



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

skill **ME...**

ERASMUS+ KOALICIJA SEKTORSKIH SPRETNOSTI

[TRAJANJE PROJEKTA: november 2014-oktober 2017]

CAD/CAM

UČNO GRADIVO

[DELOVNI PAKET 3: Snovanje skupnega kurikula]

[OUT 3.2: Učna gradiva]

PRIPRAVILA: P12-Strojarska tehnička škola Fausta Vrančića

Avtorica: Snježana Korčij

Prevajalki: Tadeja Simona Ribič, Brabara Škorc

Oktober 2016

KAZALO

1 . UVOD	4
2 . VRSTE PROGRAMIRANJA CNC OBDELOVALNIH STROJEV	4
3 . CAD/CAM	5
3.1. CAD – računalniško podprt konstruiranje	5
3.2. CAM – računalniško podprta proizvodnja	7
3.3. Prednosti in možnosti ob uporabi CAD-a/CAM-a.....	11
3.4. Algoritem CAD/CAM programiranja	13
4. PETOSNA OBDELAVA.....	15
4.1. Petosna obdelava v industriji kalupov in orodij	15
4.2. Petosna obdelava držal za rezalna orodja.....	16
4.3. Petosna obdelava propelerjev	16
4.4. Petosna obdelava turbinskih lopatic	17
4.5. Kinematika CNC strojev	18
5. PRIMER CAD/CAM PROGRAMIRANJA ZA PETOSNO REZKANJE.....	19
5.1. Opis naloge:	19
5.2. Postopek reševanja naloge	22
5.2.1. Analiza risbe.....	22
5.2.2. Izdelava 3D modela.....	22
5.2.3. Izdelava tehnologije obdelave lopatice	27
5.2.3.1. Definiranje petosnega CNC stroja za izdelavo lopatice.....	27
5.2.3.2. Definiranje postopka frezanja	30
6. VIRI IN LITERATURA	37

SEZNAM SLIK, TABEL IN PREGLEDNIC

Slika 1: 3D modeli, ustvarjeni v dveh različnih CAD programih, pripravljeni za uvoz v CAM6	
Slika 2: Sistem CAD	7
Slika 3: Sistema CAD/CAM	8
Slika 4. Sistem CAM	9
Slika 5: Programiranje CNC stroja z dvema različima CAM programoma	12
Slika 6: Najbolj znani CAD/CAM sistemi	13
Slika 7: Algoritem CAD/CAM programiranja.....	14
Slika 8: Obdelava jedra kalupa.....	15
Slika 9. Obdelava držal orodij.....	16
Slika 10: Zaključna obdelava lopatic propelerja	17
Slika 11: Groba obdelava turbinske lopatice.....	17
Slika 12: Zaključna obdelava turbinske lopatice.....	18
Slika 13: Petosni rezkalni stroj.....	19
Slika 14. Delavnška risba lopatice	21
Slika 15: Koordinate profila lopatice	22
Slika 16: Prilagoditev referenčnemu prečnemu prerezu lopatice.....	23
Slika 17: Izvlek telesa lopatice	24
Slika 18: Končni 3D model lopatice	25
Slika 19. Model obdelovanca	26
Slika 20: Model lopatice in obdelovanca	26
Slika 21: Okolje CAM modula “Machining_Prismatic Machining”	27
Slika 22: Petosni CNC stroj	28
Slika 23: Vpenjanje obdelovanca v stroj	29
Slika 24: Definiranje obdelavalnih parametrov pri grobem frezanju lopatice	30
Slika 25: Simulacija grobega frezanja profila lopatice	31
Slika 26: Definiranje parametrov obdelave pri frezanju zunanjih površin lopatice	32
Slika 27: Simulacija frezanja zunanjih površin lopatice na stroju	33
Slika 28: Simulacija finega frezanja zunanjih površin lopatice v programu CATIA	34
Slika 29. Definiranje parametrov obdelave pri čelnem frezanju vrha lopatice	35

Slika 30: Simulacija čelnega frezanja vrha lopatice v programu CATIA	35
Slika 31: Lopatica propelerja turbine	36

SEZNAM PRILOG

Priloga 1: Del G-kode za petosno frezanje turbineske lopatice

Priloga 2: Tehnološka dokumentacija

1. UVOD

Gradivo je namenjeno udeležencem, ki bodo obiskovali modul CAD/CAM.

S pomočjo CAD/CAM programov se bodo naučili programirati petosni frezalni stroj, stroj predhodno nastaviti in na njem izdelati svoj prvi izdelek.

2. VRSTE PROGRAMIRANJA CNC OBDELOVALNIH STROJEV

Programiranje CNC obdelovalnih strojev je postopek pisanja programa po vnaprej določeni tehnologiji razvoja izdelka. Izvesti ga je mogoče ročno ali s pomočjo računalnika.

Ročno programiranje je najstarejša in tehnološko najnižja stopnja programiranja NC in CNC strojev. Uporablja se pri tehnološkem razvoju obdelave delov preprostih oblik in ko je CNC strojev malo. Programer – tehnolog s pisanjem izvirnega programa za izdelavo izdelka (podobnega NC kodi) vodi orodje od točke do točke po konturi obdelave, pri čemer upošteva tehnološke parametre: obdelovalnost materiala obdelovanca, lastnosti, optimalne parametre obdelave itd.

Slabosti ročnega programiranja so:

- v primeru večjega števila strojev in ko gre za kompleksne izdelke, ročno programiranje postane “ozko grlo” proizvodnje;
- potrebnih je več usposobljenih programerjev;
- zaradi zamudnega postopka programiranja je tehnološki postopek izdelave daljši, kar izdelek podraži;
- možnost napak je večja, še zlasti, če gre za kompleksnejše izdelke.
- **Računalniško podprtvo programiranje** je avtomatsko programiranje na osnovi izbranih parametrov, kot so: dimenzijski pripravljenega surovca, poti in izbor orodij, obdelovalnih režimov itd. v posebni programske opremi.

Pri računalniško podprtih programiranjih se NC koda izdela s pomočjo CAD/CAM sistema na osnovi 3D geometrije izdelka, razpoložljivih orodij in obdelovalnih režimov.

Računalniško podprtih programiranjih je prevladalo nad ročnim zaradi:

- hitrejšega ustvarjanja programa
- manjše možnosti napak
- boljše uporabe virov

3 . CAD/CAM

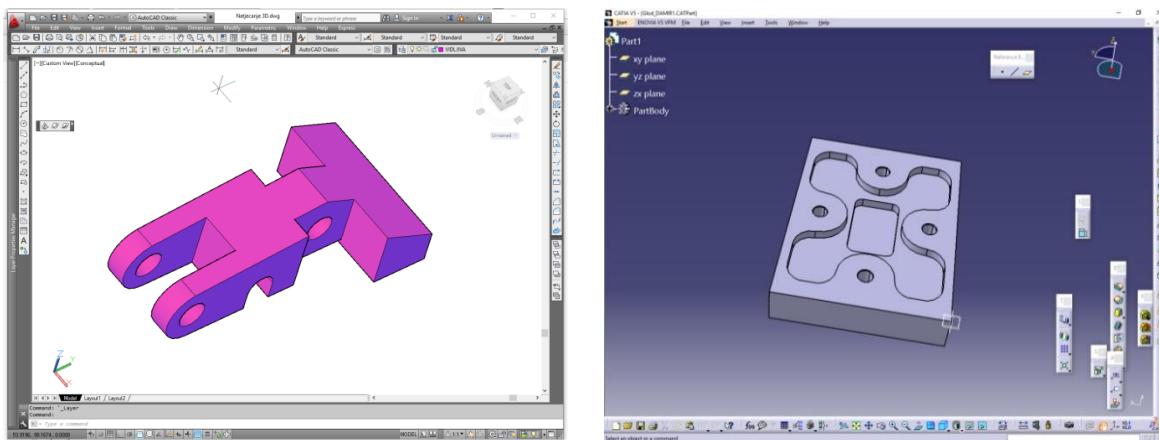
CAD/CAM je tehnologija, ki omogoča avtomatski potek od konstruiranja izdelka do njegove proizvodnje. CAD/CAM predstavlja povezovanje konstruiranja (CAD) in proizvodnih aktivnosti (CAM) s pomočjo računalniških sistemov.

3.1. CAD – računalniško podprt konstruiranje

CAD – računalniško podprt konstruiranje je uporaba računalniških programov kot pomoči pri snovanju, konstruiranju, analizi in vrednotenju, spremjanju in optimizaciji izdelka.

Programska oprema CAD se uporablja pri razvoju ali izboljšavi konstrukcije izdelka, od zasnove do dokumentacije.

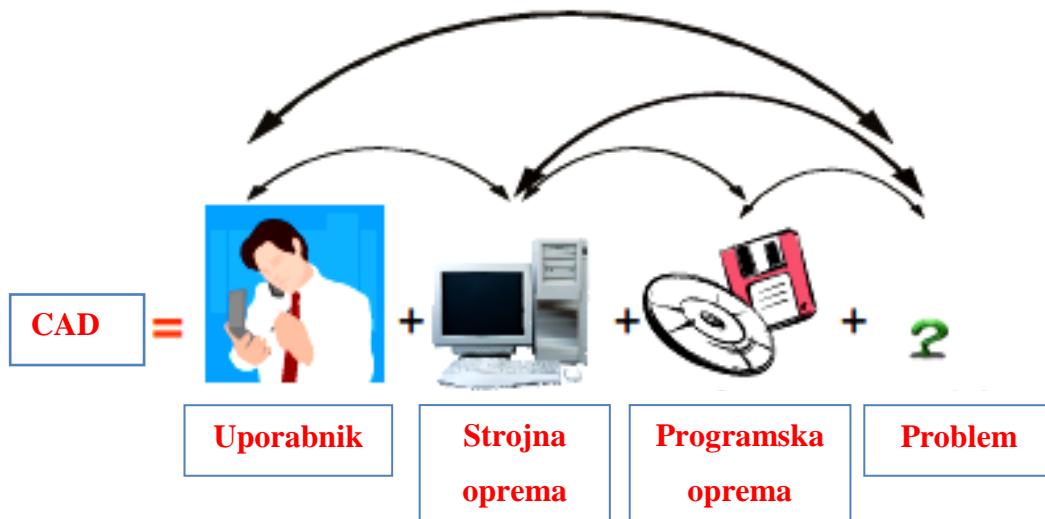
Ti programi predstavljajo podporo procesu konstruiranja (kajti ustvarijo geometrijski prikaz predmeta, ki ga konstruiramo), dimenzioniranju in določanju toleranc, obravnavi sprememb konstrukcije, arhiviranju in izmenjavi informacij o delih in sklopih.



Slika 1: 3D modeli, ustvarjeni v dveh različnih CAD programih, pripravljeni za uvoz v CAM

CAD sistem je sestavljen iz medsebojno povezanih elementov:

- Uporabnik (konstruktor) mora znati uporabljati računalnik in ostalo strojno opremo, poznati programsko opremo CAD in druge potrebne programe ter mora biti sposoben reševati morebitne konstrukcijske težave.
- Strojna oprema je sestavljena iz računalnika in ustrezne opreme. Strojna oprema mora biti prilagojena uporabniku, zato je pomembno, da se zagotovi učinkovito delovanje programske opreme CAD (več RAM-a, hitrejši procesor, kakovosten monitor ...), da je uporabnik sposoben opravljati konkretne konstrukcijske naloge. Za posamezne naloge je potrebna še dodatna specifična I / O oprema.
- Programska oprema je sestavljena predvsem iz programske opreme CAD, vendar se uporablajo tudi različni dodatni programi. Posebni dodatni moduli programske opreme CAD se uporabljajo za specifične naloge.
- Problem in konstrukcijska naloga predstavlja vstopno točko pri načrtovanem procesu konstruiranja in razvoju izdelka. Postavljena naloga vpliva na druge elemente CAD sistema. Posebne težave zahtevajo posebno strokovno znanje uporabnika. Specifične težave prav tako zahtevajo posebne karakteristike in/ali strojne ter programske rešitve.



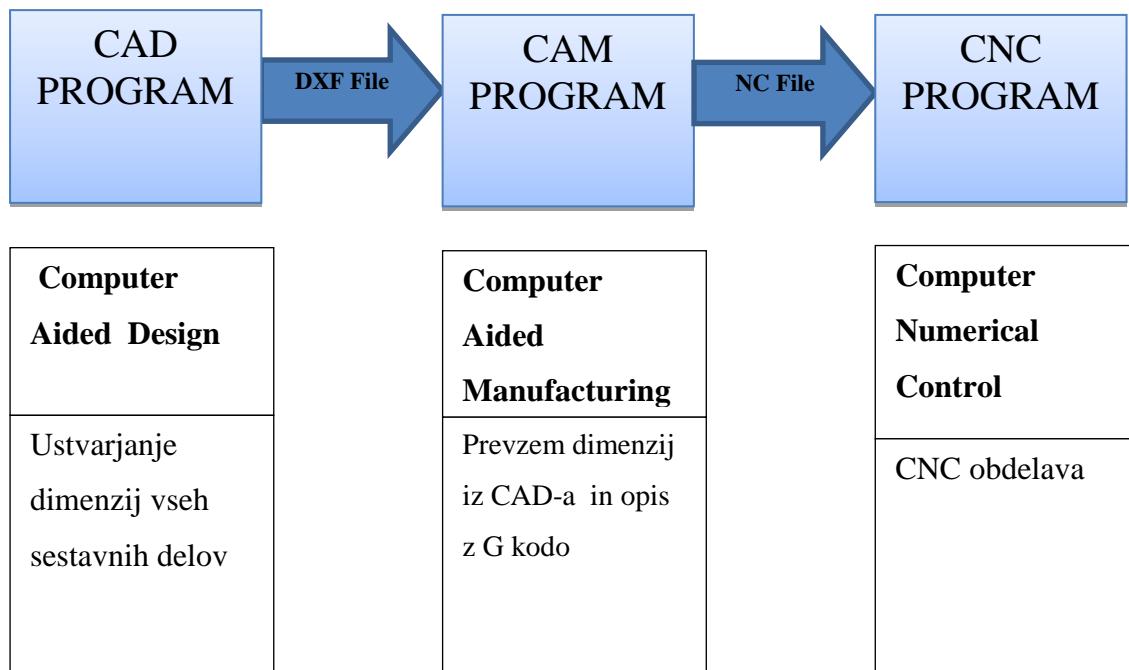
Slika 2: Sistem CAD

3.2. CAM - računalniško podprta proizvodnja

CAM – računalniško podprta proizvodnja je učinkovita uporaba računalniške tehnologije za načrtovanje, upravljanje in nadziranje proizvodnih procesov. Na osnovi CAD modela se generira G koda za obdelovanje na stroju, ki ga upravlja računalnik. Dandanes skoraj vse vrste obdelovanja temeljijo na CAM tehnologiji.

Za razliko od CAD-a, ki se uporablja kot pomoč pri modeliranju in konstruiranju izdelkov, procesov in proizvodnih obratov, se CAM uporablja kot programska podpora pri proizvodnih dejavnostih, torej kot upravljanje CNC strojev, ki se uporabljajo pri odelavi in proizvodnji izdelkov. Tradicionalno nam CAM predstavlja programsko orodje za numerično krmiljenje (NC), kjer sistem CAD pomaga ustvarjati dvodimenzionalne ali tridimenzionalne modele. Z uporabo podatkov o dimenzijsah izdelka, pridobljenih iz modelov in risb, ustvarjenih v sistemu CAD, je mogoče v CAM programu ustvarjati orodja za različne proizvodne postopke. Tipičen proces razvoja programa za CNC upravljanje stroja vključuje dele izdelkov in seznam delov v programu CAD do končne točke ter tudi proizvodnjo plasti različnih dimenzijs, potrebnih za izvajanje programa CAM.

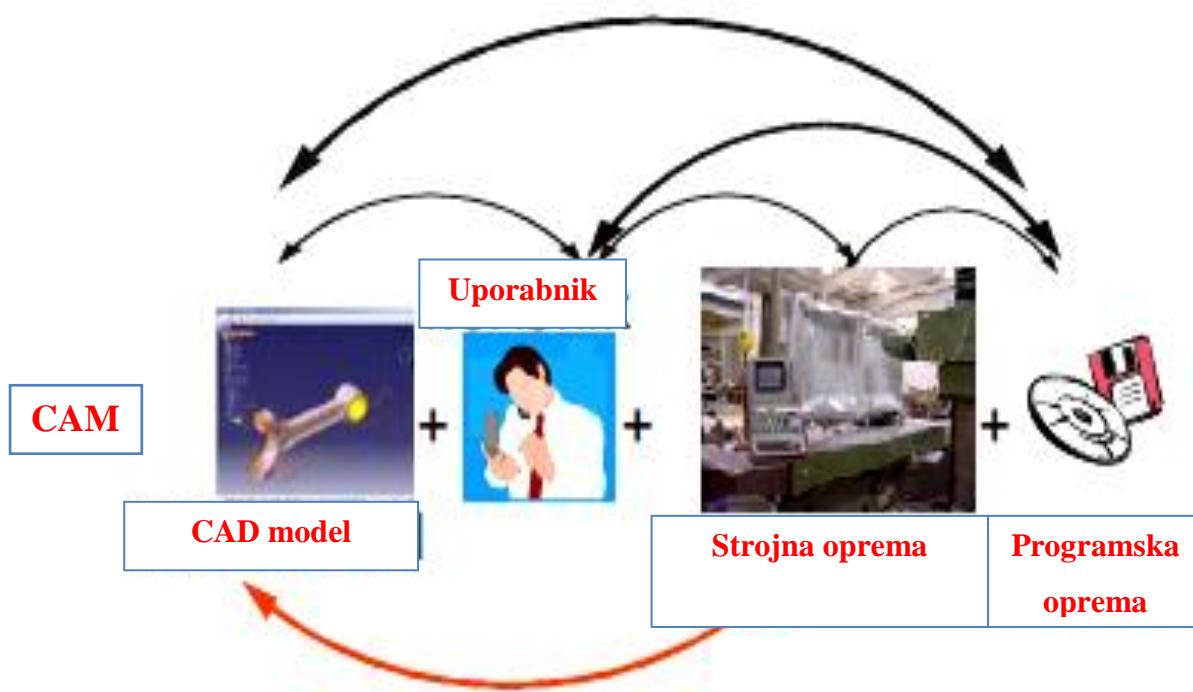
Opis dela, ki je v programu CAD zapisan v prilagojeni obliki, kot sta DXF ali IGES, se nato naloži v program CAM, kjer se uporablja za izdelavo orodja, sledi pa predhodnemu opisu v CAD-u.



Slika 3: Sistema CAD/CAM

Podobno kot CAD je CAM sistem, sestavljen iz medsebojno povezanih elementov.

- Model CAD predstavlja vhod za CAM sistem. Pri opredelitvi modela CAD (v fazi konstruiranja) je tehnologija izdelave že določena, vendar je izbira možnih tehnologij precej omejena.
- Strojna oprema v sistemu CAM je sestavljena predvsem iz CNC strojev, obdelovalnih centrov, fleksibilnih proizvodnih sistemov itd. kot tudi računalnika. Kompleksnost in cena CNC strojev znatno presegata kompleksnost in ceno računalnikov, vendar imajo sodobni stroji običajno svoj računalnik.
- CAM programska oprema je lahko samostojna ali povezana z določenim strojem.



Slika 4: CAM sistem

Osnovne funkcije CAM sistema se nanašajo na načrtovanje proizvodnje in tehnoških procesov.

Ti vključujejo naslednje:

- priprava določenega izdelka
- priprava in optimizacija poti orodij
- ustvarjanje in uporaba baze podatkov in katalogov pogojev rezanja in orodij
- izračun proizvodnega časa
- priprava NC programov
- simulacija in vizualizacija proizvodnih procesov
- priprava proizvodne dokumentacije

Geometrijski model izdelka predstavlja končno obliko, ki jo moramo po obdelovanju doseči. CAM sistem ima možnost za samodejno določanje surovca na podlagi dimenzij osnovnega modela izdelka. Ta funkcija temelji na tako imenovani logiki obdelovanja dodatnih elementov, tj. logiki standardnih dimenzij materiala. Z uporabo dimenzij modela sistem CAM Učno gradivo je nastalo v okviru projekta skillME, ki ga sofinancira Evropska unija – program Erasmus+.

ustvari model surovca in ga vključi v proizvodnjo. V nekaterih primerih surovec prevzame dimenzijske modela, tako da obdrži standardno obliko kocke (pri prizmatičnih modelih) ali valja (pri rotacijskih modelih). Postopek samodejnega določanja suroveca ni vedno mogoč ali ni najbolj ugoden, zato ima uporabnik možnost, da neposredno posreduje in obdela surovec.

Določanje in optimiranje orodja je funkcija CAM-a, ki se običajno izvaja v okviru tehnološkega načrtovanja. Vendar pa v proizvodnji obstajajo situacije, ki zahtevajo dodatno preverjanje poti orodja in verjetno njihove popravke in ponovno določitev, ki se večinoma izvajajo pri proizvodnji bolj kompleksnih izdelkov, ko je izbira poti orodja omejena ne le s konfiguracijo izdelka, temveč tudi s konfiguracijo stroja, opreme in delovnega okolja.

Ustvarjanje in uporaba podatkovne baze in digitalnih katalogov strojev, opreme, orodij, pribora, pogojev rezanja in drugih pomembnih elementov v proizvodnem procesu sta ključnega pomena za hitro in učinkovito modeliranje in izdelavo simulacije. V sistemu CAM imajo za ta namen posebne module.

Izračun proizvodnega časa poteka samodejno na osnovi ostale proizvodnje in tehnoloških parametrov ter upošteva velikost in konfiguracijo izdelka. Na splošno, čas izdelave, razen časa rezanja, vključuje vse pripravljalna, dodatna in končna časovna obdobja.

Pred ustvarjanjem programa za CNC stroje in druge opreme za proizvodnjo (roboti, prevozna sredstva itd.) ter pred končnim procesom pridobivanja dokumentacije o izdelku je potrebno izvesti simulacijo posameznih tehnoloških procesov kakor tudi celotnega proizvodnega procesa. Sistem CAM ima za ta namen zelo dobre funkcije, ki omogočajo uporabniku, da zazna nepravilnosti v prvotno ustvarjeni proizvodnji in tehnološkem postopku. Namen tega je, da bi se povsem izognili vsem spremembam pred dejanskim začetkom proizvodnje ali jih vsaj zmanjšali. Med simulacijo sistem CAM vizualno prikaže vse potrebne informacije ter označi mesta možnih težav in napak.

Postopek generiranja NC programa, ki se uporablja za računalniško upravljanje proizvodne opreme, je popolnoma samodejen. To se izvede s pomočjo posebnih funkcij sistema CAM na osnovi tehnološkega modela.

Ustvarjanje proizvodne dokumentacije v sodobnem sistemu CAM se nanaša predvsem na ustvarjanje dokumentacije v elektronski obliki, primerni za izmenjavo med različnimi

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta skillME, ki ga sofinancira Evropska unija – program Erasmus+.

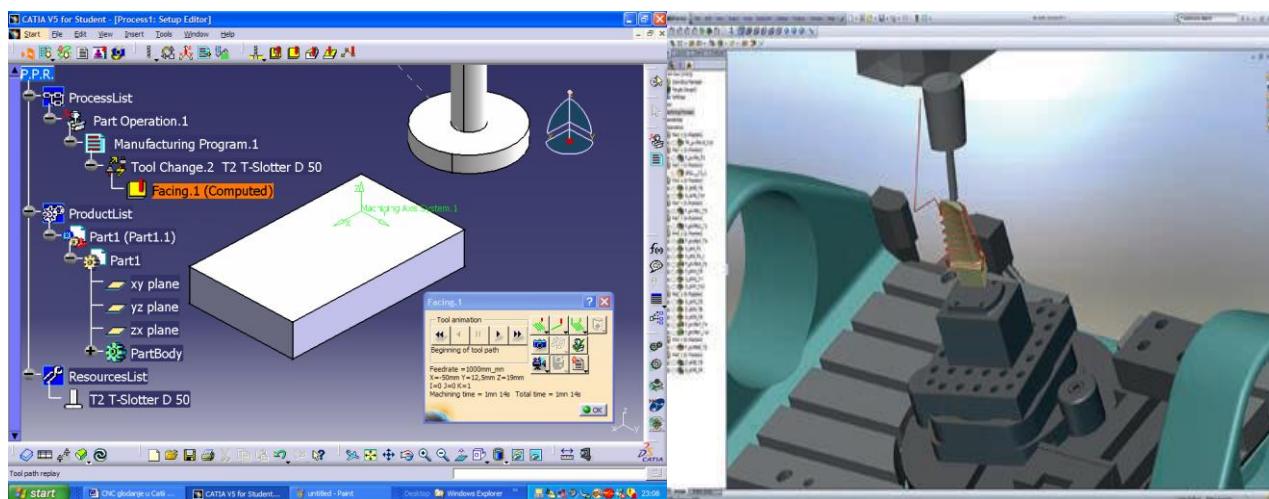
udeleženci pri razvoju izdelka. Ker se komunikacija te vrste izvaja preko interneta, izdelava proizvodne dokumentacije pomeni avtomatično ustvarjanje (hyper text) dokumenta v obliki HTML. Tako se, na primer, pri procesu frezanja prizmatičnega strojnega elementa ustvari dokument, ki vsebuje vse pomembne podatke tega postopka.

3.3. Prednosti in možnosti ob uporabi CAD-a/CAM-a

Uporaba sistema CAD/CAM ponuja svojim uporabnikom veliko prednosti, tako da je vprašanje, ali bi uporabljali sistem ali ne, res nesmiselno. Smiselno pa se je vprašati, katere optimalne rešitve je treba uporabiti pri določeni proizvodnji in pri razvoju podjetja. Prednosti, ki jih ponuja sistem CAM/CAD, so:

- Povečanje produktivnosti (hitrost) - to je danes eden od najpomembnejših pogojev za podjetja. Imeti pravo rešitev ob pravem času je pogoj za napredovanje in preživetje v svetu globalne konkurence. Hitrost je mogoče povečati na naslednje načine:
 - avtomatizacija rutinskih nalog, da se poveča ustvarjalnost
 - vnos standardnih delov iz baze podatkov
 - hitra izdelava prototipa
- Podpora spremembam pri konstrukciji: enostavne in zanesljive spremembe konstrukcije po eni strani omogočajo, da se odstranijo napake, ki se pojavijo pri procesu konstruiranja, in na drugi strani, kar je še bolj pomembno, možnost ustvarjanja številnih variant in njihovih izboljšav v procesu optimizacije konstrukcijskih rešitev. Enostavne spremembe se izvajajo na naslednji način:
 - ponovno risanje vseh delov po vsaki spremembi ni potrebno
 - predhodni konstrukcijski načrti so shranjeni

- Komunikacijo lahko spremljamo z naslednjih vidikov:
 - z drugimi ekipami/inženirji (proizvajalci, dobavitelji ...)
 - z drugimi programi (CAD, CAM, CAE ...)
 - s trženjem (realistični prikaz konstrukcije)



Slika 5. Programiranje CNC stroja z dvema različnima CAM programoma

Po tržnih statistikah v CAD/CAM industriji prevladujejo podjetja, ki jih prikazuje slika.

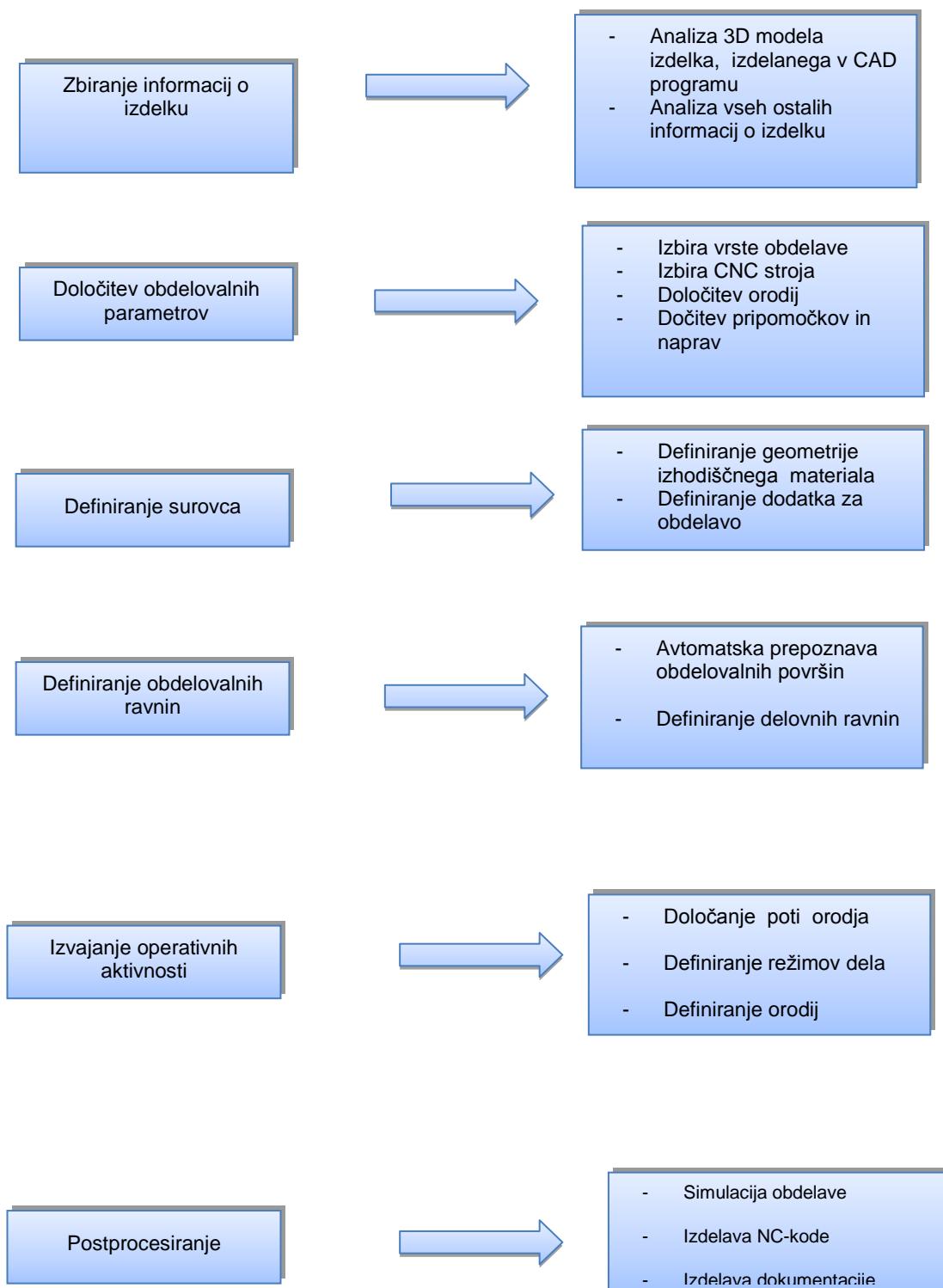
Proizvajalec	Program
	AUTODESK INVENTOR
	AUTODESK AUTOCAD
	CATIA
	SolidWorks
	DraftSight™
	NX UNIGRAPHICS
	SOLID EDGE
	creo parametric

Slika 6: Najbolj znani CAD/CAM sistemi

3.4. Algoritem CAD/CAM programiranja

CAD/CAM programiranje se izvajaja v nekaj korakih:

1. Analiza risb in dokumentacije
2. Konstrukcija 3D modela obdelovanca v enem od CAD programov
3. Določitev tehnologije obdelave, orodij, rezalnih parametrov itd. v CAD programu
4. Simulacija obdelave in popravki v enem od CAD programov
5. Izdelava NC kode in tehnološke dokumentacije



Slika 7: Algoritem CAD/CAM programiranja

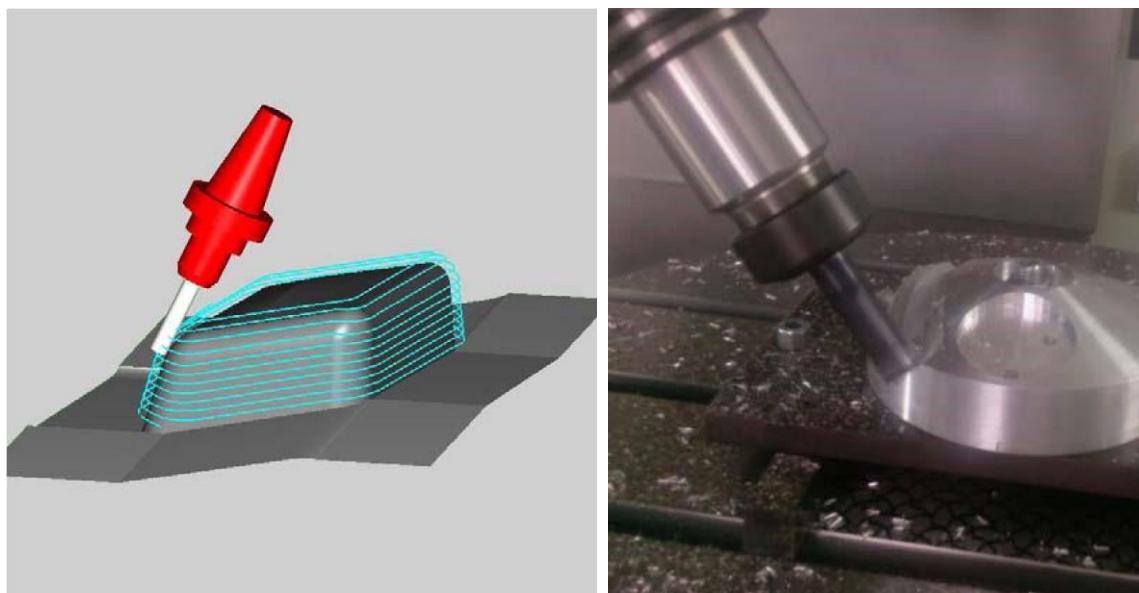
4. Petosna obdelava

Petosna obdelava se je pojavila z razvojem petosnih strojev s sodobnimi krmilniki. Programiranje 5-osnih strojev je zahtevno opravilo, zato za tovrstno programiranje programerji običajno uporabljajo CAD/CAM sisteme.

5-osna obdelava se uporablja pri proizvodnji obdelovancev kompleksne geometrije in s površinami, ukrivljenimi pod različnimi koti. Pred uvedbo petosne obdelave so težavo s tovrstnimi obdelovanci reševali s 3-osno obdelavo in uporabo specialnih orodij, ki pa so podaljšala čas izdelave in izdelek podražila.

4.1. Petosna obdelava v industriji kalupov in orodij

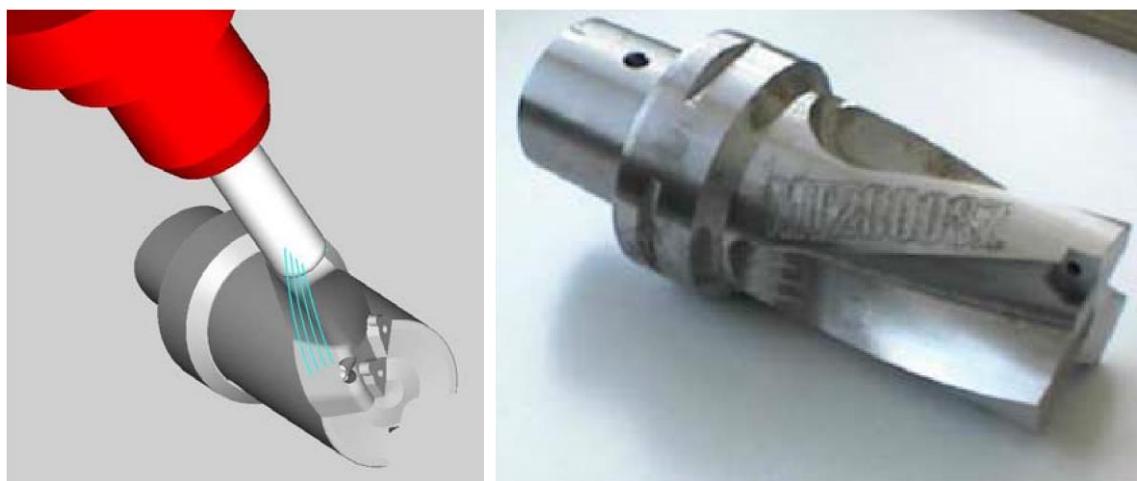
V industriji izdelave kalupov ima obdelava kovin z odrezovanjem eno najpomembnejših vlog. Kalupi za proizvodnjo polimernih izdelkov lahko imajo zelo kompleksne površine, katerih geometrijo je mogoče doseči samo s petosno obdelavo.



Slika 8: Obdelava jedra kalupa

4.2. Petosna obdelava držal za rezalna orodja

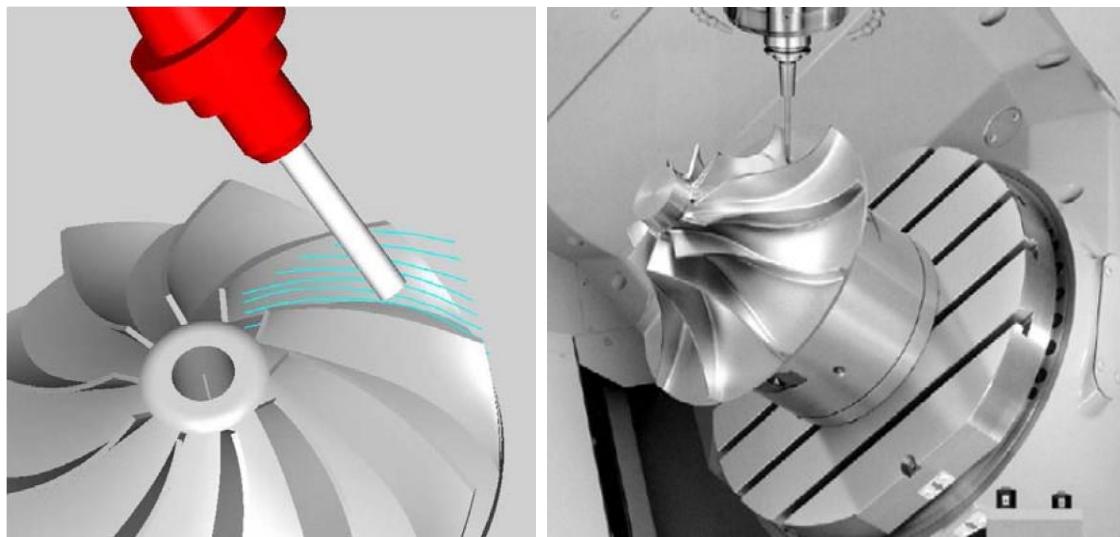
Pri obdelavi držal rezalnih orodij za obdelavo kovin je bistveno, da izvedemo postopek frezanja ležišč izmenljivih ploščic v 5-osnem načinu. Običajno je potrebna obdelava na različnih globinah, odvisno od vrste orodja. Krajši obdelovalni čas je ključen, kajti gre za zelo drag obdelovalni postopek. Skrajšanje obdelovalnega časa je mogoče le tedaj, ko je zagotovljena gladka pot orodja, kar podpira sistem petosnih krmilnikov strojev.



Slika 9: Obdelava držal orodij

4.3. Petosna obdelava propelerjev

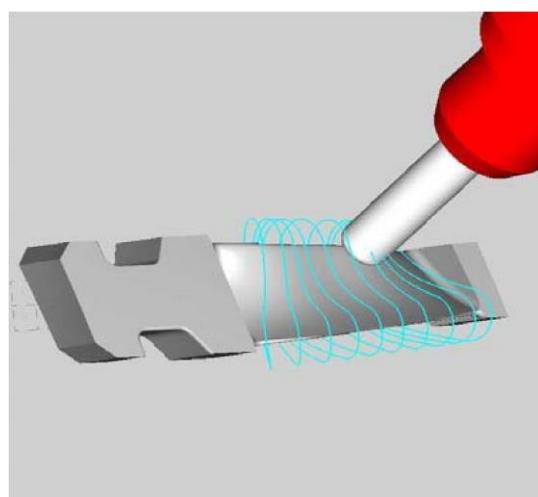
Obdelava propelerjev je za postopek frezanja ena najkompleksnejših nalog. Razlogov za to je več: zelo majhen prostor za nagibanje orodja, visoke zahteve po kakovosti obdelane površine, ekonomske zahteve po hitri izdelavi, potrebno pa je zagotoviti tudi gladke prehode orodja preko obdelovanca, ki ima veliko površin, potrebnih obdelave.



Slika 10: Zaključna obdelava lopatic propelerja

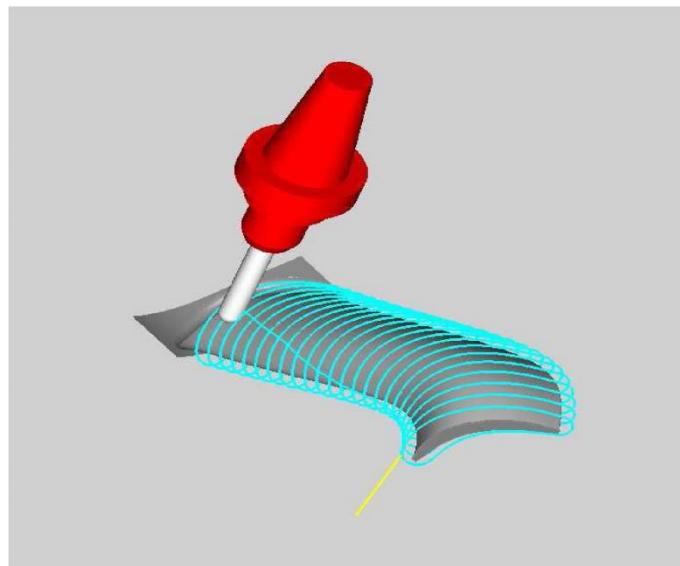
4.4. Petosna obdelava turbinskih lopatic

Groba obdelava turbinskih lopatic je klasična naloga pri petosni obdelavi. Petosna obdelava v tem primeru zajema upravljanje in programiranje poti orodja za ukrivljene površine obdelovanca. Za samo obdelavo se uporablajo veliki čelni frezalni stroji skupaj s simultanim petosnim krmiljenjem. Da bi skrajšali proizvodni čas, je bistveno programirati pravilne poti orodij. Iz tega razloga so postprocesorji optimirani, da bi bili v podporo krmilnim enotam stroja v smislu lažjega definiranja poti orodij.



Slika 11: Groba obdelava turbinske lopatice

Zaključna obdelava turbinskih lopatic – Pri zaključni obdelavi turbinskih lopatic imamo dve obdelovalni strategiji. Prva, ki jo prikazuje slika 9, je strategija, kjer se zaključna obdelava opravi s krogelnim frezalom (angl. Ball End Mill) in z nagibanjem orodja pod določenim kotom, da bi se izognili trku in optimirali pogoje rezanja na površini. Pri tej strategiji se uporablja spiralna pot orodja, da bi se izognili sledovom na površini, ki jih povzroči prekrivanje poti (angl. path stepover).



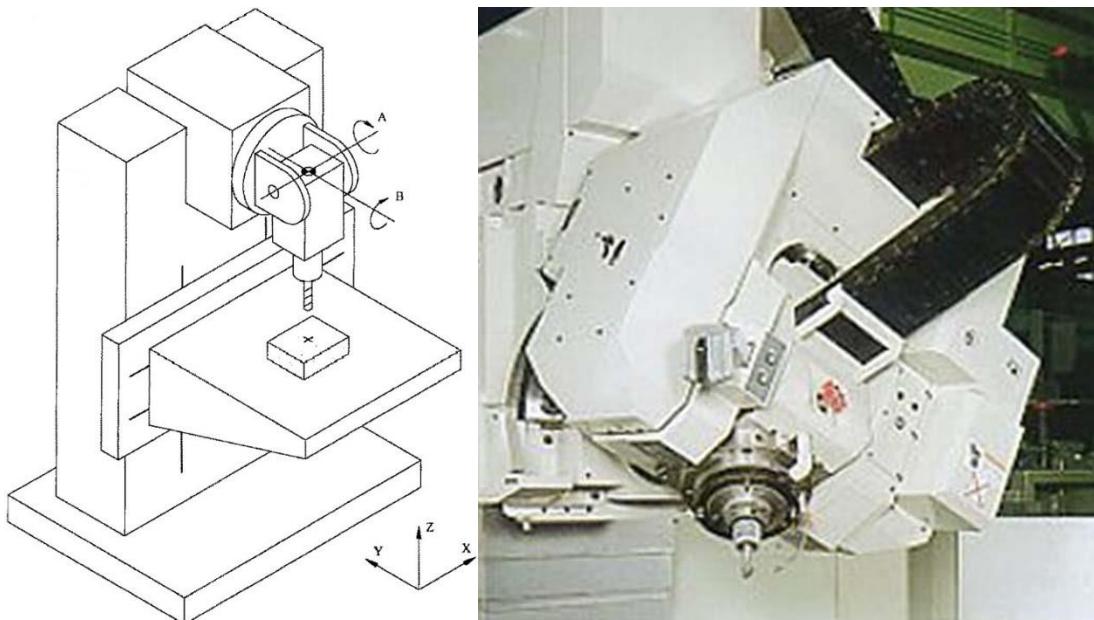
Slika 12: Zaključna obdelava turbineske lopatice

4.5. Kinematika CNC strojev

Število osi, ki jih ima stroj, se nanaša na število prostostnih stopenj ali na število možnih neodvisno krmiljenih pomožnih delov stroja. Pet prostostnih stopenj gibanja je minimum, ki omogoča maksimalno fleksibilnost. To pomeni, da sta lahko orodje in obdelovanec med delovanjem usmerjena (relativno) eden proti drugemu pod kakršnim koli kotom. Kar se tiče uporabe translacijskih (T) in rotacijskih (R) osi, so bile v obstoječih konstrukcijah petosnih strojev uporabljene naslednje kombinacije:

- tri translacijske in dve rotacijski osi
- tri rotacijske in dve translacijski osi
- ena translacijska in štiri rotacijske osi
- pet rotacijskih osi

Velika večina 5-osnih strojev sodi v kategorijo strojev s tremi translacijskimi in dvema rotacijskima osema. Stroji z dvema translacijskima in tremi rotacijskimi osmi se uporabljajo za proizvodnjo ladijskih propelerjev. Preostali dve skupini se uporabljata pri robotih, najpogosteje v kombinaciji z še dodanimi osmi.



Slika 13: Petosni frezalni stroj

5. PRIMER CAD/CAM PROGRAMIRANJA ZA PETOSNO FREZANJE

V nadaljevanju je opisan postopek CAD/CAM programiranja s programsko opremo CATIA V5. Podoben postopek se uporablja za izdelavo NC kode v ostalih CAD/CAM programih.

5.1. Opis naloge:

Glede na zakone teorije tekočin so podani prečni preseki lopatice parne turbine na vsakih 40 mm, z obliko, dimenzijami in prečnim aerodinamičnim profilom.

Iz teh začetnih podatkov je potrebno:

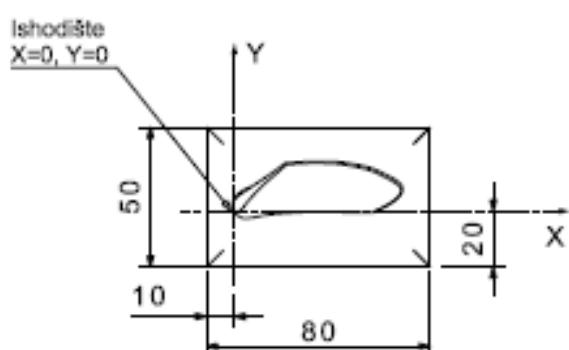
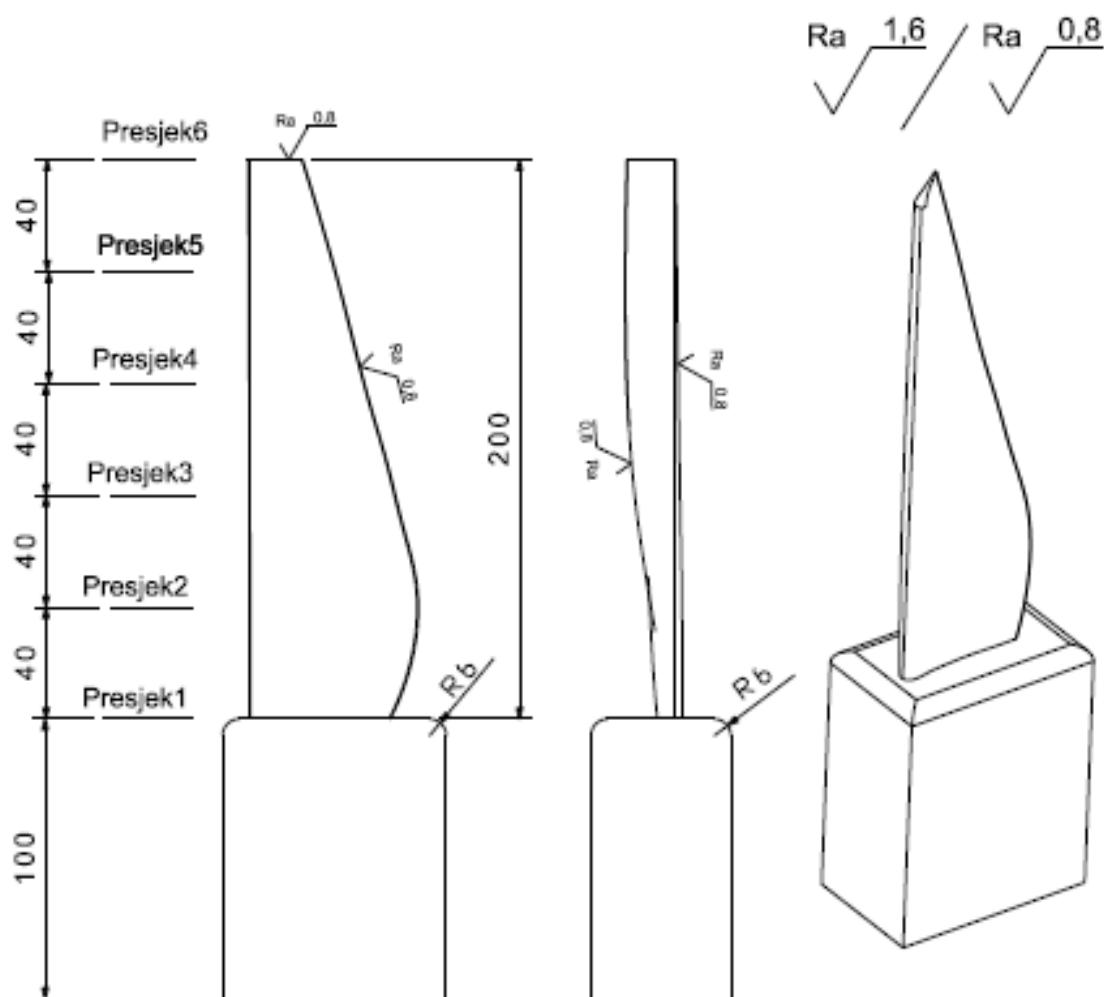
1. V enem od CAD programov modelirati krilo lopatice, pri čemer model ustvarjamo na osnovi podanih prečnih presekov lopatic.
2. V enem od CAM programov izdelati NC kodo za izdelavo lopatice na petosnem CNC frezalnem stroju.

Na osnovi dobljene konstrukcije je potrebno definirati surovec in tehnologijo izdelave po postopkih:

- petosno grobo frezanje
- petosno konturno frezanje
- petosno fino frezanje (angl. isoparametric milling)
- zaključno poliranje površine

Za vsak postopek je potrebno definirati orodja, režime dela in metode dela.

3. Potrebno je zagnati simulacijo obdelave in (če je potrebno) izvesti korekcije NC kode.
4. V enem izmed CAM programov je treba izdelati tehnološko dokumentacijo za izdelavo lopatice na petosnem CNC frezalnem stroju.
5. Izdelati je potrebno lopatico na petosnem CNC frezalnem stroju.



Lopatica turbine je nastala
kao tijelo provlačenjem
kroz 6 presjeka, prema tablici.

Broj presjeka	Faktor skaliranja	Kut zakreta oko ishodišta
Presjek1	$f=1$	$\alpha=0^\circ$
Presjek2	$f=1,2$	$\alpha=7^\circ$
Presjek3	$f=1,07$	$\alpha=14,4^\circ$
Presjek4	$f=0,88$	$\alpha=22^\circ$
Presjek5	$f=0,7$	$\alpha=29,3^\circ$
Presjek6	$f=0,5$	$\alpha=42^\circ$

Strojarska Škola Fausta Vrančića Zagreb	Mentor: I.Č. Komisarac Č.:	Datum: 08.11.2010.	Predmet: Aluminij	Vrsta materijala: Č.1530	Nom. djele: LOPATICA TURBINE
Predmet:				Dimenz. predmeta:	Broj djele: 51658

Slika 14: Delavniška risba lopatice

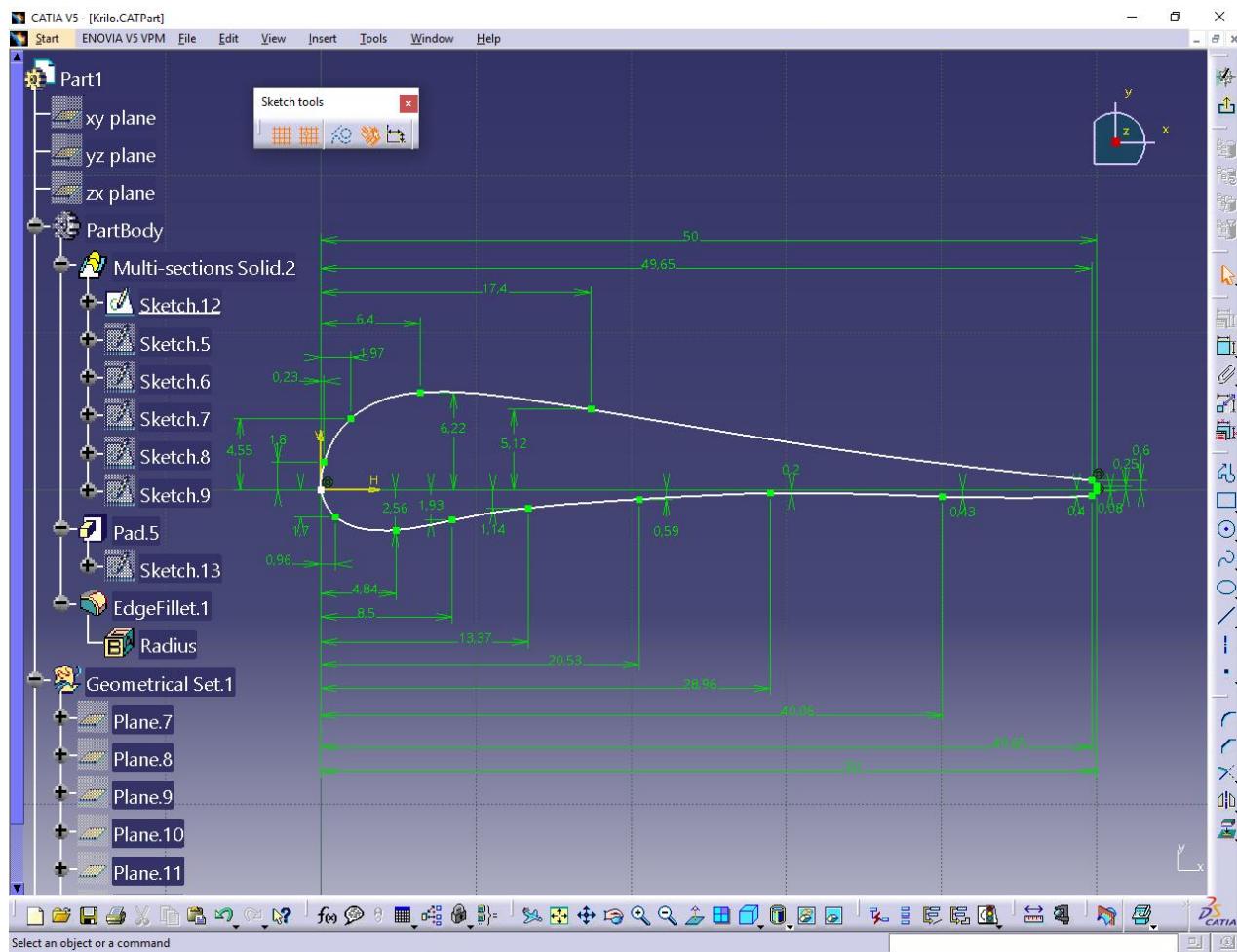
5.2. Postopek reševanja naloge

5.2.1. Analiza risbe

V tej fazi izdelave je potrebno podrobno proučiti geometrijo risbe, vsa besedilna navodila na risbi in v glavi risbe. Posebno pozornost je potrebno nameniti hrapavosti površin in tolerancam.

5.2.2. Izdelava 3D modela

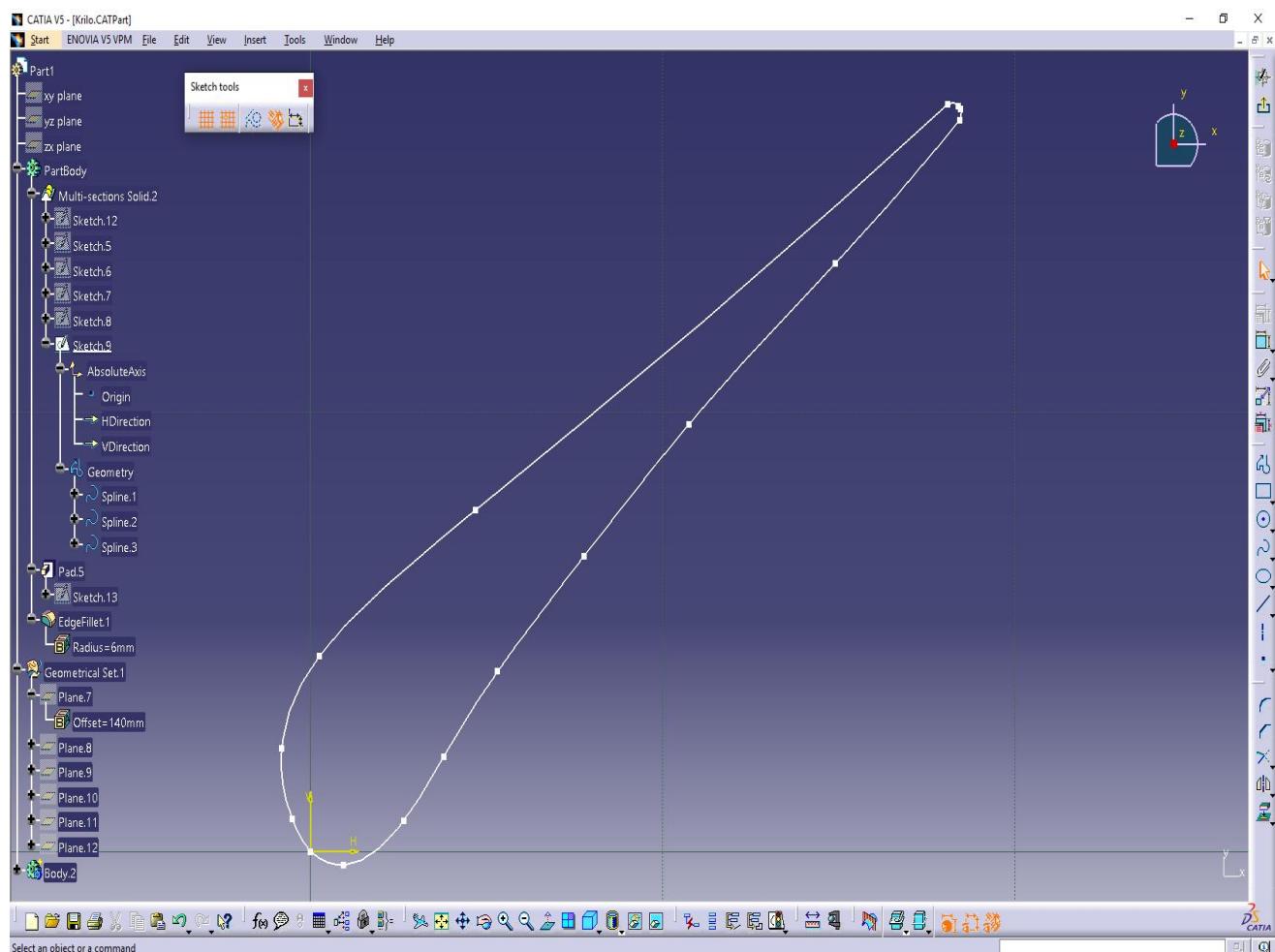
V modulu “Part” programa CATIA V5 v “Sketchu” narišite referenčni prečni presek lopatice, kot je prikazano na sliki 15.



Slika 15: Koordinate profila lopatice

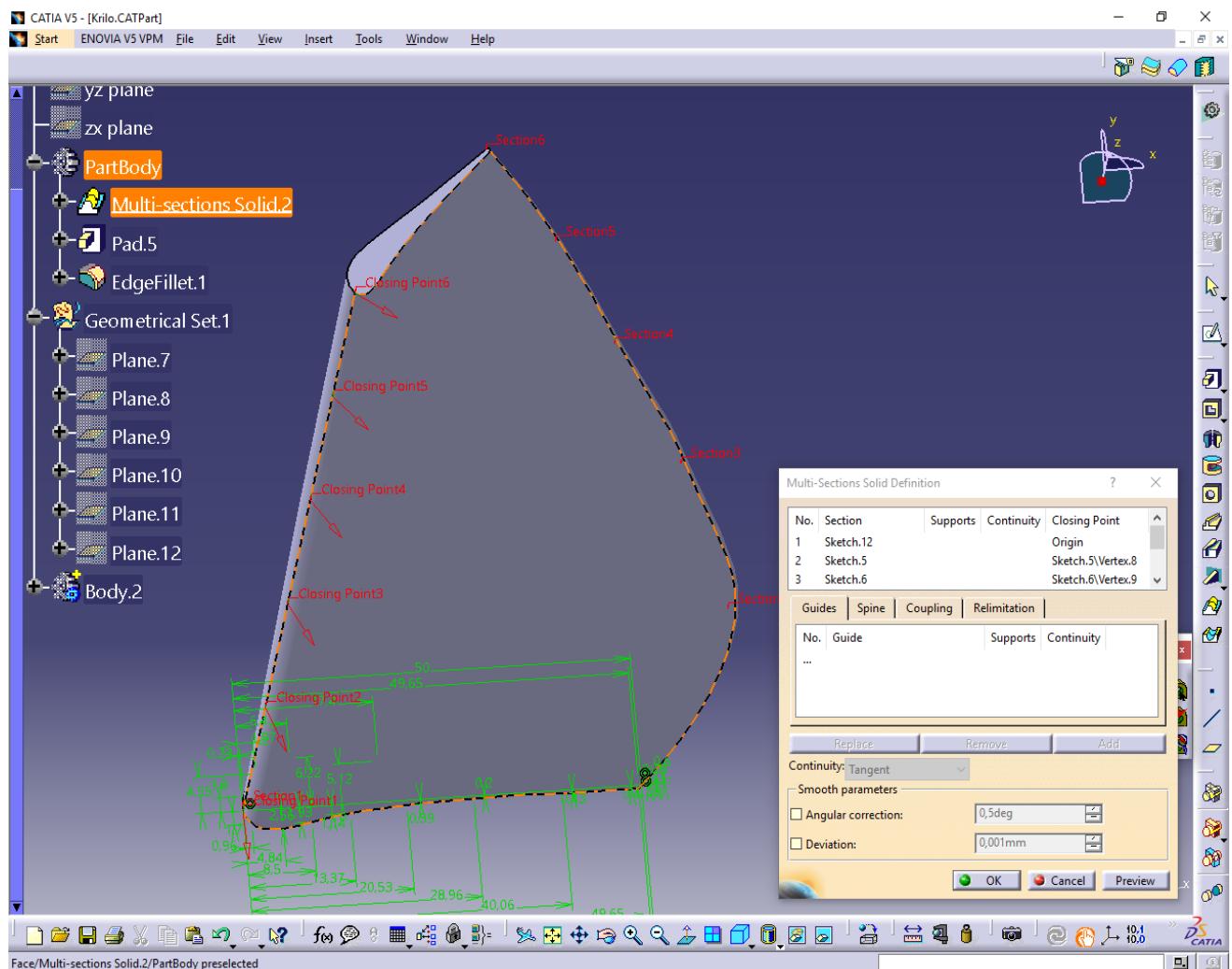
Učno gradivo je nastalo v okviru projekta skillME, ki ga sofinancira Evropska unija – program Erasmus+.

Lopatico oz. njeno 3D obliko dobimo tako, da merilo prilagodimo referenčnemu prečnemu prerezu lopatice, ki smo ga dobili prej.



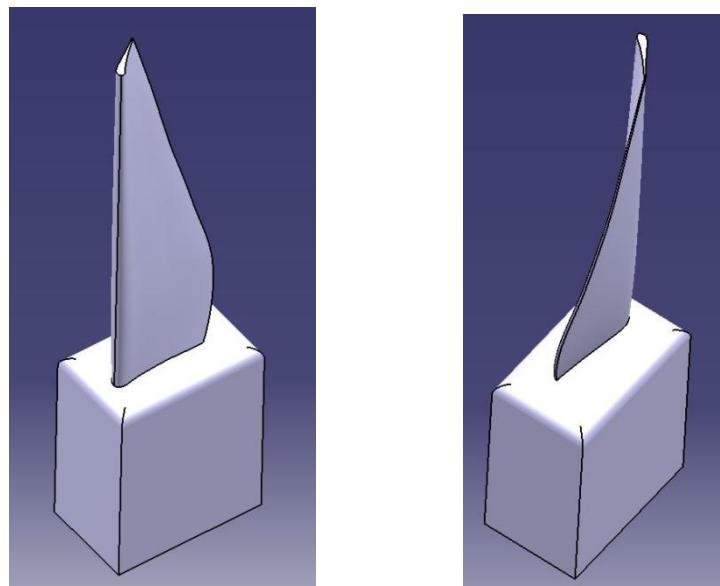
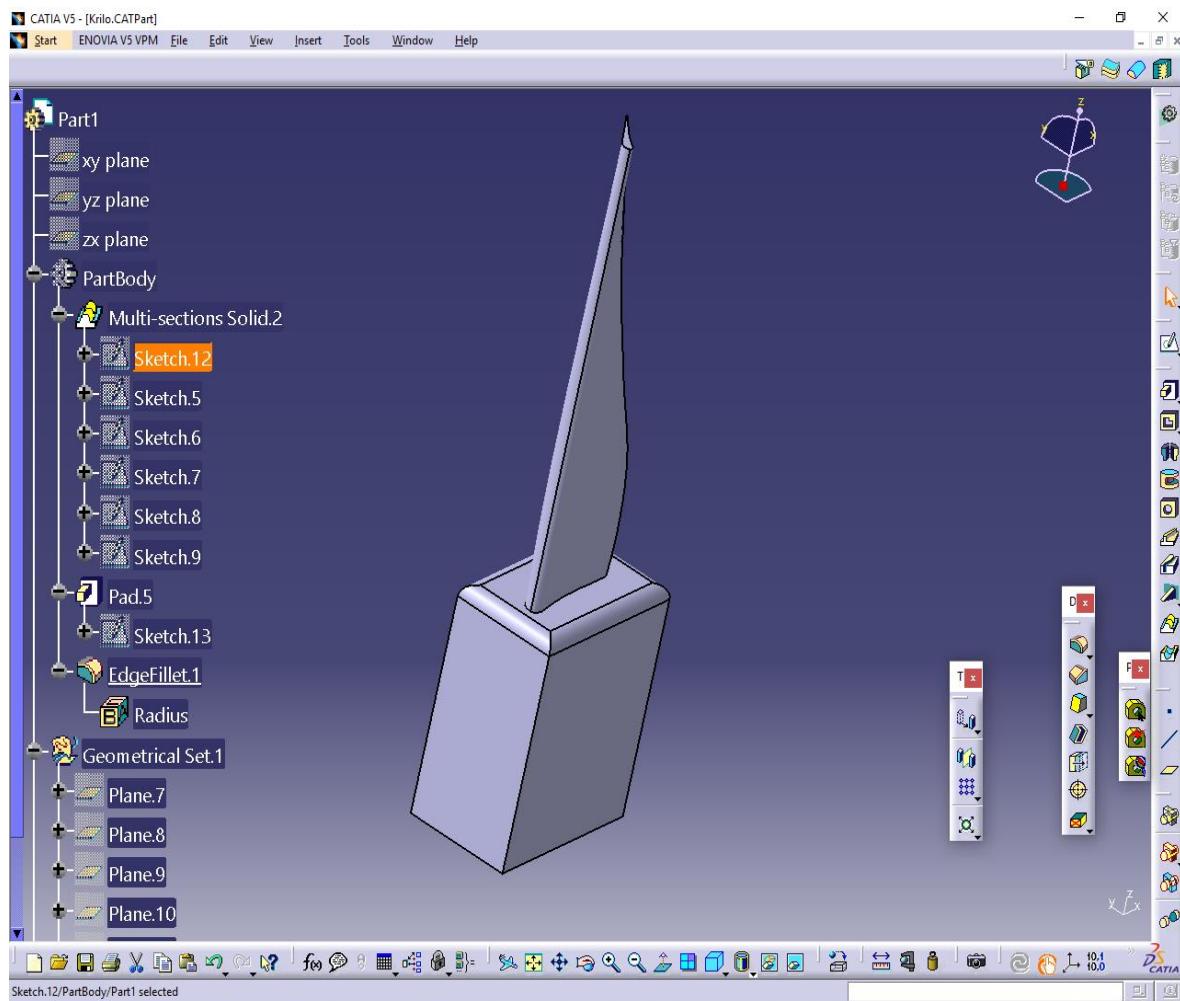
Slika 16: Prilagoditev referenčnemu prečnemu prerezu lopatice

Prostorsko spiralno telo lopatice ustvarimo z vlečenjem serije profilov lopatice, kot so določeni v delavnški risbi.



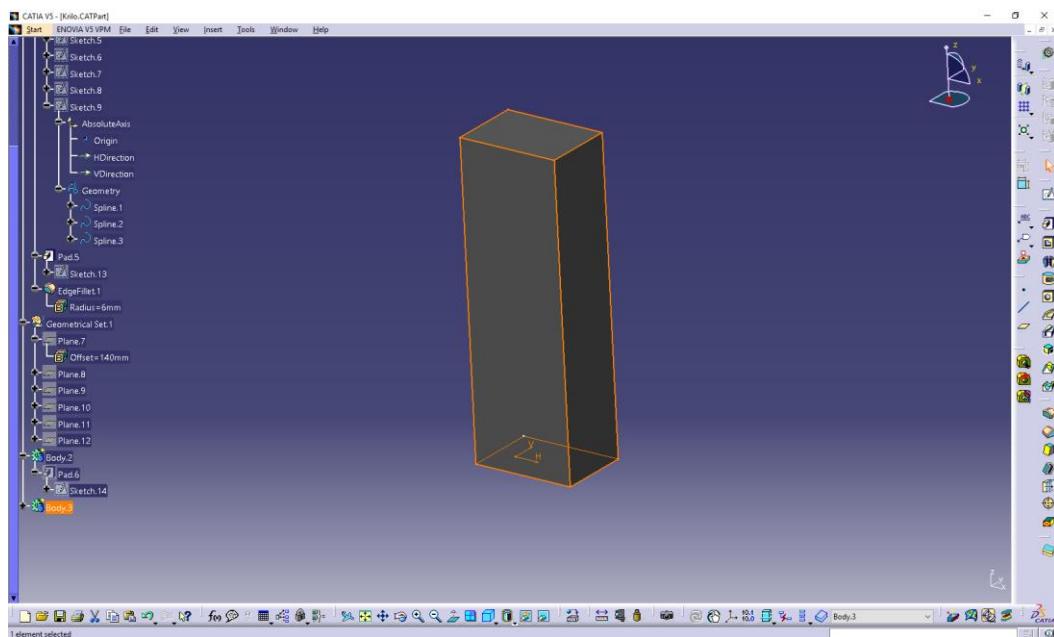
Slika 17: Izvlek telesa lopatice

Da bi dobili končni 3D model, je potrebno lopatici dodati še nosilec. Končna podoba 3D lopatice je prikazana na sliki 18.

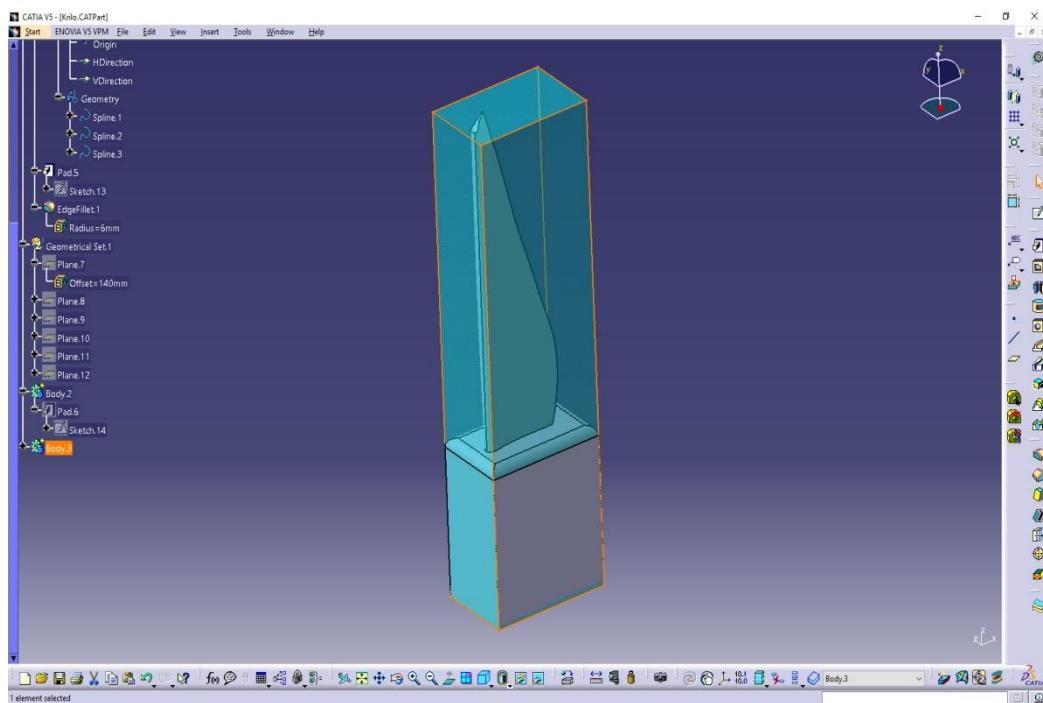


Slika 18: Končni 3D model lopatice

Potem ko smo definirali končno obliko lopatice, v "Partu" dodamo še 3D model surovca, iz katerega bomo izdelali lopatico.



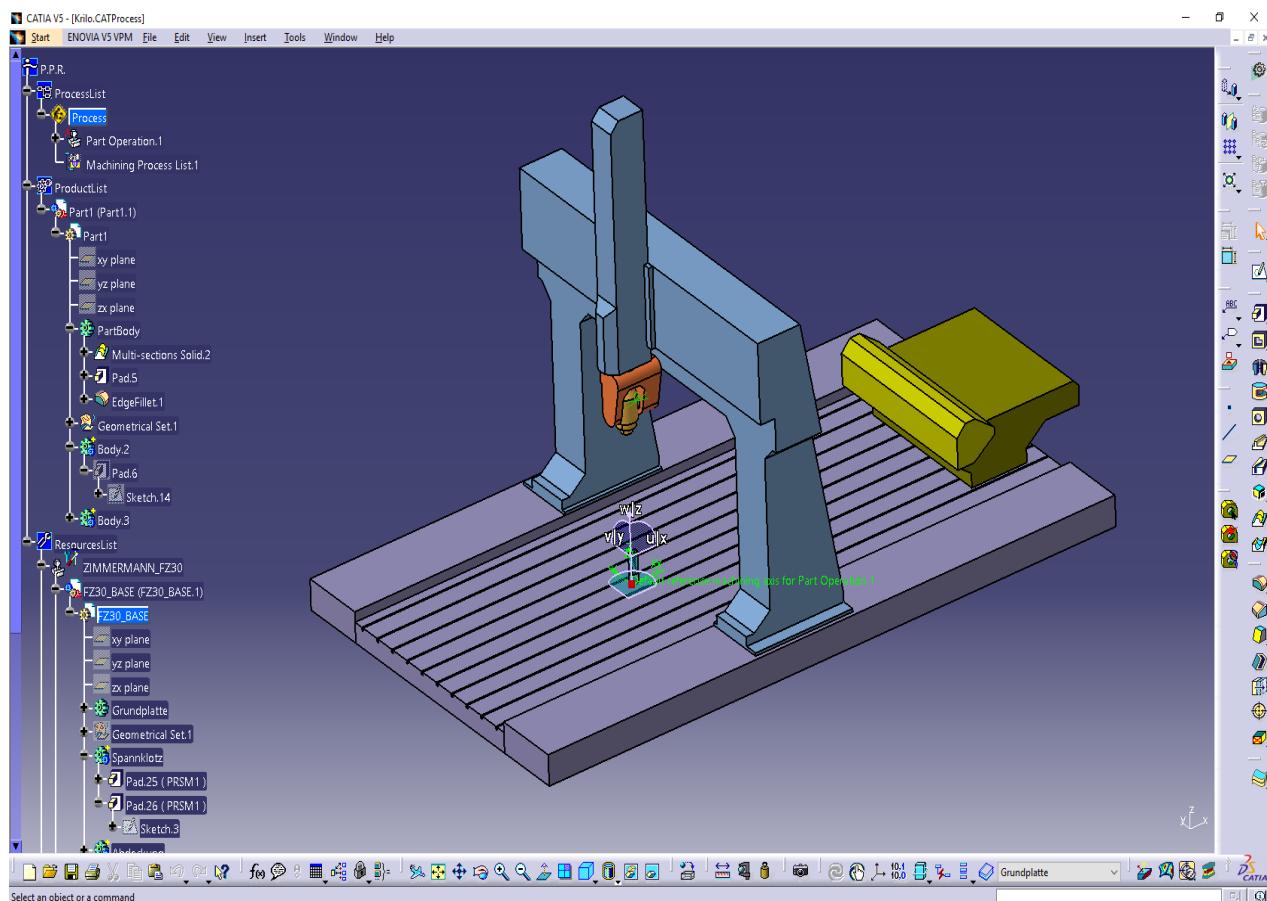
Slika 19: Model obdelovanca



Slika 20: Model lopatice in obdelovanca

5.2.3. Izdelava tehnologije obdelave lopatice

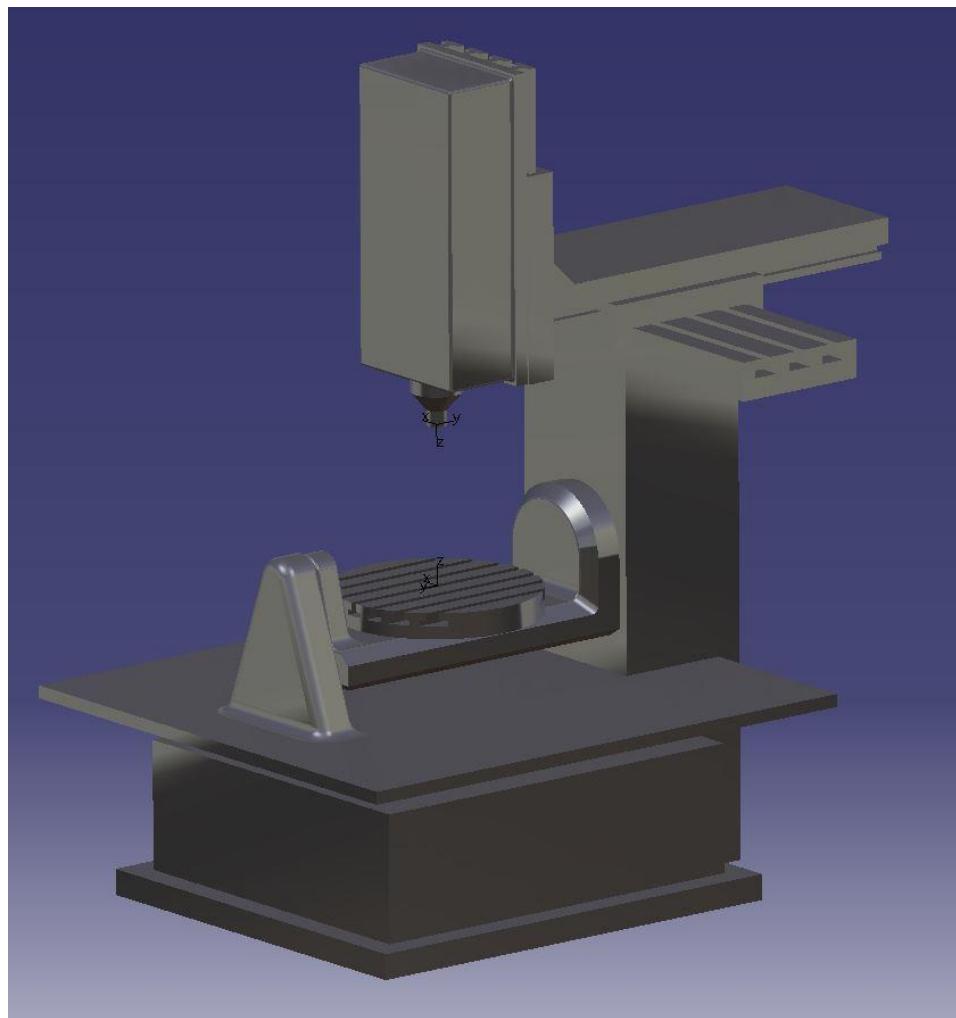
Ko smo surovec dodali v modul “Part”, smo že začeli z izdelavo tehnologije obdelave lopatice. Nadaljnje določanje tehnologije se izvaja v CAM modulu “Machining_Prismatic Machining” programa Catia V5.



Slika 21: Okolje CAM modula “Machining_Prismatic Machining”

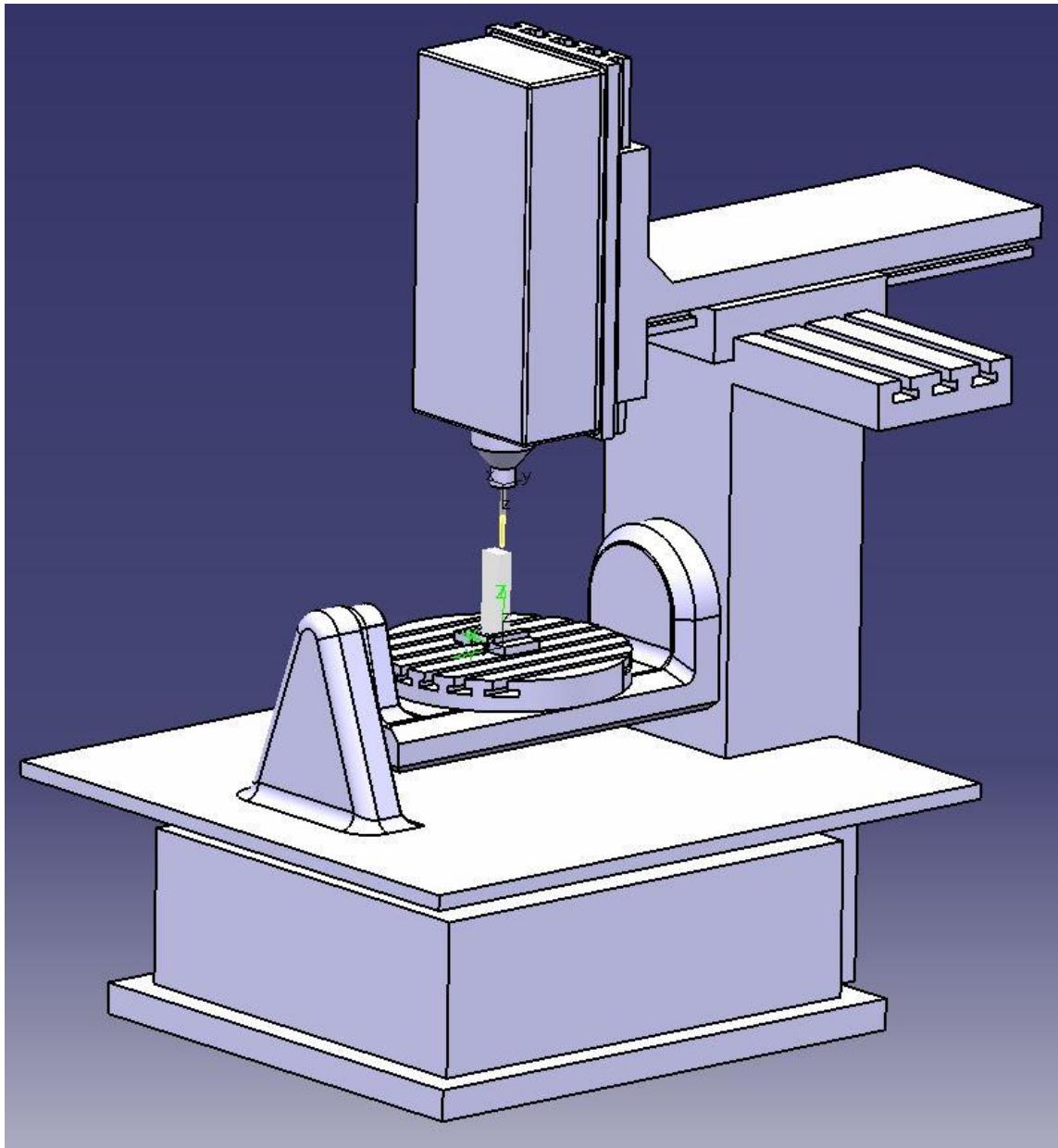
5.2.3.1. Definiranje petosnega CNC stroja za izdelavo lopatice

Da bi izdelali takšno lopatico, je potrebno imeti v strojnem obratu 5-osni CNC stroj, ki omogoča krmiljenje in gibanje orodja simultano v vseh 5 oseh. Primer takšnega stroja, kjer delovna miza omogoča gibanje po oseh X, Y in Z, nagibna zibelka nihajno gibanje po osi A in vrtljiva miza z utori krožno gibanje po osi C, imamo na sliki 22.



Slika 22: Petosni CNC stroj

Surovec je potrebno pričvrstiti na mizo petosnega CNC stroja, kot prikazuje slika 23. Celotna obdelava lopatice bo izvedena v enem vpenjanju.

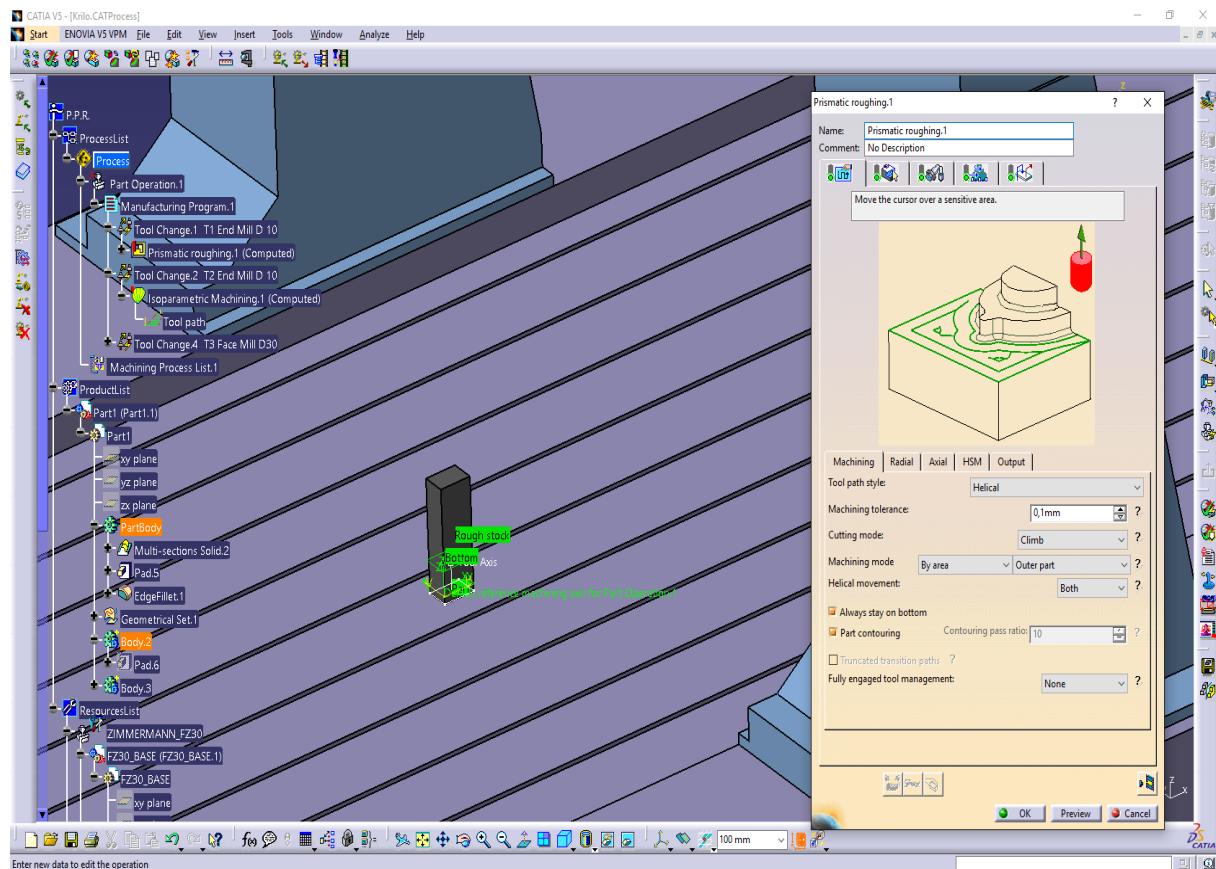


Slika 23: Vpenjanje obdelovanca v stroj

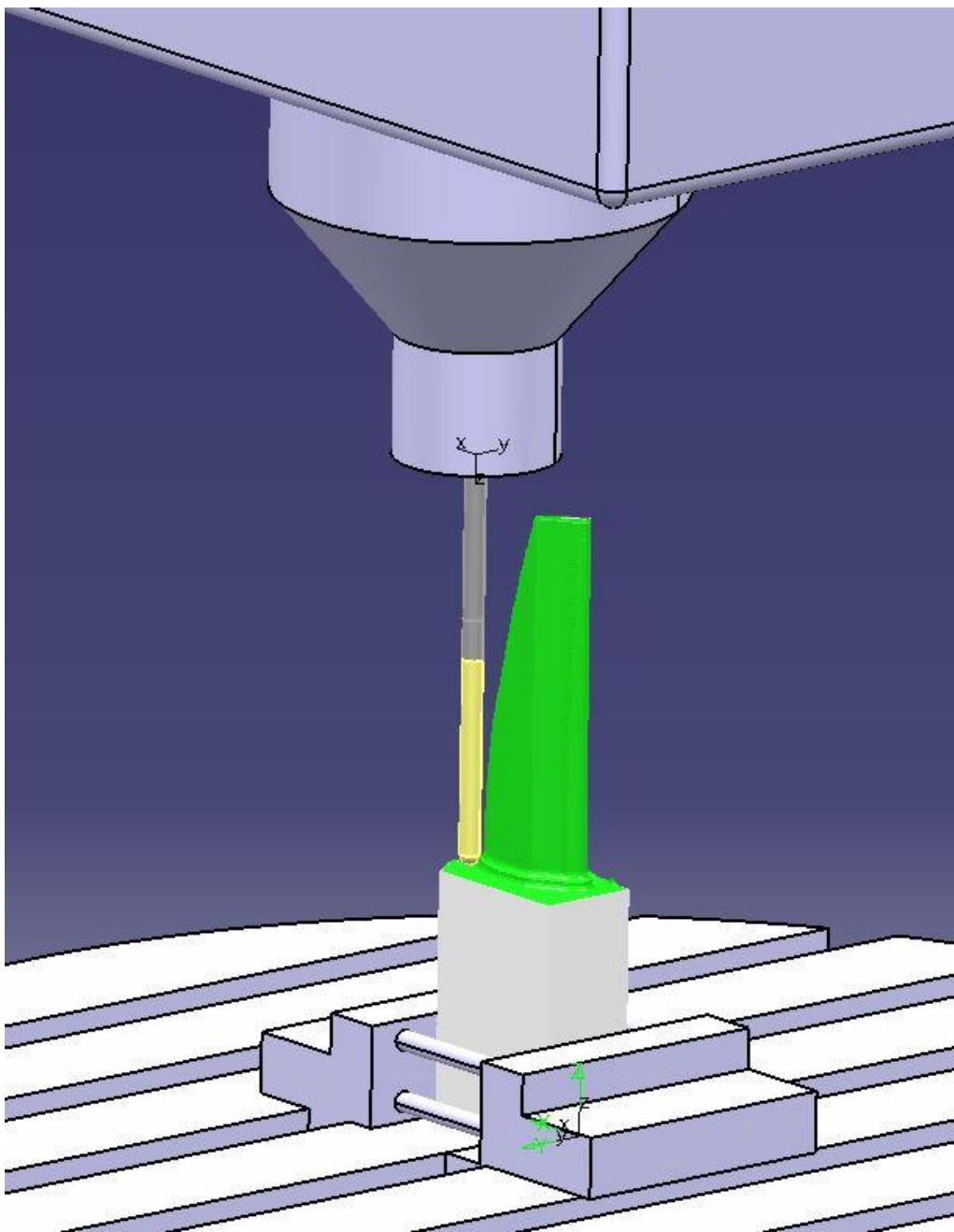
5.2.3.2. Definiranje postopka frezanja

Prvi postopek CNC frezanja lopatice je groba obdelava. Pri tej obdelavi se odstrani velika količina materiala, cilj obdelave pa je približati se končni obliki lopatice, čemur sledi dodatna fina obdelava, ki se redno izvaja s 3-osnim gibanjem pri večji hitrosti.

Pri definiranju obdelave konture se določijo mere obdelovanca, na katerem se bo obdelovanje izvajalo, izbor orodij, stopnja načina obdelave ter vrsta vhoda orodja in izhoda orodja pri postopku obdelave. Pri tem postopku dodatni element ostane na konturi za končno obdelavo.

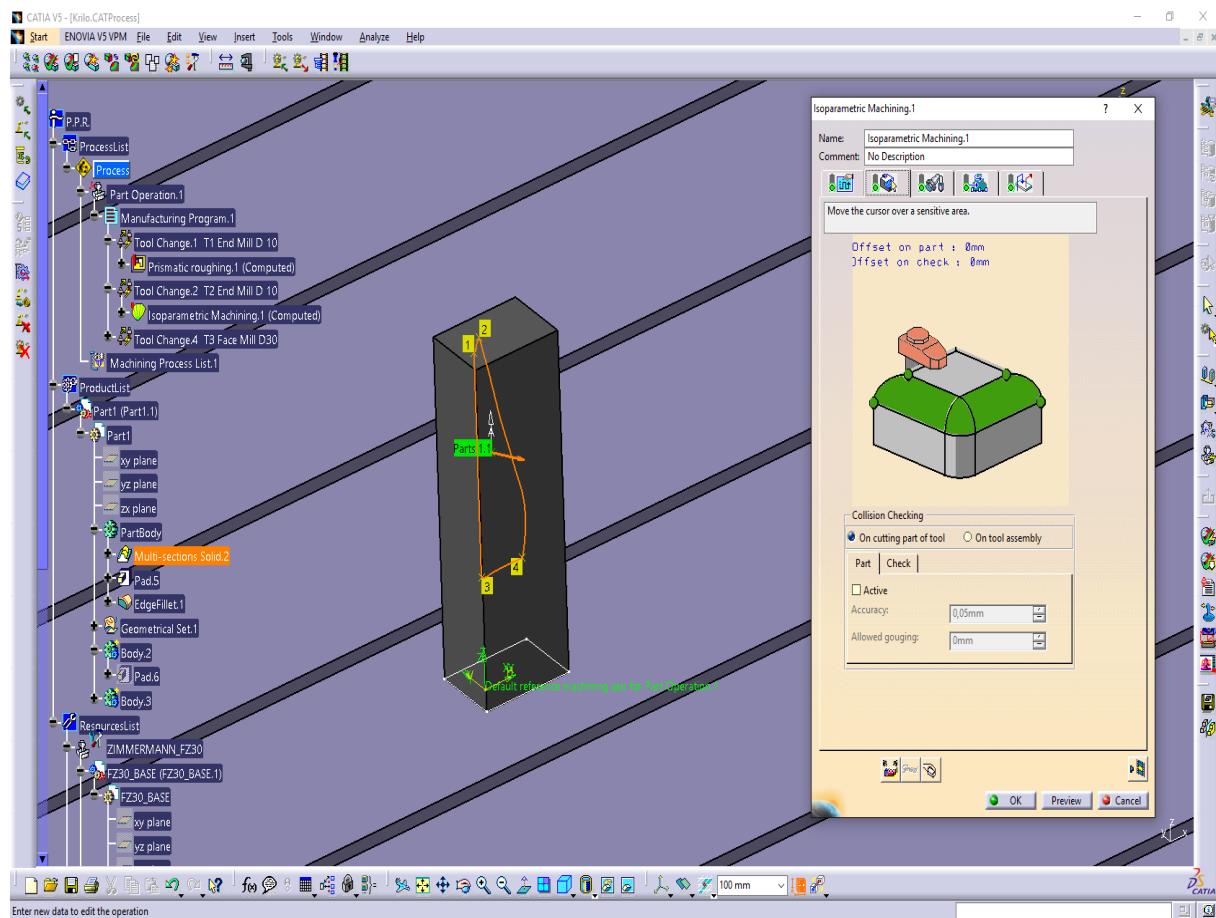


Slika 24: Definiranje obdelavalnih parametrov pri grobem frezanju lopatice

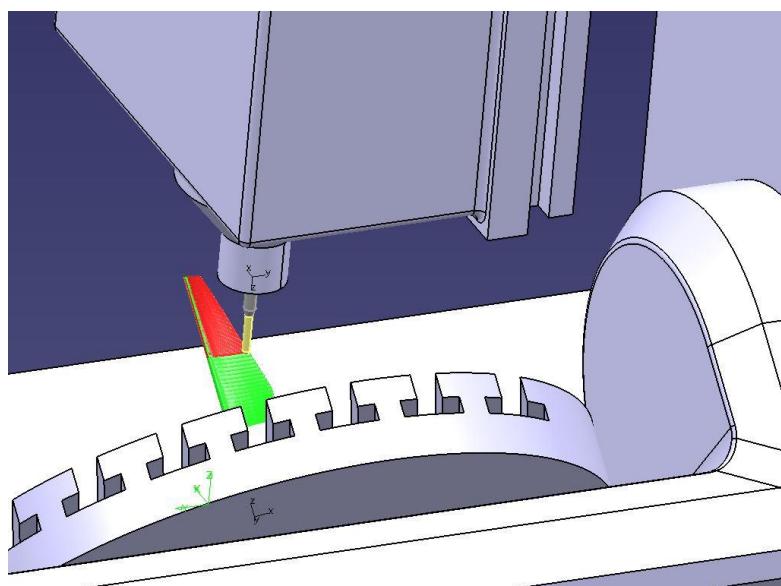
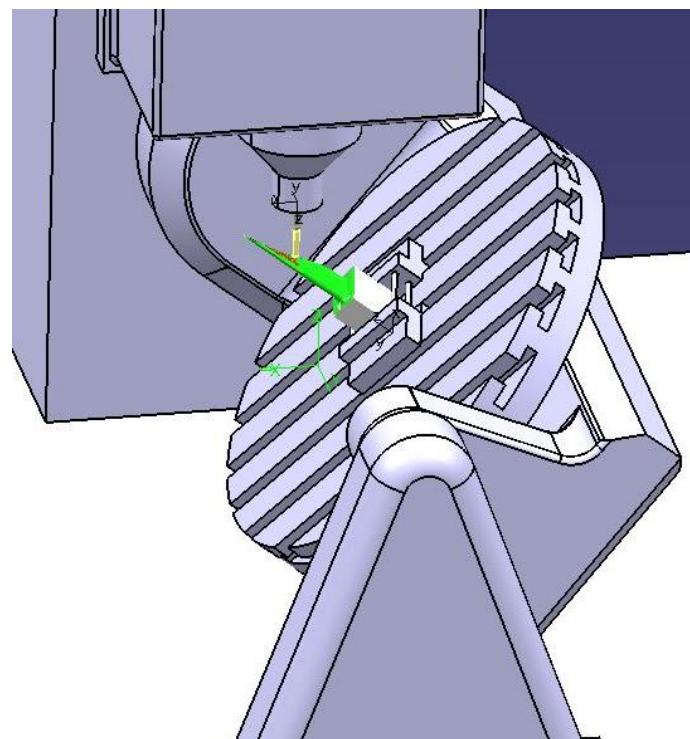


Slika 25: Simulacija grobega frezanja profila lopatice

Naslednji postopek je 5-osno frezanje zunanjih površin lopatice. Ta obdelava je zahtevna in pomeni glavno obdelavo pri izdelavi lopatice. Orodje je prilagodljivo in računalniško vodeno simultano v 5 oseh s ciljem, da se površina lopatice izdela do končne faze. Obdelava sama se izvaja z izoparametričnim frezanjem - Multi Axis Isoparametric Sweeping Machining.



Slika 26: Definiranje parametrov obdelave pri frezanju zunanjih površin lopatice

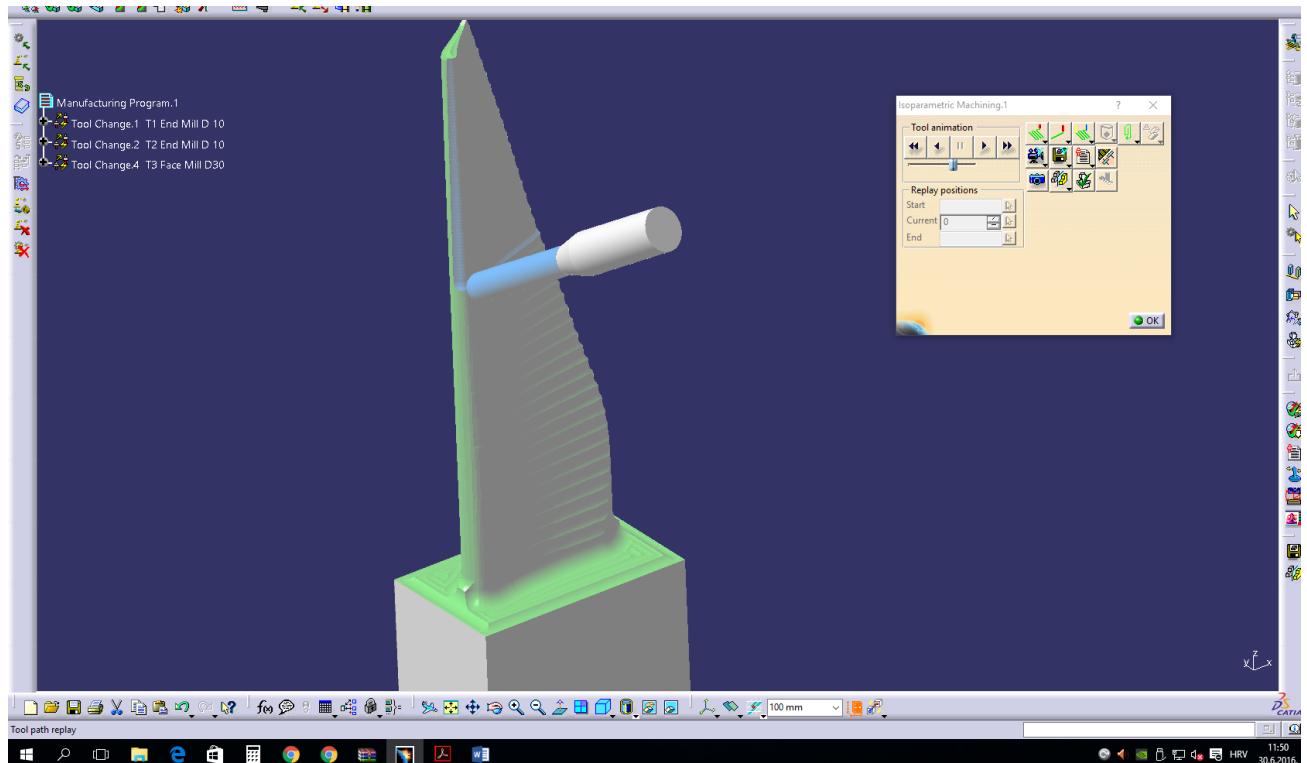


Slika 27: Simulacija frezanja zunanjih površin lopatice na stroju

Tretji postopek v tehnologiji je zaključno 5-osno frezanje površine lopatice. Ta proces je končni korak pri izdelavi lopatice. To je ponovljeni postopek predhodne obdelave, vendar so

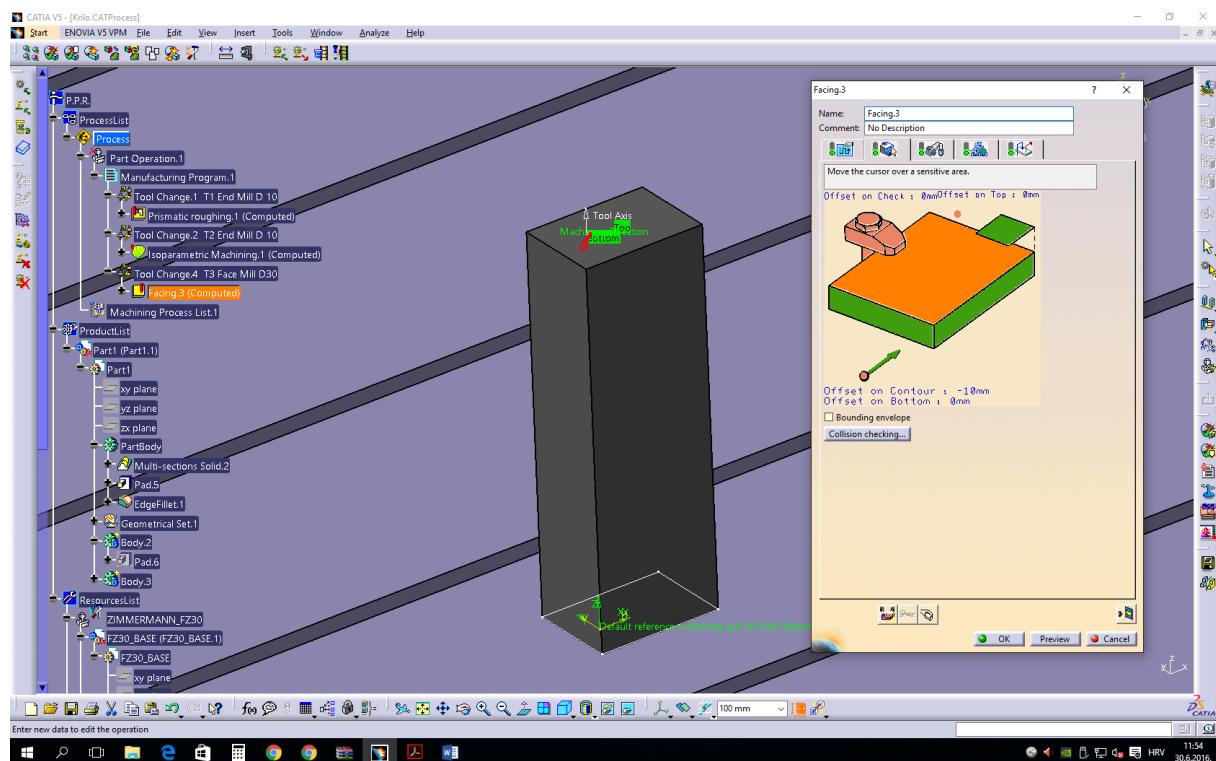
Učno gradivo je nastalo v okviru projekta skillME, ki ga sofinancira Evropska unija – program Erasmus+.

tokrat delovni postopki drugačni in počasnejši, orodja so manjšega premera, gibanje je hitrejše, da se dokončajo in zgladijo neravni deli, ki so na površini lopatice ostali pri predhodni obdelavi.

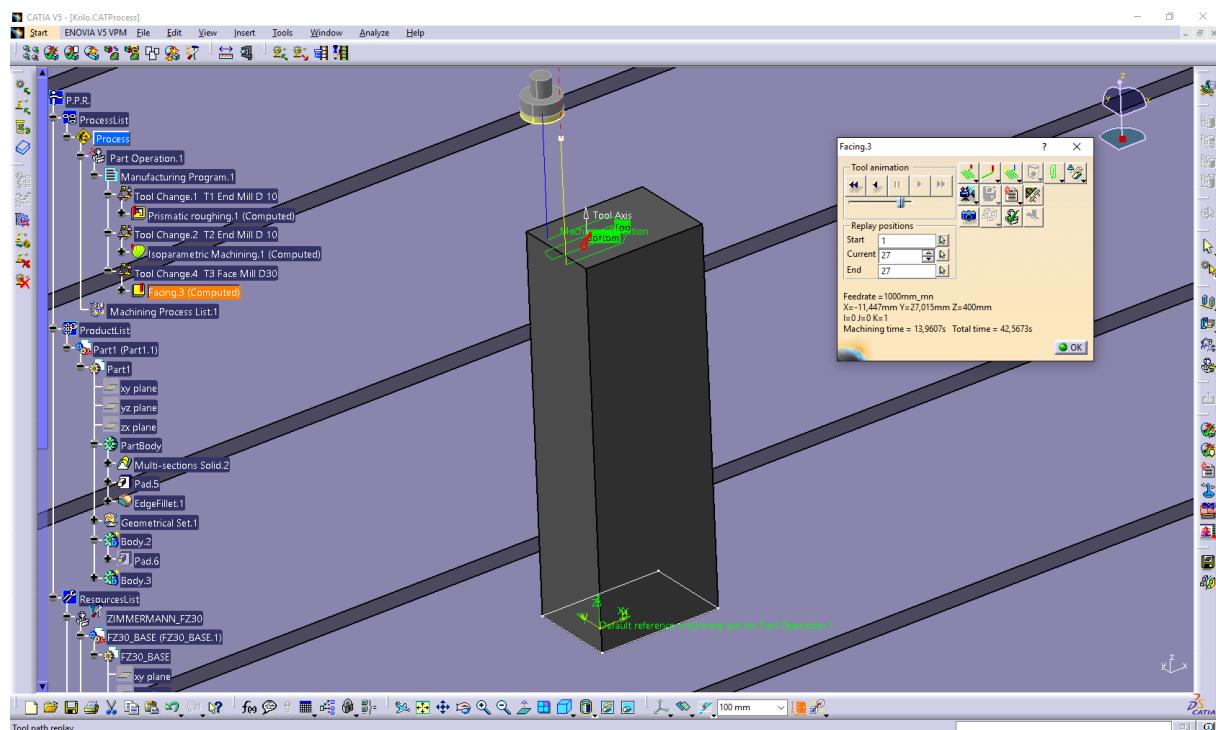


Slika 28: Simulacija finega frezanja zunanjih površin lopatice v programu CATIA

Vse, kar še moramo narediti, je poravnava vrha lopatice s čelnim frezanjem.



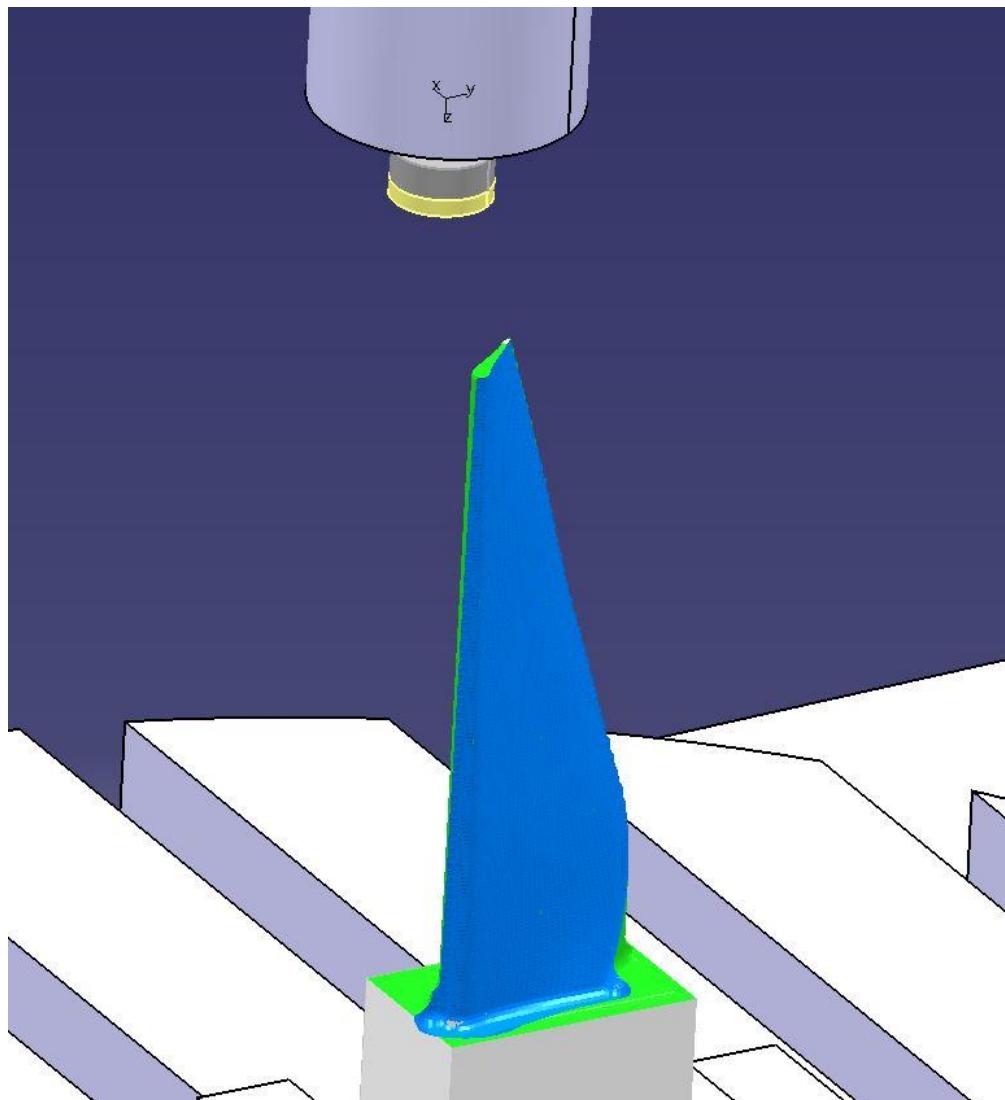
Slika 29: Definiranje parametrov obdelave pri čelnem frezanju vrha lopatice



Slika 30: Simulacija čelnega frezanja vrha lopatice v programu CATIA

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta skillME, ki ga sofinancira Evropska unija – program Erasmus+.

S čelnim frezanjem je obdelava lopatice zaključena, rezultat je obdelana lopatica na nosilcu, kot kaže slika 31.



Slika 31: Lopatica propelerja turbine

Po opredelitvi tehnologije ter zaključeni simulaciji in korekciji se generira G koda (priloga 1) skupaj s tehnoško dokumentacijo (priloga 2).

6. VIRI IN LITERATURA

[1] Bošnjaković, Mladen; Stojić, Antun: Programiranje CNC strojeva. Slavonski Brod; Veleučilište u Slavonskom Brodu, 2011., 386 str.

[2] Bozdoc, Marian: Marian Bozdoc's history of CAD. Auckland, Novi Zeland URL :
<http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm> (22.06.2016)

[3] The best CAD software history on the web, 2004, CAD software – history of CAD CAM,
URL: <http://www.cadazz.com/cad-software-history.htm> (22.06.2016)

[4] Novak-Marcincin, Jozef; Petik, Anton : Computer Aided Manufacturing-Inesparable part
of CAD/CAM/CAE systems. Košice, Technical University of Košice, 2002

[5] PTC Creo Parametric, PTC Creo Parametric Datasheet, 2016, The Essential 3D Parametric
CAD Solution,
URL:http://www.ptc.com/~/media/Files/PDFs/CAD/PTC_Creo_Parametric_Data_Sheet.ashx?la=en (22.06.2016)

[6] PTC, The Industry's Leading 3D CAD Software, 2016, Creo Parametric
URL:<http://www.ptc.com/cad/creo> (22.06.2016)

[7] Dassault Systemes, Company History, 2016, URL:
http://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm (23.06.2016)

[8] Haas Automation, Inc – CNC Machine Tools, About Haas Automation, 2016, HAAS
HISTORY URL:http://int.haascnc.com/about_history.asp?intLanguageCode=1033
(23.06.2016)

[9] Haas Automation ®, Inc, Haas VM Series, Prosinac 2015, The Vertical Mold Making
Machine
URL:http://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=VM&webID=MOLD_MACHINE_VMC#gsc.tab=0 (23.06.2016)

[10] Haas Automation ®, Inc, CNC Rotaries & Indexers: Rotary Tables, 2016.

URL:http://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=HRT210&webID=ROTARY_TABLE_ROTARY#gsc.tab=0 (21.06.2016)

[11] Haas Automation Inc.: Korisnički priručnik za okomitu glodalicu, 2014

URL:http://diy.haascnc.com/sites/default/files/Locked/Manuals/Operator/2014/Mill/Translated/Mill_Operators_Manual_96-HR8200_Rev_A_Croatian_January_2014.pdf (21.06.2016)

PRILOGA 1: DEL G KODE ZA PETOSNO FREZANJE TURBINSKE LOPATICE

N10 ;=====

N11 ;== Copyright Cenit AG Systemhaus (mr) 2004 ==

N12 ;== ==

N13 ;== For demonstration use only: ==

N14 ;== cPost-Postprocessor for Zimmermann FZ30 ==

N15 ;== with controller SINUMERIK 840 D ==

N16 ;=====

N17 ; PRGNR : Manufacturing Program.1

N18 G0 G90 G40

N19 TRAORI

N20 ;===== TOOL CHANGE =====

N21 T1 M06 ; T1 End Mill D 10

N22 ;MACHINE OPERATION = Prismatic roughing

N23 ;OPERATION NAME = Prismatic roughing.1

N24 ;TOOL ASSEMBLY = T1 End Mill D 10

N25 ;(-----)

N26 MSG(" MO : Prismatic roughing.1 ")

N27 ;(-----)

N28 TRAORI(1)

N29 D1

N30 G00 X43.411 Y-28.1 Z307.073 A0 C0 S70 M3

N31 G01 Z297.073 F300

N32 Y-20

N33 X-10 F1000

N34 Y30

N35 X-1.461

N36 X-1.458 Y27.625

N37 X-1.455 Y25.25

N38 X11.416

N39 X1.202 Y18.19

N40 X-4.315 Y14.476

N41 X-4.435 Y14.39

N42 X-4.669 Y14.212

N43 X-4.783 Y14.119

N44 X-5.25 Y13.718

N45 Y25.179

N46 X-5.732 Y25.732

N47 X-5.179 Y25.25

N48 X-1.455

N49 X-1.453 Y23.35

PRILOGA 2: TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA

Machine : ZIMMERMANN_FZ30

Type : MfgGenericMillMachine

Numerical control attributes

Axial/Radial movement	false
MFG_SPLIT_CIRCLE_STRAT	No split
Helical Interpolation	false
Rapid feedrate	60000mm_mn
Post Processor words table	CPOST_MILL.pptable
Home point strategy	FROM
NC data format	Axis (X,Y,Z,I,J,K)
NC data type	ISO
Max machining feedrate	100000mm_mn
Min interpol. radius	0,01mm
Min discretization step	1e-004mm
Min discretization angle	0,1deg
2D circular interpol.	true
3D circular interpol.	true
3D Nurbs interpolation	false
3D linear interpol.	true
Max interpol. radius	5000mm
Controller Emulator	ZIMMERMANN_FZ30_S840D.ce

Spindle attributes

Tool change attributes

Home point X 0mm
Home point Y 0mm
Home point Z 1469mm
Orientation K 1
Orientation J 0
Orientation I 0

Tool change point X 0mm
Tool change point Y 0mm
Tool change point Z 100mm
Radius compensation false

SHOP FLOOR DOCUMENTATION Krilo.CATProcess

Part operation : Part
Operation.1

Manufacturing Program.1

Tool Change.1

Type : Tool Change



Tool : [T1 End Mill D 10](#)
type : End Mill

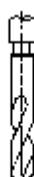
Prismatic roughing.1

Type : Prismatic roughing

Tool : [T1 End Mill D 10](#)
type : End Mill

Tool Change.2

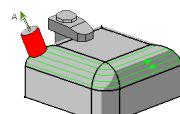
Type : Tool Change



Tool : [T2 End Mill D 10](#)
type : End Mill

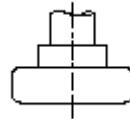
Isoparametric Machining.1

Type : Isoparametric Machining



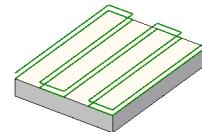
Tool : [T2 End Mill D 10](#)
type : End Mill

Tool Change.4
Type : Tool Change



Tool : [T3 Face Mill D30](#)
type : Face Mill

Facing.3
Type : Facing



Tool : [T3 Face Mill D30](#)
type : Face Mill

Program cutting time : 1h 4' 1"
Program total time : 1h 10' 49"

**SHOP FLOOR
DOCUMENTATION
Krilo.CATProcess**

Part operation : **Part Operation.1**
Program : **Manufacturing Program.1**

Prismatic roughing.1

Prismatic roughing

Strategy

IPMGenMode	None
Machining quality	Rough
Nurbs Output	false
Unused	1mm
Part contouring	true
Drilling tool length	100mm
Unused	false
Unused	10deg
Unused	M3xTrochoidParamModeDist
Direction of cut	Climb
Machining mode	Outer part
Offset on bottom plane	0mm
Unused	100
Semi finishing thickness on bottom	0mm
Unused	false
Unused	1mm
Unused	10deg
Unused	true
Engagement mode	From outside
Bottom thickness	1mm
Unused	0mm
Unused	false

Machining tolerance	0,1mm
Drilling tool angle	30deg
High speed machining	false
Tool path style	Helical
Unused	45deg
Ramping angle	15deg
Fully engaged tool management	None
Rework threshold	0,3mm
Helix diameter (% O)	70
Maximum full material cut depth	2,5mm
Machine only ordered areas	false
Approach distance	10mm
Maximum depth of cut	5mm
Drilling tool diameter	25mm
M3xIgnoreHoleInt	2
M3xIgnoreHoleLength	10mm
Pass overlap (diameter ratio)	50
Unused	120deg
Drilling safety distance	0mm
Pass overlap (length)	5mm
Unused	75
Overshoot	true
Unused	true
Unused	-1mm
Radial safety distance	3mm
M3xIgnoreHole	false
Minimum trochoid radius	1mm
Unused	true
Unused	true
Engagement mode	Ramping
Part contouring ratio	10
Unused	true
Unused	75
Unused	30mm
Offset on top plane	0mm

Horizontal areas detection	true
Unused	false
Truncated transition paths	false
Unused	1mm
Corner radius	1mm
Tolerance	0,3mm
Offset	0mm
Unused	0,5deg
Pass overlap mode	Overlap ratio
Unused	0mm
Unused	0mm
Helical movement	Both
Unused	25
Axial safety distance	10mm
Stay on bottom	true
Unused	45deg
M3xEngageFromExternalZone	false
M3xCircularApproach	false
M3xRadiusCircularApproach	2mm
M3xAngleCircularApproach	180mm
M3xHardRampOffset	0mm
Cutting mode	Climb
M3xTrochoidSurface	70
M3xTrochoidNonMachiningRadius	100
M3xTrochoidStep	0,5mm
M3xTrochoidMode	M3xTrochoidAuto
M3xRadialFirst	false
MfgWorkType	MfgCartesian
M3xFMTrochoidMaxEngagement	0,5mm
Circular Interpo.	false

Feedrate

Machining Time

Feedrate unit

Linear

Cutting time 42' 20"

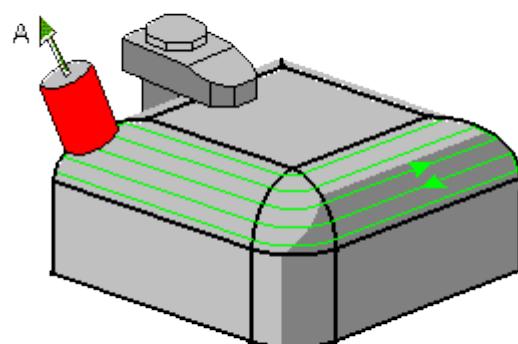
Spindle output	true	Total time	47' 59'
Automatic compute from tooling Feeds and Speeds	true		
Spindle unit	Angular		
Automatic compute from tooling Feeds and Speeds	true		
MFG_FEED_SELECT_TRANSITION	false		
MFG_FEED_TYPE_TRANSITION	Machining		
Maximum radius	1mm		
Distance after corner	1mm		
Minimum angle	45deg		
Reduction rate	80		
Feedrate reduction in corners	false		
SlowdownRate	100		
Distance before corner	1mm		
Machining feedrate	1000mm_mn		
Machining spindle	70turn_mn		
MFG_LOCAL_FEED_TRANSITION_VALUE	5000mm_mn		
Approach feedrate	300mm_mn		
Retract feedrate	1000mm_mn		

SHOP FLOOR DOCUMENTATION Krilo.CATProcess

Part operation : Part Operation.1
Program : Manufacturing Program.1

Isoparametric Machining.1

Isoparametric Machining



Strategy

IPMGenMode	None
Machining quality	Rough
Nurbs Output	false
Skip path	None

Compensation output	3D Contact (G29/CAT3Dxx)
Offset on tilting guide	0mm
Thru a guide mode	Normal to the path
Check allowed gouging	0mm
Part accuracy	0,05mm
End extension	0mm
Machining tolerance	0,05mm
Radial strategy	Scallop height
Number of paths	1
Extend tilting guide	true
Side of tilting guide offset	Left
Covering mode	false
Check accuracy	0,1mm
Unused	true
Unused	true
Collision on part	false
Max discretization step	10000mm
To / From	To
Tool axis guidance	Fixed lead and tilt
Tilt angle	25deg
Lead angle	0deg
Mfg5AxisShortMacroFlag	false
Unused	0mm
Unused	0mm
Max distance between paths	5mm
Tool path style	Zig zag
Max discretization angle	63deg
Allowed lead	30deg
Guidance	Lead angle
Min lead angle	-30deg
Allowed tilt	30deg
Scallop height	0,05mm
Collision checking mode	Active Part
Max lead angle	30deg
Start extension	0mm

Part allowed gouging	0mm
Minimum heel distance	1mm
Lead angle	0deg

Feedrate

Machining Time

Feedrate unit	Linear
Spindle output	true
Automatic compute from tooling Feeds and Speeds	true
Spindle unit	Angular
Automatic compute from tooling Feeds and Speeds	true
MFG_FEED_SELECT_TRANSITION	false
MFG_FEED_TYPE_TRANSITION	Machining
Machining feedrate	1000mm_mn
Machining spindle	70turn_mn
MFG_LOCAL_FEED_TRANSITION_VALUE	5000mm_mn
Approach feedrate	300mm_mn
Retract feedrate	1000mm_mn

Cutting time 21' 28"
Total time 22' 8"