

Sprovedena analiza sa stanovišta pomeraja i napona jasno pokazuje da se usled topotnih opterećenja najveća pomeranja čvorova u radijalnom pravcu javljaju na maksimalnom prečniku vrha vretena a maksimalni ekvivalentni naponi na kotrljanim telima i unutrašnjem prstenu prednjeg ležaja. Očigledno je da neravnomerno zagrevanje sklopa glavnog vretena izaziva sopstvene deformacije i napone i bez prisustva spoljašnjih sila.

## 7. Literatura

- [1] ANSYS basic analysis procedures guide, Frist edition, SAS IP, Inc., 2000
- [2] ANSYS strutural analysis guide, edition, SAS IP, Inc., 2000
- [3] ANSYS thermal analysis guide, edition, SAS IP, Inc., 2000
- [4] Bossmanns, B., Jay, F., T.: A thermal model for high speed motorized spindles, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, (1999), Pages 1345–1362
- [5] Cheng-Hsien Wu,Yu-Tai Kung: Thermal analysis for the feed drive system of CNC machine center, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, (2003), Pages 1521–1528
- [6] Choi, D., Kim, S., Jung, S., Kim, Y.: Thermal characteristics of the hifh speed motor spindle by the variation of bearing preload and cooling conditions, Machine Engineering, Wrocław, Vol.4, No. 1-2, 2004, Pages 150 - 163
- [7] Sun, M., Kim, Sun, K. L.: Prediction of thermo-elastic behavior in a spindle bearing system considering bearing surroundings, International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 41 (2001), Pages 809–831
- [8] Kovačević, Ž: Računarska analiza statičkog i dinamičkog ponašanja sklopa glavnog vretena i eksperimentalno ispitivanje strugova familije PA, diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka,Novi Sad, 1997.
- [9] Zeljković, M.: Sistem za automatizovano projektovanje i predikciju ponašanja sklopa glavnog vretena mašina alatki, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.

## ANALYSIS THERMAL BEHAVIOUR MAIN SPINDLE ASSEMBLY

*This paper describes the thermal analysis of the lathe main spindle assembly for non stationary conditions. The global thermal characteristics as well as temperatures and dilatations are defined, using the finite element method with programme system ANSYS. The power produced due to friction in the main spindle bearings is taken as the main source of heat which is nod being changed by the time*

Autori: Zeljković dr Milan, van. prof. Živković Aleksandar dipl.ing.maš., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel. +381 21 458 433, Faks:+381 21 454 496 e – mail: milanz@uns.ns.ac.yu ; [acoz@uns.ns.ac.yu](mailto:acoz@uns.ns.ac.yu)

MAŠINSKI FAKULTET U KRAGUJEVCU  
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA MAŠINSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE



Naučno-stručni skup

IRMES ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ  
MAŠINSKIH ELEMENATA  
I SISTEMA  
'04



Kragujevac, 16. i 17. septembar 2004. god. Hotel "Šumarice"

## PRIMENA RAČUNARA U PROJEKTOVANJU AUTOMATSKIH TRANSMISIJA

Šušteršić V., Jovičić N., Babić M., Gordić D.

**Rezime:** Automatske transmisije predstavljaju veoma kompleksan podsistem u motornim vozilima. Njihovo projektovanje zahteva poznavanje velikog broja naučnih oblasti iz mašinstva i elektronike. Ali, zbog brojnih prednosti nad drugim tipovima prenosnika snage, a pre svega onih koji proističu iz principa dejstva turbomenjača, diferencijala, friкционih lamelastih spojnica i kočnica najširu primenu imaju automatski turboplanetarni menjaci. Osnovne prednosti, o kojima je reč, su brz odziv na promene opterećenja i skoro potpuno uklanjanje dinamičkih udara na pogonsku grupu, zatim olakšan rad vozača, povećanje veka motora i agregata, povećanje komfora, prohodnosti vozila kao i poboljšanje vučno-brzinskih karakteristika.

Tokom poslednjih godina, sve je značajnija upotreba računara u projektovanju kako pojedinih komponenti, tako i celokupne automatske transmisije. Pri tome treba razlikovati dva pristupa. Prvi se odnosi na projektovanje komponenti automatske transmisije, a drugi na projektovanje sistema automatskog upravljanja transmisijom. U radu je definisana metodologija savremenog projektovanja komponenti automatske transmisije uz upotrebu računara, dat je pregled najpoznatijih softvera za te namene koji se mogu naći na svetskom tržištu i prikazani su primeri projektovanja komponenata i sistema uz pomoć računara.

**Ključne reči:** automatska transmisijsa, računari, projektovanje i modeliranje

### 1. Uvod

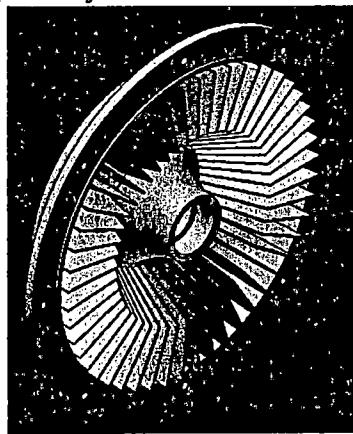
U današnjoj globalnoj ekonomiji veoma važnu ulogu igra brza isporuka proizvoda na tržište. Brz razvojni ciklus proizvoda dovodi do toga da kompanije idu u korak sa novim tehnologijama, a pri tome sve vreme vodeći računa o željama potrošača, smanjenju vremenskog ciklusa i fleksibilnosti proizvodnje. Vremenski ciklus proizvodnje može biti značajno redukovani korišćenjem kompjuterskih simulacija, pre svega smanjenjem cene proizvoda, utrošenog vremena za izradu prototipa itd. Naravno, većina tih programskih paketa ima specifičnu primenu, kao na pr., u mehanički fluida, CFD (*Computational Fluid Dynamics*), u modeliranju čvrstih tela (*FEA - Finite Element*

*Analysis*) itd. Kompjuterska simulacija prenosnika snage razvijena je, pre svega, kao alat za inženjere i projektante u automobilskoj industriji.

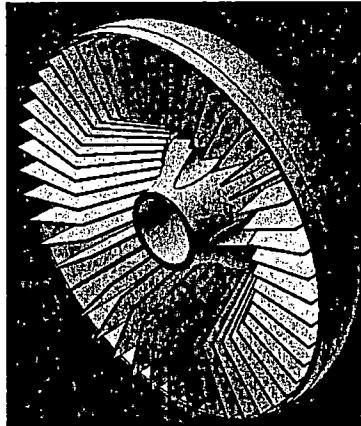
Adekvatno projektovan simulacioni model prenosnika snage ima nekoliko prednosti. Prvo, olakšano je testiranje različitih konfiguracija prenosnika. Drugo, različite varijante komponenti koje su sastavni deo jednog prenosnika mogu biti testirane ponaosob, kao i njihov uticaj na ceo prenosnik. Optimizacija i osetljivost analize može biti izvedena na pojedinim komponentama, kao i na celom sistemu. Treće, mnogi izvori eksperimentalnih grešaka mogu biti eliminisani, mada simulacija ne može u potpunosti da zameni eksperimente (zbog grešaka koje nastaju pri modeliranju i raznih uprošćenja).

## 2. Projektovanje komponenata sistema automatske transmisije

Ukoliko bi se radilo o jednostavnim komponentama, projektant bi mogao da ostvari svoj zadatak oslanjajući se na iskustvo tj. koristeći princip "probe i greške". Međutim, kada se radi o složenim sistemima kao što je na pr. automatska transmisijska, zadatak postaje mnogo komplikovaniji. Sa stanovišta troškova izrade proizvoda potpuno je neprihvatljivo subjektivno ocenjivanje projektnih parametara složenih sistema, a zatim njihova proizvodnja kako bi se ustanovilo da li uopšte funkcionišu. Da bi se izborio sa današnjim složenim projektnim zadacima, projektant mora da poseduje niz alata. Personalni računari sa odgovarajućim programskim paketima danas su najefikasniji i najefektivniji alat.



a) pumpno kolo turbomenjača



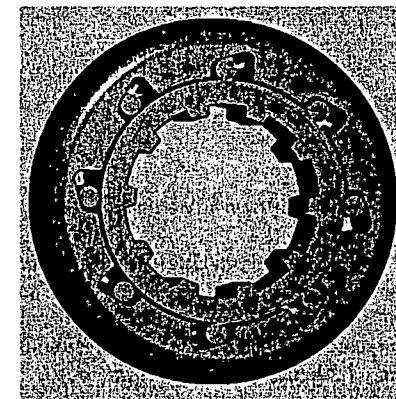
b) turbinski kolo turbomenjača

Slika 1. Primer 3D izgleda lopatičnih kola turbomenjača kao osnovne komponente automatske transmisijske (INVENTOR) [2]

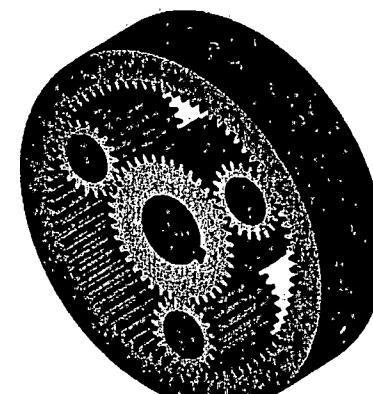
Pomoću parametara definisanih u projektnom zadatu, projektant formira idejno rešenje, a zatim, koristeći principe projektovanja komponenata sistema automatske transmisijske razvija odgovarajući numerički model na personalnom računaru radi dimenzionisanja date komponente. Za tu namenu projektant piše originalni softver na nekom od programskih jezika: C, C++, Fortran, Visual Basic, Pascal, Java itd. ili problem rešava upotrebom odgovarajućih programske paketa kao što su: MathCAD, Mathematica, Maple. Rezultati numeričkog dimenzionisanja se najčešće eksportuju i smeštaju u posebnu datoteku - bazu podataka, čiji je format prepoznatljiv

odgovarajućem CAD softveru, kao što su CATIA, Solid Works, Mechanical Desktop, Inventor, PRO/Engineer itd. Projektant je prethodno, na osnovu idejnog rešenja nacrtao parametarski 3D prikaz projektovane komponente u CAD softveru. Izabrani CAD softver interpretira podatke numeričkog proračuna i na osnovu njih generiše 3D virtuelni prototip. Uz pomoć virtuelnog prototipa, vrlo je jednostavno dobiti kompletну projektnu dokumentaciju, pa čak i kompletni tehnički postupak izrade elemenata i cele transmisije. Korektni virtuelni prototip omogućava proizvodjaču da izvede fizički prototip komponente, koji može da ide u proizvodnju nakon pozitivne ocene na laboratorijskim testovima.

Rezultati formiranja 3D virtuelnih prototipova nekoliko podistema automatske transmisijske dobijeni na Katedri za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, prikazani su na sl. 1, 2 i 3.



Slika 2. Primer 3D izgleda jednosmerne spojnice kod turbomenjača (Mechanical DESKTOP)



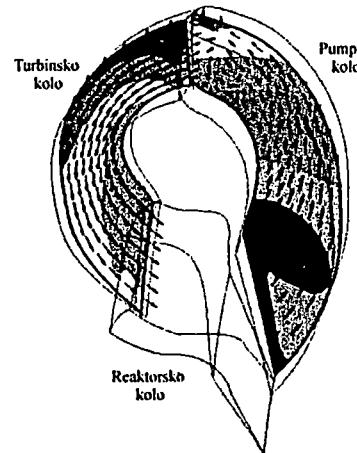
Slika 3. Primer 3D izgleda planetarnog seta kao sastavnog dela automatskog menjачa (Mechanical DESKTOP)

Primena metoda tzv. "proračunske dinamike fluida" (*CFD - Computational Fluid Dynamics*), može značajno da unapredi projektovanje komponenata sistema automatske transmisijske jer pruža mogućnost ekstremnog istraživanja. Ovaj metod pruža relativno jednostavan i jeftin način procene i ispitivanja relevantnih parametara strujanja radne tečnosti u bilo kojoj komponenti (na pr. turbomenjaču, hidrauličnim komponentama sistema automatskog upravljanja). CFD eliminiše zahtev za skupim eksperimentima, koji često imaju neizvesne i nesigurne rezultate. Sistematskom interpretacijom rezultata CFD analize dobijaju se tačnije vrednosti parametara koji se mogu koristiti pri projektovanju komponenti (sl. 4). Danas postoji relativno veliki broj komercijalnog softvera za CFD analizu - Fluent, Star-CD, CFX, Phoenics, itd.

## 2. Projektovanje sistema upravljanja automatskom transmisijskom

Danas postoji veliki broj programskih paketa kao što su na pr. MATLAB-Simulink, SystemBuild, EASY5, DYMOLA, AMESim i dr. koji rade na principu rešavanja

sistema nelinearnih diferencijalnih jednačina i koji se koriste za formiranje simulacije dinamičkog ponašanja vozila.



Slika 4. Primer primene CFD metode u projektovanju turbomenjača

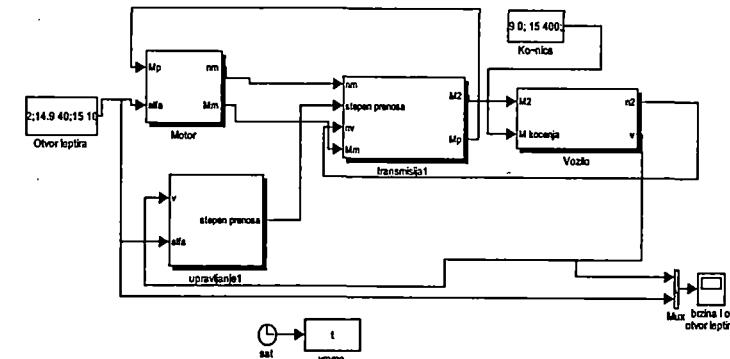
Pre nego što se pristupi simulaciji vozila ili nekog njegovog dela, model svake komponente mora da se opiše sistemom nelinearnih diferencijalnih jednačina, a zatim se odgovarajuće komponente spajaju u željenu konfiguraciju, s tim da su poznati ulazni podaci. Sistem se rešava različitim numeričkim metodama definisanim simulacionim programom. Na kraju, rezultati mogu biti prikazani u različitim grafičkim formatima.

Savremene metode projektovanja i konstruisanja hidrodinamičkih prenosnika snage se ne mogu zamisiliti više bez korišćenja odgovarajućih matematičkih modela podsistema prenosnika i pojava koje se u njima odvijaju. Matematički model nekog procesa predstavlja, pre svega, analitičku interpretaciju tog procesa uz odredjene prepostavke. Dobijanje matematičkog modela zahteva detaljno teorijsko istraživanje, zasnovano na poznavanju zakona fundamentalnih nauka i naučnih disciplina u cilju potpunog sagledavanja i tumačenja procesa, na osnovu čega se usvajaju prepostavke i definišu jednačine modela.

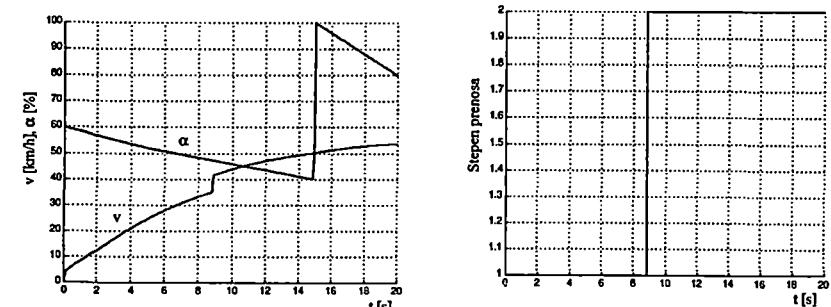
Po formiraju matematičkog modela, neophodna je matematička interpretacija svega što se dešava u celokupnom sistemu, tj. simulacija podsistema. Pri analizi konkretnog sistema neophodno je tačno definisati granice sistema, podsisteme koji ga čine i njihove medjusobne veze, kao i procese koji se u njima odvijaju. Zatim je potrebno odrediti prepostavke i matematičke modele svih podsistema i procesa koji se odvijaju u njima. S obzirom na složenost pojedinih podsistema i procesa koji se odvijaju u njima, zatim njihovu medjusobnu povezanost, matematički model se daje za svaki element posebno. Tako je omogućeno modularno programiranje i dalje usavršavanje i praćenje programa.

Prilikom modeliranja transmisije sa automatskim menjачem (sl. 5) treba imati u vidu da je to, pre svega, veoma kompleksan sistem sa više podsistema: motor, turbomenjač,

planetarni prenosnik, frikcione komponente i hidraulička i elektronska upravljačka jedinicu. Zato je neophodno da se za svaki od ovih podsistema da matematički model ponaosob, obzirom na složenost pojedinih procesa i njihovu medjuzavisnost, kao i potrebu daljeg usavršavanja matematičkog modeliranja. Na taj način se umnogome olakšava modularno programiranje na računaru i omogućava dalje usavršavanje i praćenje datog programa.



Slika 5. Blok šema SIMULINK modela sistema automatske transmisije za određivanje izlaznih karakteristika



Slika 6. Prikaz rezultata pri simulaciji automatske transmisije pri promeni stepena prenosa iz 1 u 2-gi

### 3. Zaključak

Snažna konkurenčija ostalih tehnologija naterala je automobilsku industriju da koristi i druge tehnologije uz čiju pomoć može da poboljša svoje karakteristike. Jedna od tih je, sve prisutnija, računarska tehnologija. U radu je prikazan jedan od načina upotrebe ove tehnologije za projektovanje komponenata sistema automatskog upravljanja u automatskoj transmisiji. Porast informatičke pismenosti u svetu inženjera i dalji razvoj računarske tehnologije uslovice da se automatski prenosnici snage sačuvaju trenutnu poziciju i obezbede dalji porast na tržištu.

#### 4. Literatura

- [1] Gordić D., Jovičić N., Babić M., Šušteršić V.: "Primena računara u projektovanju hidrauličnih komponenata i sistema", Traktori i pogonske mašine, Vol.8, No. 3., pp.122-128, Novi Sad, 2003
- [2] Jovičić N., Šušteršić V., Babić M., Karaić A.: "Parametric Modeling of Hydrodynamic Clutch in CAD Environment", International conference "Power transmission 03", Bulgaria, Varna, september 2003
- [3] Kaihua Y., Quingdong Y., Muqiao Z.: "Computer Aided Calculation of Hydraulic Torque Converter Original Characteristic", Fluid Power, 2001
- [4] MATLAB Using Simulink and Stateflow™ in Automotive Application, 1999

### APPLICATION OF COMPUTERS IN AUTOMATIC TRANSMISSION DESIGN

*Abstract: Automatic transmissions are very complex subsystems of motor vehicles. Their design demands acquaintance with a large number of scientific papers from the areas of mechanical engineering and electronics. But, due to numerous advantages over other power transmission types, first of all due to advantages originating from the operation principles of torque converters, differentials, friction multi-plate clutches and brakes, automatic planetary torque converters are broadly applied. Basic advantages in question are: quick response to load variation, almost complete removal of dynamic impacts on power engine, easier driver operation, increase of engine and power train components' life, increase in comfort and vehicle permeability and improvement of vehicle traction-speed characteristics.*

*During the last few years, the application of computers in both components design and design of complete automatic transmission becomes more and more important. Two approaches should be distinguished. The first one applies to design of automatic transmission components, while the second applies to design of transmission electronic control systems. Methodology of modern design of automatic transmission components using computers is defined, a review of the best known computer software for this purpose is given and examples of component and systems designs using computers are presented in the paper.*

**Key words:** automatic transmission, computers, design and modeling

1) Mr Vanja Šušteršić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, e-mail: vanjas@knezuis.kg.ac.yu

Dr Milun Babić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, e-mail: nastasija@ptt.yu

Dr Nebojša Jovičić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, e-mail: njovicic@knezuis.kg.ac.yu

Dr Dušan Gordić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, e-mail: gordic@knezuis.kg.ac.yu

MAŠINSKI FAKULTET U KRAGUJEVCU  
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA MAŠINSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE



IRMES  
'04

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ  
MAŠINSKIH ELEMENATA  
I SISTEMA



Kragujevac, 16. i 17. septembar 2004. god. Hotel "Šumarice"

Naučno-stručni skup

### UTICAJ UGLA ORJENTACIJE VLAKANA NA DINAMIČKE KARAKTERISTIKE VRATILA OD KOMPOZITNOG MATERIJALA

Đorđević Z.<sup>1)</sup>, Govedarović J.<sup>2)</sup>

*Zahvaljujući anizotropnim osobinama karakteristike vlaknima ojačanih kompozitnih materijala se mogu menjati korišćenjem različitih matrica, promenom sastava armirajućih vlakana kao i izmenom ugla orijentacije vlakana. Težnja je postići uslove da krutost i otpornost konstrukcije budu maksimalne pri minimalnoj masi i ceni konstrukcije. U radu je prikazan postupak izbora optimalne orientacije vlakana u cilju postizanja maksimalne nosivosti kompozitnog vratila. Takođe je, u obliku dijagramskog prikaza, analiziran uticaj ugla orijentacije vlakana kompozitnog vratila na vrednost kritične brzine i oblast dinamičke stabilnosti vratila.*

#### 1. Uvod

Elementi mašina i mehanizama u mnogim granama industrije danas se sve više izrađuju od vlaknima ojačanih kompozitnih materijala. Njihove dobre karakteristike su: velika otpornost i krutost, mala masa, dobre prigušne sposobnosti i poboljšana otpornost na zamor. Najčešće se kompozitni materijali sastoje od dugih krutih vlakana i relativno meke matrice koji zajedno omogućavaju postizanje velike otpornosti i krutosti, pri čemu je masa manje značajna.

Zbog svojih dobrih karakteristika danas je sve veća primena kompozitnih materijala za izradu transmisionih vratila. Težnja savremenih mehanizama je postizanje što veće brzine rada. Otuda je precizna dinamička analiza vratila postala veoma bitna. Kompozitno vratilo često ima oblik višelaminatne cilindrične ljske.

Za analizu vibracionih karakteristika kompozitnog vratila najčešće se koristi teorija ljski. Većina studija za analizu vratila se zasniva na klasičnoj teoriji tankih ljski ili na teoriji debelih ljski.

Zinberg i Symonds su analizirali kritične brzine rotacionog anizotropnog vratila; njihov eksperiment je potvrdio prednosti kompozitnog vratila u odnosu na vratilo od