

ECONOMIC ASPECT OF IMPROVMENT FRAME 28A ON AEROPLANE CLASSE "ORAO"

EKONOMSKI ASPEKT POBOLJŠANJA OKVIRA 28A NA AVIONU TIPA „ORAO”

VUKSA, Slavko

Abstract: *This paper presents the economic analysis of the cost of making constructive solutions simplify the framework 28a of aircraft "Eagle". After the linear and nonlinear analysis of voltage conditions and strain construction frame 28a for a given load which is the framework exposed in the real conditions of exploitation by using finite element method (FEM), it was determined that the box is too large and it can make smaller changes to the constructive. Based on this work has been shown that the savings in this case can be achieved in shortening development time frame.*

Key words: *economy, analysis, air-technical means, equipment*

Sažetak: *U radu je prikazana ekonomska analiza isplativosti izrade konstruktivno jednostavnijeg rešenja okvira 28a na avionu tipa "Orao". Nakon izvršene linearna i nelinearna analiza naponskih stanja i deformacija konstrukcije okvira 28a za zadata opterećenja kojima je okvir izložen u realnim uvjetima eksploatacije pomoću metode konačnih elemenata (MKE), ustanovljeno je da je okvir predimenzioniran i da se mogu napraviti manje konstruktivne izmjene na okviru. Na osnovu toga u radu je pokazano da se ušteda u ovom slučaju može ostvariti u skraćivanju vremena izrade okvira.*

Ključne riječi: *ekonomija, analiza, zrakoplovno-tehnička sredstva, oprema*



Authors' data: Slavko Vukša, prof.dr.sc., Univerzitet za poslovne studije Banja Luka, agent@tel.net.ba

1. Uvod

Rekonstrukcija pojedinih avionskih dijelova može nastupiti zbog otkrivenih inicijalnih oštećenja u strukturi koja se po pravilu javljaju kao posljedica zamora materijala ili su pak posljedica preopterećenja same strukture ili kada se traže jednostavnija konstruktivna rešenja koja bi uštedjela vrijeme izrade ili potrošnju materijala, a mogu da zadovolje zadate ulazne tehničke zahtjeve.

Predmet ovog rada je sagledavanje ekonomskog utjecaja novih konstruktivnih rešenja avionskih delova, a u konkretnom slučaju radi se o rekonstrukciji strukture na avionu Orao u zoni frezovanog okvira 28a. Očekivanje je da primenom novih rešenja dođe do smanjenja troškova izrade okvira. Za svrhu rekonstrukcije danas se, po pravilu, koristi metoda konačnih elemenata (MKE). Osnovna prednost MKE je u tome što može precizno da odredi naponsko stanje i deformacije konstrukcije složenih geometrijskih oblika i graničnih uslova opterećenja, koja mogu biti upotrebiva za zadati dio i dio koji se dobija njegovom rekonstrukcijom. Time se izbjegavaju veoma skupa i složena ispitivanja ili se u značajnoj mjeri redukuju.

Metodom konačnih elementa izvršena je analiza linearnih i nelinearnih naponskih stanja predmetnog okvira 28a, na osnovu koje je predloženo jednostavnije konstruktivno rešenje okvira 28a. Za predloženo jednostavnije konstruktivno rešenje metodom konačnih elemenata izvršena je također naponska analiza koja je potvrdila da predloženo rešenje može zadovoljiti zadata opterećenja.

Okvir 28a već je bio predmet rekonstrukcije 2001. godine, iz koje je dobijen okvir poboljšanih karakteristika. Rekonstrukcija je tada bila potrebna jer se dogodio otkaz strukture na jednom od aviona tipa Orao. Analizom je tada utvrđeno da se otkaz javio kao posledica cikličnog opterećenja koje proizvodi cilindar za uvlačenje i izvlačenje stojnog trapa. Izvršeni su pregledi na svim avionima tipa Orao. Pregledi aviona su vršeni vizualno, zatim penetrantima i metodom vrtložnih struja. Utvrđeno je da su pred serijski avioni potpuno ispravni, dok je rezultat pregleda za serijske avione bio veoma nepovoljan. Kod serijskih aviona Orao većina letjelica imala je neki stepen oštećenja u vidu prskotina ili deformacija. Svi avioni sa oštećenjem su prizemljeni, zbog bojazni od katastrofalnog incidenta. Kroz jedan kraći period svi većina aviona Orao su prizemljeni. Zbog toga je ovaj problem postao veoma urgentan i morao je da se na efikasan način reši, da bi avioni bili vraćeni u upotrebu.

Nakon izvršene sveobuhvatne defektaže i analize otkaza strukture, pristupilo se izradi detaljnog projekta opravke. Projekt opravke aviona rađen je na klasičan način na tablama, uz primenu projektantskog softvera UNIGRAPHICS, na personalnim računarima.

Novo rešenje trebalo je da eliminiira sve slabosti koje je pokazalo staro rešenje. Imajući to u vidu projektiran je nov okvir 28a. Pri projektovanju okvira imalo se u vidu, da on dolazi na mjesto oštećenog okvira, te da su otvori na strukturi za vezne elemente već izbušeni, te je nova arhitektura okvira morala to uzeti u obzir. Da bi nov okvir mogao da zadovolji sve potrebne parametre izvršeno je njegovo potpuno ojačavanje na mestima koja su pokazala slabosti u toku eksploatacije i napravljena je nova forma okvira. Nakon završenog projekta novog okvira izvršena su statička

ispitivanja pomoću softverskog paketa Nastran, koja su pokazala da okvir zadovoljava sve ulazne zahtjeve.

Cjelokupni radovi na ovom projektu izvedeni su veoma efikasno i od nastanka problema, pa do prvog leta proteklo je oko šest mjeseci. Posle polijetanja prototipova radovi su ubrzano nastavljeni i na drugim avionima, te je relativno brzo ovo izvedeno na većem broju aviona i na ovaj način eliminisan je problem prizemljenih Orlova.

Usred velikog razvoja novih tehnologija, naročito u računarskoj tehnici, danas je moguće da se na veoma brz, efikasan i pouzdan način izvrši analiza rada bilo kog dela aviona. Takvim analizama može da se utvrdi da li dio ispravno funkcioniše ili iako ispravno radi da li je možda predimenzionisan.

Predmet analize ovde je upravo okvir 28a iz 2001. godine. Današnji nivo razvoja računara i softvera nam dozvoljava da izvršimo dodatna ispitivanja okvira 28a i da utvrdimo da li je moguće napraviti konstruktivno jednostavnije rešenje koji bi zadovoljavalo sve ulazne zahteve sa jedne strane i smanjilo troškove izrade sa druge strane.

Da bi se uopće došlo do zaključka da je moguće napraviti jednostavnije konstruktivno rešenja okvira 28a neophodno je da se izvrši detaljna analiza naponskih stanja i deformacija konstrukcije okvira 28a za zadata opterećenja kojima je okvir izložen u realnim uvjetima eksploatacije. U tu svrhu se koristi metoda konačnih elemenata kao najpogodnija za analizu predmetnog okvira i predloga jednostavnijeg konstruktivnog rešenja za okvira 28a.

Prvo je potrebno, na osnovu postojeće tehničke dokumentacije, napraviti grafički model (CAD) okvira pomoću programskog paketa CATIA u modulu PART DRESIGN. Na osnovu ovog modela urađeni su modeli konačnih elemenata potrebnih za provođenje naponske analize. Mreže konačnih elemenata urađena je u programu PATRAN, pomoću algoritma za automatsko generiranje. CAD model poboljšanog okova 28a je diskretizovan je trodimenzionalnim (3D) konačnim elementima oblika tetraedra. Nakon unošenja ulaznih uslova koje okvir mora da zadovolji u smislu zadovoljavanja opterećenja kojima je okvir fizički izložen u realnim uslovima, urađene su linearne i nelinearne naponske analize u programskom paketu *MSC Patran*. Rezultati analiza tri napona (glavni, tangencijalni i Von-Mises) su pokazala da je okvir predimenzionisan i da je moguće izvršiti konstruktivne izmjene na okviru a da se pri tom ne menjaju njegove karakteristike u smislu izdržljivosti na opterećenja koje proizvodi cilindar za uvlačenje i izvlačenje stajnog trapa.

Nakon izvršenih konstruktivnih izmena opet je ponovljena linearna i nelinearna analiza raspodele opterećenja poboljšanog konstruktivnog rešenja okvira 28a. Analiza je konstatovala da okvir potpuno zadovoljava sve tražene ulazne tehničke zahtjeve.

2. Uštede u izradi jednostavnijeg konstruktivnog rešenja okvira 28a

Primjena jednostavnijeg konstruktivnog rešenja okvira 28a u praksi je opravdana samo ako će njegova proizvodnja ostvariti uštede. Ušteda se u ovom slučaju kada se radi o „maloj” konstruktivnoj izmjeni može ostvariti u vremenu izrade. [2] Svi ostali elementi koji se odnose na cijenu su isti kod oba okvira.

U tabeli 1 data su vremena izrade okvira po tipovima CNC mašina i uporedna vremena potrebna za izradu prostog i aktualnog okvira.

TABELA VREMENA IZRADE OKVIRA				
TIP MAŠINA	VREME IZRADE (č)		PARAMETRI REZANJA	TEHNOLOŠKI ZAHTEV
	Prost okvir	Aktualan okvir		
Standardna -3-axis cnc mašina	8,5	10,0	n=6000 o/min v _c = 300m/min	Zidovi džepova na vanjskoj konturi su pod promjenljivim uglom
Cnc-5-axis mašina	5,0	6,5	n=10000 o/min v _c = 500m/min	
High speed cnc – obradni centar	2,5	3,0	n=24000 o/min v _c =1500m/min	

Tabela1. Vremena izrade okvira po tipovima CNC mašina

Vremena izrade okvira su data u zavisnosti od izbora radnog centra za obradu.

Nepovratni troškovi (NRC) za izradu prvog komada u seriji (FAI):

1. Izrada novog modela 32,00 n/č.
2. Izrada novog Nc programa – 3 – axis 20,00 n/č.
3. Izrada novog Nc programa – 5 – axis 25,00 n/č.
4. Izrada novog Nc programa – high speed 35,00-40,00 n/č.
5. Izrada vakuum stola za stezanje okvira 65,00 n/č.
6. Izrada specijalnog reznog alata – 20,00 n/č.
7. Izrada prvog komada – 12,00 n/č.
8. FAI – 24,00 n/č.

Proračun vremena za okvir koji bi se izradio na 3 - AXIS CNC mašini je sledeći:

Nepovratni troškovi :

1. Izrada novog modela 32,00 n/č.
2. Izrada novog Nc programa – 3 - axis 20,00 n/č.
3. Izrada vakuum stola za stezanje okvira 65,00 n/č.
4. Izrada specijalnog reznog alata-3-axis 20,00 n/č.
5. Izrada prvog komada 12,00 n/č.
6. FAI 24,00 n/č

Ukupno nepovratni troškovi iznose 173,00 n/č.

Pretpostavimo da je cena jednog norma/časa = 500,00 dinara.

Tada je cena nepovratnih troškova:

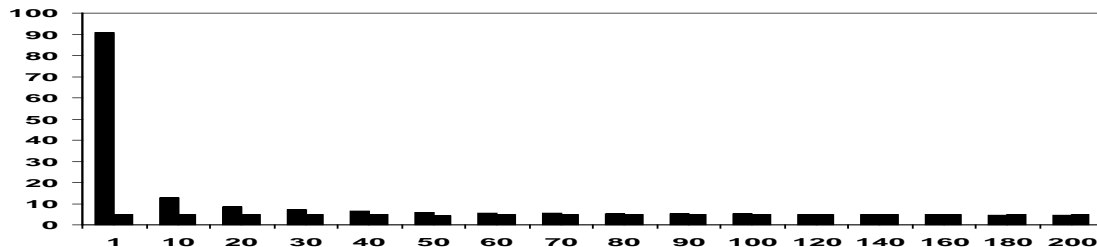
173,00 n/č x 500,00 = 86.500,00 dinara.

Vrijeme izrade aktuelnog okvira na predmetnim mašinama je 10,00 n/č, a vreme za proizvodnju predloženog konstruktivno jednostavnijeg rešenja je 8,50 n/č što je ušteda od 1,50 n/č po komadu.

Da bi se počela ostvarivati ušteda, nepovratne troškove od 173,00 n/č podijeliti ćemo sa ostvarenom uštedom od 1,50 n/č po komadu pa:

$$173,00 \text{ č} : 1,50 \text{ č} = 115,33 \text{ okvira,}$$

što znači da svaki okvir proizveden posle 116 okvira ostvaruje uštedu od 1,50 n/č po komadu, a prevedeno u novac to je ušteda od: $1,50 \text{ n/č} \times 500,00 = 750,00$ dinara po komadu. Vrijeme potrebno za proizvodnju 116 okvira kod 3 - AXIS CNC mašina iznosi: $116 \text{ ok.} \times 8,50 \text{ n/č} = 986,00 \text{ n/č}$.



Slika 1. Dijagram isplativosti proizvodnje okvira 28a na 3 - AXIS CNC MAŠINI

Da bi se krenulo u isplativu proizvodnju treba uložiti:

$$986,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 493.000,00 \text{ dinara}$$

Nepovratni troškovi :

1. Izrada novog modela 32,00 n/č.
2. Izrada novog Nc programa – 5 - axis 25,00 n/č.
3. Izrada vakuum stola za stezanje okvira 65,00 n/č.
4. Izrada specijalnog reznog alata -5 - axis 20,00 n/č.
5. Izrada prvog komada 12,00 n/č.
6. FAI 24,00 n/č.

Ukupno nepovratni troškovi iznose 178,00 n/č

Pretpostavimo da je cijena jednog norma/časa = 500,00 dinara.

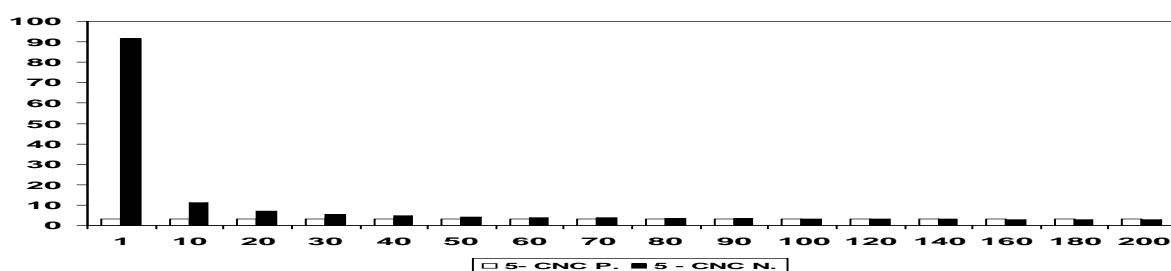
Tada je cijena nepovratnih troškova: $178,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 89.000,00$ dinara

Vrijeme izrade aktualnog okvira na predmetnim mašinama je 6,50 n/č, a vreme za proizvodnju predloženog konstruktivno jednostavnijeg rešenja je 5,00 n/č što je ušteda od 1,50 n/č po komadu.

Da bi se počela ostvarivati ušteda, nepovratne troškove od 178,00 n/č podijeliti ćemo sa ostvarenom uštedom od 1,50 n/č po komadu pa:

$$178,00 \text{ n/č} : 1,50 \text{ n/č} = 118,67 \text{ okvira,}$$

što znači da svaki okvir proizveden posle 119 okvira ostvaruje uštedu od 1,50 n/č po komadu.



Slika 2. Dijagrami isplativosti proizvodnje okvira 28a na 5 - AXIS CNC MAŠINI

Prevedeno u novac to je ušteda od:

$1,50 \text{ n/č} \times 500,00 = 750,00$ dinara po komadu.

Vrijeme potrebno za proizvodnju 119 okvira kod 5 - AXIS CNC mašina iznosi:

$119 \text{ ok.} \times 5,00 \text{ n/č} = 595,00 \text{ n/č.}$

Da bi se krenulo u isplativu proizvodnju treba uložiti:

$595,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 297.500,00$ dinara.

Nepovratni troškovi :

1. Izrada novog modela 32,00 n/č.

2. Izrada novog Nc programa - high speed 35,00 – 40,00 n/č.

3. Izrada vakuum stola za stezanje okvira 65,00 n/č.

4. Izrada specijalnog reznog alata-3-axis 20,00 n/č.

5. Izrada prvog komada 12,00 n/č.

6. FAI 24,00 n/č.

Ukupno maksimalni nepovratni troškovi iznose 193,00 n/č.

Ako pretpostavimo da je cena jednog norma/časa = 500,00 dinara.

Tada je cijena nepovratnih troškova:

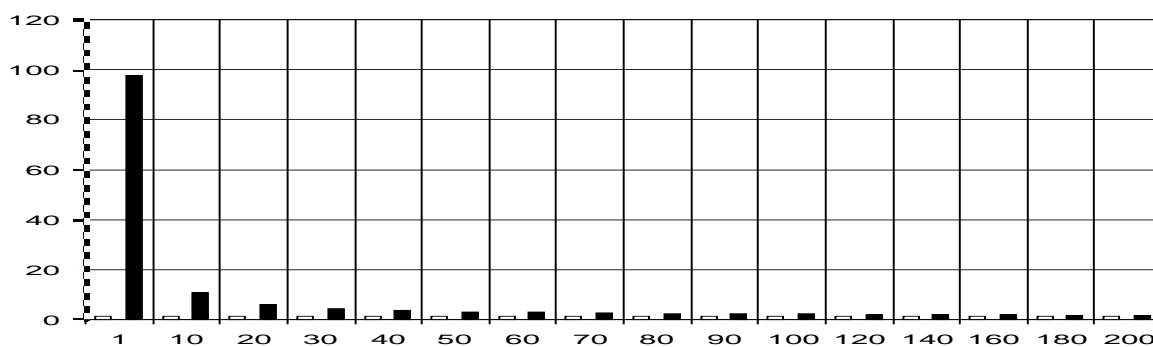
$193,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 96.500,00$ dinara

Vrijeme izrade aktualnog okvira na predmetnim mašinama je 3,00 n/č, a vreme za proizvodnju predloženog konstruktivno jednostavnijeg rešenja je 2,50 n/č što je ušteda od 0,50 n/č po komadu.

Da bi se počela ostvarivati ušteda, nepovratne troškove od 193,00 n/č podijeliti ćemo sa ostvarenom uštedom od 0,50 n/č po komadu pa:

$193,00 \text{ n/č} : 0,50 \text{ n/č} = 386$ okvira,

što znači da svaki okvir proizveden posle 386 okvira ostvaruje uštedu od 0.50 n/č po komadu.



Slika 3. Dijagrami isplativosti proizvodnje okvira 28a na HIGH SPEED CNC MAŠINI

Sa finansijske strane to je ušteda od:

$0,50 \text{ n/č} \times 500,00 = 250,00$ dinara po komadu.

Vrijeme potrebno za proizvodnju 386 okvira kod *high speed* mašina iznosi:

$386 \text{ ok.} \times 2,50 \text{ n/č} = 965,00 \text{ n/č.}$

Da bi se krenulo u isplativu proizvodnju treba uložiti:

$965,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 482.500,00$ dinara

3. Analiza dobivenih rezultata

Da bi smo analizirali moguće uštede uraditi ćemo primer u kome ćemo pretpostaviti da postoji potreba za proizvodnjom 1000 okvira. Analizirati ćemo uštede koje se mogu ostvariti za svaki tip mašina pojedinačno.

153. STANDARDNA - 3 - AXIS CNC MAŠINA:

Vrijeme i novac potreban za izradu aktuelnog okvira:

$$10,00 \text{ n/č} \times 1000 = 10.000,00 \text{ n/č.}$$

$$10.000,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 5.000.000,00 \text{ dinara.}$$

Vrijeme i novac potreban za izradu prostijeg konstruktivnog rešenja okvira:

$$8,50 \text{ n/č} \times 1000 = 8.500,00 \text{ n/č.}$$

$$8.500,00 \text{ n/č} \times 500 = 4.250.000,00 \text{ dinara.}$$

Ostvarena ušteda je:

$$10.000,00 \text{ n/č} - (8.500,00 \text{ n/č} + 173,00 \text{ n/č}) = 1.327,00 \text{ n/č.}$$

$$5.000.000,00 - (4.250.000,00 + 86.500,00) = 663.500,00 \text{ dinara.}$$

Indeks uštede iznosi:

$$663.500,00 : 5.000.000,00 = 0,1327.$$

2. 5- AXIS CNC MAŠINA:

Vrijeme i novac potreban za izradu aktualnog okvira:

$$6,50 \text{ n/č} \times 1000 = 6.500,00 \text{ n/č.}$$

$$6.500,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 3.250.000,00 \text{ dinara.}$$

Vrijeme i novac potreban za izradu prostijeg konstruktivnog rešenja okvira:

$$5,00 \text{ n/č} \times 1000 = 5.000,00 \text{ n/č.}$$

$$5.000,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 2.500.000,00 \text{ dinara.}$$

Ostvarena ušteda je:

$$6.500,00 \text{ n/č} - (5.000,00 \text{ n/č} + 178,00 \text{ n/č}) = 1.327,00 \text{ n/č}$$

$$3.250.000,00 - (2.500.000,00 + 89.000,00) = 661.000,00 \text{ dinara}$$

Indeks uštede iznosi:

$$661.000,00 : 3.250.000,00 = 0,2034$$

3. HIGHSPEED CNC – OBRADNI CENTAR

Vrijeme i novac potreban za izradu aktuelnog okvira:

$$3,00 \text{ n/č} \times 1000 = 3.000,00 \text{ n/č.}$$

$$3.000,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 1.500.000,00 \text{ dinara.}$$

Vrijeme i novac potreban za izradu prostijeg konstruktivnog rešenja okvira:

$$2,50 \text{ n/č} \times 1000 = 2.500,00 \text{ n/č.}$$

$$2.500,00 \text{ n/č} \times 500,00 = 1.250.000,00 \text{ dinara.}$$

Ostvarena ušteda je:

$$3.000,00 \text{ n/č} - (2.500,00 \text{ n/č} + 193,00 \text{ n/č}) = 1.327,00 \text{ n/č.}$$

$$1.500.000,00 - (1.250.000,00 + 96.500,00) = 153.500,00 \text{ dinara}$$

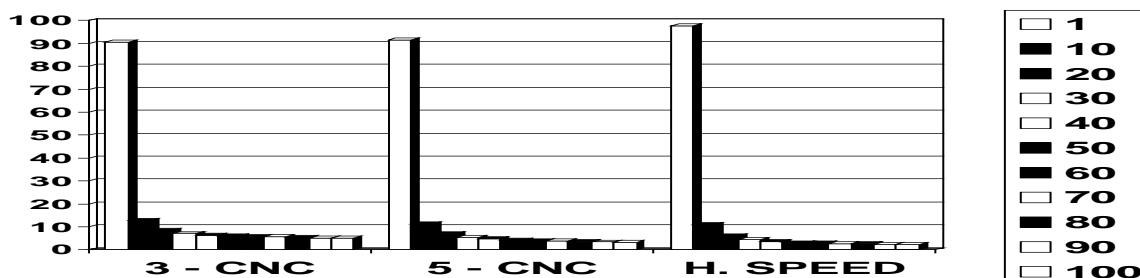
Indeks uštede iznosi:

$$153.500,00 : 1.500.000,00 = 0,1023$$

Analizirajući vremena na različitim tipovima proizvodnih mašina vidimo da je vrijeme pripreme proizvodnje za izradu okvira duže kod suvremenih mašina, a samim tim i fiksni troškovi su veći, što za posledicu ima proizvodnju većeg broja okvira

posle kojih proizvodnja počinje biti isplativa. [1] Na slikama 3, 2 i 1 prikazana je isplativost proizvodnje 200 proizvedenih okvira. Vidimo da kod 3 - AXIS CNC mašina i 5 - AXIS CNC mašina isplativost se dostiže posle 115 odnosno 119 okvira, dok kod HIGH SPEED CNC mašina ona se do 200 okvira samo približava, a isplativost se postiže tek posle proizvedenih 386 okvira. Što znači složenost geometrijskog oblika predmeta koji se izrađuje kod HIGH SPEED CNC mašina nema bitnijeg utjecaja.

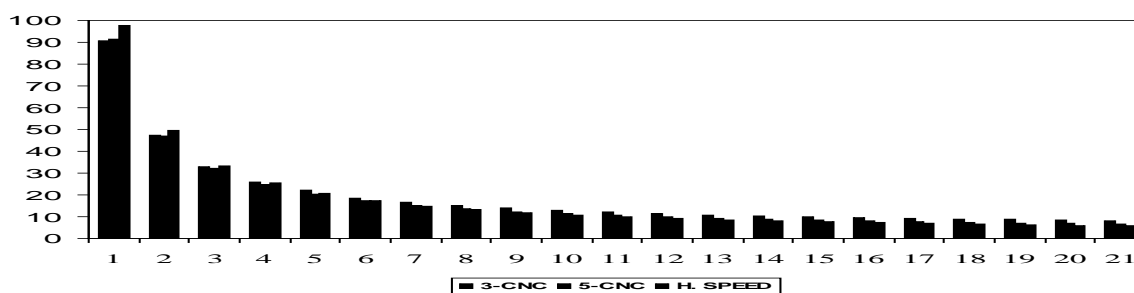
Na dijagramu slike 4. Dana je usporedba pada cijena u odnosu na 100 proizvedenih okvira 28a.



Slika 4. Dijagram pada cijena za sto proizvedenih okvira 28a na različitim tipovima mašina

Iz dijagrama je vidljivo da će za 100 okvira najniža cijena proizvodnje biti na HIGH SPEED CNC mašinama, pa na 5-AXIS CNC mašinama, a najskuplja izrada na 3 - AXIS CNC mašinama.

Još jedna činjenica se mora imati u vidu, a to je veličina serije. [5] Za kompletnu zamenu okvira 28a na svim Orlovima izrađeno je manje od dvadeset trenutnih-aktualnih okvira 28a. Dijagram pada cena za dvadeset okvira 28a dat je na slici 5.



Slika 5. Dijagram pada cijena za dvadeset proizvedenih okvira 28a na različitim tipovima mašina

Analizirajući pad cijena za prvih pet okvira vidimo da je cijena približna, što znači da u tom delu proizvodnje zavisni troškovi imaju dominantan uticaj, a da se kasnije pad cijena nastavlja sa sve manjim uticajem nepovratnih troškova. Prilikom razmatranja cijene troškova proizvodnje treba imati u vidu i cijenu koštanja mašina. [4] Ta razmjera se kreće u sljedećim relacijama: Za jednu HIGH SPEED CNC mašinu može se kupiti tri 5 - AXIS CNC mašina odnosno pet 3 - AXIS CNC mašina. Tako da se u odlučivanju o pokretanju proizvodnje, sve ove činjenice moraju imati u vidu.

4. Zaključak

U svakom slučaju da bi se isplatila proizvodnja predloženog konstruktivno jednostavnijeg rešenja, mora postojati potreba za velikom serijom, jer samo u slučaju velike serije ima smisla razmatrati uštede koje bi to rešenje donelo.

I pored toga što je neophodan uvjet isplativosti ulaganja u proizvodnju jednostavnijeg konstruktivnog rešenja okvira 28a taj da treba da postoji potreba za proizvodnjom velike serije okvira, u natpisu su date informacije koje mogu biti od koristi za neka buduća razmišljanja na teme analize ispravnosti i predimenzioniranosti dijelova kako avionskih tako i ostalih sredstava naoružanja i vojne opreme.

To bi otvorilo mogućnosti da se na vrijeme predvide i saniraju neželjeni otkazi dijelova u toku eksploatacije.

Također, ovakva vrsta analize bi omogućila da se smanji robusnost i masa sredstava naoružanja i vojne opreme, a da istovremeno jednostavnija konstruktivna rešenja zadovoljavaju sve polazne tehničke zahtjeve korisnika.

5. Literatura

1. Brealey, R.; Myers, S. & Marcus, A. (2001). *Fundamentals of Corporate Finance*, Third edition, University of Phoenix, McGraw-Hill Prims Companies, USA.
2. Đorđević D. (1993). *Teorija i praksa formiranja cena u vojno-industrijskom kompleksu*, VIZ, Beograd.
3. Đorđević D. (2007). *Mikroekonomija-savremen pristup*, Privredna akademija, Novi Sad.
4. Stevanović, N. (1997). *Cost calculation Systems*, Faculty of Economics, Belgrade.
5. Vukša, S. & Milojevic, I. (2007). *Analiza bilansa*, Fakultet za menadžment BK, Beograd.



Photo 197. Hunters / Lovci