Automatizacija CAPP podrške u CAD/CAM sustavima

Basa, Blaženko - Bruno

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:543471

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Blaženko-Bruno Basa

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Tomislav Staroveški, dipl. ing.

Student:

Blaženko-Bruno Basa

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem obitelji na podršci i razumijevanju tijekom cjelokupnog školovanja. Također, zahvaljujem mentoru Tomislavu Staroveškom na pomoći i utrošenom vremenu pri izradi diplomskog rada.

Blaženko - Bruno Basa

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Blaženko Bruno Basa** Mat. br.: 0035188975

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Automatizacija CAPP podrške u CAD/CAM sustavima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **CAPP Automation in CAD/CAM Systems**

Opis zadatka:
Projektiranje tehnoloških procesa podržano računalom (eng. *Computer-aided process planning*, CAPP) u užem se smislu odnosi na postupke u kojima se parametarski zadani CAD modeli prenose u CAM module u cilju generiranja putanja alata CNC strojeva. Iako su suvremeni CAD i CAM sustavi značajno napredovali, projektiranje tehnoloških procesa još se uvijek u najvećoj mjeri oslanja na čovjeka. U tom smislu, prednosti imaju integrirani CAD/CAM sustavi u kojima reference na geometrijske i tehnološke značajke modela ostaju očuvanim tijekom izmjena. Primjenom takvih integriranih sustava moguće je značajno ubrzati proces izrade NC programa na proizvodima koji se mogu razvrstati po principima grupne tehnologije.

U radu je potrebno:

- dati pregled postojećih CAD/CAM sustava s osvrtom na podršku za skriptiranje i automatizaciju CAPP-a
- demonstrirati primjenu automatiziranog CAPP-a na parametarskom modelu kućišta motorvretena, izradom odgovarajuće programske podrške (modula) u CAD/CAM okruženju CATIA V5
- dati zaključke rada
- navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
11. svibnja 2017.	13. srpnja 2017.	19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Tomislav Staroveški Prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ 1
POPIS SLIKA 2
POPIS TABLICA 3
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE 4
POPIS OZNAKA 5
SAŽETAK 6
SUMMARY 7
1. UVOD 8
2. CAD/CAM SUSTAVI 10
3. CAPP PODRŠKA 12
3.1. Integracija CAPP-a s CAD/CAM sustavima 17
3.2. Automatizacija CAPP-a 18
3.3. Pregled CAD/CAM sustava s osvrtom na skriptiranje i CAPP podršku 18
4. SKRIPTIRANJE MAKRO FUNKCIJAMA 20
4.1. Makro podrška unutar CAD/CAM sustava CATIA 20
4.2. VBA 21
4.2.1. VBScript 21
4.2.2. CATScript 21
5. PRIMJENA AUTOMATIZACIJE CAPP-a NA MODEL KUĆIŠTA MOTORVRETENA 22
5.1. Parametrizacija CAD modela kućišta 23
5.2. Izrada CAM-a modela kućišta 27
5.3. Skriptiranje makro funkcija 28
6. POKRETANJE SKRIPTIRANIH MAKRO FUNKCIJA I REZULTATI 36
7. ZAKLJUČAK 45
LITERATURA 46
PRILOZI 47

POPIS SLIKA

Slika 1. CAD/CAM sustav 11
Slika 2. Varijantni pristup CAPP-a [1] 14
Slika 3. Generativni pristup CAPP-a [1] 15
Slika 4. Prikaz CAPP pristupa i primjera [1] 16
Slika 5. Prikaz integracije CAPP-a i CAD/CAM sustava 18
Slika 6. Prikaz početnog modela kućišta motorvretena 22
Slika 7. Glavni parametri modela 24
Slika 8. Model kućišta motorvretena s novim parametrima 26
Slika 9. Horizontalni obradni centar „HELLER MC16“ 27
Slika 10. Definiranje dubine operacije Dubokog bušenja 28
Slika 11. Snimanje makro funkcije 29
Slika 12. Kod za Open dialog box 29
Slika 13. Prozor za odabir datoteke 30
Slika 14. Korisničko sučelje 31
Slika 15. Kod za tipku OK 32
Slika 16. Kod za unos parametra „Glavni Provrt“ 33
Slika 17. Kod za dodavanje limita na „Glavni provrt“ 34
Slika 18. Kod za ažuriranje putanje alata 35
Slika 19. Prozor za odabir ikone makro funkcije 36
Slika 20. Ikone makro funkcija na alatnoj traci CATIA-e 37
Slika 21. Usporedba putanje alata operacije „Duboko bušenje“ 38
Slika 22. Usporedba referentnih površina operacije „Duboko bušenje“ 39
Slika 23. Usporedba putanje alata operacije „Poravnavanje baze kućišta“ 40
Slika 24. Usporedba referentnih površina operacije „Poravnavanje baze kućišta“ 41
Slika 25. Usporedba putanje alata operacije „Obrada utora na dnu“ 42
Slika 26. Usporedba putanje alata operacije „Izrada bušne slike“ 43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis CAD/CAM sustava s osvrtom na skriptiranje i automatizaciju CAPP-a ..19
Tablica 2. Prikaz odnosa između dimenzija CAD modela kućišta 24

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
1	Gehäuse - LH2-01-B-A

POPIS OZNAKA

CAD	*Computer Aided Design*	- projektiranje pomoću računala
CAM	*Computer Aided Manufacture*	- proizvodnja podržana računalom
CAPP	*Computer Aided Process Planning*	- planiranje proizvodnje podržano računalom
CATIA	*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*	
3D	*Three dimensional*	- trodimenzionalno
NC	*Numerical Control*	- numeričko upravljanje
CNC	*Computerized Numerical Control*	- računalno numeričko upravljanje
CA	*Computer Aided*	- potpomognuto računalom
AI	*Artificial Intelligence*	- umjetna inteligencija
STEP	*Standard for Exchange for Product Model Data*	
CL	*Cutter Location*	- položaj reznog alata
GUI	*Guided User Interface*	- korisničko sučelje
VBA	*Visual Basic for Applications*	- podskup VB-a
MS	*Microsoft*	- informatička kompanija
IDE	*Integrated Development Enviroments*	- programsko okruženje
VB	*Visual Basic*	- vrsta programskog jezika
VBScript	*MS Visual Basic Scripting Edition*	
ITA	*Iscar Tool Advisor*	- e-katalog za odabir reznih alata

SAŽETAK

U sklopu ovog diplomskog rada, napisan je uvid u CAPP sustave i njihov značaj u planiranju proizvodnje. Također, u sklopu tog dijela rada, napisan je pregled postojećih CAD/CAM sustava s osvrtom na mogućnost skriptiranja i CAPP podrške. Ostvarena je realizacija jednostavnog CAPP sustava, primjenom programskog jezika VBA u sklopu CAD/CAM sustava CATIA V5. Rezultati rada su prikazani kroz automatski modificirane putanje alata koje su se dinamički mijenjale u ovisnosti o geometrijskim značajkama parametriziranog modela. Primjenom ovako integriranog sustava, značajno se ubrzao proces izrade NC programa za proizvode koji se mogu grupirati po principima grupne tehnologije.

Ključne riječi: CAD/CAM, CATIA, CAPP, makro funkcije, skriptiranje

SUMMARY

This paper presents the overview of the CAPP systems and their importance on process planning. A list of existing CAD/CAM systems with emphasis on the integrated CAPP support has also been reviewed. A realization of a simple CAPP system has been achieved using VBA programming language within CAD/CAM system CATIA V5. Such system has been tested on motor spindle housing. Results show that a simple CAPP system can be developed within CAD/CAM system using integrated scripting support.

Key words: CAD/CAM, CATIA, CAPP, macros, scripting

1. UVOD

Razvoj tehnologije je formirao moderni svijet. Tehnologija utječe na sve razine ljudskih djelatnosti i svakodnevno olakšava život ljudi. Jedna od ljudskih djelatnosti gdje je vidljiv utjecaj razvoja tehnologije je upravo proces razvoja proizvoda.

Moderni zahtjevi tržišta kao što su viša produktivnost, ispunjavanje želja kupca, jeftiniji i kompleksniji proizvodi, veća iskoristivost alata i strojeva, bolja kvaliteta obrađenih površina, očuvanje okoliša kao i potreba za novim materijalima pokretači su razvoja tehnologije. Ako se želi postići visoka produktivnost, nužno je uvesti projektiranje i proizvodnju podržanu računalom.

CAD/CAM sustavi su odgovor na pojavu novih zahtjeva tržišta. Povezivanje CAD i CAM modula unutar jedne aplikacije jedan je od načina automatizacije procesa projektiranja i proizvodnje. Današnji CAD/CAM sustavi uspješno izmjenjuju geometrijske informacije modela obratka, ali to nije dovoljno za cjelokupnu automatizaciju procesa planiranja proizvodnje. Informacije o procesu plana proizvodnje su sadržane unutar CAPP modula koji služi kao izravna poveznica CAD i CAM sustava. Planiranje procesa obrade je sustavno određivanje načina na koji će neki dio biti učinkovito i ekonomično transformiran od pripremka do gotovog proizvoda [1]. Zbog sve više sličnosti i rasta ponude varijacija istih tipova proizvoda, nužno je olakšati proces planiranja proizvodnje. Proizvode koji su dovoljno slični potrebno je grupirati i standardizirati njihov postupak strojne obrade.

Podrška za skriptiranje i izradu makro funkcija je način automatizacije koji se sve više može pronaći u sklopu uobičajenih paketa CAD/CAM softvera. Makro funkcija je zapis naredbi, napisan u nekom programskom jeziku, kojem je svrha automatizacija obavljanja zadaća za koje je napisan.

U ovom diplomskom radu, za parametarski modelirano kućište motorvretena, izrađena je makro skripta koja omogućuje jednostavnu promjenu izdvojenih parametara i ažuriranje modela i obrade u odnosu na nove parametre. U radu je također dan i pregled postojećih CAD/CAM sustava s osvrtom na podršku za skriptiranje i automatizaciju CAPP-a.

Izradom makro skripte, proces projektiranja i proizvodnje ovog tipa kućišta motorvretena je automatiziran i ubrzan. Također, ostvarena je i primjena automatizacije CAPP-a izradom odgovarajuće programske podrške u CAD/CAM okruženju CATIA-e. U sklopu CAM

modula definirani su svi rezni alati, nul-točke obrade, parametri obrade, stezne naprave i sl. U konačnici, ovim pristupom značajno je ubrzan proces generiranja NC programa za strojnu obradu takve pozicije.

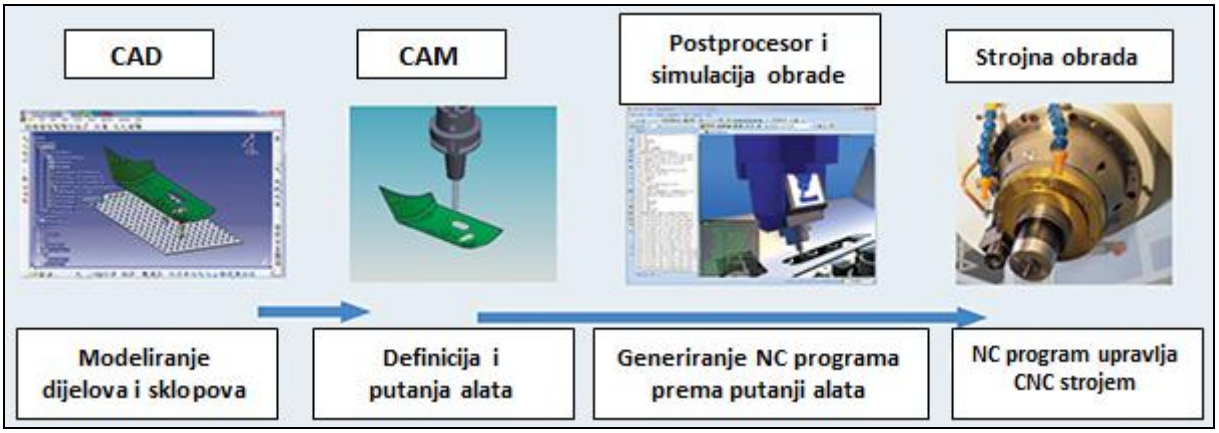
2. CAD/CAM SUSTAVI

Upotrebom računala u svrhu razvoja proizvoda znatno se povećala učinkovitost cjelokupnog procesa projektiranja i proizvodnje. Na taj način je omogućena automatizacija cjelokupnog sustava projektiranja, konstrukcije i izrade. Povezivanjem fleksibilne *CAD/CAM* proizvodnje s računalno podržanim metodama prodaje i distribucije, kreira se sustav računalom integrirane proizvodnje koji omogućuje jeftinu i velikoserijsku proizvodnju proizvoda [1].

Otkad se ideja o *CAD*-u (eng. *Computer Aided Design*) pojavila sredinom prošlog stoljeća, uvelike je olakšan proces konstruiranja i razvoja proizvoda. CAD sustavi su nastali iz jednostavnih računalnih alata za crtanje i zatim, preko konstruiranja jednostavnih žičanih modela, doveli do današnjeg, puno kompliciranijeg, 3D modeliranja punih dijelova [2]. Otprilike u isto vrijeme, pojavila se i ideja o *CAM*-u (eng. *Computer Aided Manufacturing*), sustavu koji je nastao iz potrebe programiranja *NC* (eng. *Numerical Control*) strojeva. CAM sustavi su se razvijali odvojeno od CAD sustava i upravo je to uvelike ograničilo napredak učinkovitosti cjelokupnog procesa proizvodnje, između ostalog, zbog različitih formata datoteka crteža i NC programa. Zbog ovog, mnogo se vremena u CAM modulu trošilo na ponovno definiranje geometrije proizvoda koja se prethodno definirala unutar CAD modula. Nastala je potreba da se taj ograničavajući faktor integracije CAD i CAM sustava što prije premosti i da se ta dva sustava povežu.

Prvi pokušaji povezivanja su bili ostvareni na način da se model proizvoda, napravljen u CAD sustavu, počeo koristiti unutar CAM sustava. To je omogućilo CAM sustavima da izravno manipuliraju modelima iz CAD sustava. Međutim, modeli izrađivani u CAD modulu su predstavljali samo konačan oblik proizvoda. Tu je nastao problem zbog toga što programer NC koda mora znati više međukoraka oblika modela, a ne samo konačni, jer na temelju međukoraka piše strojni kod za svaku operaciju obrade. Međukoraci su se morali stvarati ili ispočetka ili regenerirati promjenama na postojećim, konačnim modelima. Današnji CAD/CAM sustavi uspješno dijele geometrijske informacije modela obratka, ali to nije dovoljno za cjelokupan proces planiranja proizvodnje. Informacije o procesu plana proizvodnje su sadržane unutar modula *CAPP* (eng. *Computer Aided Process Planning*) koji služi kao izravna veza između CAD i CAM sustava [2].

Da bi se proizvod mogao obraditi, nakon preuzimanja modela iz CAD modula, potrebno je u CAM modulu definirati operacije obrade s odgovarajućim parametrima, definirati rezne alate i zadati ograničenja koja postoje zbog geometrije samog proizvoda. Način na koji funkcionira CAD/CAM sustav je ukratko opisan na slici 1.



Slika 1. CAD/CAM sustav

Izrada NC programa troši puno vremena i podložno je ljudskim greškama. Potrebno je i dobro poznavanje *CNC* procesa i obrada. Vrlo često, vrijeme potrebno za generiranje putanja alata i NC programa za obradu proizvoda je puno veće od samog vremena strojne obrade. Prednosti CAD/CAM sustava su manje vrijeme i troškovi razvoja i konstruiranja proizvoda i mogućnost bržeg prijelaza od početne ideje do konačnog modela, a samim time i gotovog proizvoda.

Danas se CAD/CAM tehnologije nastavljaju razvijati. Trenutno su aktualni sustavi bazirani na značajkama. Značajke su uglavnom geometrijske, iako se sve češće baziraju i na sličnostima obrade. Glavni cilj ovog pristupa je dovesti do automatskog prepoznavanja značajki gdje će se prema sličnosti više CAD modela, generirati plan procesa. Naravno, to zasad nije dovoljno za generiranje putanje alata i NC programa jer je u CAD modulu sadržano premalo podataka vezanih za obradu. Ako se ovaj dio unaprijedi, mogla bi se postići i potpuna integracija CAD/CAM sustava.

3. CAPP PODRŠKA

Projektiranje i proizvodnja su dva usko povezana dijela procesa razvoja proizvoda. Ono što ih povezuje je planiranje procesa. Planiranje procesa obrade je sustavno određivanje načina na koji će neki dio biti učinkovito i ekonomično transformiran od pripremka do gotovog proizvoda [1]. U njemu veliku ulogu imaju vještine, znanje i intuicija planera procesa [3]. Da bi se proces mogao planirati, prvo treba na temelju konstrukcijskih podataka odabrati odgovarajući proces obrade, a samim time i redoslijed operacija. Zatim je potrebno odabrati strojeve na kojima će se izvršavati operacije i redoslijed stezanja obratka za svaku odabranu operaciju. Nakon toga slijedi odabir alata, uz nastojanje da broj izmjena alata bude što manji, te odabir parametara obrade i određivanje vremena izrade određenog proizvoda. Međutim, postoji mogućnost da se pojavi ljudska greška ili da odabrani način proizvodnje nije optimalan s obzirom na kapacitete proizvodnog pogona. Upravo to može dovesti do viših proizvodnih troškova, kašnjenja i odabira nestandardnih procesa koji samo unose nestabilnost u poslovanje tvrtke. Danas, zahvaljujući dinamičnijim tržištima i globalizaciji u poslovnom svijetu, inzistira se na većoj kvaliteti, smanjenju vremena i troškova obrade, smanjenju potrošnje energije i povećanju produktivnosti, ekonomičnosti i fleksibilnosti proizvodnje. Iz svih navedenih razloga pojavila se želja za uvođenjem računala u proces planiranja. Ideja o korištenju računala za pomoć pri planiranju procesa je iznesena 1965. godine od strane Neibela, ali tek 1976. godine je prezentiran prvi varijantni CAPP sustav *MIPLAN* kojeg je izradila tvrtka *OIR*, uz sponzorstvo tvrtke *CAM-I*. Nedugo zatim, 1977. godine nastaje i prvi generativni sustav CAPP-a [1]. Od ideje Neibela je prošlo više od 50 godina. U usporedbi s CAD i CAM sustavima koji su se počeli razvijati u slično vrijeme, CAPP je zaostao. Međutim, zaostatak CAPP sustava nije uzrokovan nedostatkom istraživačkog rada [4].

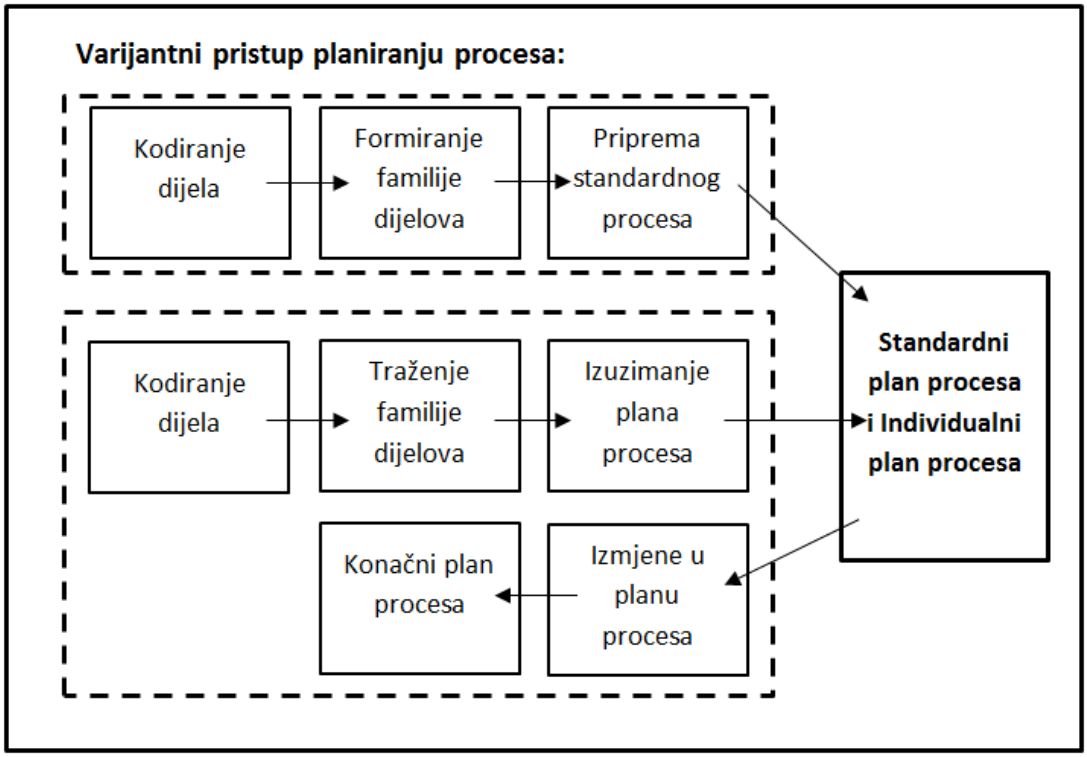
Strogo gledano postoje dvije vrste planiranja procesa. Prva je tradicionalno ili ručno planiranje. Ono je dosta subjektivno i ponajviše ovisi o sposobnosti planera procesa. Zbog nedostatka računalne baze podataka, planerovo vrijeme je utrošeno na sljedeći način: 15% tehnološke odluke, 40% proračun i nalaženje potrebnih podataka, 45% priprema teksta i dokumentacija [3]. Druga vrsta planiranja je ono pomoću računala. Glavne prednosti CAPP-a u odnosu na ručno planiranje su: racionalizacija procesa, povećanje produktivnosti planera procesa, brže planiranje procesa, veća standardizacija procesa i dokumentacije, te

mogućnost uključivanja i drugih *CA* (eng. *Computer Aided*) aplikacija [5]. Cilj CAPP sustava je svesti utjecaj planera na minimum kako bi se u potpunosti isključile subjektivne odluke, a istovremeno usvojile standardne metode i postupci koje jamče kvalitetniji proizvod uz niže troškove. Kao prvi korak uvođenja CAPP sustava navodi se stvaranje informatizirane baze podataka.

CAPP se može podijeliti na:

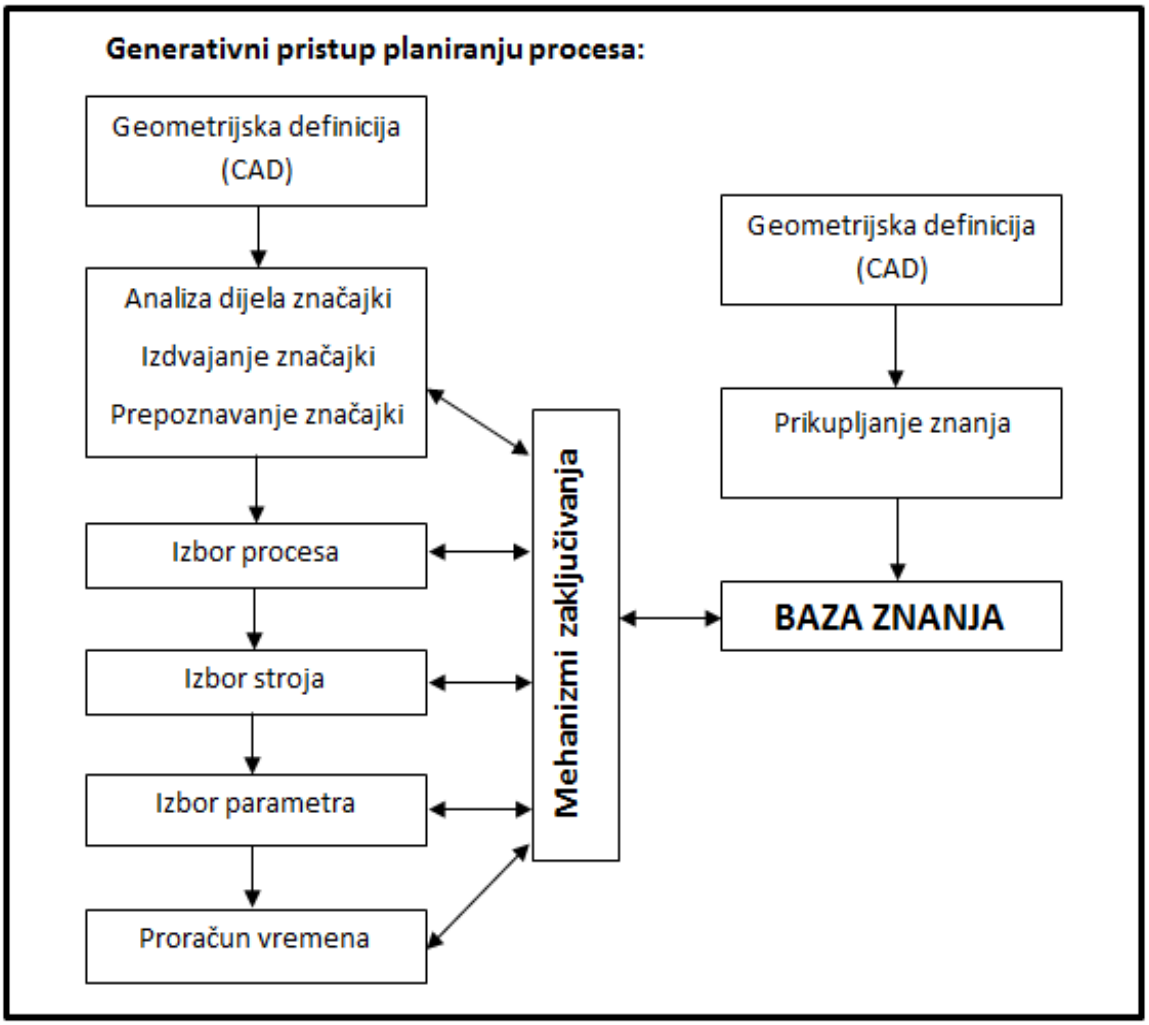
- Varijantni pristup,
- Generativni pristup i
- Semi-generativni pristup.

Varijantni pristup koristi postojeći plan koji je nastao s obzirom na sličnost pozicija unutar baze podataka. Pozicije su složene u familije (grupe) prema sličnostima proizvodnih metoda. Prednost ovog pristupa je da se procedure mogu standardizirati prema željama i mogućnostima pojedine tvrtke. Komplicirane odluke iziskuju manje vremena jer se koriste postojeći podatci koji su pohanjeni na računalu. Također, prednost je što se može primjeniti na sve tipove proizvodnje, a eventualnim nadogradnjama proizvodnog pogona, lako se može primjeniti i na nove i na stare pozicije. Nedostatak je taj što još uvijek sve ovisi o sposobnosti planera procesa. Klasifikacijski sustav određivanja familija je vrlo krut i teško ga je mijenjati, a ako ga se i želi ili mora mijenjati, opet ovisi o planeru procesa. No, ovaj pristup je vrlo popularan jer ne traži velike troškove uvođenja i opreme, te je jednostavan za razumijevanje. Najčešće se primjenjuje u malim i srednjim tvrtkama koje imaju dosta slične proizvode. Za ovaj rad je bitno naglasiti da se varijantni pristup ne može u potpunosti automatizirati. Na slici 2 je grafički prikaz varijantnog pristup planiranja procesa.



Slika 2. Varijantni pristup CAPP-a [1]

Generativni pristup se izrađuje logikom odlučivanja, algoritmima za odabir tehnoloških operacija i geometrijskim podatcima modela. Sve je pohranjeno u računalu i planer nije potreban. Sustav automatski generira plan procesa za svaki novi proizvod. Glavne prednosti ovog pristupa su da brzo i efikasno generira planove procesa, te da se nove komponente jednostavno uključuju u plan. Sustav ima potencijal integracije u automatizirane proizvodne sustave kao i mogućnost generiranja detaljnih informacija potrebnih za upravljanje [1]. Nedostatci koje treba imati na umu u slučaju odabira ovog pristupa su: složenost programske podrške zbog korištenja umjetne inteligencije (eng. *Artificial Intelligence, AI*), CAD model najčešće ne posjeduje sve tražene podatke potrebne za projektiranje tehnologije obrade i potrebne su velike baze znanja kako bi se pokrio širok spektar geometrije podataka. Sve ovo stvara velik broj mogućih kombinacija i pravila. Na slici 3 je grafički prikaz generativnog pristupa planiranja procesa.



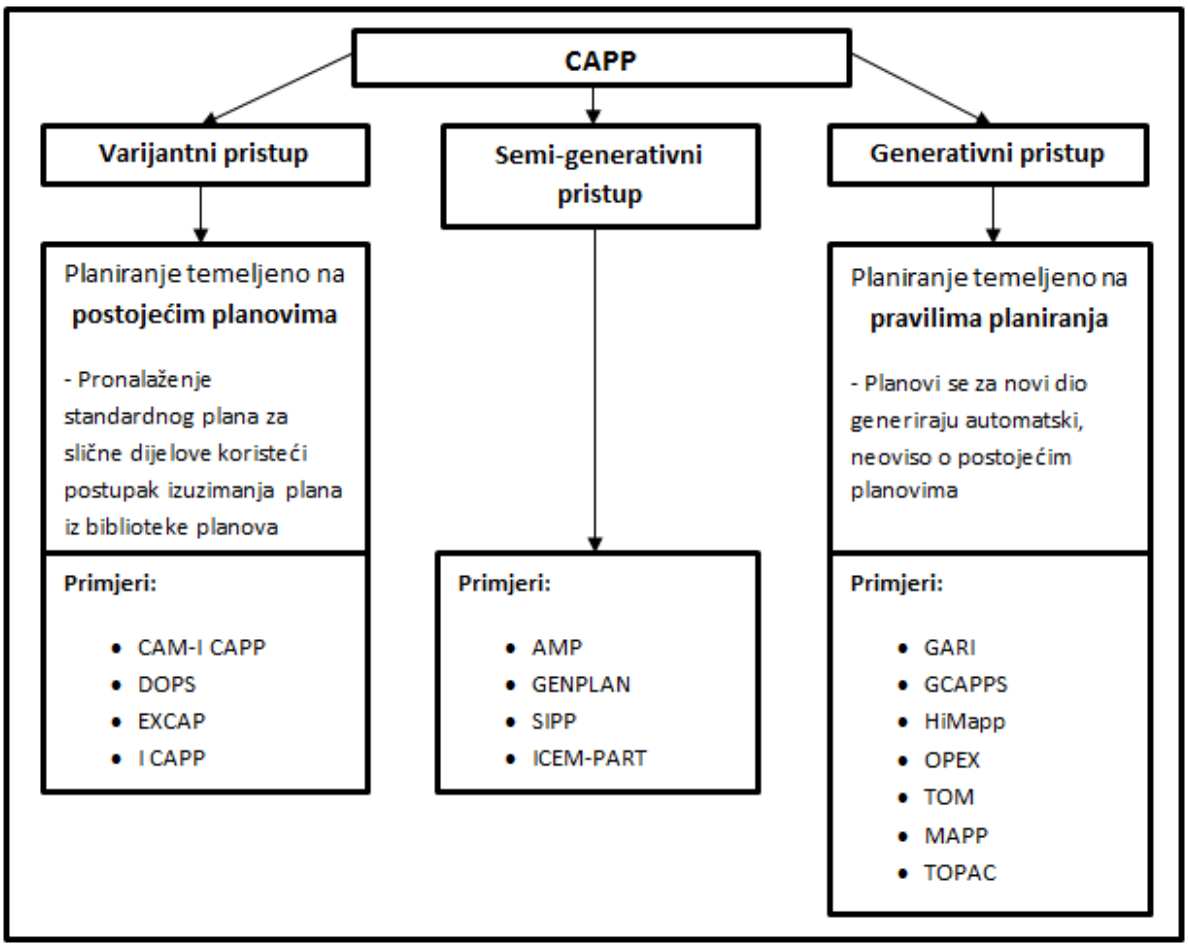
Slika 3. Generativni pristup CAPP-a [1]

Generativni pristup je predmet teoretskog i eksperimentalnog istraživanja. Teškoće koje se javljaju pokušajem njegove primjene su povezane s nedostatkom opisa aktivnosti koje generiraju proizvodni proces. Da bi se premostile te teškoće, a usput razvijala velika tehnološka baza znanja, često se koristi semi-generativni pristup. U ovom pristupu, kreira se uzorak koji se karakterizira s promjenjivom strukturom procesa. Time se osigurava sloboda sustava da stvori što više proizvodnih procesa za zadani obradak i na taj način proširuje svoju bazu znanja. Uzorak strukture procesa se određuje na bazi tehnološkog znanja i analize već postojećih proizvodnih procesa koje pripadaju definiranim familijama proizvoda koje su slične zadanom obratku [6].

Danas postoji potreba za integracijom planiranja procesa i ostalih CA aplikacija da bi se omogućilo planiranje u stvarnom vremenu (eng. *real-time*) i donošenje odluka koje se

baziraju na trenutnom i prediktivnom statusu proizvodnog asortimana. U novije vrijeme, sve je češća upotreba „*cloud*“ tehnologija. Tako se pojavila i ideja o „cloud“ proizvodnji, koja bi trebala pružiti isplativa, fleksibilna i prilagodljiva rješenja tvrtkama, dijeljenjem slobodnih proizvodnih resursa kao usluge s manjim troškovima. Cilj je stvoriti uslužni sustav na mreži, za praćenje dostupnosti strojeva i isto tako planiranje procesa [7]. Na slici 4 su prikazani najpoznatiji primjeri komercijalnih CAPP aplikacija podijeljeni po pristupima CAPP sustava.

Trendovi u razvoju suvremenih CAPP sustava daju naslutiti sve veću primjenu umjetne inteligencije u svrhu donošenja odluka vezanih za planiranja procesa. Pretpostavlja se da će umjetna inteligencija odigrati veliku ulogu u CAPP sustavima jer dozvoljava procesu planiranja da bude adaptivan. Isto tako, sve je više radova koji se pozivaju na korištenje zelene proizvodnje (eng. *Green Manufacturing*) u kombinaciji s CAPP sustavima. Time se u obzir također uzima i potrošnja energije u planiranja procesa.



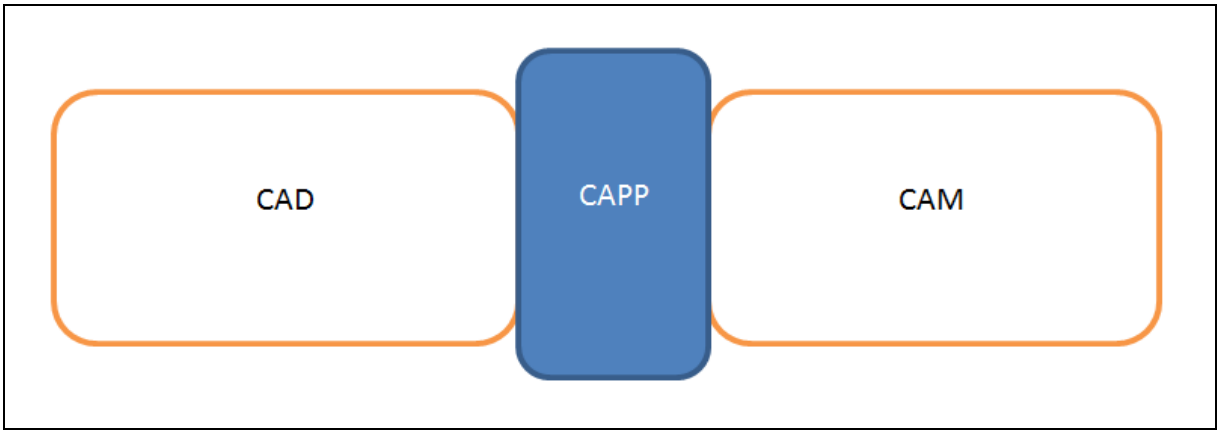
Slika 4. Prikaz CAPP pristupa i primjera [1]

3.1. Integracija CAPP-a s CAD/CAM sustavima

Jedan od načina na koji se funkcionalnost CAD/CAM sustava može značajno proširiti, je integracija s CAPP-om. Izradom CAD modela formiraju se geometrijske značajke, a kako one nisu dovoljne za generiranje procesa obrade u cjelosti, potrebno je donijeti odluke vezane za cjelokupan proces obrade. Upravo to je funkcija CAPP sustava. On generira uzastopni niz tehnoloških operacija nužnih za proces proizvodnje, koje se naknadno mogu primjeniti i na ostale CA aplikacije [2]. Da bi ova integracija bila uspješna, potrebno je osigurati prijenos geometrijskih značajki modela iz CAD sustava u CAM sustav. Na temelju tih značajki i CAPP sustava, generirat će se vrste i redoslijed tehnoloških operacija koje opisuju način proizvodnje. Također, nužan je i kvalitetan mehanizam izmjene podataka između CAD-a i CAM-a. Geometrijski podatci bi trebali biti upotpunjeni s proizvodnim zahtjevima kao što su tolerancije i kvalitete obrade površina, a s druge strane, baza podataka CAD-a bi trebala biti nadograđena s iskustvenim proizvodnim ograničenjima.

Liang [8] je prikazao sustav koji povezuje planiranje procesa i s konstrukcijskim i proizvodnim dijelom razvoja proizvoda. U svom radu je predstavio sustav generiranja putanje alata baziran na *STEP* (eng. *Standard for Exchange for Product Model Data*) datotekama, koji koristi *Unigraphics* okruženje. Sustav se sastoji od modula za izdvajanje značajki modela, modula za analizu modela, modula za generiranje *CL* (eng. *Cutter Location*) datoteka i generatora NC koda. U ovom sustavu, STEP datoteka modela se obrađuje u modulu za izdvajanje značajki gdje se ujedno vrši i njihova klasifikacija. Zatim, sve značajke se provode kroz algoritme generiranja putanja alata. Putanja alata se automatski generira na temelju STEP datoteke i ne treba posrednu izmjenu podataka. Sustav se samo bavi grubom obradom ravnih površina. Iako je to vrlo česta i zastupljena vrsta obrade, postoji opcija nadogradnje sustava s obradama za finiširanje i/ili još neke operacije. Dakle, ovdje se na primjeru vidi kako se za CAD datoteku, uspješno generira putanja alata u obliku CL datoteke, a zatim i NC koda. CAPP sustav je zaslužan za prepoznavanje značajki, odabir odgovarajućih tehnoloških operacija, i naposlijetku generiranje NC koda. Na slici 5 je slikovit prikaz integracije CAD/CAM sustava i CAPP-a.

CAPP sustavi su bazirani na prepoznavanju značajki. Princip prepoznavanja značajki omogućuje stvaranje potpunijih baza podataka.



Slika 5. Prikaz integracije CAPP-a i CAD/CAM sustava

3.2. Automatizacija CAPP-a

Varijantni pristup se ne može u potpunosti automatizirati zbog toga što u velikoj mjeri ovisi o planeru procesa [1]. Svaka promjena proizvoda donosi izmjene u vidu geometrijskih i tehnoloških parametara. Međutim, standardizirani procesi koji se ne mijenjaju mogu se automatizirati pomoću makro skripti unutar nekog CAD/CAM sustava.

Generativni pristup je u potpunosti automatiziran jer ne ovisi o planeru procesa već samo o vlastitoj bazi znanja i logici odlučivanja, temeljem čega potom stvara odluke koji automatski generiraju rješenje [1].

3.3. Pregled CAD/CAM sustava s osvrtom na skriptiranje i CAPP podršku

Tablica 1 sadrži pregled današnjih CAD/CAM sustava s osvrtom na mogućnost skriptiranja i prisutnosti CAPP modula. Skriptiranje ima široku primjenu u automatizaciji CAD/CAM sustava i nije nužno vezano uz CAPP. Međutim, skriptiranjem je moguće djelomično nadomjestiti funkcije CAPP sustava, pisanjem odgovarajuće programske podrške.

Iz dostupne literature i podataka o navedenim sustavima, vidljivo je da većina komercijalnih CAD/CAM sustava podržava skriptiranje. Također, može se zaključiti da CAPP sustavi nisu integrirani, a tamo gdje jesu, integracija je samo djelomična (podržane su samo jednostavne operacije).

Tablica 1. Popis CAD/CAM sustava s osvrtom na skriptiranje i automatizaciju CAPP-a

IME TVRTKE	NAZIV SUSTAVA	ZEMLJA	SKRIPTIRANJE	CAPP
CADEX	CAD Exchanger	Rusija	NE	NE
Cimatron	CimatronE	Izrael	NE	djelomično
CNC Software/ Mastercam	Mastercam	USA	DA	NE
Dassault Systems	CATIA	Francuska	DA	NE
EXAPT	EXAPT	Njemačka	DA	DA
MachineWorks Ltd.	MachineWorks	UK	NE	NE
MasterShip Software	MasterShip	Nizozemska	NE	djelomično
MecSoft Corporation	Visual CAD/CAM	SAD	NE	NE
Metalcam, S.L.	Fikus Visualcam Fikusworks	Španjolska	NE NE	DA DA
Metalix CAD/CAM Ltd.	cncKad	Izrael	DA	djelomično
MicroTech StellaData AB	CamModul	Švedska	DA	NE
Opus Entwicklungs- und Vertriebs GmbH	OPUS	Njemačka	DA	DA
PTC	Creo (Pro/Engineer)	SAD	DA	NE
Polytropon	PolyPattern Marker PolyPattern AutoMarker	Grčka	NE NE	djelomično djelomično
QARM Pty Ltd	OneCNC	SAD	NE	NE
Siemens PLM Software (formerly UGS Group, Unigraphics Solutions)	NX	Njemačka	DA	djelomično
SolutionWare Corporation	GeoPath	SAD	NE	djelomično
Tebis	Tebis	Njemačka	DA	djelomično
Vero Italia	VISI-Series	Italija	NE	NE

4. SKRIPTIRANJE MAKRO FUNKCIJAMA

Makro funkcije omogućuju automatizaciju pojedinih operacija unutar neke aplikacije, koristeći neki oblik podržanog programskog jezika. Programiranje makro funkcija je jedan od načina automatizacije koji se može pronaći u sklopu CAD/CAM sustava. Karakteristika makro funkcija je da se ne prevode prije izvođenja, već se interpretiraju. To znači da, u većini slučajeva, izvođenju naredbi neposredno prethodi njihovo prevođenje u strojni kod. One se zato sporije izvršavaju od ostalih programskih kodova, ali to ne treba uzimati kao prevelik nedostatak s obzirom na primjenu. Makro programiranje podržava mogućnost izvršavanja zadaća u sklopu grafičkog korisničkog sučelja (eng. *Graphical User Interface, GUI*).

Potencijalna primjena makro funkcija je ona u svrhu automatizacije CAD-a [10]. Za svaki parametrizirani model unutar CAD aplikacije, kojemu su odnosi (eng. *Relations*) između dimenzija dobro definirani relacijama i konstrukcijskim uvjetima, može biti izrađena relativno jednostavna makro funkcija. Njena funkcija će biti mijenjanje odabranih varijabli prema zadanim odnosima unutar CAD modela. Definirane razlike u dimenzijama zadanih modela mogu se zapisati i unutar *MS Excel* tablice. Pomoću makro funkcija, tablica se može koristiti kao baza podataka za izvršavanje promjena dimenzija modela. Naravno, vrijedi i obrnuto, gdje će se svaka promjena u CAD modelu zapisivati u tablicu, zbog generiranja podvarijanti proizvoda i jasnog definiranja razlika između modela unutar jedne familije proizvoda.

4.1. Makro podrška unutar CAD/CAM sustava CATIA

Podrška za pisanje makro funkcija u sklopu *CATIA-e* podržana je primjenom objektno orijentiranih jezika :

- VBA (eng. *Visual Basic for Applications*),
- VBScript (eng. *MS Visual Basic Scripting Edition*) i
- *CATScript*.

Objekti (eng. *Objects*) predstavljaju instance pojedinih razreda (eng. *Class*). Oni imaju svoja svojstva (eng. *Properties*) koja se mogu isčitati i postaviti, i metode (eng. *Method*) koje upravljaju njihovim ponašanjem. Prednost programiranja makro funkcija unutar CATIA-e je

mogućnost automatiziranja zadataka koji se neprestano ponavljaju kao na primjer, pretvaranje crteža formata *.CATDrawing* u *.pdf* format. Također postoji i mogućnost korištenja opcije snimanja makro funkcije (eng. *Macro recorder*) koja generira kod koji odgovara pokrenutim korisničkim operacijama.

4.2. VBA

VBA je programski jezik koji je uključen u aplikacije kao što su MS office, CATIA, *SolidWorks, Adobe,* itd. Uglavnom se koristi za automatiziranje zadataka koji se često ponavljaju. VBA koristi uobičajeno programsko okruženje (eng. *Integrated Development Enviroments, IDE*) koje sadrži uređivač koda (eng. *Editor*), alat za otklanjanje grešaka (eng. *Debugger*) i pomoćni izbornik gdje su zapisane i grupirane liste naredbi koje se lako pretražuju (eng. *Help Object Viewer*) i ubacuju u kod. Također, podržava stvaranje korisničkih sučelja. Karakteristika VBA programa je ta da se ne mogu samostalno izvršavati, već se izvršavaju u sklopu nadređene, već pokrenute aplikacije [11].

4.2.1. VBScript

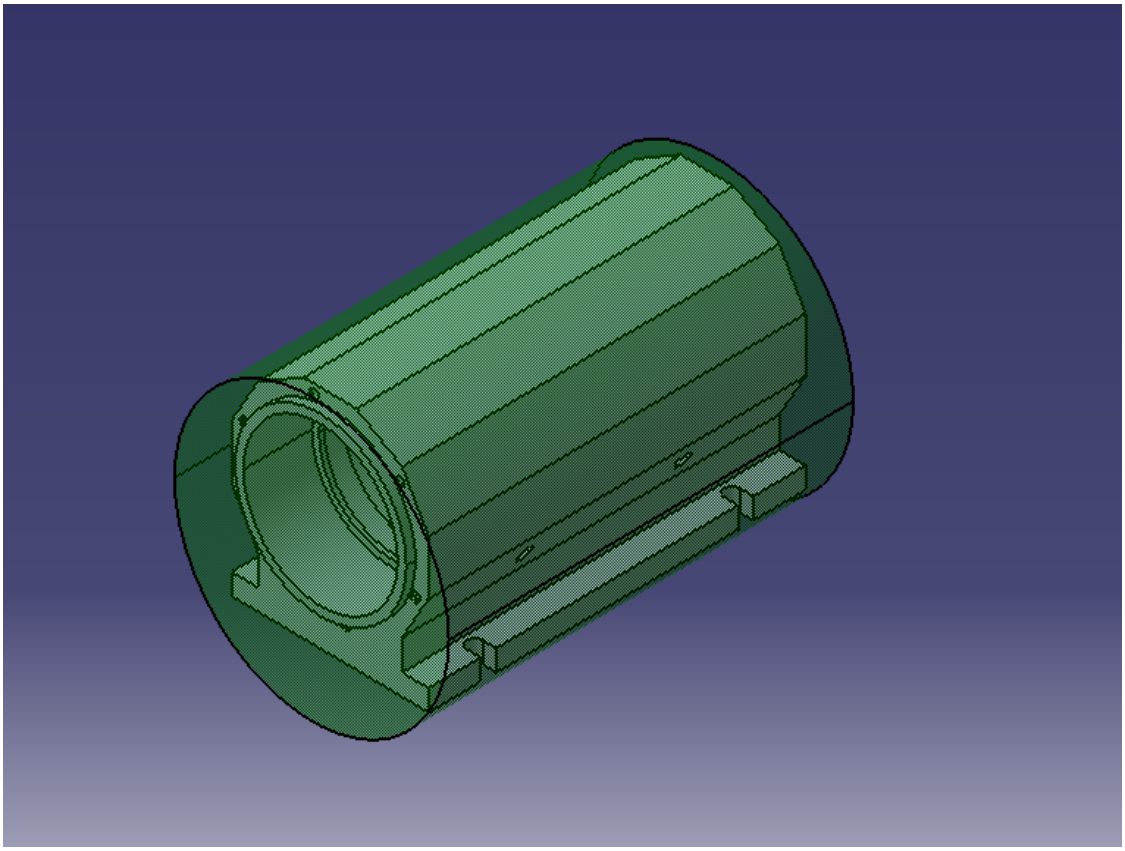
VBScript je podskup od VBA. Rezultat toga je jako jednostavan jezik koji se brzo i lako koristi. Izvorno je osmišljen da bi pokretao *Web* aplikacije kao što je *Internet Exporer*. Podržan je od strane i Windows i *UNIX* verzije CATIA-e. Mana VBScript-a je ta da je sporiji u odnosu na VBA, ograničen u smislu razvijanja korisničkog sučelja i ima ograničenu funkcionalnost [11]. Format datoteke je .catvbs .

4.2.2. CATScript

CATScript je verzija VBScript-a stvorena od strane *Dassault Systems*. Kao i originalni VBScript, CATScript je podržan od strane i Windows i UNIX verzije CATIA-e. CATScripta su ograničena fleksibilnost, teško otkrivanje pogrešaka unutar koda i nemogućnost kreiranja korisničkog sučelja. Ekstenzija datoteke je .CATScript [11].

5. PRIMJENA AUTOMATIZACIJE CAPP-a NA MODEL KUĆIŠTA MOTORVRETENA

Ovaj rad je nadogradnja na završni rad preddiplomskog studija [12] gdje je tema bila primjena CAD/CAM sustava na obradu kućišta motorvretena u svrhu podizanja razine automatizacije proizvodnog procesa. U tom radu detaljno je opisana i odrađena obrada kućišta motorvretena unutar CAM modula i parametriziranje modela kućišta unutar CAD modula koje su poslužile kao baza ovog diplomskog rada. Za potrebe diplomskog rada neke pojedinosti su poboljšane i drukčije izvedene zato što se sada postupak promjene parametara izvodi preko makro funkcija. Zbog toga je bilo potrebno bolje definirati odnose između dimenzija CAD modela, a i neke operacije unutar CAM-a su se trebale definirati na drukčiji način. U sljedećim poglavljima će naglasak biti upravo na tim promjenama, dok se pojedinosti koje su ostale iste neće prikazati, već se one mogu pronaći u sklopu završnog rada [12]. Slika 6 prikazuje model kućišta i sirovca unutar CAD modula CATIA-e.



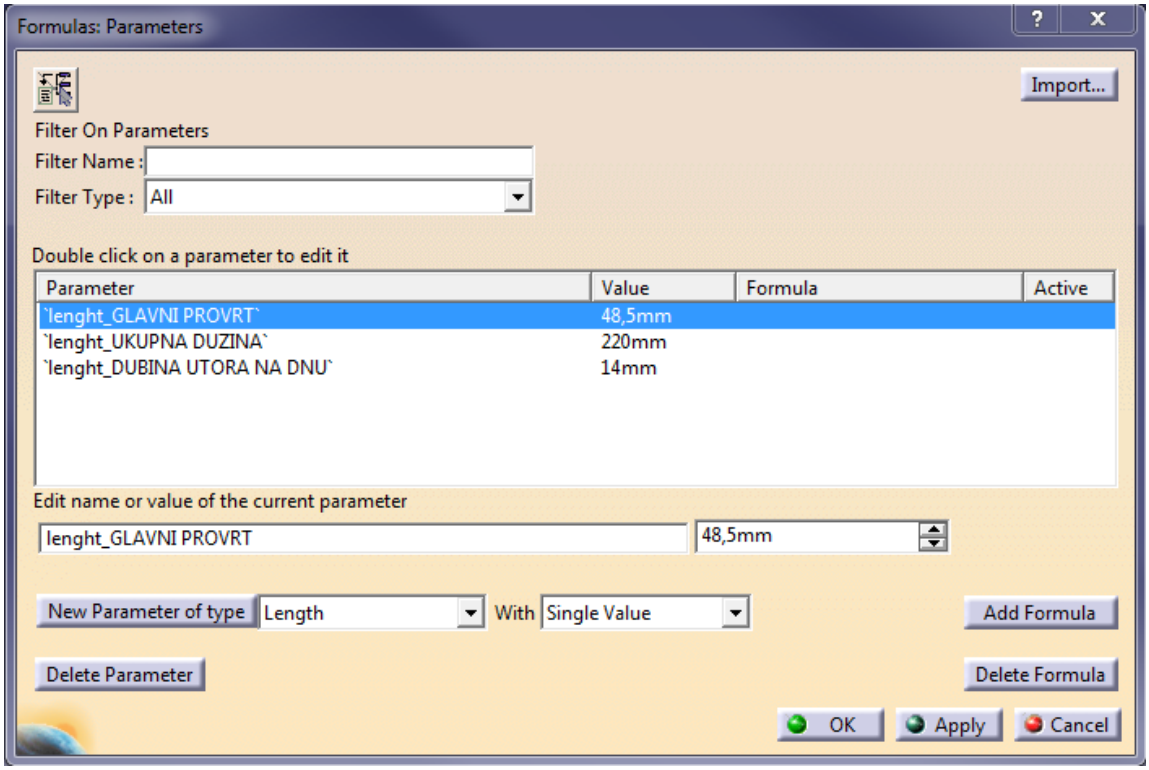
Slika 6. Prikaz početnog modela kućišta motorvretena

5.1. Parametrizacija CAD modela kućišta

Danas je sve veći broj proizvoda koji su slični u tehnološkom i geometrijskom smislu. Oni se grupiraju u familije proizvoda kako bi se ubrzao proces konstruiranja i proizvodnje. Proces konstruiranja takvih proizvoda moguće je olakšati parametrizacijom modela unutar komercijalnih CAD aplikacija. Parametarsko modeliranje omogućuje fleksibilnost u smislu da je moguće u vrlo kratkom roku dobiti geometrijske značajke modela različitih dimenzija pomoću izmjene nekoliko izdvojenih parametara koji su nositelji promjena modela. Ostale dimenzije mijenjaju se u strogo definiranim odnosima kako bi nakon promjene model ostao konstrukcijski ispravan. Strogo definirani odnosi su ostvareni upotrebom relacija koje povezuju više dimenzija. Promjena izdvojenih parametara, može se postići ručnim unosom parametara ili izvršavanjem odgovarajuće makro skripte koja može i ne mora imati korisničko sučelje. Izdvojene parametre je moguće promatrati kao konstante, dok su ostale dimenzije varijable. Za parametarsko modeliranje je potrebno više vremena i truda u procesu početnog modeliranja proizvoda.

Parametri mogu biti raznih vrsta. Na primjer, parametar može biti masa, volumen, vrijeme, duljina, materijal, boja i slično. U ovom primjeru parametrizacije, svi parametri su definirani duljinom (eng. *Lenght*) i ograničeni su relacijama. Također, sirovac i izradak su zajedno konstuirani u istom CAD modelu. Ovo omogućuje istovremenu promjenu oba modela i njihovu međusobnu ovisnost. Način izrade parametara detaljno je opisan u [12].

U odnosu na prošlu parametrizaciju modela, glavni parametri, oni prema kojima će se ostali mijenjati, će sada biti „Glavni provrt“ početnog iznosa 48.5 mm, „Ukupna duzina“ početnog iznosa 220 mm i „Dubina utora“ početnog iznosa 14 mm. Slika 7 prikazuje definirane glavne parametre u izborniku *Formulas*.



Slika 7. Glavni parametri modela

Dakle, sve dimenzije modela kućišta motorvretena, kao i dimenzije sirovca su definirane u odnosu na glavne parametre. Ti odnosi između dimenzija su prikazani u glavnom stablu CATIA-e, u grani *Relations*, i moguće ih je mijenjati dvostrukim klikom na bilo koji od njih. Tablica 2 prikazuje sve odnose između dimenzija modela. Odnosi su zadavani na temelju odnosa položaja značajki u početnom modelu.

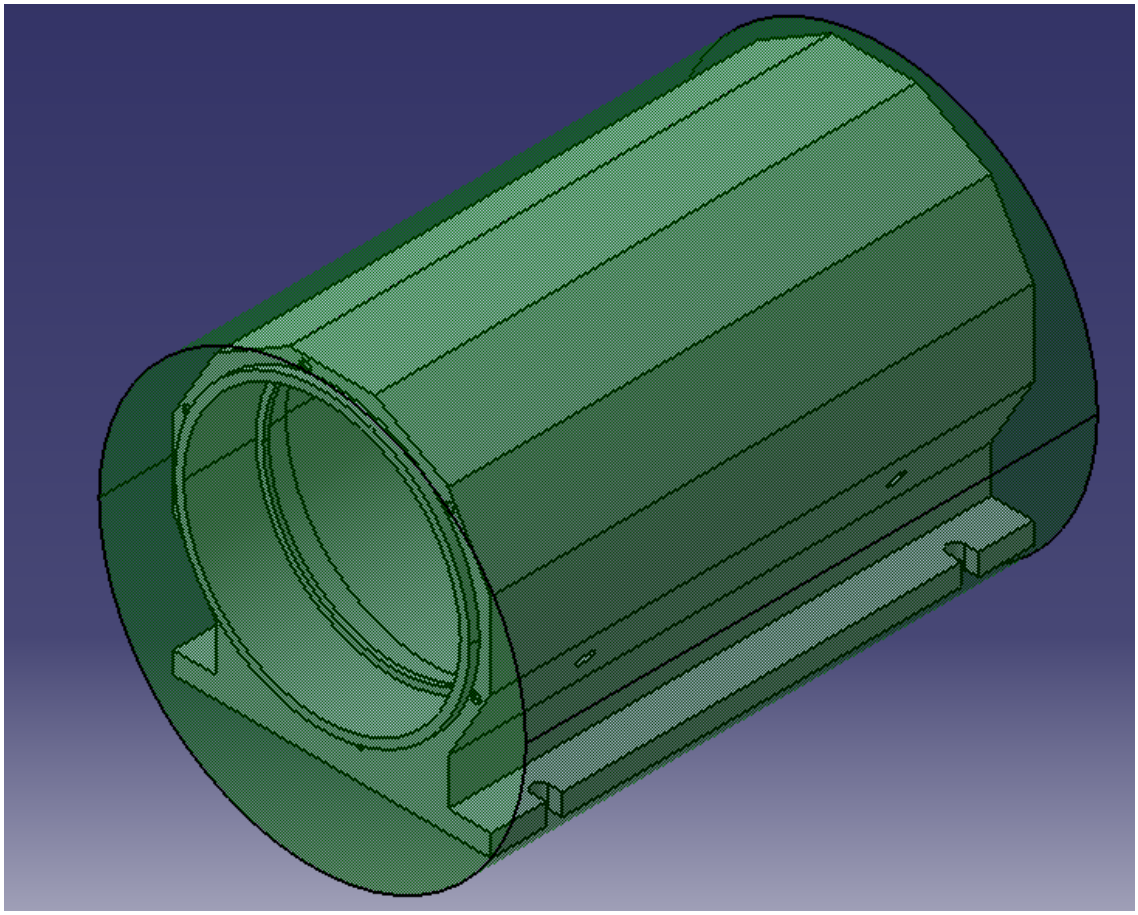
Tablica 2. Prikaz odnosa između dimenzija CAD modela kućišta

Formula.1	'lenght_RADIJUS VANJSKE KONTURE' = ' lenght_GLAVNI PROVRT + 11mm
Formula.3	'lenght_duzina tijela kucista' = 'lenght_UKUPNA DUZINA'
Formula.4	'lenght_duzina postolja kucista' = 'lenght_UKUPNA DUZINA'
Formula.6	'lenght_dubina utora'='lenght_DUBINA UTORA NA DNU'
Formula.8	'lenght_radijus unutarnjeg provrta 97' = 'lenght_GLAVNI PROVRT'
Formula.9	'lenght_radijus unutarnjeg provrta 82' = 'lenght_GLAVNI PROVRT' + 7,5mm
Formula.10	'lenght_radijus unutarnjeg provrta 90' = 'lenght_radijus unutarnjeg provrta 82' + 4mm
Formula.11	'lenght_radijus unutarnjeg provrta 95' = 'lenght_GLAVNI PROVRT' - 1mm
Formula.12	'lenght_dubina provrta 97' = 'lenght_UKUPNA DUZINA' - 53,5 mm

Formula.13	'lenght_dubina provrta 95' = 'lenght_UKUPNA DUZINA' - 37,5 mm
Formula.15	'lenght_vanjski radijus ispupcenja' = 'obradak_kuciste\Pad.3\Sketch.11\Radius.279\Radius + 5 mm
Formula.16	'lenght_radijus polozaja prednjih rupa' = 'lenght_GLAVNI PROVRT' + 4,5 mm
Formula.17	'lenght_radijus polozaja straznjih rupa' = 'lenght_GLAVNI PROVRT' + 4,5 mm
Formula.18	'lenght_simetrala polozaja rupe za mazalicu_1' = obradak_kuciste\Hole.3\Sketch.18\Offset.305\Offset / 2
Formula.19	'lenght_simetrala polozaja rupe za mazalicu_2' = obradak_kuciste\Hole.4\Sketch.20\Offset.311\Offset / 2
Formula.21	'lenght_simetrala polozaja rupe sa strane_1' = obradak_kuciste\Hole.6\Sketch.24\Offset.232\Offset / 2
Formula.24	'lenght_simetrala polozaja rupe sa strane_3' = obradak_kuciste\Hole.3\Sketch.18\Offset.305\Offset / 2
Formula.25	'lenght_polozaj rupe sa strane_3' = ('lenght_UKUPNA DUZINA' - 20mm) / 2
Formula.26	'lenght_simetrala polozaja rupe sa strane_5' = obradak_kuciste\Hole.9\Sketch.30\Offset.341\Offset / 2
Formula.27	'lenght_simetrala polozaja rupe sa strane_4' = obradak_kuciste\Hole.10\Sketch.32\Offset.348\Offset / 2
Formula.28	'lenght_polozaj rupe sa strane_4' = obradak_kuciste\Hole.10\Sketch.32\Offset.344\Offset / 2
Formula.29	'lenght_simetrala polozaja rupe sa strane_2' = obradak_kuciste\Hole.11\Sketch.34\Offset.355\Offset / 2
Formula.30	'lenght_polozaj rupe sa strane_2' = obradak_kuciste\Hole.11\Sketch.34\Offset.351\Offset / 2
Formula.35	'lenght_dubina utora sa strane' = obradak_kuciste\Pad.2\Sketch.2\Offset.146\Offset
Formula.36	'lenght_dubzina sirovca_kraj' = 'lenght_UKUPNA DUZINA' + 5.25 mm
Formula.38	'lenght_duzina sirovca_pocetak' = obradak_kuciste\Pad.3\FirstLimit\Lenght + 5,25 mm

Da bi se prikazalo da je parametrizacija CAD modela kućišta uspješno provedena, unijet će se nove vrijednosti glavnih parametara. Na slici 8 je prikazan novogenerirani model kod kojeg je očita promjena u odnosu na početni model sa slike. Nove vrijednosti glavnih parametara su:

- Glavni provrt = 80 mm
- Ukupna duzina = 300 mm
- Dubina utora = 10 mm



Slika 8. Model kućišta motorvretena s novim parametrima

S ovim je završen proces konstruiranja modela kućišta motorvretena i slijedi izrada CAM obrade istog.

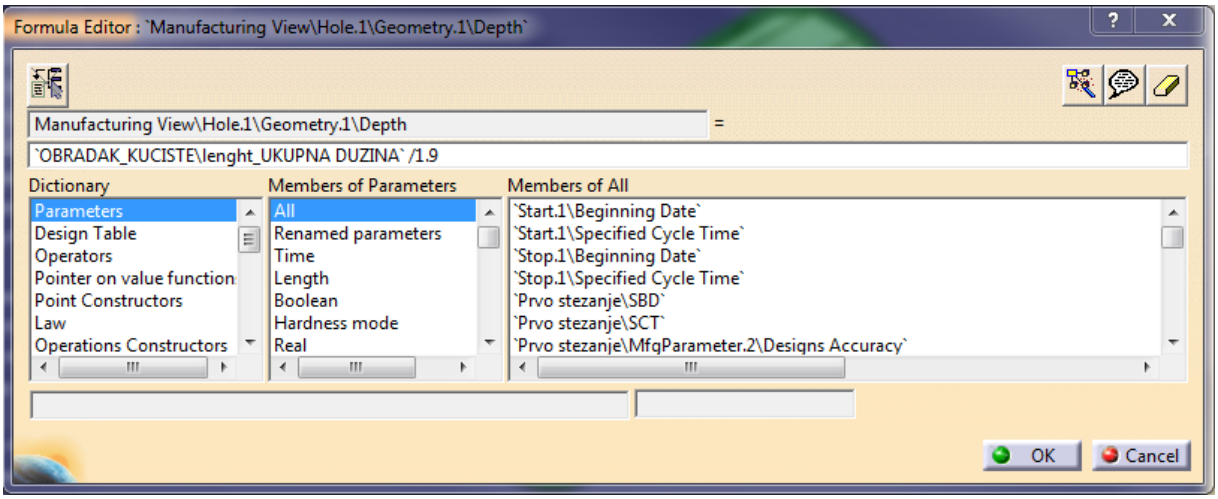
5.2. Izrada CAM-a modela kućišta

Kućište motorvretena se u stvarnosti izrađuje na horizontalnom obradnom centru *HELLER MC 16* u tvrtki *HS Tec d.d.* iz Zadra. Unutar CAM modula je definirana vrsta stroja (eng. *3-axis machine with rotary table*), stezne naprave, nultočke obrade, rezni alati i tehnologija obrade koji se koriste u stvarnom proizvodnom postupku. Svi režimi obrade su odabrani korištenjem e-kataloga *ITA* (eng. *Iscar Tool Advisor*). Dimenzije sirovca su ø160x236 mm. Materijal je *AlMg3* i relativno je lako obradiv. Postupak izrade obrade u CAM modulu CATIA-e je također detaljno opisan u [12], te će se u ovom radu samo spomenuti određene preinake. Na slici 9 je prikazan horizontalni obradni centar HELLER MC 16.

Slika 9. Horizontalni obradni centar „HELLER MC16“

S obzirom da je jedan od glavnih parametara sada ukupna dužina kućišta, postoje operacije za koje je bilo potrebno drukčije definirati parametre obrade. Odabirom operacije dubokog bušenja (eng. *Drilling Deep Hole*) u prvom stezanju, otvara se standardni izbornik u kojem se definiraju parametri obrade, alat i metode ulaska u zahvat i izlaska iz zahvata. U ovoj

operaciji je dubina bušenja definirana preko relacije. S obzirom da je potrebno da svrdlo uvijek prijeđe malo više od polovice obratka, dubina bušenja se jednostavno definirala tako da se glavni parametar „Ukupna duzina“ uvijek dijeli s koeficijentom 1,9 . Na ovaj način je osigurano i da će dubina biti dostatna i za potrebu puno većih dužina obratka. Na slici 10 je prikazan prozor uređivača relacija (eng. *Formula Editor)* s opisanom relacijom. Ovaj postupak je napravljen i za operacije kružnog glodanja (eng. *Circular milling*) u istom stezanju.

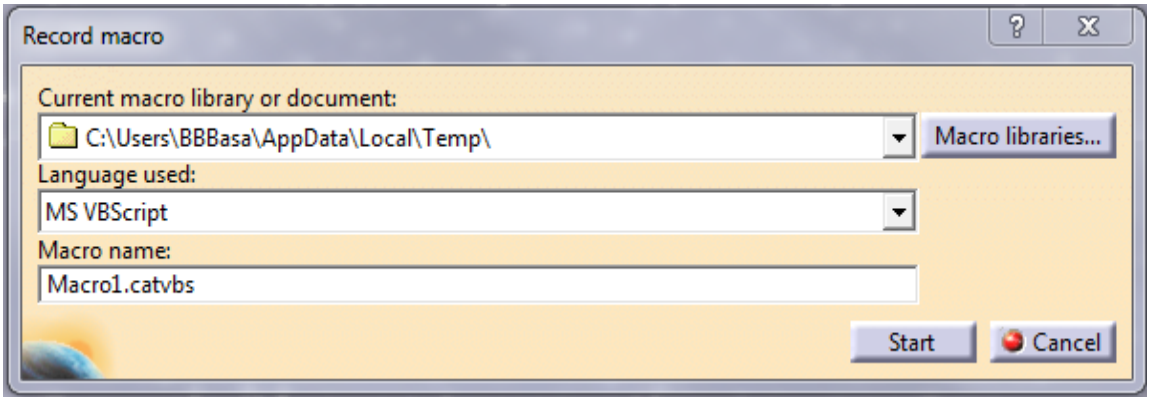


Slika 10. Definiranje dubine operacije Dubokog bušenja

Ovako napravljenom obradom u CAM modulu ostvaren je i drugi preduvjet za uspješno korištenje makroa u svrhu automatizacije generiranja putanja alata za različite dimenzije modela.

5.3. Skriptiranje makro funkcija

Postoje dva načina izrade makro funkcija. Prvi način je pomoću makro snimača koji je implementiran u CATIA-u. Njega se može naći u izborniku *Tools*, pod *Macros* i zatim pokrenuti naredbom *Start recording*. Tada se otvara izbornik prikazan na slici 11. Tu se odabire mjesto spremanja makro funkcija, programski jezik u kojem će se ispisati (VBScript ili CATScript), te naziv same makro funkcije. Pokretanjem opcije snimanja, automatski se generira kod koji odgovara pokrenutim korisničkim operacijama. Drugi način izrade makro funkcija je samostalno pisanje koda pomoću uređivača makro funkcija (eng. *VB Editor*) koji se pokreće pomoću Alt+F11. Prije oba načina, potrebno je točno odabrati direktorije gdje će se makro funkcije spremati. U ovom radu su korištena oba načina izrade projekta.



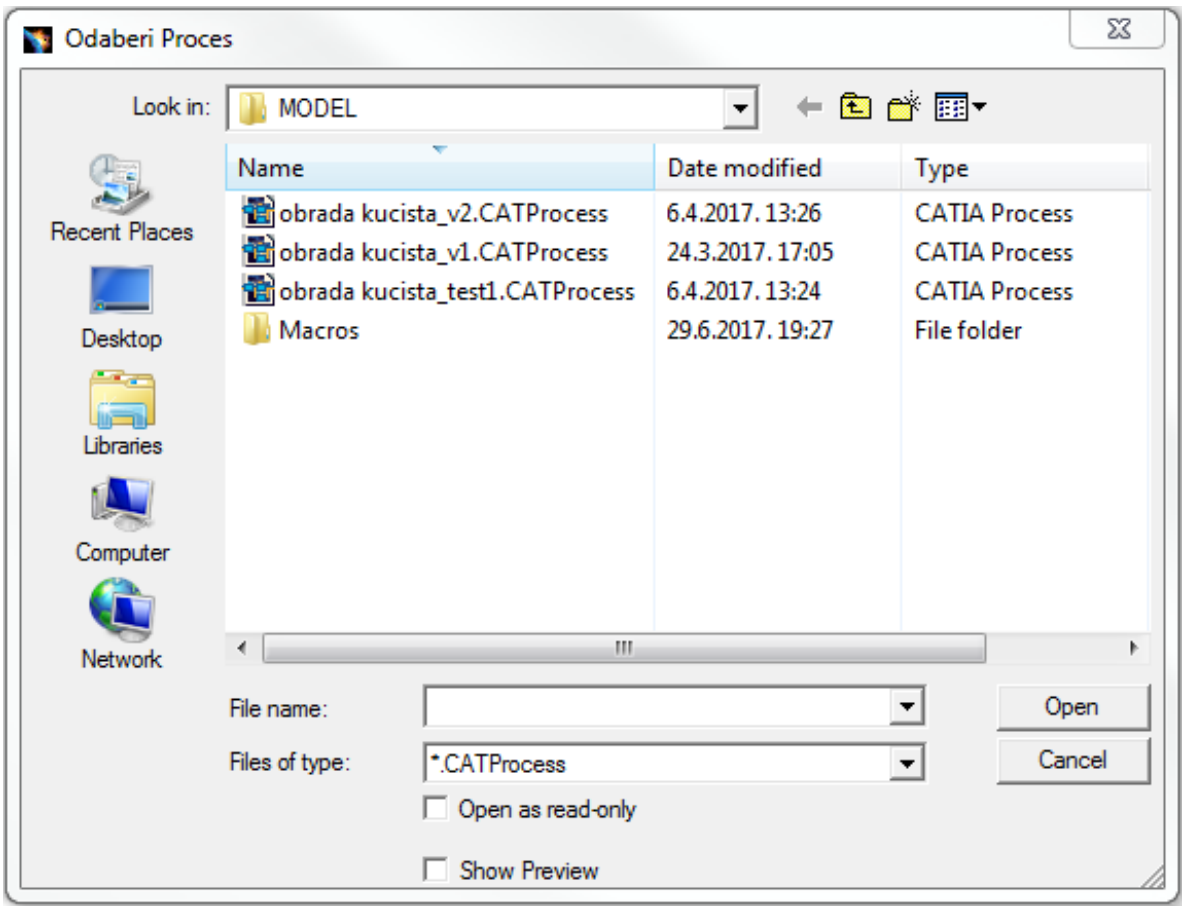
Slika 11. Snimanje makro funkcije

Makro funkcija se sastoji od potprograma (eng. *Subroutine*) koji se zove *Sub CATMain()*. Svaki makro mora završiti s naredbom završetak potprograma (eng. *End Sub)* koji će zaključiti stvorenu skriptu.

Prva zadaća makro funkije ovog rada je stvoriti prozor za odabir dokumenta koji će se otvoriti (*eng. Open dialog box*). Na slici 12 je prikazan cijeli kod. Tu se vidi da se pomoću opcije *FilePath* i *FileSelectionBox,* te dodavanjem naslova, formata koji će se moći čitati u prozoru i potrebnog modula (0 - *open* ili 1 - *save*), može vrlo jednostavno odraditi potrebna zadaća. Dakako, dodan je uvjet koji će, ako se stisne opcija *Cancel*, odmah prekinuti izvršavanje koda. Pomoću naredbe *Debug.Print,* lokacija datoteke se ispisuje unutar posebnom prozora (*eng. Immediate window*) kao svojevrsna kontrola. Također, format datoteke je ograničen na .*CATProcess*. Na slici 13 je prikazan prozor za odabir dokumenta.

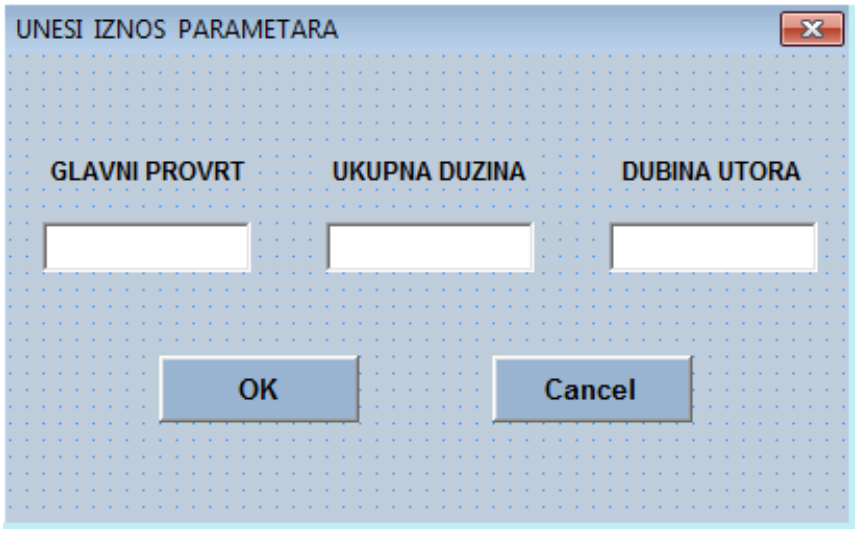
```
Sub CATMain()

Set documents1 = CATIA.Documents

'strFilePath = CATIA.FileSelectionBox(iTitle, iExtension, iMode)
strFilePath = CATIA.FileSelectionBox("Odaberi Proces", "*.CATProcess", 0)

'ako je cancel, prekini naredbu
    If strFilePath = "" Then Exit Sub

'Debug.Print ispisuje zadano u Immediate prozor
    Debug.Print "PATH:" & strFilePath

'Set processDocument1 = documents1.Open("D:\FSB\DIPLOMSKI\Projekt\MODEL\obra
Set processDocument1 = documents1.Open(strFilePath)

End Sub
```

Slika 12. Kod za Open dialog box



Slika 13. Prozor za odabir datoteke

Nakon odabira potrebne datoteke, u ovom slučaju CATProcess-a, treba mu promijeniti izdvojene parametre. Izdvojeni parametri su *GLAVNI PROVRT, UKUPNA DUZINA i DUBINA UTORA NA DNU*. Odlučeno je da će se napraviti jednostavno sučelje s tri mjesta za unos potrebnih vrijednosti. Na slici 14 je prikazan izgled tog sučelja, a napravljen je pomoću opcije *UserForm* unutar VB Editor-a.



Slika 14. Korisničko sučelje

Nakon određivanja izgleda sučelja, potrebno ga je i isprogramirati. Prvo treba napraviti da se sučelje pojavi, te odabrati njegovu vrstu. Prva vrsta je *Modal* i ona omogućuje da dok se sučelje ne zatvori, ništa drugo se ne može raditi. S ovim se zapravo natjera korisnika da odabere ili unese ono što je potrebno i smanjuje se mogućnost greške. Druga vrsta je *Modeless* koja dozvoljava korisniku da dok je otvoreno sučelje radi i druge stvari. Za potrebe ovog rada, odabrana je Modal vrsta. Sučelje se pokazuje pomoću naredbe *.Show* gdje je potrebno definirati naziv napravljenog sučelja i njegovu vrstu.

Zatim se dodaju fukcije tipkama *OK* i *Cancel*. Tipka Cancel služi samo za izlazak iz sučelja što se ostvaruje naredbom *Unload*. Tipka OK mora pridružiti vrijedosti upisane u tekstualno polje (eng. *Text Box*) odgovarajućim parametrima unutar CAD modela i ažurirati ga. Potrebno je reći da se kod odnosi na model koji je otvoren (eng. *ActiveDocument*). Pošto je otvoreni model zapravo *Process*, potrebno je i definirati *Part* u kojem su parameteri definirani. Taj Part je „OBRADAK_KUCISTE.CATPart“. Nakon toga, potrebno je vrijednost parametara modela, povezati s vrijednosti unutar tekstualnog polja. To je odrađeno s fukcijom *CDec* što vrijednost unutar tekstualnog polja, koja je zapravo tekst, pretvara u broj koji će parametar u modelu prepoznati i uzeti za svoju novu vrijednost. Sada je još samo potrebno ažurirati model pomoću naredbe *Update* i zatvoriti sučelje s naredbom *Unload*. Na slici 15 je prikazan kod za opisani postupak.

```
Private Sub cbOK_Click()

Dim documents1 As Documents

Set documents1 = CATIA.Documents

Set processDocument1 = CATIA.ActiveDocument

    Dim partDocument1 As Document

    Set partDocument1 = documents1.Item("OBRADAK_KUCISTE.CATPart")

    Dim part1 As Part

    Set part1 = partDocument1.Part

        Dim parameters1 As Parameters

        Set parameters1 = part1.Parameters

        Dim length1 As Length
        Set length1 = parameters1.Item("lenght_GLAVNI PROVRT")
        length1.Value = CDec(tbGlavniProvrt.Text)

        Set length1 = parameters1.Item("lenght_UKUPNA DUZINA")
        length1.Value = CDec(tbUkupnaDuzina.Text)

        Set length1 = parameters1.Item("lenght_DUBINA UTORA NA DNU")
        length1.Value = CDec(tbDubinaUtora.Text)

    'update modela prema novim parametrima
    part1.Update

    'hide nakon updatea
    Unload Me

End Sub
```

Slika 15. Kod za tipku OK

Tekstualna polja za unos parametara su isprogramirani uz pomoć naredbe *Object Resolution*, koja automatski ispisuje potreban kod za zadani objekt unutar sučelja. Dakle, svako tekstualno polje se povezuje s odgovarajućim parametrom. Nakon što se dobije taj kod, potrebno je dodati naredbu *ValueAsString* koja će vrijednost unutar tekstualnog polja prepoznati kao tekst koji će se kasnije, pritiskom na tipku OK, dodijeliti parametru. Na slici 16 je prikazan kod za postavljanje tekstualnog okvira za unos parametra GLAVNI PROVRT, a isti je princip i za ostala dva parametra.

```
Private Sub tbGlavniProvrt_Activate()

'---- Begin resolution script for object : lenght_GLAVNI PROVRT
'na object pa insert->object resolution

Dim documents1 As Documents
Set documents1 = CATIA.Documents

Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = documents1.Item("OBRADAK_KUCISTE.CATPart")

Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part

Dim parameters1 As Parameters
Set parameters1 = part1.Parameters

Dim length1 As Length
Set length1 = parameters1.Item("lenght_GLAVNI PROVRT")

tbGlavniProvrt.Value = lenght1.ValueAsString

'---- End resolution script

End Sub
```

Slika 16. Kod za unos parametra „Glavni Provrt“

S obzirom da model ima svoja konstrukcijska ograničenja, potrebno ih je dodati i na mjesto unošenja parametara. Svakom od tri teksutalna polja je dodano ograničenje. Tekstualnom polju za parametar „Glavni provrt“ je dano ograničenje unosa u rasponu od 48,5 do 80, parametru „Ukupna duzina“ od 220 do 300, a parametru „Dubina utora“ od 5 do 16. Ovo je ostvareno korištenjem klasičnih *If...Then...Else* uvjetnih naredbi. Na slici 17 je prikazan kod za ograničenje parametra „Glavni provrt“.

```
Private Sub tbGlavniProvrt_Exit(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean)
Dim temp As String, err As String

If Len(Me.tbGlavniProvrt.Text) = 1 And CInt(Me.tbGlavniProvrt.Text) > 0 Then
temp = "0" & Me.tbGlavniProvrt.Text
Me.tbGlavniProvrt.Text = temp
Else
If CInt(Me.tbGlavniProvrt.Text) >= 48.5 Then
If CInt(Me.tbGlavniProvrt.Text) > 80 Then
err = MsgBox("Unesite vrijednost glavnog provrta u rasponu od 48.5 do 80mm", _
vbCritical + vbOKOnly, "Wrong Input")
End If
Else
err = MsgBox("Unesite vrijednost glavnog provrta u rasponu od 48.5 do 80mm", _
vbCritical + vbOKOnly, "Wrong Input")
End If
End If

End Sub
```

Slika 17. Kod za dodavanje limita na „Glavni provrt“

Kada se model ažurira prema novim vrijednostima parametara, potrebno je ažurirati i proces obrade. S obzirom da se to radi preko naredbe *Compute Tool Path*, do koje se manualno dođe desnim klikom na *Manufacture program*, što znači da se prvo moraju označiti sva četiri programa obrade u samom procesu. To se radi kombinacijom naredbi *Selection* i *Search*. Dakako, prvo se mora reći da se radi o aktivnom procesu i definirati da će se odabir željenih značajki obaviti unutar tog procesa. Nakon toga se zadaje naredba da se pretraži cijeli aktivni proces kako bi se pronašli programi obrade. Kada se pronađu, naredba *Selection* će ih i označiti. Zatim se napiše naredba *StartCommand* koja omogućuje da se automatski pozove odabrana naredba unutar CATIA-e. Ova naredba je omogućena od strane CATIA objekta, što znači da je integrirana u samu aplikaciju. Njoj dodajemo naziv „*Compute Tool Path*“, i sve referentne površine i putanje alata su sada promijenjene prema novo ažuriranom modelu i konačni cilj makro funkcije je ispunjen. Na slici 18 je prikazan kod za ažuriranje putanje alata.

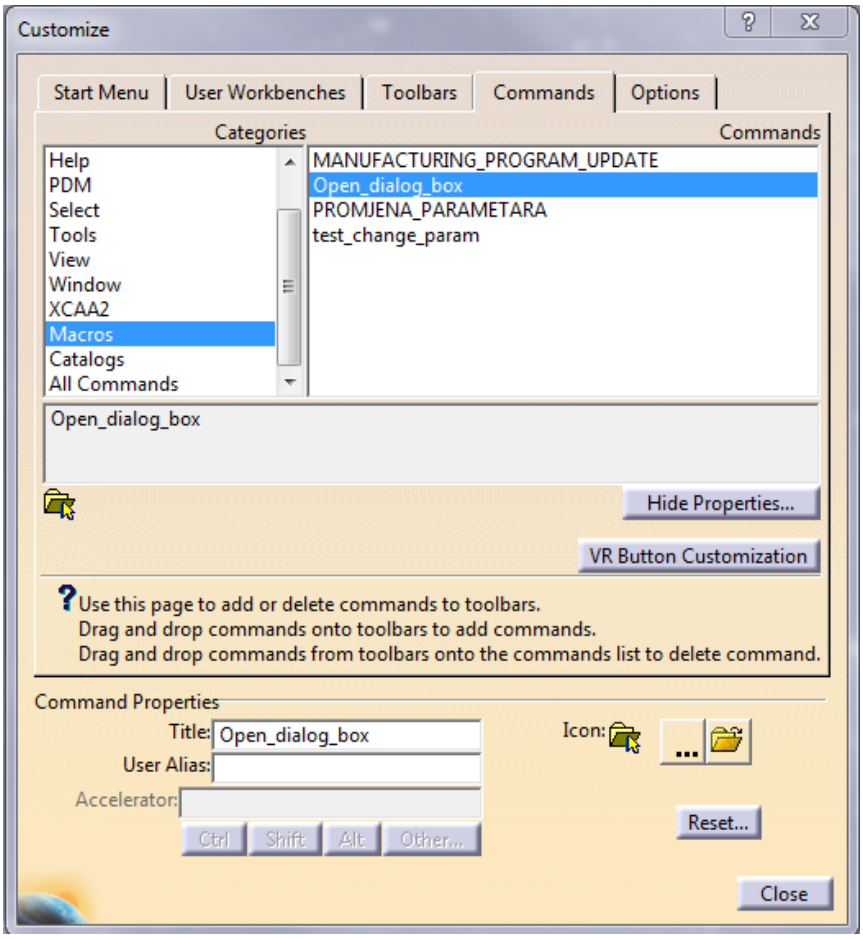
```
Sub CATMain()

Dim processDocument1 As ProcessDocument
Set processDocument1 = CATIA.ActiveDocument

Dim selection1 As Selection
Set selection1 = processDocument1.Selection

'odabir svih manufacture programa koji se moraju update-ati
selection1.Search "CATMfgSearch.ManufacturingProgram,in"

'pokrece bilo koju operaciju unutar CATIA-e
CATIA.StartCommand "Compute Tool Path"

End Sub
```

Slika 18. Kod za ažuriranje putanje alata

6. POKRETANJE SKRIPTIRANIH MAKRO FUNKCIJA I REZULTATI

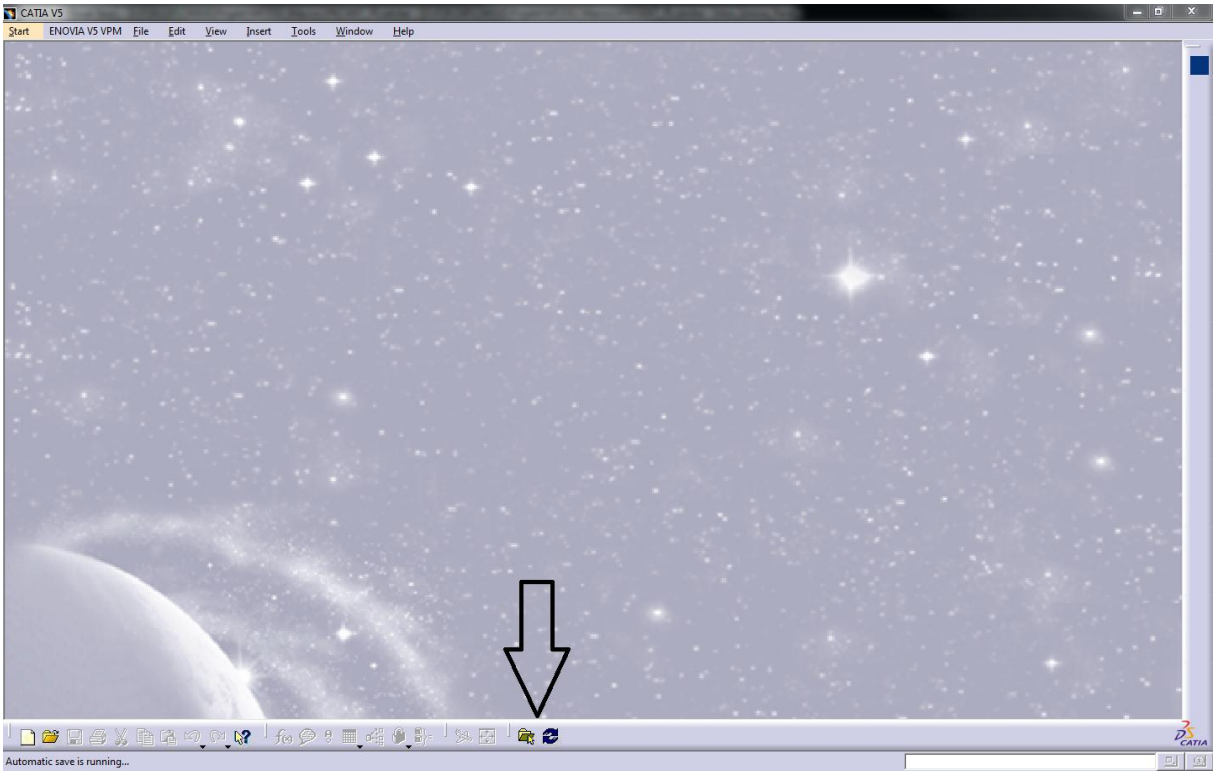
Makro funkcije se mogu pokrenuti na više načina. Jedan način je tako da se otvori izbornik *Tools>Macro>Macros* ili jednostavnom kraticom Alt+F8, a zatim odabere opcija *Run*. Makro funkciju je moguće pokrenuti i unutar samog VB Editor-a klikom na *Run Sub/User Form.* Također, može se stvoriti zasebna ikona za svaku makro funkciju, te se postaviti na alatnu traku (eng. *Toolbar)*. Za ovaj rad, makro funkcija se pisala u VB Editoru i zbog lakšeg rukovanja podijeljena je na module, pa za pokretanje iste koristi se opcija Run. Dakako, sve to se može spojiti u jednu skriptu i pokretati i na prvi način, ali zbog bolje preglednosti i kontrole, zasad se pokreće iz Editora.

Stvorene su i ikone na zasebnoj alatnoj traci unutar CATIA-e. Način na koji se to ostvarilo je sljedeći. Otvori se izbornik *Tools>Customize>Commands tab>* u *Categories* odabrati *Macros* > klikne se „*Show Properties*“. Na slici 19 je prikazan izbornik za stvaranje ikone.



Slika 19. Prozor za odabir ikone makro funkcije

Na slici 20 su prikazane stvorene ikone makroa na zasebnoj alatnoj traci.



Slika 20. Ikone makro funkcija na alatnoj traci CATIA-e

Rezultate skriptiranih makro funkcija najbolje je prikazati usporedbom referentnih površina nekih operacija početnog modela i modela s novim parametrima. Operacije za usporedbu su odabrane s namjerom da što bolje pokažu rezultat stvorenih makro funkcija. One direktno ovise o promjeni parametara koja se izvršava. Kao što je već rečeno, početni parametri su:

- GLAVNI PROVRT = 48,5 mm
- UKUPNA DUZINA = 220 mm
- DUBINA UTORA NA DNU = 14mm

Novi parametri će biti:

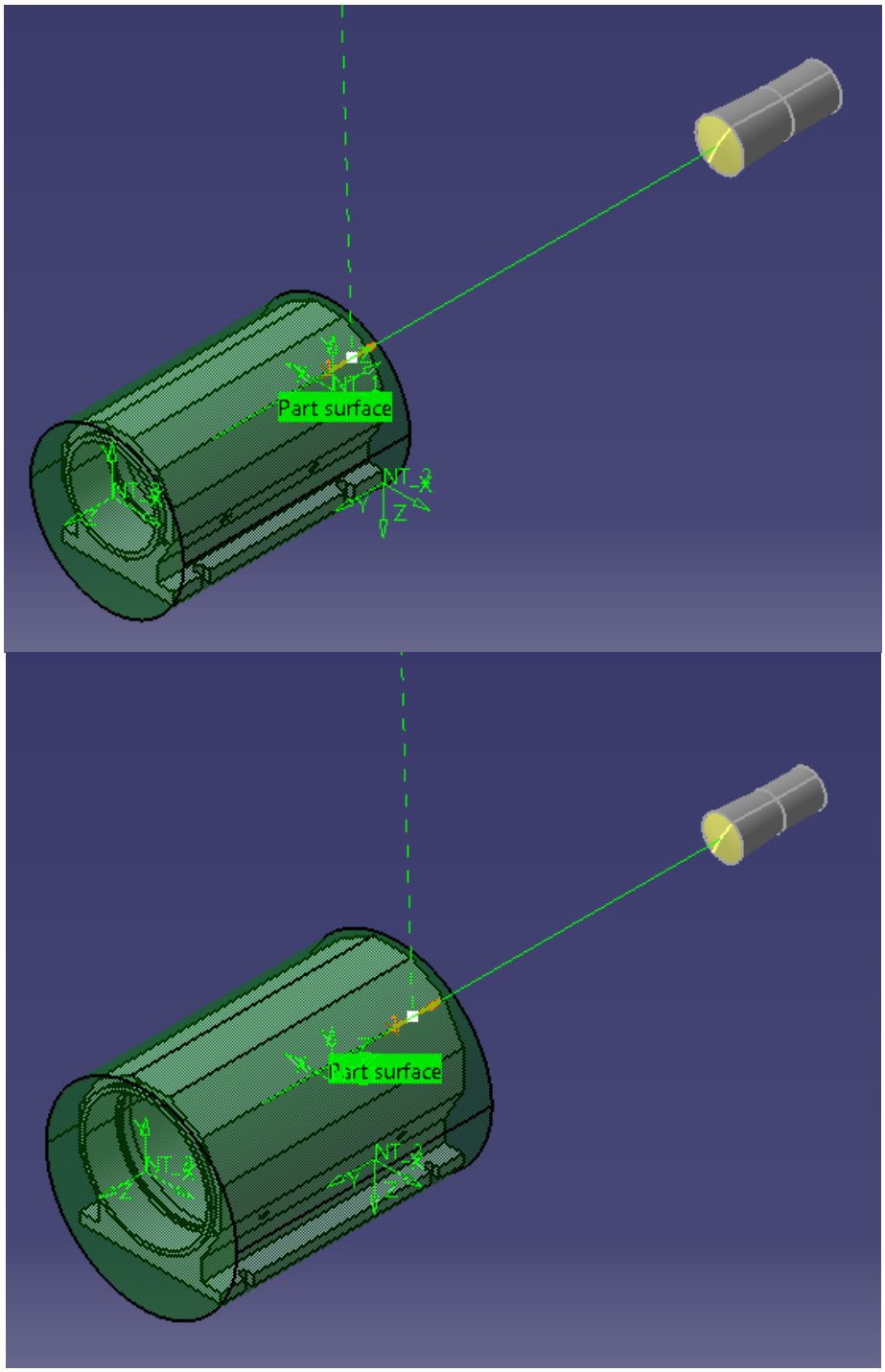
- GLAVNI PROVRT = 80 mm
- UKUPNA DUZINA = 300 mm
- DUBINA UTORA NA DNU = 10 mm

Operacije koje će se uzeti za usporedbu su:

- Duboko bušenje (eng. *Drilling Deep Hole.1*) - 1. stezanje
- Poravnavanje baze kućišta (eng. *Facing.3*) – 2. stezanje

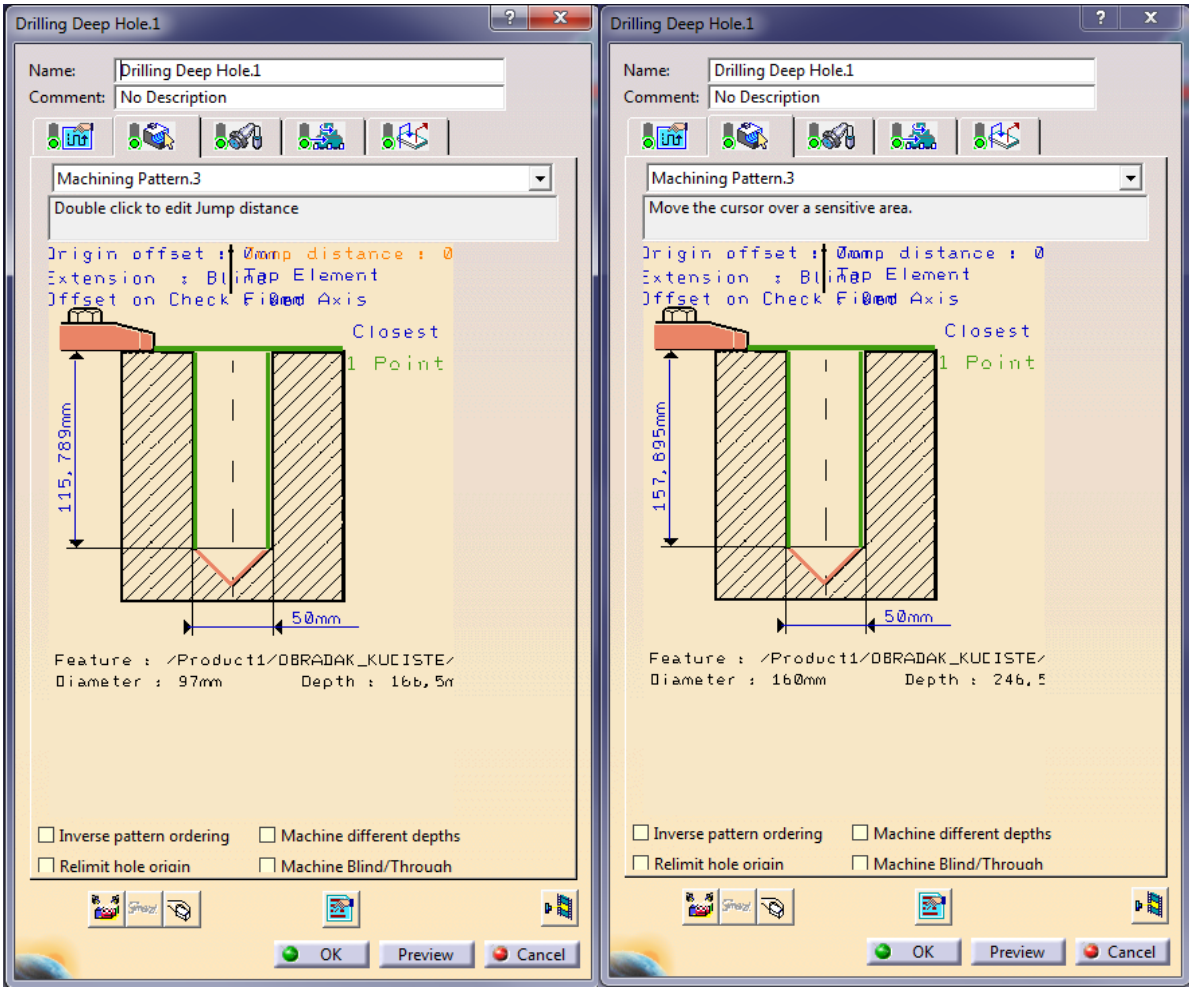
- Obrada utora na dnu (eng. *Pocketing.1*) – 2. stezanje
- Izrada bušne slike (eng. *Profile Contouring.13*) – 3. stezanje

Na slici 21 su vidljive geometrijske promjene između početnog i novog modela kućišta motorvretena. Isto tako, vidljivo je da se putanja alata promjenila prema novim, ažuriranim referentnim površinama modela.



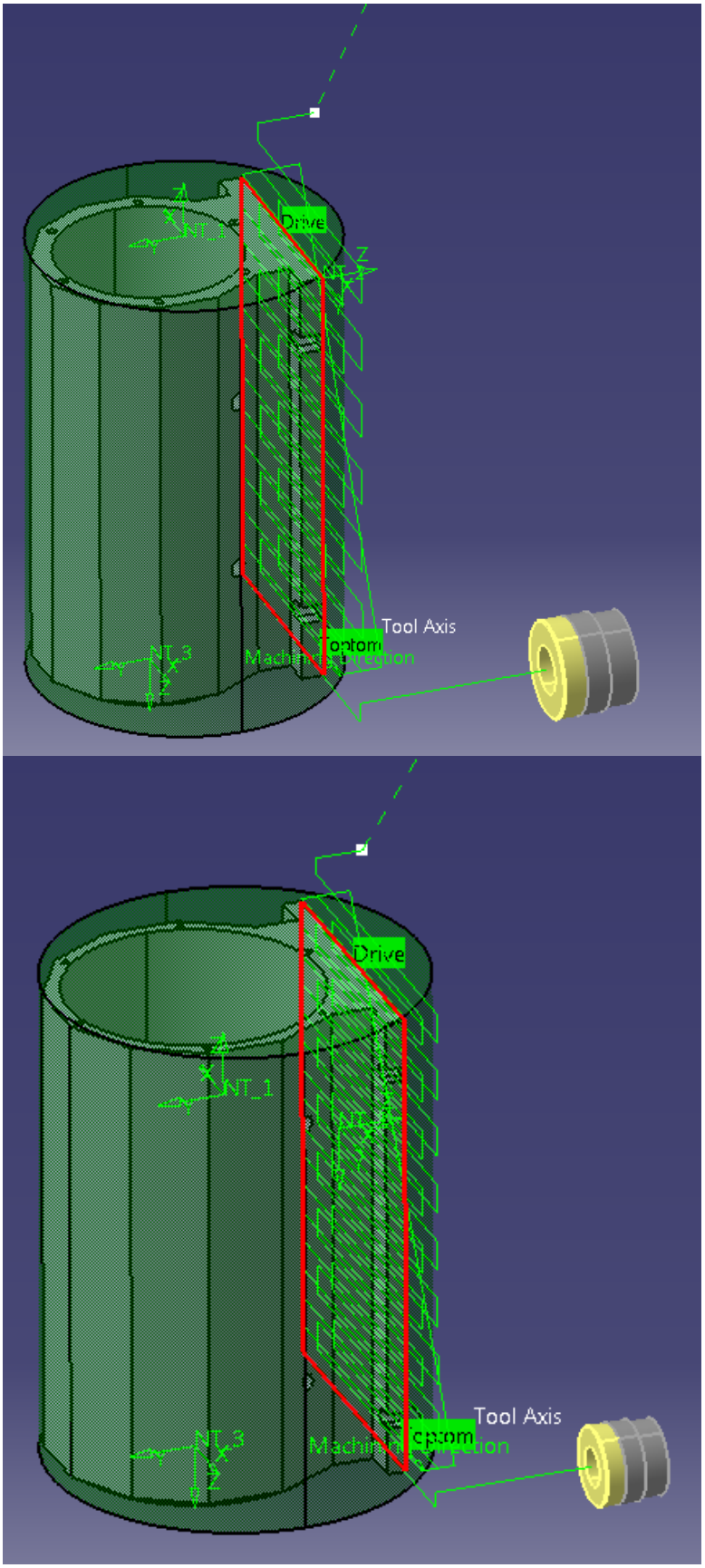
Slika 21. Usporedba putanje alata operacije „Duboko bušenje“

Na sljedećoj slici, prikazane su referentne površine operacije „Duboko busenje“ prije i poslije promjene parametara. Vidljivo je da su referentne površine zelene, što znači da su ostale očuvane i da su, nakon ažuriranja modela, prepoznate od strane CAM modula CATIA-e. Valja se prisjetiti da je upravo ova operacija bila posebno definirana u CAM modulu upravo kako bi se osigurala potpuna obrada provrta modela bilo koje veličine.

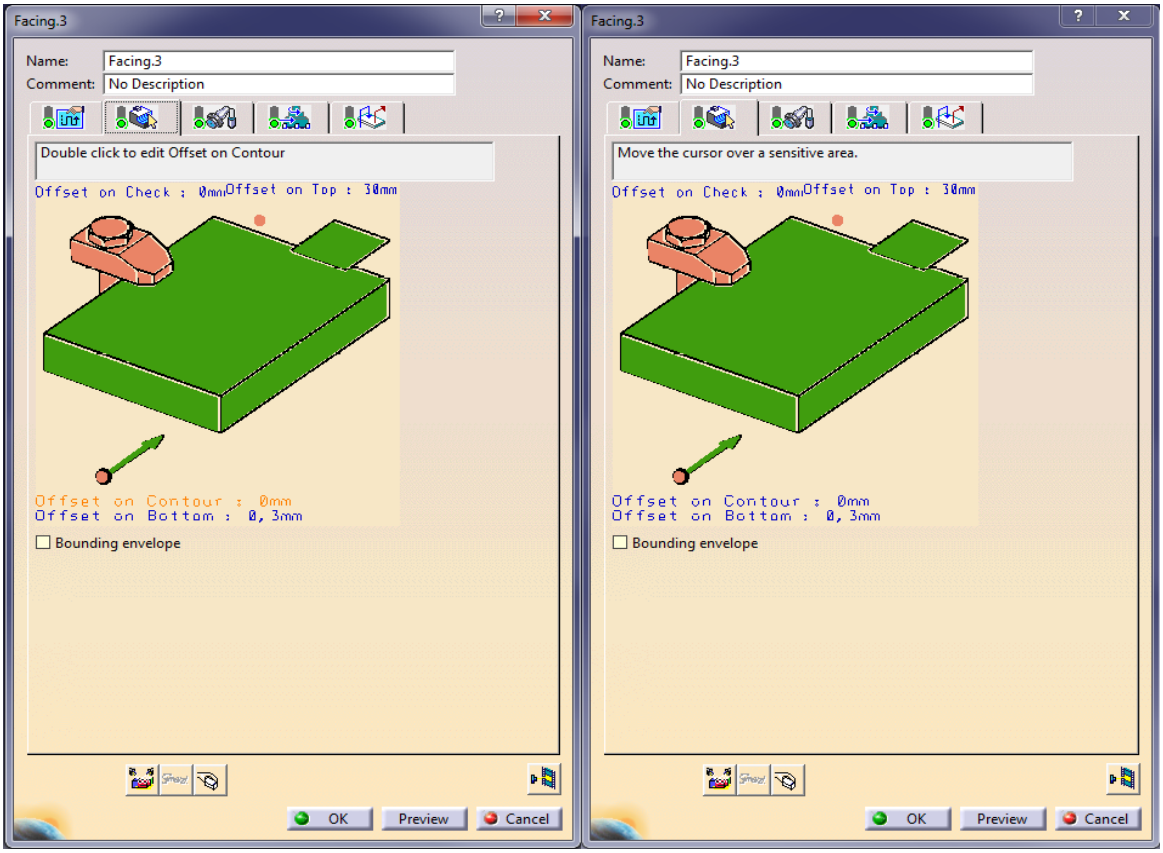


Slika 22. Usporedba referentnih površina operacije „Duboko bušenje“

Na slici 23, prikazana je na isti način usporedba putanje alata prije i nakon promjene parametara modela za operaciju „Poravnavanje baze kućišta“. Isto tako, referentne površine su također ostale očuvane što je još jedan pokazatelj uspješno odrađenog ažuriranja operacija obrade. Usporedba referentnih površina je prikazana na slici 24.

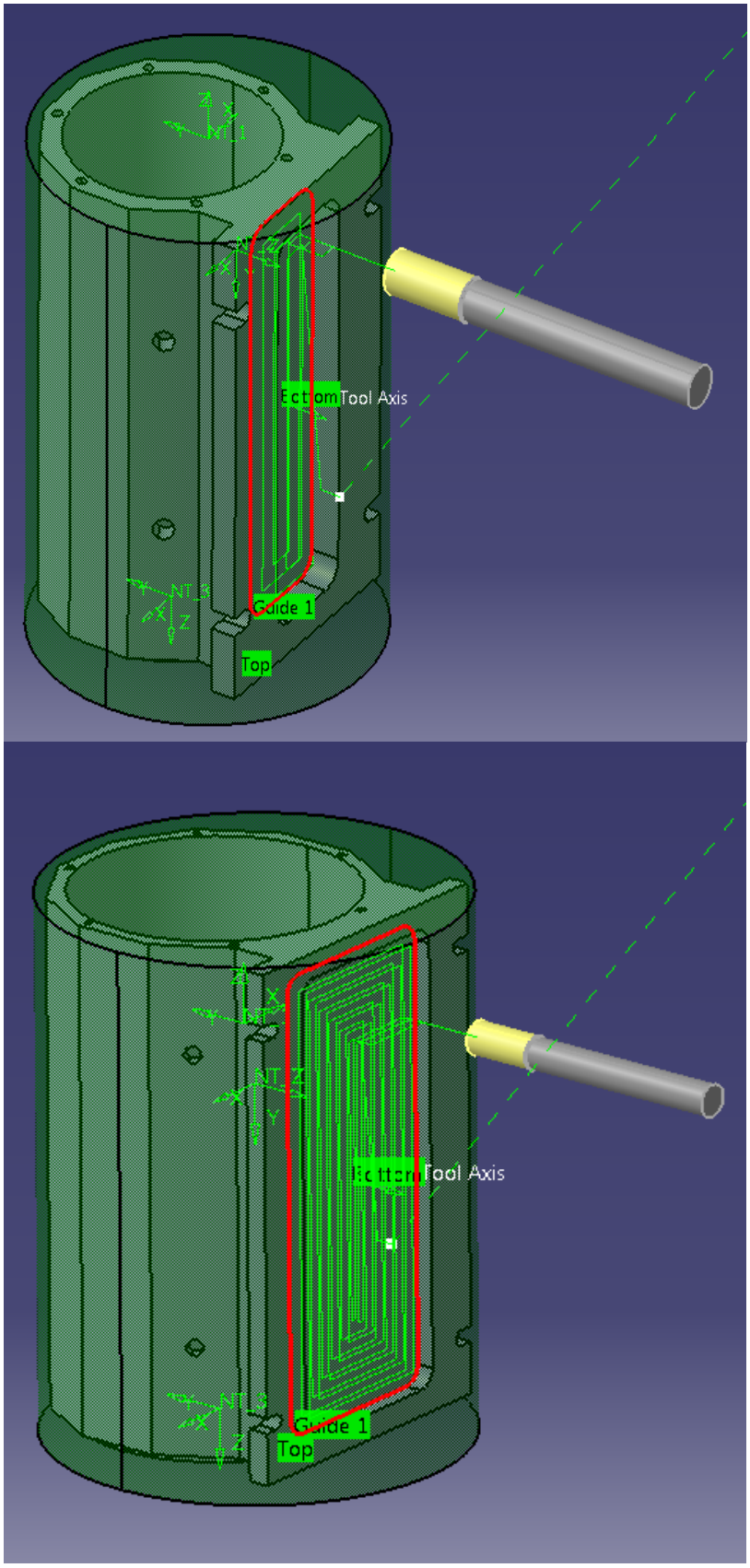


Slika 23. Usporedba putanje alata operacije „Poravnavanje baze kućišta“



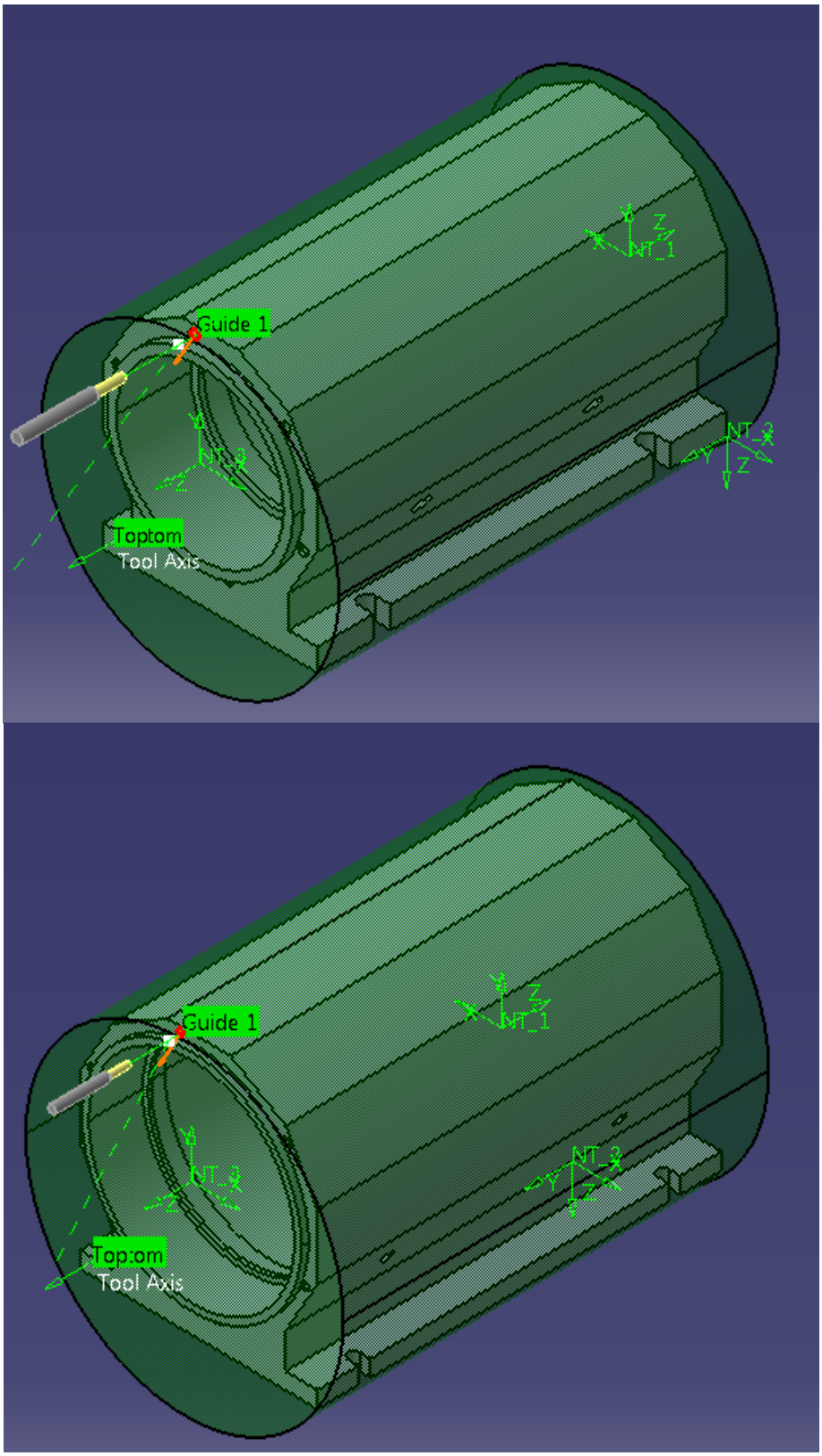
Slika 24. Usporedba referentnih površina operacije „Poravnavanje baze kućišta“

Operacija „Obrada utora na dnu“ je direktno vezana za parametar „Dubina utora na dnu“ i zato je izvrstan pokazatelj uspješnosti makro skripte. Za ovu operaciju će se, na slici 25, prikazati putanje alata gdje je odlično vidljiva promjena putanje s obzirom na nove parametre.



Slika 25. Usporedba putanje alata operacije „Obrada utora na dnu“

Kao zadnja operacija za usporedbu, odabrana je operacija „Izrada bušne slike“. Ona je vezana uz parametar „Glavni provrt“ i na slici 26 je prikazana usporedba putanja alata.



Slika 26. Usporedba putanje alata operacije „Izrada bušne slike“

Na ovim primjerima je vidljivo da je paramterizacija modela unutar CAD modula odrađena ispravno. Vidljivo je i da je simulacija obrade modela, izrađena u CAM modulu, također odrađena ispravno. Makro funkcije uspješno izvršavaju svoje zadaće ažuriranja modela kućišta motorvretena nakon unosa novih parametara i na temelju promijenjenih geometrijskih značajki mijenjaju referentne površine, a samim time i putanju alata.

7. ZAKLJUČAK

Tema ovog rada je bila automatizacija CAPP podrške u CAD/CAM sustavima. U uvodnom dijelu rada, dan je općeniti pregled CAPP sustava s osvrtom na integraciju s CAD/CAM sustavima. U sklopu tog dijela rada, napravljen je pregled komercijalnih CAD/CAM sustava s naglaskom na mogućnost skriptiranja i automatizacije. Iz tog pregleda se može zaključiti da većina sustava podržava skriptiranje i na taj način omogućuje korisniku automatizaciju CAD/CAM sustava. CAPP u većini sustava još uvijek nije dostupan, međutim neki sustavi nude mogućnost optimiranja obrade unutar CAM modula, te imaju opciju prepoznavanja geometrijskih značajki modela. Iako većina CAD/CAM sustava ne podržava CAPP, skriptiranjem je donekle moguće nadomjestiti funkcije CAPP sustava, pisanjem odgovarajuće programske podrške.

U drugom dijelu rada napisana je odgovarajuća programska podrška za automatsko ažuriranje putanje alata parametarskog modela. Programska podrška je ostvarena u obliku makro funkcija, koje su pisane u programskom jeziku VBA, u sklopu CAD/CAM sustava CATIA V5. Ovakav način upotrebe makro funkcija štedi vrijeme i omogućuje standardizaciju proizvoda. Promjena parametara CAD modela je olakšana korištenjem jednostavnog korisničkog sučelja. Postupak skriptiranja makro funkcija je detaljno prikazan na primjeru obrade kućišta motorvretena. Rezultati izvršavanja makro funkcija, prikazani su kroz automatski modificirane putanje alata koje su se dinamički mijenjale u ovisnosti o geometrijskim značajkama parametriziranog modela. Primjenom ovakvih integriranih sustava, značajno se ubrzava proces izrade NC programa za proizvode koji se mogu grupirati po principima grupne tehnologije.

Naposlijetku se može zaključiti, da je kod integriranih CAD/CAM sustava s odgovarajućom podrškom za skriptiranje moguće djelomično realizirati CAPP sustav za proizvode na koje je primjenjiva grupna tehnologija.

LITERATURA

[1] Udiljak T.; Predavanja iz kolegija „*Proizvodnja podržana računalom - CAM*“; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb; ak.g. 2012./2013.

[2] Hou M.; *CAD/CAM integration based on machining features for prismatic parts*; University of Kansas; Kansas; 2008.

[3] Ćosić P.; Predavanja iz kolegija „*Proizvodnja – priprema i upravljanje*“; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb; ak.g. 2013./2014.

[4] Xu X., Wang L., Newman S.; *Computer aided process planning – A critical review of recent developments and future trends*; University of Auckland, New Zeland; 2010.

[5] http://www.brighthubengineering.com/cad-autocad-reviews-tips/62842-computer-aided-process-planning-or-capp/; datum posjete 26.06.2017.

[6] Duda J.,Habel J., Pobozniak J.; *Semi-generative CAPP system*; Cracow University of Technology, Poland; 2000.

[7] Wang L.; *Machine availability monitoring and machining process planning towards Cloud manufacturing*; CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology; 2013.

[8] Liang M., Ahamed S., van den Berg B.; *A STEP based tool path generation system for rough machining of planar surfaces*;1996

[9] Weisenberger N.; *VB Scripting For CATIA V5*; 2012.

[10] Derek Yip-Hoi; *Strategies for teaching CAD automation to engineers and technologists*; Western Washington University; 2010.

[11] http://www.scripting4v5.com/additional-articles/catia-macro-languages/; datum posjete 24.04.2017.

[12] Basa B.B.; Završni rad preddiplomskog studija „*Primjena CAD/CAM sustava u konstrukciji i obradi kućišta motora“*; Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.

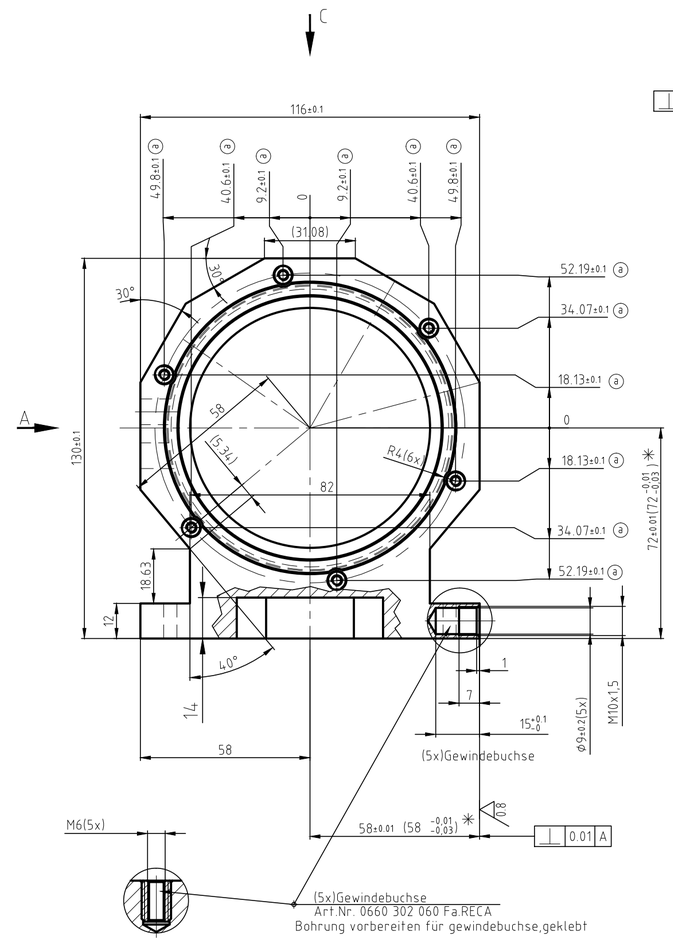
PRILOZI

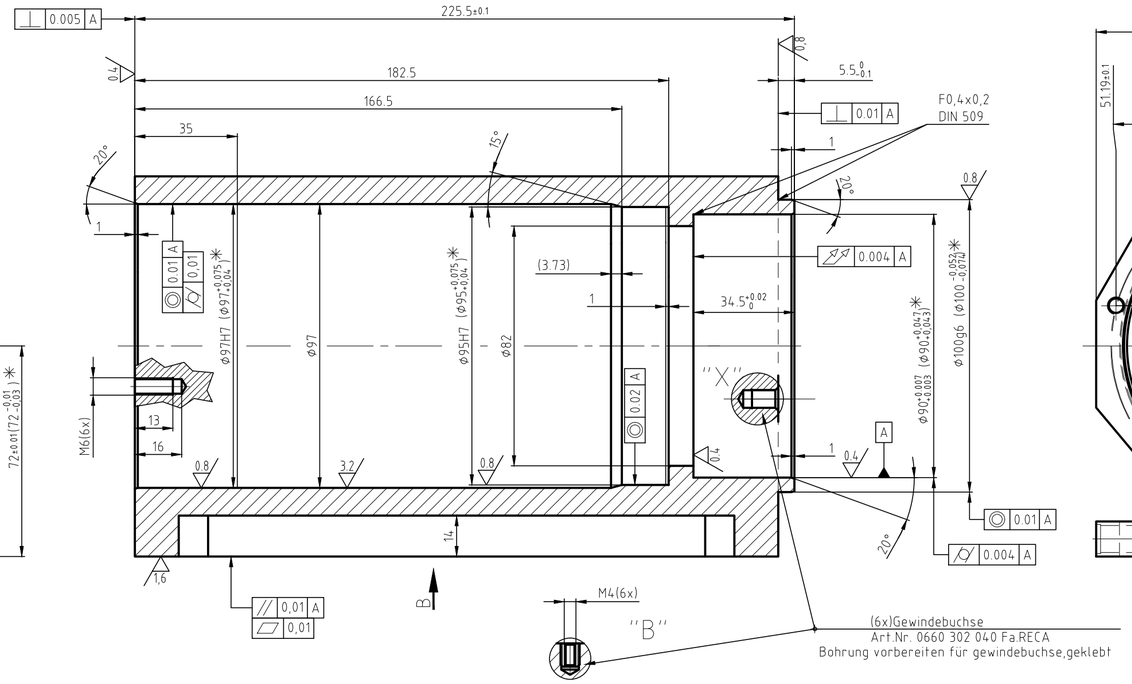
I. CD-R disc

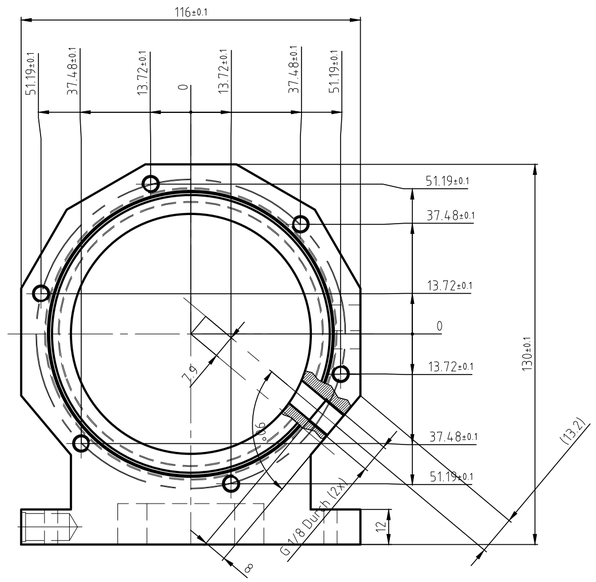
II. Tehnička dokumentacija

ISO-TOL	
⌀95H7	+0.035
	0.0
⌀97H7	+0.035
	0.0
⌀100g6	-0.012
	-0.034

Schnitt A-A

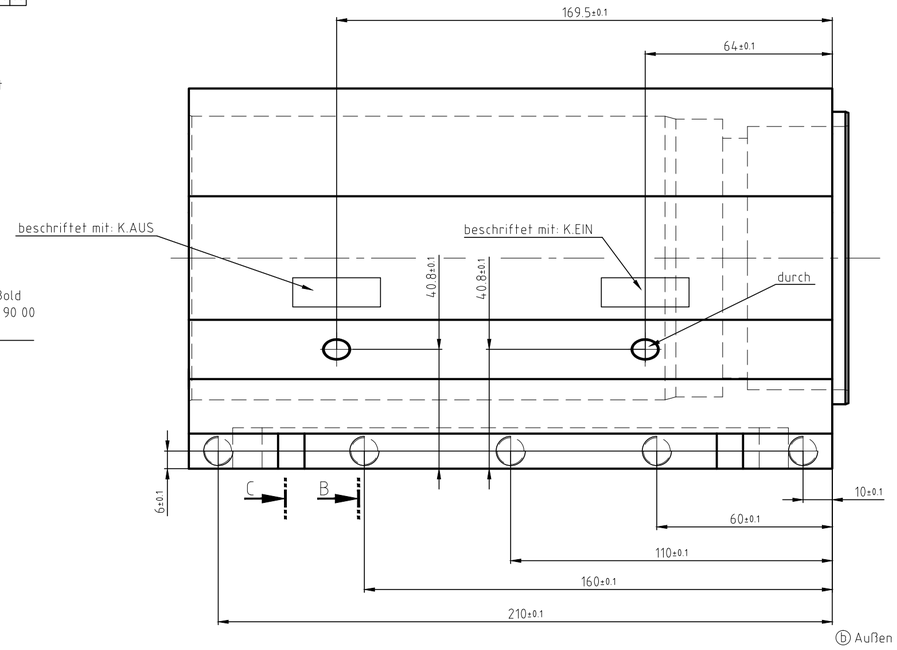


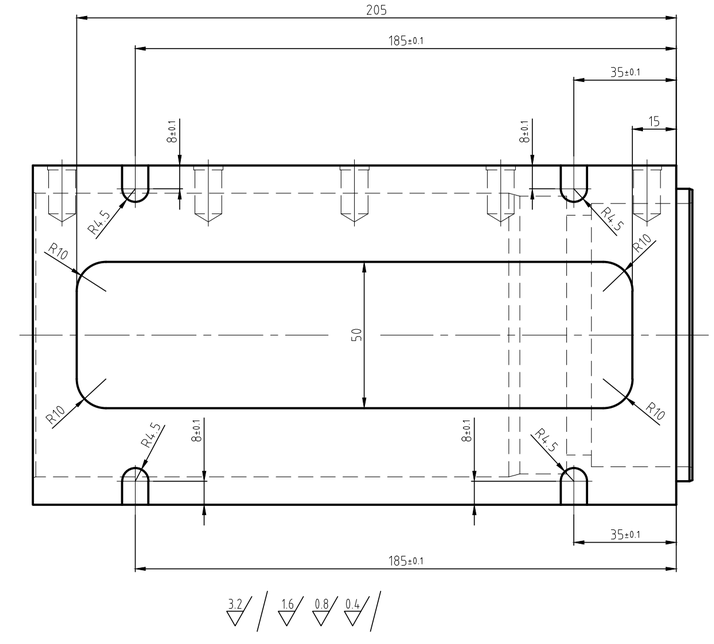




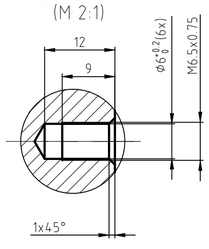
Ansicht "B"

Ansicht "A"



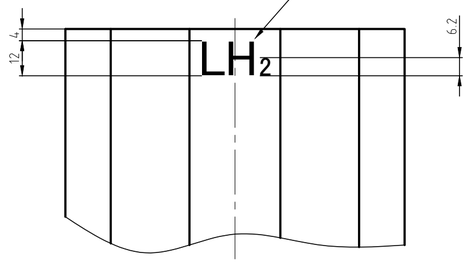


Detail "X"
(M 2:1)



Schriftart: Myriad Pro Bold
Farbon: RAL Design 000 90 00
Weiß Hochglanz

Ansicht "C"



ⓑ Außen Fläche mit RAL 9005 (tiefschwarz matt) Lackiert
Kanten gebrochen 0,2x45°

ⓒ Vernickelt-Schichtdicke:0,02 mm

✳ Maße vor der Vernickelung in Klammern