sa tehnolozima u tvrtci.

Budući se radi o slučajnom uzorku za potrebe ovog rada od apsolutnih rezultata značajniji su međusobni odnosi grešaka različitih regresijskih modela.
Vidljivo je da se greška smanjuje sa primjenom regresijskog modela koji «pokriva» uže područje» što je i očekivano.
Vidljivo je isto tako i da su procijenjena vremena modela A0000 i A00B1 približno jednaki, što je potpuno u skladu sa rezultatima modela prikazanim na obrascima regresijskih modela. T-27-1-108 ; T-28-1-109

Različita točnost procjene vremena po pojedinim pozicijama, očekivana je na temelju rezultata modela (***r²***, greška, objašnjenost), a i iz tablice je vidljivo da je za model AB1C1 odstupanje ravnomjerno u plus i minus.

Model je primjenljiv za složene i tehnološki različite proizvode, za razliku od sličnih studija drugih autora. [32] L-32-1-000
Rezultati obrade «Upita» su zadovoljavajući, obzirom da u praksi razlike procjene vremena od tehnologa do tehnologa mogu iznositi i više od 1000%. [33] L-33-1-000

7.2 MOGUĆI DALJNJI RAZVOJ RJEŠENJA

Rezultati rješenja za promatrani uzorak i bolji su od očekivanih, što upućuje na potrebu za oblikovanjem rješenja za njegovu opću primjenu u praksi.
To je ujedno i razlog za daljnji razvoj rješenja. Iako je problem projektiranja tehnoloških procesa toliko složen da će se svako rješenje moći i dalje poboljšavati, daljnji razvoj rješenja prikazanog u ovom radu prvenstveno se odnosi na:

- **automatiziranje unosa podataka o vrijednostima karakteristika crteža računalnom aplikacijom**
- **optimiranje uzoraka na kojima će se provoditi analiza podataka i na temelju kojih će se utvrditi varijable za određivanje elemenata tehnološkog procesa**
- **izradu aplikacije za određivanje elemenata tehnološkog procesa «OTP aplikacija»**
- **povezivanje «OTP aplikacije» sa ostalim aplikacijama za planiranje i praćenje proizvodnje**
- **implementaciju «OTP aplikacije» u tvrtkama vezanim uz strojarsku proizvodnju i razvoj**

7.2.1 OTP i aplikacije za izradu tehničkih crteža

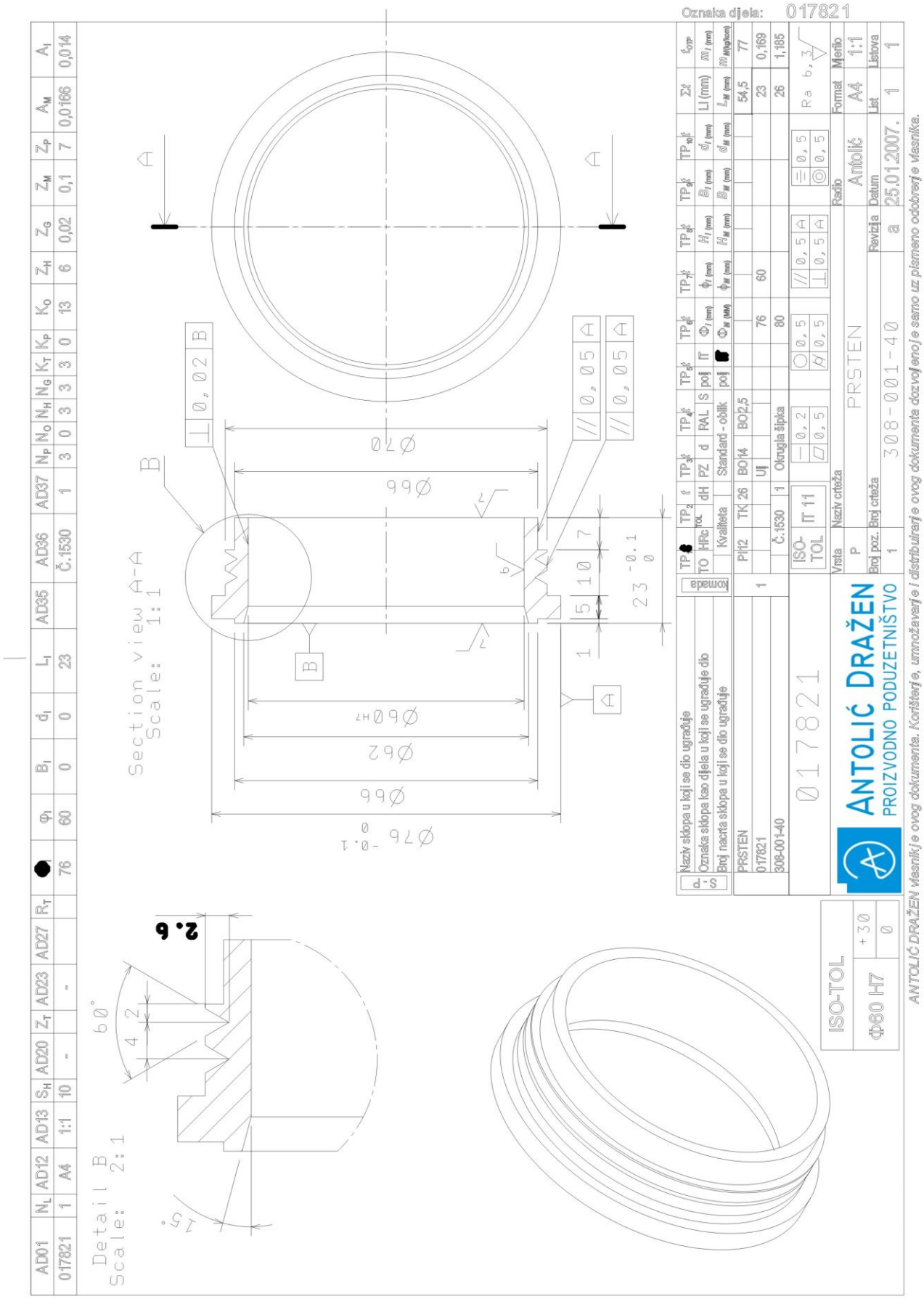
Tehnički crteži temelj su OTP-a, i kao takvi od najvećeg značaja, te je potrebno osigurati posebno:

- **Pridržavanje postojećih standarda izrade tehničkih crteža**
  značajno za kvalitetu projektiranih OTP.
  Iako su tehnički crteži standardizirani, u praksi dolazi do odstupanja od standarda. Odstupanje crteža od standarda za OTP znači netočne ulazne podatke. Iako netočni ulazno podaci mogu utjecati i na izbor tipa OTP-a, značajnije je što izravno utječe na točnost procjene vremena izrade, pa se ovdje navode samo dva najvažnija zahtjeva:
  - *izbjegavanje višestrukog kotiranje istih mjera na izratku*
  - *izbjegavanje ponavljanje oznaka hrapavosti i geometrije istih površina*
- **Dodatna standardizacija tehničkih crteža potrebna za OTP**
  značajno za modeliranje OTP-a.
  Dodatna standardizacija tehničkih crteža prvenstveno se odnosi na potrebu za cjelovitom informacijom o dijelu koji crtež predstavlja. U praksi se neki potrebni podaci za proizvodnju vrlo često izostavljaju iz crteža, odnosno se ispisuju proizvoljno po crtežu, ili u popratnom tekstu vezanom uz proizvodni nalog. Primjer su podaci o površinskoj zaštiti.
  Iako OTP ne zahtijeva nikakve dodatne podatke koji nisu potrebni pri projektiranju bilo koje druge vrste tehnoloških procesa, za modeliranje tipova OTP-a značajno je da sve potrebne karakteristike crteža budu dostupne na svim crtežima. To znači da je i podatak o nepostojanju određenog zahtjeva na dio koji se proizvodi isto podatak.
  Pri tome se ovdje navodi samo:
  - *potreba da se na svim crtežima istaknu sve predviđene karakteristike*
  - *potreba da se na crtežu istaknu i podaci koji ne spadaju u osnovne karakteristike,* odnosno iz osnovnih karakteristika crteža izvedeni podaci koji se uobičajeno naknadno ručno računski određuju, a čije vrijednosti aplikacije za izradu tehničkih crteža određuju automatski. Najčešće su to neto masa izratka i površina oplošja izratka.

- **Organizacija podataka o karakteristikama crteža**
  značajno za projektiranje OTP-a.
  Uz utjecaj na kvalitetu projektiranja OTP-a crteži mogu značajno utjecati i na samo projektiranje OTP-a, što je novost ovog rada, pa se ovdje spominju dvije osnovne mogućnosti:
  - *ispis vrijednosti svih karakteristika crteža i uvjetno nezavisnih varijabli (ako su na crtežu navedene) na način da budu i izravno čitljive sa crteža*
    Ovo rješenje olakšava unos ulaznih podataka u OTP, budući da su oni već na samom crtežu pripremljeni i dostupni u potrebnom obliku, te je potrebno samo očitati njihovu vrijednost. To je moguće zapisom podataka u tabelama i na točno određenim mjestima na crtežu. S-22-132
  - *zapis vrijednosti svih karakteristika crteža i i zavisno-nezavisnih varijabli (ako su na crtežu navedene) u digitalnom obliku*
    Zapis podataka u digitalnom obliku omogućuje kopiranje podataka u aplikaciju za projektiranje OTP-a, što još dodatno skraćuje potrebno vrijeme za unos podataka, pa se može govoriti o poluautomatiziranom procesu projektiranja OTP-a.
    Ukoliko pak aplikacija za izradu tehničkih crteža uz mogućnost zapisa svih podataka u jednoj datoteci u digitalnom obliku, omogućuje i njihov izravni prijenos na ulaz aplikacije za projektiranje OTP-a moguće je govoriti o potpuno automatiziranom procesu projektiranja OTP-a.
- **Interakcija između aplikacija za izradu tehničkih crteža i aplikacija za OTP**
  značajno za primjenu OTP-a.
  Iako je automatizacija projektiranja tehnoloških procesa osnovni cilj aplikacije OTP-a, moguća je i međusobna prilagodna aplikacije OTP-a i aplikacija za izradu tehničkih crteža, na način da se osnovni parametri OTP-a iskažu već i na samom crtežu. Preduvjet za to je da se:
  - *modeli OTP-a ugrade kao modul u aplikacije za izradu tehničkih crteža*
  - *da se omogući pozivanje aplikacije OTP-a sa aplikacijama za izradu tehničkih crteža*

Na slici 7.1 S-22-132 prikazan je moguć izgled crteža koji na sebi sadrži sve podatke potrebne za projektiranje OTP-a. Ukupno obuhvaća 63 karakteristike crteža, od čega 8 zavisno-nezavisnih varijabli pri čemu su podaci smješteni u tri osnovne cjeline, i to

- **Osnovna sastavnica**
  nalazi se u donjem desnom kutu crteža, a obuhvaća 17 karakteristika crteža:
  - *AD01 do AD17* T-11-1-022 *(osnovni podaci o crtežu)*
- **Dopunska sastavnica**
  nadograđuje se na osnovnu sastavnicu, i u tri retka obuhvaća:
  - *AD18 do AD38* T-11-1-022 *(tehnički podaci o izratku)*
  - *ZN01 do ZN10* T-16-1-063 *(podaci o polaznom materijalu)*
  - *redoslijed operacija, potrebne tehnološke postupke i procijenjena vremena izrade*
  - *dvije izvedene veličine, i to masu materijala i neto masu izratka*
- **Dodatna tablica**
  nalazi se uz gornji okvir crteža, a obuhvaća 21 podatak, i to:
  - *sve značajne karakteristike crteža* T-14-1-061
  - *dvije izvedene veličine, i to površina oplošja materijala i površina oplošja izratka*



Slika 7.1 Crtež sa podacima karakteristika crteža

7.2.2 Generalni uzorak OTP-a

Kao što je već navedeno, osnovno ograničenje za univerzalnu primjenu rezultata dobivenih ovim istraživanjem je uzorak na kojem se istraživanje vršilo.
Da bi se izradio model koji bi mogao općenito vrijediti, potrebno je pripremiti istraživanje u kojem će uzorak na temelju kojeg će se odrediti regresijski modeli biti univerzalan.
Takav uzorak naziva se generalni uzorak, a mora zadovoljiti osnovne uvjete, odnosno mora za svaku poziciju uzorka imati:

- **podatke o svim karakteristikama crteža**
  uz zastupljenost svih, u ovom radu, predviđenih karakteristika crteža, T-11-1-022 moguće je predvidjeti i nove karakteristike crteža čiju dostupnost omogućuju aplikacije za izradu tehničkih crteža. Ovdje se navodi samo nekoliko mogućih dodatnih karakteristika crteža:
  - *statičke veličine izratka (matrica inercijskih vrijednosti)*
  - *podaci o elementima dijela (broj rupa, broj zaobljenja,...)*
- **podatke o svim uvjetno nezavisnim varijablama**
  zavisno nezavisne varijable predstavljaju podatke o polaznom materijalu, a čiji izbor ovisi prvenstveno o veličini serije.
  Obzirom na vrstu proizvodnje, kao posljedicu veličine serije, generalni model može se podijeliti na:
  - *generalni model pojedinačne proizvodnje*
    polazni materijal određuje se na temelju uobičajenog stanja materijala na skladištu proizvodne tvrtke
  - *generalni model maloserijske proizvodnje*
    polazni materijal određuje se na temelju standardnog trgovačkog programa poluproizvoda
  - *generalni model serijske proizvodnje*
    polazni materijal određuje se na temelju standardnog proizvodnog programa poluproizvoda

  Iako je moguće iz jednog generalnog uzorka napraviti tri, varijacijom izbora polaznog materijala, smatra se da je u praksi zadovoljavajuće rješenje uzorak koji se temelji na standardnim trgovačkim poluproizvodima kao polaznom materijalu.
- **podatke o svim zavisnim varijablama**
  zavisne varijable predstavljaju prvenstveno podatke o vremenima izrade potrebnih tehnoloških procesa kao operacija u OTP-u.
  Pri tome je značajno da su potrebna vremena u generalnom uzorku što točnije određena. Iz tog razloga potrebno je ukupno vrijeme izrade svakog tehnološkog postupka raščlaniti na njegove elemente L-09-1-041 i svaki element odrediti na način koji je za to predviđen. Prednost pri određivanju potrebnog vremena ima korištenje jednadžbi, potom podaci iz tablica i podloga, a tek iznimno procjena.
  Iako se u generalnom uzorku određuju svi elementi vremena, potrebno vrijeme izrade se iskazuje, kao i u ovom radu, samo sa dvije komponente, i to:
  - *pripremno završno vrijeme* t_{pz}
  - *tehnološko pomoćno vrijeme* t_{tp}

  Kao mjerna jedinica preporučuju se minute, odnosno za ukupno vrijeme sati i minute, budući da je takav format standardan za obradu podataka na računalima.

- **podatke o različitim dijelovima koji se proizvode u strojarskoj proizvodnji**
  Zastupljenost statistički dovoljnog broja tehnološki različitih dijelova u uzorku nužna je da bi se rješenje moglo primijeniti u bilo kojoj vrsti proizvodnje obzirom na tehnološke postupke.
  Uzorak na kojem je izvršeno istraživanje u ovom radu samo djelomično zadovoljava zahtjev raznolikosti dijelova. Pretežit broj pozicija uzorka odnosi se ipak na tipove OTP-a kod kojih prevladavaju tehnološki postupci obrade odvajanjem čestica, a unutar te grupe najzastupljeniji su rotacijski dijelovi.
  Generalni uzorak mora obuhvatiti sve tehnološke postupke, što omogućuje oblikovanje različitih tipova OTP-a, a da bi se to ostvarilo uzorak mora imati:
  - *raznolikost oblika*
  - *raznolikost izmjera*
  - *raznolikost posebnih tehničkih svojstava*
    npr. dva potpuno ista dijela, od kojih je jedan toplinski obrađen, a drugi nije.
  - *raznoliku složenost*
    npr. dio koji je vrlo sličan polaznom obliku materijala, i dio koji se značajno razlikuje od oblika materijala iz kojeg je izrađen
  - *raznolikost zahtjeva*
    npr. dva potpuno ista dijela od kojih se u primjeni jedan vrti višestruko brže od drugog (različiti zahtjevi na hrapavost i toleranciju promjera)

  Uz raznolikost uzorka potrebno je da u uzorku bude i dovoljan broj pozicija, kako bi se mogli oblikovati različiti regresijski modeli. Potreban broj pozicija mora biti određen statističkim metodama.

Obzirom na odabir mogućih tehnoloških postupaka T-08-1-010 obradom podataka moguće je kreirati generalni uzorak za:

- **optimalno rješenje**
  zavisne varijable temelji na najboljim postojećim tehnološkim rješenjima
- **realno rješenje**
  zavisne varijable temelji na uobičajenim tehnološkim rješenjima u praksi

Rezultati dobiveni na temelju generalnog uzorka, bilo kao optimalno ili realno rješenje, bit će općenito primjenljivi, a usporedbom sa svojim ostvarenim utrošenim vremenima izrade svaka tvrtka će moći odrediti svoju tehnološku uspješnost.

Da bi se napravio generalni uzorak potrebno je za svaku poziciju u uzorku crtež dijela izraditi kao 3D dio u nekoj od aplikacija za izradu tehničkih crteža, a crtežu pripadajući tehnološki proces detaljno razraditi za svaki potreban tehnološki postupak.
Pri razradi tehnoloških postupaka preporučuje se i korištenje CAM tehnologije, koja automatizmom određuje za CNC strojeve potrebno vrijeme izrade.
Ako se uzme u obzir i svakodnevni tehnološki napredak, što nužno iziskuje promjenu uzorka, jasno je da je daljnji mogući razvoj rješenja koji se odnosi na generalni uzorak zapravo veliki znanstveni projekt koji iziskuje:

- **stručna znanja vezano uz strojarstvo (konstrukcija i proizvodnja)**
- **specijalistička znanja vezana uz statističke metode**
- **praćenje najnovijih tehnoloških dostignuća u strojarskoj proizvodnji**
- **kontinuiranost rada na projektu**

7.2.3 Aplikacija OTP-a

Osnovna zadaća aplikacije OTP-a je definirana OTP-om, T-07-1-007 dakle automatizirano utvrđivanje parametara tehnološkog procesa i njihov prikaz na tehnološkom listu.
Aplikacija OTP-a predstavlja informatičko rješenje ovog rada, prošireno sa zahtjevima za konkretnu primjenu u praksi, a sastoji se iz dva osnovna dijela:

- **baza podataka**
  zajednička relacijska baza podataka koja sadrži sve ovim radom predviđene elemente, a može se podijeliti na nekoliko osnovnih cjelina:
  - *baza općih podataka*
    obuhvaća podatke o okolini, kao npr. popis gradova ili tvrtki
  - *baza znanja*
    obuhvaća podatke o potrebnim postojećim znanjima vezanim uz OTP, kao npr. međusobne odnose razreda hrapavosti i redova tolerancija, ili finoće obrade i tehnoloških postupaka
  - *baza tipova OTP-a*
    obuhvaća podatke definirane ovim radom koji se odnose prvenstveno na kriterije za pridruživanja izratka pripadajućem tipu OTP-a.
  - *baza modela OTP-a*
    obuhvaća podatke definirane ovim radom, a prvenstveno obuhvaća popis potrebnih nezavisnih varijabli sa jednadžbama za procjenu vremena izrade, i koeficijente udjela vremena k_T
  - *baza posebnih podataka*
    obuhvaća podatke isključivo vezane uz korisnika aplikacije, kao npr. popis strojeva, ili proizvoda tvrtke
  - *baza promjenljivih podataka*
    obuhvaća podatke o tržištu, kao npr. dostupnost materijala
  - *baza tehnoloških procesa*
    obuhvaća podatke o parametrima tehnoloških procesa za svaki projektirani OTP, ali i za korigirane OTP-ove, kao i podatke o ostvarenim vrijednostima u proizvodnji. Za jedan dio moguće je u bazi imati više različitih tehnoloških procesa.
- **moduli za izvršavanje rutina**
  predstavljaju algoritme koji se automatizmom izvršavaju nakon određenog željenog događaja u aplikaciji.
  Obzirom na cilj koji se želi postići, kreiraju se posebne cjeline aplikacije, a mogu se podijeliti na nekoliko osnovnih modula, i to:
  - *modul za unos podataka*
    koji može biti ručni (kao pojedinačni ili skupni unos), ili automatizirani. Bez obzira o načinu unosa podataka, mora biti zadovoljen uvjet mogućnosti unosa svih karakteristika crteža u aplikaciju. Pri tome može postojati i opcija da se unose samo određene karakteristike crteža po odabiru korisnika, odnosno da se vrijednosti nekih karakteristika u slučaju ručnog unosa mogu postaviti kao konstante što ovisi o crtežima dijelova za koje se projektira OTP.
  - *modul za odabir potrebnog materijala*
    poluautomatizirani modul koji dozvoljava korisniku aplikacije da prihvati ili izmjeni predložene podatke o polaznom materijalu

Modul je moguće potpuno automatizirati ugradnjom opcije koja omogućuje podešavanje aplikacije da uvijek prihvaća predloženi izbor materijala na temelju trenutnih podataka u bazi

- *modul za određivanje tipa OTP-a*
  automatizirani modul koji na temelju rezultata ovog rada pridružuje dijelove pripadajućim tipovima OTP-a.
- *modul za procjenu potrebnih vremena izrade*
  automatizirani modul koji za svaki pojedini dio procjenjuje potrebno vrijeme izrade primjenom rezultata ovog rada. Modul mora imati mogućnost opcije za izbor izravnog izračuna ukupnog potrebnog vremena, ili kao sume izračunatih vremena izrade svih pojedinih tehnoloških postupaka.
- *modul za analizu i eventualnu korekciju parametara OTP-a*
  mora omogućiti korisniku aplikacije da izmjeni postojeći OTP. To se prvenstveno odnosi na izbor tipa polaznog materijala ili tipa OTP- a za pojedine dijelove za koje se projektira OTP. Pri tome aplikacija izvršava novi izračun i predlaže nova vremena izrade. Modul mora omogućiti i izravnu promjenu zavisnih varijabli bez potrebe za dodatnim izračunima.
  Značajno je da se svaka potvrđena promjena podataka u odnosu na potpuno automatizirano utvrđene podatke OTP-a pohranjuju u bazi podataka kao poseban tehnološki proces.
- *modul za unos stvarnih rezultata u procesu proizvodnje*
  mora omogućiti pohranu podataka o ostvarenim vrijednostima zavisnih varijabli (nezavisne su konstantne za isti dio) za svaki dio koji se proizveo, kako bi se mogla analizirati uspješnost proizvodnje, ali i primjerenost aplikacije stvarnom stanju u tvrtci u kojoj se primjenjuje.
- *modul za prezentaciju podataka*
  mora omogućiti oblikovanje različitih skupova podataka i njihov prikaz primjeren potrebama korisnika podataka. U pravilu podaci se prikazuju na različitim unaprijed propisanim obrascima prilagođenim krajnjim korisnicima, npr. sastavnica materijala svih dijelova nekog proizvoda (za nabavu), ili tehnološki list za proizvodnju jednog dijela (za proizvodnju).
- *modul za izvoz podataka*
  omogućuje automatiziranost drugih sa OTP-om povezanih aplikacija. Prvenstveno se to odnosi na aplikacije za planiranje proizvodnje, kod kojih su osnovni ulazni podaci upravo zavisne varijable OTP-a, dakle parametri tehnoloških procesa.

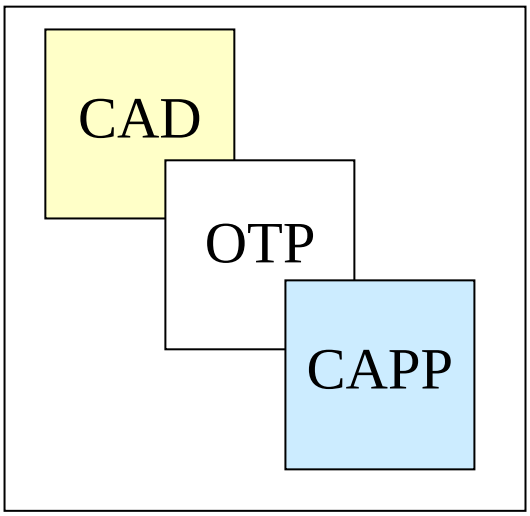
Obzirom na primjenu aplikacija se može predvidjeti kao:

- **samostalna zatvorena aplikacija**
  isporučuje se i koristi kao cjelovito rješenje koje se može izvršavati bilo gdje i bilo kada, unutar postojećeg operativnog sustava, bez mogućnosti pristupa aplikaciji izvana
- **samostalna otvorena aplikacija**
  isporučuje se i koristi kao cjelovito rješenje koje se može izvršavati bilo gdje i bilo kada, unutar postojećeg operativnog sustava, sa mogućnošću pristupa aplikaciji izvana (klijent-server aplikacija)
- **ugrađena aplikacija kao modul drugih aplikacija**
  pojedini moduli aplikacije kao dio (ulazni ili izlazni) drugih postojećih aplikacija

7.2.4 OTP i aplikacije za planiranje i praćenje proizvodnje

Bilo da se planiranje proizvodnje obavlja korištenjem jednostavnih gantograma, ili primjenom najsofosticiranijih računalnih aplikacija, osnova za bilo kakav rezultat je poznavanje potrebnog vremena trajanja pojedinih operacija, te je to ujedno i najveće ograničenje primjene aplikacija za planiranje proizvodnje u praksi.
Uslijed nepoznavanja potrebnih vremena izrade, postojeće aplikacije za planiranje proizvodnje neupotrebljive su, te se kvalitetne aplikacije za planiranje i praćenje proizvodnje u praksi ne koriste u dovoljnoj mjeri. Upravo to je razlog da su u postojećim sustavima CAPP uključeni i moduli za projektiranje tehnoloških procesa, pri čemu je potreban tehnolog za primjenu aplikacije.[22]

Skup rješenja ovog rada koji se može izraziti zajedničkim nazivom OTP, upravo je nužnost za primjenu aplikacija za planiranje i praćenje proizvodnje, budući da se OTP-om automatizmom uz procjenu potrebnih vremena izrade, definiraju i potrebni tehnološki postupci i njihov redoslijed u tehnološkom procesu.
Iako je jedna od osnovnih zadaća OTP-a priprema podloga za proces prodaje, potencijal OTP-a znatno je veći, i značajno će doprinijeti povećanju primjene aplikacija za planiranje i praćenje proizvodnje u praksi, a samim time i povećanju fleksibilnosti strojarskih proizvodnih tvrtki pojedinačne, serijske i maloserijske proizvodnje.
Rezultati OTP-a ulazni su podaci za planiranje proizvodnje, i kao takvi potaknut će korištenje aplikacija za planiranje i praćenje proizvodnje, bez obzira da li će se parametri OTP-a u njih unositi ručno, ili će se aplikacija OTP-a integrirati u njih.
Upravo je OTP element koji može automatizirano povezati tehničke crteže (CAD) sa planom proizvodnje (CAPP), što se prikazuje slikom 7.2 S-23-137



Slika 7.2 OTP kao veza između CAD i CAPP-a

Primjena aplikacija za planiranje i praćenje proizvodnje znatno je olakšana postojanjem OTP-a, bez obzira u kolikoj mjeri se OTP integrira u CAD ili CAPP, ali će se aplikacije za planiranje i praćenje proizvodnje svakako morati prilagoditi prednostima koje donosi OTP.

[22] «... Na osnovu tih podataka, datoteke o postupcima obrade, karakteristika mašina, tehnolog- programer definira logiku tehnoloških operacija, i zahvata, vrši izbor alata i mašina, određuje parametre režima izrade, vrijeme izrade i priprema radnu dokumentaciju» [08] L-08-1-253

7.2.5 Implementacija OTP-a

Pod implementacijom OTP-a podrazumijeva se skup aktivnosti potreban da bi se OTP aplikacija mogla koristiti u tvrtkama u praksi. Pri tome pripremne aktivnosti provodi specijalizirana tvrtka.
Obzirom na želje i potrebe tvrtke u kojoj će se primjenjivati, implementacija OTP-a se može značajno razlikovati od slučaja do slučaja.
Iako se i sama OTP aplikacija može isporučivati sa svim cjelinama, ili sa samo određenim segmentima rješenja, sam «paket» koji korisnik odabere nije značajan za daljnji razvoj rješenja obzirom na primjenu rješenja.

Aktivnosti procesa marketinga i procesa prodaje zajedničke su pripremne aktivnosti, a vrstu i obujam ostalih potrebnih aktivnosti za primjenu aplikacije u praksi značajno određuju uzorci na kojima su temeljeni modeli i rješenja. Za slučaj ovog rada, modeli i rješenja temeljeni su na uzorku iz prakse.

U nastavku se nabrajaju tri osnovne vrste implementacije OTP-a, obzirom na uzorak:

- **OTP aplikacija temeljene na generalnom uzorku**
  svejedno da li je generalni model temeljen na optimalnim ili realnim rješenjima.
  Uz aktivnosti marketinga i prodaje OTP aplikacije potrebna je još i eventualno edukaciju nekoliko zaposlenika kupca za primjenu aplikacije. Ovaj vid implementacije nije značajan za daljnji razvoj rješenja.
- **OTP aplikacija temeljena na stvarnom uzorku**
  potrebno je napraviti istraživanje kao i u ovom radu, a to podrazumijeva a:
  - *odabir uzorka na temelju stvarnih dijelova tvrtke za koju se priprema primjena*
  - *određivanje dostupnih karakteristika na postojećim crtežima tvrtke*
  - *određivanje tipova OTP-a*
  - *određivanje modela*
  - *prilagodba aplikacije izvršenom istraživanju*
- **OTP aplikacija temeljena na budućem stvarnom uzorku**
  potrebno je napraviti istraživanje kao i u ovom radu, ali i predložiti tvrtci za koju se vrši priprema za primjenu nužne organizacijske promjene, u cilju što bolje iskoristivosti mogućnosti OTP-a.
  Nerijetko će uz prijedloge biti potrebno i sudjelovanje tvrtke koja provodi implementaciju u njihovom provođenju.
  - *izvršiti određene promjene u organizaciji proizvodnje tvrtke*
  - *osigurati upis ostvarenih rezultata OTP-a u bazu*
  - *periodično uključivanje podataka u stvarni uzorak i novo istraživanje*

U periodu do izrade generalnog uzorka, u kojem će se primjenjivati isključivo stvarni uzorci, a OTP aplikacija vrijedit će samo za tvrtku iz koje je stvarni uzorak, implementacija OTP-a iziskivat će po stručnosti i obujmu znatne aktivnosti.
Kako se očekuje da će OTP aplikacija u najčešćem slučaju uz generalni uzorak sadržavati i stvarni uzorak tvrtke u kojoj se primjenjuje, implementacija OTP-a i u periodu nakon izrade generalnog uzorka ostaje značajna.
Razlog je to da se u daljnjem razvoju rješenja posveti pozornost implementaciji OTP-a s naglaskom na automatizirana rješenja.

ZAKLJUČAK

Istraživanjem je potvrđena hipoteza o mogućnosti procjenjivanja vremena izrade proizvoda regresijskim modelima na temelju karakteristika crteža.
Potvrđena je i hipoteza o većoj točnosti procjene vremena izrade za proizvode grupirane klasifikatorima po polaznom obliku materijala, kao i hipoteza o još točnijoj procjeni vremena izrade za proizvode grupirane po klasifikatorima oblika materijala i dodatno po posebnim klasifikatorima karakteristika crteža.

Na temelju uzorka koji obuhvaća pozicije s masom do 2,6 kg, oblikovani su regresijski modeli sa jednadžbama na temelju kojih je moguće procijeniti vrijeme izrade, uz pogrešku procjene manju od 10%.
Vrijedi općenita konstatacija o pogrešci procjene vremena izrade do 30% po modelu za sve proizvode, od 15 do 25% po modelu za proizvode grupirane samo klasifikatorima po obliku materijala, a 5 do 10 % po modelu za dodatno grupiranje proizvoda po posebnim klasifikatorima temeljenim na karakteristikama crteža.

Dobivene regresijske jednadžbe dio su novog i originalnog rješenja za računalno podržano odlučivanje u projektiranju tehnoloških procesa u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji.
Značajni elementi rješenja su i novo razvijene metode klasificiranja dijelova na temelju karakteristika crteža kao klasifikatorima, čime je moguće svakom dijelu pridružiti odgovarajući tip, ili granu osnovnog tehnološkog procesa.

Povezivanjem postojećih tehnoloških znanja, oblikovanih regresijskih jednadžbi i utvrđenih klasifikatora, uz mogućnost procjenjivanja vremena izrade sa pogreškom procjene manjom od 10 %, rješenje omogućuje i definiranje potrebnih tehnoloških postupaka i njihov redoslijed u tehnološkom procesu, što sve skupa predstavlja osnovne parametre tehnološkog procesa.
Dakle, cjelovito rješenje ovog rada definira osnovne parametre tehnološkog procesa, pa se shodno tome i naziva osnovni tehnološki proces, ili kraće OTP.

Zaključuje se da je istraživanje u potpunosti potvrdilo mogućnost proračuna parametara tehnološkog procesa na temelju karakteristika crteža. Rezultate istraživanja moguće je izravno primijeniti u praksi.

Daljnji razvoj rješenja poželjan je, a i moguć ostvarenjem nekoliko vrsta novih projekata i to:

- *Stručni projekt*
  standardizacija tehničkih crteža
- *Znanstveni projekt*
  izrada generalnog uzorka
- *Informatički projekt*
  izrada aplikacije OTP-a
- *Specijalistički projekt*
  povezivanje OTP-a sa aplikacijama za planiranje i praćenje proizvodnje
- *Poduzetnički projekt*
  implementacija rješenja u proizvodnim tvrtkama.

LITERATURA

1. **VILA**, Antun; **LEICHER**, Zdenko: **PLANIRANJE PROIZVODNJE I KONTROLA ROKOVA** OPERATIVNA PRIPREMA RADA POSLOVANJE SPECIJALNIM ALATIMA, INFORMATOR ZAGREB 1983.
2. **NAPALKOV,** E.; **ZARS**, V.: **THE METHOD FOR DIRECT TRANSFORMATION OF DESIGN FEATURES INTO PROCESS PLAN''S,** 8th International DAAAM, DUBROVNIK 1997 (pp. 235-236)
3. **BALIĆ,** Jože; **VEŽA,** Ivica; **ČUŠ,** Franci: **NAPREDNE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE,** UNIVERZA V MARIBORU, FESB SPLIT MARIBOR – SPLIT 2007.
4. **HUGH,** J. **A BOOLEAN ALGEBRA APPROACH TO HIGH-LEVEL PROCESS PLANNING** THE UNIVERSITI OF WESTERN ONTARIO ONTARIO 1993
5. **KYUNG,** Sam Park; **Soung,** Hie Kim: **ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACHES TO DETERMINATION OF CNC MACHINING PARAMETERS IN MANUFACTURING: A REVIEW,** ARTFICIAL INTELLIGENCE IN ENGINEERING, VOLUME 12, ISSUES 1-2, 1998. (pp. 127-134)
6. **ĆOSIĆ,** Predrag; **LEVANIĆ,** Andrija: **VARIANTS OF MACHINING AND PRODUCTION COSTS**, ANNALS OF DAAAM, VIENNA 2004. (pp. 085-086)
7. **ĆOSIĆ,** Predrag: **SYSTEMATIZATION OF THE PROCESS PLANNING KNOWLEDGE AS THE NECESSARY STEP FOR CAPP IMPLEMENTATION**, ANNALS OF DAAAM, VIENNA, 2002. (pp.107-108)
8. **JURKOVIĆ**, Milan; **TUFEKČIĆ**, Džemo: **TEHNOLOŠKI PROCESI** PROJEKTIRANJE I MODELIRANJE, UNIVERZITET U TUZLI TUZLA, 2000.
9. **TABORŠAK**, Drago: **STUDIJ RADA,** TEHNIČKA KNJIGA, ZAGREB 1987.
10. **ŠAVAR**, Šime: **OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA** I DIO, FSB ZAGREB, ZAGREB, 1987.
11. **REBEC,** Bruno; **MARGIĆ,** Slavko: **ŠTANCE** II DIO, FSB ZAGREB, ZAGREB, 1987.
12. **NIKOLIĆ,** Gojko. **MEHANIZACIJA I AUTOMATIZACIJA OPERACIJA SKLAPANJA,** FSB ZAGREB, ZAGREB, 1981.
13. **FILETIN**, Tomislav, **KOVAČIČEK**, Franjo, **INDOF**, Janez: **SVOJSTVA I PRIMJENA MATERIJALA,** FSB ZAGREB, ZAGREB, 1981
14. **VOLAREVIĆ,** Nikola; **ĆOSIĆ,** Predrag: **SHAPE COMPLEXITY MEASURE STUDY**, Annals of DAAAM for 2005, 2005. (pp. 375-376)
15. **ZHENKAI,** Liu; **LIHUI,** Wang: **SEQUENCING OF INTERACTING PRISMATIC MACHINING FEATURES FOR PROCESS PLANNING,** COMPUTERS IN INDUSTRY, 2007. (pp. 295-303)
16. **CHANG,** Alec C.; **ANGASITH,** Vorapoch: ***USING HOPFIELD NEURAL NETWORKS FOR OPERATIONAL SEQUENCING FOR PRISMATIC PARTS ON NC MACHINE,*** ENGINEERING APPLICATIONS, 2001. (pp. 357-368)
17. **VOLAREVIĆ,** Nikola; **ĆOSIĆ,** Predrag: **IMPROVING PROCESS PLANNING THROUGH SEQUENCING THE OPERATIONS,** II AMST¨05, UDINE, 2005. (pp. 337-345)
18. **VODENIK,** Ferdo: **STUDIJ I ANALIZA VREMENA IZRADE,** TEHNIČKA KNJIGA, ZAGREB, 1972.
19. **GAŠPAROVIĆ**, Vito: **UVOD U EKONOMIKU I ORGANIZACIJU PROIZVODNJE,** INFORMATOR, ZAGREB, 1984
20. **VIŠE AUTORA: IP1** INŽINJERSKI PRIRUČNIK, ŠKOLSKA KNJIGA, ZAGREB, 1996.
21. **KRAUT,** Bojan: **STROJARSKI PRIRUČNIK,** TEHNIČKA KNJIGA, ZAGREB, 1976.
22. **EKINOVIĆ**, Sabahudin: **METODE STATISTIČKE ANALIZE U MICROSOFT EXCEL-U** MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI, ZENICA, 1997.
23. **HADŽIVUKOVIĆ**, Stevan: **REGRESIONA ANALIZA,** PRIVREDNI PREGLED, BEOGRAD, 1992.
24. **PAUŠE,** Željko: **UVOD U MATEMATIČKU STATISTIKU,** ŠKOLSKA KNJIGA, ZAGREB, 1993.
25. **MILLER**, D. Robert; **WICHERN**, W. Dean: **INTERMEDIATE BUSINESS STATISTICS,** ANALYSYS OF VARIANCE, REGRESSION, AND TIME SERIES, HOLT, RINEHART AND WINSTON, WISCONSIN, 1977.
26. **ĆOSIĆ,** Predrag: **OSNOVE PROJEKTIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA,** http://ptp.fsb.hr ZAGREB, 2002.
27. **CRNEKA-ČUDINA**, Nevenka: **ISTRAŽIVANJE MEĐUZAVISNIH KONSTRUKCIJSKIH I TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA STROJNIH DIJELOVA S ASPEKTA AUTOMATIZACIJE PROJEKTIRANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA,** MAGISTARSKI RAD, FSB ZAGREB, ZAGREB, 1992.

28. **TOMAKIĆ**, Mato: **UTJECAJ VELIČINE I NAČINA IZBORA UZORKA NA TOČNOST REZULTATA KOD PROJEKTIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA ZA NOVU PROIZVODNJU,** MAGISTARSKI RAD, FSB ZAGREB, ZAGREB, 1983.
29. **KURIC**, I.;**KUBA**, J.: **DYNAMIC CLASSIFICATION IN CAPP,** 17TH INTERNATIONAL DAAAM, VIENNA, 2006. (pp. 215-216)
30. **VANJA,** S.: **GRUPPENTECHNOLOGIE ALS BINDEGLIED ZWICHEN CAD UND CAM** VDI-Z, 1987.
31. **VELJAN,** Darko: **KOMBINATORNA I DISKRETNA MATEMATIKA,** ALGORITAM, ZAGREB, 2001.
32. **VERLINDEN**, B., **DUFLOU**, J.R., **CATTRYSSE**, D.: ***COST ESTIMATION FOR SHEET METAL PARTS USING MULTIPLE REGRESSION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: A CASE STUDY,*** INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, HEVERLEE, 2007.
33. **HALEVI,** G.: **PRINCIPLES OF PROCESS PLANNING,** CHAPMAN & HALL, LONDON, 1995.

ŽIVOTOPIS

- **Osobni podaci**
  rođen 1962. godine u selu Sopot, grad Pregrada u Krapinsko –zagorskoj županiji, Hrvat, oženjen
- **Obrazovanje**
  - *Osnovna škola u Pregradi (od 1968 do 1976 godine)*
    sve razredi s odličnim uspjehom
  - *Srednja tehnička škola «Nikola Tesla« u Zagrebu (od 1976 do 1980 godine)*
    sve razredi s odličnim uspjehom, oslobođen polaganja mature
  - *Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (od 1981 do 1985)*
    diplomirao u prvom redovnom roku
    - *ocjena diplomskog odličan*
    - *ocjena obrane odličan,*
    - *opći uspjeh na studiju vrlo dobar*
    - *1985. godine dobitnik nagrade Sveučilišta u Zagrebu za rad «Primjer mogućosti primjene ergonomskih načela u praksi»*
- **Poslovanje**
  osnivač i jedini vlasnik obrta, čije su djelatnosti isključivo vezane uz strojarsku proizvodnju, uz kontinuirano zapošljavanje desetak radnika
  - *od 1985 do 1986. godine vođenje proizvodnje sa ukupno 100 zaposlenih (proizvodnja lanaca, pretežito obrada deformiranjem)*
  - *od 1986. do 1987. godine vođenje pogona za izradu alata za štancanje i oblikovanje polimera (pretežito obrada odvajanjem čestica)*
  - *1987 do 1989 uvođenje i vođenje proizvodnje elektromagnetskih retardera (obrada deformiranjem, obrada odvajanjem čestica- CNC strojevi i obradni centri, zalijevanje epoksidnih smola, sastavljanje proizvoda)*
  - *1990 do 1992, godina vođenje i ugovaranje poslova za automobilsku industriju, (proizvodne linije, elementi robota za zavarivanje, transportni sustavi, čelične konstrukcije - pretežito zavarivanje, obrada skidanjem strugotine, i montaža)*
  - *od 1992. do 1997. proširenje i vođenje prodaje na zapadnoevropskom tržištu, pretežito njemačkom i austrijskom (izrada ponuda, ugovaranje, kooperacija, naplata, vođenje proizvodnje, kontrola proizvodnje kooperanata...)*
  - *1998. do 2002. godine proizvodnja prijelaznih naprava za mostove (dilatacije) i izrada rezervnih dijelova za tekstilne strojeve*
  - *od 2002. godine naglasak na djelatnostima vezanim uz strojarski inženjering, i to:*
    - *projektiranje organizacije i proizvodnih i tehnoloških procesa i sustava*
    - *vođenje projekata strojarske proizvodnje*
    - *razvoj proizvoda i posredovanje u strojarskoj proizvodnji*
- **Društvene aktivnosti**
  - predsjednik obrtničke komore Krapinsko zagorske županije (od 1994.do 2004. g.)
  - predsjednik ceha proizvodnih djelatnosti HOK-e (od 1995. do 2002. godine)
  - dobitnik više nagrada i priznanja od udruženja obrtnika i obrtničke komore , za uspješno poslovanje, i doprinos razvoju obrtničkog sustava

CURRICULUM VITAE

- **Personal data**
  born in 1962 in Sopot, city of Pregrada in Krapinsko –zagorska county, Croatian, married
- **Education**
  - *Primary school in Pregrada (1968-1976)*
    all grades completed with excellent achievement
  - *Engineering high school «Nikola Tesla« in Zagreb (1976 - 1980)*
    all grades completed with excellent achievement, exempted from final exam
  - *Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb (1981 - 1985)*
    graduated in time
    - *graduation thesis grade - excellent*
    - *graduation thesis knowledge - excellent,*
    - *total of achievements at faculty – very good*
    - *in 1985 winner of the University in Zagreb prize for the paper «Example of usage possibility of ergonomic solutions in practice»*
- **Employment**
  Establisher, and the only owner, of craft trade, which activities are exclusively related to machine production, with continuous employment of approximately twenty employees
  - *from 1985 to 1986 production director with total of 100 employees (production of chains, mostly processing through distortion)*
  - *from 1986 to 1987 manager of a plant for press tools production and designing of polymers (mainly processing by particle division)*
  - *1987 to 1989 introduction and management of producing electromagnetic retarders (distortion processing, particle division processing- CNC machines and processing centers, perfusion of epoxide resin, products assembly)*
  - *1990 to 1992 managing and business negotiation for car industry, (production line, robot elements for welding, transportation systems, steel constructions – mostly welding, scraping off and assembling)*
  - *from 1992 to 1997 sales management and expansion to West European market, mostly German and Austrian (creation of bids, negotiating, cooperation, reimbursement, production management, subcontractor production monitoring etc.)*
  - *1998 to 2002 production of intermediate joints for bridges (bridge deck segments) and construction of spare parts for machines for textile industry*
  - *from 2002 accent on activities related to mechanical engineering, especially the following:*
    - *organizational planning and planning of production and technological processes and systems*
    - *mechanical production projects management*
    - *products development and mediation in mechanical production*
- **Social activities**
  - *President of the Chamber of Trades and Crafts of Krapinsko-zagorska county (from 1994 to 2004)*
  - *President of Productive subjects guild of the Chamber of Trades and Crafts (from 1995 to 2002)*
  - *Winner of several prizes and acknowledgements from Craftsmen Association and Chamber of Trades and Crafts, for successful business activities and contribution to development of craft system*

PRILOZI

Prilozi ovo rada dati su u digitalnom obliku i otisnuti na papiru.
U digitalnom obliku (CD ROM «Procjena vremena izrade proizvoda regresijskim modelima) obuhvaćeni su prilozi u potpunosti.
Zbog obimnosti priloga (opsežan broj podataka prikupljen istraživanjem), na papiru je otisnuti samo dio priloga. Uglavnom su izostavljene tablice sa podacima po pozicijama u uzorku. Popis priloga prikazan je u tablici T-37 T-37-1-144

T-37	Tabela popisa priloga			01-01
		POPIS PRILOGA		
Redni broj	Oznaka	Naziv	Komentar	Listova*
1	**A**	**PRETHODNO ISTRAŽIVANJE**	Prethodni uzorak. Regresijska analiza cijelog uzorka. Optimiziranje modela metodom unatrag.	(9) 30
2	**B**	**REZULTATI ANALIZE CJELOVITOG UZORKA OSNOVNIM REGRESIJSKIM MODELOM**	Statistički pokazatelji za uključene varijable. Rezultati regresijske analize osnovnim regresijskim modelom.	(7) 7
3	**C**	**OBRADA PODATAKA**	Prilagodba uzorka za obradu Priprema podataka za obradu	(6) 22
4	**D**	**UZORAK «OTP 415-1805»**	Prikaz podataka uzorka na kojem se temelji rješenje ovog rada. Karakteristike crteža. Izravne nezavisne varijable. Uvjetno nezavisne varijable. Zavisne varijable.	(9) 56
5	**E**	**MATRICA PODATAKA «M 415 -168»**	Karakteristike crteža. Tipovi OTP-a. Izvedene nezavisne varijable. Dodatne nezavisne varijable. Elementi vremena izrade (P,T,U,K), sve u jednoj zajedničkoj tablici	(12) 70
6	**F**	**PRETHODNO OBLIKOVANJE REGRESIJSKIH MODELA**	Oznake nezavisnih varijabli za potrebe obrade podataka. Skupni prikaz rezultata različitih regresijskih modela. Tablica rezultata regresijskog modela za cijeli uzorak (2 modela, jedan temeljen na ukupnom vremenu izrade, a drugi na tehnološko-pomoćnom vremenu izrade) Regresijski model za tip OTP-a BB, temeljen na tehnološko-pomoćnom vremenu izrade), i to set jednadžbi za vrijeme izrade pojedinih tehnoloških postupaka i skupno vrijeme izrade.	(6) 6

* Brojevi u zadnjem stupcu u tablici označavaju ukupni broj stranica priloga u digitalnom obliku, a broj u zagradi predstavlja broj otisnutih stranica kao prilog uz osnovni tekst. Boja polja označava boju stranica na kojima je otisnut prilog.