

PRIMENA KNOWLEDGEWARE TEHNOLOGIJA PRI PROJEKTOVANJU HELIKOIDNIH POVRŠI

APPLICATION OF KNOWLEDGEWARE TECHNOLOGY TO HELICAL SURFACE MODELING *

Saša Ćuković¹⁾, Goran Devedžić²⁾, Milica Galjak³⁾

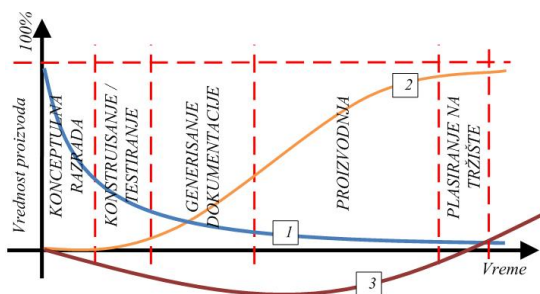
Rezime: Ugradnja znanja u model kroz primenu knowledgeware tehnologija zahteva visok nivo kreativnosti i znanja samog konstruktora, jer se od njega očekuje da na adekvatan način uključi specifične zahteve budućih korisnika. Sa aspekta konceptualnog inženjerstva, informacioni sadržaj dostupan je svim službama tima za razvoj proizvoda. Poznavajući zahteve koji važe u industriji kao i usvojene principe modeliranja kreiran je parametarski model evolventne zavojne površi koja odgovara skeletnoj cilindričnoj helisi, uz definisanje relacionih zavisnosti, pravila, provera, matematičkih funkcionalnih zakonitosti i drugih karakteristika koje suštinski reprezentuju znanje i iskustva konstruktora. Pomenute aktivnosti modeliranja snimane su nizom makroa, kojim je kroz interakciju sa osnovnim PLM sistemom korisniku omogućeno da jednostavno zadaje i upravlja parametrima i prati izvršenja svih naredbi na osnovu inicijalnih vrednosti parametara. Efekti primene knowledgeware tehnologija ogledaju se u povećanju efektivnosti, kreativnosti i kvaliteta.

Ključne reči: Knowledgeware tehnologije, Makro, Skeletna helisa, Helikoidna površ

1. UVOD

Sve veći zahtevi za visokom fleksibilnošću razvoja proizvoda i procesa proizvodnje nameću potrebu za sistemima i tehnologijama koji poseduju visok stepen automatizacije svih aktivnosti razvoja proizvoda. Stoga, primena raznih softverskih alata i tehnologija za automatizaciju projektovanja, analize, testiranja i izrade proizvoda zauzimaju ključno mesto. Pomenuti softverski alati i tehnologije opisuju se skraćenicom **PLM** (engl. „Product Lifecycle Management system“) i odnose se na upravljanje životnim ciklusom proizvoda.

Da bi se proizvod razvio u najkraćem roku neophodno je optimizirati i skratiti sve faze razvoja proizvoda, naročito rane faze konceptualnog osmišljavanja i razrade (Sl.1).



Slika 1 - Uticaj faza razvoja proizvoda na vrednost proizvoda

Faza konceptualne razrade proizvoda prethodi fazi konstruisanja. U okviru ove faze vrši se formiranje, ispitivanje i analiza skupa alternativnih rešenja. Nizom iteracija bira se najprikladnije rešenje za detaljnu konstrukcionu i tehnološku razradu. Najveće mogućnosti za uticaj na ekonomičnost razvoja proizvoda (kriva 1) su upravo u prvim fazama razvoja. Upotreba savremenih PLM sistema ovde dolazi do punog izražaja, jer od automatizacije relevantnih postupaka i procesa u ranim fazama se u velikoj meri skraćuje vreme, a time i nepotrebni troškovi. Vrednost proizvoda (kriva 2) najniža je u početnim fazama, a svoj maksimum dostiže plasiranjem proizvoda na tržište. Kada je reč o investicionim troškovima (kriva 3) oni su najdominantniji u fazi izrade proizvoda. Na ove troškove moguće je uticati razvojem i primenom savremenih proizvodnih sistema i tehnologija.

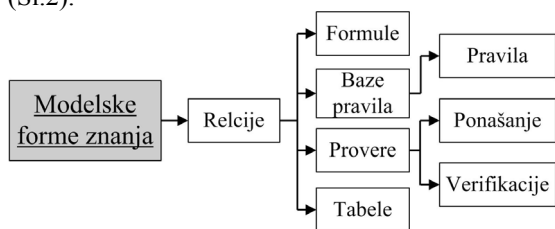
2. KNOWLEDGEWARE TEHNOLOGIJE

Softverski alati koji omogućavaju realizaciju tehnologija znanjem podržanog projektovanja, inženjeringa i proizvodnje (KAD, KAE i KAM sistema, respektivno) najčešće su integrisani u PLM sisteme ili predstavljaju deo standardnih alata za razvoj aplikacija (na primer, C++, Visual Basic, Visual Basic for Applications, Java i sl.).

1) Saša Ćuković, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: cukovic@kg.ac.rs
2) Goran Devedžić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: devedzic@kg.ac.rs
3) Galjak Milica, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: galjak.milica@kg.ac.rs

U svaki proizvod je u manjoj ili većoj meri ugrađeno znanje¹. Pod tim se podrazumeva, kako stečeno znanje stručnjaka angažovanih na razvoju proizvoda, tako i znanje koje na izvestan način pripada fabrici u okviru koje se razvija i realizuje proizvod. Skup programskih komponenti u kojima je sadržano ekspertsko znanje, pridodatih modelu proizvoda, poznat je pod nazivom **“knowledge-ware”** i predstavlja jednu od ključnih tehnologija modernih PLM sistema.

Osnovni konstitucionni element portabilnih ekspertnih sistema je *modelska forma znanja* (Sl.2).



Slika 2 - Hijerarhijska struktura modelskih formi znanja

U matematičkom smislu modelska forma znanja je *relacija*. Kao takva, ona može imati formu formula, (skupova, baza) pravila, kontrolnih struktura (provere, verifikacije, ponašanje) i tabela.

Osnova za primenu i razvoj znanjem baziranih tehnologija je parametarski opis računarske predstave realnog objekta skupom geometrijskih, dimenzionih, fizičkih, funkcionalnih i drugih parametara. Stoga, parametri se mogu definisati kao promenljive veličine (varijable) koje svojim trenutnim vrednostima potpuno opisuju model. U tom smislu razlikuju se dve osnovne vrste parametara (ograničenja) [2]:

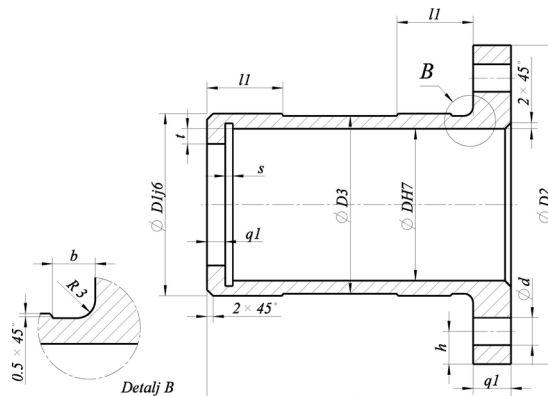
- **dimenzioni parametri** i
- **geometrijski parametri**.

Generalno, vrednosti parametara zadaju se:

- **systemski**,
- **direktno** i
- **indirektno**.

Svaki parametar ima svoju vrednost koja pripada određenoj kategoriji: celobrojna, realna, znakovna, logička, fizička, geometrijska i sl. Zadržavanje dimenzionih odnosa između pojedinih elemenata profila modelskih formi, kao i između modelskih formi u okviru modela, ostvaruje se zadavanjem (eksplicitnih) funkcionalnih, odnosno **relacionih zavisnosti** (Sl.3).

¹ Formalno, znanje se može definisati kao istinitosni súd ili skup súdova koji su rezultat (sistematskog) otkrivanja istina koje objektivno važe nezavisno od subjektivnog poimanja i percepcije.



Slika 3 - Relacione zavisnosti dužinskih parametara

Relacijama se definišu vrednosti zavisno promenljivih parametara modela na osnovu nezavisno promenljivih parametara (Tab.1).

D, mm	do 62	65..75	80..100	110..145	150..220
d, mm	9	9	11	11	11
δ, mm	4..5	6..8	8..10	10..12	
n	4			6	

$$q_1 \approx 1.2\delta; q_2 \approx (1.3...1.5)\delta; h \approx (1...1.2)d;$$

$$D_1 = D + 2\delta; D_2 \approx D_1 + (4...4,4)d;$$

$$D_3 = D_1 - (0.6...1, mm); l_1 = 20...30, mm;$$

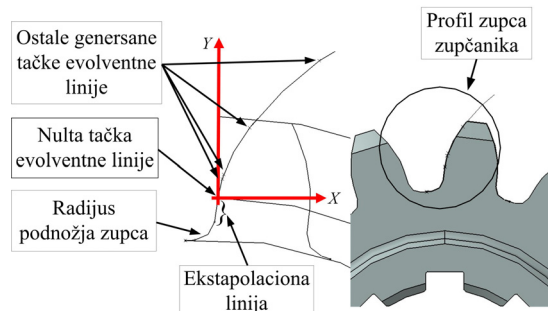
$$t \approx 4...8, mm; b = 5...8, mm$$

Tabela 1 - Relacioni odnosi dužinskih parametara

Primena poznatih matematičkih zakonitosti i funkcija (engl. “law”) u velikoj meri olakšava opis i kreiranje, upravljanje i modifikovanje najsloženijih geometrijskih oblika, profila ili linijskih segmenata. Tradicionalne metode za konstruisanje evolventnih profila zupaca zupčanika (Sl.4) mogu se u velikoj meri automatizovati, projektovanjem jednačine evolventne funkcije na horizontalan i vertikalni pravac:

$$X = (db) / 2 * (\cos(t * PI * 1rad) + \sin(t * PI * 1rad) * t * PI)$$

$$Y = (db) / 2 * (\sin(t * PI * 1rad) - \cos(t * PI * 1rad) * t * PI)$$



Slika 4 - Evolventni profil zupca zupčanika generisan matematičkim funkcionalnim zakonom

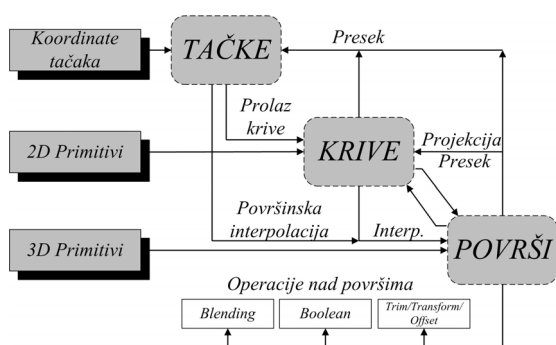
Da bi model zadržao konzistentnost tokom čitavog procesa razvoja, ali i pri eventualnim kasnijim modifikacijama, neophodno je primeniti kontrolne mehanizme [3]. Kontrolni mehanizmi se formiraju putem relacionih i funkcionalnih zavisnosti, kao i procedurama provera i pravila.

Prilikom izrade modela često se javlja potreba za ponavljanjem pojedinih postupaka. Da bi se proces modeliranja ubrzao i olakšao posao projektantu, koriste se tzv. *makroi* (engl. "macro"). Makro predstavlja grupu komandi ili funkcija organizovanih u jednu komandu [5]. Kreiranje makroa izvodi se automatski pokretanjem komande za snimanje aktivnosti modeliranja. Svaka intervencija nad modelom pamti se, pa je važno da se ne sprovedu nepotrebne operacije.

3. MODELIRANJE SLOŽENIH POVRŠI

Oblikovanje i izrada složenih površi predstavlja veliki izazov kako za konstruktore, tako i za tehnologe. To je i razlog zbog koga postoje brojna mišljenja o klasifikaciji složenih površi, metodama za njihov parametarski opis, kao i pristupima za njihovu obradu. Kako ne postoji zvanični standard kojim se razmatra ova oblast, smernice za oblikovanje kvalitetnih proizvoda složene konfiguracije prihvaćene su upravo iz automobilske industrije. Većina svetskih proizvođača automobila kao osnovni sistem za digitalni razvoj proizvoda koristi PLM sistem CATIA.

U svakom slučaju, parametarski opis složenih površi zasnovan je na parametarskom opisu tačaka i krivih (prostornih ili ravanskih) i operacijama nad njima (Sl.5)[1].



Slika 5 - Principi modeliranja složenih površi

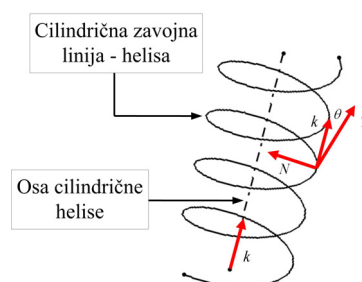
Novije verzije ovog softvera donele su poboljšanja kada je reč o parametrizaciji složenih površi uz mogućnost modeliranja geometrijski vrlo kompleksnih površi zasnovanih na NURBS krivama (npr. unutrašnji paneli, itd.).

4. CILINDRIČNA HELISA I HELIKOIDNE POVRŠI

Oblikovne i dimenzione karakteristike zavojnih površi, nezavisno od oblasti primene, uslovljene su geometrijskim i dimenzionim opisom zavojne linije i profila zavojne površi, definisanog u određenoj ravni (najčešće upravnoj na zavojnu liniju).

Definicija:

Cilindrična helisa je regularna kriva α u prostoru E^3 , takva da je ugao θ između njenog jediničnog tangentskog vektora T i nekog jediničnog fiksnog vektora k konstantan, tj. $T \cdot k = \cos \theta = const$.

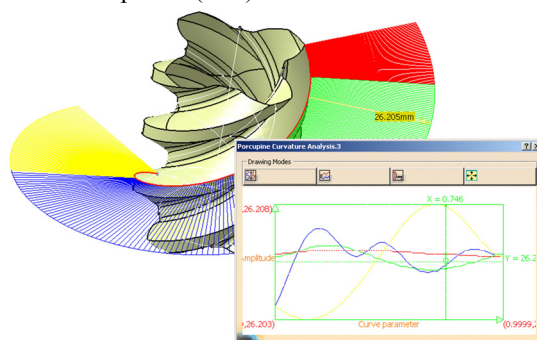


Slika - Cilindrična helisa

Odnosno, cilindrična helisa je regularna kriva α sa krivinom $k > 0$ je cilindrična helisa ako je $\tau(s) / k(s) = const$ (Sl.6).

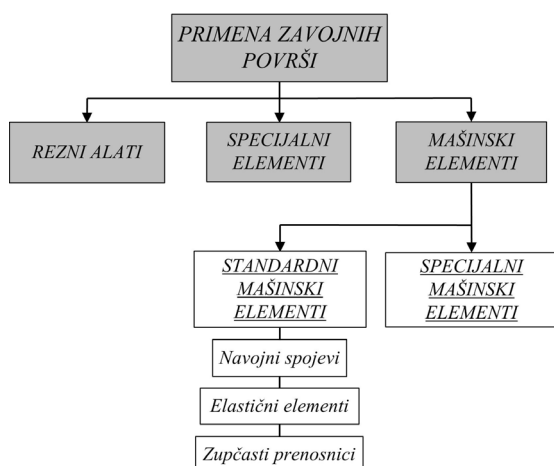
Zavojna površ ili helikoid je prostorna površ koju opisuje poluprava pri zavojnom kretanju kotrljanjem, bez klizanja, oko ose cilindra.

U kontekstu savremenih PLM sistema i alata za optimizaciju i analizu površi moguće je određivanje krivine i torzije osnovne zavojne linije ili zavojne linije nastale u preseku helikoidne i cilindrične površi (Sl.7).



Slika 7- Analiza krivine i torzije cilindrične helise

Fundamentalna tehnička primena zavojnih površi (Sl.8) je u oblasti standardnih mašinskih elemenata, pre svega, navojnih spojeva (čvrste zavrtnajske veze i pokretni navojni prenosnici), elastičnih elemenata (pritisne i vučne cilindrične zavojne opruge) i zupčastih prenosnika (pužni prenosnici).



Slika 8 - Tehnička primena zavojnih površi

5. ALATI ZA OBRADU HELIKOIDNIH POVRŠI

Precizna izrada i oblikovanje zavojnih površi uslovljeni su pravilnim izborom režima obrade, razvojem reznih geometrija i tehnološke opreme. Brojni problemi koji se javljaju u toku projektovanja tehnološkog postupka izrade

projektuje za zahtevane oblike profila zavojnih površi [4].

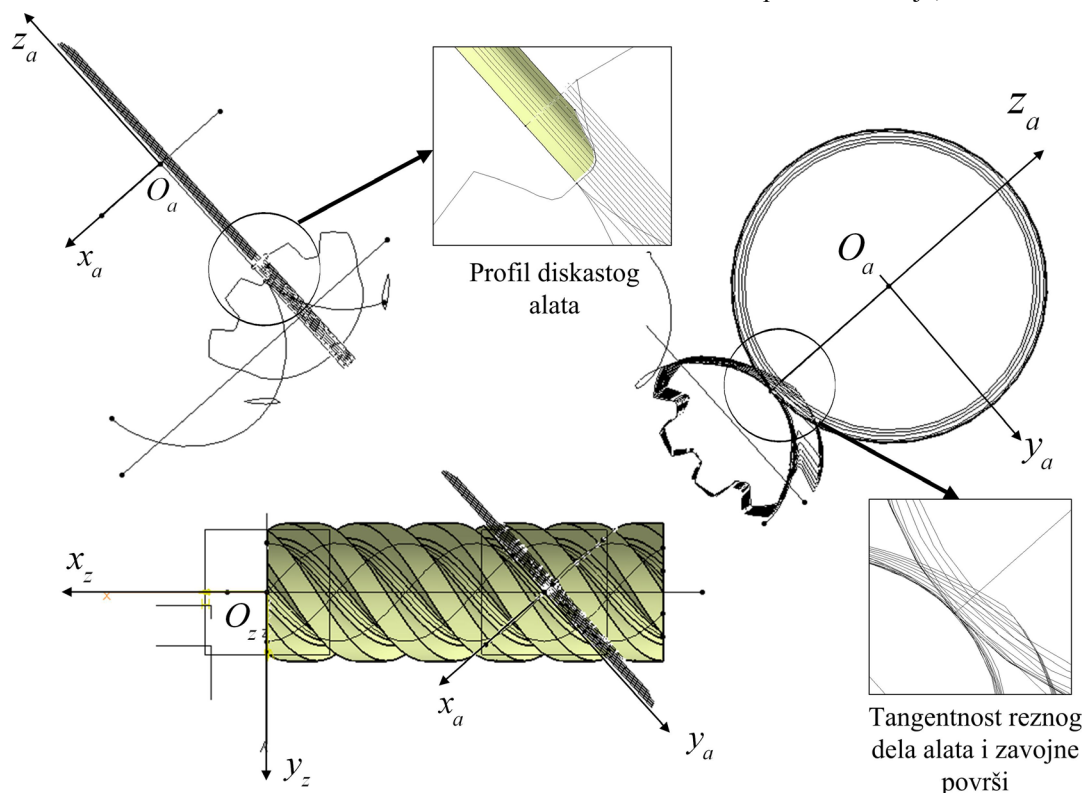
U postupku izrade zavojne površi, stvarni profil razlikuje se od teorijski definisanog profila što je posledica već pomenute nesavršenosti režima obrade, tehnološke opreme i geometrije reznih alata. Ovu problematiku dodatno usložnjava i konstatacija da se ni profil reznog alata ne poklapa sa profilom zavojne površi.

Od konstruktora alata zahteva se da na osnovu poznatog profila zavojne površi definiše, sa dovoljnom tačnošću, profil alata koji obezbeđuje dobijanje zahtevanog oblika bliskog teorijskom. Prema nekim autorima, brojne metode kojima se sa velikom preciznošću mogu odrediti profili alata, namenjeni obradi zavojnih površini, svrstane su na:

- analitičke metode,
- grafičke metode,
- grafo - analitičke metode.

Posebno su interesantne grafičke metode kroz prizmu savremenih CAD sistema, čijom se primenom postižu sledeći efekti:

- automatsko generisanje svih tipova ravanskih i prostornih linija,



Slika 9 - Geometrijska analiza tangencnosti alata i zavojne površi pri dobijanju profila alata

uglavnom se odnose na izbor alata, posebno na definisanje njegovog profila. Većina alata za izradu i/ili obradu zavojnih površi specijalno se

- povećanje ukupne robustnosti modela zavojne površi parametarskim opisom njegovih modelskih formi,

- ugradnja iskustva i stečenog znanja primenom tehnologija za formalizovanje znanja,
- mogućnost primene makroa za neograničen broj automatskih ponavljanja svih faza konstruisanja,
- maksimalna univerzalnost, nezavisno od oblika profila i ravni u kojoj je definisan,
- mogućnost generisanja profila alata različitih oblika,
- integracija sa CAM sistemima, itd.

U slučaju definisanja profila diskastih alata čija osa sa vertikalom gradi prav ugao, a nominalni profil zavojne površi dat u ravni upravnoj na osu zavojnice, moguće je geometrijskom analizom odrediti profil alata koji se razlikuje od presečnog profila (Sl.9). Položaj svih tačaka zavojne površi u prostoru određen je sa tri koordinate x_{zi} , y_{zi} i z_{zi} koordinatnog sistema x_z , y_z , z_z postavljenog u projekciji nulte tačke zavojnice na osu zavojnice $O_z(0,0,0)$. Ukoliko se uoči tačka sa koordinatama $A(-P, 0, R)$ i kroz nju postavi ravan upravna na generičku zavojnicu, ona će ležati u ravni $x_a - z_a$ koordinatnog sistema alata postavljenog u tački O_a . Formiranjem skupa paralelnih ravni, upravni na osu alata x_a i njihovim presekom sa elementima zavojne površi, dobija se niz linijskih odsečaka. Za konkretan slučaj, uzeto je petnaest ravni podela sa međuravanskim rastojanjem od po 0,2,mm.

Sledeća faza u postupku grafičkog određivanja profila alata podrazumeva definisanje uslova tangentnosti punih, međusobno koncentričnih kružnica i linijskih odsečaka u svim presečnim ravnima respektivno. Svaka od pomenutih kružnica preseca ravan alata $x_a - z_a$ čime se formira niz diskretnih tačaka. Njihovim spajanjem pomoću specijalne krive (engl. "spline"), dobija se poluprofil alata. Ovime je izbegnuto dobijanje profila aproksimativnim postupkom koji podrazumeva opis profila nizom pravih linija, čime bi se uticalo na preciznost. Jasno se uočava da se profil alata razlikuje od profila zavojne površi što je i bio cilj ovog razmatranja.

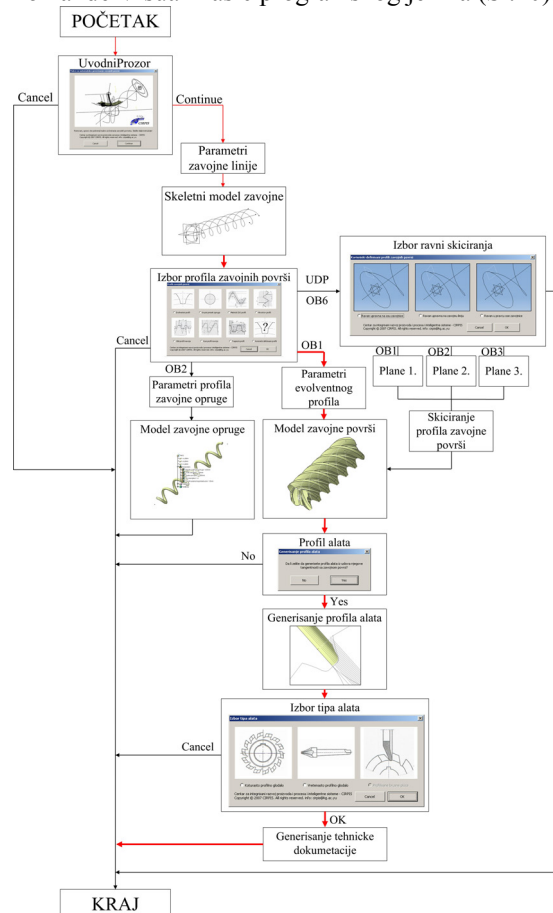
6. CATIA/VisualBasic INTERFEJS

Postoje brojni pristupi kojima se može vršiti arhiviranje akcija izvršenih nad modelom i njegovim modelskim formama [5]. Navode se samo najaktuelniji pristupi:

- Primena makroa (engl. „*Macros*“),

- Primena VBA makroa (engl. „*Visual Basic Application*“),
- Primena Visual Basic i VB.NET programskog jezika,
- Integracija Visual Basic i CAA RADE (engl. „*Component - Application - Architecture - Rapid - Application - Development - Environment*“).

PLM sistem CATIA dozvoljava istupanje u Visual Basic editor (integriran u sam sistem), čime se proširuju mogućnosti za formiranje efektivnih aplikacija. Od korisnika makroa zahteva se da poznaje principe objektnog programiranja i komande Visual Basic programskog jezika (Sl.10).



Slika 10 - Algoritamska šema jedinstvenog .catvba makroa

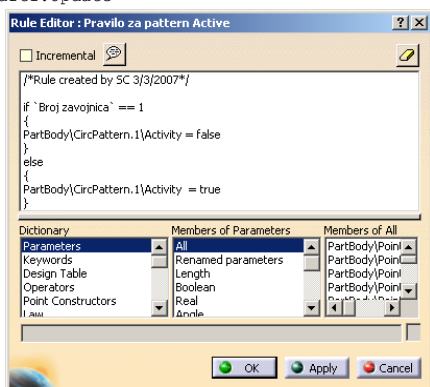
Kako se pod makroom podrazumeva uređena procedura, izvršenje dela kôda ili čitave procedure uslovljeno događajima pokrenutim akcijama korisnika (klik, dvostruki klik, itd.). Stoga, važno je napomenuti da kôd ima smisla koristiti (snimati) samo za opis komandnih dugmadi, jer se time direktno uslovljava njihovo izvršenje [4].

Tokom snimanja akcija modeliranja nekim od pomenutih tipova makroa, vrlo često se dešava da se zabeleže aktivnosti koje nisu presudne za dobijanje modela. Sa druge strane, česti su

slučajevi da makro ne zabeleži akcije koje su važne, stoga je neophodno primeniti drugu metodu ili se kôd mora ručno ispisati. Pri snimanju makroa nikako ne treba prelaziti iz jednog modula u drugi, koristiti komandu kojom se poništava prethodna komanda, a ne preporučuje se ni podešavanje generalnih opcija. Snimanje makroa treba zaustaviti tek po završetku komande ili po izlasku iz nekog od modula.

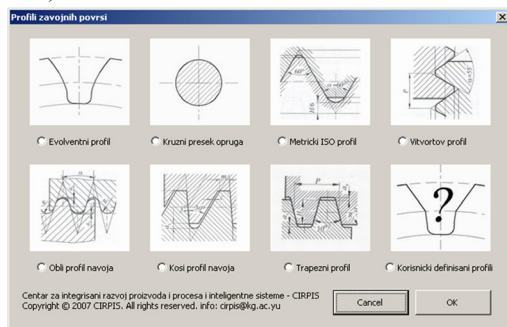
Poznavanjem karakteristika ovog pristupa, makro snimljen na bilo koji od pomenutih načina može se u velikoj meri optimizovati [5]. Svaka modelska forma znanja kreirana u toku snimanja makroa ima specifičan zapis (Sl.11).

```
Set relations1 = part1.Relations
Set rule1 =
relations1.CreateProgram("Pravilo za
pattern", "/*Rule created by SC 3/3/2007*/",
"/*Rule created by SC 3/3/2007*/" & vbCrLf &
"" & vbCrLf & "" & vbCrLf & "if `Broj
zavojnica` == 1 " & vbCrLf & "" & vbCrLf &
"{" & vbCrLf &
"PartBody\CircPattern.1\Activity = false" &
vbCrLf & "}" & vbCrLf & "else" & vbCrLf &
"{" & vbCrLf &
"PartBody\CircPattern.1\Activity = true" &
vbCrLf & "}")
rule1.Rename "Pravilo za pattern"
part1.Update
```



Slika 11 - Primer snimljenog pravila o regulisanju broja zavojnica

Tradicionalne metode konstruisanja profila alata podrazumevale su višerasovni rad i odlikovala ih je velika nefleksibilnost. Upotrebom projektovanog makroa sati se zamenjuju sekundama uz mogućnost izbora različitih profila (Sl.12).



Slika 12 - Profili helikoidnih površi

Navedeni principi i tehnike modeliranja dozvoljavaju konstruktorima i budućim korisnicima stvaranje mnogih varijantnih konstrukcija, bez preteranog upuštanja u detalje, a sve sa ciljem da se isti koncentriše na funkcionalne aspekte konstrukcije. Time se skraćuje ukupno vreme razvoja proizvoda i sprečavaju brojne greške koje bi se javile u tradicionalnom pristupu projektovanju.

7. ZAKLJUČAK

Sa aspekta konceptualnog inženjerstva, informacioni sadržaj dostupan je svim službama tima za razvoj proizvoda, počev od tima za razradu konstrukcije, montaže, pa sve do sektora finansija i marketinga.

Sve aktivnosti realizovane prilikom modeliranja modela zavojne površi i generisanja profila diskastog alata za obradu evolventnog profila, snimane su nizom .catvbs makroa, a u editoru programskog jezika Visual Basic kôdovi svih makroa integrisani su u jedinstven .catvba fajl. Pokretanje makroa aktiviranjem jedne komande i rad sa korisnički definisanim formama u velikoj meri rad korisnika čini komfornijim. Primenom razvijenog makroa, postiže se veliki broj efekata, među kojima se kao najvažniji mogu izdvojiti sledeći:

- Direktna primena u industriji za različite profile zavojnih površi,
- Visok nivo fleksibilnosti i interaktivnosti korisnika i aplikacije,
- Integracija sa drugim sistemima za razvoj proizvoda,
- Primena u različitim operativnim sistemima (MS Windows, UNIX, itd.),
- Korišćenje neograničen broj puta uz uštedu vremena i budžeta, itd.

LITERATURA

- [1] Byoung C., Robert J.: "Sculptured Surface Machining - Theory and Applications", Kluwer Academic Publishers, London, 1998.
- [2] Devedžić G.: "CAD/CAM tehnologije", CIRPIS centar, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006.
- [3] Devedžić G.: "Softverska rešenja CAD/CAM sistema", Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [4] Ivanov V., Nankov G.: "Profiling of rotation tools for forming of helical surfaces", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 38, pp. 1125-1148, 1997.
- [5] Schneider T., Clark N.: "Getting Started with KBE: Working With the CATIA/Visual Basic Interface", Vought Aircraft Industries, 2003.