

Projektovanje proizvoda sa aspekta tehnološkičnosti: primer zupčastog prenosnika

Miloš S. Ristić, Boban T. Cvetanović, Milan G.
Pavlović, Miloš M. Kosanović
College of Applied Technical Sciences Niš,
Niš, Serbia

milos.ristic@vtsnis.edu.rs, boban.cvetanovic@vtsnis.edu.rs,
milan.pavlovic@vtsnis.edu.rs,
milos.kosanovic@vtsnis.edu.rs

Miodrag T. Manić

University of Niš / Faculty of Mechanical Engineering,
Niš, Serbia

miodrag.manic@masfak.ni.ac.rs

Sažetak— Projektovanje proizvoda u savremnim uslovima proizvodnje je svakako najvažniji segment razvoja proizvoda, kako zbog samog inovativnog i inventivnog pristupa koji prate kreativne aktivnosti, tako i zbog činjenice da aktivnosti u ovoj fazi mogu da ostvare najveće uštede u troškovima i vremenu, ali i direktno utiču na dalji tok proizvodnje. Kako bi obezbedili da projektovani proizvod bude u granicama mogućnosti, a da se ispoštuju zahtevi proizvoda, u geometrijski 3D model proizvoda biće uneto i znanje o modelu proizvoda. Atributi i osobine kojima je proizvod opisan, postaju činjenice koje se adekvatnim relacijama povezuju sa bazama znanja. Na taj način na projektovanom proizvodu se automatski može izvršiti njegova analiza tehnološkičnosti. U ovom radu biće prikazan model integracije znanja u adekvatno softversko okruženje, a analiza tehnološkičnosti biće prikazana na primeru osmišljenog scenarija.

Cljučne riječi: Projektovanje proizvoda za proizvodnju; Analiza tehnološkičnosti; Zupčasti prenosnik; Knowledge-based sistemi.

I. UVOD

Izazovi funkcionalnog razvoja proizvoda i analize tehnološkičnosti proizvoda, kao i mogućnosti projektovanja za proizvodnju i inženjerstva znanja (engl. knowledge engineering) predstavljaju svakodnevnu sliku na svetskom tržištu, gde kompanije nastoje da povećaju profit smanjenjem troškova tokom razvoja proizvoda i povećanjem kvaliteta. Integrisanim razvojem proizvoda i simultanim inženjerstvom obezbeđuje se da multidisciplinarni timovi stručnjaka rade paralelno tokom razvoja proizvoda. Na taj način proizvod biva sagledan iz svih uglova životnog ciklusa proizvoda.

Analiza tehnološkičnosti je specifična aktivnost koja se oslanja na metodologiju DFM (engl. Design for Manufacturability) [1] sa krajnim ciljem sagledanja svih karakteristika proizvoda i proizvodnih sposobnosti kako bi se donela odluka o mogućnostima izrade proizvoda, a kasnije i definisao process planiranja proizvodnje.

Problemu projektovanja i konstruisanja uobičajenih delova i katalošskog izbora, Colton i Dascanio [2] pristupili su koncipiranjem i implementacijom integrisane radne okoline. Istraživanja u području modeliranja modela podataka proizvoda mogu se podeliti na rešavanje problema: semantike modela, integracije više računarskih procesa, minimalizacije troškova razvoja proizvoda, i obrade baza podataka.

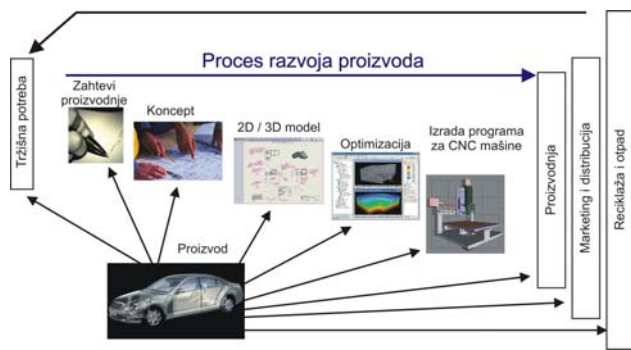
Konvencionalni CAD sistemi nisu koncipirani za asistiranje projektantu u rešavanju kompleksnih problema što podstiče istraživanja integrisanih programskih paketa. Gauseimer i Vajna [3], bave se aspektima kvaliteta i efikasnosti razvoja proizvoda. Snažan podsticaj istraživanjima dao je razvoj modela procesa projektovanja i konstruisanja temeljen na paradigmi veštačke inteligencije. Blount i Clarke tretiraju projektovanje i konstruisanje kao aktivnost rešavanja problema koja se može automatizovati [4]. Mostow [5] istražuje tehniku "kompilacije znanja" kao transformaciju eksplicitno prikazanog znanja iz domena u efikasni algoritam za izvođenje određenih zadataka. Uloge ekspertnih sistema i sistema za upravljanje bazama podataka u prostoru "projektovanja za proizvodnju" razmotrene su u radu [6].

U ovom radu biće prikazan značaj projektovanja na sam konceptualni razvoj proizvoda, kao preduslov za uspešnu integraciju CAD modela sa tzv. inženjerskim sistemima zasnovanim na znanju. Prikazani model proizvoda projektovan je pomoću CATIA softverskog paketa, a akvizicija znanja u model proizvoda izvršena je pomoću CATIA V5 "KnowledgeWare"-a. Na taj način se znanje o modelu unosi u programski modul u formi pravila, čime se obezbeđuje automatizovan proces analize tehnološkičnosti.

II. ZNAČAJ PROJEKTOVANJA PROIZVODA

Dok termin konstruisanje podrazumeva definisanje geometrije, dimenzija, materijala, tolerancija i sl., pod projektovanjem se podrazumeva nalaženje naučno opravdanog tehničkog rešenja koje se može praktično realizovati a da pri tom zadovolji ekonomske kriterijume [7]. Projektovanje obuhvata definisanje tehničkog rešenja sa funkcionalnog, sadržajnog i konstruktivnog aspekta.

Iako troškovi procesa projektovanja/konstruisanja proizvoda učestvuju u malom delu ukupne cene proizvoda, odluke koje se donose tokom ovog procesa (slika 1) utiču na značajan deo ukupnih troškova u stvaranju novog proizvoda i od suštinske su važnosti za tržišni uspeh ili neuspeh novog proizvoda. Zbog toga je važno da se uspostavi koncept projektovanja proizvoda u kome se istovremeno integriše široki spektar konstrukcionih, tehnoloških, ekonomskih i drugih zahteva, u cilju smanjenja vremena i troškova razvoja, ali i povećanja kvaliteta i vrednosti proizvoda.



Slika 1. Proces izrade proizvoda.

Takav koncept naziva se simultano (engl. Simultaneous engineering) ili konkurentno inženjerstvo (engl. Concurrent engineering) i on potencira računarsku integraciju svih aktivnosti razvoja i realizacije proizvoda, pa se poslednjih godina naziva i integrisan razvoj proizvoda i procesa (engl. “integrated product and process development”).

Tehnologije virtuelnog proizvoda [8] koriste tzv. integrisani model proizvoda u kome treba da budu smešteni svi relevantni podaci o proizvodu koji su potrebni za rad sistema za računarom podržani razvoj proizvoda. Ovakvi integrisani modeli proizvoda, treba da posluže kao platforma za integraciju heterogenih programskih paketa koji se koriste u različitim fazama životnog ciklusa jednog proizvoda. Rad svih savremenih programskih paketa za projektovanje tehnološkog postupka i analizu tehnoložnosti konstrukcije zasniva se na primeni pojedinih metodologija iz domena veštačke inteligencije [9]. To su obično razni ekspertni sistemi, genetski algoritmi i neuronske mreže.

A. „Knowledgeware“ rešenja u oblasti projektovanja proizvoda

Termin “knowledgeware” opisuje softver u kome je sadržano znanje o modelu proizvoda čime se greške u projektovanju proizvoda, kao i same izrade, pokušavaju unapred sagledati, predvideti i izbeći.

Znanje potrebno za projektovanje proizvoda i tehnologije njegove izrade, predstavlja se najčešće pomoću objekata i pravila. Objektom se smatra entitet modela koji je opisan atributima i povezan sa okruženjem pomoću procedura. Pravila su relacije zavisnosti koje predstavljaju listu akcija koja treba izvršiti u određenim uslovima, a provere su određeni izrazi ili relacije koje mogu biti verifikovane odmah ili na zahtev radi obaveštavanja korisnika u slučaju da je prekršen uslovni deo proveru. Generalno, i pravila i provere obezbeđuju da konstrukcija koja se projektuje bude usaglašena sa propisanim ograničenjima. U razmatranju pravila ovog rada jedan mogući oblik pri izradi žleba na vratilu ima u osnovi sledeći oblik:

if “tehnički element je žleb za klin – oblik tipa A”
then “alat za izradu je vretenesto glodalo”.

III. ANALIZA TEHNOLOŽNOSTI NA PRIMERU ZUPČASTOG PRENOSNIKA SNAGE

Analiza tehnoložnosti proizvoda je specifična aktivnost, koja ima za cilj upoznavanje proizvodnih karakteristika proizvoda i nivoa problema koji se mogu javiti pri njegovoj proizvodnji [10]. U tipičnom CAD okruženju, projektant stvara model proizvoda i koristi softver za analizu kako bi ispitao različite aspekte funkcionalnosti predložene konstrukcije.

A. Klasifikacija sistema za analizu tehnoložnosti

Na osnovu pristupa analizi tehnoložnosti, ovi sistemi mogu se podeliti u sisteme direktnog pristupa koji se zasnivaju na pravilima i proverama; i sisteme indirektnog pristupa zasnovane na generisanju tehnološkog plana i postupka, a zatim na modifikaciji raznih delova postupka u cilju smanjenja troškova.

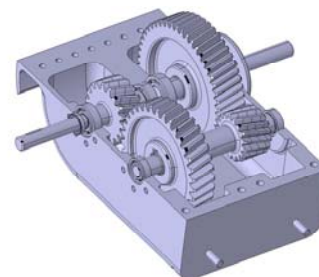
Postoji više različitih načina iskazivanja mere za ocenjivanja i izražavanja tehnoložnosti:

- Binarno ocenjivanje (0 ili 1 / da ili ne; ...);
- Kvalitativno ocenjivanje (opisne ocene tehnoložnosti kao što su: slabo, prosečno, dobro, odlično – izradljiv);
- Apstraktno-kvantitativno ocenjivanje izražava stepen tehnoložnosti konstrukcije dodeljivanjem numeričkih vrednosti na apstraktnoj skali (e.g. Fuzzy logic);
- Vreme i troškovi.

Sistemi za analizu tehnoložnosti su zapravo sistemi zasnovani na znanju (engl. Knowledge-Based systems – KBs) koji koriste postojeće znanje kako za rešavanje problema u određenoj oblasti. Određeni CAD programi integrišu KB sisteme, tako CATIA ima “Knowledgeware” modul koji je jedna vrsta ekspertnog sistema. Analiza procesa tehnoložnosti zapravo vrši procenu primene tehnologije izrade proizvoda na određenom modelu proizvoda. Proces se odvija automatizovano upoređivanjem dostupnih tehnika prema raspoloživim resursima i proizvodno-tehnološkim ograničenjima.

B. Analiza tehnoložnosti zupčastog prenosnika snage

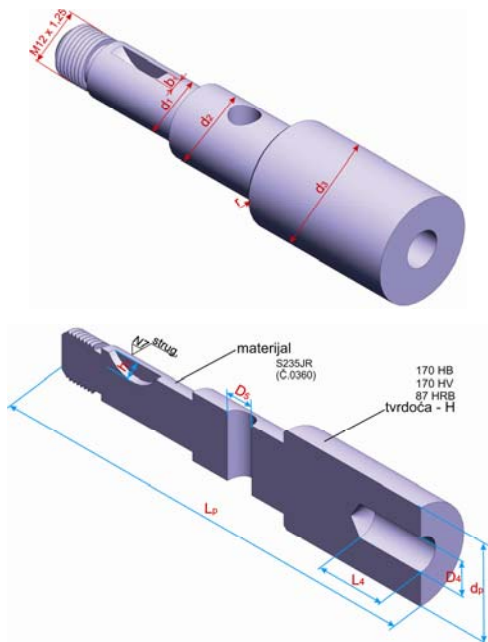
Struktura proizvoda treba biti strukturno i hijerarhijski sagledana od nivoa sklopova i podsklopova preko mašinskih elemenata do njegovih jednostavnih i složenih tehničkih elemenata (engl. Feature). Prikazani prenosnik (slika 2) je parametarski modeliran korišćenjem tehničkih elemenata, što daje osnovu za analizu tehnoložnosti dodavanjem osobina i atributa u formi modela znanja o proizvodu.



Slika 2. Prikaz parametarski projektovanog zupčastog prenosnika snage.

C. Procena tehnološičnosti pojedinih elemenata sklopa

Potpuno je jasno da tehnološičnost proizvoda prikazanog na slici 3, zavisi od tehnološičnosti sklopova, podsklopova i elemenata koji su u proizvod ugrađeni i njegove stukture. Za sveukupnu konstrukciju i ocenu celokupne tehnološičnosti važno je proceniti sve elemente proizvoda. Ovde će biti prikazana procena tehnološičnosti jednog vratila ovog prenosnika.



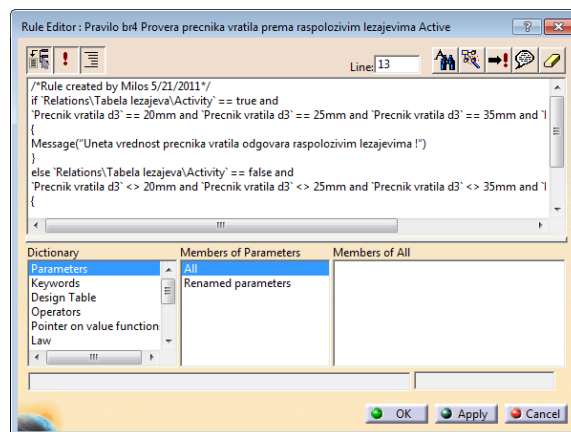
Slika 3. Model vratila sa karakterističnim atributima.

Prikazani model vratila može se proizvesti iz cilindričnog priprema uz adekvatnu mašinsku obradu. Određeni elementi se izrađuju na strugu, dok se drugi naknadno obrađuju na bušilici (otvor) ili glodalici (žleb). Određena tehnološka ograničenja i mogući tehnološki postupci izrade ovog proizvoda, prikazani su u Tabeli I.

TABELA I. TEHNOLOŠKA OGRANIČENJA IZRADE TEHNIČKIH ELEMATA NA PRIKAZANOM VRATILU

	element	parametar	mogućnost izrade / tehnološko ograničenje
1	pripremak	d_p	prečnik priprema mora biti manji ili jednak dvostrukoj visini šiljaka struga ($d_p \leq 2H_s$)
		L_p	dužina priprema mora biti manja od dužine između šiljaka struga ($L_p < L_s$)
2	stepenasto vratilo	d_1, d_2, d_3	da postoji odgovarajući nož za struganje – napadni ugao 90°
3	žleb	b_1	da postoji odgovarajuće glodalo čiji radius je manji ili jednak širini žleba ($r_g \leq b_1$)
		h_1	da dubina žleba ne bude veća od moguće visine upuštanja glodala
4	radius zaobljenja	r	da postoji nož kojim će se zaobliti prelaz između d_2 i d_3
5	materijal	S235JR	da je materijal dostupan u magacinu i da ga ima u dovoljnim količinama, kao i da ga je lako nabaviti (uz minimalne troškove)

Tehnološka ograničenja unose se u softver u obliku pravila. Pravila su zapravo skup komandi koja se grupišu u baze podataka, pomoću programskog jezika. U slučaju CATIA V5 programskog paketa, korišćen je VB Script u kome korisnik definiše pravilo pomoću if/then relacija. Kreiranjem posebnih (instant) tabela, koje se povezuju sa Excel i Access bazama podataka, unose se određene vrednosti (npr. katalog alata) koje postaju osnov za kasniju validaciju, odnosno proveru.



Slika 4. Editor pravila.

Slika 4 prikazuje vizuelno informisanje korisnika o aktivnosti tabele i daljim koracima koje treba preduzeti. Postoje i pravila čija je namena da izbegnu mogućnost nastanka konfliktne situacije koju mehanizam zaključivanja ne može da razreši. Tada se od korisnika zahteva da unese potrebne podatke ili da usmeri dalji logički tok zaključivanja.

IV. PRIMER TEHNOLOŠKOG SAVETNIKA ZA OSMIŠLJEN SCENARIO

Proces projektovanja proizvoda sa aspekta tehnološičnosti proveren je na primeru vratila zupčastog prenosnika snage. Vratilo prikazano na slici 4 je parametarski modelirano, a zatim je dodatno opisano atributima (prostorne orijentisanosti, tolerancija, materijala, itd.). Takav model znanja je integrisan sa bazama dostupnih alata, raspoloživih materijala, kao i drugim brojnim ograničenjima. Jedan deo takvih ograničenja prikazan je u tabeli I. Integracija modula unutar programskog paketa, obezbedila je da se softver ponaša kao virtuelni tehnološki savetnik.

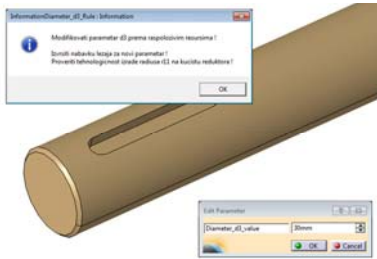
Ukoliko projektant želi da izvrši izmenu prečnika vratila d_3 on pri tom treba da izabere vrednost koja jeste iz skupa standardnih vrednosti, shodno prethodno definisanim konstrukcijskim preporukama za dimenzionisanje prečnika vratila (slika 5). Sam izbor vrednosti nije nužno i konačna odluka u ovom procesu. Naime, ukoliko je izabrana vrednost povezana nekom relacijom sa određenom bazom podataka, time je ujedno postavljeno ograničenje koje mora biti provereno.

Prethodno definisano ograničenje kojim se prečnik d_3 stavlja u vezu sa bazom podataka dostupnih ležajeva unutar proizvodnog pogona, zapravo uslovljava da merodavni prečnik mora odgovarati dostupnim resursima.



Slika 5. Projektant zadaje izmenu parametra d_3 u standardnu vrednost.

Izabrana vrednost, u slučaju prikazanog scenarija, se ne nalazi u skupu raspoloživih vrednosti prema merodavnom prečniku ležaja, odnosno u fabrici ne postoji dostupan ležaj za ovu vrednost prečnika, a sama reakcija Knowledgeware-a je prikazana na slici 6.



Slika 6. Reakcija CATIA Knowledgeware modula u obliku tehnološkog savetnika projektantu.

U ovom slučaju, skup dostupnih vrednosti kreiran je prema raspoloživim ležajevima (i njihovom merodavnom prečniku, koji odgovara prečniku vratila d_3), tako da nije dozvoljeno da parametar d_3 ne odgovara definisanim ležajevima u bazi. Zbog toga, programski paket daje savet prikazan na slici 6. Pri ovome, dodatno pravilo vezano je za samo mesto montaže vratila na kućištu reduktora, pa zbog toga treba proveriti tehnološki izradu radiusa na kućištu prenosnika i to na mestu gde se ugrađuje potrebni ležaj. Na taj način se definiše oslonac za ležište i važno je razmotriti njegovu tehnološkičnost u slučaju izmene parametra d_3 .

V. ZAKLJUČAK

Parametarskim projektovanjem proizvoda obezbeđen je preduslov za dalji rad sa proizvodom, odnosno za sam proces analize tehnološkičnosti proizvoda. Korišćenje CATIA V5 softvera i njegovog Knowledgeware-a omogućuje unos tehnoloških ograničenja tokom samog projektovanja proizvoda, što projektantu omogućava da koristi dostupne resurse ili da zahteva nabavku potrebnog resursa npr. specijalnog alata.

Ovakav pristup omogućava aktivnu akviziciju znanja u određenim proizvodnim uslovima i stvaranje baze znanja određenih sistema. Te baze znanja mogu se standardizovati i postati obavezne za upotrebu u odgovarajućim proizvodnim sistemima. One mogu da budu u obliku pravila, procedura ili pak elektronskih kataloga, ugrađenih u same sisteme za projektovanje ili postavljene u nekoj deljenoj bazi u okviru Intraneta proizvodnog sistema.

Predloženi koncept je uspešno verifikovan i dalja istraživanja ovog koncepta biće usmerena ka uključivanju metoda veštačke inteligencije. Na taj način bi se afirmisao novi kvalitet stručnjaka u procesu razvoja proizvoda, a softverska

rešenja bazirana na ekspertnim sistemima obezbedila bi da proces donošenja bude jednostavniji i pouzdaniji.

ZAHVALNICA

This paper is a result of the project III 41017, supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

LITERATURA

- [1] J. Bralla, editor. *Design for manufacturability handbook*, 2nd ed. McGraw-Hill Professional, 1998.
- [2] Colton J. S., Dascanio J. L., An Integrated, Intelligent Design Environment, *Engineering with Computers*, Vol. 7, No. 3, pp. 11-22., 1991.
- [3] Gauseimer J., Frank T., Hahn A., Integrated product development: An Integral Approach to Computer Aided Development of Advanced Mechanical Engineering Products, *Proceedings of International Conference on Engineering Design ICED 95*, pp. 1276-1289., WDK, Heurista, 1995.
- [4] Blount G. N., Clarke S., Artificial Intelligence and Design Automation Systems, *Journal of engineering Design*, Vol. 5, No. 4, pp. 299-314., 1994.
- [5] Mostow J., Towards Automated Development of Specialized Algorithms for Design Synthesis: Knowledge Compilation as an Approach to Computer-Aided Design, *Research in Engineering Design*, Vol. 1, No. 3, pp. 167-186., 1990.
- [6] Miller G. S., Colton J. S., The Complementary Roles of Expert Systems and Database Management Systems in a Design for Manufacture Environment, *Engineering with Computers*, Vol. 8, No. 3, pp. 139-149., 1992.
- [7] Manic M., Miltenovic V., Stojkovic M., Banic M., "Feature Models in Virtual Product Development", *Strojiski vestnik*, 56 (3). 2010.
- [8] Erastos F., and B. Eion, Towards the smart organization: An emerging organizational paradigm and the contribution of the European RTD programs, *Journal of Intelligent Manufacturing* 12, pp. 101-119., 2001.
- [9] Bok, K., Myung, S., & Han, S. H., Lens barrel design on distributed knowledge-base, *Knowledge intensive computer aided design* pp. 255-271., Kluwer Academic Publisher, 2000.
- [10] Ristić M., "Projektovanje proizvoda sa aspekta tehnološkičnosti", Magistarski rad, Univerzitet u Nišu – Mašinski fakultet, Niš, 2012.

ABSTRACT

Design for manufacturability in modern manufacturing conditions is certainly the most important segment of product development, both because of the innovative and inventive approach that accompany creative activities, and the fact that activities at this stage can achieve the greatest savings in costs and time, and directly affect the further course of manufacturing. To ensure that the product is designed within the limits of manufacturable, and that it complies with the requirements of the product, knowledge about the product model will be inserted in the 3D geometric product. Attributes and characteristics that describe the product become the fast that are associated with knowledge bases using adequate relations. In this way, manufacturability analysis can be automatically performed at the designed product. This paper presents a model of knowledge integration in the appropriate software environment, and the manufacturability analysis will be presented at the designed scenario example.

PRODUCT DESIGN IN TERMS OF MANUFACTURABILITY: AN EXAMPLE OF GEARBOX

Miloš S. Ristić, Miodrag T. Manić, Boban T. Cvetanović, Milan G. Pavlović, Miloš M. Kosanović