

Odabir optimalnog primarnog procesa

Kokot, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:981859>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 288/PS/2019

Odabir optimalnog primarnog procesa

Student

Vedran Kokot, 1558/336

Mentor

Prof. dr. sc. Predrag Ćosić, dipl. ing.

Varaždin, srpanj 2019. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 288/PS/2019

Odabir optimalnog primarnog procesa

Student

Vedran Kokot, 1558/336

Mentor

Prof. dr. sc. Predrag Ćosić, dipl. ing.

Varaždin, srpanj 2019. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Vedran Kokot	MATIČNI BROJ	1558/336
DATUM	15.07.2019.	KOLEGIJ	Tehnološka priprema proizvodnje
NASLOV RADA	Odabir optimalnog primarnog procesa		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Optimal Primary Process Selection		
MENTOR	Predrag Čosić	ZVANJE	redoviti profesor u trajnom zvanju
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Prof.dr.sc. Živko Kondić		
	2. Prof.dr.sc. Predrag Čosić		
	3. Veljko Kondić, mag.ing.mech., predavač		
	4. Marko Horvat, dipl.ing., predavač		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ	288/PS/2019
OPIS	<p>U radu dati prijedlog odabira primarnog procesa za zadani gotovi komad, vratilo. Koristeći procedure odabira primarnog procesa uočena je prisutnost ekcentra kod vratila što utječe na redosljed operacija, odabir stroja, vrijeme izrade, odabir ukovnja/gravura, dimenzije priprema, načina zagrijavanja, produktivnost kod kovanja, dimenzije vijenca te odabir dobavljača. Za odabrani primarni proces, u razmatranom slučaju kovanja, definirati razmatrane scenarije kod odabira dobavljača otkovaka tj. jednu od tri kovačnice po AHP metodi. Koristeći, višekriterijalno optimiranje pri odabiru optimalnog dobavljača, razraditi sve elemente u proceduri razrade zamišljenih scenarija po usvojenoj AHP metodi, odnosno:</p> <ol style="list-style-type: none">1. razraditi cilj, moguće scenarije2. definirati stablo kriterija i podkriterija vodeći računa o vrsti kriteriji (atributivni, kvantitativni- tzv. strukturiranje problema)3. definiranje (generiranje) alternativa,4. uspoređivanje alternativa u odnosu na kriterije (određivanje relativnog utjecaja svake alternative po određenom kriteriju),5. kako se u nekim slučajevima radi o podacima koje nije moguće dobiti od dobavljača, neke kriterije/pokriterije procijeniti temeljem dostupnih ili pretpostavljenih podataka6. numerirati (ponderirati) stablo kriterija Saatijevom tablicom kako bi imali spremne podatke za realizaciju AHP metode korištenjem računalne aplikacije Expert Choice7. sačiniti parne usporedbe alternativa, procjenu konzistentnosti8. dinamičkim komponentnim prikazom te grafikonom performansi analizirati rezultate9. dati zaključak i literaturu

ZADATAK URUČEN	POTPIS MENTORA
----------------	----------------

Predgovor

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru prof. dr. sc. Predragu Ćosiću koji je svojim stručnim savjetima pomogao u izradi završnog rada i što je uvijek imao vremena i strpljenja za upite.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji koja me uvijek podupirala i motivirala.

Sažetak

U radu je opisan odabir optimalnog dobavljača iz Kine na temelju tri dobivene ponude za izradu 120 000 komada otkovaka, a otkovci su primarni proces za izradu vratila. Odabir se vršio primjenom AHP metode na temelju kojeg radi softverski program Expert Choice temeljem višekriterijskog odlučivanja. Završni rad temelji se na projektu u kojem je detaljno razrađen odabir primarnog procesa, odabir alata i strojeva, redoslijed operacija, tehnološki proces izrade, analiza vremena i proračun troškova, način skraćanja vremena i cijene izrade, procjena roka isporuke i moguća poboljšanja procesa. Koncentracija završnog rada je na odabiru primarnog procesa te su na osnovi njega ponderirani kriteriji prema kojima se vršio odabir optimalnog ponuđača.

Ključne riječi: *Odabir optimalnog primarnog procesa, Vratilo, Potpora odlučivanju, Višekriterijalno odlučivanje, Analitički hijerarhijski proces, Expert Choice*

Summary

The paper describes the selection of an optimal supplier from China based on three obtained bids for the production of 120 000 forged pieces, which are the primary process for making shafts. The choice was made using the AHP method based on the Expert Choice software program based on multi-criteria decision making. This final paper is based on a project detailing the primary process, tool and machine selection, sequence of operations, technological process, time analysis and cost calculation, time-scale and cost estimation, delivery estimates, and process improvement. The focus of this paper is placed on the selection of the primary process as the basis for determining the criteria used to select the optimal bidder.

Key words: *Selection of Optimal Primary Process, Shaft, Decision Support, Multi Criteria Decision Making, Analytical Hierarchy Process, Expert Choice*

Popis kratica

CAD – *Computer Aided Design* – oblikovanje pomoću računala

ASM – *Advanced System Managment* – sustav naprednog upravljanja

SGS – *Societe Generale de Surveillance* – opće društvo za nadzor

AHP – *Analytic Hierarchy Process* – analitički hijerarhijski proces

DSS – *Decision Support System* – sustav podrške odlučivanju

OMD – obrada metala deformiranjem

TJ – terminska jedinica

EC – *Expert Choice*

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	CAD CRTEŽ MODELA	2
3.	RAZRADA TEHNOLOŠKOG PROCESA ZA ODABRANI PROIZVOD	3
3.1	Odabir materijala zadanog vratila.....	4
4.	ODABIR PRIMARNOG PROCESA	5
4.1	Odabir primarnog procesa - Halevi	5
4.2	Odabir primarnog procesa - ASM	7
5.	DEFINIRANJE PRIPREMKA - OTKOVAK.....	10
5.1	Izbor grupe otkovka.....	10
5.2	Određivanje mjera otkovka.....	11
5.2.1	Izračunavanje kovačkih dodataka.....	12
6.	ODABIR PONUDE KOVANJA.....	15
6.1	Proizvod i njegove karakteristike	15
6.2	Hijerarhijska struktura kriterija za optimalan odabir ponude.....	16
6.3	Numeričko vrednovanje (ponderiranje) kriterija	17
6.3.1	Rok isporuke.....	18
6.3.2	Cijena proizvoda.....	18
6.3.3	Produktivnost.....	19
6.3.4	Upravljanje kvalitetom	19
6.3.5	Reference	20
6.3.6	Režim plaćanja	21
6.3.7	Certificiranost	21
7.	SUSTAVI ZA POTPORU ODLUČIVANJA (DSS Decision Support Systems)	22
7.1	Vrste DSS-a	22
7.2	Analitičko hijerarhijski proces (AHP metoda)	23
7.2.1	AHP metoda	25
7.2.2	Provedba AHP metode	26
7.2.3	Konzistentnost	26
7.2.4	Saatyeva skala.....	26
7.2.5	Prednosti i nedostaci AHP [14]	27
7.3	Softverski alat Expert Choice (EC)[15].....	28
7.3.1	Značajke Expert Choice-a	28
7.3.2	Postupak korištenja Expert Choice-a.....	29
7.4	Struktura Expert Choice modela [12]	29
7.4.1	Model View	30

7.4.2 Izrada novog modela	30
7.4.3 Donošenje parnih prosudbi	33
7.4.4 Numerička komparacija	33
7.4.5 Grafička komparacija	33
7.4.6 Verbalna komparacija	34
7.4.7 Provođenje osjetljivosti pomoću Expert Choice-a	37
8. UNOS PODATAKA, PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA	43
9. ZAKLJUČAK	49
10. LITERATURA	51

1. UVOD

Odabir primarnog procesa kod projektiranja tehnološkog procesa obrade obratka bitno utječe, kako na vrijeme naknadne obrade, tako na troškove obrade, zauzetost alatnih strojeva i na rokove isporuke izradaka. Kako je odabir primarnog procesa uglavnom baziran na iskustvu i intuiciji projektanta, postoji više modela kojima se može pomoći projektantu u procjeni koji bi primarni proces bio najprimjereniji.

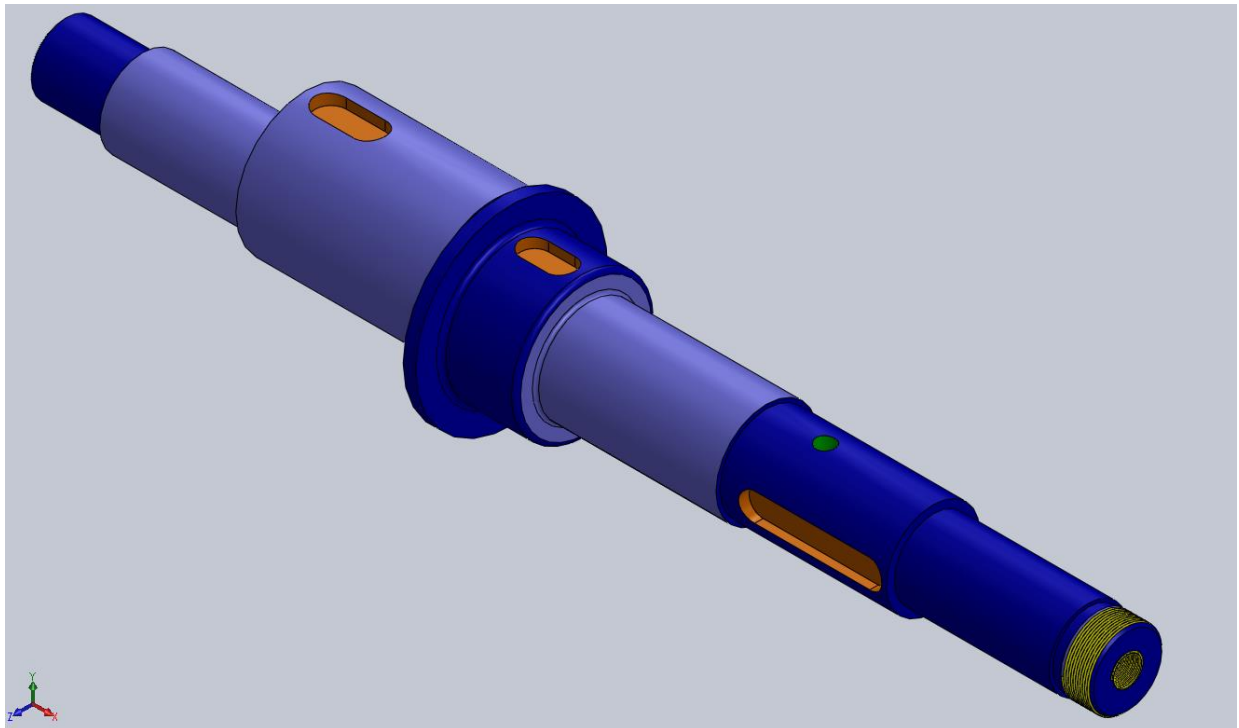
Treba naglasiti da je svako od područja redosljed operacija, vrsta strojeva i primarni proces napravljeno te je za cilj završnog rada odabran specifičan primjer odabira optimalnog dobavljača. U nastavku rada glavni kriteriji *rok isporuke* i *cijena proizvoda* biti će obrađeni detaljno i prikazani posebno. Dobivene su 3 ponude iz Kine za izradu 120 000 komada otkovaka te će se ovisno o kriterijima i podkriterijima vršiti usporedba i konačno odabir optimalne ponude kojim će se detaljno baviti u završnome radu. Dobivanje ponuda od bližih kovačnica (hrvatskih ili slovenskih) nije bilo moguće.

3. RAZRADA TEHNOLOŠKOG PROCESA ZA ODABRANI PROIZVOD

Na postupak odabira primarnog procesa koji je detaljnije razrađen u točki 4 završnog rada najveći utjecaj su imali:

1. Redosljed operacija
2. Odabir alata i strojeva
3. Tehnološki proces izrade
4. Analiza vremena i proračun troškova
5. Redosljed operacija
6. Način skraćanja vremena i cijene izrade
7. Procjena roka isporuke
8. Moguća poboljšanja procesa

Odabir primarnog procesa kretat će se između kovanja i istiskivanja. Lijevanje se ne razmatra zbog ljevačke strukture i traženih funkcionalnih svojstva. Zadana količina od 120 000 komada je najutjecajniji kriterij za odabir kovanja, a ne recimo obrada odvajanjem čestica jer bi tehnološki proces izrade trajao predugo, a i sama cijena izratka bila bi previsoka.



Slika 3.1 Konačan izradak prikazan u SolidWorks-u

	Kvaliteta površine N7
	Kvaliteta površine N5
	Utori za pera
	Provrt
	Unutarnji i vanjski navoji

Tablica 3.1 Legenda utjecajnih faktora

Na slici 3.1 prikazan je konačan izradak, a bojama su označeni faktori koji utječu na odabir primarnog procesa.

3.1 Odabir materijala zadanog vratila

Iz tablice 3.2 primjećuje se da je obrada odvajanjem čestica primjenjiva na svim vrstama materijala pa tako i za Č0451, koji je odabran za izradu razmatranog vratila. Vrsta konstrukcijskog čelika, čest odabir prilikom izrade vratila zbog svojstava koja pogoduju radnim uvjetima, a nisu navedeni neki specifični zahtjevi u kojima će izradak funkcionirati.

Vrsta materijala	Oznaka materijala			Zatezna čvrstoća R_m [N/mm ²]	Granica plastičnosti $R_{es}R_{p0.2}$ [N/mm ²]	Modul elastičnosti E [N/mm ²]	Poissonov broj ν
	EN 10027-1	DIN	HRN				
Konstrukcijski čelici	S185	St 33	Č 0130	290	175	2,1·10 ⁵	0,3
	S235	St 37-2	Č 0370	340	225		
	S275	St 44-2	Č 0451	410	265		
	S355	St 52-3	Č 0562	490	345		
	E295	St 50-2	Č 0545	470	285		
	E335	St 60-2	Č 0645	570	325		
	E360	St 70-2	Č 0745	670	355		
Čelci za poboljšavanje	C35	C35	Č 1430	600	370		
	C45	C45	Č 1530	650	430		
	C55	C55	Č 1630	750	500		
	30Mn5	30Mn5	Č 3131	830	580		
	25CrMo4	25CrMo4	Č 4730	850	600		
	34CrMo4	34CrMo4	Č 4731	950	730		
	42CrMo4	42CrMo4	Č 4732	1000	750		
	50CrMo4	50CrMo4	Č 4733	1050	780		
	36CrNiMo4	36CrNiMo4	Č 5430	1200	1000		
	30CrNiMo8	30CrNiMo8	Č 5432	1250	1050		

Tablica 3.2 Osnovna svojstva odabranog materijala, [2]

4. ODABIR PRIMARNOG PROCESA

Odabir primarnog procesa temeljen je na materijalu, količini, složenosti oblika, veličini dijela te nekih drugih faktora. Prvi korak u odabiru primarnog procesa je definiranje kriterija. Prvo se odabire primarni proces po Haleviju, potom po ASM Handbooku. Treba naglasiti da kod odabira primarnog procesa te naknadnih obrada bitan utjecaj imao je **ekscentar** kod razmatranog vratila.

4.1 Odabir primarnog procesa - Halevi

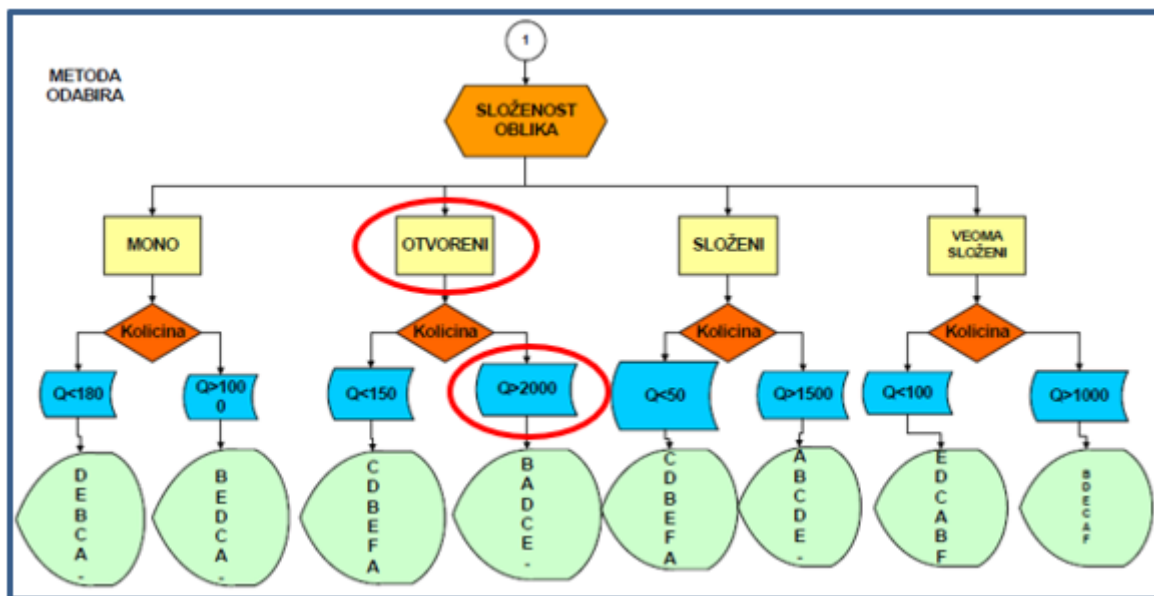
Prvo je definiran oblik po Haleviju i odabran je najbližnji izratku (Tablica 4.1). Kao i kod svakog traženja generalnog rješenja, uočeno je da ima premalo ponuđenih oblika pa je odabir time otežan, a samim time i manje precizan. Potom je, temeljem odabranog oblika i količine, sugerirana ponderirana tehnologija primarnog procesa od najbolje prema najlošijoj (Slika 4.1). Intervalne granice su oštro postavljene, a za nepostojeće intervale projektant se može snaći tako da rješenje traži iz najbližeg intervala. Međuintervalne granice nisu postavljene i to je najveći problem kod odabira primarnog procesa po Haleviju. Također, problematična je činjenica da se utjecaj vrste materijala ne uzima u početku kao faktor kod Halevija.

R. broj	VRSTA OBLIKA	SKICA OBLIKA IZRATKA		
1	MONO (konstantan presjek duž glavnog oblika)			
2	OTVOREN (simetričan oblik, ali promjenljivog presjeka)			
3	SLOŽENI (otvoreni oblik s bočnim značajkama)			
4	VRLO SLOŽENI (svi ostali oblici)			

Tablica 4.1 Klasifikacija složenosti geometrije obratka po Haleviju, [1]

U tablici 4.1 nalaze se 4 pozicije prema vrsti oblika, a to su *mono* (konstantan presjek duž glavnog oblika), *otvoren* (simetričan oblik, ali promjenljivog presjeka), *složeni* (otvoren oblik s bočnim značajkama) te *vrlo složeni* oblici (obuhvaća sve ostale oblike).

Usporedbom ponuđenih oblika sa zadanim, zaključuje se da se radi o *otvorenom* obliku s promjenjivim presjekom duž osi. Nakon odabira vrste oblika, potrebno je odabrati jedan od proizvodnih procesa koje se može vidjeti na slici 4.1.



Slika 4.1 Odabir primarnog procesa po Haleviju, [1]

Kod tipa obrade:

- A – oblikovanje iz taline (lijevanje,...)
- B – oblikovanje metala deformiranjem (OMD)**
- C – oblikovanje odvajanjem čestica (OOČ)
- D – oblikovanje spajanjem
- E – oblikovanje sklapanjem
- F – oblikovanje uvećavanjem izradka

Prema slici 4.1 vidljivi su tipovi obrade prema vrsti oblika. Zadanom količinom od 120 000 komada, sugerira se za tip obrade B – oblikovanje metala deformiranjem (OMD). Tek iza odabira (Tablica 4.2), ide se na finiju procjenu vrste lijevanja, ili u ovom slučaju vrste oblikovanja deformiranja (Tablica 4.4). Veliku poteškoću pri tome čine atributivni opisi obratka, a ne intervalni (dug-kratak; debeo-tanak) (Slika 4.2). No, pri tome se mogu koristiti znanja iz ostalih strojarских disciplina, primjerice, kakva funkcionalna svojstva treba imati izradak, koji optimalni raspored naprezanja treba biti realiziran u izratku i sl.

4.2 Odabir primarnog procesa - ASM

Tehnologija / postupak	Sn+Ni-lijev	Nelegirani- čelik	Legirani- čelik	Nalodijev- čelik	Al+Al- legura	Cu+Cu- legura	Zn+Zn- legura	Mg+Mg- legura	Ti+Ti- legura	Ni+Ni- legura	Vakuumski metali	Plastični	Dimerični
Lijevanje i srodni postupci	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lijevanje u pijesku	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	X	X
Prečno lijevanje	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	X	X
Plasno lijevanje	X	X	X	X	+	-	+	+	X	X	X	X	X
Injeksijsko prelijevanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	-
Prelijevanje pjene	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X
Ekstruzijsko puhanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X
Injeksijsko puhanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X
Rotacijsko kalupljenje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X
Kovanje i prelijevanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isušivanje	X	+	+	-	+	+	+	-	X	X	X	X	X
Hladno valjanje	X	+	+	+	+	+	-	-	X	-	X	X	X
Kovanje u zatvorenom uhvatu	X	+	+	+	+	+	X	+	+	-	-	X	X
Prelijevanje i sinteriranje	X	+	+	+	+	+	X	+	-	+	+	X	X
Topla ekstruzija	X	+	-	-	+	+	X	+	-	-	-	X	X
Rotacijsko kovanje	X	+	+	+	+	-	-	+	X	+	+	X	X
Obrada odvajanjem čestica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Obrada iz sirovca	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Elektrohemijska obrada	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	X	X
Elektroerozija (EDM)	X	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	X	X
EDM sa žicom	X	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	X
Oblikovanje deformiranjem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oblikovanje lima	X	+	+	+	+	+	-	-	-	-	X	X	X
Toplo oblikovanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X
Opušivanje	X	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	X	X

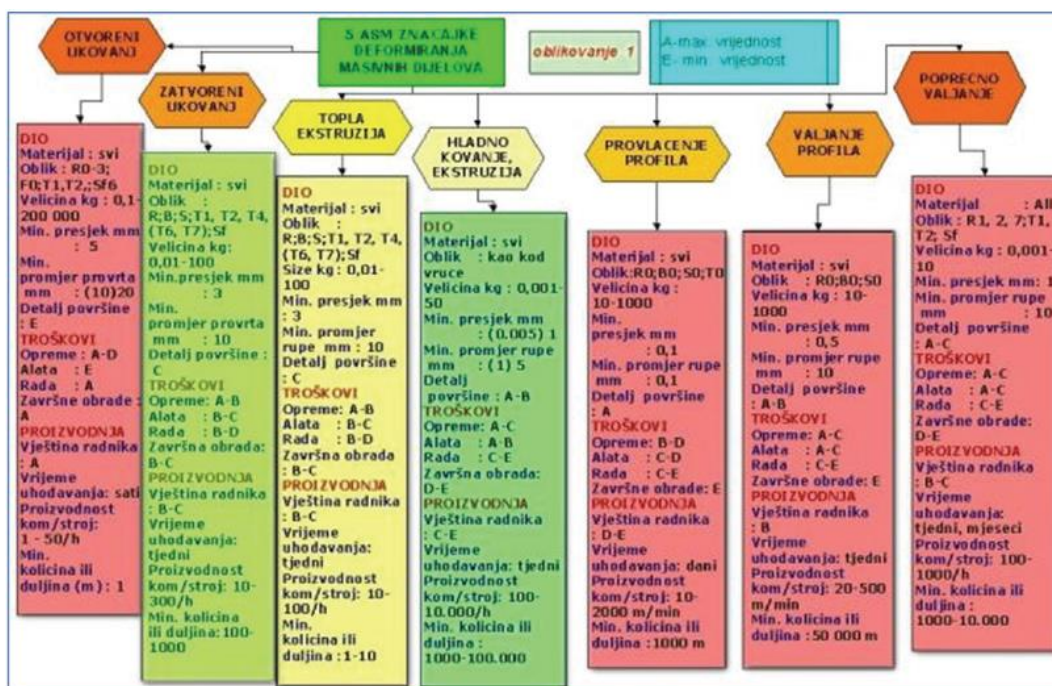
Tablica 4.2 Sukladnost materijala i postupaka obrade, [1]

Odabir po ASM -u počinje po odabiru mogućih tehnologija primarnog procesa samo temeljem vrste materijala. (Tablica 4.2)

Vrsta (kratica)	0 Jednoliki presjek	1 Promjena na kraju	2 Promjena na sredini	3 Prostorna krivina	4 Zatvoren jedan kraj	5 Zatvorena oba kraja	6 Poprečni element	7 Složeni oblik
Okrugli (R)								
Pravokutni (B)								
Presjek- otvoren (S) Poluzatvoren (SS)								
Cijev (T)								
Ravno (F)								
Sferni (Sf)								

Tablica 4.3 Kriterij složenosti oblika po ASM-u, [1]

Prilikom odabira primarnog proizvodnog procesa po ASM metodi, potrebno je odrediti vrstu oblika željenog proizvoda (Tablica 4.3). Zaključuje se da se radi o obliku 7R odnosno složenom obliku, okruglog presjeka. Tu je neka "vrsta rupe" jer nema logičnog nastavka kako nakon odabira mogućih tehnologija i odabira oblika, suziti ponuđene tehnologije i odabrati najpovoljniju. Kod ASM Handbooka, postoji "gap" rupa koju treba "pokriti" intuicija i znanje tehnologa jer nije definiran postupak sužavanja potencijalnih postupaka primarnog procesa. Kod definiranja vrste OMD po ASM-u, primijenjene su atributivne značajke gotovog komada koje su veoma subjektivne i mogu utjecati na konačan odabir. Dakle, tu dolazi do izražaja vlastito ili tuđe iskustvo, uvodeći kriterij funkcionalnosti. Dolazi i do izražaja širina i dubina poznavanja ponuđenih tehnologija OMD.



Tablica 4.4 ASM značajke obrade metala deformiranjem, [1]

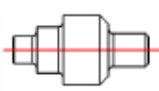
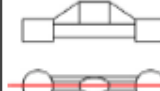
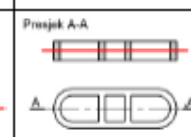

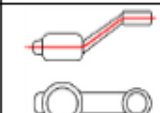
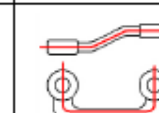
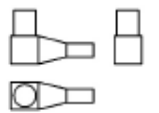


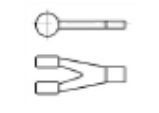
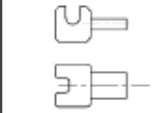
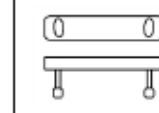



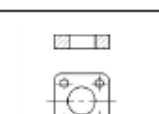
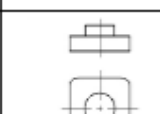
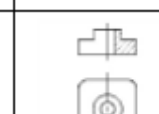
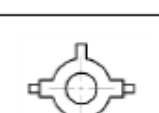


Kako se radi o velikoj količini, 120 000 komada, odabire se tehnologija gdje je minimalan utjecaj izvršitelja na kvalitetu, maksimalna produktivnost, brzo uhodavanje proizvodnje (Tablica 4.4). Prvotno se radi o vrućem kovanju u ukovnju, batovi i preše za kalibraciju te grijanje u plamenim pećima. To će se prilagoditi ponudama kineskih kovačnica.

5. DEFINIRANJE PRIPREMKA - OTKOVAK

5.1 Izbor grupe otkovka

Zadani otkovak sadrži os simetrije, oblika je vratila sa različitim promjenama presjeka i dužina otkovka veća je od širine. Prema navedenim karakteristikama zadanog otkovka, pomoću tablice 5.1 otkovak se svrstava u :

Grupa : 1 – a; Podgrupa : 1; Tip : A.

1-a GRUPA				
Pod-grupa	Karakteristika	A	B	C
1	Otkivci sa ravnom diobenom ravninom i glavnom osi. Dužina otkivka je veća od širine. ($l/b > L$)			
2	Otkivci sa zakrivljenom glavnom osi, kod kojih je os zakrivljena linija			
3	Otkivci sa izdancima i jednostrano smještenim osnovnim elementima. Diobena linija je zakrivljena			
4	Otkivci viljuškastog oblika, koji e na jednom kraju račva			
2-a GRUPA				
Pod-grupa	Karakteristika	A	B	C
1	Razni otkivci okruglog poprečnog presjeka npr.: čahura, prsten, poklopac, ...			
2	Otkivci kvadratnog presjeka npr.: kvadratna prirubnica, kućišta poklopca,...			
3	Otkivci križnog oblika, otkivci okruglog i kvadratnog presjeka s izdancima			

Tablica 5.1 Klasifikacija otkovaka koji se kuju na kovačkim batovima, [3]

5.2 Određivanje mjera otkovka

Prvi korak u postupku određivanja mjera otkovka je proračun mase izratka.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 = 0,002451 \text{ m}^3$$

$$V_1 = \frac{d_1^2 \cdot l_1 \cdot \pi}{4} = \frac{45^2 \cdot 50 \cdot \pi}{4} = 0,0000795 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{d_2^2 \cdot l_2 \cdot \pi}{4} = \frac{55^2 \cdot 105 \cdot \pi}{4} = 0,002495 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{d_3^2 \cdot l_3 \cdot \pi}{4} = \frac{90^2 \cdot 124 \cdot \pi}{4} = 0,0007889 \text{ m}^3$$

$$V_4 = \frac{d_4^2 \cdot l_4 \cdot \pi}{4} = \frac{123^2 \cdot 8 \cdot \pi}{4} = 0,0000951 \text{ m}^3$$

$$V_5 = \frac{d_5^2 \cdot l_5 \cdot \pi}{4} = \frac{90^2 \cdot 48 \cdot \pi}{4} = 0,000305 \text{ m}^3$$

$$V_6 = \frac{d_6^2 \cdot l_6 \cdot \pi}{4} = \frac{65^2 \cdot 116 \cdot \pi}{4} = 0,000385 \text{ m}^3$$

$$V_7 = \frac{d_7^2 \cdot l_7 \cdot \pi}{4} = \frac{60^2 \cdot 107 \cdot \pi}{4} = 0,0003025 \text{ m}^3$$

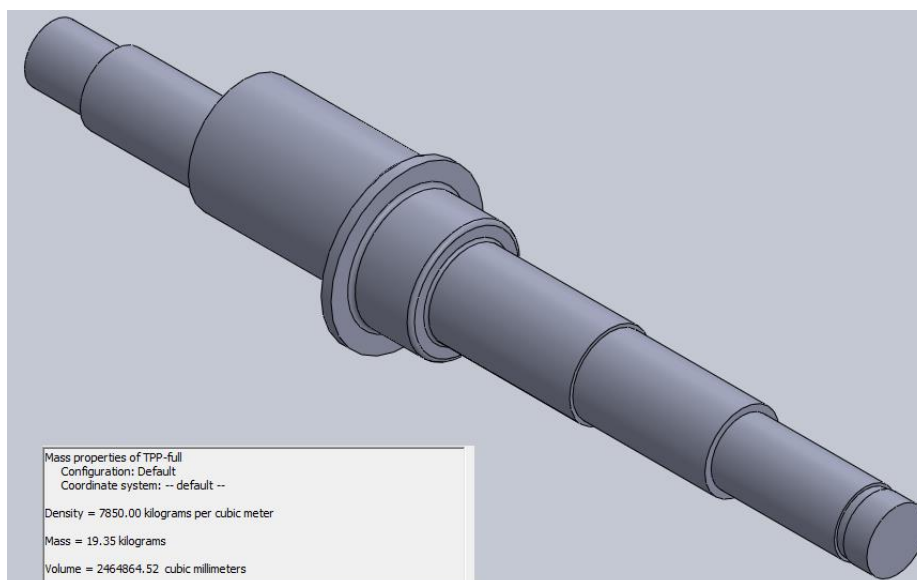
$$V_8 = \frac{d_8^2 \cdot l_8 \cdot \pi}{4} = \frac{50^2 \cdot 125 \cdot \pi}{4} = 0,0002454 \text{ m}^3$$

$$m = V \cdot \rho = 0,002451 \cdot 7850 = 19,24 \text{ kg}$$

Masa otkovka će biti za 25% do 35% veća od mase izratka, zbog vijenca koji je prosječno 25-35% ukupne mase otkovka. To je samo preliminarni proračun kako bi se konačno proračunale dimenzije kovačkih dodataka, otkovka, gravura u ukovnju, dimenzije vijenca, dimenzije priprema koji ide u početnu gravuru te dimenzije nakon prve gravure u kovanja kako bi se odredile dimenzije narednih gravura. Sve skupa rezultira odabirom standardnih dimenzije priprema među valjanim profilima, najčešće šipkama. Pri tim proračunima, glavni kriterij je konstantnost volumena i priprema i gotovog otkovka.

Prema tome, masa otkovka je:

$$m_0 = m \cdot (1,25 \div 1,35) = 24,04 \div 25,97 \text{ kg}$$



Slika 5.1 Podaci o masi i volumenu iz SolidWorks-a

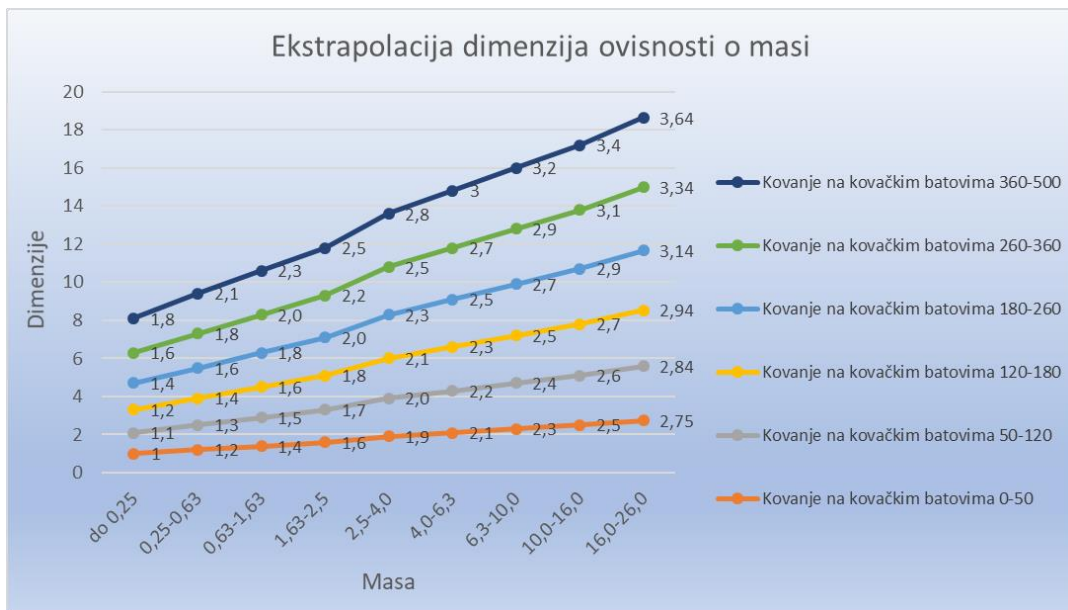
5.2.1 Izračunavanje kovačkih dodataka

Dodaci po površinama promjera vrši se na osnovu proračunskih tablica.

Masa otkivka u kg	Kvaliteta	Dimenzije (dužina, širina, visina) otkivka u mm					
		Kovanje na kovačkim batovima					
		0-50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
do 0,25	Δ2	1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
0,25-0,63	Δ2	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1
0,63-1,63	Δ2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3
1,63-2,5	Δ2	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5
2,5-4,0	Δ2	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,8
4,0-6,3	Δ2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3
6,3-10,0	Δ2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,9	3,2
10,0-16,0	Δ2	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4
16,0-26,0	Δ2	2,75	2,84	2,94	3,14	3,34	3,64

Tablica 5.2 Dodaci za obradu ($\delta / 2$ mm) u zavisnosti od dimenzija, mase i kvalitete otkovka, [3]

Kao primarni proces odabrano je kovanje, stoga je potrebno izračunati kovačke dodatke na otkovak. Isti se uzimaju iz tablice 5.2 gdje su već definirane vrijednosti za otkovke do 16 kg. S obzirom da masa definiranog otkovka prelazi dimenzije zadane tablicom, potrebno je **linearnom ekstrapolacijom odrediti dodatke** za takvu veličinu.



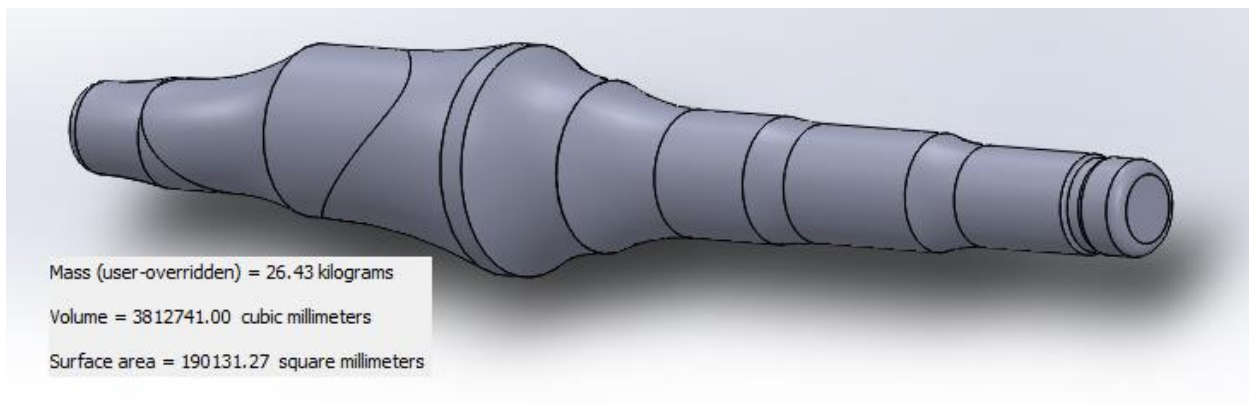
Slika 5.2 Ekstrapolacija dimenzija ovisnosti o masi

Kvantitativno, te su vrijednosti prikazane u tablici, a kvalitativno na grafu (Slika 5.2) gdje je vidljivo da dobivene vrijednosti imaju smisla, prate pravac, odnosno da nagib istog konstantno raste.

Masa otkivka u kg	+Δa mm			-Δb mm			R mm			Dimenzije otkivka u mm	±Δc mm		
	∇1	∇2	∇3	∇1	∇2	∇3	∇1	∇2	∇3		∇1	∇2	∇3
do 0,25	0,40	0,60	1,00	0,20	0,30	0,50	0,80	1,00	1,00	do 50	0,05	0,1	0,15
0,25-0,63	0,50	0,80	1,50	0,25	0,70	0,40	1,00	1,50	1,50	50 - 120	0,12	0,24	0,36
0,63-1,63	0,53	1,20	2,00	0,32	0,50	1,00	1,50	1,50	2,00	120-180	0,18	0,36	0,54
1,63-2,5	0,80	1,40	2,50	0,40	0,60	1,30	1,50	2,50	2,50	180-260	0,26	0,52	0,78
2,5-4,0	0,90	1,60	2,70	0,45	0,70	1,40	2,00	3,00	3,00	260-360	0,36	0,72	1,08
4,0-6,3	1,00	1,70	3,00	0,50	0,80	1,60	2,50	3,00	3,00	360-500	0,5	1	1,5
6,3-10,0	1,10	1,80	3,50	0,55	0,90	1,90	2,50	3,50	3,50	500-630	0,63	1,26	1,89
10,0-16,0	1,20	2,00	3,70	0,60	1,00	2,00	2,50	3,50	3,50	630-800	0,8	1,9	2,4
16,0-26,0	1,35	2,27	4,21	0,67	1,06	2,33	3,01	4,18	4,16	800-1000	0,837	1,824	2,511

Tablica 5.3 Tolerancije (Δ mm) i vanjski radijusi zaobljena (R mm) otkovka, [3]

Kako se radi o vratilu, potrebno je uzeti u obzir i radijuse zaobljenja na mjestima promjene radijusa, koji se dobiju kao rezultat kovanja, a s ciljem što bližeg dimenzioniranja traženom radijusu kako bi se smanjilo potrebno vrijeme kod naknadne obrade odvajanjem čestica. Definirani radijusi kod kovanja, istovremeno, olakšavaju "tečenje" materijala u gravurama i trebaju manju masu padajućih dijelova kod batova (energiju), odnosno sile kod preša, a pridonose i manjem trošenju gravura. (Tablica 5.3)

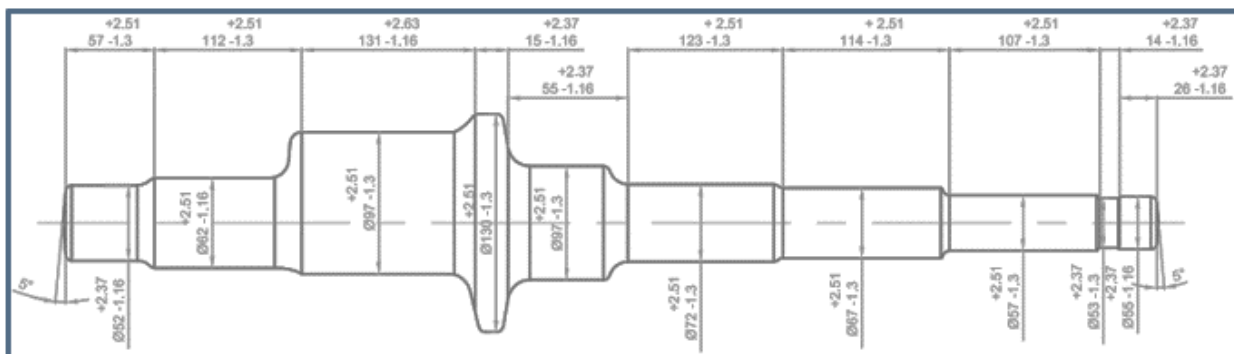


Slika 5.3 Otkovak sa podacima

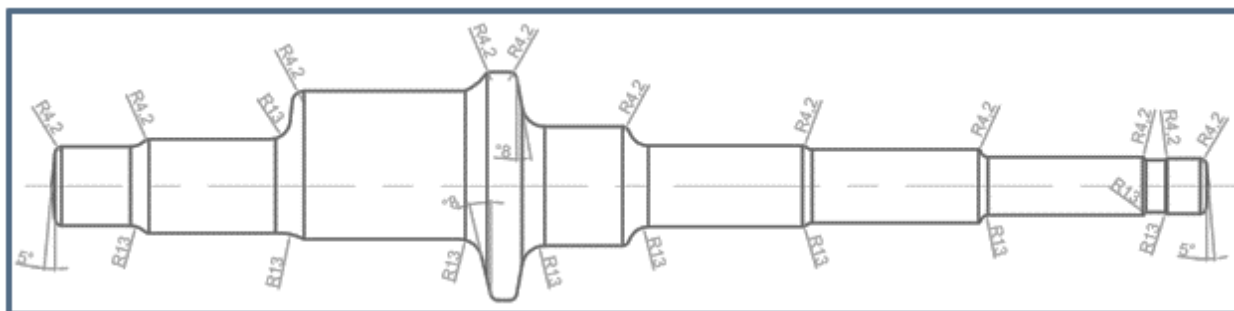
Određivanje dimenzija D	Ø45	Ø55	Ø90	Ø123	Ø90	Ø65	Ø60	Ø50	Ø46	Ø48
Kvaliteta obrade	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2	Δ2
Dodatak za obradu δ/2	3,5	3,25	3,25	3,5	3,5	3,25	3,5	3,5	3,5	3,5
$D_K = D + \delta$	52	61,5	96,5	130	97	71,5	67	57	53	55
D_K (zaokruženo)	Ø52	Ø62	Ø97	Ø130	Ø97	Ø72	Ø67	Ø57	Ø53	Ø55
Tolerancije	Δc	0,1	0,24	0,24	0,36	0,24	0,24	0,24	0,1	0,1
	x	2,37	2,27	2,51	2,63	2,51	2,51	2,51	2,37	2,37
	y	1,16	1,3	1,3	1,42	1,3	1,3	1,3	1,16	1,16

Tablica 5.4 Proračunska tablica dodataka za obradu (promjeri) i tolerancije

U tablici 5.4 definirane su dimenzije promjera otkovka koje su dobivene proračunom iznad tablice. Primijenjeni nagibi (5° - 7°) rezultat su odluke da se otkovak olakšano vadi primjenom nagiba u gravuri klod kovanja na batu, a ne, recimo izbacivačem (Slika 5.4).



Slika 5.4 Dimenzionirani otkovak sa tolerancama



Slika 5.5 Radijusi zaobljenja otkovka

6. ODABIR PONUDE KOVANJA

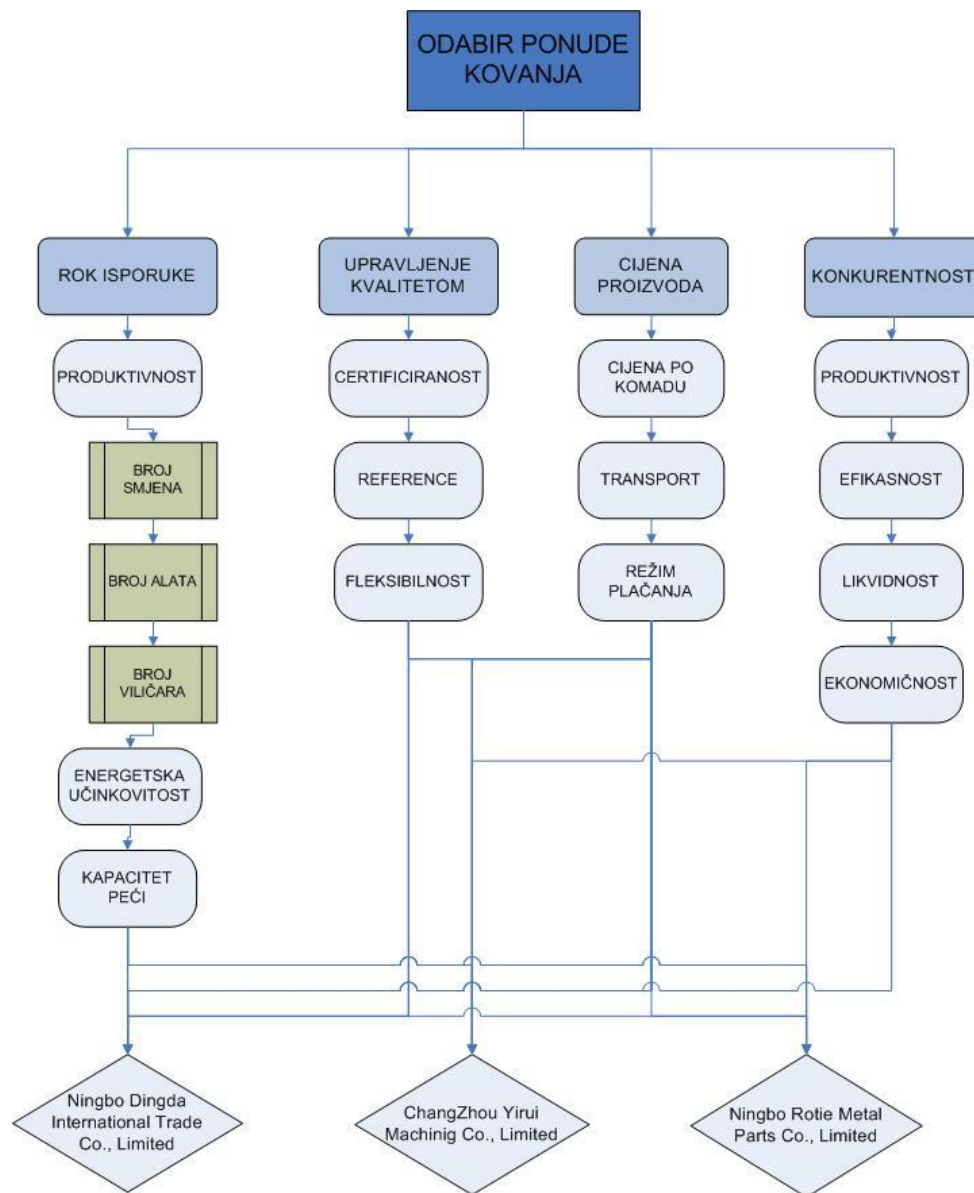
Kako je, već iskustveno potvrđeno, nemoguće je dobiti iz Hrvatske i iz susjednih država podatke o cijenama otkovka, rokovima isporuke i sl. za potrebe studentskog, virtualnog projekta. Stoga je poslužilo obraćanje i komunikacija sa tri kovačnice u NR Kini preko maila koje su susretljivo dale ponude za izradu uz još neke važne tražene detalje za izradu završnog rada. Odabirom neke kovačnice u Europi transport bi bio puno brži, ali je upitan rok isporuke i cijena u odnosu na ponude iz Kine. Kontaktiranjem tvrtki iz okolnih država ponude nisu dobivene, čak niti odgovori na pitanja vezana za kovanje.

Kako bi se prikupili potrebni podaci, bilo je potrebno predstaviti (Prilog 11.16, Predstavljanje kovačnicama) se kao zaposlenik neke značajnije lokalne tvrtke kako bi traženi zahtjev imao težinu i smisao. Podaci su dobiveni preko tvornice ITAS - PRVOMAJSKA d.d. alatnih strojeva sa sjedištem u Ivancu. Razmatrana je proizvodnja i isporuka 120 000 komada otkovka konačnog proizvoda vratila. Nekoliko podataka trebalo je pretpostaviti jer predstavljaju tehnološku i poslovnu tajnu, primjerice, cijena radnog sata stroja i radnika, produktivnost, efikasnost, ekonomičnost, likvidnost, rentabilnost. Stoga je važno naglasiti prisutnu subjektivnost kod procjene težina podkriterija i kriterija.

6.1 Proizvod i njegove karakteristike

Ponude kovanja dobivene su za 120 000 komada obradka *Vratila* koji je prikazan na slici 6.1. Pošto je izradak rotacijskog oblika i prema svojoj namjeni biti će izložen dinamičkim opterećenjima, smatra se da kovanje u ukovnju ispunjava sve zahtjeve obratka, pa je kao primarni proces odabran vrlo brz postupak kovanja u ukovnju.

Otkovak će se naknadno morati obrađivati postupkom odvajanja čestica na tokarskom obradnom centru sa pogonjenim alatima zbog izrade ekscentra, utora za klin, vanjskih i unutarnjih navoja te provrta. Prilikom tokarenja ekscentra kao prve operacije, a potom tokarenje ostalih površina, ne bi bilo uštede i povećanja vremena obrade. Zato je odlučeno (Prilog 11.8, Redoslijed operacija) da uzdužno tokarenje u redoslijedu operacije prethodi izradi nesimetričnog dijela, ekscentra kako bi nož prilikom te operacije skidao što manje materijala. Također, najdulje tehnološko vrijeme izrade (Prilog 11.7, Analiza vremena obrade) obradni centar potroši upravo na izradu ekscentra.



Slika 6.2 Hijerarhijska struktura odabira ponude

6.3 Numeričko vrednovanje (ponderiranje) kriterija

Prema podacima iz literature i u dogovoru s mentorom, ponderirani su kriteriji. Najveća važnost kriterija u odnosu na ostale dane su, odozgo prema dolje:

1. Rok isporuke
2. Cijena proizvoda
3. Produktivnost
4. Upravljanje kvalitetom
5. Reference
6. Režim plaćanja
7. Certificiranost.

6.3.1 Rok isporuke

Kako se radi o velikoj seriji, prvenstveno se treba koncentrirati na što kraći rok isporuke kako bi se cijeli ciklus izrade odradio u što kraćem roku (Prilog 11.9, Vremena operacija). Konkretno, to znači da se proizvodni proces zadanih otkovaka mora odraditi u što kraćem vremenu kako bi prva pošiljka brodskim kontejnerom stigla čim ranije. Vrijeme kovanja otkovka, njegov transport iz Kine najprije brodom, a kasnije i kamionom uvelike je povezan sa samim vremenom izrade, što znači da ukoliko je moguće skratiti vrijeme izrade i transport, smanjiti će se i sama cijena izrade serije. Pošto je riječ o ukupnoj količini od 120 000 komada, može se očekivati velika ušteda vremena.

Treba napomenuti da nije bilo moguće optimirati zauzeća alatnih strojeva jer nisu dostupni podaci o cjelokupnom proizvodnom asortimanu tvornice ITAS. Dakle, uzeta je u obzir samo proizvodnja naručenih 120 000 komada vratila što pojednostavljuje razmatrani problem.

Rok isporuke će se poboljšati tako da obrada otkovka počne na CNC-u odmah po preuzeću prvog kontejnera u Ivancu, dopremljenog iz Kine. To znači da će operater CNC stroja, započeti operacije pripreme numerički upravljanoj alatnog stroja, jedan mjesec nakon što bude poslana prva pošiljka otkovka iz Kine. Na taj način skraćuje se proizvodni ciklus, odnosno rokovi isporuke, a time i zauzeće, visokobrzinskog i visokoproduktivnog CNC obradnog centra, te je moguće daljnje planiranje proizvodnje, čime se postiže veća konkurentnost na tržištu.

6.3.2 Cijena proizvoda

Budući da je velika serija u pitanju i mala razlika cijene od nekoliko \$ (USD dolar) po komadu otkovka znači veliku razliku od nekoliko stotina tisuća dolara ukupne cijene kovanja. Veliku ulogu u cijeni ima tečaj koji varira i po kojem se obračunavaju valute USD/HRK/; EUR/HRK; USD/EUR, koja banka i koji datumi. U ponudama tečaj je bio izračunat u američki \$ u odnosu na kineski RMB (YUAN) iz PBOC ("*Narodne banke Kine*") i tečaj je bio 6,8 sa datumom 28.12.2018. (Prilog 11.12, Kontrola kvalitete i režim plaćanja)

Cijena dopreme (Prilog 1.6, Troškovi transporta) samog kontejnera iz Kine do Ivanca tj. vozarina nije ista za svaki mjesec u godini. Početkom godine (tj. 18.01.2019.) su vozarine na puno većem nivou nego u ostatku godine, pogotovo to vrijedi za kontejnere dimenzija 40' (inča), koji su u toku prošle godine bili oko 200-500 \$ jeftiniji.

Vozarine se mijenjaju svakih 15-30 dana, ovisno o ponudi i potražnji za brodskim prostorom, a u siječnju je definitivno najveća potražnja u cijeloj godini. Dakle, proračun transporta otkovka rađen je sa maksimalnim vozarinama, kako bi proračun bio osiguran.

6.3.3 Produktivnost

Na produktivnost utječe :

- broj smjena
- broj strojeva i broj alata za kovanje
- broj viličara i broj zaposlenika.

Razina automatizacije i količina robota u proizvodnji, smanjenje vremena potrebnog za uvođenje novog modela također smanjuju gubitke vremena i materijala. Naravno, ostaje pitanje na koje ne odgovara ASM, a niti Musafija [3]. Koju vrst zagrijavanja (plamena peć, indukcijsko zagrijavanje), koju vrstu strojeva odabrati (bat, preša), kakvu konstrukciju ukovnja sa gravurama te koliko se otkovaka, obzirom na veličinu i masu otkovka može odjednom otkovati. Po Musafiji, koji koristi praktična istraživanja i iskustvo Rebeljskog dodaci za sigurno popunjavanje gravura povećavaju, kako masu otkovka, cijenu materijala tako i troškove zagrijavanja koji se kasnije odstranjuje kao otpad. Naravno, uz postojeće simulacijske softvere, moglo bi se optimirati količina materijala i način tečenja istog što bi moglo ići ka preciznom kovanju ("precision forging").

Korištenjem strojeva većeg stupnja automatizacije može dovesti do poboljšanja tehnološkog kriterija. Ako opremljenost pogona to dozvoljava, korištenje više strojeva također je opcija uz uvjet da su strojevi istog stupnja automatizacije kako se ne bi trebao izrađivati plan izrade i program za svaki od strojeva.

6.3.4 Upravljanje kvalitetom

Misli vodilje za 120 000 komada su :

- 1) što manji utjecaj izvršitelja
- 2) što ujednačenija kvaliteta
- 3) što kraće vrijeme izrade
- 4) što preciznija obrada
- 5) bez provjere mjerenja prije obrade za svaki obradak.

Jedna od najznačajnijih opcija koja bi uvelike utjecala na skraćenje samog postupka obrade na CNC stroju jest **smanjenje kovačkog dodatka koji proračunom prema Musafiji iznosi 7 mm**. Iz ponude (Prilog 11.3, Kovački dodaci) je vidljivo da se kovački dodatak može smanjiti i na 4 mm. Ono što se nameće kao prepreka u smanjenju kovačkog dodatka jest da to može dovesti do pojave naprezanja u samom otkovku zbog pojave horizontalnih sila (zbog ekscentra), a kasnije i gotovom komadu pa će kvaliteta samog proizvoda biti upitna. Sam proizvođač *"Ningbo Dingda International Trade"* predlaže da kovački dodatak ostane 7 mm. **Smanjenje naprezanja može se izvršiti kovanjem 2 otkovka odjednom**, što bi vrijeme kovanja dvostruko skratilo, pa bi i kvaliteta bila veća. No, navedene tvrtke nemaju tako velike kovačke strojeve ni alate, zbog dimenzija zadanog vratila. Treba naglasiti da je istovremeno kovanje dva otkovka odjednom zavisno o masi padajućih dijelova raspoloživih batova.

U ponudi (Prilog 11.12, *"Ningbo Rotie Metal Parts"*) se navodi da dodatna kontrola proizvoda koja poboljšava kvalitetu i produktivnost, smanjuje rizik te osigurava brzinu utovara na brod. Riječ je o SGS¹ kontroli koja daje rješenja u kojoj uključuju kontrolu, certifikaciju, auditiranje i verifikaciju. SGS je multinacionalna tvrtka sa sjedištem u Ženevi koja također osigurava da proizvodi, sustavi ili usluge zadovoljavaju zahtjeve standarda koje su postavili kupci SGS-a. Tvrtka posluje u svim područjima industrije, pa tako i osigurava provjeru kvalitete isporučene robe kako bi se izbjegla dugotrajna kašnjenja. Auditiranjem se bave kvalificirani auditi koji vode brigu o standardu, zahtjevima, aspektima okoliša i metodologiji implementacije proizvodnje otkovka. Interni audit u tvrtki podnosi dnevni izvještaj proizvodnje naručitelju. Naravno, s takvom kontrolom troškovi će biti veći, ali utvrdi li se da postotak greške ili škarta u pošiljci raste, vraća se pošiljka dobavljaču ili se prekida ugovor sa dobavljačem. Ako je iz pošiljki, vremenski, vidljivo da postotak greški raste, dogovara se oštija kontrola u dogovoru s dobavljačem jer, vidljivo, ima problema sa ujednačenosti kvalitete.

6.3.5 Reference

Gledajući proces kovanja i nabavke otkovka iz Kine sa organizacijskog aspekta, svi dijelovi poslovanja dobro su razmotreni i isplanirani što dokazuje činjenica o dugogodišnjoj suradnji na globalnoj razini sa mnogim svjetski poznatim tvrtkama. Kod kovačnice *"Ningbo Dingda International Trade"* (Prilog 11.1) najznačajniji vanjski naručitelji su *"McLaren"* i *"Subitomo Rubber"*, za kovačnicu *"ChangZhou Yirui Machining"* (Prilog 11.2) to su *"Bosch"*, *"Volvo"* i

¹ <https://www.sgs.com/en/our-company/about-sgs/>

"Scania" dok za kovačnicu "Ningbo Rotie Metal Parts" (Prilog 11.3) su "CCL UK" i "HMI USA" najpoznatije reference. Naravno, ne može se usporediti koja je tvrtka "jača" na tržištu jer nije dostupna informacija kakve su dijelove proizvodili za njih, pa postoji određena subjektivnost kod davanja važnosti referencama. Važni kriteriji kod takvog poslovanja su sama uspješnost dogovaranja, poštivanje roka isporuke i kvalitete proizvodnje, fleksibilnost i podležnost promjenama dogovora. Daljnja organizacijska poboljšanja tiču se direktno proizvodnje i daljnje obrade naručenih otkovaka.

6.3.6 Režim plaćanja

Način plaćanja je 30% unaprijed, a ostalih 70% po preuzeću pošiljke kod kovačnica "ChangZhou Yirui Machining" i "Ningbo Rotie Metal Parts" dok za kovačnicu "Ningbo Dingda International Trade" je 50% unaprijed, a ostalih 50% po preuzeću pošiljke. No, otvoreni su za pregovore pa naglašavaju da ako se uspostavi dugoročna veza i suradnja uvjeti plaćanja mogu se raspraviti kasnije. Takav vid fleksibilnosti od velikog je značaja pogotovo kod ovakve velikoserijske proizvodnje odnosno kod ugovaranja ovako velikih i vrijednih projekata.

6.3.7 Certificiranost

Konkurencija na tržištu je velika i kupac ima mogućnost izbora. U ponudama se traži dodatna garancija kvalitete radi smanjenja troškova ulazne kontrole i smanjenja rizika nekvalitete kupljenih otkovaka. Dodatna garancija uključuje ISO certifikate 9001, 20 001 i 14 001. Kovačnice "Ningbo Rotie Metal Parts" i "Ningbo Dingda International Trade" navode da imaju spomenuta 3 certifikata, dok kovačnica "ChangZhou Yirui Machining" ima certifikat IATF 16949. Ne može se znati da li navedene kovačnice zaista implementiraju sustave kvalitete, pa im se može vjerovati jer se u dublje analize nije išlo. Razlog tome je što postoje poduzeća koja su dobila certifikat kao potvrdu sustava kvalitete, a da taj sustav zapravo ne funkcionira u praksi. Dakle, nije nikad izgrađen i implementiran. Istovremeno postoje poduzeća u kojima je sustav kvalitete izgrađen i implementiran i funkcionira u praksi, ali nije potvrđen certifikatom jer ga poduzeće nije tražilo.

7. SUSTAVI ZA POTPORU ODLUČIVANJA (DSS Decision Support Systems)

Sustavi za potporu odlučivanju su bitan dio računalno podržanog informacijskog sustava, bazirani su na umjetnoj inteligenciji i teže optimalnom rješenju (tzv višekriterijalno optimiranje). Kod jednokriterijalnog optimiranja, uz funkciju cilja i ograničenja, relativno lako se dolazi do rješenja. No, realan život, u većini slučajeva, traži višekriterijalno optimiranje. To rezultira nužnim kompromisima ako su kriteriji u "sukobu" (primjerice, jedan promatranu veličinu povećava, drugi je smanjuje ako djeluju). To nužno ukazuje na očekivanu subjektivnost onoga koji podršku odlučivanja realizira jer je ocjenjivanje "jačine" kriterija, odnosno ponderiranje istih rezultat iskustva, znanja i intuicije eksperta za razmatrano područje. Očekivana subjektivnost se pokušava smanjiti primjenom *team buildinga* i *brain stormingom* više eksperata.

Sustavi se razvijaju s ciljem smanjivanja sveprisutne nesigurnosti kod donošenja poslovnih odluka. Postoji jako puno definicija DSS-a. Jedna od definicija je da je to specifičan kompjuteriziran informacijski sustav koji podupire poslovanje i poslovno odlučivanje u poduzeću. Kvalitetno izrađen DSS je interaktivan računalni sustav koji ima za cilj pomoći donositeljima odluke da prikupe informacije iz neobrađenih podataka, dokumenata i poslovnih modela da bi identificirali i riješili probleme te donijeli odluke. DSS-i su dio cjelokupnog informacijskog sustava poduzeća. DSS obrađuje postojeće podatke, dobivene iz različitih unutarnjih i vanjskih izvora da bi stvorio informacije potrebne za odlučivanje. Pomaže menadžeru pri organizaciji informacija, identifikaciji i dohvatima informacija potrebnih za donošenje odluke, te analizi i transformaciji tih informacija. Osnovna namjena takvih sustava je rukovodstvu tvrtke pružiti informacije za donošenje poslovnih odluka u realnom vremenu.[4]

DSS je jedan od najsloženijih informacijskih sustava. Ovaj sustav služi za potporu odlučivanju kod slabostrukturiranih i nestrukturiranih problema, a također su popularni u donošenju rutinskih problema. Svaki ovakav sustav mora biti dovoljno jednostavan i orijentiran ka korisniku, kako bi bio pristupačniji, te mora biti fleksibilan kako bi prihvatio promjene u načinu odlučivanja ili zadanom problemu te u skladu s tim kvalitetno odgovoriti na tu promjenu. [4]

7.1 Vrste DSS-a

Postoji više kategorizacija sustava za potporu odlučivanju. Jedna od njih je kategorizacija zasnovana na dominantnoj komponenti u arhitekturi sustava. Ta kategorizacija dijeli sustave na sljedeće kategorije koji su u nastavku rada detaljnije opisani:

- DSS zasnovan na modelu
- DSS zasnovan na podacima
- DSS zasnovan na komunikacijama
- DSS zasnovan na dokumentima
- DSS zasnovan na znanju
- DSS zasnovan na WEB-u

Sustavi za potporu odlučivanju mogu se podijeliti i na unutarorganizacijske i međuorganizacijske. Unutarorganizacijski koriste se isključivo unutar jedne tvrtke. Međuorganizacijski su ponuđeni i korisnicima izvan tvrtke koja je vlasnik sustava.

Ovisno o primjeni, sustavi se mogu podijeliti na općenite i specifične. Općeniti sustavi mogu se koristiti za širi skup primjena (npr. upravljanje projektom). Poseban oblik općenitog sustava su okoline za potporu odlučivanju. Specifični sustavi izrađeni su isključivo za korištenje u jednom području (npr. financijske odluke, analiza tržišta).

Jedna od ranijih kategorizacija definira kategorizacije sustava prema općenitim funkcijama sustava:

- podatkovni: sustav koji omogućava izravan pristup i analizu nad podacima (transakcijski sustavi)
- analiza podataka: sustavi koji omogućavaju manipulaciju nad podacima kroz pripremljene forme, npr. analizu budžeta i investiciju
- analiza informacija: sustavu koji omogućavaju pristup skupu modela, npr. analiza konkurencije, prognoza prodaje na tržištu
- financijski: sustavi analiziraju posljedice akcija (modeli *what-if*)
- reprezentacijski: sustavi izračunavaju posljedice akcija na osnovi modela zasnovanog na vezama, npr. odziv tržišta, analiza rizika
- optimizacijski: sustavi za zadani unos izračunavaju optimalno rješenje, npr. raspoređenje resursa
- sugestivni: sustavi slijede niz [5]

7.2 Analitičko hijerarhijski proces (AHP metoda)

Pod pojmom višekriterijskog odlučivanja podrazumijeva se postupak izbora jedne od mogućih alternativa odluke. Glavni elementi problema odlučivanja su *ciljevi* koji se žele postići odlukom,

alternativa između kojih se biraju i *kriteriji* koji se koriste kod izbora. Pod ciljem podrazumijeva se stanje sustava koje želimo postići odlukom. U nekim slučajevima se taj cilj može opisati preciznije, npr. kod odluke koliko temeljito pripremiti ispit može se postaviti cilj “ Želim postići prosječnu ocjenu na studiju višu od 4.5“, a ponekad se cilj ne kvantificira. Kriteriji su atributi kojima se opisuju alternative i njihova svrha je da direktno ili indirektno daju informacije o tome u kojoj mjeri se pojedinom alternativom ostvaruje željeni cilj. U danom problemu odlučivanja svi kriteriji nisu jednako važni, a relativna važnost kriterija proizlazi iz preferencija donositelja odluke što je povezana s njegovim vrijednosnim sustavom i ostalim psihološkim karakteristikama. Dakle, prisutna izrazita subjektivnost. Kod izbora kriterija i određivanja njihovih važnosti treba uzeti u obzir i druge specifičnosti donositelja odluke.

Metode koje se koriste za uspoređivanje i rangiranje alternativa na temelju podataka iz tablice odlučivanja, moraju uzeti u obzir prednosti koje neka alternativa ima u odnosu na ostale, usporediti te prednosti s njezinim nedostacima i sve to izraziti jednim brojem. Ukoliko kriteriji imaju različite važnosti, treba uzeti u obzir i njihove težine. Metode koje se mogu upotrebiti u ovoj situaciji temelje se na određenim pretpostavkama koje se karakteriziraju matematički. Ovisno o tome kakav je model načinjen, potrebno je poznavati odgovarajuću matematičku teoriju da bi se on riješio. Ukoliko se matematički model koji se primjenjuje u analizi problema odlučivanja temelji na jednostavnijim matematičkim tehnikama, njegov rezultat ima ograničenu vrijednost u primjeni i teže je argumentirati odluku. Najpoznatije metode za uspoređivanje i rangiranje alternativa u problemima odlučivanja su Analitički hijerarhijski proces (AHP), ELECTRE i PROMETHEE. [6] ELECTRE su postupci višekriterijske optimizacije koji omogućuju izbor najbolje varijante tzv. selekciju, rangiranje i sortiranje varijanata, ovisno o verziji ELECTRE-a, nekog problema vodeći računa o kriterijima i preferencijama donositelja odluke. ELECTRE postupak je razvijen za djelomično uređenje skupa rješenja na osnovi preferencije donositelja odluke. Na osnovi preferencija konstruira se graf čiji čvorovi predstavljaju moguća rješenja, a jezgra (kernel) definira preferirana rješenja. ELECTRE postupak je pogodan za korištenje u slučajevima gdje su kriterijske funkcije slabo definirane.

PROMETHEE je postupak koji se koristi za dobivanje djelomičnog (PROMETHEE I) ili potpunog rangiranja varijanata (PROMETHEE II). PROMETHEE postupak se temelji na proširenju pojma kriterija uvođenjem funkcije preferencije, koja daje preferenciju donositelja odluke za varijantu A u odnosu na varijantu B. Funkcija preferencije definira se za svaki kriterij posebno, a njena vrijednost je između 0 i 1. Što je manja vrijednost funkcije, veća je indiferencija donositelja odluke, odnosno što je vrijednost bliže 1 veća je njegova preferencija. U slučaju stroge preferencije, vrijednost funkcije preferencije jednaka je 1. Šest različitih tipova funkcije (običan kriterij, kvazikriterij, kriterij s linearnom preferencijom, razinski kriterij, kriterij se linearnom

preferencijom i područjem indiferentnosti te Gaussov kriterij) pokrivaju većinu slučajeva koji se pojavljuju u praktičnoj primjeni za koje donositelj odluke mora definirati najviše dva parametra. Upotreba na prethodni način oblikovanih kriterija dopušta konstrukciju procijenjene relacije (grafa) "višeg ranga". Korištenjem procijenjene relacije "višeg ranga", postiže se djelomično (PROMETHEE I), odnosno potpuno rangiranje varijantnih rješenja (PROMETHEE II). [7]

Daljnijim nastavkom rada detaljno je razrađena AHP metoda i njezina primjena zbog dostupnosti same metode kod rješavanja problema višekriterijskog odlučivanja, te njena programska podrška Expert Choice.

7.2.1 AHP metoda

AHP najprije omogućuje interaktivno strukturiranje (oblikovanje hijerarhije) problema kao pripremu scenarija odlučivanja. Hijerarhijski strukturiran model odlučivanja sastoji se od cilja, kriterija, nekoliko mogućih nivoa podkriterija i alternativa. Cilj je uvijek na vrhu i nije ga moguće uspoređivati s niti jednim drugim elementom. U prvom nivou postoji n kriterija koji se u parovima svaki sa svakim uspoređuju u odnosu na prvi nadređeni element na višem nivou, ovdje je to cilj na nultom nivou. Potrebno je $n*(n-1)/2$ usporedbi. Ova procedura se primjenjuje kroz hijerarhiju prema dolje. Na kraju se vrši analiza svih ocjenjivanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju se težinski faktori svih elemenata hijerarhije. [8]

AHP metoda koristi tablični zapis podataka za uspoređivanje i rangiranje alternativa, pri odlučivanju koja je od alternativa u prednosti u odnosu na ostale. AHP metoda uspoređuje prednosti i nedostatke pojedinih alternativa i u konačnici daje prioritete alternativa u obliku jednog broja. Kriteriji za odabir određene alternative mogu imati različite vrijednosti zbog čega im se dodjeljuju težine. AHP metoda temelji se na uspoređivanju alternativa u parovima. Težine pojedinih kriterija određuju se uspoređivanjem kriterija u parovima te određivanjem koliko je prvi kriterij važniji od drugog kriterija. AHP je izgrađena na kvalitetnoj i jednostavnoj teoretskoj osnovi. [9]

Vrijednost ove metode je u tome što se kroz postupak izvodi zaključak i sinteziraju informacije od donositelja odluke i drugih sudionika koji posjeduju saznanja o problemu, da bi se identificirao problem i da se suglase stavovi o njegovoj strukturi.

AHP je vrlo fleksibilna metoda jer dozvoljava da kod složenih problema s mnogo kriterija i dovoljno velikim brojem alternativa, relativno lako pronađu odnosi između kriterija i alternativa, te da se prepozna njihov eksplicitni ili relativni utjecaj i značaj u realnom okruženju te da se odredi dominantni utjecaj jednog kriterija na drugi. Ova metoda uzima u obzir činjenicu i da se i najsloženiji problemi daju razgraditi na hijerarhiju i to tako da se u analizu uključe kvantitativni i

kvalitativni aspekti problema. AHP povezuje i drži povezane sve dijelove hijerarhije, pa je lako moguće uočiti na koji način promjena jednog kriterija utječe na ostale kriterije i alternative. [10]

7.2.2 Provedba AHP metode

Problem provedbe se razlaže na hijerarhiju cilja, kriterija, podkriterija i alternativa. To je vrlo kreativan i važan dio odlučivanja. Strukturiranje problema odlučivanja u hijerarhiju je od temeljne važnosti za proces AHP metode. Hijerarhija prikazuje veze između elemenata jedne razine s onima na nižoj razini. Ta povezanost proteže se do najniže razine hijerarhije i na taj način svaki element je povezan sa svim ostalim elementima, barem na neizravan način. Obrnuta struktura stabla je slična strukturi hijerarhije. Saaty sugerira koristan način izrade hijerarhijske strukture od cilja prema dolje, a zatim od alternativa prema gore sve dok razine dvaju procesa ne budu povezane na takav način da omogućavaju usporedbe. [11]

Raspoređivanje svih elemenata u hijerarhiju omogućuje cjelokupni pregled složenih veza i pomaže donositelju odluka procijeniti da li su elementi u svakoj razini iste veličine (značaja) da bi se mogli ispravno uspoređivati. Element u zadanoj razini ne mora funkcionirati kao kriterij za sve elemente u razini ispod. Svaki element može predstavljati različiti dio problema pa hijerarhija ne mora biti kompletna. Kod konstrukcije hijerarhije bitno je uzeti u obzir čimbenike koji okružuju problem te identificirati probleme ili značajke koje doprinose rješenju. [12]

7.2.3 Konzistentnost

AHP metoda dio je popularnih metoda zato što ima sposobnost da identificira i analizira nekonzistentnosti donositelja odluka u procesu prosuđivanja i vrednovanja elemenata hijerarhije. Čovjek je, naime, rijetko konzistentan pri procjenjivanju vrijednosti ili odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji. AHP na određeni način ublažava ovaj problem tako što mjeri stupanj konzistentnosti i o tome obavještava donositelja odluke.

Nekonzistentnost procjena moguće je najjednostavnije objasniti pomoću primjera. Npr. ako se tvrdi da je A mnogo većeg značaja od B, B većeg značaja od C i C nešto većeg značaja od A, nastaje nekonzistentnost u rješavanju problema i smanjuje se pouzdanost rezultata.[13]

7.2.4 Saatyeva skala

U procjeni vrijednosti omjera težina kriterija i važnosti alternativa pomaže Saatyeva skala. Ona pomaže procijeniti omjere važnosti dvaju kriterija kada se njihove vrijednosti izražavaju

kvantitativno, kvalitativno i u različitim mjernim jedinicama. Saatyeva skala je omjerna skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja, a svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko puta je jedan kriteriji važniji od drugog.[13]

7.2.5 Prednosti i nedostaci AHP [14]

Prednosti i nedostaci AHP metode predmet su brojnih značajnih rasprava između stručnjaka na području višekriterijskih analiza. Kako gotovo sve u životu ima dobre i loše, ili barem bolje i lošije strane, tako je i s AHP metodom. U nastavku su navedene neke od najznačajnijih prednosti i nedostataka u primjeni AHP metode.

Prednosti AHP:

- Prednosti AHP u odnosu na druge višekriterijske metode su njezina fleksibilnost, intuitivna bliskost donosiocima odluka i sposobnost provjere nekonzistentnosti. Općenito, korisnici smatraju da je metoda parne usporedbe unosa podataka jednostavna i praktična.
- AHP metoda ima izrazitu prednost u tome što razgrađuje problem odlučivanja u njegove sastavne dijelove i gradi hijerarhiju kriterija. Ovdje postaje jasna važnost svakog elementa (kriterija).
- AHP pomaže zabilježiti i subjektivne i objektivne mjere procjenjivanja. Dok pruža koristan mehanizam za provjeru dosljednosti mjera evaluacije i alternativa, AHP smanjuje pristranost u odlučivanju.
- AHP metoda podržava skupno donošenje odluka konsenzusom, izračunavanjem pojedinih parnih usporedbi geometrijskim načinom.
- AHP je jedinstveno pozicionirana da bi pomogla modelima situacija neizvjesnosti i rizika, budući da je sposobna za izvođenje mjernih ljestvica tamo gdje mjere obično ne postoje.
- U AHP analizu mogu se uključiti kriteriji i alternative s kvalitativnim i kvantitativnim iznosima.
- AHP metoda je primjenjiva u rješavanju vrlo kompleksnih problema odlučivanja.
- Implementacija ocjenjivanja važnosti kriterija na način sličan ljudskom.
- Širokog područja primjene i dobre računalne implementacije (primjer, računalna aplikacija Expert Choice).

Nedostaci AHP:

- AHP metoda može se smatrati kao kompletna agregacijska metoda aditivnog tipa. Problem s takvom agregacijom je da se može pojaviti kompenzacija između dobrih rezultata na nekim

kriterijima i loših rezultata na drugim kriterijima. Zbog takvih agregacija često se mogu izgubiti detaljne i često važne informacije.

- S AHP metodom problem odluke se razlaže na nekoliko podsustava, u okviru kojih i između kojih treba biti izvršen znatan broj parnih usporedbi. Ovaj pristup ima nedostatak u tome da broj potrebnih parnih usporedbi može postati vrlo velik, i samim time sam proces zahtjeva dosta vremena.

- Sljedeći nedostatak AHP metode je umjetno korištenje ograničenja korištenja skale od 1 do 9. Ponekad, donositelju odluka može biti teško razlikovati alternative i donijeti prosudbu o tome da li je jedna alternativa i koliko puta važnija od druge. Također, AHP metoda se ne može nositi s činjenicom da je alternativa A 25 puta važnija od alternative B. Dakle, donositelji odluke samo su naznačili da li je kriterij bio više, manje ili jednako važan.

- Principijelno troškovi mogu biti uključeni u AHP model. Uključivanjem troškova (npr. cijena koštanja) unutar AHP model možemo dobiti preskupu alternativu s velikim brojem benefita, a zapravo se traži jeftina alternativa sa što je moguće većim brojem benefita. Zbog toga kod kompleksnih odlučivanja predlaže se zasebno razmatranje troškova alternativa od razmatranja benefita koje iste donose.

7.3 Softverski alat Expert Choice (EC)[15]

Softver Expert Choice služi za rješavanje polustrukturiranih i nestruktuiranih problema odlučivanja. Zasnovan je na AHP metodi, a u njegovom razvoju učestvuje i Tomas Saaty, poznati autor metode AHP o kojoj je više pisano u poglavlju 7.2. Osnovu metode AHP, a samim tim i softvera Expert Choice predstavlja način na koji se dolazi do tabličnog odlučivanja. Ideja je da ocjenu važnosti kriterija i podkriterija, kao i ocjene važnosti alternativa u odnosu na kriterije vrši donositelj odluke. Time se omogućuje da metoda bolje obuhvati sve subjektivne poglede i ciljeve koje donositelj odluke koristi pri odlučivanju.

7.3.1 Značajke Expert Choice-a

Softverska aplikacija Expert Choice dozvoljava mogućnost prosudbe, odnosno uspoređivanje u parovima na numerički, grafički ili verbalni način, gdje svaka prosudba izražava odnos jednog elementa u odnosu na drugi element. Kada se radi usporedba u socijalnom, psihološkom, odnosno političkom kontekstu, jednostavnije je koristiti verbalni način prosudbe. Dok kod usporedbe

ekonomskih ili nekih drugih mjerljivih faktora, numerički i grafički način usporedbe može biti prednost, iako je sasvim prihvatljivo koristiti verbalni način rada i u tom slučaju.

Da bi ocjenjivanje bilo lakše, ono se vrši upoređivanjem u parovima (*pairwise comparison*). AHP omogućava da se sve preferencije donositelja odluke vrše upoređivanjem u parovima uz pomoć tzv. Saatyjeve skale od devet točaka. Kada se izvrši ocjena svih parova kriterija kao i svih parova alternativa u odnosu na svaki od kriterija, tada softver pridružuje važnost alternativa u odnosu na globalni cilj. Time se dolazi do ranga alternativa, što može direktno biti iskorišteno za donošenje odluka.

Kao posljednji korak vrši se i analiza osjetljivosti, gdje se uz grafičku pomoć softvera utvrđuje osjetljivost (tj. stabilnost) rješenja. Ukoliko za „male“ promjene u ocjeni važnosti kriterija dolazi do promjene ranga alternativa, tada se kaže da je dobijeno rješenje nestabilno, tj. osjetljivo na takve promjene. Iskusni donositelji odluke pažljivo analiziraju stabilnost rješenja, jer shvaćaju da je to možda i najbitnija faza u cjelokupnom procesu donošenja odluka.

7.3.2 Postupak korištenja Expert Choice-a

Cijeli postupak korištenja softvera može se definirati kroz sljedeće korake:

1. Definiranje *cilja*
2. Definiranje kriterija i potkriterija (tzv. *strukturiranje problema*)
3. Definiranje (generiranje) *alternativa*
4. Uspoređivanje kriterija u odnosu na cilj (određivanje utjecaja kriterija a na cilj)
5. Uspoređivanje alternativa u odnosu na kriterije (određivanje relativnog utjecaja svake alternative po određenom kriteriju)
6. Sinteza alternativa u odnosu na cilj (agregacija rješenja)
7. Analiza osjetljivosti.

7.4 Struktura Expert Choice modela [12]

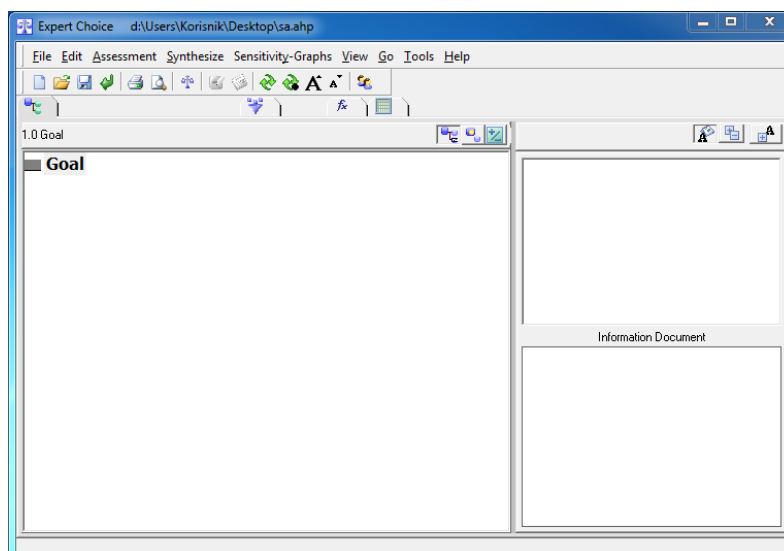
Kako je već spomenuto Expert Choice temelji se na AHP metodi, u kojoj se podaci i intuicije organiziraju u logičku hijerarhijsku strukturu. Expert Choice organizira razne elemente problema u hijerarhiju sličnu strukturi obiteljskog stabla, gdje se svaki element u strukturi naziva presjecištem. Na najvišoj razini strukture nalazi se presjecište cilja. Na razini ispod kriteriji i

podkriteriji, te na najnižoj alternative. U hijerarhijskoj strukturi Expert Choice-a jednostavni modeli imaju presjecišta kriterija ispod cilja i presjecišta alternativa ispod svakog presjecišta kriterija. Složeniji modeli mogu imati dodatna presjecišta koja predstavljaju daljnja raščlanjenja glavnoga kriterija u podkriterije. Svako presjecište se može razgranati u najviše sedam presjecišta u sljedećoj nižoj razini itd. Expert Choice je sposoban modelirati složene probleme koje se sastoje i od tisuću presjecišta.

7.4.1 Model View

Nakon pokretanja EC-a otvara se Model View prozor koji se sastoji od tri okna (Slika 7.1):

- U lijevom oknu je Tree View prikaz s čvorovima, ciljem, kriterijima i podkriterijima
- U desnom gore oknu je prikaz alternativa
- U desnom donjem oknu je dokument s informacijama za čvor i/ili alternative

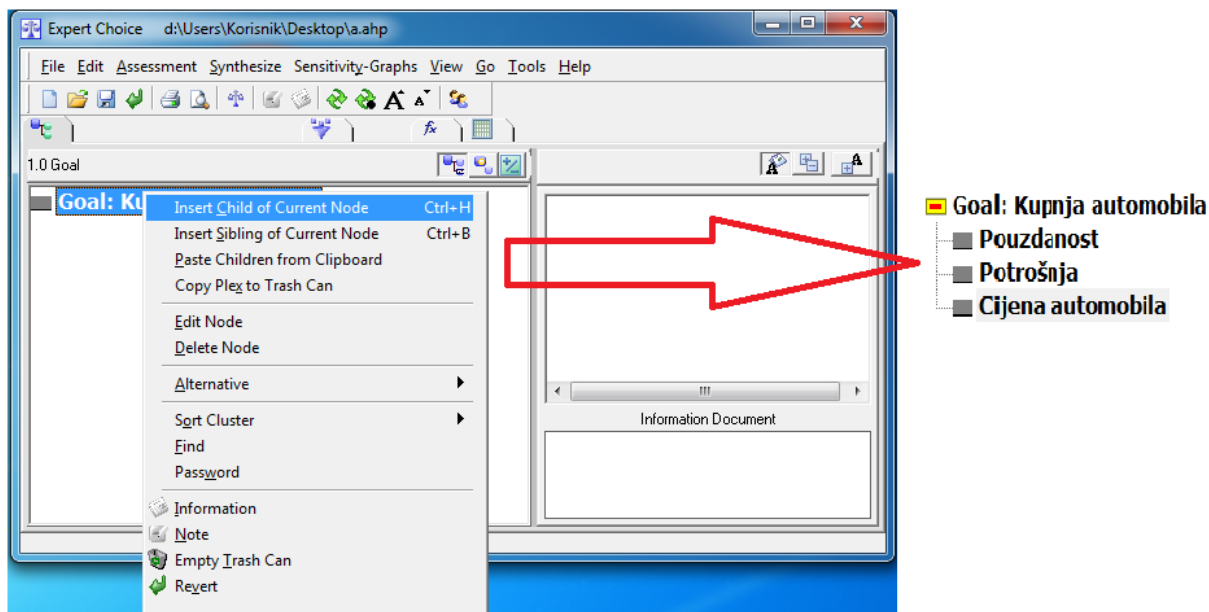


Slika 7.1 Model View prozor

7.4.2 Izrada novog modela

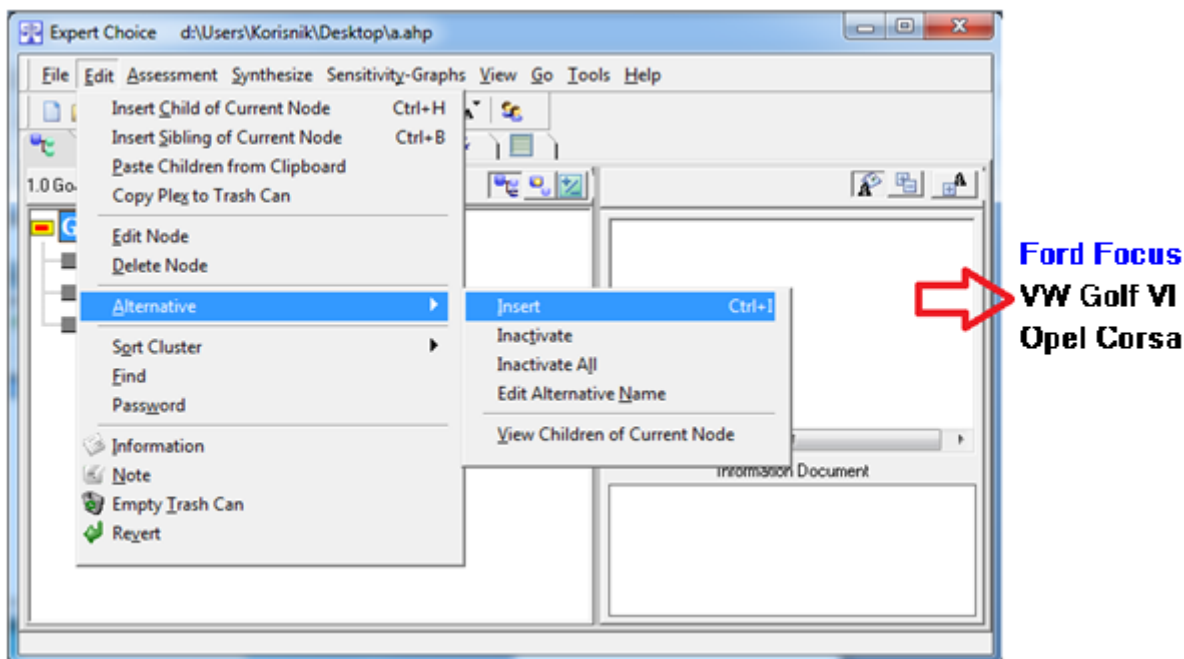
Radi lakšeg objašnjenja procesa izrade modela u softveru EC, za primjer je postavljen imaginarni problem donošenja odluke o kupnji automobila, koji ujedno predstavlja i zadani cilj. Kao opcije nude se tri alternative: *Ford Focus*, *Opel Corsa* i *VW Golf VI*. Kriteriji po kojima se odabire automobil su: *Pouzdanost*, *Potrošnja* i *Cijena automobila*. U nastavku je prikaz osnovnih koraka izrade tog modela:

1. Prvo što se čini, nakon pokretanja EC-a, upisuje se ime modela (*Open > New Model > File Name*). Nakon čega slijedi unos zadanog cilja (*Enter a description for your goal*).
2. Sljedeći korak je unos kriterija u *Tree View* okno. To se može izvesti na dva načina. Prvi način je pritiskom desne tipke miša na *Goal* i odabirom *Insert Child of the Current Node*, a drugi odlaskom na *Edit > Insert Child of the Current Node* i unese se prvi kriterij (Slika 7.2). Isti postupak se ponavlja sve do posljednjeg unosa. Ako se želi unijeti podkriterij, odabire se čvor željenog kriterija te se maloprije opisani postupak ponovi.



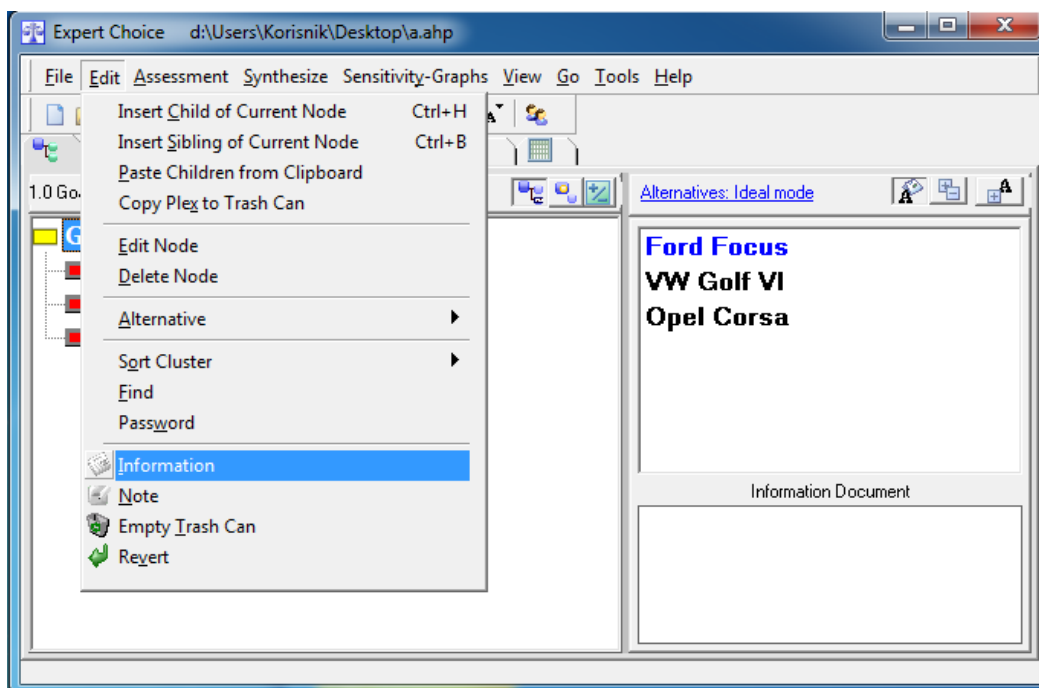
Slika 7.2 Unos kriterija

3. Nakon unosa kriterija vrši se unos alternativa. To se također može izvesti na dva načina. Prvi je pritiskom desne tipke miša na okno alternativa te odabirom na *Insert*, a drugi odlaskom na *Edit > Alternative > Insert* (Slika 7.3).



Slika 7.3 Unos alternativa

4. Zadnji korak u izradi novog modela je unos informacija o cilju, kriterijima, podkriterijima i alternativama u okno za informacije. I ovdje je moguć unos na dva načina. Prvi, označavanjem željenog čvora i pritiskom lijeve tipke miša na okno za informacije, dok je drugi, označavanjem željenog čvora pa se odabere *Edit > Information* (Slika 7.4).



Slika 7.4 Unos informacija

7.4.3 Donošenje parnih prosudbi

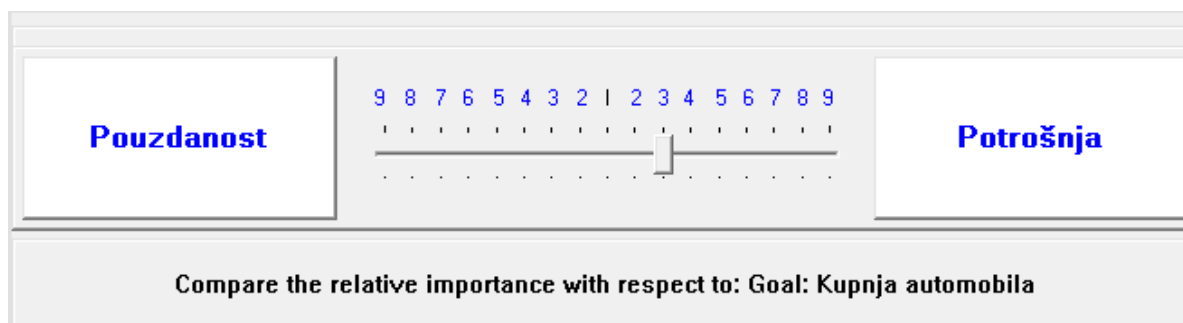
Nakon što je izgrađen model, sljedeći korak je vrednovanje elemenata parnom komparacijom. Parna komparacija je proces usporedbe relativnih važnosti, sklonosti ili vjerojatnost dvaju elemenata u odnosu na element koji se nalazi na razini iznad. Donositelj odluke parnom komparacijom kroz cijeli model uspostavlja prioritete. Postoje tri načina parnih komparacija u EC-u i to su:

- numerička,
- grafička,
- i verbalna komparacija.

7.4.4 Numerička komparacija

Numerička komparacija poželjna je kod uspoređivanja svojstava koja se daju prosuditi u brojčanom razmjeru. U numeričkoj skali, 1.0 znači da su elementi koji se uspoređuju jednako važni, 2.0 da je jedan element dvostruko važniji od drugog i 9.0 da je jedan element devet puta važniji od drugog. To su apsolutne brojke koje nam govore, npr. koji od dva kamena je teži i koliko puta teži. Dakle, numerička prosudba 5.0 znači da je jedan kamen pet puta teži od drugog kamena. Ako je razlika između elemenata toliko velika da nisu istog reda veličine, odnosno neki elementi skupine su više od devet puta važniji od nekih drugih elemenata iz skupine, oni bi trebali biti stavljeni u nakupine takvih elemenata. Druga alternativa je proširenje numeričke skale, koju dozvoljava EC, na omjer 99:1. No ljudi nisu točni u izradi prosudbe kada se elementi razlikuju po omjeru 10:1 ili više.

Slika 7.5 prikazuje numeričku skalu u programu EC.



Slika 7.5 Numerička skala

7.4.5 Grafička komparacija

Grafička skala za parno uspoređivanje može biti korištena za izražavanje odnosa između dvaju elemenata kao omjer dužina dviju linija. Presude se unose u grafički mod povlačenjem i

podešavanjem relativnih dužina dviju linija, gdje svaka linija predstavlja jedan element u parnoj usporedbi (Slika 7.6).

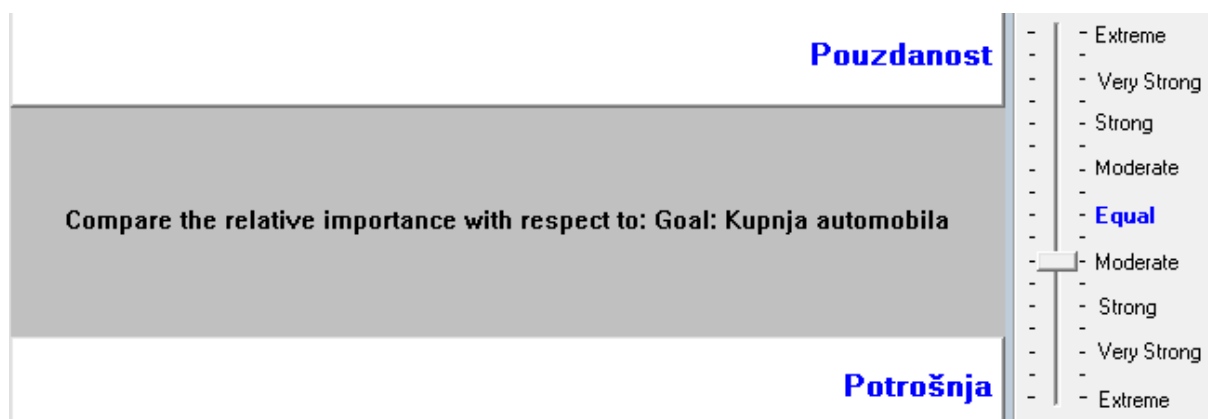


Slika 7.6 Grafička skala

7.4.6 Verbalna komparacija

Numeričke i grafičke prosudbe se donose u omjerima dvaju elemenata, te stoga posjeduju razinu omjera mjerenja, dok za verbalnu skalu to ne vrijedi. Verbalna skala zapravo je uobičajena skala. Kada donositelj odluke prosuđuje da je A puno važnije od B, zna se da je A važnije do B, ali ne zna se koliki je njihov interval ili omjer. Studije su pokazale da relativne (parne) verbalne prosudbe mogu proizvesti točne uobičajene prosudbe, pod uvjetom da su redundantne (nepotrebne) presude uključene u izračun. Redundancija pomaže pri smanjivanju prosječnog efekta pogrešaka analogno načinu uzimanja prosjeka uzorka mjerenja, koji će proizvesti procjenu koja će biti bliža stvarnoj sredini, nego što će to biti samo od jednog suda. Osim smanjivanja utjecaja uobičajenih vrsta grešaka u mjerenju, ovaj postupak također smanjuje utjecaj nejasnoće skale i razliku u interpretaciji skale od različitih donositelja odluke. Dok relativne parne prosudbe mogu biti donesene numerički ili grafički, verbalne prosudbe su važne u donošenju odluka zato što su bliskije ljudima, te su ljudi naučili koristiti riječi za mjerenje intenziteta osjećaja. Npr. ugodnije je tvrditi da je jedan voćni okus umjereno slađi od drugog, nego tvrditi da je jedan voćni okus tri puta slađi od drugog.

Slika 7.7 prikazuje verbalnu skalu u programu EC.

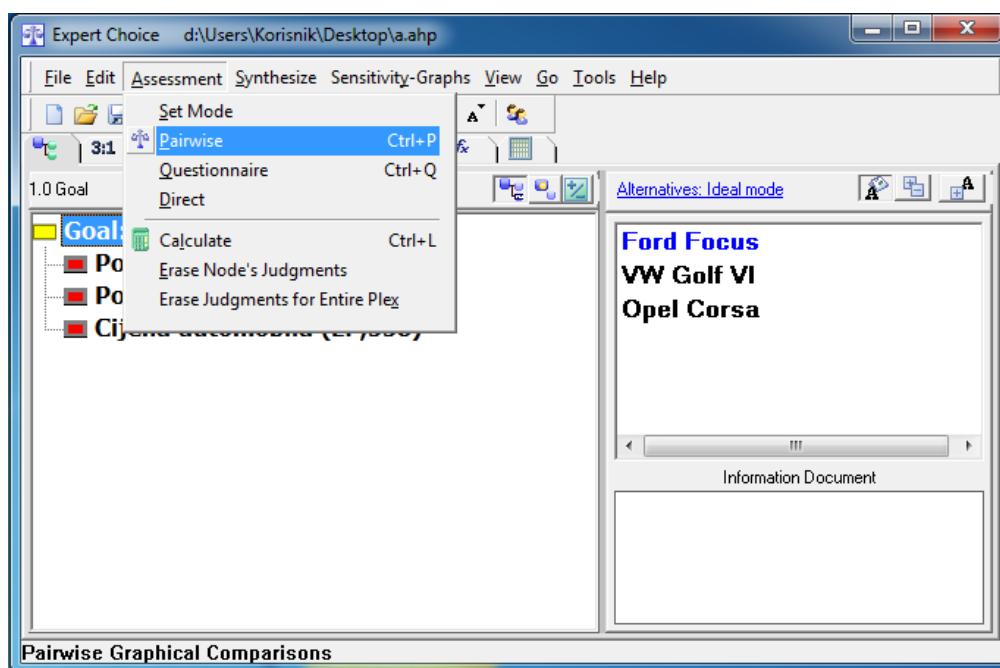


Slika 7.7 Verbalna skala

Usporedba kriterija i alternativa verbalnom komparacijom

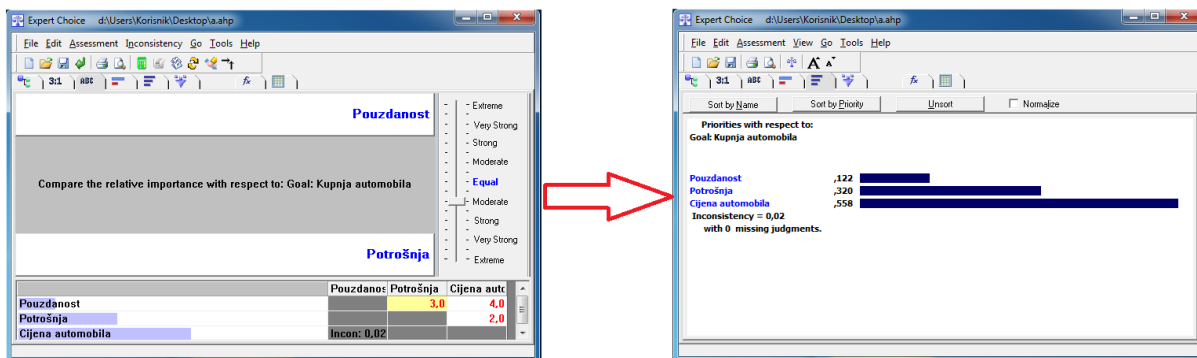
Nad odabranim kriterijima i alternativama iz poglavlja 7.4.2. ovoga rada prema ispod navedenim koracima vrši se usporedba kriterija i alternativa:

1. Prvo se donosi prosudba o važnosti kriterija međusobnom usporedbom dvaju kriterija s obzirom na zadani cilj. Odabere se lijevom tipkom miša cilj pa se zatim pritisne iz izbornika *Assessment* > *Pairwise* (Slika 7.8). Po defaultu otvorit će se verbalna komparacija.



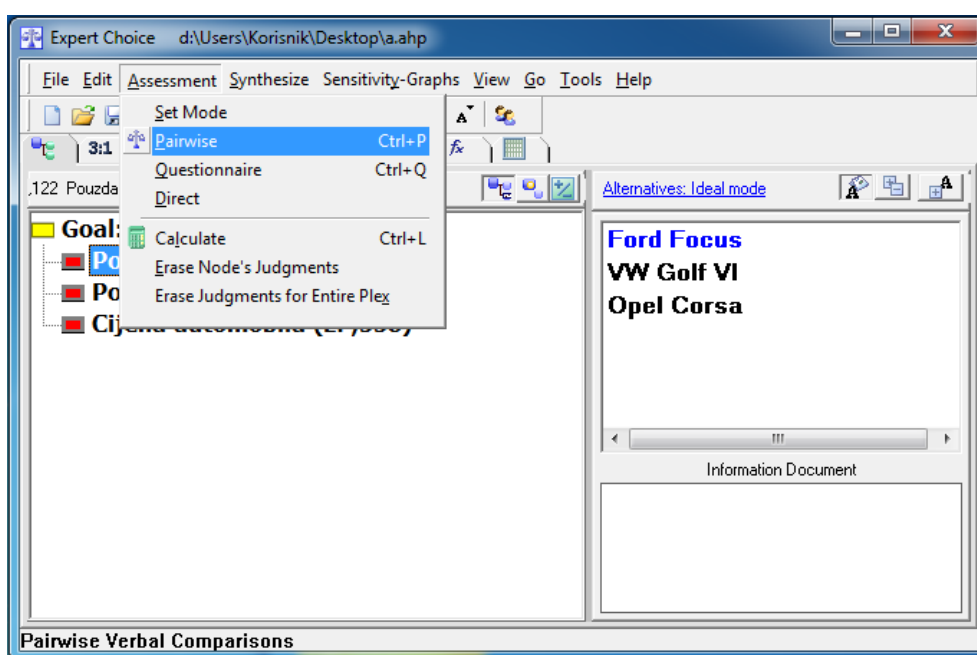
Slika 7.8 Odabir komparacije kriterija

2. Povlačenjem indikatora verbalne skale prema gore ili dolje na odgovarajući položaj odabire se prosudba koja najbolje opisuje preferenciju. Postupak se ponavlja dok se ne izvrše sve međusobne usporede svih kriterija u modelu u odnosu na željeni cilj. Nakon što su napravljene sve prosudbe, automatski se pojavljuje naredba *Record judgements and calculate*. Potvrdom ove naredbe izračunat je prioritet kriterija. Slika 7.9 prikazuje postupak parne verbalne usporedbe kriterija *Pouzdanosti* i *Potrošnje*, te rezultate komparacije svih kriterija. Na dnu slike može se vidjeti nekonzistentnost od 2% koja je ispod 10%, što ukazuje da je model prioriteta kriterija dobro strukturiran.



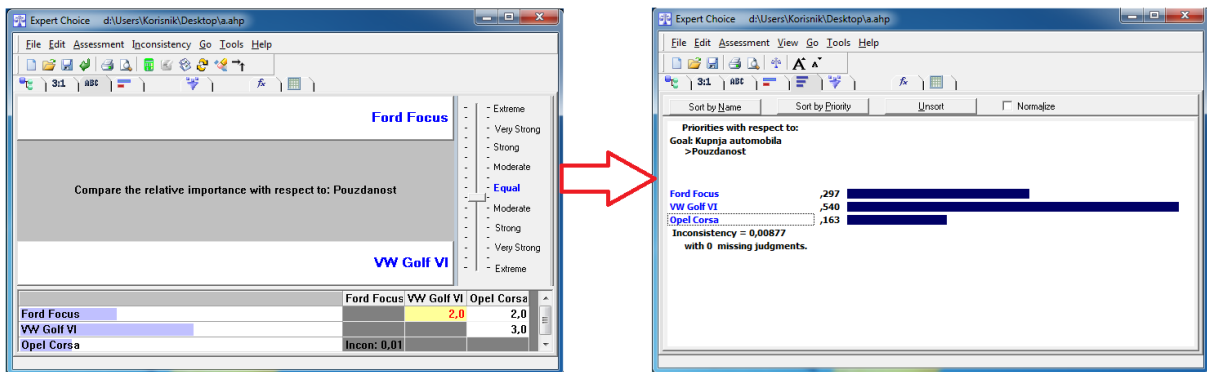
Slika 7.9 Rezultati parne komparacije kriterija

3. Nakon provedbe komparacija kriterija vrše se usporedbe alternativa prema zadanim kriterijima. Lijevom tipkom miša klikne se na prvi kriterij u strukturi te se iz izbornika odabere *Assessment > Pairwise* (Slika 7.10).



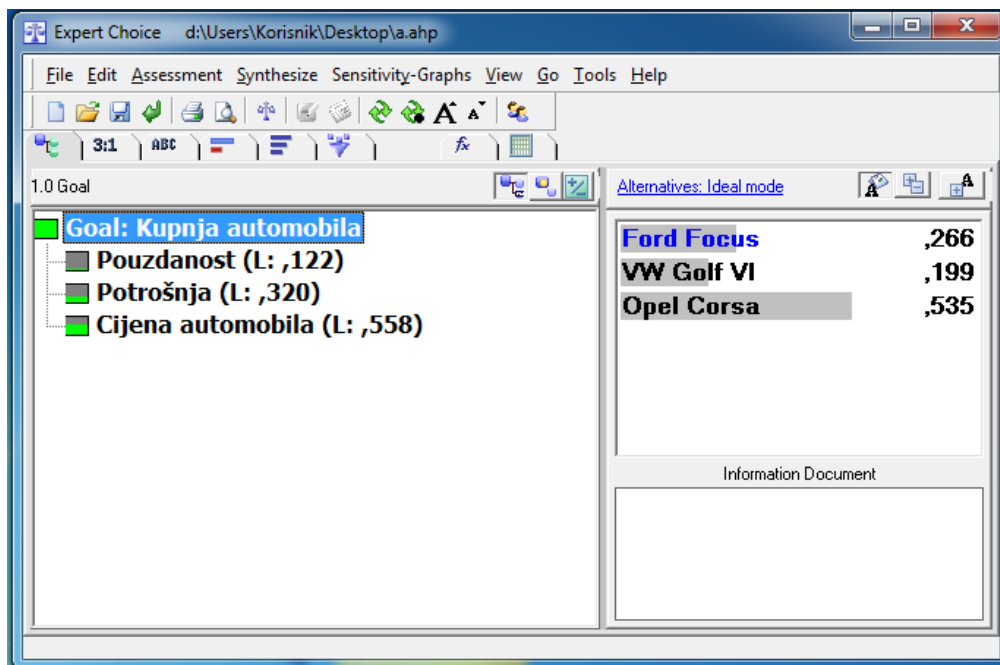
Slika 7.10 Odabir komparacije alternativa

4. Postupak usporedbi alternativa sličan je postupku usporedbe kriterija, samo što se sada alternative uspoređuju u odnosu na svaki kriterij. Slika 7.11 prikazuje postupak parne verbalne usporedbe dviju alternativa *Ford Focus* i *VW Golf VI* u odnosu na kriterij *Pouzdanost*, te rezultate parne komparacije alternativa s obzirom na taj kriterij.



Slika 7.11 Rezultati parne komparacije alternativa

5. Nakon što su učinjene sve prosudbe u modelu i izračunati prioriteti, izvodi se sinteza rezultata. Kada se vrati nazad u *Model View*, prioriteti alternativa vidljivi su u oknu alternativa, a prioriteti kriterija u *Tree View*. Sa slike 7.12 vidljivo je da je najprikladnija alternativa *Opel Corsa*, a najutjecajniji kriterij *Cijena automobila*.



Slika 7.12 Sinteza rezultata

7.4.7 Provođenje osjetljivosti pomoću Expert Choice-a

Posljednji korak procesa odlučivanja je analiza osjetljivosti koja se temelji na vizualizaciji posljedica promjena ulaznih podataka. Ulazni podaci za model pomoću kojih se izračunaju prioriteti su procjene relativnih važnosti kriterija i procjena omjera lokalnih prioriteta alternativa. Te procjene mogu varirati u nekim rasponima, a da te promjene još uvijek budu u skladu s preferencijama donositelja odluke. Analiza osjetljivosti provodi se s ciljem da se vidi u kojoj mjeri se promjene ulaznih podataka odražavaju na ukupne prioritete alternativa. Da bi se došlo do

zaključka da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka treba izračunati prioritete alternativa za brojne različite kombinacije ulaznih podataka.

Postoji 5 različitih vrsta analiza osjetljivosti:

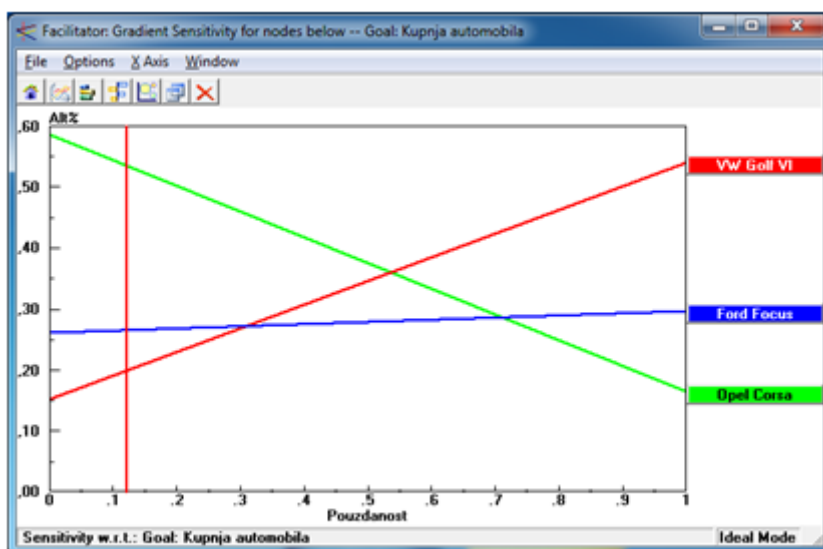
1. Dynamic,
2. Gradient,
3. Performance,
4. Head to Head i
5. 2D.

Moguće je otvoriti 4 vrste analiza osjetljivosti odjednom ili svaku vrstu posebno. Svaki grafički prikaz ima svoj vlastiti meni s naredbama i svaka analiza osjetljivosti može biti uspoređena sa *što-ako* analizom budući da su promjene koje se rade u grafičkom prikazu privremene.

U nastavku će biti prikazano kako se analiza osjetljivosti može provesti na kvalitetan i razumljiv način uz pomoć softvera EC.

Opcija Gradient

Gradient prikaz predočuje kako promjene težina pojedinih kriterija utječu na prioritete alternativa. Na slici 7.13 prikazana je osjetljivost prioriteta alternativa s obzirom na promjene kriterija *Pouzdanost*. Može se primijetiti da prioritet *VW Golf VI* raste s porastom težine promatranog kriterija, prioritet *Opel Corsa* opada, dok na prioritet *Ford Focus* relativno malo utječe promjena težine kriterija.

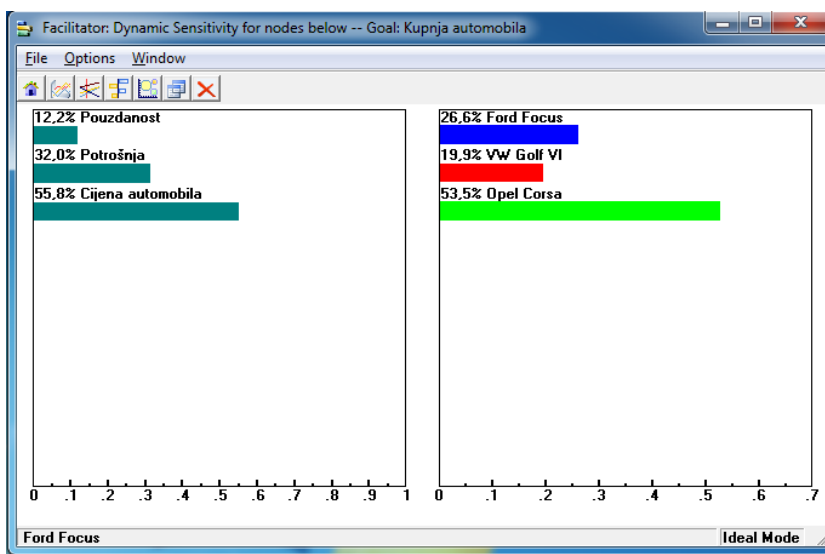


Slika 7.13 Gradient prikaz

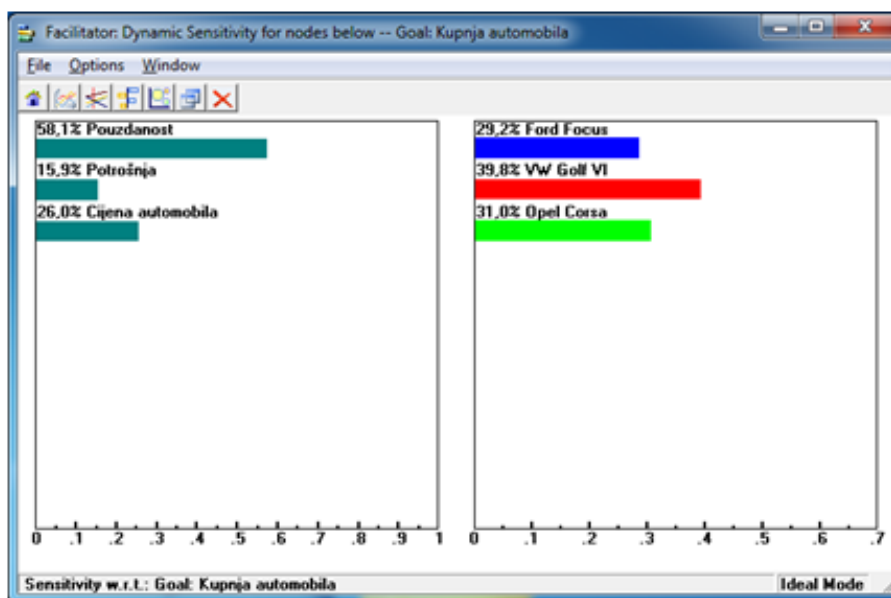
Opcija Dynamic

Opcija Dynamic omogućava dinamički grafički prikaz uvida u to kako se dinamički mijenjaju prioritete alternativa ukoliko se mijenjaju težine pojedinih kriterija. Jednostavnim povlačenjem miša lijevo ili desno, smanjuje se ili povećava važnost određenog kriterija, dok se težine ostalih kriterija proporcionalno mijenjaju u odnosu na početne težine kriterija.

Kako se ta promjena težina kriterija odražava na prioritete alternativa moguće je vidjeti na desnoj strani grafičkog prikaza na slici 7.14 i 7.15.



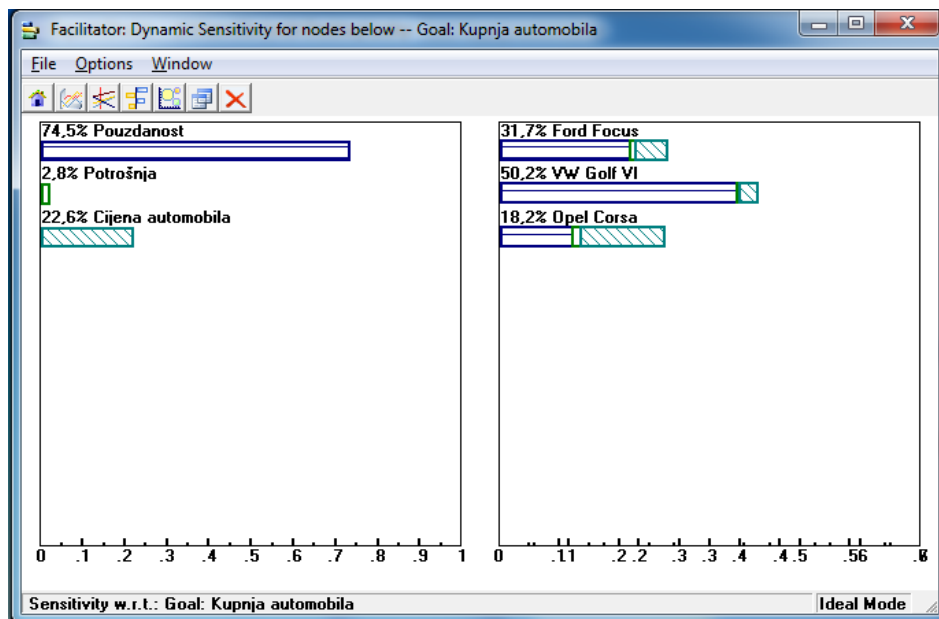
Slika 7.14 Gradient prikaz - početni problem



Slika 7.15 Dynamic prikaz - izmijenjeni problem

Dynamic prikaz ima i opciju Components u kojoj je moguće vidjeti udjele težina pojedinih kriterija u ukupnom prioritetu alternativa.

Pomoću opcije Components mogu se dobiti odgovori na pitanja poput: „Kolika bi trebala biti težina kriterija *Pouzdanost* da automobil *VW Golf VI* bude prijedlog za najbolju alternativu, a automobil *Opel Corsa* za najlošiju alternativu i to značajno najlošiju alternativu (Slika 7.16).

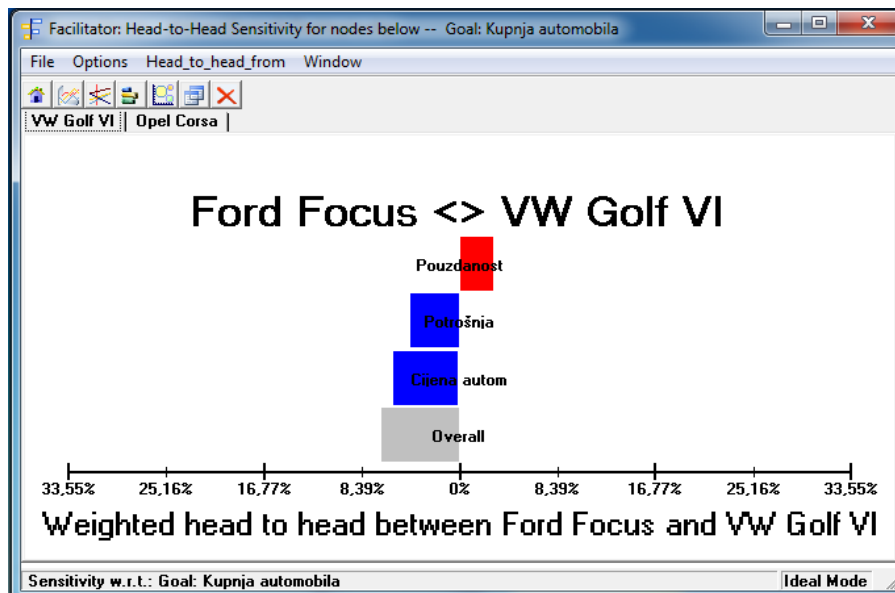


Slika 7.16 Dynamic - Components prikaz

Opcija Head to Head

U Head to Head opciji analize osjetljivosti moguće je jednostavnim korištenjem miša vizualizirati odnose razmatranih alternativa u svim parovima na način da međusobni kvalitativni odnos dvije alternative bude prikazan pravokutnim površinama. Informacije o tome koja je alternativa bolja, predstavljena je prostornom pozicijom pravokutnika.

Na slici 7.17 prikazan je odnos između alternativa *Ford Focus* i *VW Golf VI*. Kriteriji po kojima ima prednost alternativa *Ford Focus* pridruženi su joj pravokutnici odgovarajućih površina usmjereni ulijevo (kriteriji *Potrošnja* i *Cijena automobila*), a pravokutnici pridruženi kriterijima po kojima ima prednost alternativa *VW Golf VI* orijentirani su udesno. Ukupna prednost jedne alternative u odnosu na drugu prikazana je pravokutnikom na najnižoj razini. Budući da je pravokutnik orijentiran ulijevo, ukupnu prednost u ovoj kombinaciji promatranih alternativa ima alternativa *Ford Focus*.



Slika 7.17 Head to Head grafikon

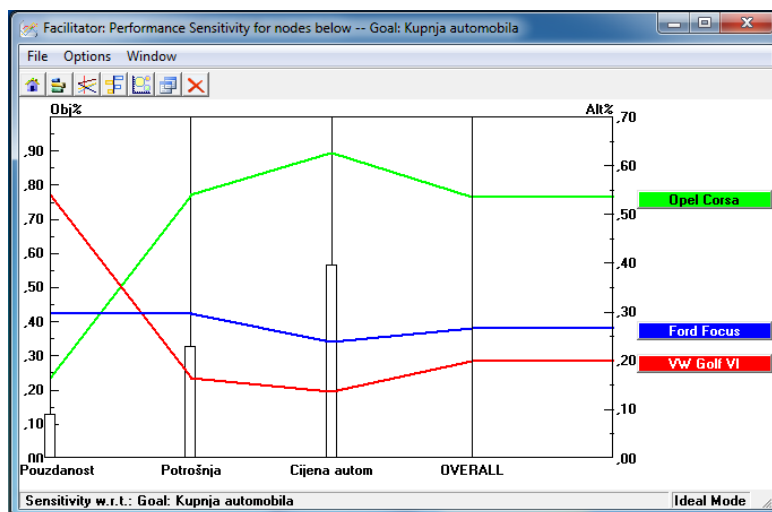
Opcija Performance

Opcija Performance omogućava prikaz utjecaja pojedinih težina kriterija na poredak alternativa. Razlikuju se:

- trenutni poredak alternativa - predstavlja promjenu prioriteta alternative pod utjecajem težine jednog kriterija
- ukupni poredak alternativa - predstavlja poredak alternativa pod utjecajem težina svih kriterija

Sa slike 7.18 vidljive su sljedeće stvari:

- na desnoj strani y-osi prikazani su prioriteti alternativa i redoslijed alternativa - može se uočiti da je najbolja alternativa *Opel Corsa*, a najgora *VW Golf VI*
- na x-osi prikazani su kriteriji i njihov utjecaj na pojedinu alternativu - može se vidjeti da kriteriji koji negativno utječu na alternativu *VW Golf VI* su *Potrošnja* i *Cijena automobila*, dok je prema kriteriju *Pouzdanost* na prvom mjestu u poretku alternativa
- težine pojedinih kriterija prikazane su na lijevoj strani y-osi

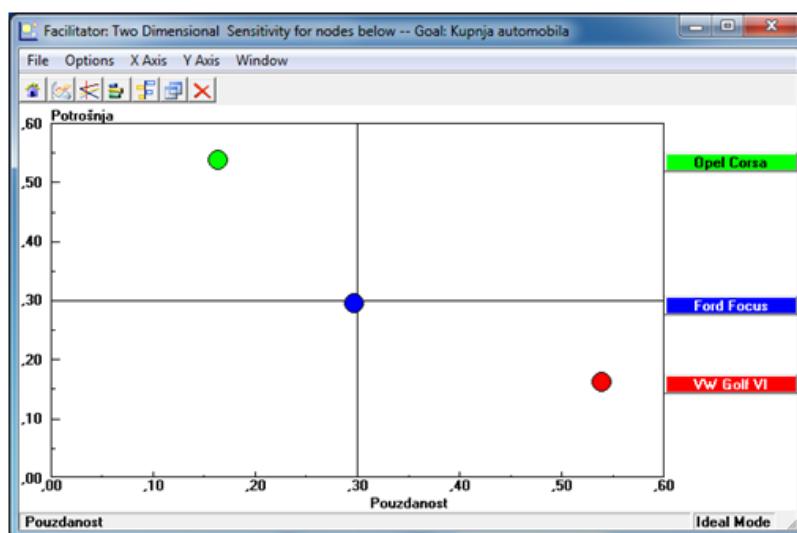


Slika 7.18 Performance grafikon

Opcija 2D

U 2D opciji analize osjetljivosti prikazani su prioriteti alternativa s obzirom na dva kriterija koja se uspoređuju. Moguće je analizirati prioritete alternativa pri bilo kojoj kombinaciji dva kriterija. Područje 2D grafikona je podijeljeno na 4 kvadranta.

Na slici 7.19 prikazani su prioriteti alternativa kada se u odnos stave kriteriji *Pouzdanost* i *Potrošnja*.



Slika 7.19 2D grafikon

8. UNOS PODATAKA, PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Cilj odabira, su kriteriji na temelju kojih se donosi odluka i definirane alternative, pa je potrebno koristeći AHP metodu donijeti konačnu odluku odabira ponude kovanja.

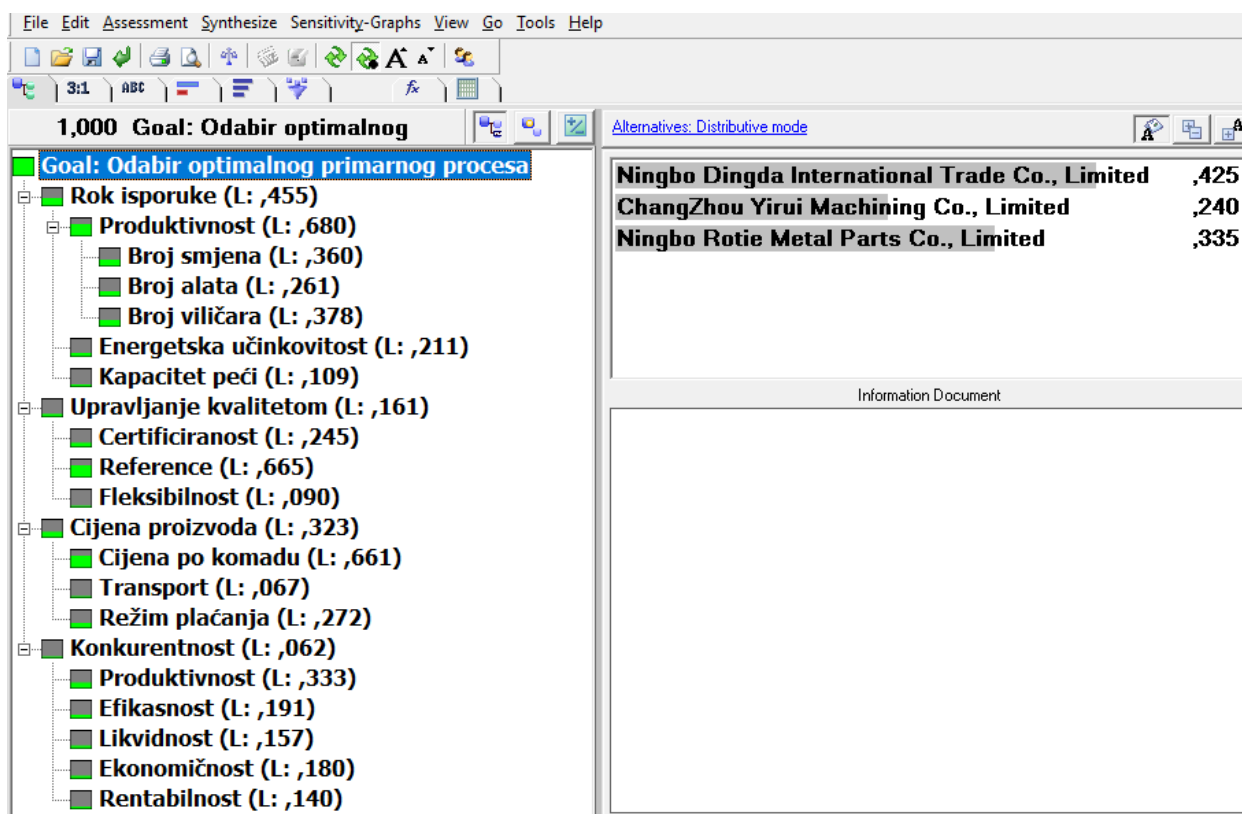
Kao što je već objašnjeno (poglavlje 6) kod ponderiranja pojedinih kriterija, najvažniji kriterij je *rok isporuke* kod odabira optimalnog primarnog procesa. Potrebno je skratiti rok kako bi se cijeli ciklus izrade odradio u što kraćem roku.

Kovačnice	Ningbo Dingda International Trade	ChangZhou Yirui Machining	Ningbo Rotie Metal Parts
Rok isporuke	3 mjeseca	10 mjeseci	12 mjeseci
Proizvodnost po danu	1333 otkovka	600 otkovka	455 otkovka
Proizvodnost po radniku u danu	8 otkovka	17 otkovka	4 otkovka
Cijena po komadu	40,5\$	52,11\$	35,17\$
Cijena ukovnja	6 618\$	22 332\$	5 880\$
Ukupna cijena	4 860 000\$	6 253 200\$	4 220 400\$
Režim plaćanja	50% avans, 50% po preuzeću	30% avans, 70% po preuzeću	30% avans, 70% po preuzeću
Certificiranost	ISO 9001, 20000	IATF 16949	ISO 9001, 14001
Reference	McLaren, Subitomo	Bosch, Volvo	CCL UK, HMI USA
Broj smjena	2 smjene po 9 sati	1 smjena od 12 sati	1 smjena od 10 sati
Broj zaposlenika	150	35	120
Broj viličara	6	1	6
Količina strojeva za kovanja	12	3	1
Vrsta zagrijavanja u pećima	Električno grijanje	Električno grijanje	Indukcijsko grijanje

Tablica 8.1 Komparacija kovačnica

Komparacija kovačnica (Tablica 8.1) vršila se za lakši unos i prikaz podataka u Expert Choice.

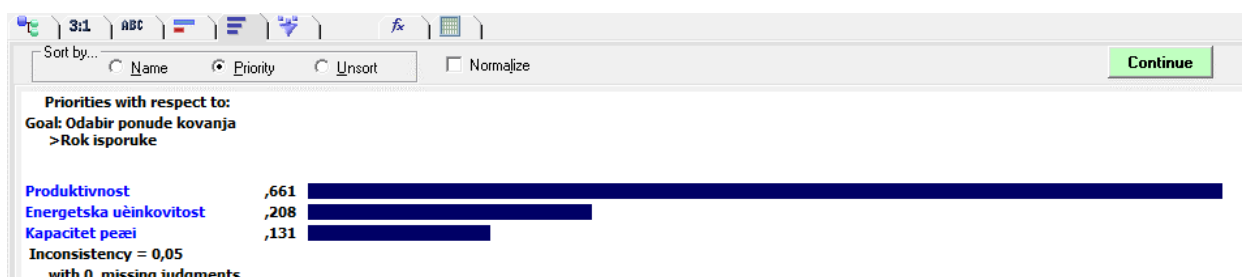
Dobiveni rezultati (Slika 8.1) pomoću Expert Choicea koji međusobno uspoređuje alternative s odabranim kriterijima pomaže pri donošenju odluke. Kao najbolja alternativa izabrana je kovačnica *"Ningbo Dingda International Trade"* kod koje vektor prioriteta ima vrijednost 0,425, iako preostale dvije ne zaostaju puno. Druga alternativa je *"Ningbo Rotie Metal Parts"* s vektorom prioriteta 0,335 i treća *"ChangZhou Yirui Machining"* s vektorom prioriteta 0,240 što prikazuje i slika 8.1.



Slika 8.1 Model View prikaz rezultata odabira

Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij *Rok isporuke*

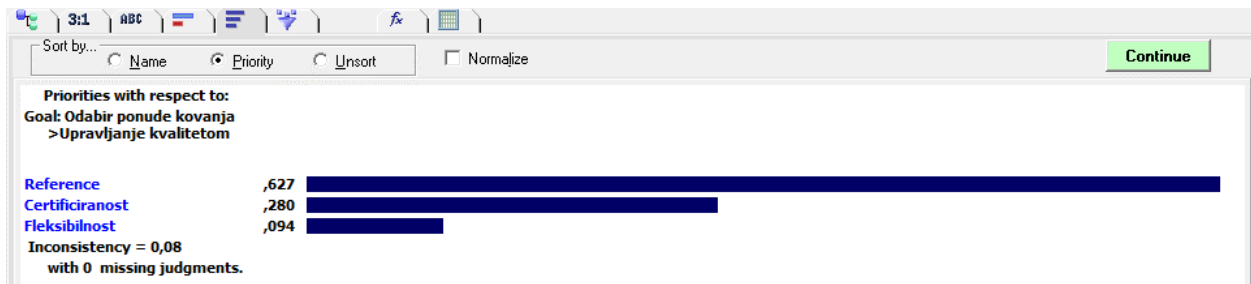
Podkriteriji su međusobno uspoređivani u parovima (Slika 8.2), gdje vektori prioriteta označavaju važnost jednog podkriterija u odnosu na drugi. Slika prikazuje i sintezu rezultata s konačnim poretkom podkriterija prema njihovim težinama, iz čega je vidljivo da je *produktivnost* najvažniji podkriterij, zatim slijede podkriteriji *energetska učinkovitost* i *kapacitet peći*.



Slika 8.2 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij *Rok isporuke*

Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij *Upravljanje kvalitetom*

Postupkom parne usporedbe triju podkriterija *reference*, *certificiranost* i *fleksibilnost* u odnosu na kriterij *upravljanje kvalitetom* dobiveni su rezultati (Slika 8.3) prema kojima prednost ima podkriterij *reference*.



Slika 8.3 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij Upravljanje kvalitetom

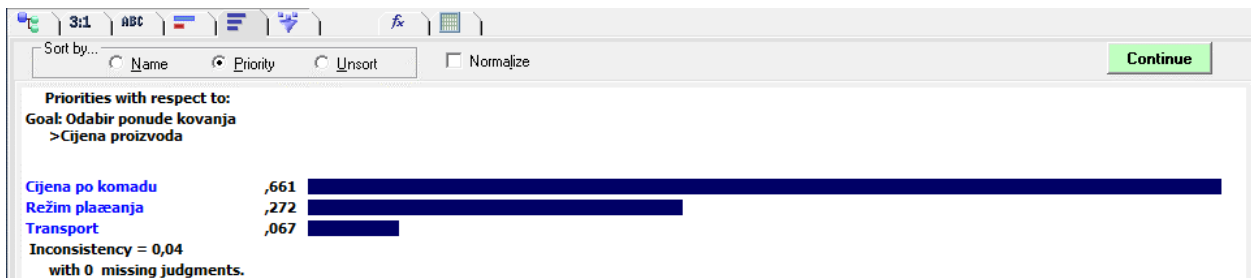
Slika 8.4 prikazuje nam rangirane tvrtke koje su vanjski naručitelji za kovačnice. Zbog nedostupnosti informacija kakve su dijelove proizvodili za njih, postoji određena subjektivnost kod davanja važnosti pojedinim referencama.

Goal: Odabir optimalnog primarnog procesa\Upravljanje kvalitetom \Reference	
Intensity Name	Priority
Bosch	1,000
McLaren	,874
Volvo	,382

Slika 8.4 Rangiranje tvrtki za kriterij reference

Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij Cijena proizvoda

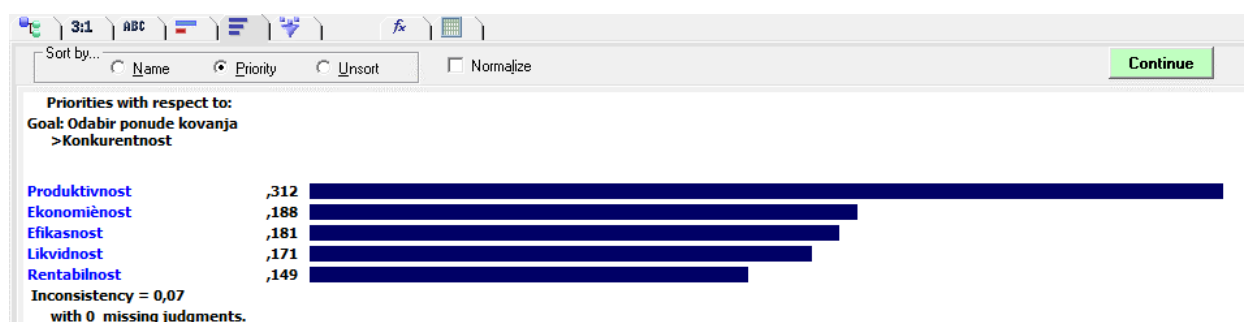
Postupkom parne usporedbe triju podkriterija *cijena po komadu*, *režim plaćanja* i *transport* u odnosu na kriterij *cijena proizvoda* dobiveni su rezultati (Slika 8.5) prema kojima prednost ima podkriterij *cijena po komadu*.



Slika 8.5 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij Cijena proizvoda

Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij *Konkurentnost*

Postupkom parne usporedbe svih podkriterija u odnosu na kriterij *konkurentnost* dobiveni su rezultati koji su vidljivi na slici 8.6 Vidljivo je da je podkriterij *produktivnost* najutjecajniji podkriterij, te slijede *ekonomičnost*, *efikasnost*, *likvidnost* i *rentabilnost*. U prilogu 11.5 prikazani su proračuni za ekonomičnost, produktivnost, efikasnost, likvidnost i rentabilnost. Obzirom na nedostatak podataka, kriterij *konkurentnost* je pretpostavljen u dogovoru sa mentorom. Kad bi se imao uvid u podatke koji se tiču poslovanja tvrtke, proračunom bi se lako izračunali pojedini podkriteriji.



Slika 8.6 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij *Konkurentnost*

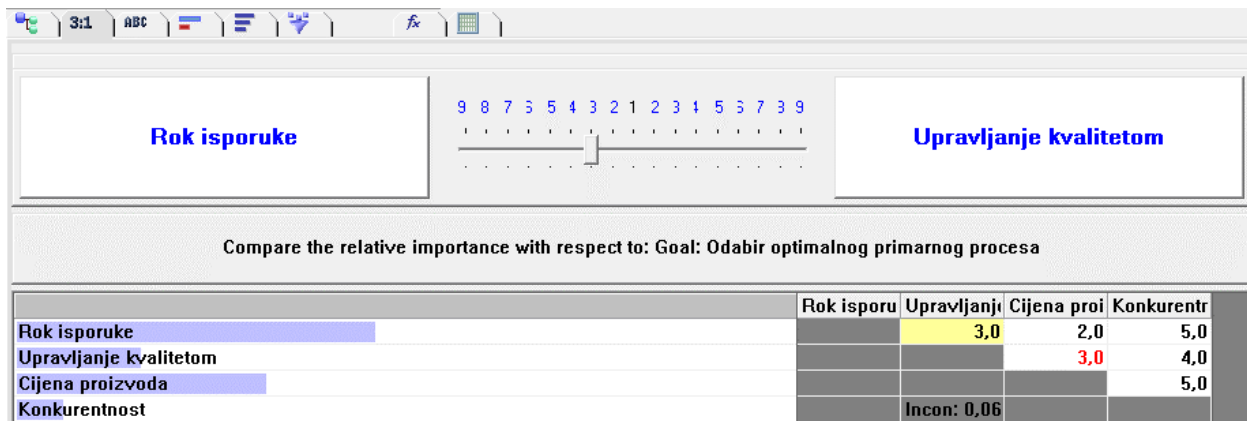
Procjena težina kriterija u odnosu na Cilj: Odabir primarnog procesa

Nakon što je završena usporedba podkriterija u odnosu na nadređene podkriterije i kriterije, vrši se usporedba kriterija u odnosu na *Cilj: Odabir primarnog procesa*.



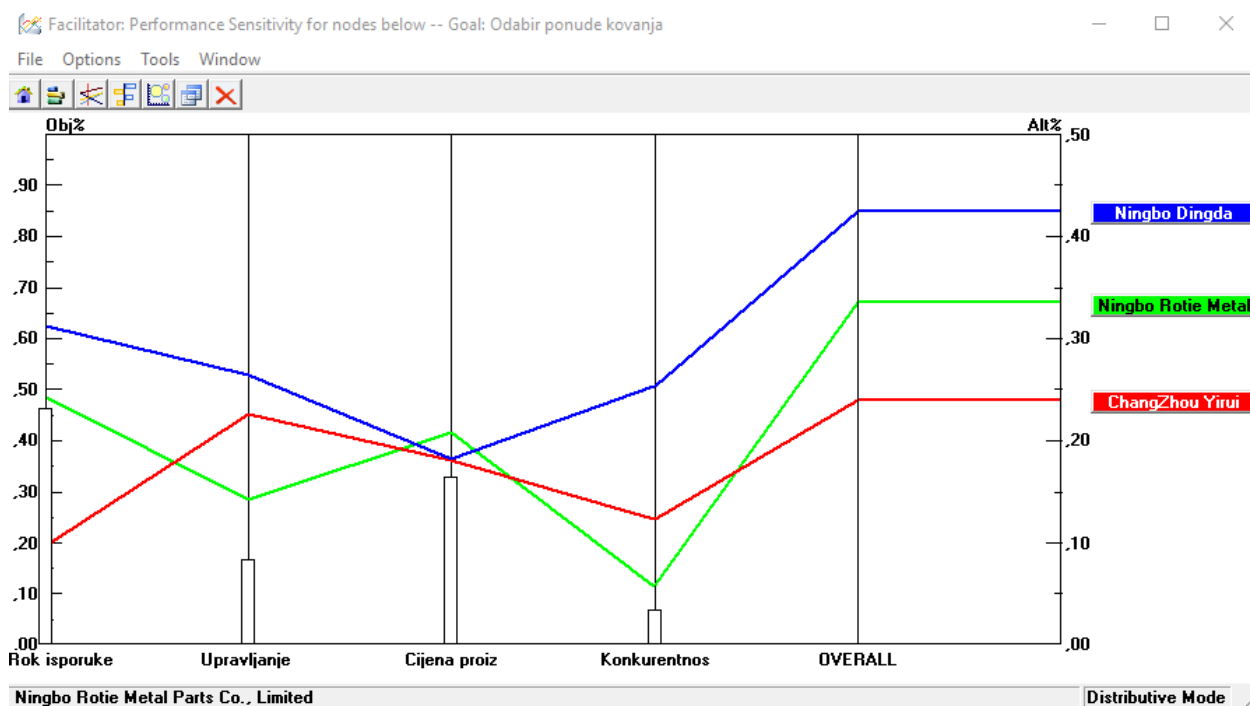
Slika 8.7 Ponderirani kriteriji i konzistentnost

Slika 8.7 prikazuje poredane kriterije prema važnosti odozgo prema dolje. Također na slici možemo vidjeti da je indeks konzistentnosti 0,06 tj. 6% što znači da je postupak konzistentan. Da bi postupak bio konzistentan *indeks mora biti manji od 10%*.



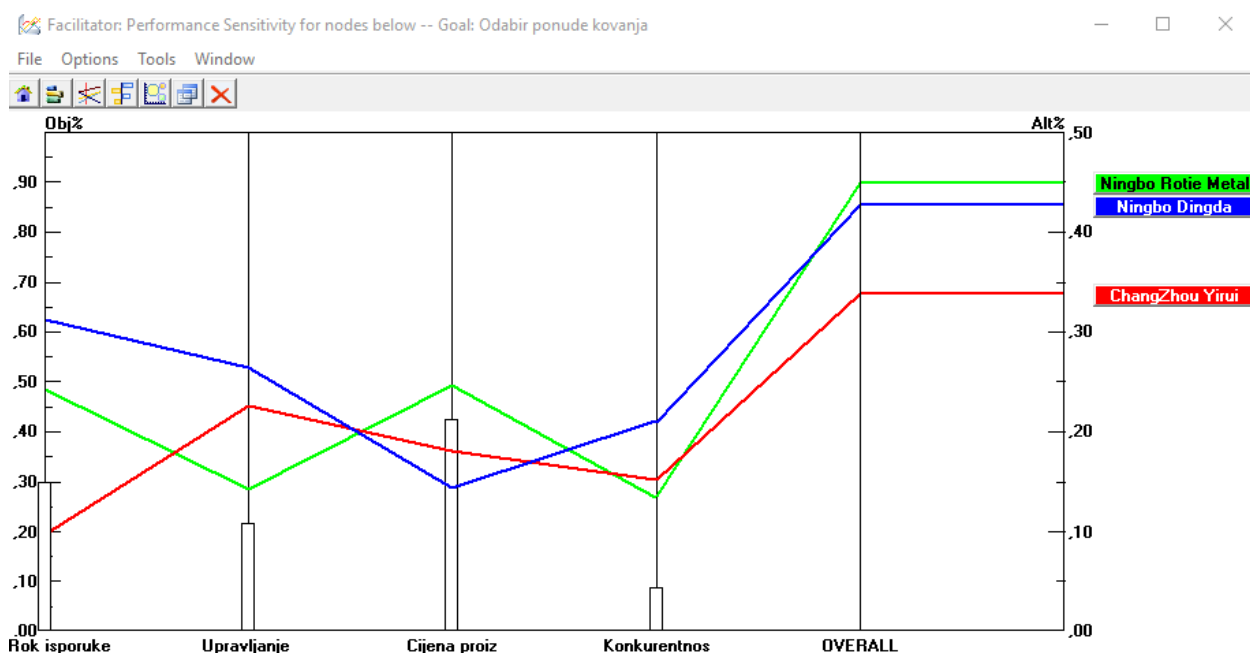
Slika 8.8 Odnos kriterija prema Saatyjevoj skali

Raspodjela kriterija prema važnosti postavlja se brojčanim odnosom prema Saatyjevoj skali za sve kriterije, a postupak je prikazan na slici 8.8. Iz slike je vidljivo da je indeks konzistentnosti 6% što govori da je postupak raspodjele kriterija konzistentan.



Slika 8.9 Dijagram dobivenih rezultata

Grafička analiza (Slika 8.9) jasno nam prikazuje da je kovačnica "Ningbo Dingda International Trade" najbolja alternativa prema kriterijima rok isporuke, upravljanje kvalitetom i konkurentnost. Kriterij cijena proizvoda je najpovoljnija kod alternative "Ningbo Rotie Metal Parts", ako bi se odnos kriterija promjenio, dobili bi drugačiji rezultat što prikazuje slika 8.10.



Slika 8.18 Dijagram dobivenih rezultata s promjenjenim kriterijima

Iz slike 8.9 i 8.10 očito je da donositelj odluke ima najvažniju ulogu u donošenju konačnog rezultata. Prikazano je kako poznavanje donositelja odluke u razmatranom području tj. kovanju izravno utječe na konačni rezultat. Također subjektivnost donositelja odluke pri rangiranju kriterija utječe na konačni rezultat što je ujedno i najveća mana AHP metode.

Potencijalni nastavak projekta temeljio bi se na marketinškoj procjeni potencijalnih konkurenata ili na podacima generiranim upravljanjem proizvodnje npr. organizacija ITASA, zauzeće strojeva, itd. Također je potencijalan i dogovorni (planirani) rok isporuke gotovog proizvoda vratila koji je u ovom projektu ideliziran.

9. ZAKLJUČAK

Podrška odlučivanja kao što samo ime govori daje moguće scenarije egzaktnih rezultata na temelju unesenih kriterija. Provedba AHP metode obavila se za konkretan izradak *Vratila*, čiji je radionički crtež prikazan u poglavlju 2, pomoću softvera Expert Choice 11. AHP metoda nije jedina ali se pokazala najpristupačnijom. Na temelju ustanovljenih kriterija došlo se do rezultata da je optimalna kovačnica za izradu primarnog procesa kovanja *"Ningbo Dingda International Trade"*. Navedena kovačnica je najbolja prema kriterijima: *rok isporuke, upravljanje kvalitetom i konkurentnost*. Taj izbor je logičan pošto je kriterij *rok isporuke* najvažniji.

AHP kao alat umjetne inteligencije jednostavan je u smislu primjene, daje grafički prikaz kako pojedini kriteriji ovise o drugima i gradi hijerarhiju kriterija te tako postaje jasna važnost svakog elementa (kriterija).

Subjektivnost donositelja odluke uvelike utječe na konačan rezultat. Jako je bitna priprema samog poslovnog okruženja i uvid u poslovanje navedenih triju kovačnica između kojih se provodio odabir, subjektivnost bi se smanjila i *time buildingom* tj. radom grupe eksperata koji se bave tim područjem ili auditiranjem. Dakle, da je suradnja s kineskim kovačnicama bila dugotrajnija i dublja dobili bi se i egzaktniji podaci kao što su postotak škarta, vraćanje proizvoda, *produktivnost, efikasnost, ekonomičnost, likvidnost, rentabilnost* i sl.



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navodenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, VEDRAN KOKOT (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ODABIR OPTIMALNOG PRIMARNOG PROCESA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Kokot Vedran
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, VEDRAN KOKOT (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ODABIR OPTIMALNOG PRIMARNOG PROCESA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Kokot Vedran
(vlastoručni potpis)

10. LITERATURA

- [1] predavanja TPP 2018/2019, UNIN, Varaždin, prof. dr.sc. Predrag Ćosić
- [2] https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/osnove_strojarstva/meh_svojstva_celika.pdf
(pristupio 08.07.2019.)
- [3] Binko Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1988.
- [4] <http://www.skladistenje.com/poslovno-odlucivanje-i-sustavi-za-potporu-odlucivanju/>
(pristupio 08.07.2019)
- [5] Imamagić E., Seminarski rad, „Sustavi za potporu odlučivanju“, FER, Zagreb, 2010.
- [6] Cerovšek K., Diplomski rad, „Odabir alatnih strojeva u projektiranju tehnoloških procesa“, FSB, Zagreb, 2014.
- [7] http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s1/Visekriterijska-optimizacija-clanak.pdf (pristupio 09.07.2019.)
- [8] <http://www.ho-cired.hr/referati/SO5-05.pdf> (pristupio 09.07.2019.)
- [9] Aleksi I., Hocenski Ž., Elaborat, „Primjena Expert Choice alata i AHP metode za odabir Virtex-5 FPGA čipa“, Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Osijek, 2009.
- [10] <https://www.scribd.com/document/191404012/Expert-Choice> (pristupio 11.07.2019.)
- [11] http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s1/Visekriterijska-optimizacija-clanak.pdf (pristupio 12.07.2019.)
- [12] Lojen S., Diplomski rad, „Odabir primarnog procesa“, FSB, Zagreb, 2015.
- [13] Lisjak D., „Izbor opreme AHP metodom“, Održavanje, FSB, Zagreb, 2014., predavanja.
- [14] <http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf> (pristupio 10.07.2019.)
- [15] <http://professorforman.com/decisionbyobjectives/chapter4.pdf> (pristupio 12.07.2019.)
- [16] Cijene radnog sata alatnih strojeva, MES Končar 2017 Moodle, prof.dr.sc. Predrag Ćosić
- [17] Buchmeister i Polajnar, "Priprava proizvodnje", Fakulteta za strojništvo , Maribor, 2000.

Popis slika

Slika 2.1 Crtež izratka u AutoCAD-u.....	2
Slika 3.1 Konačan izradak prikazan u SolidWorks-u.....	3
Slika 4.1 Odabir primarnog procesa po Haleviju, [1].....	6
Slika 4.2 Postupak odabira tehnološkog procesa, [1].....	9
Slika 5.1 Podaci o masi i volumenu iz SolidWorks-a	12
Slika 5.2 Ekstrapolacija dimenzija ovisnosti o masi	13
Slika 5.3 Otkovak sa podacima	14
Slika 5.4 Dimenzionirani otkovak sa tolerancama	14
Slika 5.5 Radijusi zaobljenja otkovka	14
Slika 6.1 CAD crtež modela	16
Slika 6.2 Hijerarhijska struktura odabira ponude	17
Slika 7.1 Model View prozor	30
Slika 7.2 Unos kriterija.....	31
Slika 7.3 Unos alternativa.....	32
Slika 7.4 Unos informacija	32
Slika 7.5 Numerička skala	33
Slika 7.6 Grafička skala.....	34
Slika 7.7 Verbalna skala	34
Slika 7.8 Odabir komparacije kriterija	35
Slika 7.9 Rezultati parne komparacije kriterija	36
Slika 7.10 Odabir komparacije alternativa	36
Slika 7.11 Rezultati parne komparacije alternativa	37
Slika 7.12 Sinteza rezultata	37
Slika 7.13 Gradient prikaz	38
Slika 7.14 Gradient prikaz - početni problem.....	39
Slika 7.15 Dynamic prikaz - izmijenjeni problem.....	39
Slika 7.16 Dynamic - Components prikaz.....	40
Slika 7.17 Head to Head grafikon	41
Slika 7.18 Performance grafikon	42
Slika 7.19 2D grafikon.....	42
Slika 8.1 Model View prikaz rezultata odabira	44
Slika 8.2 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij rok isporuke	44
Slika 8.3 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij upravljanje kvalitetom	45
Slika 8.4 Rangiranje tvrtki za kriterij reference	45
Slika 8.5 Procjena težine podkriterija u odnosu na kriterij cijena proizvoda	45

Popis tablica

Tablica 3.1 Legenda utjecajnih faktora	4
Tablica 3.2 Osnovna svojstva odabranog materijala, [2]	4
Tablica 4.1 Klasifikacija složenosti geometrije obratka po Haleviju, [1]	5
Tablica 4.2 Sukladnost materijala i postupaka obrade, [1].....	7
Tablica 4.3 Kriterij složenosti oblika po ASM-u, [1].....	7
Tablica 4.4 ASM značajke obrade metala deformiranjem, [1].....	8
Tablica 5.1 Klasifikacija otkovaka koji se kuju na kovačkim batovima, [3]	10
Tablica 5.2 Dodaci za obradu ($\delta / 2$ mm) u zavisnosti od dimenzija i kvalitete otkovka, [3].....	12
Tablica 5.3 Tolerancije (Δ mm) i vanjski radijusi zaobljena (R mm) otkovka, [3]	13
Tablica 5.4 Proračunska tablica dodataka za obradu (promjeri) i tolerancije	14
Tablica 8.1 Komparacija kovačnica	43

Prilozi

11.1 Prilozi kovačnice Ningbo Dingda International Trade

Prilog 11.1 Ponuda Kovačnice Ningbo Dingda International Trade

Ningbo Dingda International Trade Co., Limited				
Add: Room 605-1, 6th floor, Xinzhou Yinzuo Building, Qianhe South Road, Yinzhou District, Ningbo City, Zhejiang Province, China, Post code: 315100 Tel: +86 15158368650 E-mail: admin@nbdingda.com				
Quotation 201901030008				
To: Itas Prvomajska, Ivanec			Origin: China	
Contact: Mr. Vedran Kokot				
Email: vekokot@unin.hr				
Trade Term: FOB Ningbo				
Terms of payment: T/T			Date: 2019-01-03	
Item No.	Material	Qty(pcs)	FOB Ningbo price(pcs)	Total
	structural steel S275	120 000	US\$40.50	US\$4,860,000.00
Mold for price				US\$6,618.00
1. Payment terms: T/T. 50% in advance, the balance is paid by delivery				
2. Delivery Time: 85-90 days.				
3. The Price is FOB Ningbo Price				
4. Bank info:		INTERMEDIARY: BANK OF AMERICA N.A. NEW YORK BRANCH (SWIFT BIC: BOFAUS3N) BENEFICIARY'S BANK : ZHEJIANG CHOUZHOU COMMERCIAL BANK (SWIFT BIC: CZCBCN2X) ADD: 45 XIANQIAN STREET YIWU CITY ZHEJIANG, CHINA BENEFICIARY: A/C NO: NRA15619142010500001225 NAME: NINGBO DINGDA INTERNATIONAL TRADE CO., LIMITED		

Prilog 101.2 Podaci za kvalitetu, smjene i alate kovanja

Hi Vedran Kokot

Good day!
Thank you very much for your reply.

- 1.We have 12 machines to produce your products.The total number of machines is 32.
- 2.We are electric heating system.
- 3.We have ISO14001 environmental certification.
- 4.We have 150 employees and six forklifts
- 5.Two shifts a day.Each flight is 9 hours long.Each shift is 9 hours.

If you have any questions, please don't hesitate
Waiting for your reply

Best regards
Save

--

Ningbo Dingda International Trade Co., Ltd
Tel: +86 0574-28896025
Mobile: +86 15158368650
Web:<http://dingda.en.made-in-china.com/>
Email: admin@nbdingda.com

Prilog 10.3 Kovački dodaci

Hi Vedran Kokot

Good day!
Thank you very much for your reply!

About the size:
Based on our experience. An increase of 4mm in size for each position is sufficient. But your product is longer by comparison.We consider the bending of the product. It is enough for us to increase the diameter by 6mm at both ends.This can reduce the weight of the product and processing time.

About the sample:
We need mould to produce the sample.The cost of the mold has been shown in our quotation.If you can pay for the mold.We can produce samples for free.The mould cost will be refunded to you after the order is completed.

Do you think this is feasible.
If you have any questions or questions, please don't hesitate
Waiting for your reply

Best regards
Save

Prilog 11.4 Reference i podaci o zagrijavanju

Hi Vedran Kokot

Good day!
Thank you very much for your reply.

The electric heating temperature is 1200 degrees.
The maximum temperature for carbon steel is 1300 degrees.
Our main customers is (Sumitomo Rubber Industries,Ltd --belongs to Japan and McLaren Industries,Ltd-- belong to the U.S.)
If you have any questions, please don't hesitate.
Waiting for your reply

Best regards
Save

--

Ningbo Dingda International Trade Co., Ltd

11.2 Prilozi kovačnice ChangZhou Yirui Machining

Prilog 10.5 Ponuda kovačnice ChangZhou Yirui Machining

Dear Vedran .

Thank you for your information . we have a meeting yesterday about this part .

Because it is quite big project .

Would you please check information as below :

1. Part price 350 RMB/PCS FOB Ningbo
2. Forging tool cost is 150,000 RMB
3. Material Q345B ,should be better performance than Q275 .
4. The lead time for sample is 2 to 3 month .
5. Lead time for first delivery is 3 month after sample confirmed . here I need to explain that we will use a automatic production line for this project . because it is quite big project . we want use automatic production line to reduce the cost . so it take some times after sample confirmed .if we don't use the automatic production line the price will be too high also quality is not stable .
6. Consider you will machining the part . I need confirm with you if you need to do a heat treatment after forging . we have forged quite many similar material . Q345 should be ok without heat treatment for machining . but for sure it will be better to do the heat treatment .

If you have any question please feel free to contact me .

Looking forward to get your reply .

And wish you and your family happy new year .

Best Regards

Prilog 10.6 Podaci o smjeni i kontroli kvalitete

Dear Vedran.

Sorry I reply you late . our technical just finish the simulating process .

Could you please check it in the attachment . there is a short video and some pictures .

And regarding your question please kindly check the information as below :

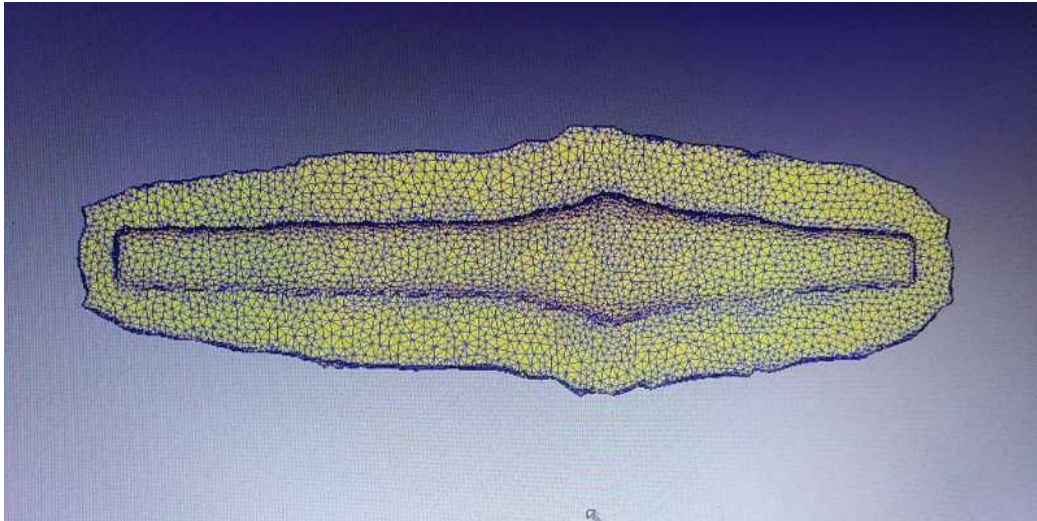
1. our production line for this part could make 400 PCS for each shift (8 hours) Normally we will take 12 hours per day . so it's like 600 PCS for one day . and if it's not enough we can open two shift or start another line .anyway we have capacity to reach the delivery .
2. we are certificated ITAF 16949 company ,so we will using process flow for each project . but I don't understand what's the flow charts mean . maybe we can talk more details so I can understand .

we are very happy to hear that you have plan to visit china . please just inform me when you have plan .

we can pick you up at airport . my phone number: 0086 13616596474

just call me or send me email for any questions .

thank you very much



Prilog 10.8 Podaci o zagrijavanju, količini viličara i robota

Dear Vedran Kokot,

It doesn't matter.

I'm very glad to receive your email.

1. What level of automatisation do you have, especially in terms of amount of tools and machines being available?

Please see videos about the machines in my factory.

2. What types of heating systems do you use for melting metal? Induction heating?

For heat treatment, my factory don't do it, we're outsourcing of it. So we don't clear know about it.

3. How is your energy efficiency (ISO 14001) since we care about environmental pollution?

We have special company to gather machine's waste water and oil. This is government department require every factories to strict implementation.

We're also according government's requiremnts to do.

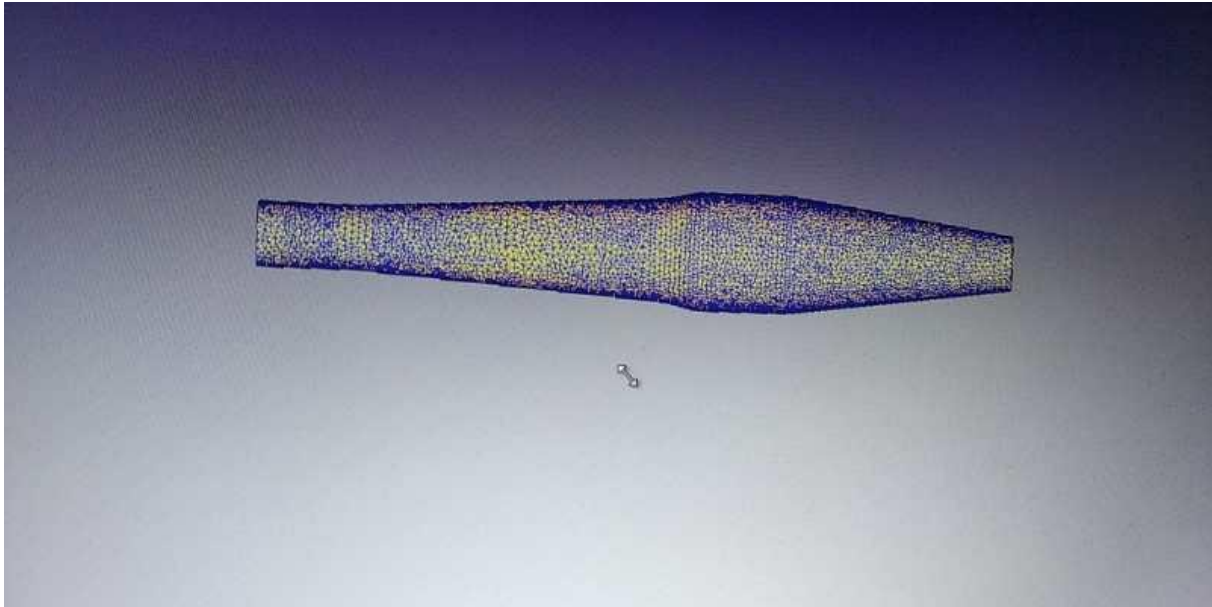
4. How many employees and forklifts do you have?

My factory have 17 employees and 1 forklifts.

5. How many shifts per day and how long are they?

We have 1 time shift per day and 12 hours every shift.

Prilog 10.9 Otkovak iz ponude



11.3 Prilozi kovačnice Ningbo Rotie Metal Parts

Prilog 10.10 Ponuda kovačnice Ningbo Rotie Metal Parts

		Quotation Date:2018/12/30	
From:Aaron Ren		Attn: Vedran Kokot	
Company: Ningbo Rotie Metal Parts Co., Ltd.		Company: ITAS PRVOMAJSKA, IVANEC	
Add: Room 618, No. 1501 Tiantong North Road, Yinzhou D			
Tel: 86 - 574 - 83067016			
Fax: 86 - 574 - 83067016			
E-mail: aaron.ren@rtmetalparts.com		E-mail:vekokot@unin.hr	
Production Name	Mold cost	Material	Unit price
CNC	\$5.880	Q275	\$35,17
Remarks:			
1.Terms of Price:FOB Ningbo price.			
2.Validity of the quotation: 60 days			
3.Supply capacity: 10000pieces/month			
4.Material price:5000RMB/ton			
5.USD Exchange:6.8			
6.Packing:Standard Plywood Case Packing.			

Prilog 10.11 Podaci o certificiranosti i zagrijavanju

Hello Vedran .

It's nice to hear from you again .

I totally understand you .sometimes we need to solve the most important things and then we keep on the next work .

I will answer your question as below simply :

1. What level of automatisation do you have, especially in terms of amount of tools and machines being available?
Due to the weight of the part ,we will using the robot to carrying the part during whole process and using conveyer belt to move the part during each process
2. What types of heating systems do you use for melting metal? Induction heating?
Yes ,we are using induction heating . it's called middle frequency furnace .
3. How is your energy efficiency (ISO 14001) since we care about environmental pollution?
We are ISO 14001 certificated supplier . so we have no problem on the environment .
4. How many employees and forklifts do you have?
We have 120 employees and 6 forklifts in our plant
5. How many shifts per day and how long are they?
Now we are running one shift per day and 10 hours per shift . but we could running two shift if it's necessary .

if you have any further questions . please feel free to contact me .

by the way , I'm planning to visit customer in Sweden recently . if it's possible to visit you or you can visit us . 😊

Prilog 10.12 Kontrola kvalitete i režim plaćanja

Hi,Mr Kokot

The exchange rate is calculated in USD to RMB,the exchange rate was 6.8.

Bank:Bank of China (I will send you the bank account if we establish business relationship)

Payment method:30% TT in advance, 70% balance before shipment (If we establish a long-term business relationship, the terms of payment can be discussed later)

Quality:We have ISO certification.

The factory inspector will make a full inspection of the products,before shipment, the inspection engineer will make sampling inspection on the products.By the way,if you want to entrust SGS inspection, the cost will be very high,we believe that there will be no quality problems in forging products.

Sample:That's the point.Before the open mold,please pay the full cost of the mould, which is included in the quotation.We will send you two samples,after the samples are approved, you can place a small order with us first instead of placing a huge order all at once.

Of course, you can also send someone to our factory for a field trip.

Best regards
Aaron Ren

Prilog 10.13 Količina zaposlenika i broj smjena

Hi,Mr Kokot

Very glad to receive your email!

I'd be happy to answer your questions,but some of the questions I have answered for you in my previous email.And I sent you pictures of the machine.

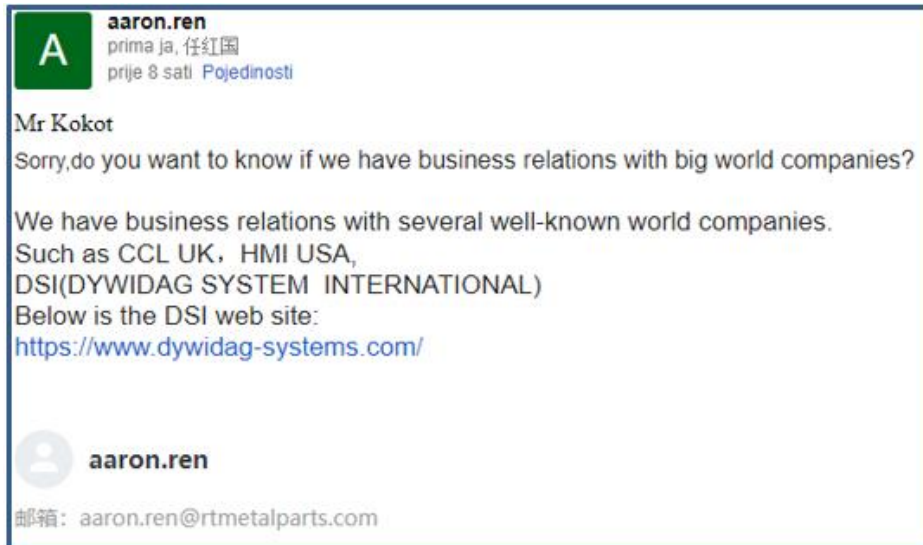
About question 3, are you worried about the influence of environmental pollution on production?You don't need to worry about it at all.Our forging factory is located in industrial parks, the government will not let industrial parks stop production.

About 4 and 5,there are 30 workers and 3 engineers in the forging factory.We have one forklift.As for shifts,It certainly depends on the order quantity.Generally speaking, two shifts are used,8 hours per shift.

Best Regards,
Aaron Ren Import &Export Dpt., Sales

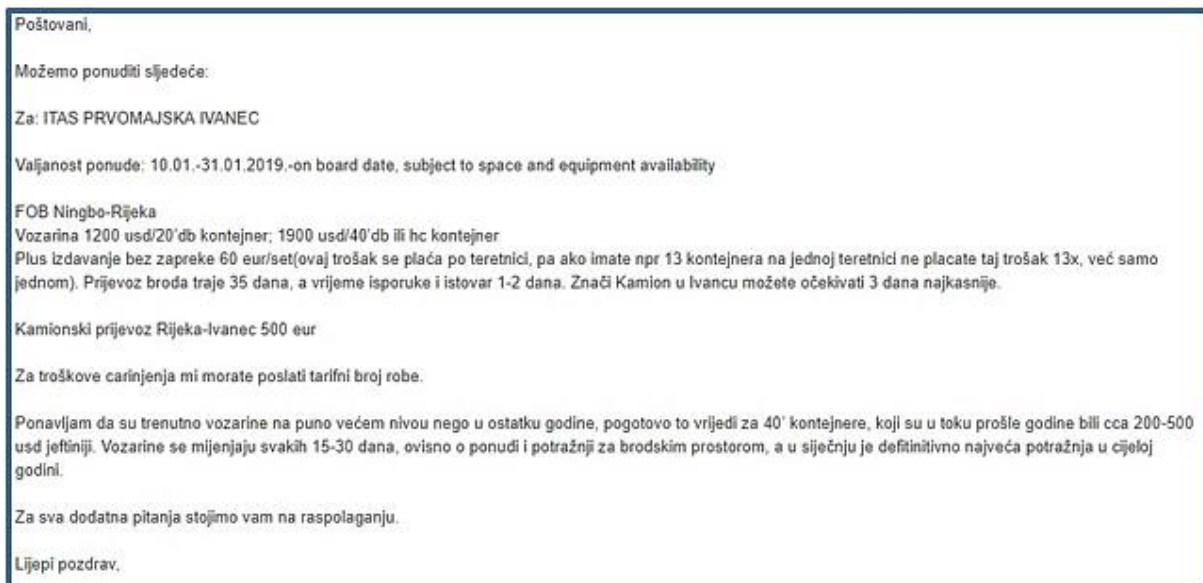
Ningbo Rotie Metal parts Co.,LTD

Prilog 10.14 Reference



11.4 Transport otkovaka i predstavljanje kovačnicama

Prilog 10.15 Organizacija transporta



Prilog 10.16 Predstavljanje kovačnicama



11.5 Prilozi kriterija konkurentnost

Prilog 10.17 Podkriterij produktivnost kriterija konkurentnost

Proizvodnost (produktivnost)

Povećanje proizvodnosti >> jedan od osnovnih ciljeva proizvodnih i neproizvodnih tvrtki

Pokazatelji proizvodnosti

- Energija
- Integracija proizvodnih procesa
- Automatizacija proizvodnih procesa
- Inovacije i racionalizacija
- Tip proizvodnje (pojedinačna maloserijska, velikoserijska, masovna)



PR= Q (fizički opseg proizvodnje)/**L** (radna snaga – broj radnika)

Fizički opseg mjerimo kao:

- Pomoću prirodne jedinice (kom, kg, litra,..)
- Pomoću standardnog izratka kod raznolikih izradaka (proizvod koji je najmasovnije zastupljen u proizvodnji)
- s financijskim, vrijednosnim jedinicama (konstantne cijene)
- vrijeme potrebnog rada (vremenska norma)

Ekonomičnost

Ekonomičnost – jedno od temeljnih ekonomskih načela koje dopunjuje proizvodnost

Načelo zahtjeva – proizvodnju s čim nižim troškovima i predstavlja omjer između ostvarenog učinka (U) i uloženi troškova (S)

$$G = U/S$$

$$G = \frac{\text{radni učinak}}{S_{\text{radna snaga}} + S_{\text{predmet rada}} + S_{\text{radno sredstvo}} + S_{\text{operacije}}}$$

Povećanje ekonomičnosti se može postići:

- Učinak veći pri jednakim troškovima
- Učinak je jednak pri manjim troškovima
- Učinak je veći pri manjim troškovima



Rentabilnost (DO)

Pokazatelj rentabilnosti (DO) pokazuje učinkovitost korištenja upotrebljenih sredstava što je definirano kao omjer dobiti i uloženi sredstava:

$$D = \frac{D}{S_r} = \frac{\text{dobit=prihod-troškovi}}{\text{uložena sredstva (upotrebljeni kapital)}}$$

Likvidnost (KL)

Pokazatelj poslovnog uspjeha predstavlja koeficijent obrtnih sredstava, koji je namijenjen financiranju zalihe materijala, proizvodnji u tijeku i zalihe izradaka.

Koeficijent likvidnosti (K_L)

$$K_L = \frac{\text{kratkoročna sredstva}}{\text{kratkoročne obveze}}$$

UČINKOVITOST/EFIKASNOST

OEEE važan alat koji pokazuje gdje je najveći gubitak vremena tijekom proizvodnje.

Dostupnost =	$\frac{\text{Aktualno proizvodno vrijeme}}{\text{Planirano proizvodno vrijeme}}$	(1)
Performanca/značajka =	$\frac{\text{Trenutna stopa izvršenja}}{\text{Idealna stopa izvršenja}}$	(2)
Kvaliteta =	$\frac{\text{Dobar proizvod}}{\text{Ukupan proizvod}}$	(3)
OEE = Dostupnost × Značajka × Kvaliteta		(4)

11.6 Prilozi CNC obradnog centra i troškova izrade

S obzirom na relativno velike dimenzije priprema, ali i zahtjevnost izrade u vidu izrade ekscentra, utora koji se glodaju, rupa i navoja, odlučeno je da će se za izradu koristiti CNC obradni centar. Kako je u proces uključen vrlo utjecajan kriterij - veličina serije, prilikom odabira nije se išlo na vrlo skupe izvedbe više osnih CNC obradnih centara jer za to nema potrebe.

Prvi presudni kriterij kod odabira stroja bila je mogućnost da **izradi ekscentar bez korištenja naprava ili manipulacije stezanjima** zbog jednostavnosti procesa i skraćanja vremena izrade. Nadalje, kako je pripremak otkovak većih dimenzija i mase (25,97 kg), od presudne je važnosti da je **stroj dovoljnih radnih kapaciteta** za takav komad. Uz to, **broj alata i same funkcije** istih također su igrale važnu ulogu s obzirom da na izratku imamo rupe koje je potrebno bušiti, utore koje je potrebno glodati i površine koje je potrebno fino tokariti (N5)

Prilog 10.22 Troškovi

Cijena okovka po komadu iz ponude iznosi $40,5\$ = 263,25kn$

Cijena kovanja:

$$C_{kovanja} = 4,860,000.00 \$ = 33\,048\,000 kn$$

Cijena prijevoza FOB Ningbo - Rijeka: 1200\$ po kontejneru:

$$C_{p1} = 1200\$ \cdot 150 kontejnera = 1\,170\,000 kn$$

Cijena prijevoza Rijeka - Ivanec: 500€ po kamionu:

$$C_{p2} = 500€ \cdot 150 kamiona = 540\,000 kn$$

Ukupna cijena prijevoza iznosi:

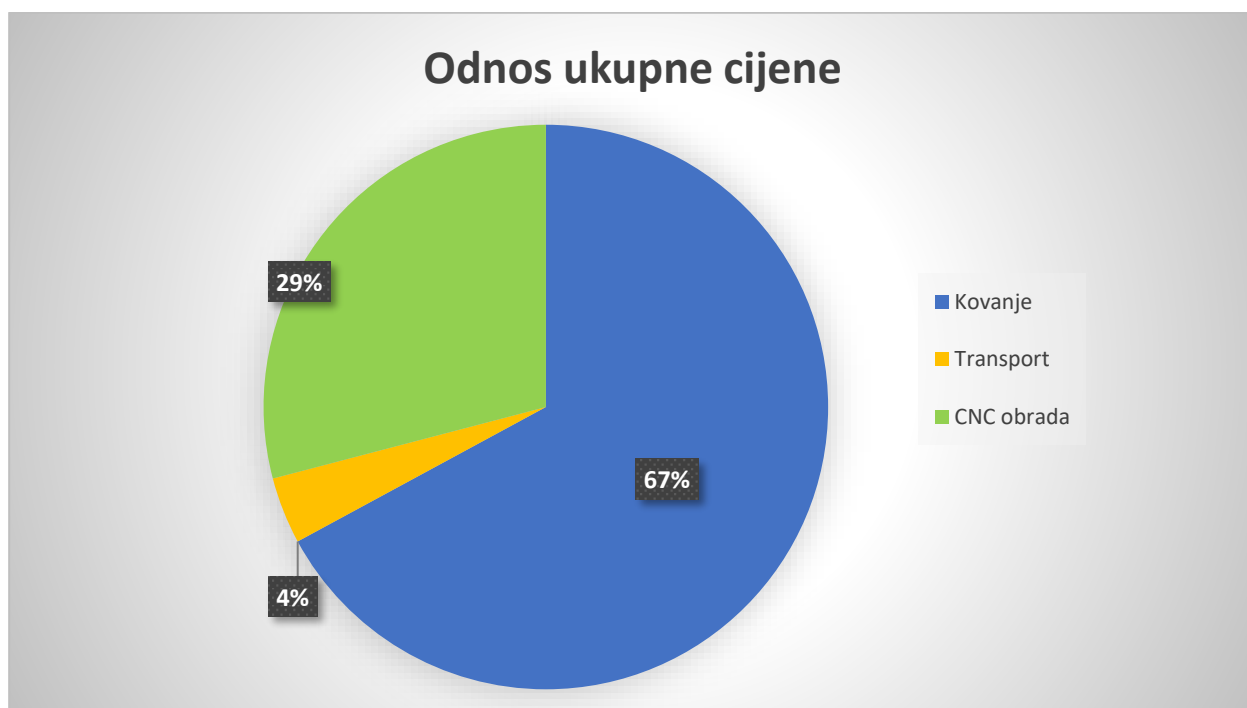
$$C_{puk} = 1\,170\,000 + 540\,000 = 1\,710\,000 kn$$

Cijena obrade na CNC obradnom centru:

$$C_{CNC-oc} = radni\ sati \cdot \frac{cijena\ stroja}{h} = 11\,695\,200 kn$$

$$C_{po\ komadu} = \frac{C_{ukupno}}{broj\ komada} = \frac{37\,295\,600}{120\,000} = 310,80 kn$$

Prilog 10.23 Odnos ukupne cijene za 120 000 komada



Iz priloženog "pita" dijagrama (Prilog 11.23) vidljivo da je proces kovanja najskuplji s 67% udijela ukupne cijene za 120 000 komada. Zatim slijedi CNC obrada koji iznosi 29% udijela ukupne cijene. Najjeftiniji udio pripada transportu otkovaka iz NR Kine najprije brodom, a kasnije i kamionom s 4% udijela cijene.

11.7 Prilozi analize vremena obrade

Računa se i analizira vrijeme za pripremu stroja i obratka, stezanje, izmjenu alata, izvršenje same operacije i otpuštanje komada. Odnosno, kada ih se kategorizira, razlikujemo pripremno-završno vrijeme (t_{pz}), pomoćno vrijeme (t_p) i tehnološko vrijeme (t_t).

Kao referentne vrijednosti za vremena uzimat će se vremena t_p i t_{pz} iz knjige Buchmeister, Polajnar "Priprava proizvodnje, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2000. što je navedeno na popisu literature na kraju dokumenta [17]. Treba naglasiti da su mjerena vremena t_p , t_{pz} realizirana za alatne strojeve u Laboratoriju fakulteta za strojništvo, pa su podaci stari cca 30ak godina. Naravno, za nove strojeve, ta vremena su bitno kraća te je, grubim procjenama svedena na 30% vremena istih. Najtočnije bi bilo, dakako, mjerenje nekom od metoda studija rada za konkretan izradak i stroj. Za procjenu cijene rada radnika i rada alatnog stroja koristit će se iskustvena procjena u kombinaciji sa podacima također navedenima u popisu literature [16].

Ukupno utrošeno vrijeme za obradu 120 000 kom:

$$\sum t_u = \sum t_{pz} + \sum t_p + \sum t_t = 20 + 126\,240 + 259\,560 = 385\,820 \text{ min}$$

$$\sum t_u = 6430,33 \text{ h} \sim 134 \text{ radnih dana u tri smjene na 2 CNC obradna centra}$$

$$\sum t_u = 6 \text{ mjeseci i 14 dana} \sim 0,54 \text{ godina}$$

Prilog 10.24 Odnos tehnološkog vremena po komadu



Iz priloženog "pita" dijagrama (Prilog 11.24) vidljivo je kako je t_{pz} značajnije kraći pa iz tog razloga nije lako uočljiv u dijagramu. S obzirom da je pripremak otkovak, omjer t_p i t_t značajnije je drugačiji nego kod primjerice obrade gdje je pripremak valjana šipka.

11.8 Prilozi redoslijed operacija

Osnovni oblik će biti otkovak. Obrada krajeva je prva, zbog toga da se obradak poravna na duljinu zadanu crtežom, a također da se izbuše središnja gnijezda, kako bi se omogućilo stezanje na tokarilicu. Tijekom operacije tokarenja obradak će se poravnati na oblik zadan crtežom kroz nekoliko faza.

11.8.1 Mogući redoslijed operacija

Mogući su sljedeći redoslijedi operacija:

1. Mogućnost tokarenja ekscentra prije tokarenja ostalih površina.
2. Mogućnost tokarenja prvo lijeve, a potom desne strane nosača, odnosno prvo obrada strane sa ekscentrom.
3. Mogućnost izrade navoja kao posljednje operacije tokarenja.

11.8.3 Konačan redoslijed

Uvidom u predložene redoslijede operacije i koristeći kriterije zaključeno je da bi konačni redoslijed operacija bio:

1. Priprema obradnog centra
2. Stezanje desne, duže strane priprema u steznu čeljust, amerikaner
3. Podupiranje linetom
4. Poprečno tokarenje na duljinu 684 mm (N9)
5. Zabušavanje središnjeg gnijezda, podupiranje konjićem
6. Grubo uzdužno tokarenje (N7) Ø123 mm na duljini 8 mm
7. Izrada nesimetričnog dijela, ekscentra Ø90 mm na duljini 124 mm
Uzdužno tokarenje u redoslijedu operacije prethodi izradi nesimetričnog dijela, ekscentra kako bi nož prilikom te operacije skidao što manje materijala.
8. Fino uzdužno tokarenje (N5) Ø55 mm na duljini 105 mm
9. Grubo uzdužno tokarenje (N7) Ø45 mm na duljini 50 mm
10. Tokarenje skošenja 1x45°
11. Glodanje utora za pero
12. Micanje konjića, podupiranje linetom
13. Bušenje rupe Ø6,5 mm, na dubinu 30 mm

14. Rezanje navoja M8 na dubini 20 mm
15. Okretanje komada, stezanje u amerikaner i podupiranje linetom
16. Poprečno tokarenje (N9) na duljinu 683 mm
17. Grubo uzdužno tokarenje (N7) Ø90 mm na duljinu 48 mm
18. Fino tokarenje (N5) Ø65 mm na duljinu 116 mm
19. Grubo tokarenje (N7) Ø60 mm na duljinu 107 mm
20. Grubo tokarenje (N7) Ø50 mm na duljinu 99,7 mm
21. Grubo tokarenje (N7) Ø46 mm na duljinu 6,3 mm
22. Grubo tokarenje (N7) Ø48 mm na duljinu 19 mm
23. Tokarenje skošenja 2x45°
24. Bušenje rupe Ø12 mm na dubini 60 mm
25. Glodanje utora za pero, presjek B-B
26. Glodanje utora
27. Micanje konjića, podupiranje linetom
28. Bušenje rupe Ø18 mm na dubini 205 mm
29. Rezanje vanjskog navoja M48 na duljini 18mm
30. Rezanje unutarnjeg navoja M22 na duljini 18 mm

11.9 Prilog vremena operacija

Prilog 101.25 Gantogram za izradu 120 000 izratka

	MJESECI						
OPERACIJA	1	2	3	4	5	6	7
Kovanje							
CNC obrada							

Prilog 101.26 Legenda gantograma

	Proces kovanja
	Zadnja isporuka otkovka
	Proces CNC obrade

Gantogramom u prilogu 11.25, grafički je prikazano vrijeme izrade 120 000 komada proizvoda, kao i trajanje pojedine operacije, u terminskim jedinicama. Jedna terminska jedinica (TJ) označava

jedan mjesec. **Zelenom bojom** prikazanom na gantogramu označena je operacija kovanja (Odabrana ponuda, Prilog 11.1), dok je **plavom bojom** označena obrada na CNC-OC-u. **Crvenom bojom** označena je zadnja isporuka otkovka. U prije navedenim točkama završnog rada navedeno je da **vrijeme isporoke od luke FOB Ningbo** (NR Kina), preko **luke Rijeka** pa **do grada Ivanca** (VŽ županija) **traje mjesec dana. Sam proces kovanja traje 3 mjeseca, što znači da će zadnja isporuka otkovka doći 4. mjesec.**

Operacija kovanja, prethodi CNC obradi, pa će se koristiti pravilo paralelnog ciklusa, odnosno da operacija strojne CNC obrade počinje 1 TJ nakon početka prethodne operacije, kovanja. **To znači da će operater CNC stroja, započeti operacije pripreme numerički upravljano alnog stroja, jedan mjesec nakon što bude poslana prva pošiljka otkovaka iz Kine.** Na taj način **skraćuje se proizvodni ciklus**, odnosno rokovi isporuke, a time i zauzeće, visokobrzinskog i visokoproduktivnog CNC obradnog centra, te je moguće daljnje planiranje proizvodnje, čime se postiže veća konkurentnost na tržištu.

U procjeni rokova isporuke učinjena je idealizacija jer nisu uzeti u obzir ostali RN i utjecaj proizvodnje ostalih proizvoda jer to i nije bila tema projekta.