

PROCENA TEHNOLOGI NOSTI KONSTRUKCIJE UPOTREBOM TEHNI KIH ELEMENATA

CONSTRUCTION MANUFACTURABILITY ASSESSMENT USING FEATURES

Miloš Ristić, *Visoka tehnička škola strukovnih studija, Aleksandra Medvedeva 20, Niš,*
Milan Pavlović, *Visoka tehnička škola strukovnih studija, Aleksandra Medvedeva 20, Niš.*

Sadržaj – Tehnologija nastanka konstrukcije kao mera izradljivosti proizvoda veoma je važna u uslovima današnje proizvodnje i potrebe da se proizvod nađe na tržištu u najkraćem vremenskom roku i sa konkurentnom cenom. U ovom radu biće opisan značaj projektovanja proizvoda upotrebom tehničkih elemenata kako bi se izvršila rana procena tehnološke nosti adekvatnim softverom. Savremeni softveri omogućuju implementaciju znanja o proizvodu i procesima u sam model, čime geometrijski model proizvoda postaje virtuelni model proizvoda sa svim neophodnim elementima da si isti može proizvesti. Na kraju rada, dat je primer procene tehnološke nosti konstrukcije pomoću softvera koji pomaže projektantu u procesu donošenja konačne odluke.

Cljučne reči: Procena tehnološke nosti, Tehnički element, Virtuelni model proizvoda.

Abstract - Construction manufacturability as a measure of product manufacturability is very important in terms of contemporary production and the need that the product is on the market as soon as possible and with a competitive price. This paper will describe the importance of product design using features in order to perform early manufacturability assessment using adequate software. Modern software enables implementation of the knowledge about product and processes into the model itself, by means of which product geometrical model becomes product virtual model with all the elements necessary to produce the model. At the end of the paper, there is an example of construction manufacturability assessment using software which helps a designer in the process of final decision making.

Key words: Manufacturability assessment, Feature, Product virtual model.

1. UVOD

Projektovanje zasnovano na tehničkim elementima (**engl. Feature**) [1, 2, 3] sastavni je deo svakog savremenog procesa razvoja i izrade proizvoda [4]. Upotreba savremenih CAD softvera [5, 6] omogućuje projektantu da u geometrijski model proizvoda unese i znanje o proizvodu [7]. Na taj način projektant integriše izvesne osobine i atribute proizvoda sa tehnologijom izrade, procesima planiranja proizvodnih tokova, pa sve do same distribucije proizvoda, čine i tako ranu procenu tehnološke nosti proizvoda dostupno svim članovima tima, što u mnogome olakšava svaki od procesa donošenja odluka o proizvodu [8, 9].

Sam tehnički element nije sam po sebi dovoljan. Preduslov kvalitetnom virtuelnom modelu proizvoda zasnovan je na parametarskom projektovanju upotrebom tehničkih elemenata [10]. Adekvatne relacije i druge zavisnosti obezbeđuju ugradnju znanja [7] čime se dalje obezbeđuju moguće simuliranja uslova eksploatacije i obavljanja potrebnih analiza i ispitivanja. Dodavanjem ekspertnih sistema [11, 12] i različitih modela zaključivanja pomoću veštačke inteligencije [13, 14], savremeni CAD/CAM sistemi obezbeđuju ogromne uštede u razvoju proizvoda, a procenjivanje tehnološke nosti konstrukcije time

se podiže na viši nivo, pa same izmene ili varijacije idejnih rešenja postaju stalni predmet razmatranja.

Ovaj rad opisuje postupak procene tehnološke nosti konstrukcije zasnovan na upotrebi tehničkih i tehnoloških elemenata (formi). Kreiranjem pravila pomoću VB skripta i dodavanjem elektronskih kataloga u formi excel dokumenata obezbeđeno je da softver zaključuje i ponaša se savetodavno. U radu je prikazan proizvod modeliran pomoću CATIA V5 sa pravilima unetim u modul Knowledge-er-a, što čini ovaj softver savremenim PLM sistemom.

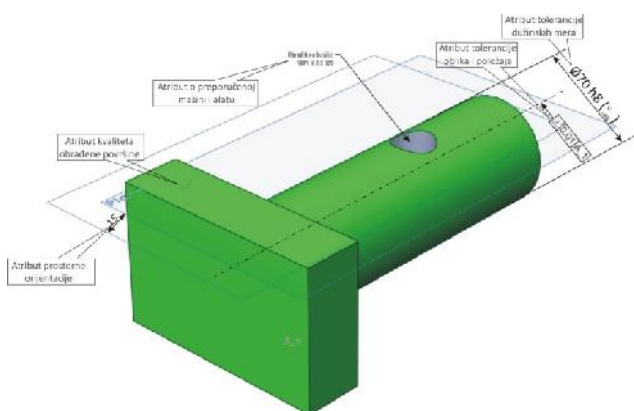
U radu su definisani atributi i prikazane određene osobine tehničkih elemenata. Zatim je izvršena podela sistema za analizu tehnološke nosti na osnovu odgovarajućih karakteristika, prikazana upotreba tehničkih i tehnoloških elemenata u proceni tehnološke nosti i primer rada virtuelnog tehnološkog savetnika. Na kraju rada su dati odgovarajući zaključci sa diskusijom.

2. ATRIBUTI I OSOBINE TEHNIČKIH ELEMENATA

Tehnički elementi sadrže određene osobine kojima su detaljnije opisani ili povezani sa drugim tehničkim elementima u kompletnom modelu proizvoda. Informacija o određenoj osobini tehničkog elementa zapisana je u atributu tehničkog elementa. Atributi objekta bi trebalo da

oblikuju „vrednosne“ osobine tehni kog elementa. Ove osobine menjaju vrednost (stanje) tokom vremena, ime atributi postaju objekti nekog tipa atributa, koji definiše mogu e vrednosti posmatranog atributa. Nasuprot tome, relacije se koriste da oblikuju osobine koje nisu sastavni delovi tehni kog elementa. Pristup koji podrazumeva fizi ko modeliranje prae no je ve inom postoje ih objektno orijentisanih metoda, dok su objektno orijentisano modeliranje i implementacioni jezici esto bazirani na programskim pristupima orijentaciji objekta, sa naglaskom na objektima kao bazama podataka i operacija, na enkapsulaciji i na ponovnom koriš enju programskog koda [15].

Atributi tehni kog elementa mogu biti lokacija (pozicija, koaksijalnost i simetri nost), orijentacija, dimenzije, oblik, hrapavost ili tolerancije. Atributi koji karakterišu vezu dva tehni ka elementa nose informacije me usobnom postavljanju, geometrijskim uslovima ili kompatibilnosti. Atributi geometrijskim entitetima mogu da sadrže kvalitet odre ene površine ili toleranciju oblika (pravost, ravnost, kružnost, cilindri nost, itd.). Primeri za relacije izme u dva entiteta su susednost i me usobna orijentacija (paralelnost, upravnost i ugaonost) prikazani su na slici 1 [15]. Atributi sklopova mogu, pored ostalog, da sadrže informacije kao što su: sklopne površine, tolerancije sklopa dužinskih mera (složene tolerancije), naleganja, preklopi/zazori, me usobna orijentacija. Atributi dela mogu da sadrže specifikacije materijalu, broju dela, ili administrativne podatke.



Slika 1. Prikaz atributa tehni kih elemenata [15].

Asocijativnost izme u entiteta pri definisanju proizvoda posledica je primene tehni kih elemenata i odnosi se na mogu nost da razli ite aplikacije koje rade sa modelom proizvoda mogu koristiti informacije i ograni enja koja se ugra uju u tehni ke elemente tokom drugih CAPD (CAx) procesa. Postoje informacije (podaci) o tehni kim elementima koje nisu od velike važnosti u kontekstu definisanja geometrije, ali mogu da budu od zna aja u drugim aplikacijama. Ovi atributi mogu imati odre ene vrednosti ili tekstualni opis i mogu biti opisani u formi algoritamskih procedura, implementirani kao referenti elementi ili u formi matemati kih izraza napisanih u interpretabilnom jeziku i mogu se svrstati u grupu tzv. *ostalih atributa*.

2. PODELA SISTEMA ZA ANALIZU TEHNOLOGI NOSTI

Postoje tri primarne karakteristike [8] prema kojima se vrši podela sistema za analizu tehnologi nosti:

- **pristup** u razmatranju tehnologi nosti koji ovi sistemi koriste ugrubo se može podeliti na:
 - direktan pristup koji je zasnovan na upotrebi pravila i proveru; i
 - indirektan pristup je zasnovan na generisanju tehnološkog postupka, a zatim na modifikaciji raznih postupaka u cilju redukcije troškova tog postupka;
- **mere tehnologi nosti** kojima utvr uje stepen tehnologi nosti
 - Binarno ocenjivanje (0 ili 1 / ide ili ne ide / izradljiv ili neizradljiv / ...);
 - Kvalitativno ocenjivanje kojim se opisno ocenjuje tehnologi nost virtuelnog prototipa (slabo, dobro, odli no – izradljivo, i sl.);
 - Abstraktno-kuantitativno ocenjivanje izražava stepen tehnologi nosti dodeljivanjem numerikih vrednosti na abstraktnoj skali (npr. dodeljivanje indeksa tehnologi nosti u opsegu vrednosti od 0 do 1 i njihovo kombinovanje u kona nu ocenu takozvanom fazi logikom – engl. Fuzzy logic);
 - Vreme i troškovi kao mera tehnologi nosti oslanja se na pra enje dva najzna ajnija parametra tehnološkog procesa lako se kombinuju u zbirnu ocenu tehnologi nosti, ali ne mogu direktno pomo i konstruktoru u proceni da li je postigao zadovoljavaju i stepen tehnologi nosti proizvoda; i
- **Nivo automatizacije** procesa koji ukazuje na na in intereagovanja konstruktora sa sistemom (za proveru tehnologi nosti) i koji tip povratnih informacija se prosle uje prema konstruktoru.

U zavisnosti od trenutka u kome se vrši procena tehnologi nosti, možemo definisati dva pristupa: analiza tokom procesa projektovanja (on-line); i procena tehnologi nosti nakon završetka procesa konstruisanja (off-line) [16].

3. PROCENA TEHNOLOGI NOSTI POMO U TEHNI KO – TEHNOLOŠKIH ELEMENATA

Smanjenje troškova i složenosti izrade proizvoda su uglavnom karakteristike odre ene odlukama koje donosi konstruktor, dok inženjer koji planira i projektuje tehnološki proces može direktno uticati na veli inu troškova do 10% [17]. To je razlog, zbog koga se ranim analizama i procenama tehnologi nosti (koje imaju za cilj otkrivanje mogu ih proizvodnih problema) posve uje veliki zna aj. Kako bi se izbegli problemi u fazi izrade prototipova ili tokom pokretanja proizvodnje, pristupa se integraciji razvojnih poslova, od konstrukcije proizvoda do detaljnog projektovanja tehnologije izrade proizvoda.

Integrirani razvoj proizvoda je sistemski pristup razvoju kvalitetnih, tržišno konkurentnih proizvoda uz integrisanu primenu celovitih i multidisciplinarnih metoda uz upotrebu manuelnih i kompjuterski podržanih alata, ime se osigurava minimizacija pojava grešaka u svim, a posebno u ranim fazama razvoja, kao i projektovanje tehnologi nog proizvoda ve u prvoj iteraciji razvoja. I pored ovih prednosti, treba naglasiti da integralni razvoj nosi sa sobom velika ulaganja, te nije posebno adekvatan za mala preduze a.

Kod tzv. kvalitativnih tehnoloških analiza koje se obi no koriste zajedno sa tehnološkim elementima, razmatraju se slede a pitanja:

- Koji obradni procesi su neophodni da bi se izradio projektovani model? ,
- Da li su svi zahtevani proizvodni resursi (materijal, mašine, alati, stezni pribor, dodatni materijali itd.) raspoloživi? ,
- Da li je fizi ki mogu e primeniti sve potrebne obradne procese? ,
- Da li su utvr eni parametri tehnoloških elemenata u skladu sa pozitivnim iskustvima?

Odgovori na ova pitanja mogu biti ili binarnog tipa (da/ne; 1/0) ili su fuzzy vrednosti [18]. Deo može biti procenjen kao „dobar“ ili kao „loš“, ali bez jasnog pore enja i uo avanja razlike izme u dva dela koliko je jedan bolji ili lošiji od drugog.

Kvalitativne analize mogu biti sprovede putem primene pravila koja sadrže znanja iz oblasti tehnologije obrade. Obi no se upotrebljavaju if – then (ako-onda) pravila gde AKO – deo odre uje tehni ko-tehnološki element ili skup elemenata na koji se pravilo primenjuje, a ONDA – deo sadrži odgovaraju u akciju (direktni uticaj na menjanje parametara tehnoloških elemenata ili savetodavno izveštavanje korisnika). U najjednostavnijem slu aju pravilo se odnosi na jednu tehnološku operaciju i jedan tehnološki element. Na primer, pravilo:

AKO	<i>je tehnološki element N cilindri ni otvor pre nik otovora D je manji od odgovaraju e veli ine alata koji bi mogli da se iskoriste za izradu /pre nik burgije ve i od pre nika otvora/</i>
I	<i>otvor N nije tehnologi an</i>

odre uje tehnologi nost izvesnog žljeba u odnosu na mogu i izbor alata. Ovakvo pravilo je primenljivo u slu aju da je obradna operacija glodanje žljeba zahtevana operacija u nizu operacija koje ine proces izrade.

U zavisnosti od proizvodnog okruženja, deo pravila koji se odnosi na izbor alata može biti ograni en na izbor iz skupa alata koji su na raspolaganju u datom okruženju ili može uklju ivati skup alata koji se uopšte mogu nabaviti.

Pored binarne reakcije, pravila u vezi sa utvr ivanjem tehnologi nosti konstrukcije mogu izražavati i fuzzy [19], i kvalitativne vrednosti:

AKO	<i>je tehnološki element S1 žleb na površini A dela D;</i>
I	<i>S2 je tehnološki element žleb na površini A dela D;</i>
I	<i>dubina elementa S1 nije isti kao dubina S2;</i>
I	<i>da je kvalitet obra enih površina S1 i S2 u opsegu izme u N6 i N8;</i>
ONDA	<i>je mogu e izraditi deo D,</i>
I (savet)	<i>„razmotri mogu nost da dubine žlebova rupa S1 i S2 budu iste i istog kvaliteta obrade“</i>

Ovakvo pravilo vrši procenu tehnologi nosti dela kvalitativno u okviru mogu ih vrednosti: „dobro“, „mogu e“, „loše“, odnosno u opsegu izme u N6 i N8; ali i daje savet za uve anje tehnologi nosti.

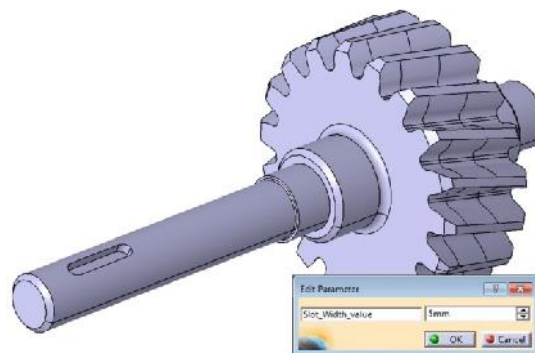
4. PRIMER RADA VIRTUELNOG TEHNOLOŠKOG SAVETNIKA

Svaki razvojni proces koristi ta no definisan domen znanja, pri emu se odre ena znanja nalaze u više domena, što zapravo zna i da se to znanje istovremeno koristi u više razvojnih procesa. Svaki od procesa koristi poseban CAX Template (novi CAX fajl) koji sadrži informacije i ugra eno znanje koje je potrebno ekspertu u razvojnom procesu. Ovi templejti, ija je uloga davanje virtuelnih saveta u razvojim procesima, nazvani su obrascima sa ugra enim znanjem (engl. *Knowledge Embedded Template* – KET) i predstavljaju odgovaraju i CAX zapis sa inicijalno ugra enim odgovaraju im sadržajem znanja (baza pravila i instant tabele) u formi korisni ki definisanog tehni kog elementa (engl. *User Defined Feature*).

Primer rada savremenog PLM sistema, kakav je CATIA V5, zasniva se na parametarski projektovanom CAD modelu proizvoda u koji su, pored podataka o geometriji, unešeni i atributi o samom virtuelnom modelu proizvoda.

Implementacija pravila i provera na modelu vratila sa zup anikom izvršena je uz pomo CATIA V5 integrisanog softverskog paketa za razvoj proizvoda koji poseduje modul Knowledgeware. Ovaj modul omogu uje projektantu da definiše odre ena pravila i procedure, s obziorn na to da je u model proizvoda uneto znanje o proizvodu (baze znanje, atributi, i sl.) Ugra ivanje prihva enog znanja u model zahteva potpuno razumevanje logike objektno orijentisanog programiranja i osnovno razumevanje objedinjenog jezika za modeliranje (engl. *Unified Modeling Language* – UML).

Navedeni primer objašnjava postupak pronalaženja najadekvatnijeg alata za proces obrade u fazi planiranja tehnološkog procesa. Projektant pokušava da na vratilu promeni širinu žleba za klin (slika 2).



Slika 2. Promena širine žleba za klin na vratilu sa zup anikom.

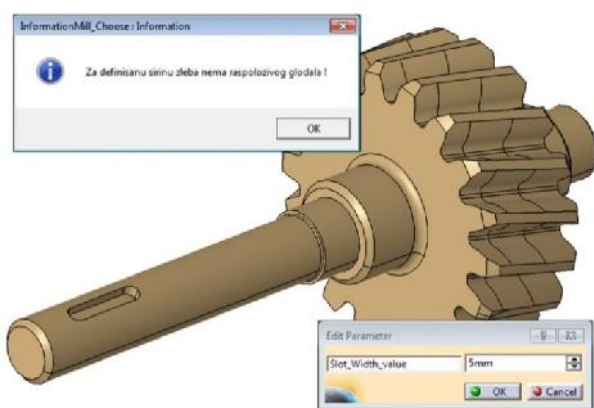
Kako je ovaj parameter (širina žleba) povezan adekvatnim pravilom sa bazom podataka o dostupnim alatima u samoj firmi, (u konkretnom slu aju re je o bazi dostupnih vretenastih glodala koja postoji u formi elektronskih kataloga, slika 3), ovaj modul izvrši e proveru mogu nosti zahteva i dati odgovaraju i odgovor.

Ovde Knowledgeware upravo ukazuje kolika je ušteda u razvoju proizvoda njegovom upotrebom, odnosno aktiviranjem pravila za pretraživanje baze alata.

Line	CUTTER_SIZE	TOTAL_LENGTH
1	8.000 mm	12.000 mm
2	8.000 mm	13.000 mm
3	20.000 mm	22.000 mm
4	12.000 mm	29.000 mm
5	31.000 mm	26.000 mm
6	16.000 mm	37.000 mm
7	20.000 mm	26.000 mm
8	22.000 mm	28.000 mm
9	25.000 mm	40.000 mm
10	30.000 mm	40.000 mm

Slika 3. Pravilo poziva prethodno kreiranu tabelu vretenastih glodala.

Baza alata je prethodno definisana u formi tabele (Excel baza), a Knowledgeware modul daje savet koriste i rezoluciju konflikta. Na osnovu definisanog pravila, i shodno izvršenoj proverbi, došlo se do toga da ne postoji odgovaraju e glodalo, pa je time i nemogu e smanjiti žirinu žleba sa 6mm na 5 mm. Kako je najmanje raspoloživo glodalo pre nika 6mm, reakcija Knowledgeware-a, prema prethodno definisanom obliku ima oblik prikazan na slici 4.



Slika 4. Prikazivanje informacije o glodanju (nepostojanju adekvatnog glodala).

Naknadnom izmenom i usklaivanjem parametara, projektant traži tehnologi no rešenje i do njega dolazi. U okviru dalje rezolucije konflikata mogu e su i preporuke tipa “izvršiti nabavku glodala” ili da ako postoji adekvatan alat Knowledgeware proceni vreme obrade ili koliko je vremena glodalo provelo u eksploataciji pa da na taj na in da preporuku koji alat koristiti iz grupe alata koji zadovoljavaju kriterijume pretrage, shodno dodatnim parametrima i relacionim uslovima.

5. ZAKLJU AK

Savremeni procesi razvoja proizvoda uklju uju multidisciplinarne timove stru njake koji svoje znanje i iskustvo integrišu u virtuelni model proizvoda. Na taj na in, uklju ivanjem svih eksperata u najraniju fazu projektovanja proizvoda, ostvaruje se najve e ušteda. Takav proces mora da prati adekvatna softverska podrška koja je zasnovana na CAD modelu i koja obezbe uje da se u proizvod unese dodatno znanje o proizvodu. Kreiranjem adekvatnih pravila i procedura zasnovanih na bazi unetih znanja obezbe uje se da softver vrši procenu tehnologi nosti tokom samog procesa projektovanja i razvoja proizvoda (on-line).

Dalje tendencije razvoja se mogu baviti semantikom modela ili uklju ivanjem paralelnih ekspertskih sistema za složenije procene, što je svakako plan daljih istraživanja.

LITERATURA

- [1] G. Devedži , *CAD/CAM tehnologije*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2006.
- [2] Sreevalsan P. C., Shah J. J., *Unification of Form Feature Definition Methods*, Intelligent Computer Aided Design, Browns, D. C., Waldron, M. and Yoshikawa, H. eds. 83-106., 1992.
- [3] Devireddy C. R., Ghosh K., *Feature-Based Modeling and Neural Networks-Based CAPP for Integrated Manufacturing*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 12 (1), pp. 61-74., 1999.
- [4] V. Miltenovi , *Razvoj proizvoda: strategija, metode, primena*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2003.
- [5] Akman V., ten Hagen W.J.P., Tomiyama T., *A fundamental and theoretical framework for an intelligent CAD system*, Computer-Aided Design, Vol. 22, No. 6., pp. 352-367., 1990.
- [6] Chandrasekaran B., *A Framework for Design Problem-Solving*, Research in Engineering Design, Vol. 1, No. 2, pp. 75-86., 1989.
- [7] Stojkovic M., Manic M., Trajanovic M., *Knowledge-Embedded Template Concept*, CIRP - Journal of Manufacturing Systems, Vol. 34., No 1., 2005.
- [8] Gupta S. K., Nau D. S., *Systematic approach to analyzing the manufacturability of machined parts*, Computer Aided Design, Volume 27, Issue 5, May 1995.
- [9] Gupta S. K., Nau D. S., Regli W. C., Nau D., *Automated Manufacturability Analysis: A Survey*. Research in Engineering Design, 9 (3): 168-190., 1997.
- [10] Manic M., Miltenovic V., Stojkovic M., Banic M., *Feature Models in Virtual Product Development*, Strojišni vestnik, 56 (3). 2010.
- [11] 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.
- [12] Studer R., Benjamins V. R., Fensel D., *Knowledge Engineering: Principles and methods, Data & Knowledge Engineering*, Vol. 25, pp. 161-197., 1998.
- [13] Blount G. N., Clarke S., *Artificial Intelligence and Design Automation Systems*, Journal of engineering Design, Vol. 5, No. 4, pp. 299-314., 1994.
- [14] Cagan J., Grossman I. E., Hooker J., *A Conceptual Framework for Combining Artificial Intelligence and Optimization in Engineering Design*, Research in Engineering Design, Vol. 9, No. 1, pp. 20-34., 1997.
- [15] Risti M., *Projektovanje proizvoda sa aspekta tehnologi nosti*, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Nišu, 2012.
- [16] Risti M., Mani M, Cvetanovi B., *Manufacturability Analysis of Die-Cast Parts*, 34th International Conference on Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering Niš, 2011.
- [17] S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [18] E. Cox, *The Fuzzy Systems Handbook*, AP Professional, 1995.
- [19] Young R.E., Giachetti R.E., Ress D., *Fuzzy constraint satisfaction in design and manufacturing*, Proceedings of the fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2, pp. 1106-1112., 1996.