

**PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE PUŽNOG REDUKTORA
ZA ZATVARANJE LEPTIRASTOG ZATVARAČA**

*Miloš Ristić, mr Boban Cvetanović, mr Anica Milošević
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu*

Sadržaj - Ovaj rad opisuje savremene softverske pakete primenjene u procesu projektovanja i konstruisanja konkretnog proizvoda tj. pužnog reduktora za zatvaranje leptirastih zatvarača. U uvodnom delu rada opisane su faze PPK (procesa projektovanja i konstruisanja) a zatim i simultano projektovanje. Radom je opisan proračun pužnog para za pogon leptirastog zatvarača sa njegovim najvažnijim karakteristikama, primenom i izvođenjem. Za proračun potrebnih veličina korišćen je softverski program ZPS (programski sistem za projektovanje zupčastih prenosnika snage), a sami modeli i tehnička dokumentacija izrađeni su odgovarajućim modulima SolidWorksa.

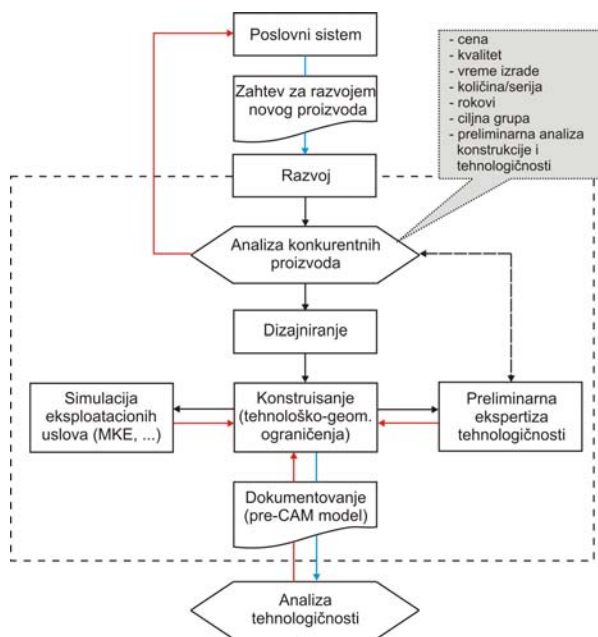
KLjučne reči – Projektovanje za proizvodnju (Design for Manufacturability - DFM), Projektovanje pomoću računara, CAD (Computer Aided Design), Projektovanje i konstruisanje, Inženjerstvo, Pužni par, Leptirasti zatvarač.

1. UVOD

U tehničkim naukama došle su do izražaja sve pozitivne strane spoja čovek-računar. Na osnovu mnogih naučnih disciplina, nastala je grupa računarom podržanih oblasti, tzv. **CA** (Computer Aided) discipline. Tako je na osnovu nauke o konstruisanju nastalo i računarom podržano projektovanje i konstruisanje, tj. **CAD** (Computer Aided Design), najčešće prevedeno kao "projektovanje pomoću računara", čime su računarom podržani sistemi počeli da bivaju mnogo više od običnog alata, i trenutno pretenduju da postanu, ako ne ravnopravan učesnik u kreativnim procesima, ono bar mudar savetnik.

2. PROJEKTOVANJE ZA PROIZVODNJU

Globalna konkurencija stalno podstiče unapređivanje proizvodnih tehnologija, sa ciljem da se na tržištu dobiju novi, dobro dizajnirani i kvaliteteno izrađeni proizvodi sa dobrom cenom i u kratkom vremenskom periodu. Troškovi procesa dizajna/konstruisanja proizvoda učestvuju u malom udelu u ukupnim troškovima proizvoda. Ipak, troškovi koji nastaju naknadnim izmenama konstrukcije proizvoda uvećavaju se vremenom pa je od velike važnosti da se suštinske izmene tokom razvoja proizvoda odvijaju brzo i time uštede značajna sredstva. Ovakvi pokušaji doveli su do pojave metodologija projektovanja za proizvodnju (eng. Design for Manufacturability - DFM). [1] Projektovanje za proizvodnju uključuje istovremeno razmatranje projektnih zadataka i tehnoloških ograničenja (sl. 1) u cilju prepoznavanja i prevazilaženja proizvodnih problema još u fazi projektovanja proizvoda i time smanji potrebno vreme razvoja proizvoda. [6] [14]



Slika 1. Proces razmatranja projektantskih zadataka i tehnoloških ograničenja u kontekstu analize tehnološkosti

3. STRUKTURA I FAZE PROCESA PROJEKTOVANJA I KONSTRUISANJA (PPK)

Proces projektovanja i konstruisanja (PPK) najčešće se prikazuje u vidu dijagrama toka. Na slici 2 prikazan je dijagram toka PPK prema nemačkom standardu VDI 2222. [11] Ovakva struktura PPK odnosi se na mašingradnju, metalsku i metaloprerađivačku industriju.

Po ovom dijagramu, PPK se odvija u četiri faze, i to:

Faza definisanja zadatka, Faza projektovanja, Faza konstruisanja i Faza ispitivanja i verifikacije konstrukcije.

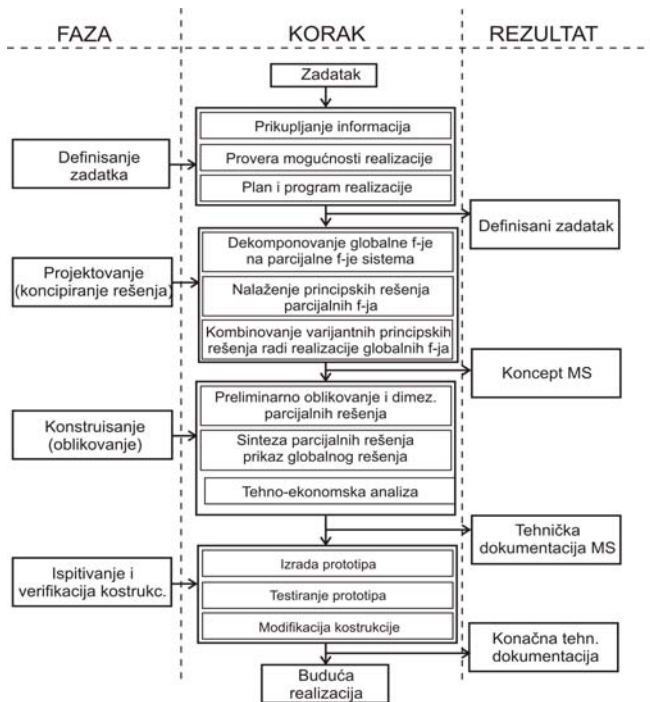
Osnovni ciljevi primene računara u PPK jesu:

Skraćenje procesa projektovanja i konstruisanja, Povećanje kvaliteta proizvodnje, Smanjenje troškova proizvodnje.

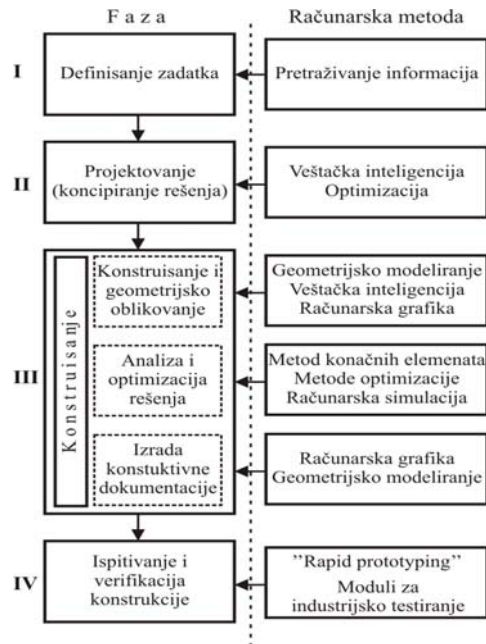
Aktivnosti PPK mogu se podeliti na:

Zbornik radova XXXII Majskog skupa održavalaca sredstava rada Srbije Vrnjačka Banja 2009.

kreativne (npr. formiranje koncepta proizvoda), iterativne (npr. razni proračuni) i rutinske (npr. izrada dokumentacije)
Primena računara u PPK započela je upravo u onim njegovim fazama koje se odlikuju visokim procentom iterativnih i rutinskih aktivnosti – pre svega za vršenje raznih analiza i izradu tehničkih crteža. Na slici 3 dat je opis aktivnosti i odgovarajuće računarske aplikacije. [5]



Slika 2. Struktura PPK mašinskih sistema prema VDI 2222



Slika 3. Faze PPK i odgovarajuće računarske aplikacije

Definisanjem zadatka utvrđuje se program razvoja novih proizvoda i postavlja projektni zadatak. Računar u ovoj fazi uglavnom pretražuje informacije, najčešće putem interneta. [9]

Tokom projektovanja proizvoda definiše se osnovna struktura proizvoda, principi rada proizvoda, njegove osnovne komponente / delovi, dimenzije, itd. Uloga računara tokom ove faze nije samo u pojedinim proračunima. Korišćenjem različitih softverskih paketa za industrijski dizajn omogućava se automatsko pretvaranje tehničkih crteža u geometrijske modele. Osim toga, razvijeni su i programi koji definišu strukturu budućeg proizvoda, tačnije funkcionalna povezanost podsklopova i elemenata mašinskih sistema. [3]

Tokom preliminarnog konstruisanja i geometrijskog oblikovanja vrši se definisanje oblika i dimenzija svih komponenti proizvoda. Najvažniju ulogu ovde igraju metodi geometrijskog modeliranja i računarska grafika.

Zatim se vrši analiza i optimizacija konstruktivnog rešenja - vrše se različiti proračuni, analize i simulacije u cilju predviđanja ponašanja proizvoda u uslovima eksploatacije. Najčešće korišćen metod u ovoj fazi je metod konačnih elemenata – MKE (Finite Element Analysis – FEA). On omogućava vršenje statičkih i dinamičkih proračuna elastodinamičkih svojstava mašinskih konstrukcija sa linearnim i nelinearnim svojstvima materijala i geometrije kao i proračune temperaturnih polja, probleme strujenja fluida, elektromagnetnih polja itd. Takođe se često vrši i provera kinematskih i dinamičkih svojstava mehanizama, tj. simulacija njihovog rada u realnim uslovima.

Izrada tehničke dokumentacije zasnovana je na računarskim programima. [13]

Da bi proizvod počeo da se proizvodi neophodno je isti ispitati i verifikovati. U ovoj fazi vrši se brza izrada prototipova (rapid prototyping) i ispitivanje njihovih funkcionalnih svojstava, svojstava čvrstoće i estetskih svojstava. Brza izrada prototipova omogućava da se na osnovu računarskog modela proizvoda, upotrebom mehaničkih, toplotnih metoda ili laserskog zračenja, uz upotrebu specijalnih materijala za vrlo kratko vreme dobije prototip budućeg proizvoda.

4. SIMULTANO INŽENJERSTVO

CAD sistemi, namenjeni automatizaciji procesa projektovanja i konstruisanja, samo su jedan, mada vrlo bitan deo računarom podržanih sistema za podršku proizvodnom i poslovnom procesu. Zakoni tržišta nameću zahteve za brzim razvojem kvalitetnih proizvoda sa što nižim troškovima proizvodnje. Da bi se zadovoljili ovi, očigledno oprečni zahtevi, potreban je visok stepen integracije i koordinacije svih automatizovanih aktivnosti procesa projektovanja, proizvodnje i šire.

Postojeći komercijalni CAD sistemi i sistemi za automatizovano projektovanje, upravljanje i kontrolu tehnološkim procesima (CAM - Computer Aided Manufacturing) pokrivaju samo pojedine inženjerske delatnosti, a samim tim nije postignut i neophodan kontinuitet u izvršenju automatizovanih aktivnosti inženjera. [5]

Rešenje za ove probleme se traži u tzv. konceptu simultanog projektovanja (simultanog inženjerstva), a kao podrška se primenjuju različite metode veštačke inteligencije i objektnog programiranja. [16]

Zbornik radova XXXII Majskog skupa održavalaca sredstava rada Srbije **Vrnjačka Banja 2009.**

Jedan od ključnih koncepta koji je omogućen upravo razvojem i primenom informacionih tehnologija, a usmeren ka ispunjavanju pomenutih zahteva globalnog tržišta, odnosi se na konkurentno inženjerstvo (eng. "concurrent engineering – CE").

Njegova osnovna karakteristika je koncept projektovanja proizvoda u kome se simultano integriše široki spektar konstruktivnih, tehnoloških, ekonomskih i drugih zahteva, u cilju smanjenja vremena i troškova razvoja, a povećanja kvaliteta i vrednosti proizvoda. Stoga se često sreće i drugi naziv - simultano inženjerstvo (eng. "simultaneous engineering"), a obzirom na stalno potenciranje računarske integracije svih aktivnosti azvoja i realizacije proizvoda, poslednjih godina koristi se i odrednica integrisan razvoj proizvoda i procesa (eng. "integrated product and process development").

Simultano inženjerstvo predstavlja pristup integrisanom razvoju (složenih) proizvoda, kojim je omogućeno istovremeno odvijanje svih relevantnih aktivnosti, postupaka i procesa, uključujući proizvodnju i poslovanje, nad modelom proizvoda. [2]

5. PRORAČUN PUŽNOG PARA ZA POGON LEPTIRASTOG ZATVARAČA

Pužni reduktori sa ograničenjem hoda se primenjuju za pogon leptirastih i loptastih zatvarača kod kojih je ugao obrtanja 90°. Prilagođeni su za ručni i elektromotorni pogon.

Za ručni pogon ugrađuje se točak, a za motorni pogon mehanički podešivač. Veličine ulaznih i izlaznih prikqučaka definisane su standardom ISO 5211.

U radu biće opisan postupak za dimentionisanje pužnog reduktora, za ručni pogon leptirastog zatvarača.

Dosadašnje izvođenje pužnih reduktora ovakvog tipa konstruktivno je rešeno segmentom pužnog točka nešto većeg od 90°, sa graničnicima ugrađenim na kućištu reduktora, kojima se šteluje hod od 90°.

5.1 Karakteristike leptirastih zatvarača

5.1.1 Primena leptirastih zatvarača

Leptirasti zatvarači su uređaji koji se koriste za prekidanje i uspostavljanje strujanja fluida u cevovodima i cevnim sistemima. Stavljanjem zapornog organa u međupoložaj moguće je vršiti i regulaciju protoka.

Leptirasti zatvarači su primenljivi za radne pritiske do 40 bara, temperature do 250 stepeni, imaju kompaktnu konstrukciju i mali otpor strujanju, dobre mogućnosti za regulaciju, mogućnost daljinskog upravljanja i ugradnje u bilo kom položaju i jednostavno rukovanje i održavanje.

Zahvaljujući ovim karakteristikama, leptirasti zatvarači nalaze najširu primenu u postrojenjima za dobijanje, pripremu i distribuciju vode za piće, u postrojenjima za navodnjavanje, u energetske postrojenjima, u sistemima za grejanje i klimatizaciju, u instalacijama komprimovanog vazduha, u postrojenjima za pneumatski transport zemnog gasa, za veliki broj procesa u hemijskoj, prehrambenoj i papirnoj industriji i drugim oblastima privredne delatnosti.

5.1.2 Izvođenje leptirastih zatvarača

Leptirasti zatvarači se izrađuju sa ugradbenim dužinama koje odgovaraju standardima SRPS EN 558-1:2003 i DIN 3202 - F4, a priključne mere prirubnica su prema standardu SRPS ISO 7005-1:1998 i DIN 2501.

Nazivni prečnici leptirastih zatvarača kreću se od DN 80 do DN 3000mm, a pritisci od NP 2,5 do NP 40 bara. U zavisnosti od temperature radnog fluida, leptirasti zatvarači se izrađuju za tri temperaturna područja: do 80, do 150 i do 250 stepeni celzijusa.

Za standardna izvođenja leptirastih zatvarača definisani su pogoni s obzirom na nazivni prečnik, pritisak, temperaturu i način upravljanja armaturom cevnog sistema, i to: ručni pogon preko ručice, ručni pogon preko pužnog reduktora i elektro - mehanički pogon. [8]

5.1.3 Materijal za izradu leptirastih zatvarača

Od materijala za izradu pužnog para zahteva se, pored odgovarajuće izdržljivosti u odnosu na habanje i piting, i da imaju male otpore klizanja, čime se omogućuje visok stepen iskorišćenja pužnog para.

Najpovoljniji rezultati dobijaju se izradom puža od kaljenog (cementiranog) čelika sa brušenim zupcima i pužnog zupčanika od centrifugalno livenih kalajnih bronzi sa dodatkom nikla.

Pored toga dobre karakteristike imaju i aluminijumske bronzne i mesing a primenjuju se i perlitni sivi i nodularni liv prvenstveno za male brzine klizanja do 2 m/s.

Nodularni liv ima naročito veliku izdržljivost podnožja, te je pogodan za opterećenja sa velikim ali retkim udarima.

Za izradu puževa, pored cementiranih čelika sa tvrdoćom bokova do 62 HRC, koriste se i indukciono i plameno kaljeni čelici, koji su namenjeni za veća opterećenja.

Za manja opterećenja i manje brzine klizanja (do 3 m/s) koriste se čelici za poboljšanje, koji se takođe koriste za velika ali kratkotrajna udarna opterećenja, s obzirom da imaju manju osetljivost na koncentraciju napona. [12]

Kućište i zaporno telo leptirastih zatvarača izrađuje se od konstruktivnog čelika zavarivanjem, a vratila od nerđajućeg čelika i od čelika za poboljšanje sa kliznim površinama od nerđajućeg čelika.

Klizni ležajevi su od sivog liva, a izbor materijala za zaptivne elemente zavisi od pritiska i temperature za koje su namenjeni leptirasti zatvarači. [4] [7]

Zbornik radova XXXII Majskog skupa održavalaca sredstava rada Srbije
Vrnjačka Banja 2009.

6. PRORAČUN PUŽNOG REDUKTORA ZA POGON LEPTIRASTOG ZATVARAČA POMOĆU KOMPJUTERSKOG PROGRAMA "ZPS"

Na Mašinskom fakultetu u Nišu razvijen je programski sistem za simultano projektovanje zupčastih prenosnika snage [10] koji ima šest modula. [15]

Za realizaciju proračuna potrebno je uneti sledeće polazne podatke :

1	Modul u mm	4
2	Broj obrtaja motora u o/min	100
3	Snagu motora u KW	1.1
4	Faktor radnih uslova	1,00
5	Radni vek u satima	600
6	Broj početaka puža	1
7	Broj zubaca pužnog zupčanika	40
8	Pužni broj	10,00
9	Koeficijent pomerawa profila	0
10	Ugao standardnog profila u stepenima	20
11	Materijal pužnog zupčanika	11
12	Tehnologiju izrade puža, (cementiran i brušen , poboljšan i nebrušen ili od SL i nebrušen.)	
13	Oblik zavojnice puža (ZA, ZN, ZI , ZK, ZH, ...)	
14	Srednja hrapavost puža	6
15	Oznaku pogonskog zupčanika - puž ili pužni zupčanik	
16	Sredstvo za podmazivanje - min.ulje, sintetičko ulje ili tehnička mast	
17	Uneti smer zavojnice puža	desna ili leva
18	Uneti smer obrtanja puža	smer kazaljke na satu ili suprotan smer
19	Uneti položaj puža	sa donje ili gornje strane
20	Uneti osno rastojanje između oslonaca	180; 60 mm

Nakon unešenih polaznih podataka program automatski izračunava i daje rezultate svih ostalih parametara potrebnih za izradu ostatka tehničke dokumentacije u tabelarnom pregledu.

**Zbornik radova XXXII Majskog skupa održavalaca sredstava rada Srbije
Vrnjačka Banja 2009.**

GEOMETRIJSKI PODACI	DI MENZ.	PUZ	PUZ. ZUPC.	OZN.
<i>Ugao nagiba osnovnog profila</i>	step.	20.		al fan
<i>Broj zuba</i>		1.	40.	z
<i>Puzni broj</i>		10.000		q
Ugao srednje zavojnice	step.	5.7106		gamam
<i>Modul</i>	mm	4.0		m
Modul u normalnom preseku	mm	3.980		mn
Precnik srednjeg cilindra	mm	40.000	160.000	dm
Koeficijent pomeranja prof.		.000		x
Oсно rastojanje	mm	100.00		a
Precnik podeonog kruga	mm	40.000	160.000	d
Precnik temenog kruga	mm	48.000	168.000	da
Precnik podnog kruga	mm	30.400	150.400	df
Prec. cil. dela tem. povr. puz. zup.	mm		172.000	de
Duzina puza	mm	51.225		b1
Aktivna sirina puz. zupcanka	mm		30.533	b2

OPTERECENJE PUZNOG PARA	DI MENZ.	PUZ	PUZ. ZUPC.	OZN.
<i>Nominalna snaga</i>	KW	1.10		P
Obrtni moment	Nm	105.039	2026.969	T
<i>Broj obrtaja</i>	o/min	100.00	2.500	n
Obimna sila	N	5251.95	-25337.12	Ftm
Radijalna sila	N	9417.99	-9417.99	Frm
Aksijalna sila	N	25337.12	-5251.95	Fam

GEOMETRIJSKI PODACI	DI MENZ.	PUZ	PUZ. ZUPC.	OZN.
NOSIVOST PUZNIH PAROVA				
Faktor elastičnosti mater.	$N^{(1/2)}/mm$	163.9		ZE
Faktor kontakta		2.80		ZRO
Faktor radnog veka		1.60		Zh
Faktor brojeva obrtaja		.967		Zn
Radni napon boka zupca	N/mm^2	653.21		Si gh
Dinamička cvrstoca bokova	N/mm^2	265.00		Si ghI
Kritični napon bokova	N/mm^2	409.83		Si ghn
Stepen sigurnosti bokova		.63		Sh
Radni napon u podnožju zuba	N/mm^2	208.49		Si gf
Kritični napon u pod. zuba	N/mm^2	502.00		Si gfI
Stepen sigurnosti podnožja		2.41		Sf
<i>Rastojanje oslonaca vratila puza</i>	mm		180.00	I1
<i>Rastojanje oslonaca vratila puznog zup.</i>	mm		60.00	I2
OPTERECENJE LEZAJA VRATILA PUZA				
X - komponenta lezaja A	N	-2625.98		XA
Y - komponenta lezaja A	N	-1893.76		YA
Z - komponenta lezaja A	N	-25337.12		ZA
Rezult. rad. opt. lezaja A	N	3237.60		FAR
X - komponenta lezaja B	N	-2625.98		XB
Y - komponenta lezaja B	N	-7524.23		YB
Rezult. rad. opt. lezaja B	N	7969.30		FBR
OPTERECENJE LEZAJA VRATILA PUZNOG ZUPCANIKA				
Y - komponenta lezaja C	N	11711.59		YC
Z - komponenta lezaja C	N	12668.56		ZC
X - komponenta lezaja C	N	5251.95		XC
Rezult. rad. opt. lezaja C	N	17252.65		FCR
Y - komponenta lezaja D	N	-2293.61		YD
Z - komponenta lezaja D	N	12668.56		ZD
Rezult. rad. opt. lezaja D	N	12874.51		FDR

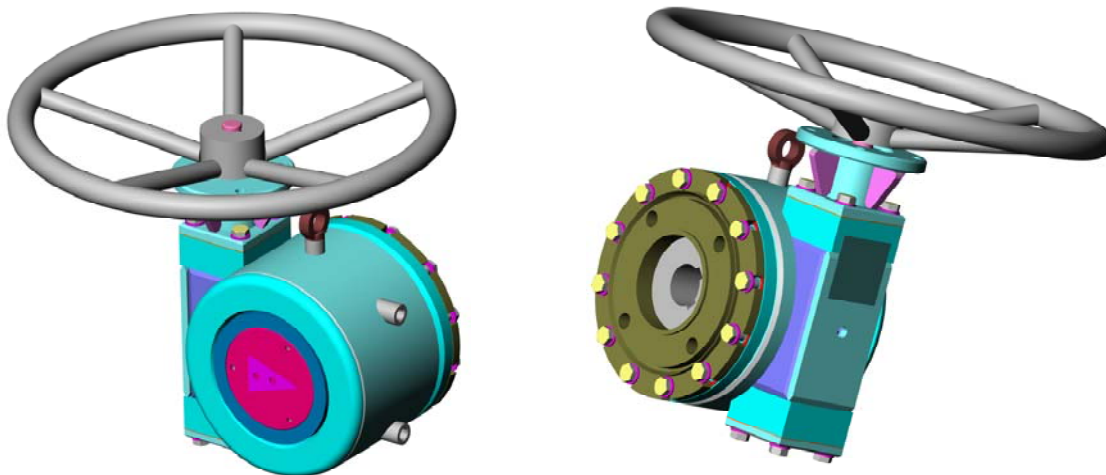
Tabelarni pregled rezultata proračuna pužnog reduktora izrađenih pomoću kompjuterskog programa "ZPS"

Zbornik radova XXXII Majskog skupa održavalaca sredstava rada Srbije Vrnjačka Banja 2009.

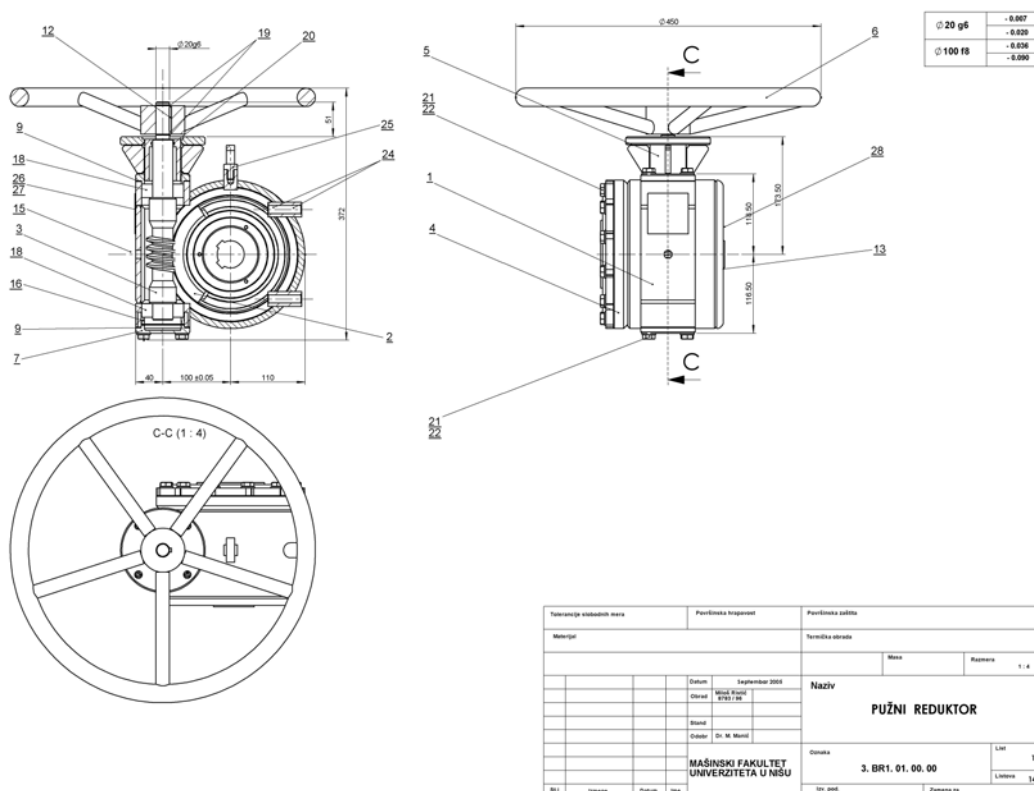
7. PROCES PROJEKTOVANJA PUŽNOG REDUKTORA ZA ZATVARANJE LEPTIRASTOG ZATVARAČA

Proces projektovanja pužnog reduktora za zatvaranje leptirastih zatvarača opisan ovim radom izvodi se u tri faze:

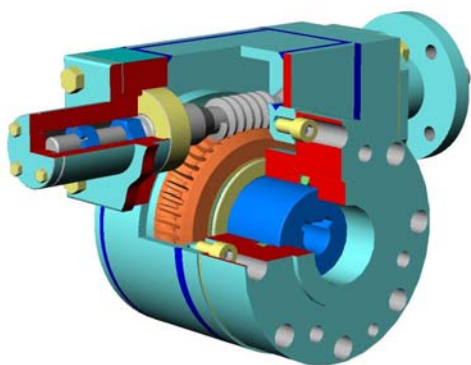
- 3D modeliranje delova sklopa (SolidWorks modul - **Part**)
- Izrada sklopa alata (SolidWorks modul - **Assembly**)
- Izrada tehničke dokumentacije (SolidWorks modul - **Drawing**)



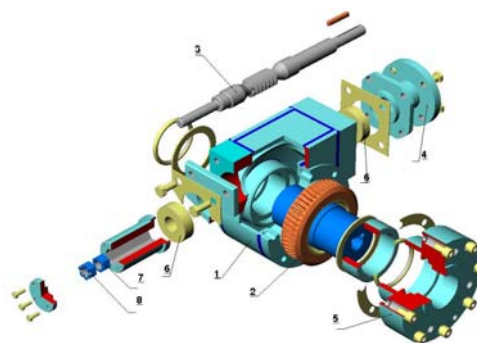
Slika 4. 3D model pužnog reduktora za zatvaranje leptirastih zatvarača



Slika 5. Sklopni crtež pužnog reduktora dobijen automatizovanim modulom za izradu tehničke dokumentacije



Slika 6. 3D model - Sklop u delimičnom preseku



Slika 7. 3D model – Postupak montaže sklopa

8. ZAKLJUČAK

Primena savremenih CAD/CAM paketa za projektovanje i izradu proizvoda u velikoj meri automatizuje i olakšava proces projektovanja delova i sklopova.

Zahvaljujući CAD/CAM paketima moguće je jednim projektovanjem uraditi različite varijante proizvoda, jer su modifikacije proizvoda znatno olakšane a sam kvalitet i tačnost dokumentacije je na visokom nivou. Pri tom su greške kod sklopova i izmena dokumentacije smanjene.

U radu je primenjen i prikazan "Programski sistem za projektovanje zupčastih prenosnika snage - ZPS" koji veoma brzo obrađuje ulazne podatke i daje izlazne veličine. Podaci dobijeni ovakvim proračunom direktno se koriste kod projektovanja. Sam proces izrade 3D modela moguće je uraditi uz pomoć mnogobrojnih „CAD paketa“ dostupnih na tržištu: AutoCAD, Pro/ENGINEER, SolidWorks, CATIA, ... U odnosu na početak razvoja ovih programa, danas su oni svojim karakteristikama i mogućnostima postali približni, a svojim okruženjem podsećaju jedni na druge.

Korišćenjem savremenih računarskih paketa olakšava se rad inženjeru, smanjuje vreme potrebno za modifikaciju proizvoda, smanjuju troškovi razvoja proizvoda i mogu se virtuelno projektovati delovi ili prototipovi u realnim uslovima.

LITERATURA

- [1] Cardone A.,: *A feature-based shape similarity assessment framework* - Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, 2005.
- [2] Devedžić G., *CAD/CAM tehnologije*, udžbenik, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2006.
- [3] Gupta S.K., Cardone A., Deshmukh A.,: *Content-Based Search Techniques for Searching CAD Databases*, Computer-Aided Design & Applications, Vol. 3, Nos. 1-4, 2006.
- [4] Katalog, prospektni materijal i tehnička dokumentacija firme "MIN-AGH" a.d. Gadžin Han kod Niša.
- [5] Korunović N.,: *Elementi CAD sistema i uporedna analiza komercijalnih CAD paketa* – seminarski rad na posrediplomskim studijama, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 1999.
- [6] Manić M., Devedžić G., Stojković M.,: *Analiza tehnološkičnosti primenom tehničkih elemenata*, 31. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac 2006.
- [7] Marinković Z., Jovanović M., Vulić A., Petrović Ž., Milić P.: *Strategija razvoja familija cevnih zatvarača "MINAGH"*, Drugi skup o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu, KOD-2002 Novi Kneževac, Zbornik radova, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2002, str. 115-122.
- [8] Marinković Z., Vulić A., Marinković D.,: *Electro-mechanical drives of butterfly valves*, International conference "Power Transmissions '03", Mechanical Engineering Faculty, University of Nis, Serbia and Montenegro.
- [9] Miltenović V.,: *Razvoj proizvoda – strategij, metode, primena*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš 2003.
- [10] Miltenović V., Milčić D.,: *Proračun mašinskih elemenata pomoću računara*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš 1997.
- [11] Milčić D.,: *Simultano projektovanje rotacionih alata i tehnoloških procesa obrade rezanjem*, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 1998.
- [12] Ristić S., Milčić D.,: *Mašinski elementi – praktikum*, Viša tehnička škola u Nišu i Mašinski fakultet u Nišu, Niš 2001.
- [13] Ristić M., Cvetanović B.,: *Projektovanje proizvoda primenom računara*, Zbornik radova Visoke tehničke škole u Nišu, Niš, 2007.
- [14] Stojković M.,: *Virtuelni tehnološki savetnik*, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2002.
- [15] ZPS, *Programski sistem za projektovanje zupčastih prenosnika snage*, Mašinski fakultet u Nišu, 1997.
- [16] Yoshimura M.,: *System Design Optimization for Product Manufacturing*, Concurrent Engineering 2007; 15; 329