

SOFTVER ZA PRORAČUN I MODELIRANJE RADIJALNIH KLIZNIH LEŽAJA

SOFTWARE FOR CALCULATION AND MODELING OF RADIAL PLANE BEARINGS

Vojkan Milošević, prof. dr Dragan Milčić, Miroslav Mijajlović
Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš

Sadržaj – Proračun radijalnih hidrodinamičkih kliznih ležaja je komplikovan i zahteva veliki broj iteracionih koraka da bi se došlo do adekvatnog rešenja. Iz tih razloga razvijen je softver za proračun i modeliranje radijalnih hidrodinamičkih kliznih ležaja, izložen u ovom radu. Ovaj program omogućava laku proveru nosivosti radijalnih kliznih ležaja, proveru ispunjenosti uslova hidrodinamičkog plivanja kao i proveru termičke stabilnosti odnosno proračun radne temperature ležaja, kao i povezivanje modula za proračun ležaja sa CAD programom (Autodesk Inventor) gde se dobija virtuelni model standardnih kliznih ležaja.

Abstract – Calculation of radial hydrodynamical plane bearings is relatively complicated and requires great number of iterative solution steps in order to reach adequate solution. This is the reason why the software for calculation and modeling of radial hydrodynamical plane bearings has been developed. This software gives possibility to easily check maximal carrying load of plane bearings, hydrodynamical floating conditions and thermal stability issue – working temperature of bearing. This software connects calculation module to the CAD (Autodesk Inventor) where can get visual model of standard plane bearings.

1. UVOD

Savremena saznanja nauke o konstruisanju još uvek u proces konstruisanja ne uključuju dovoljno i tribološke aspekte konstruisanja iako su oni uslov ispravnog konstruisanih međusobno pokretnih delova. Sa tribološkog aspekta tokom procesa konstruisanja osnovno je izvršiti adekvatan izbor elementa MS (materijala, maziva i sistema podmazivanja) koji se želi konstruisati, a zatim utvrditi koje su mu radne i tribološke karakteristike (određivanje radnog veka sa gledišta habanja, proračun debljine mazivog sloja, temperature, protoka maziva, gubitaka usled trenja itd.).

Klizni ležaji imaju veliku primenu u teškoj mašingradnji, kod mlinova, turbina, drobilica, valjaoničkih i kovačkih mašina, presa, reduktora itd. Kako im ime kaže, kod kliznih ležaja relativno kretanje delova, uz istovremeno prenošenje opterećenja, ostvaruje se posredstvom klizanja. Osnovna prednost kliznih ležaja ogleda se u njihovoj nosivosti, odnosno, radnom veku. Ako se kod kliznog ležaja obezbede uslovi hidrodinamičkog plivanja, onda on ima gotovo neograničen radni vek. Ovo je

naročito bitno kod rada sa visokom učestanošću obrtanja, gde kotrljajni ležaji zbog ograničene nosivosti i ograničenog radnog veka ne mogu da se primene. Sa druge strane, tendencija razvoja savremenih mašina ogleda se u stalnom poboljšanju njihovih performansi. To je mahom povezano sa uvećanjem opterećenja, brzine i brojeva obrtaja uz istovremeno smanjenje dimenzija i težine. Ovakav trend razvoja ukazuje da u budućnosti treba očekivati veću primenu kliznih ležaja.

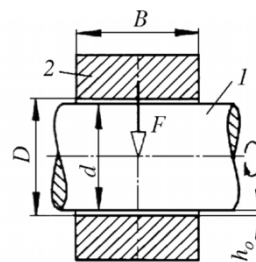
Zbog velike površine klizanja po kojoj se dodiruju rukavac i posteljica ležaja, razdvojene uljem, klizni ležaji imaju mogućnost prigušenja buke i vibracija, odnosno mogu da prime znatna udarna opterećenja u toku rada.

Klizni ležaji mogu biti izrađeni kao jednodelni i dvodelni, dok kotrljajni mogu biti samo jednodelni. To im omogućuje primenu u slučajevima gde ležaji zbog montaže moraju da se rade iz dva dela, kao na primer kod kolenastih vratila.

Razlika u ceni izrade između pojedinačne i serijske proizvodnje je daleko manja kod kliznih ležaja nego kod kotrljajnih. Kotrljajni ležaji su konkurentni sa cenom u odnosu na klizne samo u slučaju serijske i masovne proizvodnje. Za rukavce prečnika ispod 10 mm i iznad 300 mm kotrljajni ležaji rade se samo izuzetno, pa je u tom slučaju daleko racionalnija ugradnja kliznih ležaja.

Prednost kliznih ležaja u odnosu na kotrljajne očigledna je u pogledu kompaktnosti konstrukcije. Za istu nosivost dimenzije kliznih ležaja su dosta manje u odnosu na kotrljajne. To se naročito odnosi na radijalni pravac, odnosno kod uležištenja vratila koja se nalaze neposredno jedno uz drugo.

Na sl.1 je prikazan najbitniji deo kliznog ležaja – klizni par: rukavac vratila (1) i ležišna čaura – posteljica (2).



Slika 1. Radijalni klizni ležaj

Zbog lakšeg poređenja, karakteristike kotrljajnih i kliznih ležaja date su tabelarno (tabela 1).

Tabela 1. Karakteristike kotrljajnih i kliznih ležajeva

	kotrljajni	klizni sa hidrodinamičkim podmazivanjem
specifično opterećenje	-	+
dimenzije	-	+
radni vek	-	+
cena (pojedinačna i maloserijska proizvodnja)	-	+

Spoljašnje opterećenje ležaja, izraženo silom F , potrebno je da bude ravnomerno raspoređeno po celoj dodirnoj površini kliznog para. Zbog relativnog kretanja kliznih površina jedne u odnosu na drugu, javljaju se otpori klizanju - trenje. Deo mehaničke energije se pri tom pretvara se toplotu, što ima za posledicu povećanje radne temperature. Pri tome dolazi i do habanja dodirnih površina praćeno promenom oblika i dimenzija.

Najbolja zaštita dodirnih površina od habanja i osetno smanjenje otpora trenja postiže se potpunim razdvajanjem dodirnih površina slojem ulja. Pri tome se koeficijent trenja μ smanji u odnosu na suvo trenje i do 100 puta, tako da se on kreće u granicama $\mu=0,005\div 0,001$. Ovakav vid trenja naziva se **tečno trenje**. Kod tečnog trenja sloj ulja između dodirnih površina prenosi istu silu F , što znači da u njemu mora vladati znatan pritisak da ne bi došlo do njegovog prekida i neposrednog dodira kliznih površina.

Kod **hidrodinamički** podmazivanih ležaja noseći uljni sloj formira se samo ukoliko se klizne površine kreću relativno jedna u odnosu na drugu. Brzina klizanja mora biti dovoljno velika, a klizne površine postavljene pod odgovarajućim uglom, tako da one zahvataju prijanjajuće ulje i ostvaruju odgovarajući pritisak u uljnom sloju.

Da bi klizni ležaj uspešno vršio svoju funkciju u toku celog predviđenog radnog veka potrebno je obezbediti hidrodinamičko plivanje u toku rada. Sloj ulja između kliznih površina treba shvatiti kao noseći element, slično kotrljajnim telima kod kotrljajnih ležaja.

Pretpostavka za uspešno stvaranje nosećeg uljnog sloja između kliznih površina je izbor ulja odgovarajućih mazivih karakteristika. I u uslovima tečnog trenja takođe se javljaju otpori relativnom kretanju kliznih površina. Otpori se javljaju u samom mazivu, a mera ovih otpora je viskoznost. Prema tome viskoznost može da se označi kao svojstvo fluida da se suprotstavi promeni oblika, a izražava se intenzitetom tangentialnih napona između slojeva koji se međusobno relativno pomeraju.

Prema Njutnovom (Newton) zakonu tangentialni napon smicanja u ravnima paralelnim pločama iznosi:

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \eta \cdot \frac{dv_k}{dy} \quad (1)$$

odnosno, proporcionalan je gradijentu brzine po normali na pravac kretanja. Koeficijent proporcionalnosti η naziva se **dinamička viskoznost** i iznosi:

$$\eta = \frac{\tau}{dv_k/dy} \quad (2)$$

Pored dinamičke viskoznosti, često se kao karakteristika maziva koristi i **kinematička viskoznost** ν , koja je jednaka odnosu dinamičke viskoznosti η i gustine ulja ρ , odnosno:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Viskoznost tečnih maziva zavisi od temperature i pritiska. Sa povećanjem temperature, viskoznost tečnih maziva opada, a sa povećanjem pritiska viskoznost se povećava. Prema ISO klasifikaciji viskoznosti, sva tečna maziva za industrijske namene razvrstana su prema srednjoj vrednosti kinematičke viskoznosti na 40°C u 18 grupa i to: ISO VG 2, 3, 5, 7, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150, 220, 320, 460, 680, 1000 i 1500. Brojevi sadržani u oznaci predstavljaju zaokružene vrednosti kinematičke viskoznosti, pri čemu treba računati sa rasipanjem ovih vrednosti za $\pm 10\%$.

2. PRORAČUN RADIJALNIH KLIZNIH LEŽAJA

Nosivost ležaja predstavlja najveću silu koju može da prenese ležaj, za predviđeni radni vek, a da pri tome ne bude prekoračena dozvoljena temperatura u ležaju, da ne dođe do nedozvoljenog habanja i zapreminskog razaranja materijala kliznog para, a pri hidrodinamičkom podmazivanju još i da debljina mazivog sloja ne bude manja od dozvoljene vrednosti.

Tok proračuna radijalnih kliznih ležaja ide određivanjem:

Korišćene oznake i veličine u proračunu:

- p_{doz} -dozvoljeni površinski pritisak za izabrani materijal
- h_{omin} -dozvoljene vrednosti debljine uljnog filma
- ω -ugaona brzina
- μ -koeficijent trenja
- ρ -gustina ulja ($\rho = 900 \text{ kg/m}^3$)
- c -specifična toplota ulja, $c = 2000 \text{ J/(m}^3\text{K)}$
- q -protok ulja u m^3/s
- v_i -temperatura ulja na izlazu
- v_u - temperatura ulja na ulazu u °C.
- C_{gr} -konstanta (1÷8)

2.1. Dimenzije ležaja:

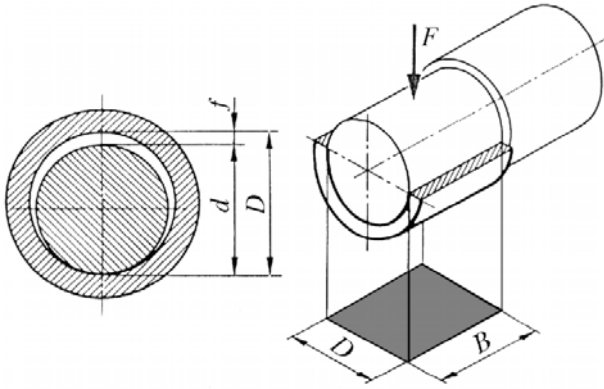
- d - prečnik rukavca
- D - unutrašnji prečnik posteljice
- B - dužina posteljice ležaja

2.2. Konstrukciona karakteristika:

$$\varphi = B/D = 0,2...1...(1,5) \quad (4)$$

- $\varphi = 0,5\div 1$ - brzohodi manje opterećeni ležaji
- $\varphi = 0,3\div 0,7$ - optimalna nosivost

2.3. Specifično opterećenje ležaja:



Slika 2. Specifično opterećenje radijalnog kliznog ležaja

$$p = \frac{F}{B \cdot D} \leq p_{doz} \quad (5)$$

2.4. Apsolutni zazor ležaja:

$$f = D - d \quad (6)$$

2.5. Relativni zazor ležaja:

$$\psi = \frac{f}{D} = \frac{D - d}{D} \quad (7)$$

$$\psi = 0,8 \cdot \sqrt[3]{v}$$

Izabrana vrednost za ψ može se ostvariti nekim od sledećih naleganja H7/a8, H7/b8, H7/c8, H7/d8, H7/e8, H6/f6, H7/f7, H5/g4, H5/g6, H7/g6.

2.6. Brzina klizanja za minutni broj obrtaja n

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (8)$$

2.7. Minimalna debljina uljnog filma:

$$h_0 = \frac{D \cdot \psi}{2} (1 - \varepsilon) \geq h_{0min} \quad (9)$$

2.8. Relativna debljina uljnog filma:

$$\delta = \frac{h_0}{f/2} = \frac{h_0}{\psi \cdot d/2} \quad (10)$$

2.9. Ekscentričnost:

$$e = \frac{f}{2} - h_0 \quad (11)$$

2.10. Relativna ekscentričnost:

$$\varepsilon = \frac{e}{f/2} = 1 - \delta \quad (12)$$

2.11. Karakteristika nosivosti ležaja (Sommerfeldov broj):

$$S_0 = \frac{p \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \quad (13)$$

Sommerfeldov (Sommerfeld) broj omogućuje da se klizni ležaji uporede u pogledu brzohodosti i nosivosti, odnosno predstavlja **karakteristiku nosivosti ležaja**. Zavisno od vrednosti Sommerfeldovog broja S_0 klizni ležaji su razvrstani u tri grupe:

- $S_0 \leq 1$ - brzohodi lako opterećeni klizni ležaji;
- $S_0 > 1 \div 3$ - srednje opterećeni klizni ležaji;
- $S_0 > 3$ - teško opterećeni klizni ležaji.

2.12. Merodavna karakteristika trenja:

$$\text{za } S_0 < 1 \quad \frac{\mu}{\psi} = \frac{3}{S_0} \quad (14)$$

$$\text{za } S_0 > 1 \quad \frac{\mu}{\psi} = \frac{3}{\sqrt{S_0}} \quad (15)$$

2.13. Gubici energije usled trenja:

Zbog savlađivanja otpora trenja u ležaju određena količina mehaničke energije pretvara se u toplotu. Snaga potrebna za savlađivanje otpora trenja P_G u W iznosi:

$$P_G = F \cdot \mu \cdot v \quad (16)$$

2.14. Odvođenje toplote prinudnim hlađenjem ležaja:

$$Q_P = \rho \cdot c \cdot q \cdot (g_i - g_u) \quad (17)$$

Po pravilu se uzima da je $(v_i - v_u) = 20K$.

Protok ulja u zoni hidrodinamičkog pritiska određuje se prema:

$$q = D^3 \cdot \psi \cdot \omega \cdot K_{qt} \quad (18)$$

2.15. Termička stabilnost ležaja:

Stacionarna radna temperatura ležaja iznosi $50 \div 60 \text{ }^\circ\text{C}$, ređe se kreće u granicama $70 \div 80 \text{ }^\circ\text{C}$, a samo izuzetno i preko $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Kod cirkulacionog podmazivanja granična radna temperatura je $v_{Lim} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Za stacionarno stanje potrebno je da gubici snage P_G budu jednaki prinudnim putem odvedenoj toploti, odnosno

$$P_G = Q_P \quad (19)$$

2.16. Uslovi hidrodinamičkog plivanja.

$$n_{gr} = \frac{F \cdot 10^{-7}}{\eta \cdot C_{gr} \cdot V_L} \quad (20)$$

3. PROGRAMSKI MODUL ZA PRORAČUN RADIJALNIH KLIZNIH LEŽAJA

Na slici 3. je prikazan korisnički interfejs u kome se vrši unos podataka potrebnih za proveru nosivosti radijalnih hidrodinamičkih kliznih ležaja. Prva dva podatka koja se unose su prečnik (D) i širina (B) ležaja. Nakon toga program proverava konstrukcionu karakteristiku φ i daje obaveštenje o optimalnosti odnosa. Zatim se zadaje opterećenje ležaja (F) i broj obrtaja (n), nakon čega sledi izbor ulja.

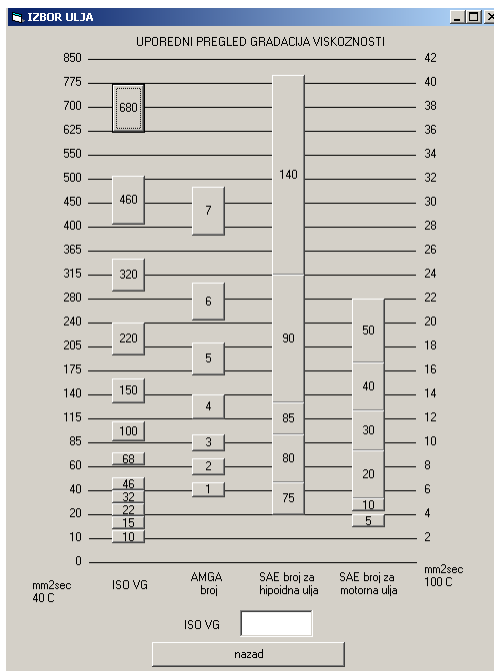
Uporedni pregled gradacija viskoznosti ulja dat je na formi (slika 4). Zadavanjem jednog od 4 ponuđena oblika gradacija, program će izvršiti poređenje i usvojiti standardnu ISO VG oznaku sa kojom će se vršiti dalji proračun radijalnih kliznih ležaja.

Sledeća grupa ulaznih podataka vezana je za termičku stabilnost i tu je potrebno izvršiti unos radne temperature ležaja i ulazne temperature ulja. Program poseduje ograničenja pa se ne dozvoljava upis nepodesnih veličina.

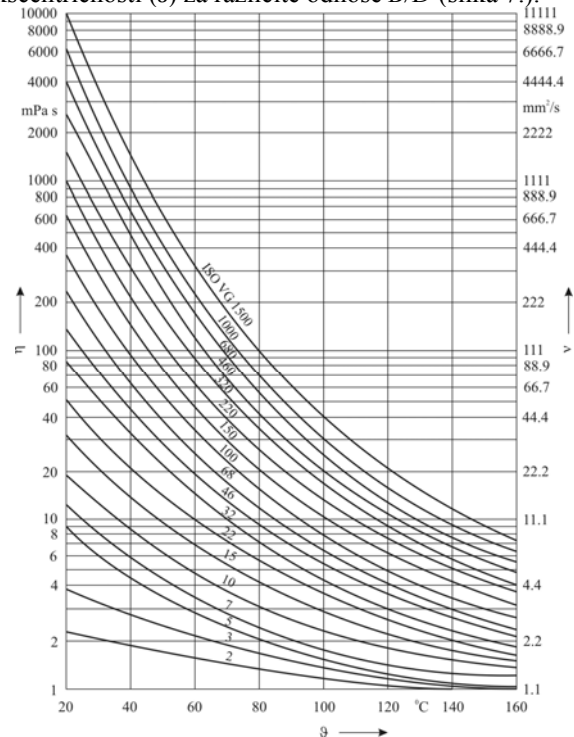
Slika 3. Levi deo glavnog prozora

Slika 5. Izbor materijala

Sledeći deo obuhvata proračun nosivosti ležaja i debljinu uljnog filma. Program sam proračunava vrednosti i kao kontrolne veličine daje relativne i apsolutne zazore, dinamičku viskoznost, Somerfeldov broj, relativnu i minimalnu debljinu uljnog filma. A kao izlaznu veličinu daje validnost zadovoljenja hidrodinamičkog plivanja. U ovom delu za proračun su korišćeni dijagrami koji prikazuju zavisnost temperature (ϑ) i dinamičke (η) odnosno kinematičke (ν) viskoznosti (slika 6.) kao i dijagram zavisnosti Somerfeldovog broja (S_o) i relativne debljine uljnog filma (δ), odnosno relativne ekscentričnosti (ε) za različite odnose B/D (slika 7.).



Slika 4. Izbor ulja



Slika 6. Zavisnost temperatura (ϑ) -dinamička (η) odnosno kinematička (ν) viskoznos ulja

Završni deo unosa podataka odnosi se na izbor materijala posteljice. Odvija se na posebnoj formi koja je prikazana na slici 5.

Programom je predviđen izbor standardnih legura koje su preporučene u literaturi, ali je moguće kreiranje i sopstvene baze materijala koji nisu standardnim obuhvaćeni.

Nakon toga se ide na proveru specifičnog opterećenja gde se dobija jasna poruka da li ili ne izabrani materijal zadovoljava kriterijum.

Iskorišćeni su tako što su krive deljene na 2 ili više delova i Lagranžeovom interpolacijom (21) se došlo do aproksimativnih funkcija koje se koriste u programu (primer 2.).

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n y_k L_k(x) \quad (21)$$

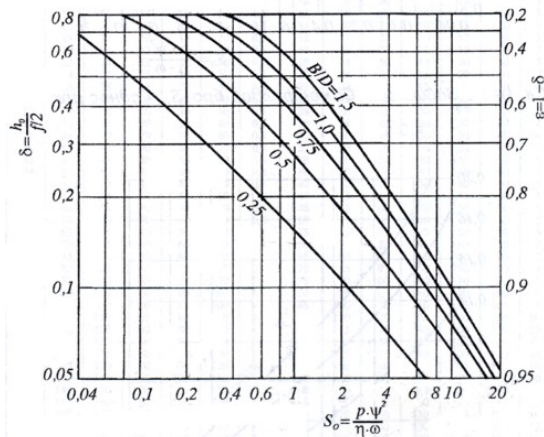
$$L_k(x) = \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{k-1})(x-x_{k+1})\dots(x-x_n)}{(x_k-x_0)\dots(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1})\dots(x_k-x_n)}$$

Primer 1.-zavisnosti temperature (ϑ) i viskoziteta

```

If isovg = 220 Then
  If jota < 90 Then
    eta = -2.01048 * 10 ^ -11 * (-167.18 + q) *
    (22943.1 + (-299.713 + q) * q) * (12597.2 + (-
    216 + q) * q) * (4056.62 + (-110.584 + q) * q)
  End If
  If jota >= 90 Then
    eta = 3.90625 * 10 ^ -7 * (41471.7 + (-
    404.401 + q) * q) * (17376.7 + (-243.599 + q) *
    q)
  End If
End If

```



Slika 7. Zavisnost između Somerfeldovog broja S_0 i relativne debljine uljnog filma (δ)

Drugi grafik uzima u obzir Somerfeldov broj i odnos B/D i na osnovu toga daje vrednost relativne debljine uljnog filma. Grafik je definisan samo za određene vrednosti B/D , a za međuvrednosti program uzima dve linije koje su granice zadatog odnosa, za njih računa relativne debljine uljnog filma na osnovu Lagranžeovih interpolacionih polinoma, a zatim koristi linearnu interpolaciju te dve vrednosti u odnosu na Somerfeldov broj i nalazi precizno relativnu debljinu uljnog filma (primer 2.).

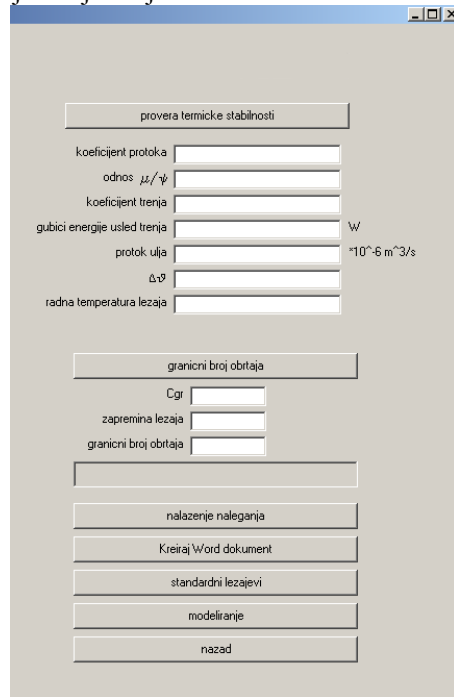
Primer 2.- zavisnosti Somerfeldovog broja i relativne debljine uljnog filma

```

If bd > 1 And bd < 1.5 Then
  If x >= 0.22 And x < 1 Then
    d10 = 0.44 + (-0.461538 + (0.293522 - 0.24179 *
    (-0.6 + x)) * (-0.22 + x)) * (-1 + x)
  End If
  If x >= 1 And x < 6 Then
    d10 = 0.12 + (-0.064 + (0.0146667 - 0.00341667 *
    (-4 + x)) * (-1 + x)) * (-6 + x)
  End If
  If x >= 6 And x <= 19 Then
    d10 = 0.05 + (-0.00538462 + 0.00041958 * (-6 +
    x)) * (-19 + x)
  End If
  If xd >= 0.35 And xd < 1 Then
    d15 = 0.54 + (-0.4 + (0.3 - 0.166667 * (-0.6 +
    x)) * (-0.35 + x)) * (-1 + x)
  End If
  If x >= 1 And x < 6 Then
    d15 = 0.15 + (-0.078 + (0.0176667 - 0.00516667 *
    (-4 + x)) * (-1 + x)) * (-6 + x)
  End If
  If x >= 6 And x <= 20 Then
    d15 = 0.0505 + (-0.00710714 + 0.000539286 * (-6
    + x)) * (-20 + x)
  End If
m = ((d15 - d10) * (bd - 1)) / 0.25
delta = d10 + m
End If

```

Gornji desni deo glavnog prozora (slika 8.) predviđen je za proveru termičke stabilnosti ležaja i nudi dosta kontrolnih veličina kao što su koeficijent protoka, koeficijent trenja, gubitak energije usled trenja, protok ulja kao i radnu temperaturu ležaja. Namerno nije data završna kontrola podataka u vidu zadovoljava ili ne, jer je samu radnu temperaturu moguće korigovati odnosno i prilikom ne zadovoljavanja uslova radne temperature moguće je ležaj usvojiti.



Slika 8. Desni deo glavnog prozora

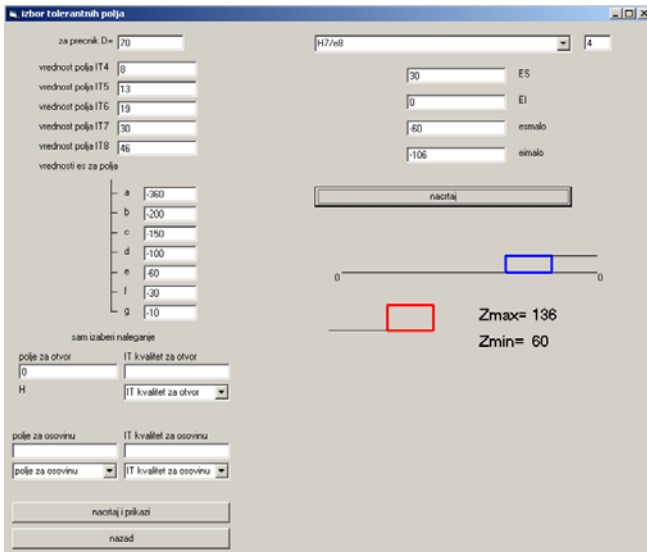
Ovaj deo programa računa gubitke energije usled trenja (P_G) i na osnovu uslova jednakosti gubitka energije usled trenja i odvedene toplote upoređuje to sa Q_p . Iz ovog uslova sledi razlika temperature između izlazne (ϑ_i) i ulazne (ϑ_u) temperature ulja čija se polovina dodaje ulaznoj temperaturi i dobija radna temperatura ulja.

Provera granicnog broja obrtaja je važna kod hidrodinamičkih ležajeva radni vek. Nakog poređenja granicnog i radnog broja obrtaja dobija se informacija o granicnoj učestanosti broja obrtaja.

Kod same provere kliznih ležajeva bitno je izvršiti i izbor naleganja. Loš izbor naleganja mogao bi da prouzrokuje zatore manje nego što je to potrebno za ispunjenje uslova o minimalnoj debljini uljnog filma.

Slika 9. pokazuje izbor naleganja, odnosno izbor tolerantijских polja. Sa desne strane prozora postoji mogućnost izbora već zadatih naleganja koje se preporučuju literaturom i kojim je moguće ostvariti apsolutni zazor ležaja dok je u donjem levom uglu moguće ručno izabrati tolerantna polja kao i kvalitet kako za ležaj tako i za rukavac. U prozoru se dobijaju sve informacije vezane za visine tih polja kao i informacije vezane za veličine svih polja, a za dati prečnik ležaja kako

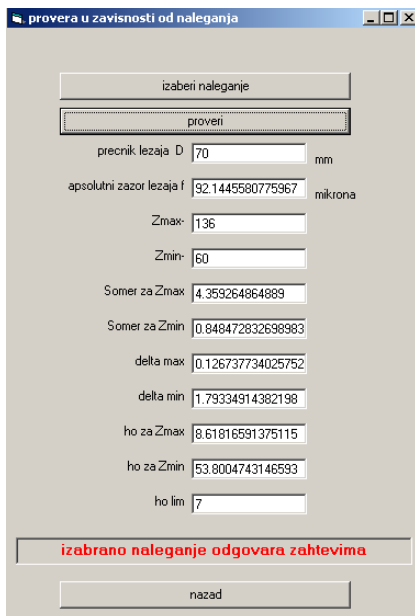
bi se lakše opredelili za naleganje. Program, takođe, vrši i grafički prikaz veličine polja i njihov položaj u odnosu na nultu liniju.



Slika 9. Izbor naleganja

Povratkom na prozor u kome se vrši provera moguće je dobiti informacije vezane za minimalnu debljinu uljnog filma za slučaj kada je sklop izrađen sa maksimalnim i sa minimalnim zazorom (slika 10).

U prozoru se eksplicitno naglašava da li naleganje odgovara ili ne i nakon toga se vrši povratak na glavni prozor u kome je moguće izlazne podatke dobiti u Microsoft Word programu odakle je moguće štampanje istog.



Slika 10. Provera nosivosti u odnosu na izabrano naleganje

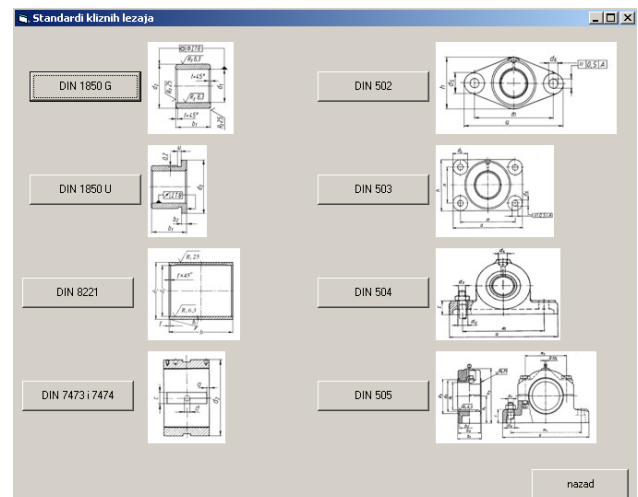
4. PROGRAMSKI MODUL ZA MODELIRANJE RADIJALNIH KLIZNIH LEŽAJA

U delu za modeliranje moguće je izvršiti izbor jednog od 9 ponuđenih standarda za klizne ležajeve (slika 11).

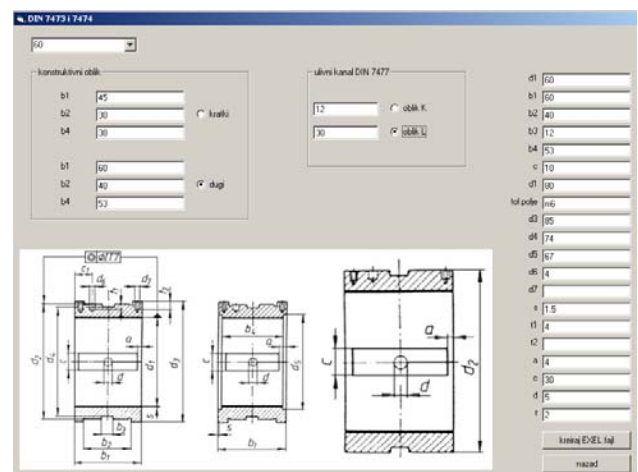
Nakon toga program će otvoriti novi prozor u zavisnosti od izabranog standarda i dozvoliće izbor prečnika ležaja na osnovu kojeg će izvršiti očitavanja i prikazaće sve ostale veličine koje definišu izabrani ležaj. Postoje i standardi koji za isti prečnik ležaja imaju više podvarijanti, takođe, program će ponuditi i dozvoliti usvajanje podvarijanti (slika 12.). Nakon ovoga je moguće dobiti EXCEL tabelu.

Primer 3.-kreiranje EXCEL tabele.

```
Dim x As Object
Set x = CreateObject("Excel.Sheet")
x.Application.Visible = True
x.Application.Workbooks.Add
x.Application.Workbooks.Open App.Path &
"\ET\din_8221.xls", , True
x.Application.Visible = True
x.Application.Cells(1, 1).Value = "d1stand"
x.Application.Cells(2, 1).Value = "bstand"
x.Application.Cells(3, 1).Value = "d2stand"
x.Application.Cells(4, 1).Value = "fstand"
x.Application.Cells(1,2).Value = Val(Text1.Text)
x.Application.Cells(2,2).Value = Val(Text2.Text)
x.Application.Cells(3,2).Value = Val(Text3.Text)
x.Application.Cells(4,2).Value = Val(Text4.Text)
```



Slika 11. Standardi kliznih ležaja



Slika 12. Izbor standardnog ležaja za modeliranje

Da bi dobili odgovarajući model u Inventoru potrebno je slediti određenu proceduru:

1. Otvoriti Inventor datoteku sa željenim standardom. (Inventor otvara model traženog standarda ali sa drugim dimenzijama)
2. U Microsoft EXEL dokumentu pritisnuti ikonu SAVE i dozvoliti prepisivanje postojeće datoteke
3. U Inventoru kliknuti ikonu UPDATE

Kao izlaz se dobija 3D model koga je sada moguće dorađivati, dodati ga u sklopni model ili dobiti kompletnu tehničku dokumentaciju (slika 13.).



Slika 13. 3D model ležišne čaure dobijene u Autodesku Inventoru

Svi modeli standardnih kliznih ležaja su parametarski modelirani i veliki broj dimenzija se empirijski sračunava kako bi se došlo do što boljeg oblika modela (slika 14.).

Parameter Name	Unit	Equation	Nominal Value	Tol.	Model Value	Comment
d0	mm	d1stand	40.000000		40.000000	
d1	mm	d3stand	90.000000		90.000000	
d2	mm	b1stand - 4 mm	66.000000		66.000000	
d3	deg	0 deg	0.000000		0.000000	
d4	mm	d1stand * 1.5 ul	60.000000		60.000000	
d5	mm	2 mm	2.000000		2.000000	
d6	deg	0 deg	0.000000		0.000000	
d7	mm	2 mm	2.000000		2.000000	
d8	mm	1 mm	1.000000		1.000000	
d10	mm	d1stand * 1.5 ul	60.000000		60.000000	
d11	mm	2 mm	2.000000		2.000000	
d12	deg	0 deg	0.000000		0.000000	
d13	mm	2 mm	2.000000		2.000000	
d14	mm	1 mm	1.000000		1.000000	
d16	mm	1 mm	1.000000		1.000000	
d17	mm	h1stand	60.000000		60.000000	
d18	mm	ovstand	190.000000		190.000000	

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred iznetog može se zaključiti sledeće:

1. Tendencije razvoja i performanse savremenih mašina kao i savremene tehnologije nameću potrebu prioritarnog razvoja i primene kliznih ležaja.
2. Zbog velikog broja uticajnih parametara neophodnih za proračun kao i važnosti i značaja uležištenja kod mašinskih sistema svrsishodna je primena računara pri konstruisanju radijalnih i aksijalnih kliznih ležaja.
3. Razvijeni programski paket za proračun i modeliranje hidrodinamičkih kliznih ležaja omogućuje u znatnoj meri automatizaciju procesa konstruisanja i dobijanje optimalnih konstrukcionih rešenja.

5. LITERATURA

- [1] Milčić, D., Miltenović, V., Stevanović, D., Anđelković, B.: **CAD sistem za konstruisanje kliznih ležaja.** Međunarodni skup Teška mašinogradnja - TM'96, 1996., Kraljevo, s. 8.49-8.54.

- [2] Miltenović, V., Milčić, D.: **Konstruisanje hidrodinamičkih kliznih ležaja pomoću računara.** Peta međunarodna konferencija o tribologiji - YUTRIB '97, Kopaonik., 18-20, jun 1997. Štampan u časopisu- Tribologija u industriji, Volume 20, No. 1, 1998., s.31-35.
- [3] Miltenović V.: **MAŠINSKI ELEMENTI – oblici, proračun, primena,** Mašinski fakultet Niš, 2006.