

# Prilog razvoju aplikacije za automatizovano projektovanje stupnjevitih mehaničkih prenosnika za glavno kretanje univerzalnih mašina alatki

Knežević Nenad, Đurić Aleksija  
studenti prvog ciklusa studija  
Mašinski fakultet Istočno Sarajevo  
Istočno Sarajevo

[knezevic.nenad90@gmail.com](mailto:knezevic.nenad90@gmail.com) , [aleksijadjuric@gmail.com](mailto:aleksijadjuric@gmail.com) ,

*Sadržaj*—U ovom radu prikazana je aplikacija koja omogućava brži i tačniji izbor brojeva zuba zupčanika. Stvarni izlazni broj obrtaja neke mašine alatke treba da bude što bliži standardnoj vrijednosti što zahtjeva veoma tačan i precizan proračun. Razvijeno programsko rješenje, na osnovu zadatih ulaznih podataka određuje standardne brojeve obrtaja izlaznog vratila, vrši izbor brojeva zuba zupčanika, te tako izračunava stvarne vrijednosti brojeva obrtaja na izlazu i upoređuje ih sa predhodno usvojenim standardnim brojevima i na osnovu toga crta dijagram greške, koji pokazuje da li su izlazni brojevi obrtaja u dozvoljenim granicama.

*Ključne riječi*—mašina alatka; prenosnik za glavno kretanje; brojevi zuba zupčanika; broj obrtaja (key words)

## I. UVOD

Da je razvoj mašina alatki veoma bitan govori i činjenica da stepen razvijenosti ove industrije direktno utiče na značaj i položaj industrije metala u jednoj državi [6]. Značaj koji imaju prenosnici za glavno kretanje u mašinama alatkama, pa time i značaj njihovog projektovanja u ukupnoj aktivnosti projektovanja svake mašine alatke, zahtjeva dužu pažnju i koncentraciju projektanta, o čemu svjedoči obimna dostupna literatura, kako u svijetu tako i kod nas [1].

Aplikacija koji je prikazan u ovom radu najveću pažnju posvećuje izboru zuba zupčanika koji predstavljaju vitalne elemente jednog prenosnika za glavno kretanja. Aplikacija je razvijena kako bi uštedila vrijeme projektanta koje je potrebno da se ručno dođe do tačnih brojeva zuba zupčanika u jednom prenosniku. Stupnjeviti mehanički prenosnici danas još uvijek imaju veliku primjenu u ovoj oblasti jer od malog broja pogonskih brojeva obrtaja, izborom različitih prenosnih odnosa na izlazu proizvode više određenih diskretnih brojeva obrtaja.

Važnost tačnosti izlaznih brojeva obrtaja je veoma bitna za ekonomsko iskorištenje brzine rezanja. Iako se tehnologija razvija velikom brzinom još uvijek nije moguće dobiti izlazne brojeve obrtaja jednake standardnim vrijednostima. I pored ove pretpostavke teži se da greška bude što manja. Prema jugoslovenskom standardu JUS M. G0. 021, koji je baziran na preporuci ISO standarda br. R 229 iz decembra 1961 godine ukupna mehanička tolerancija greške kreće se u granicama od -2 do 3 %.

Ovaj rad predstavlja uvod u automatizaciju projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosnika za glavno kretanje univerzalnih mašina alatki.

## II. O APLIKACIJI

### A. Potrebna znanja za rada sa programskim alatom

Prije nego što se krena sa korištenjem prikazane programske aplikacije potrebno je najprije poznavati osnove projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosnika za glavno kretanje. Program je razvijen kako bi smanjio vrijeme projektanta, a ne ga u potpunosti zamjenio. Prvo je potrebno poznavati ulazne podatke, a to su:

- faktor geometijske progresije -  $\varphi$
- broj stupnjeva brojeva obrtaja na izlazu -  $m_n$
- minimalni broj obrtaja na izlazu -  $n_{min}$
- minimalni prečnik obrade -  $D_{min}$
- ulazni broj obrtaja u prenosnik -  $n_{ul}$

Ovo su potrebni, ali ne i dovoljni podaci koji se trebaju znati prije upotrebe ove aplikacije. Projektant je takođe dužan izabrati način gradnje složenog stupnjevitog prenosnika odnosno tipove elementarnih prenosnika, te na osnovu toga nacrtati dijagram brojeva obrtaja. Dijagram brojeva je veoma važan ulazni podatak, zato je bitno izabrati optimalnu varijantu dijagrama brojeva obrtaja, uvažavajući pri tome osnovne i dopunske kriterijume za izbor varijante strukture prenosnika[2].

### B. Principi rada

Aplikacija je urađena u programskom jeziku Visual Basic 2010. Sam princip rada aplikacije može se podijeliti u dva dijela:

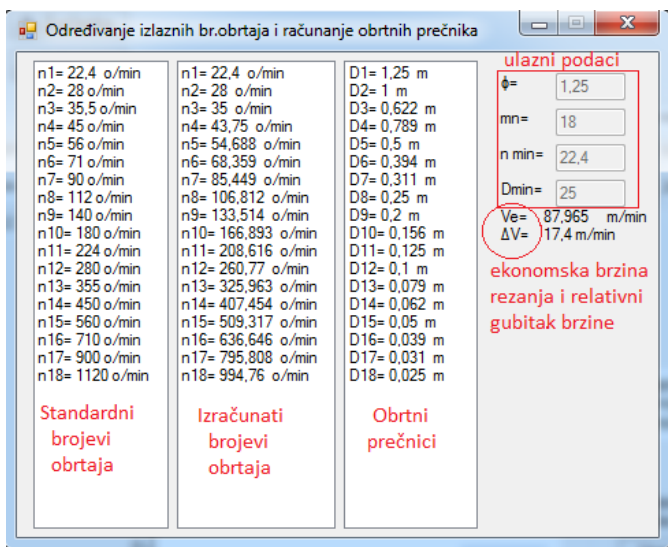
- *Određivanje brojeva obrtaja na izlazu i prečnika obrade.* Brojevi obrtaja računaju se na osnovu minimalnog broja obrtaja i faktora geometijske progresije. Nakon što se izračunaju izlazni brojevi obrtaja, onda se vrši usvajanje

standardnih brojeva obrtaja, na osnovu standardnog reda i faktora geometrijske progresije.

U narednom dijelu teksta prikazane su linije koda iz VB programskog jezika kojima se na osnovu izračunatih brojeva obrtaja usvajaju standardni brojeve obrtaja.

```
Dim numbers2() As Single = {1.4, 2.8, 5.6, 11.2, 22.4, 45, 90, 180, 360, 710, 1400, 2800, 5600, 11200, 22400, 45000}
Dim tempArray() As Single = DirectCast(numbers2.Clone, Single())
Array.Sort(tempArray)
TextBox4.Text = ((String.Join(",",
Array.ConvertAll(tempArray.Where(Function(i) i >
CDec(TextBox2.Text)).Take(CInt(CDbl(TextBox3.Text) - 1)).ToArray,
Function(i) i.ToString))))
```

Potom program računa ekonomsku brzinu rezanja na osnovu koje se dobijaju svi prečnici obrade. Na slici 1 prikazan je prozor za određivanje brojeva obrtaja i računanje prečnika obrade za zadate ulazne podatke.



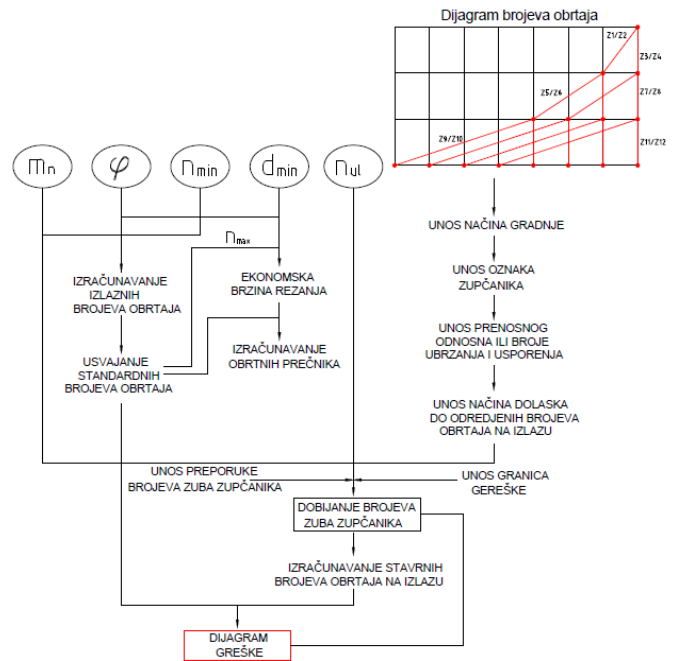
Slika 1: Prikaz prozora za određivanje br. obrtaja i računanje prečnika obrade za zadate ulazne podatke

- Izbor brojeva zuba zupčanika i crtanje dijagrama greške. Ranije je istaknuto da je za korištenje ove aplikacije potrebno najprije konstruisati dijagram brojeva obrtaja, sa kojeg se unose podaci u program potrebni za pravilan i tačan izbor zuba zupčanika. Na slici 2 prikazan je šematski način dolaska do brojeva zuba i dijagrama greške.

Prvo se unesu svi potrebni podaci sa dijagrama, a to redosledom pokazanim na slici 2. Nakon toga projektant je dužan u program unijeti i preporučeni broj zuba na po jedan zupčanik iz svake grupe zupčanika, potom program kombinuje ostale brojeve zuba te istovremeno računa stvarne brojeve obrtaja na izlazu. U trenutku kada greška bude u zadatim

granicama traženje brojeva zuba zupčanika se zaustavlja i program daje sve vrijednosti brojeva zuba zupčanika.

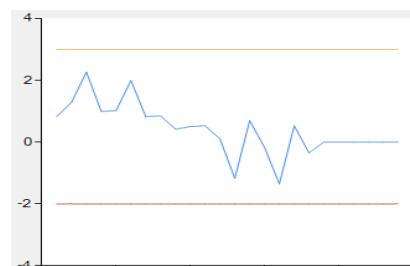
Ukoliko projektant nije zadovoljan izborom programa može ručno tražiti brojeve zuba i uklapati ih u grešku. Ova opcija je moguća, jer program se ne uzima u obzir veličinu zupčanika nego samo traži brojeve zuba takve da greška na izlazu bude u dozvoljenim granicama.



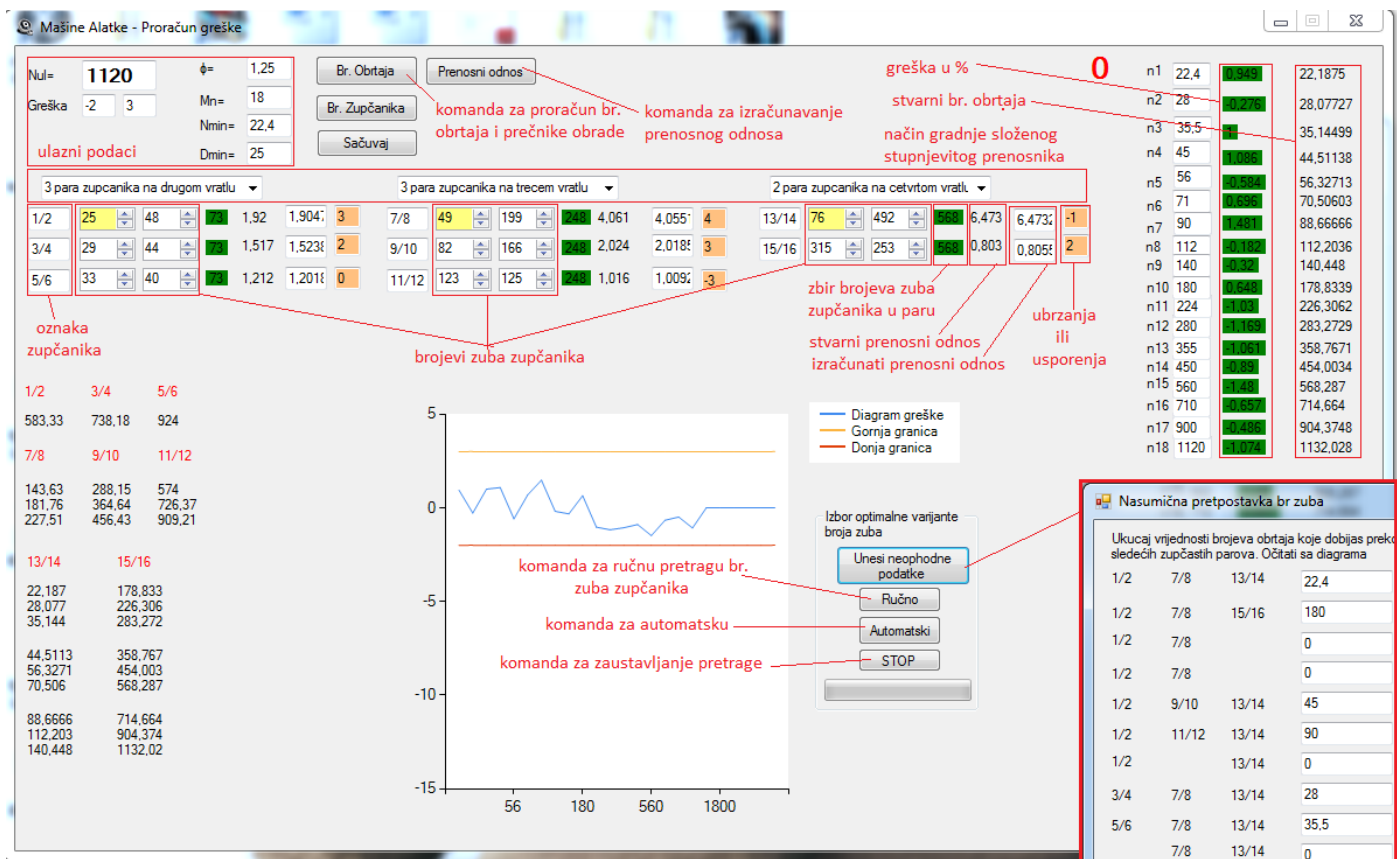
Slika 2: Šematski prikaz upotrebe aplikacije

Dijagram greške je vizuelni prikaz sa kojeg se može vidjeti da li greška izlazi iz dozvoljenih granica. Ovaj dijagram omogućuje i lakšu ručnu pretragu, jer svakom promjenom brojeva zuba zupčanika on se iscrta i pokazuje da li je greška zadovoljena ili ne.

Na slici 3 prikazan je dijagram greške sa kojeg se vidi da je greška u granicama od -2 do 3 %.



Slika 3: Izgled dijagram greške



Slika 4: Interfejs aplikacije

Na slici 4 prikazan je interfejs aplikacije koji je tako programiran da korisniku omogući lakše korištenje. Korisnik može kursor miša zadržati na komandi ili polju i vidjeti koja je funkcija te komande odnosno polja. Takođe treba naglasiti da područje označeno zelenom bojom ukazuje da je greška na izlazu u granicama i da je zbir brojeva zupčanika na svim parovima u jednoj pomjerljivoj grupi isti. U slučaju da se pojavi crveno područje to će značiti da je došlo do nekog odstupanja.

U područje označeno žutom bojom unosi se preporučeni broj zuba zupčanika, dok se u narandžasto polje unose ubrzanja i usporenja sa dijagrama brojeva obrtaja. Ukoliko neki par zupčanika nije potreban za konstruisanje stupnjevitog prenosioca potrebno je u polje pod nazivom „izračunati prenosni odnos“ unjeti 0, jer samo tako može aplikacija odbaciti neki zupčasti par.

### C. Prednosti i nedostaci

Treba naglasiti da aplikacija zahtjeva da korisnik mora dobro poznavati principe projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosioca. Bez predhodno dobro razrađenog plana izrade prenosioca gotovo nije moguće krenuti sa korištenjem ovog programa. U ovom trenutku gotovo je nemoguće napraviti aplikaciju koji će potpuno zamjeniti projektanta.

Jedan od nedostatak ovako razvijene programske aplikacije je da funkcionise samo za određene kombinacije brojeva obrtaja  $m_n$  i faktore geometrijske progresije  $\phi$ , budući da za neke slučajeve potrebna dodatna vratila, međuvratila,

zupčanici i međuzupčanici. U tabeli 1 prikazano je za koje brojeve obrtaja i faktore geometrijske progresije program može funkcionisati.

TABELA I: PODRUČJE PRIMJENE APLIKACIJE

$m_n \backslash \phi$	4	6	8	9	12	16	18	24
1,12								
1,25								
1,4								
1,6								
2								

Prednost ove aplikacije ogleda se u tome što korisniku, tj. projektantu stupnjevitih mehaničkih prenosioca štedi vrijeme. Na veoma brz i tačan način program daje brojeve zuba zupčanika od čije tačnosti najviše zavisi i tačnost izlaznih brojeva obrtaja.

Kao jednu od prednosti ove aplikacije je i to da se granice greške mogu smanjiti, a da se pri tome mogu dobiti realne vrijednosti brojeva zuba zupčanika. Za neke vrijednosti brojeva obrtaja i faktore geometrijske progresije tolerancijsko polje greške može da bude čak od -1 do 1%.

Jedna od prednost je takođe što program odmah podešava da zbir brojeva zuba zupčanika na parovima u jednoj pomjerljivoj grupi bude jednak. Radi lakšeg projektovanja korisniku je omogućeno da vidi sve dobijene rezultate, tj. da može manipulirati sa njima.

S obzirom da se teži što manjoj grešci, a da pri tom konstrukcija bude kompaktna možemo zaključiti da ovaj program omogućava korisniku da veoma brzo traži takve brojeve zuba zupčanika koji zadovoljavaju grešku a pri tome je i dobijena ekonomična konstrukcija sa stanovišta dopunskih kriterijuma [6]. U slučaju da korisnik kao preporučene vrijednosti brojeva zuba zupčanika unese minimalni broj zuba i za tu vrijednost nađe ostale brojeve zuba zupčanika, dobiće se veoma kompaktna konstrukcija prenosioca u smislu veličine.

#### D. Oblast primjene i poređenje sa sličnim aplikacijama

Ovakva aplikacija najpogodnija je za korištenje studentima mašinskih fakulteta koji se bave problematikom projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosioca. Primjena programa je moguća i u istraživačkim centrima koji se bave problemima prenosioca kod mašina alatki.

Trenutno je ovo jedina poznata aplikacija koja se bavi problematikom izbora brojeva zuba zupčanika za glavno kretanje univerzalnih mašina alatki. Slična aplikacija ovoj je razvijana 1987.godina u vidu magistarskog rada n FTN-u u Novom Sadu, ali uzima se u obzir da u to vrijeme nije bila velika mogućnost izbora programskih alata za izradu aplikacija[1]. Ovim radom pokazano je da se manuelni dio projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosioca djelimično može automatizovati, što predstavlja doprinos ovoj oblasti.

Takođe treba naglasiti da je ideja za ovaj rad dobijena radeći projektni zadatak iz predmeta mašine alatke na Mašinskom fakultetu u Istočnom Sarajevu.

### III. MOGUĆNOST DALJEG RAZVOJA

Već u uvodu ovog rada naglašeno je da je ovo samo početak automatizacije projektovanja stupnjevitih mehaničkih prenosioca za glavno kretanje mašina alatki. Mnogi nedostaci koji su navedeni kroz ovaj rad mogu se otkloniti daljim razvojem i radom na ovom programu.

Nekih od mogućnosti pravaca daljeg razvoja:

1. Proračun mjerodavnih momenta opterećenja. Već je naglašeno da ovaj program samo određuje brojeve zuba zupčanika, a da pri tome ne obraća pažnju na njihove dimenzije. Primjenom mjerodavnog momenta, odredili bi se minimalni brojevi zuba zupčanika, te tako bi bili sigurni da je konstrukcija kompaktna.

2. Proširenje područja primjene. Težilo bi se tome da se za svaki broj obrtaja i za svaki geometrijski faktor mogu odrediti brojeve zuba zupčanika. Ovo bi značilo da bi trebalo napraviti takav sistem u kome je moguće izabrati da su za projektovanje prenosioca potrebna i dodatna vratila, međuvratila i međuzupčanici.

3. Mogućnost iscertavanja kinematskih šema.

### IV. ZAKLJUČAK

Na kraju ovog rada može se konstatovati zaključiti da i pored brzog razvoja tehnologija, još uvijek u ovoj oblasti nije moguće potpuno zamjeniti projektanta. Ipak jedan ovakav program omogućuje projektantu da štedi svoje vrijeme i da ga

pri tome usmjeri na druge kreativnije aktivnosti. Razvojem i problematikom stupnjevitih mehaničkih prenosioca kroz istoriju bavili su se mnogi istraživači pokušavajući da dođu do jednog jedinstvenog modela koji se može primjeniti pri projektovanju stupnjevitih prenosioca. I pored toga jedinstveni model se nije mogao razviti jer postoje razna odstupanja, odnosno razni načini da se neki stupnjeviti mehanički prenosioci konstruišu.

Ovim primjerom je pokazano da je moguće proračunski dio projektovanja zamjeniti programom koji će svrhi shodno uštediti najprije vrijeme, a tek onda pomoći korisniku da donese odluku.

### ZAHVALNICA

Ovom prilikom htjeli bi se zahvaliti uvaženom profesoru Milanu Zeljkoviću sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i asistentu Aleksandru Košarcu sa Mašinskog fakulteta u Istočnom Sarajevu na pomoći i podršci.

### LITERATURA

- [1] Kragujević, V.: "Prilog razvoja sistema za automatizovano projektovanje stupnjevitih mehaničkih prenosioca za glavno kretanje univerzalnih mašina alatki" Magistarski rad: FTN Novi Sad, 1987.god.
- [2] Stanković, P.: Mašine alatke 1-Koncepcijske i eksploatacione analize mašina za obradu rezanjem, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1968.
- [3] Stanković, P.: Mašine alatke 2-Konstrukcioni elementi mašina za obradu rezanjem, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1970.
- [4] Zahar, S.: Mašine alatke 1, Koncepcijska i tehnoeconomiska analiza kinematski sistema mašina alatki, pogon mašina alatki, Jugoslovensko društvo za tribologiju Kragujevac, 1993, ISBN 86-7083-080-9
- [5] Zahar, S.: Mašine alatke 2, Sistemi za prenos kretanja, sistemi za vođenje, noseći sistemi, sistemi za upravljanje, Jugoslovensko društvo za tribologiju Kragujevac, 1997.
- [6] Zeljković, M., Borojević, L.J.: Borojević, L.J.: Autorizovani rukopis predavanja- Mašine alatke, Istočno Sarajevo 2012.god.
- [7] Weck, M., Brecher, C.: Werkzeugmaschinen 2, Konstruktion und Berechnung, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [8] [www.ic.ims.hr/vba/vba-1.html](http://www.ic.ims.hr/vba/vba-1.html)
- [9] [www.inovatori.hr](http://www.inovatori.hr)

### ABSTRACT

This paper shows developed application for fast and reliable calculation for number of teeth on each gear of machine tool gear box. The real machine tool spindle speed measured in revolutions per minute (RPM) needs to be as close as possible to standard values of RPM based on progression ratio  $\phi$  which requires fast and reliable calculation. Based on input data the application calculates standard values of RPM, number of teeth on each gear, calculates real main spindle speed and compare to standard RPM value, and finally draws error diagram.

### APPLICATION FOR AUTOMATION DESIGN OF MACHINE TOOLS GEAR BOXES

Nenad Knezevic, Aleksija Djuric