

# Prikaz i analiza tehnološkog procesa izrade aluminijskih kalupa

---

**Dijanušić, Paula**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:235:721688>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Paula Dijanušić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Tihomir Opetuk, mag. ing. mech.

Student:

Paula Dijanušić

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se mentoru izv.prof.dr.sc. Tihomiru Opetuku na savjetima i vremenu, bratu na stručnoj pomoći te ostaloj obitelji i prijateljima na podršci.

Paula Dijanušić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Paula Dijanušić**

JMBAG: 0035224112

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Prikaz i analiza tehnološkog procesa izrade aluminijskih kalupa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Review and analysis of the technological process of the aluminum molds production**

Opis zadatka:

Projektiranje tehnoloških procesa predstavlja dio proizvodnoga sustava, odnosno određuje redoslijed tehnoloških operacija za izradu proizvoda. Pomoću njega određuju se normativi i komadno vrijeme izrade proizvoda. Kao takvo, ono predstavlja dio ukupnog vremena izrade koje uzima u obzir još i vremena potrebna za transport, kontrolu, zastoje i međusklađištenje. S gledišta proizvodnog procesa, tehnološki proces, odnosno tehnološko vrijeme obrade predstavlja aktivnost koja dodaje vrijednost proizvodu. Iako ono dodaje vrijednost proizvodu tendencija je da ono bude što kraće, odnosno da ima što veći udio u ukupnom vremenu izrade.

U radu je potrebno:

- Opisati odabrano poduzeće (djelatnost, lokacija, organizacijska i kadrovska struktura i proizvodni program).
- Za odabrani proizvod definirati tehnološki proces izrade (redoslijed operacija, vremena izrade i rokove izrade).
- Prikazati proces izrade tehnološkog procesa uz pomoć računala (eng. Computer Aided Manufacturing-CAM).
- Napraviti analizu tehnoloških vremena i ukupnog vremena izrade i na temelju rezultata predložiti i razraditi prijedloge unapređenja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tihomir Opetuk

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PROIZVODNI I TEHNOLOŠKI PROCES .....	3
2.1. Svrha i značaj projektiranja tehnološkog procesa .....	4
2.2. Vrste tehnologija.....	5
2.2.1. Obrada odvajanjem čestica .....	5
2.3. Razina tehnologije i tehnološkog procesa.....	6
2.4. Faze projektiranja tehnološkog procesa .....	7
2.4.1. Analiza konstrukcijske dokumentacije proizvoda .....	7
2.4.2. Analiza količine proizvodnje.....	8
2.4.3. Izbor priprema (polaznog materijala).....	8
2.4.4. Izbor metoda obrade .....	9
2.4.5. Izbor obradnog stroja .....	9
2.4.6. Planiranje procesa obrade .....	9
2.5. Tehnološka dokumentacija.....	10
2.6. Odabir vrste i redoslijeda operacija .....	10
2.7. Izbor alata .....	11
2.8. Određivanje parametara režima obrade .....	12
2.8.1. Dubina rezanja i broj prolaza .....	13
2.8.2. Posmak .....	14
2.8.3. Brzina rezanja.....	14
3. NORMATIVI I VRIJEME IZRADE .....	17
3.1. Tehnološko vrijeme .....	18
3.2. Pomoćno vrijeme .....	20
3.3. Dodatno vrijeme .....	21
4. TEHNOLOŠKI PROCES IZRADE KALUPA .....	22
4.1. O poduzeću.....	22
4.2. Opis kalupa.....	22
4.3. Odabir materijala .....	23
4.4. O stroju.....	24
4.5. SolidCam.....	26
4.6. Faze rada i prikaz vremena.....	28
4.7. Alati i stezne naprave.....	33
4.8. Ukupno vrijeme izrade i rok isporuke .....	37
4.9. Analiza vremena .....	38
5. ZAKLJUČAK.....	39

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Model tehnološkog procesa .....	3
Slika 2.	Podjela strojnih postupaka obrade odvajanjem čestica .....	6
Slika 3.	Koraci u projektiranju tehnološkog procesa .....	16
Slika 4.	Logo poduzeća .....	22
Slika 5.	Uzorak posudice .....	23
Slika 6.	3D model kalupa .....	24
Slika 7.	Haas VF-2SSYT glodalica .....	25
Slika 8.	SolidCam sučelje .....	27
Slika 9.	SolidCam Simulator .....	27
Slika 10.	Glodaća glava .....	33
Slika 11.	Alat za zabušivanje .....	34
Slika 12.	Svrdo 3 mm .....	34
Slika 13.	Svrdo 5 mm .....	34
Slika 14.	Ureznik navoja .....	35
Slika 15.	Glodalo za skošenja .....	35
Slika 16.	Glodalo 6 mm .....	35
Slika 17.	Ball nose glodalo .....	35
Slika 18.	Glodalo 3 mm .....	36
Slika 19.	Svrdo 0,8 mm .....	36
Slika 20.	Stezne naprave .....	36
Slika 21.	Gantogram .....	37

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije stroja .....	25
Tablica 2. Faze rada za prvo stezanje .....	30
Tablica 3. Faze rada za drugo stezanje .....	33
Tablica 4. Prikaz vremena.....	37



## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

230394    Sushi kalup

## POPIS KRATICA

ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) – Akrilonitril butadien stiren

CAD (*Computer Aided Design*) – Konstruiranje pomoću računala

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – Proizvodnja pomoću računala

CAPP (*Computer Aided Process Planning*) – Računalno projektiranje tehnoloških procesa

CNC (*Computer Numerical Control*) – Računalno numeričko upravljanje

PA (*Polyamide*) – Poliamid

PC (*Polycarbonate*) – Polikarbonat

PET (*Polyethylene Terephthalate*) – Polietilentereftalat

PMMA (*Poly(Methyl Methacrylate)*) - Polimetilmetakrilat

POM-C (*Polyoxymethylene-Copolymer*) - Poliacetal

PS (*Polystyrene*) – Polistiren

PVC (*Polyvinyl Chloride*) – Poli(vinil-klorid)

TSC (*Through Spindle Coolant*) – Svrđlo kroz koje ide sredstvo za hlađenje

VAT (*Value Added Time*) – Vrijeme koje dodaje vrijednost proizvodu

## **SAŽETAK**

U ovom radu su opisani osnovni pojmovi vezani uz projektiranje tehnoloških procesa te je prikazan proces izrade aluminijskog kalupa u poduzeću Ambaldi d.o.o. koji se sastoji od konstruiranja kalupa u CAD programu, programiranja procesa izrade u CAM programu s prikazom pojedinih faza obrade i pripadajućih alata te analize vremena izrade.

Ključne riječi: tehnološki procesi, aluminijski kalup, CAM, vrijeme izrade

## **SUMMARY**

In this paper, a description of basic terms regarding technological process planning is given along with a review of the technological process of the aluminum mold production in company Ambaldi d.o.o., which is contained of mold designing in a CAD program, CAM production planning with a graphical representation of different process phases with associated tools and also manufacturing time analysis.

Key words: technological process, aluminum mold, CAM, manufacturing time

## 1. UVOD

Razvojem tehnike na tržištu se svakog dana pojavljuju novi i sve složeniji proizvodi. Razvoj proizvoda je jedno od mjerila razvoja društva. Neki od pokretača razvoja proizvoda su:

- demografska eksplozija
- ekologija – iskorištenje otpada, oporavak od zagađenja
- energija – razvoj novih oblika, iscrpljenost izvora, problemi akumulacije i prijenosa
- materijal – iscrpljenost resursa, nejednolika distribucija
- razvoj organizacije
- razvoj kulture
- razvoj tehnologije
- specijalni faktori – rat, prirodne nepogode.

Svatko biva sve više uključen u proizvodnju, bilo kao proizvođač ili kao potrošač. Brojna konkurencija i zahtjevi kupaca uzrokuju nestalno, promjenjivo tržište i rezultirali su potrebom za smanjenjem ciklusa proizvodnje, vremena izrade i zaliha materijala, a povećanjem fleksibilnosti, efikasnosti i kvalitete. Bitni kriteriji su i cijena i inovativnost. Poduzeće koje se ne može prilagoditi zahtjevima tržišta ne može biti konkurentno. Zato je potrebno ulagati u razvoj osnovnih sektora poduzeća. Razvojem tehnologije i novih proizvoda moraju se razvijati i proizvodni procesi u cilju ostvarenja planiranih količina proizvoda s konstrukcijskim, tehnološkim i proizvodnim karakteristikama, i to zahtijevane kvalitete, u planiranim rokovima te zadovoljavajuće cijene koštanja. Proizvodnom procesu prethodi priprema proizvodnje koja se može podijeliti na tehnološku i operativnu pripremu. Temeljni posao tehnološke pripreme je planiranje tehnološkog procesa koji predstavlja vezu između konstrukcije i proizvodnje te određuje način izrade nekog proizvoda. U današnje vrijeme nastoji se tehnologa uključiti u aktivnosti definiranja, tj. konstruiranja proizvoda u što ranijoj fazi. Značaj projektiranja tehnoloških procesa, neizostavnog dijela proizvodnih procesa, sve više raste. Kod suvremenih tehnoloških procesa sve je manji utjecaj operatera u proizvodnji, a sve veći projektanta procesa, odnosno tehnologa, budući da oni određuju svaku stavku u procesu izrade proizvoda. Tehnolog utječe postepeno, ali stalno, na usavršavanje tehnološkog procesa i procesa proizvodnje za što je potrebno široko znanje s inženjerskog područja, ali i dobro poznavanje prilika i proizvodnih mogućnosti poduzeća. Zato je prikladna krilatica: *Tehnologa se ne dobiva natječajem i oglasima, već se on stvara u poduzeću.* Kakav će biti proces i kakvi će se rezultati postići u smislu kvalitete i troškova,

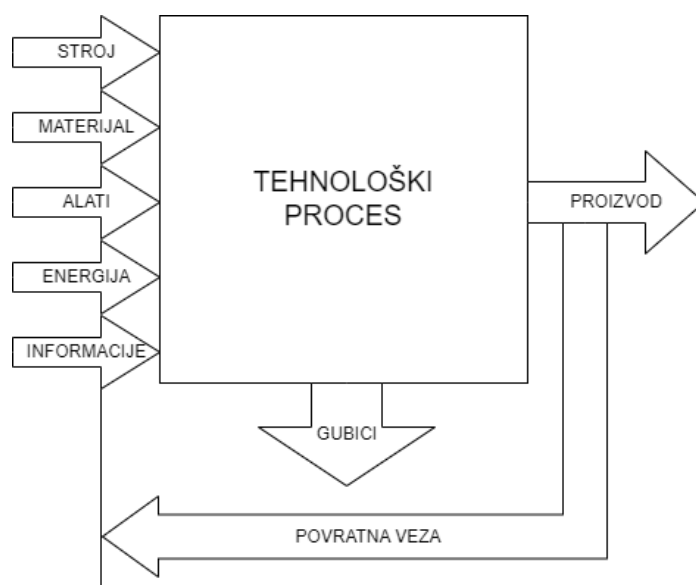
---

ovisi o izvedbi i količini proizvoda te znanju i iskustvu tehnologa. Među mnogim stvarima koje definira, tehnološki proces određuje i normative i komadno vrijeme izrade proizvoda. Tehnološko vrijeme, odnosno tehnološki proces je taj koji daje vrijednost proizvodu (eng. *Value Added Time – VAT*) zato što se tada mijenjaju svojstva radnog predmeta koji poprima izgled i svojstva konačnog željenog proizvoda, a samo je dio ukupnog vremena izrade. Kod obrade odvajanjem čestica, tehnološko vrijeme predstavlja vrijeme kontakta alata i obratka i nastoji se povećati u odnosu na pomoćna i pripremno-završna vremena, ali u isto vrijeme se nastoji i smanjiti pravilnim određivanjem režima obrade kako bi se smanjilo vrijeme izrade proizvoda. [1,2,3]

## 2. PROIZVODNI I TEHNOLOŠKI PROCES

Proizvodni proces se odvija u proizvodnom sustavu i podrazumijeva sve aktivnosti koje pretvaraju ulazni materijal (sirovine, poluproizvodi) u gotov proizvod. To obuhvaća operacije izrade, kontrolu kvalitete, unutarnji transport, skladištenje te međuoperacijske zastoje.

Tehnološki proces sastavni je dio proizvodnog procesa koji obuhvaća operacije izrade, kontrolu te na višim razinama proizvodnje i transport. To je točno određeni postupak, odnosno redoslijed po kojem se izrađuje proizvod određenog geometrijskog oblika, dimenzija i svojstava iz osnovnog materijala, s određenim alatima, na određenim strojevima (radnim mjestima), u određenom vremenu i pod određenim uvjetima. [4] Model tehnološkog procesa prikazan je na Slika 1.



Slika 1. Model tehnološkog procesa

Tehnološka operacija se izvodi na radnom predmetu pri čemu dolazi do promjena nekih od njegovih dimenzijskih, fizikalnih ili kemijskih svojstava, odnosno kada on nastaje sastavljanjem drugih radnih predmeta. U svakoj operaciji se izvodi odgovarajuća transformacija postojećeg stanja obratka u novo stanje.

Kontrola kvalitete je identifikacija radnog predmeta i provjera kvalitete ili kvantitete nekog od njegovih svojstava.

Transport je pomicanje i premještanje predmeta s jednog mjesta na drugo, osim kada se to obavlja u toku operacije.

Svaki tehnološki proces mora ispuniti tehničke i ekonomske uvjete. Tehnički uvjeti proizlaze iz konstrukcijske dokumentacije, odnosno funkcije pojedinog dijela ili proizvoda. Pod funkcijom proizvoda podrazumijeva se njegova eksploatabilnost, jednostavno rukovanje, sigurnost čovjeka pri uporabi te pogodnost održavanja. U tehničke uvjete spadaju oblik, masa, dimenzije, kvaliteta površine materijala. Ekonomski uvjet zahtijeva od tehnološkog procesa da uzme u obzir iskorištenje procesa. Nastoji se postići da se tehnički uvjet ostvari uz najmanje troškove. [1,4,5]

## **2.1. Svrha i značaj projektiranja tehnološkog procesa**

Projektirani tehnološki proces je skup teorijsko-znanstvenih znanja i praktičnih iskustava usmjerenih na definiranje redoslijeda, postupaka i režima procesa obrade s ciljem pretvaranja nižih uporabnih vrijednosti priprema u više kvalitetne vrijednosti gotovog proizvoda.

Ciljevi projektiranja tehnoloških procesa mogu biti:

- uvođenje novog proizvoda u postojeći proizvodni program
- projektiranje u cilju racionalizacije postojeće proizvodnje
- projektiranje u cilju izgradnje novih proizvodnih sustava.

Projektant tehnološkog procesa definira sljedeće stavke vezane za proizvodnju:

- priprema
- vrstu i redoslijed operacija obrade
- strojeve (radna mjesta)
- alate, pribore i mjerila
- parametre obrade
- vrijeme izrade
- troškove.

Dakle, za projektiranje profitabilnog tehnološkog procesa potrebna su teorijska znanja iz područja tehnologija obrade, znanosti o materijalima, konstruiranja, statistike, operacijskih istraživanja, modeliranja, simulacije i optimizacije procesa, kontrole kvalitete, studije i analize vremena, obradnih sustava, alata i naprava, troškova obrade te CAD/CAPP/CAM sustava i, naravno, praktična iskustva.



Jednom projektirano tehnološko rješenje nije zauvijek konačno jer je tehnološki proces dinamičan i podložan stalnim promjenama, usavršavanju i inoviranju, sukladno napretku tehnologije.

Projektirani tehnološki proces ima veliki značaj u produktivnosti i ekonomičnosti proizvodnje. Kvalitetno projektirani tehnološki proces i tehnologija temelj su kvalitetne i profitabilne proizvodnje, a profitabilna proizvodnja počiva na zahtjevima tržišta, optimalnoj tehnologiji te optimiziranom tehnološkom procesu. Osnovni ciljevi su osiguranje kvalitete proizvoda, manji utrošak materijala i energije te primjena suvremenih postupaka u proizvodnji. Sve je ovo potrebno postići uz minimalno vrijeme izrade, traženi rok isporuke i najniže troškove. [5,7]

## **2.2. Vrste tehnologija**

Tehnologija je vitalna snaga moderne proizvodnje koja određuje proces obrade, ali utječe i na ekonomiju, tržište, kvalitetu života i rada; i odražava se na ukupni društveno – ekonomski razvoj zemlje. Pokazatelj tehnološke razvijenosti nacionalne ekonomije jest tehnološka složenost proizvoda i tehnološka razina tehnologije. Tehnologije više tehnološke razine imaju veće troškove zbog investicija u proizvodnu opremu, ali i ostvaruju veću dobit od konvencionalnih.

Tehnološki postupci mogu se svrstati u sljedeće grupe [5]:

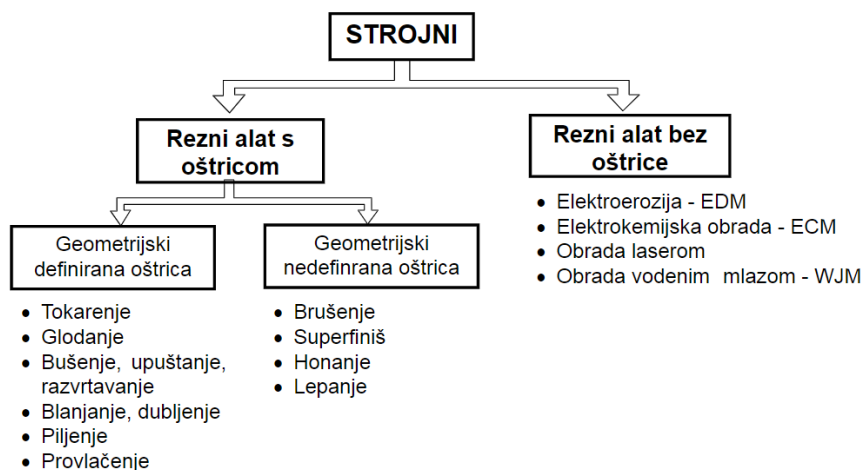
- lijevanje
- plastično deformiranje
- toplinska obrada
- površinska obrada
- obrada odvajanjem čestica
- zavarivanje.

### **2.2.1. Obrada odvajanjem čestica**

Obrada odvajanjem čestica široko se primjenjuje u procesima obrade. Takvi procesi osiguravaju visok stupanj točnosti mjera i oblika te kvalitetu površine, što je s drugim postupcima obrade teže postizivo. Još neke od prednosti su što se može primijeniti kod gotovo svih materijala, moguće je obrađivati i najsloženije površine, moguće su obrade u

širokom rasponu dimenzija, uzrokuje male promjene u materijalu obratka te produktivnost i ekonomičnost kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje.

Postupci obrade odvajanjem mogu biti ručni i strojni. Ručni postupci uključuju bušenje, piljenje, glodanje i turpijanje ručnim alatima. Strojni postupci se dijele na procese s reznim alatom s oštricom i bez nje. Oštrica pritom može biti definirana i nedefinirana (Slika 2). [5,6]



**Slika 2. Podjela strojnih postupaka obrade odvajanjem čestica**

### 2.3. Razina tehnologije i tehnološkog procesa

Stanje tehnologije i tehnoloških procesa je heterogeno i različite tehnološke razine, ovisno o proizvodnji, vrsti proizvoda, procesima obrade te prisutnosti proizvoda na međunarodnom tržištu gdje vladaju norme kvalitete, cijene i rokova isporuke. Detaljnost razrade tehnološkog procesa ovisi o veličini serije, cijeni i složenosti izratka.

Primjenom metoda revitalizacije procesa i implementacijom novih tehnologija nastoji se tehnološki proces inovirati, unaprijediti i podići na višu tehnološku razinu. Time se smanjuje vrijeme rada po jedinici proizvoda, a povećava se vrijeme potrebno za pripremu proizvodnje. Uz to, smanjuje se potrošnja materijala i energije, kraće je vrijeme same izrade i bolja je kvaliteta proizvoda. Primjenom CAD-a, CAPP-a, CAM-a, a posebno njihovom integracijom, moguće je svojstva proizvoda, troškove pripreme i izrade, kvalitetu proizvoda i vrijeme pripreme proizvodnje dovesti na razinu optimalnosti. [5]

## **2.4. Faze projektiranja tehnološkog procesa**

Kako na radnom mjestu ne bi došlo do gubitaka kapaciteta i nepotrebnih čekanja, tehnološki proces treba biti razrađen tako da je sve jednoznačno određeno i definirano. Kada tehnolog dobije konstrukcijski crtež, treba analizirati uporabna svojstva proizvoda te mogućnost izrade i/ili sastavljanja proizvoda. Nakon projektiranja tehnološkog procesa, sastavlja se tehnološka dokumentacija. [4,5]

### **2.4.1. Analiza konstrukcijske dokumentacije proizvoda**

Konstrukcijska dokumentacija je polazna točka za projektiranje tehnološkog procesa. Iz konstrukcije proizvoda polaze sve tehno-ekonomske karakteristike proizvodnje: tehnologija, kvaliteta, troškovi, proizvodnost, cijena.

Tehnološka konstrukcija olakšava primjenu suvremene tehnologije te omogućava niže troškove izrade. Dobro konstruiran proizvod mora zadovoljiti kriterije tehnološkosti, kvalitete, proizvodnosti, ekonomičnosti, funkcionalnosti, normativnosti, eksploataбилnosti, sigurnosti, ekološkosti, ergonomičnosti i tržišnosti.

Dokumentacija mora sadržavati sljedeće podatke:

- geometrijski oblik izratka
- mjere i tolerancije
- kvalitetu površine
- predviđenu vrstu materijala
- funkciju dijela ili proizvoda.

Analizira se dokumentacija geometrije izratka po pitanju [5]:

- stupnja geometrijske složenosti
- tehnološkosti
- zahtijevanoj dimenzijskoj točnosti
- zahtijevanoj kvaliteti površine
- baziranja i stezanja
- izbora priprema i polaznog materijala.

### **2.4.2. Analiza količine proizvodnje**

Kako bi se mogla odrediti razina tehnološkog procesa, tj. njegova detaljnost i opravdati naručivanje specijalnih alata i naprava, potrebno je, uz konstrukcijsku dokumentaciju, znati i veličinu serije i ukupno predviđenu količinu. [4]

Proizvodnja može biti [5]:

- pojedinačna
- maloserijska – skraćeni tehnološki proces definiran do razine operacija
- srednjeserijska
- velikoserijska – detaljno razrađen tehnološki proces
- masovna – tehnološki proces razrađen do najsitnijih detalja.

### **2.4.3. Izbor priprema (polaznog materijala)**

Pripremak je polazni oblik radnog predmeta i najčešće se iz jednog priprema proizvodi jedan radni predmet. To može biti odljevak, otpresak, otkovak, odrezani dio iz lima, odrezani dio šipke itd.

Polazni materijal je materijal prema svojoj šifri i u svom obliku u kojem se nalazi na skladištu. Iz njega se dodatnim operacijama dobivaju pripremi za izradu radnih predmeta. To su ploče lima, šipke, ostali profili itd. [1]

Izbor priprema, odnosno polaznog materijala je odgovoran tehno-ekonomski zadatak. Na njegov izbor utječe [5]:

- geometrijski oblik i tehnološka složenost izratka
- količina proizvodnje
- vrsta osnovnog materijala
- zahtijevana kvaliteta i funkcija izratka
- eksploatacijski, tehnološki i ekonomski uvjeti.

Osnovni kriterij pri izboru priprema je da ukupni troškovi materijala i izrade budu minimalni.

Ukoliko se radi o većoj serijskoj proizvodnji, pripremi se dobivaju lijevanjem, kovanjem ili prešanjem čime se dobivaju manji dodaci za kasniju obradu odvajanjem čestica. Za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju pripremi se rade iz vučenog ili valjanog materijala. [1]

Izbor vrste i oblika priprema podrazumijeva definiranje [5]:

- vrste priprema
- geometrijskog oblika
- dimenzija s dodacima za obradu
- stanja strukture i stanja površine.

#### **2.4.4. Izbor metoda obrade**

Izbor metoda obrade ovisi o [5]:

- geometrijskoj i tehnološkoj složenosti proizvoda
- vrsti i obliku priprema
- veličini serije
- uporabnih svojstava proizvoda
- troškovima obrade
- mogućnosti primjene mehanizacije i automatizacije
- raspoloživim obradnim sustavima.

#### **2.4.5. Izbor obradnog stroja**

Izbor stroja ovisi o [5]:

- tipu proizvodnje, tj. veličini serije
- karakteristikama izratka – veličina, masa, materijal, dimenzije, točnost obrade
- karakteristikama priprema – vrsta, oblik, masa, materijal, dimenzije
- vrsti obrade (tokarenje, glodanje, bušenje)
- troškovima obrade (minimalni troškovi).

#### **2.4.6. Planiranje procesa obrade**

Proces obrade sastoji se od:

- tehnoloških operacija
- faza
- zahvata
- prolaza.

Tehnološka operacija je osnovna jedinica tehnološkog procesa obrade. Označava skup određenih faza rada koje je potrebno obaviti za određenu promjenu radnog predmeta na jednom radnom mjestu.

Faza je dio operacije koja se sastoji od nekoliko zahvata obavljenim na jednom radnom mjestu, bez skidanja obratka.

Pri izvođenju zahvata ne mijenja se obrađivana površina, alat ni režim obrade. Zahvati mogu imati jedan ili više prolaza.

Prolaz je dio zahvata koji se izvodi na određenoj površini obratka. Što su dodaci za obradu veći, veći je i broj prolaza. [4]

## 2.5. Tehnološka dokumentacija

Tehnološka dokumentacija sadrži sve potrebne upute za izradu dijelova i sklopova, odnosno određene korake te načine i uvjete izvođenja pojedinih koraka pri proizvodnji pojedinog dijela ili montaži sklopova.

Osnovni dokumenti su:

- plan izrade
- list operacije
- redoslijed operacija
- specifikacija alata.

Oblik plana izrade ovisi o razini tehnološkog procesa i samom proizvodu. Sadrži podatke o polaznom materijalu i količini serije, popis operacija s fazama i skicama, podatke o alatima, vrijednosti pripremno-završnih i komadnih vremena i dr.

List operacije je osnovni dokument radnog mjesta. Sadrži skicu operacije uz one podatke koji su bitni za radno mjesto, odnosno radnika na tom radnom mjestu.

Redoslijed operacija sadrži podatke o rednom broju i nazivu operacije, radnom mjestu, pripremno-završnom i komadnom vremenu. Ovaj dokument je pregledniji za koristiti u tehnološkoj pripremi od plana izrade.

Dokument specifikacije alata je načinjen prema vrsti alata (specijalni, rezni, stezni, mjerni alati) i koriste ga tehnološka priprema te alatnica. [1,3,4]

## 2.6. Odabir vrste i redoslijeda operacija

Vrsta i redoslijed tehnoloških operacija ovise o [5]:

- zahtjevima na točnost mjera i oblika radnog predmeta
- obliku radnog predmeta
- dimenzijama priprema
- kvaliteti materijala

- veličini serije
- raspoloživim standardnim alatima
- razini standardizacije radnih predmeta.

Kod obrade dijelova odvajanjem čestica opće je pravilo da se kao prve operacije predvide one s kojima se skine najviše strugotine i dobije osnovni oblik radnog predmeta. [4]

Za izradu predmeta postoji veći broj varijanti tehnološkog postupka, a on mora osigurati traženu kvalitetu te biti izveden uz najniže troškove. Na izbor varijante utječe velik broj faktora od kojih su najznačajniji:

- veličina serije
- ponovljivost serije
- pripremak
- zahtjevi na točnost mjera i kvalitetu površine
- raspoložive proizvodne tehnologije i oprema.

Veličina serije definira potrebu za utroškom vremena za razradu tehnološkog postupka. Ekonomski je opravdano utrošiti više vremena na projektiranje procesa i analiziranje za odabir optimalne varijante tehnološkog postupka ukoliko je serija veća.

Također, za velike serije razmatra se smanjenje pomoćnih vremena (brzo stezanje i otpuštanje obradaka, brzo centriranje u nestandardnim alatima) u konstruiranju i izradi specijalnih reznih alata koji smanjuju vrijeme izrade ili povezuju nekoliko zahvata u jedan zahvat.

Ponovljivost serije utječe na rješenje tehnologije izrade koje će biti dugotrajno i vrijediti i kod izrade iduće serije. [1]

## **2.7. Izbor alata**

Alati se koriste za izvođenje obrade, osiguranje položaja obratka, stezanje obratka te mjerenje. Mogu se podijeliti na standardne i specijalne.

Standardni alati imaju univerzalnu primjenu i mogu se izabrati i nabaviti preko kataloga proizvođača. Oni su vezani uz radno mjesto.

Specijalni, odnosno nestandardni alati su specijalno pripremljeni za određene radne predmete i za njihovu konstrukciju i izradu potrebno je dati skicu. [1]

Kod izbora alata treba obratiti pažnju na [6]:

- materijal obratka i alata

- oblik obratka i alata
- hlađenje i podmazivanje
- vrstu operacije
- parametre i uvjete obrade
- držače alata
- cijenu alata.

## 2.8. Određivanje parametara režima obrade

Nakon isplaniranog procesa obrade može se odrediti režim obrade. Vrijednosti parametara režima moraju se za svaki pojedini slučaj što točnije odrediti jer izravno utječu na ekonomičnost obrade, odnosno na vrijeme obrade, produktivnost procesa, troškove obrade te postojanost alata. Zato je važno, posebno kod velikih serija i operacija s dugim vremenom trajanja, provoditi proračun optimalnih režima obrade. Optimalni režim obrade može se odrediti linearnim i konveksnim programiranjem, iterativnim postupcima itd.

Režim obrade, ovisno o materijalu obratka, obradnom stroju, zahtijevanoj kvaliteti površine te izabranog alata, može se odrediti:

- statistički na osnovi iskustvenih (tabličnih) podataka izvedenih sličnih procesa obrade
- analitički – izračunavanjem parametara režima obrade.

Parametri režima obrade ovise o vrsti procesa, tj. postupka obrade.

Proces obrade odvajanjem čestica određen je sljedećim parametrima [5]:

- brzina rezanja  $v$  [m/min]
- dubina rezanja  $a$  [mm]
- posmak rezanja  $s$  [mm/o]
- broj okretaja  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]
- broj prolaza  $i$ .

Što se tiče obrade odvajanjem čestica, određivanje režima obrade sastoji se u izboru najpovoljnije kombinacije dubine, posmaka i brzine rezanja koja omogućuje najekonomičnije obavljanje operacije pri maksimalnom iskorištenju mogućnosti stroja i alata.

Prilikom određivanja režima obrade, potrebno je uzeti u obzir ove elemente [1]:

- materijal obratka, njegovu obradljivost, tvrdoću, stanje toplinske obrade, magnetičnost



- materijal alata, njegove radne značajke i svojstva, žilavost, otpornost na trošenje, otpornost na visoke temperature tijekom rada
- postojanost i vijek trajanja alata
- geometrija alata i oblik oštrice, sile rezanja
- stroj i njegova tehnološka ispravnost, snaga, krutost
- stezanje obratka
- kvaliteta obrade
- troškovi obrade.

Kod toplinske obrade osnovni parametri su:

- temperatura zagrijavanja [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- brzina zagrijavanja [ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ]
- brzina hlađenja [ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ]
- vrijeme zadržavanja [min, h]
- vrsta sredstva za hlađenje.

Plastična obrada određena je ovim parametrima [5]:

- brzina deformiranja  $v$  [m/s]
- brzina deformacije  $\dot{\epsilon}$  [ $\text{s}^{-1}$ ]
- stupanj deformacije  $\epsilon$
- ukupna deformacija  $\epsilon_u$
- temperatura deformacije  $T_d$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- granična deformacija  $\epsilon_g$
- granica plastičnog tečenja materijala  $k_0$
- hladno očvršćivanje materijala  $k_1$ .

### 2.8.1. Dubina rezanja i broj prolaza

Dubina rezanja predstavlja razmak između obrađivane i obrađene površine, mjereno okomito na obrađenu površinu. Određuje se na temelju dodatka za obradu. Cilj je obaviti obradu u najmanjem broju prolaza. [1]

Vrijednost dubine rezanja ovisi o [5]:

- vrsti obrade – gruba ili fina
- obliku i dimenzijama priprema – kod tankih i dugih priprema dubina rezanja je ograničena pojavom vibracija i elastične deformacije

- krutosti obratka i debljine stijenke koja se obrađuje
- reznom alatu – svojom konstrukcijom određuje maksimalnu dubinu rezanja.

### 2.8.2. *Posmak*

U cilju povećanja produktivnosti, odnosno smanjenja tehnološkog vremena, a time i ukupnog vremena izrade, nastoji se da je posmak maksimalno moguć. Kod završne obrade kvaliteta obrađivane površine ovisi izravno o posmaku pa treba paziti da izabrani posmak zadovoljava te zahtjeve kvalitete. Kod grube obrade bira se što veća vrijednost posmaka.

Ograničavajući faktori pri izboru posmaka su [1]:

- zahtjevi na točnost dimenzija i oblika
- zahtjevi na kvalitetu površine
- snaga stroja
- mogućnosti i čvrstoća alata
- stabilnost sustava.

### 2.8.3. *Brzina rezanja*

Brzina rezanja predstavlja put gibanja glavne oštrice alata u jedinici vremena u odnosu na obrađivanu površinu. To je jedan od najvažnijih parametara režima rezanja s najznačajnijim utjecajem na vrijeme obrade, ali i na postojanost alata.

Na brzinu rezanja utječe:

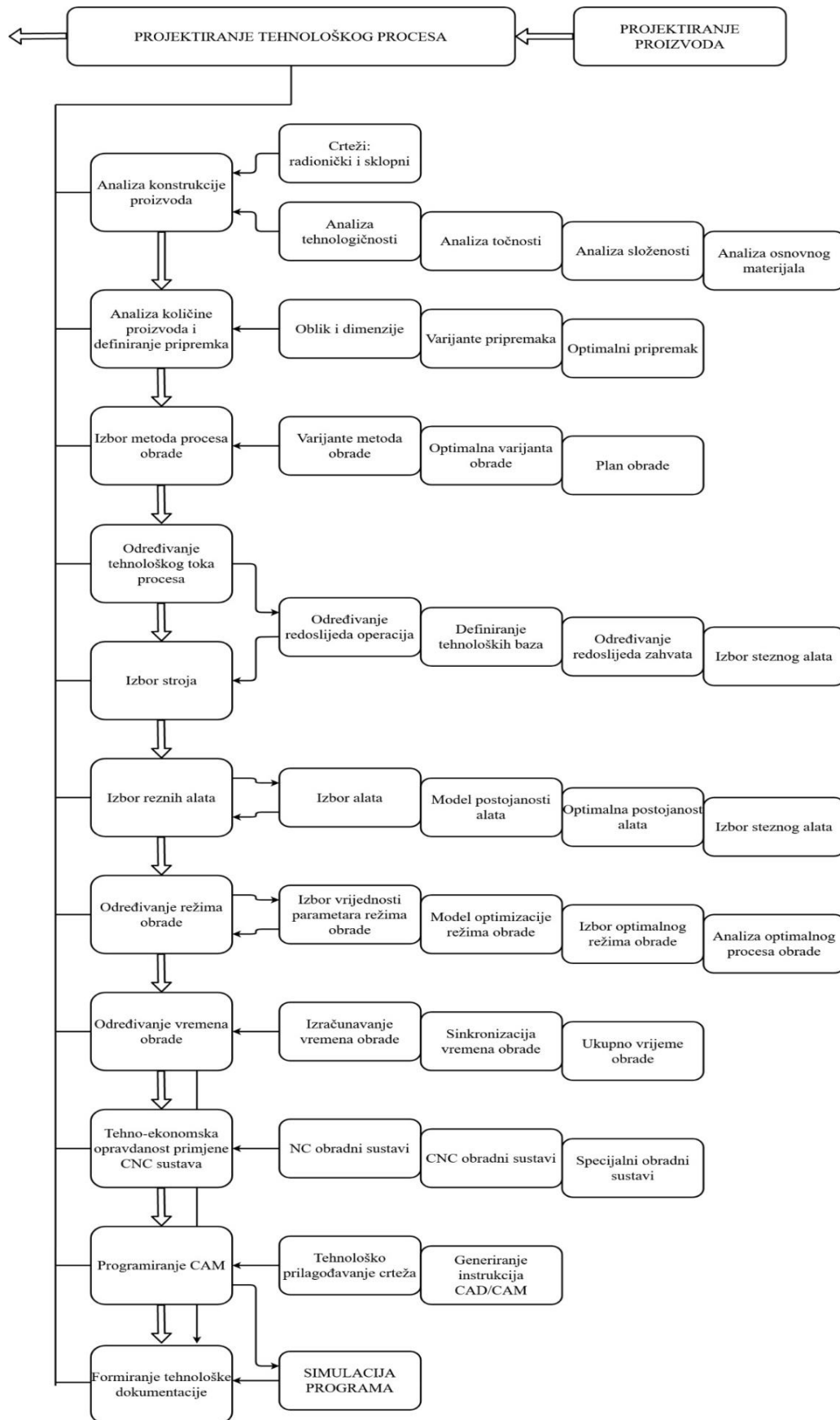
- materijal obratka i alata
- geometrija alata
- postojanost alata
- dubina rezanja
- posmak
- krutost sustava stroj – alat – obradak
- sredstva za hlađenje i podmazivanje.

Proces rezanja obavlja se djelovanjem reznog alata na materijal obratka deformirajući ga najprije elastično, a zatim i plastično stvarajući strugotinu. U procesu rezanja svaki se obrađivani materijal različito ponaša. Različiti materijali imaju različite specifične otpore rezanja, zato zahtijevaju različite snage stroja za svladavanje otpora rezanja.

---

Rezni alati izrađuju se od različitih materijala, poput alatnih čelika, brzoreznih čelika, tvrdih metala, keramičkih materijala, brusnih materijala te dijamanta. [1]

Slika 3 prikazuje sve korake koje je potrebno poduzeti u projektiranju tehnoloških procesa.



Slika 3. Koraci u projektiranju tehnološkog procesa

### 3. NORMATIVI I VRIJEME IZRADA

Norma je vrijeme potrebno prosječno uvježbanom i kvalificiranom radniku da, u normalnim okolnostima, na točno određeni način, uz normalno zalaganje i zamor, obavi definirani posao. Ona se temelji na ukupnom vremenu izrade, a bitan element norme je tehnološko vrijeme.

Norma je važna jer je to mjerilo po kojem se planira proizvodnja, izračunava cijena koštanja određenog proizvoda te nagrađuje izvršioc posla. Također, pomoću normi se analizira ekonomičnost proizvodnje za pojedine varijante i iskazuje produktivnost. [5]

Bez obzira na metode računanja normiranih vremena, uvijek će postojati neke razlike između računski izračunatog vremena i stvarno utrošenog vremena za izvršenje neke operacije. S obzirom na to, bitno je određivanje normativa koji će dati podatke koji u praksi mogu imati određena odstupanja. [1]

Vrijeme izrade ovisi o konstruktivnoj i tehnološkoj složenosti izratka, traženoj kvaliteti, dimenzijama izratka, obliku priprema, procesu obrade, veličini serije i obradnom sustavu. Ono je temelj racionalnog planiranja proizvodnje, efektivnosti rada, troškova te vrednovanja rezultata rada. [4]

Ukupno vrijeme izrade sastoji se od pripremno-završnog vremena  $t_{pz}$  i komadnog vremena  $t_1$ .

Ukupno vrijeme izrade za jedan komad predmeta računa se:

$$t_{u1} = \frac{t_{pz}}{n} + t_1 \quad (1)$$

gdje je:

$t_{u1}$  – ukupno vrijeme izrade [s]

$t_{pz}$  – pripremno-završno vrijeme izrade [s]

$t_1$  – komadno vrijeme izrade [s]

$n$  – broj komada u seriji [kom].

Pripremno-završno vrijeme je vrijeme koje je potrebno za pripremu za rad i čišćenje nakon izvršenja radnog zadatka. Tu spadaju prijem i proučavanje tehničke dokumentacije, preuzimanje i pregled materijala te nestandardnih alata, priprema i podešavanje stroja, predaja obrađenih komada te dokumentacije, spremanje i čišćenje stroja te radnog mjesta. Ono se

određuje za čitavu seriju, a ovisi o proizvodnim kapacitetima, tipu proizvodnje i razini organiziranosti pripreme proizvodnje.

Komadno vrijeme označava stvarno vrijeme izrade jednog komada. Ono se sastoji od tehnološkog vremena  $t_t$ , pomoćnog vremena  $t_p$  te dodatnog vremena [1]:

$$t_1 = \left( \sum t_p + \sum t_t \right) \times (1 + K_d) \quad (2)$$

gdje je:

$t_1$  – komadno vrijeme izrade [s]

$t_p$  – pomoćno vrijeme izrade [s]

$t_t$  – tehnološko vrijeme izrade [s]

$K_d$  – koeficijent dodatnog vremena.

### 3.1. Tehnološko vrijeme

Tehnološko vrijeme  $t_t$  je vrijeme potrebno za izvršenje efektivnog rada strojem ili ručno. To vrijeme se troši na promjenu oblika ili unutarnjih svojstava obratka ili radnog predmeta i jedino je efektivno, tj. korisno vrijeme u cijelom procesu izrade pa je cilj da njegov udio u ukupnom vremenu izrade bude što veći.

Dakle, tehnološko vrijeme može biti:

- strojno – vrijeme rada automatike stroja
- ručno – vrijeme kad radnik radi ručno
- strojno-ručno – kombinirani rad stroja i radnika.

Tehnološko vrijeme može obuhvaćati:

- promjene oblika ili dimenzija radnog predmeta odvajanjem čestica (tokarenje, glodanje) ili deformiranjem (kovanje, prešanje)
- promjene oblika ili dimenzija ručnim ili mehaniziranim alatima (ručne škare, pila)
- promjene strukture i fizikalno-kemijskih svojstava materijala toplinskom obradom (kaljenje, žarenje)
- promjene oblika radnog predmeta i svojstava njegove površine (bojenje, poliranje)
- mijenjanje rasporeda ili mjesta spajanja dijelova koji čine sklop ili proizvod (montaža, zavarivanje).

Razlikuju se dva glavna slučaja obrade kod operacija koje se odvijaju na strojevima:

- obrade kod kojih je glavno kretanje kružno (glodalice, tokarilice, bušilice)
- obrade kod kojih je glavno kretanje pravocrtno (blanjalice, dubilice).

Tehnološko strojno vrijeme utvrđuje se pomoću formula, tablica i dijagrama.

Osnovna formula za izračun tehnološkog vremena kod strojeva s glavnim kružnim gibanjem je:

$$t_t = \frac{L \times i}{n \times s} \quad (3)$$

gdje je:

$t_t$  – tehnološko vrijeme izrade [s]

$L$  – put alata ili radnog predmeta, odnosno duljina obrađivane površine [mm]

$i$  – broj prolaza

$n$  – broj okretaja alata ili radnog predmeta [ $\text{min}^{-1}$ ]

$s$  – posmak alata ili radnog predmeta [mm/o].

Broj prolaza  $i$  određuje se iz odnosa:

$$i = \frac{\delta}{a} \quad (4)$$

gdje je:

$\delta$  – ukupni dodatak za obradu [mm]

$a$  – dubina rezanja [mm]

Za slučaj strojeva s glavnim pravocrtnim gibanjem tehnološko vrijeme se računa:

$$t_t = \frac{B \times i}{n \times s} \quad (5)$$

gdje je:

$t_t$  – tehnološko vrijeme izrade [s]

$B$  – najveća širina obrade u pravcu posmaka alata [mm]

$i$  – broj prolaza

$n$  – broj dvostrukih hodova u minuti [ $\text{min}^{-1}$ ]

$s$  – posmak po dvostrukom hodu [mm].

Širina  $B$  može se odrediti kao:

$$B = b + l_1 \quad (6)$$

gdje je:

$b$  – širina obrade [mm]

$l_1$  – veličina ulaska noža [mm].

Broj dvostrukih hodova  $n$  računa se kao:

$$n = \frac{v_{rh} \times 1000}{L \times (1 + m)} \quad (7)$$

gdje je:

$v_{rh}$  – brzina radnog hoda [m/min]

$L$  – dužina hoda stola [m]

$m$  – odnos brzine praznog i radnog hoda.

Vrijednost tehnološkog vremena ovisi o režimu obrade. Za računanje tehnološkog vremena kod tehnologija obrade odvajanjem čestica, potrebno je prethodno odrediti sljedeće parametre režima obrade:

- dubinu rezanja  $a$  [mm]
- broj prolaza  $i$
- brzinu rezanja  $v$  [m/s]
- posmak  $s$  [mm/o]
- broj okretaja  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ].

Ostale tehnologije imaju svoje specifičnosti za određivanje tehnoloških vremena. Na primjer, kod toplinske obrade, tehnološko vrijeme određeno je izabranim procesom toplinske obrade, a kod montaže se vrijeme snima ili procjenjuje. [1,4,6]

### 3.2. Pomoćno vrijeme

Pomoćno vrijeme  $t_p$  je vrijeme potrebno za obavljanje pomoćnih poslova, a koji omogućuju izvođenje tehnološkog vremena.

Ono može biti:

- posve automatsko
- strojno-ručno
- ručno.



Pomoćna vremena treba svesti na minimum zato što ne utječu izravno na promjenu izratka u tijeku procesa rada, odnosno ne dodaju vrijednost proizvodu, ali, kako je rečeno, neophodna su za odvijanje procesa.

U pomoćna vremena svrstavaju se vremena potrebna za podizanje, namještanje, premještanje, stezanje, otpuštanje i skidanje obratka, puštanje stroja u rad te zaustavljanje stroja, izmjena alata itd. [4,6]

### 3.3. Dodatno vrijeme

Dodatnim vremenom  $t_d$  obuhvaćeni su gubici uzrokovani neplaniranim zastojsima u radu i prekidima procesa. To su npr. sitni kvarovi strojeva i uređaja, no ono uključuje i potrebu za odmorom radnika.

Dodatno vrijeme služi za kompenzaciju gubitaka u radu i dodaje se u normu kako bi radnik mogao izvršiti zadatak u propisanom roku. Iskazuje se u postotcima.

Izražava se pomoću tri koeficijenta dodatnog vremena:

- koeficijent zamora  $K_n$
- koeficijent djelovanja okoline  $K_a$
- dopunski koeficijent  $K_d$ .

Koeficijent zamora uzima se u obzir zbog fizičkog i psihičkog zamora tijekom rada, poput svladavanja tereta i monotonije u radu.

Koeficijent djelovanja okoline govori o utjecaju okoline na radnika. Najveći utjecaj na učinak i zdravlje radnika imaju temperatura, vlažnost i zagađenje zraka te razina zračenja.

Ova dva koeficijenta su stalna zato što ovise o vrsti rada i okolini u kojoj se taj rad obavlja.

Dopunski koeficijent je promjenjiv jer se mijenja unutar pojedinih odjela, čak i na pojedinim radnim mjestima unutar odjela. Njime se izražava vrijeme za odmor i fiziološke potrebe radnika, organizacijske gubitke i dr. [4,6]

## 4. TEHNOLOŠKI PROCES IZRADE KALUPA

Kao praktični dio rada bit će dan prikaz cijelog procesa izrade kalupa na strojnoj glodalici u poduzeću Ambaldi d.o.o.

### 4.1. O poduzeću

Poduzeće Ambaldi d.o.o. osnovano je 1996. g. kao obiteljsko poduzeće i prvobitno se bavilo proizvodnjom ambalaže od papira i valovitog kartona te preradom plastičnih masa. Unazad 4 godine poduzeće posluje u novom pogonu na adresi Gospodarska ulica 10, Ludbreg. Po svojoj veličini, prihodima i broju zaposlenih spada u kategoriju mikropoduzeća. Trenutno zapošljava petero djelatnika strojarske, kemijske i ekonomske struke. Posluje u jednoj smjeni. Posljednjih 5 godina primarna djelatnost je proizvodnja termoformirane plastične ambalaže, uglavnom za prehrambenu i konditorsku industriju. Najviše korišteni materijal za ambalažu je reciklirani PET u obliku folije. Od ostalih materijala koriste se još polistiren (PS), poli(vinilklorid) (PVC) i akrilonitril butadien stiren (ABS) te polikarbonat (PC) i poliamid (PA) za tehničke svrhe. Proizvodni pogon opremljen je strojevima (proizvodnim linijama) za preradu plastičnih masa, odnosno termoformiranje, CAD/CAM plotter cutterom za rezanje tehničke plastike i gume u obliku ploča (poliamid (PA), polikarbonat (PC), poliacetal (POM-C), polimetilmetakrilat (PMMA), ARMAFLEX), u skorije vrijeme CNC glodalicom kojom je moguća obrada metala te stupnom bušilicom, varilicama i ostalim pomoćnim strojevima za rezanje i konfekcioniranje plastične folije. Poduzeće ima i svoju solarnu elektranu te je energetski gotovo neovisno.



Slika 4. Logo poduzeća

### 4.2. Opis kalupa

U cilju proširenja područja djelatnosti, razvoja novih proizvoda i unapređenja asortimana te izbjegavanja korištenja vanjskih usluga zbog dugih vremena čekanja i velikih troškova usluga te transporta, poduzeće je kupilo CNC glodalicu. Ona će se, između ostalog, koristiti za izradu

aluminijskog kalupa za potrebe samog poduzeća. Kalup će se koristiti kao dio alata za serijsku proizvodnju posudica, odnosno za oblikovanje plastične folije u posudicu čiji je uzorak dobiven od strane kupca. Tehnološki proces izrade u cijelosti će se odvijati na CNC glodalici. Dakle, kalup je prvo potrebno konstruirati i načiniti njegov 3D model prema dobivenom uzorku. Uzorak posudice je prikazan na Slika 5. Nakon toga treba definirati tehnološki proces izrade. Kako se ovdje radi o pojedinačnoj proizvodnji i sve na istom stroju, dovoljno je prikazati redoslijed operacija s fazama, vremena izrade te rok izrade. Programiranje i upravljanje procesom izrade vrši se u CAM sustavu SolidCam. Ulogu u konstruiranju kalupa i programiranju procesa izrade imao je isti zaposlenik što je dobro zbog općenite težnje ka suradnji konstruktora i tehnologa, kao i ostalih inženjera koji sudjeluju u procesu proizvodnje.



**Slika 5. Uzorak posudice**

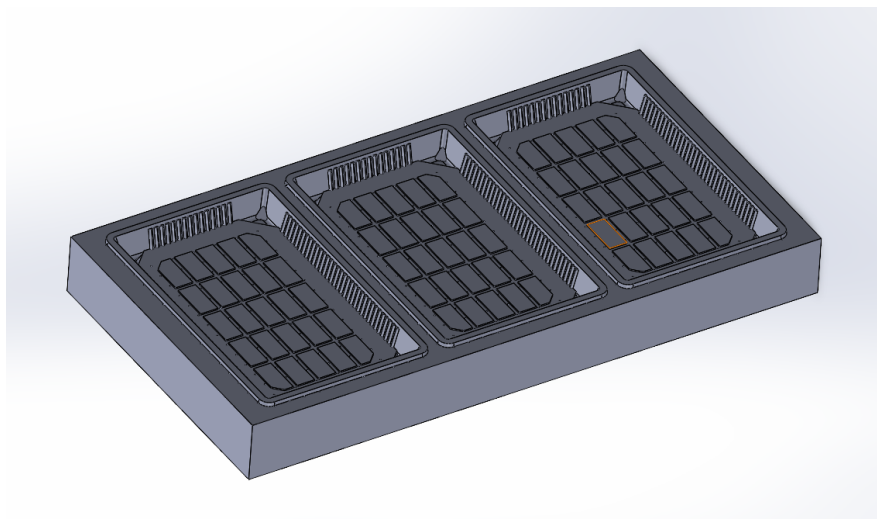
### **4.3. Odabir materijala**

Kalup se ugrađuje u postojeći stroj i, kako je spomenuto, služi za oblikovanje plastične folije pod djelovanjem odgovarajuće temperature (do 150°C) i tlaka (4-6 bar) u željeni oblik posudice (termoformiranje).

Kako se radi o oblikovanju plastike, prikladni materijal kalupa je aluminij zbog dobre toplinske provodljivosti (brzo zagrijavanje i hlađenje, a bitno je da se formirana posudica brzo ohladi još u kalupu kako bi se ubrzao proces proizvodnje, ali i kako ne bi došlo do naknadne neželjene deformacije posudice) te zbog relativno niskih tlakova prilikom termoformiranja. Dodatne prednosti aluminija su brža strojna obrada (moguće veće brzine obrade nego kod čelika), manja masa kalupa, a samim time i lakša manipulacija njime te jeftinija cijena.

Prema dimenzijama stroja, određeno je da će kalup imati tri gnijezda, odnosno u isto vrijeme formirat će se tri posudice. S donje strane treba imati rupice za odvod zraka koji se upuhuje tijekom rada stroja i također četiri veće rupe s navojem za koje će se pričvrstiti na donju ploču.

Kalup je konstruiran u CAD programu SolidWorks i njegov model prikazan je na Slika 6. Masa mu je, prema izračunu SolidWorksa, 11 kg.



**Slika 6. 3D model kalupa**

Nakon konstrukcije i kratke analize dimenzija kalupa, naručen je komad aluminija 5083 dimenzija  $460 \times 240 \times 50$  mm čija je cijena 92,94€. Dobavljač je MDM Metal d.o.o.

#### **4.4. O stroju**

Stroj na kojem će se odvijati izrada kalupa je Haas VF-2SSYT glodalica. Haas Super-Speed vertikalne glodalice pružaju velike brzine glavnog vretena, brze hodove i brzo izmjenjivanje alata [8]. Glodalica je prikazana na Slika 7, a specifikacije su dane u Tablica 1.



Slika 7. Haas VF-2SSYT glodalica

Hod x-osi	762 mm
Hod y-osi	508 mm
Hod z-osi	508 mm
Snaga vretena	22,4 kW
Maksimalni broj okretaja	12000 o/min
Maksimalni okretni moment	122 Nm
Dužina stola	914 mm
Širina stola	457 mm
Širina T-utora	15,90-16,00 mm
Broj standardnih T-utora	3
Maksimalna težina na stolu	680 kg
Maksimalni posmak	21,2 m/min
Kapacitet alata	30+1
Vrijeme zamjene alata	1,8 s

Tablica 1. Specifikacije stroja

#### 4.5. SolidCam

Računalom podržana proizvodnja (eng. *Computer Aided Manufacturing* - CAM) predstavlja računalno upravljanje procesima obrade. Ulaz u CAM je CAD model u odgovarajućem formatu na temelju kojeg se generira G kod za CNC obradu.

Program koji ima poduzeće i koji je korišten za programiranje tehnološkog procesa izrade na CNC-u je SolidCam.

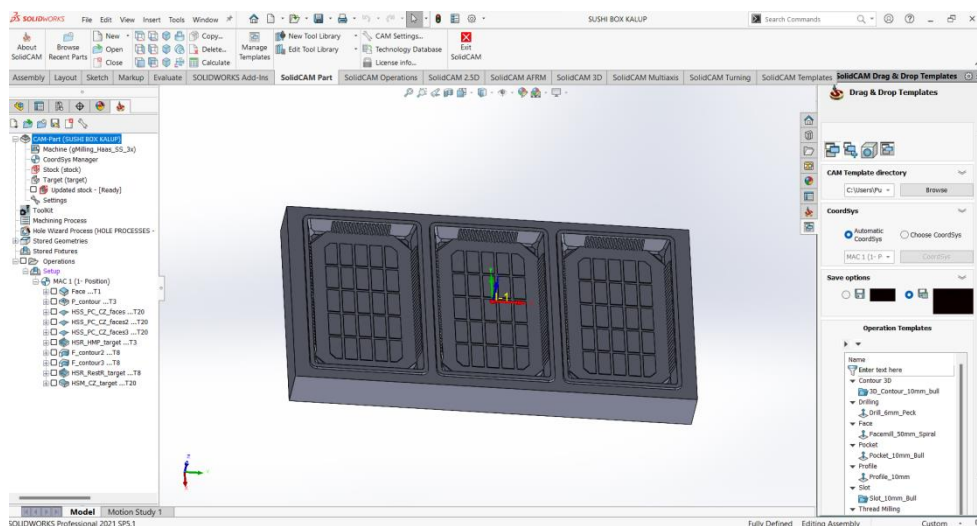
SolidCam je softver koji je potpuno integriran u CAD program SolidWorks što znači da se sve operacije obrade mogu definirati i izračunati bez napuštanja SolidWorks prozora s CAD modelom proizvoda. Tako se ne mora gubiti vrijeme na učitavanje datoteka s modelom proizvoda. Sve 2D i 3D geometrije korištene za strojnu obradu su povezane s modelom pa ako se naprave promjene na CAD modelu, sve CAM operacije se automatski ažuriraju i generiraju se nove putanje alata. Neki od modula koji se mogu koristiti su 2.5D i 3D glodanje, AFRM, HSR&HSM visokobrzinska 3D obrada, tokarenje.

Glodanje je modul koji nudi klasične operacije poput profilnog glodanja, bušenja, izrade džepova, izrade navoja, izrade skošenja, automatsku obradu preostalog materijala nakon korištenja alata većih promjera itd.

AFRM (eng. *Automatic Feature Recognition and Machining*) je modul za automatsko prepoznavanje značajki modela. Na primjer, prepoznaje sve džepove na odgovarajućim dubinama po z-osi i umjesto obrade svakog džepa zasebno u posebnim operacijama, obrađuje ih sve u jednoj operaciji. Također prepoznaje oštre rubove gdje generira skošenja.

HSR&HSM visokobrzinska 3D obrada nudi jedinstvenu strategiju obrade tako da upravlja putanjom alata kod rezanja i praznog hoda kako bi se održalo kontinuirano kretanje alata i time veće brzine posmaka. Putanje su efikasne i neprekinute te se povećava kvaliteta površine, a alat se manje troši. Kako bi visokobrzinska obrada bila moguća, modul izbjegava oštre kutove u putanji alata i generira tangencijalne ulaze/izlaze alata.

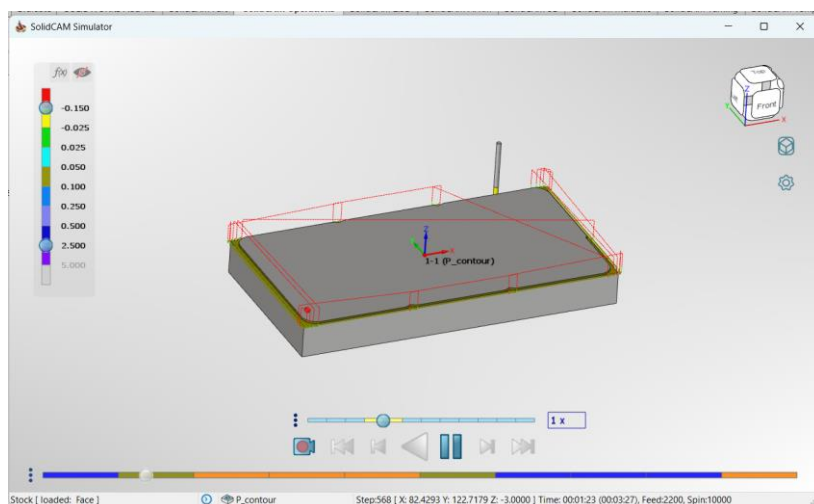
Program je moguće nadograditi s još puno modula s raznim mogućnostima koje je korisno upotrebljavati u slučajevima serijske proizvodnje i petoosne obrade.



Slika 8. SolidCam sučelje

Toolkit je izbornik s listom alata uz opis njihove vrste i promjera. Mogu se dodavati novi alati uz definiranje njihove geometrije i mogu se označavati alati koji su već u magazinu stroja. Za alate se definiraju i brzine rezanja i posmaci za obradu određenog materijala koji se automatski spremaju i ne moraju se uvijek ispočetka definirati.

Osim toga, moguća je klasična simulacija provedenih operacija s prikazom putanje alata i ostatka materijala koji se mora obraditi, kao i simulacija obrade u izborniku SolidCam Simulator (Slika 9). Mogu se podesiti boje putanji alata, dodati se stezne naprave, moguća je detekcija kolizije itd. Obrada, tj. operacije mogu biti prikazane u realnom vremenu, a može se podesiti da sve operacije u simulaciji traju jednako dugo. Također, vrijeme se može usporiti ili ubrzati. [9]



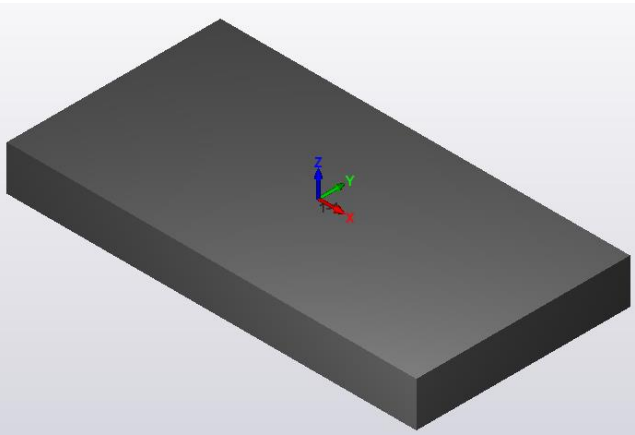
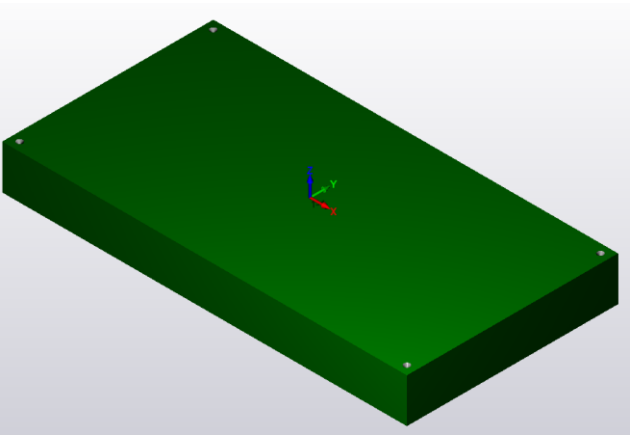
Slika 9. SolidCam Simulator

#### 4.6. Faze rada i prikaz vremena

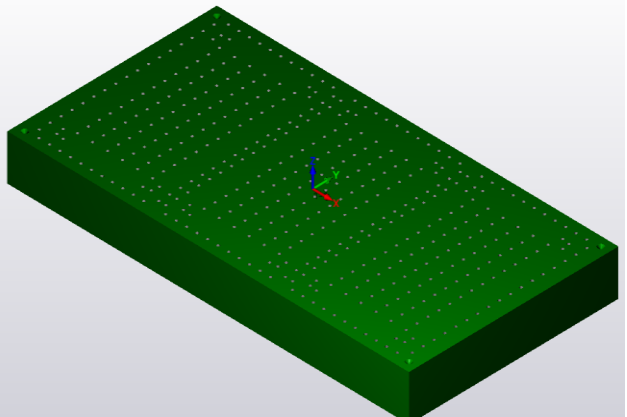
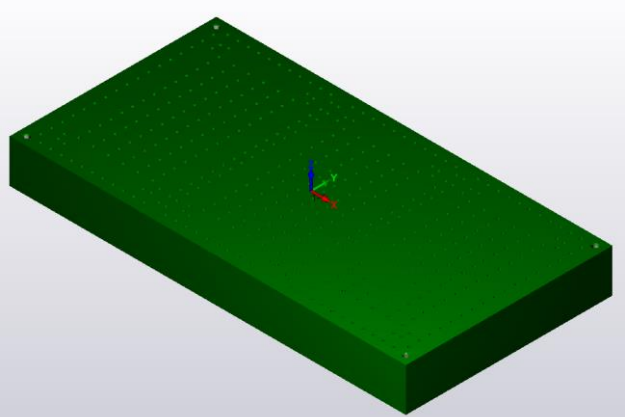
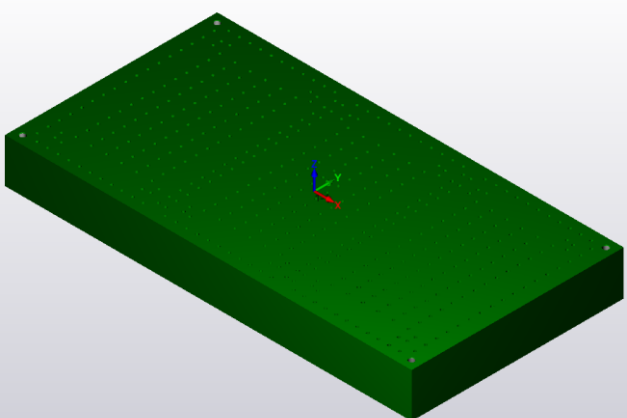
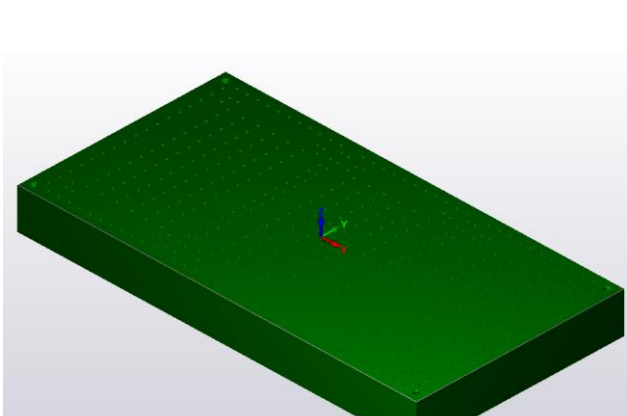
Kako se cijeli proces izrade odvija na jednom stroju, postoji samo jedna operacija i to je glodanje. Za izvedbu te operacije potrebna su dva stezanja. U prvom stezanju obradit će se donji dio kalupa, a u drugom gornji dio. U prvom stezanju uglavnom se buše provrti, a drugo stezanje je zahtjevnije i dugotrajnije.

Proces obrade sastoji se od nekoliko faza koje su prikazane u Tablica 2 za prvo stezanje te u Tablica 3 za drugo stezanje, zajedno s prikazom pripremno-završnih, pomoćnih i tehnoloških vremena izraženih u minutama. Na slikama je zelenom bojom označena već obrađena površina, a siva boja prikazuje dio koji se obrađuje u određenoj fazi.

Prvo stezanje 10-

			$t_{pz}$ [min]	$t_p$ [min]	$t_t$ [min]
10-1	Priprema stroja		5,00		
10-2	Stezanje obratka			3,00	
10-3	Poravnavanje			0,08	2,02
10-4	Zabušivanje većih provrta			0,07	0,15



10-5	Bušenje provrta 3 mm			11,73	133, 13
10-6	Bušenje provrta 5 mm			0,10	1,07
10-7	Urezivanje navoja M6			0,08	0,60
10-8	Skidanje oštih rubova			0,08	0,93

10-9	Otpuštanje obratka			0,17	
			$\Sigma$	5,0	15,3   137,9

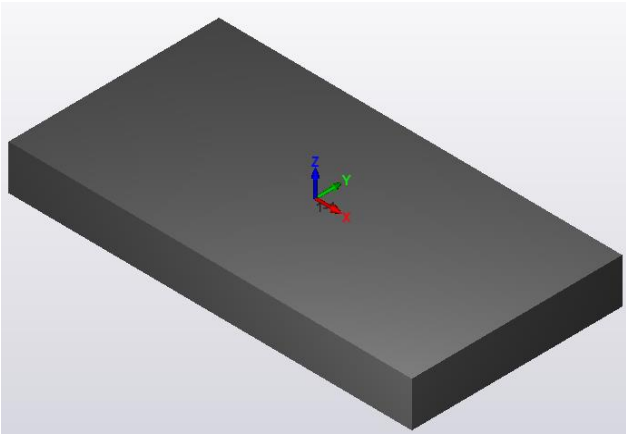
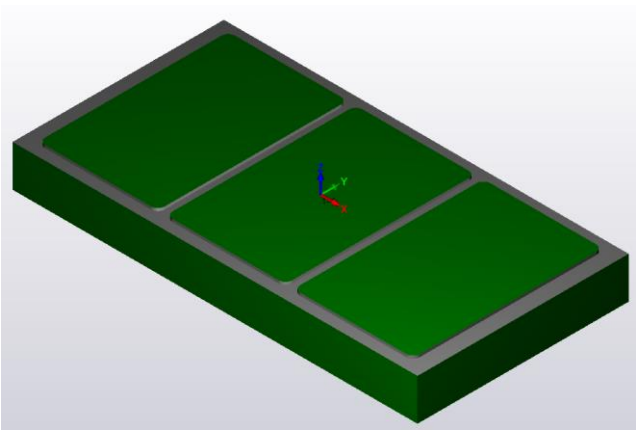
**Tablica 2. Faze rada za prvo stezanje**

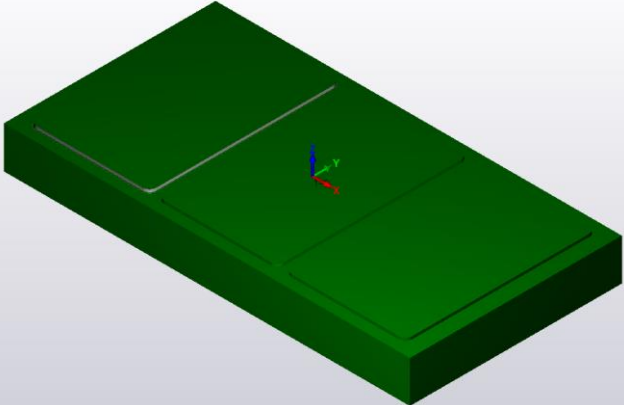
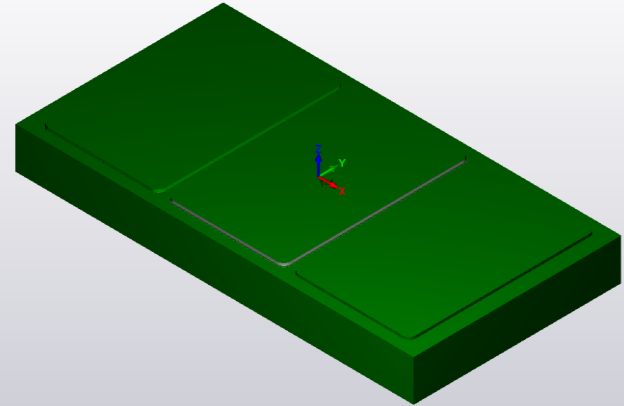
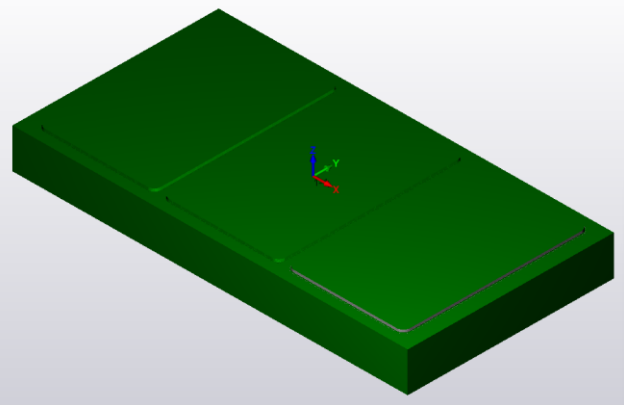
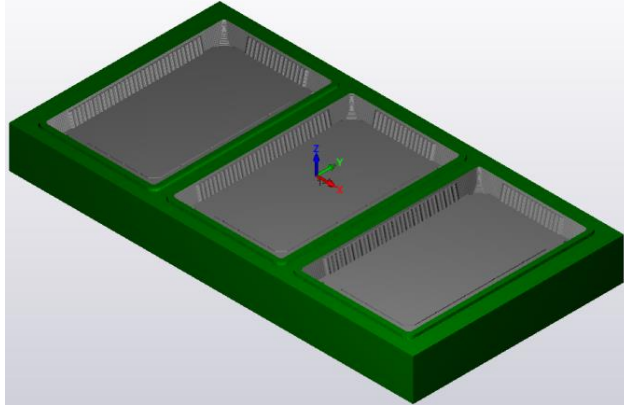
Pripremno-završno vrijeme za preuzimanje i pregled dokumentacije, uzimanje priprema i podešavanje glodalice iznosi 5 min.

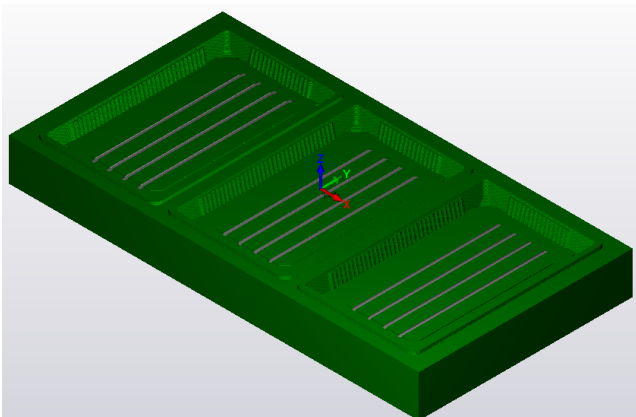
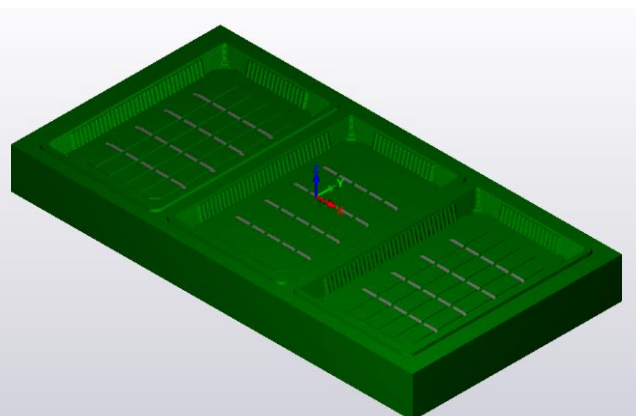
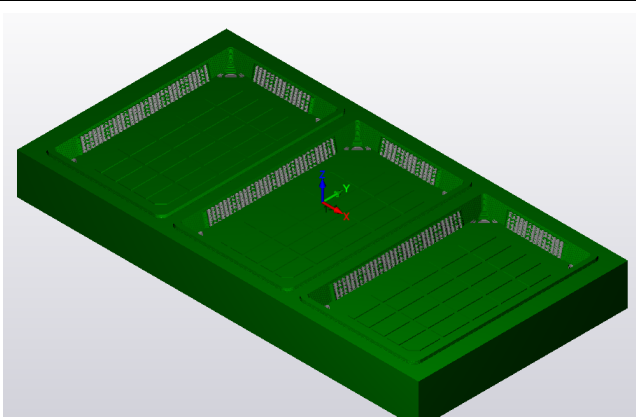
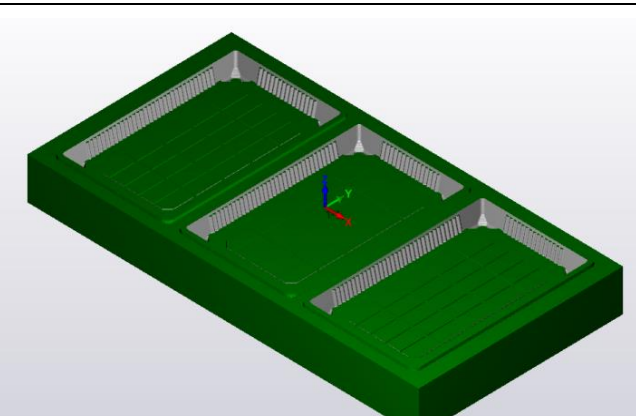
Pomoćno vrijeme za uzimanje i stezanje obratka, uzimanje nul-točke, izmjenu alata i ostale putanje bez rezanja, otpuštanje i odlaganje obratka iznosi 15,3 min, odnosno 15 min 18 s.

Tehnološko vrijeme rezanja materijala iznosi 137,9 min, odnosno 2 h 17 min 54 s.

Drugo stezanje 20-

			$t_{pz}$ [min]	$t_p$ [min]	$t_t$ [min]
20-1	Priprema stroja		2,00		
20-2	Stezanje obratka			3,00	
20-3	Poravnavanje			0,08	2,02
20-4	Glodanje rubova gnijezda			0,40	4,00

20-5	Izrada konusa po rubu gnijezda		0,75	14,87
20-6	Izrada konusa po rubu drugog gnijezda		0,75	14,87
20-7	Izrada konusa po rubu trećeg gnijezda		0,75	14,87
20-8	Grubo glodanje gnijezda		11,43	173,37

20-9	Glodanje dna gnijezda vertikalno		0,47	4,40
20-10	Glodanje dna gnijezda horizontalno		0,42	2,27
20-11	Skidanje viška materijala s rebara		28,68	19,60
20-12	Fina obrada bokova gnijezda		9,28	328,62
20-13	Bušenje provrta 0,8 mm	Napomena: Zbog loše grafike nije dan prikaz.	2,07	191,50

20-14	Otpuštanje obratka			0,17	
20-15	Spremanje i čišćenje		3,00		
			$\Sigma$	5,0	58,3 770,4

**Tablica 3. Faze rada za drugo stezanje**

Pripremno-završno vrijeme za pripremu glodalice i čišćenje radnog mjesta nakon obrade te predaju dokumentacije iznosi 5 min.

Pomoćno vrijeme stezanja obratka, uzimanja nul-točke, izmjene alata i putanje alata bez rezanja, otpuštanje i spremanje izratka iznosi 58,3 min, odnosno 58 min 18 s.

Tehnološko vrijeme rezanja materijala iznosi 770,4 min, odnosno 12 h 50 min 24 s.

#### 4.7. Alati i stezne naprave

Prilikom programiranja obrade kalupa, svi potrebni alati bili su u magazinu stroja. Alati su većinom od proizvođača Haas, Fraisa i Seco.

U nastavku je dan popis alata koji će se koristiti u svakoj fazi obrade kalupa.

Faze 10-3 i 20-3: Glodaća glava 50 mm s 5 reznih pločica



**Slika 10. Glodaća glava**

Faza 10-4: Zabušivač 10 mm



**Slika 11. Alat za zabušivanje**

Faza 10-5: Svrđlo 3 mm



**Slika 12. Svrđlo 3 mm**

Faza 10-6: Svrđlo 5 mm



**Slika 13. Svrđlo 5 mm**

Faza 10-7: Ureznik navoja M6



**Slika 14. Ureznik navoja**

Faza 10-8: Glodalo za izradu skošenja 6 mm



**Slika 15. Glodalo za skošenja**

Faze 20-4 i 20-8: Glodalo 6 mm



**Slika 16. Glodalo 6 mm**

Faze 20-5, 20-6, 20-7 i 20-12: Ball nose glodalo 2 mm



**Slika 17. Ball nose glodalo**

Faze 20-9, 20-10 i 20-11: Glodalo 3 mm



**Slika 18. Glodalo 3 mm**

Faza 20-13: Svrđlo 0,8 mm



**Slika 19. Svrđlo 0,8 mm**

Stezne naprave u koje će se stegnuti obradak su od hrvatskog proizvođača Alfa. Radi se o dvama hidrauličnim škripcima koji se pričvršćuju na radni stol glodalice T-vijcima.



**Slika 20. Stezne naprave**



#### 4.8. Ukupno vrijeme izrade i rok isporuke

Uz navedene vrijednosti pripremno-završnih, pomoćnih i tehnoloških vremena moguće je odrediti ukupno vrijeme izrade kalupa koje se sastoji od pripremno-završnog i komadnog vremena. Komadno vrijeme je zbroj tehnološkog i pomoćnog vremena pomnožen s dodatnim vremenom, odnosno koeficijentom dodatnog vremena  $K_d$ . Za vrijednost koeficijenta dodatnog vremena uzet će se 10% u oba slučaja stezanja.

U Tablica 4 dan je prikaz ukupnog pripremno-završnog, pomoćnog i tehnološkog vremena uz komadno vrijeme i ukupno vrijeme izrade za jedan kalup. Sva su vremena izražena u minutama.

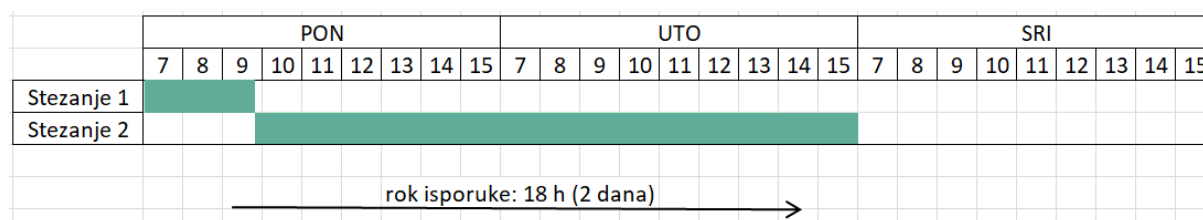
	$t_{pz}$ [min]	$t_p$ [min]	$t_t$ [min]
Prvo stezanje	5,0	15,3	137,9
$t_{10-1}$	168,5		
$t_{u10-1}$	173,5		
Drugo stezanje	5,0	58,3	770,4
$t_{20-1}$	911,6		
$t_{u20-1}$	916,6		

Tablica 4. Prikaz vremena

Dakle, komadno vrijeme izrade za prvo stezanje iznosi 168,5 min ili 2 h 48 min 30 s. Za drugo stezanje ono iznosi 911,6 min ili 15 h 11 min 36 s.

Ukupno vrijeme izrade kalupa je 1090 min ili 18 h 10 min.

Rok isporuke prikazan je pomoću gantograma (Slika 21).



Slika 21. Gantogram

#### **4.9. Analiza vremena**

Najveći udio u tehnološkom vremenu, 5 h 28 min, zauzima fina obrada bokova gnijezda. Tome je tako zato što je glodalo malo, promjera 2 mm. Ono mora biti takvo zbog rebara kojih je puno i koja su malog radijusa. Nadalje, grubo glodanje gnijezda traje 2 h 53 min jer se radi o dosta velikim površinama i treba skinuti puno materijala. Vrijeme obrade bi se smanjilo kada bi se prvo radilo s glodalom većeg promjera pa se onda glodalom manjeg promjera dobio precizniji oblik bokova. Značajan udio tehnološkog (2 h 13 min), ali i pomoćnog vremena zauzima bušenje provrta od 3 mm. Razlog tomu je što ima preko 500 provrta, a zbog dubine se mora koristiti Peck Drill, G83 funkcija gdje se svrdlo mora, kada dođe do određenih dubina, skroz izvlačiti da bi strugotina izašla van i kako ne bi došlo do eventualnog pucanja svrdla. Ušteda vremena mogla bi se postići kupnjom TSC (eng. *Through Spindle Coolant*) svrdla kroz koje prolazi sredstvo za hlađenje i podmazivanje i koje izbacuje strugotinu pa može izbušiti traženu dubinu u jednom ulasku u materijal. Bušenje provrta od 0,8 mm traje 3 h 11 min jer je potrebno izbušiti preko 500 provrta. Što se tiče ostalih pomoćnih vremena, može se vidjeti da je u fazi skidanja viška materijala s rebara pomoćno vrijeme dulje od tehnološkog što nikako nije poželjno. No, to je zato što glodalo mora obilaziti rebro po rebro i ima dosta praznog hoda.

## **5. ZAKLJUČAK**

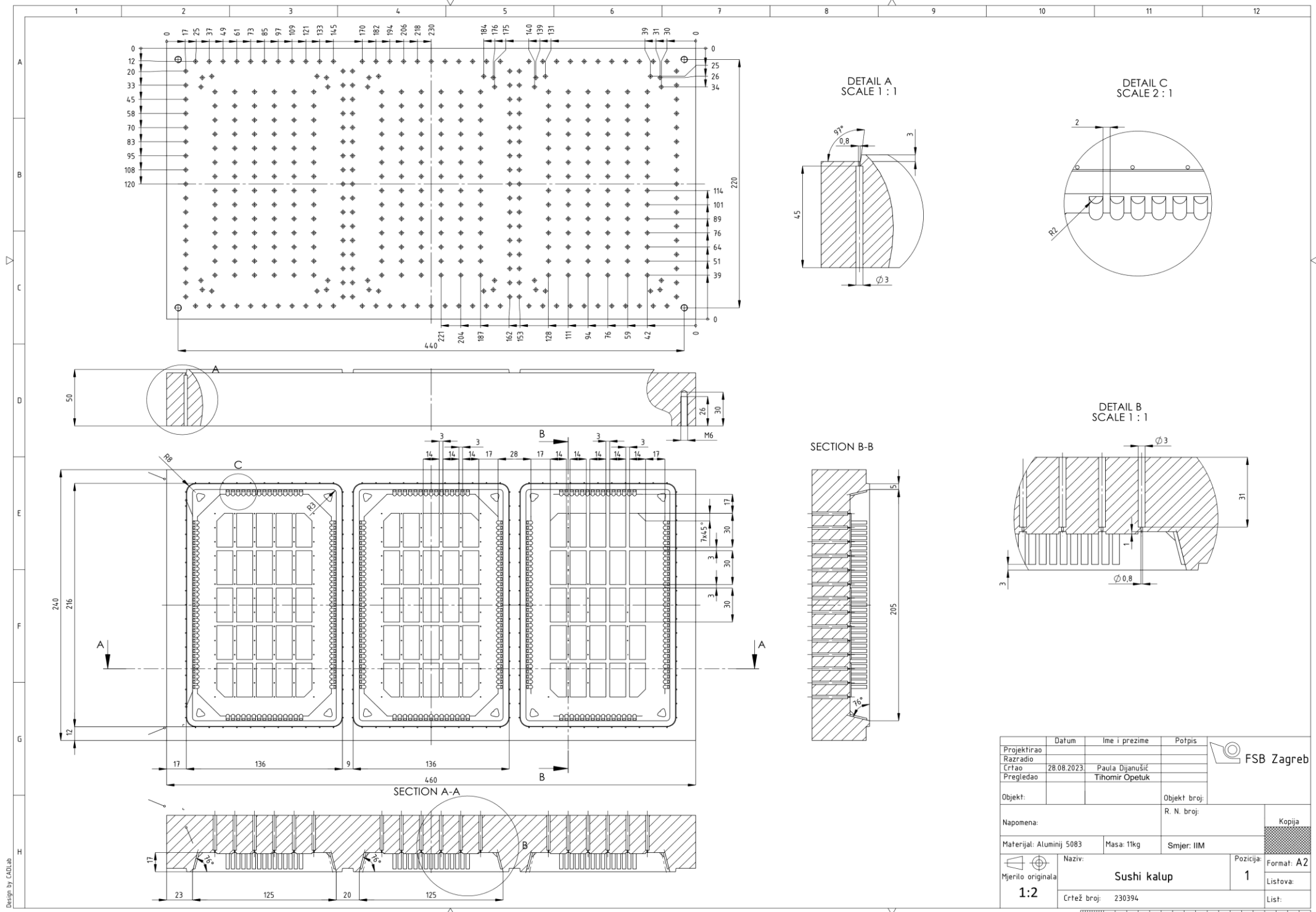
Projektiranje tehnološkog procesa je postupak koji se provodi za definiranje procesa izrade nekog proizvoda i sastavni je dio svakog proizvodnog poduzeća. Tehnolozi imaju odgovoran posao zato što o njihovom znanju, iskustvu, ali i inovativnosti, ovisi kvaliteta i efikasnost tehnološkog procesa. To pak utječe na vrijeme i troškove izrade. Tehnološki procesi nastoje se optimirati najboljim izborom priprema, tehnoloških operacija, režima obrade itd. Veliku potporu u programiranju procesa obrade daje CAM. On omogućava slikovit prikaz i simulaciju procesa obrade te omogućava laku i brzu analizu vremena izrade. Ovisno o složenosti i količinama proizvoda, projektiranje tehnološkog procesa nekad može biti vrlo izazovan i zahtjevan posao. Zato ga je bitno pomno opisati. Svi postupci, skice operacija, alati te vremena potrebna za izradu nekog proizvoda mogu se naći u Planu izrade.

## LITERATURA

- [1] Majdančić, N., Čuljak, S.: Priprema proizvodnje I, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 1991.
- [2] Mikac, T.; Blažević, D.: Planiranje i upravljanje proizvodnjom, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 2007.
- [3] Perinić, M.: Tehnološki procesi, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 2010
- [4] Gačnik, V., Vodenik, F.: Projektiranje tehnoloških procesa, Tehnička knjiga, ISBN 86 7059-085-9, Zagreb, 1990.
- [5] Jurković, M., Tufekčić, Dž.: Tehnološki procesi – Projektiranje i modeliranje, Mašinski fakultet, ISBN 9958-609-03-7, Tuzla, 2000.
- [6] Interna predavanja iz kolegija Projektiranje tehnoloških procesa, FSB, Zagreb
- [7] Jašarević, S., Brdarević, S., Isaković, S.: Upravljanje proizvodnjom, Politehnički fakultet, ISBN 978-9926-452-18-6, Zenica, 2020.
- [8] <https://www.haascnc.com/hr/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2ssyt.html> pristupljeno 12.09.2023.
- [9] <https://www.solidcam.com/> pristupljeno 14.09.2023.

## **PRILOZI**

- I. Tehnička dokumentacija
- II. Plan izrade



DETAIL A  
SCALE 1 : 1

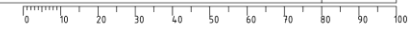
DETAIL C  
SCALE 2 : 1

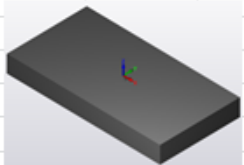
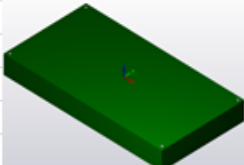
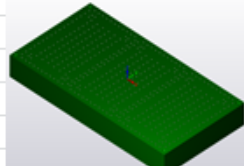
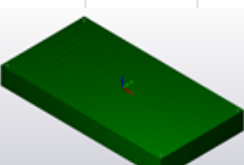
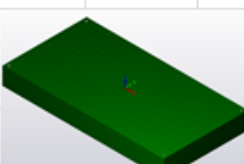
DETAIL B  
SCALE 1 : 1

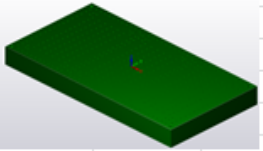
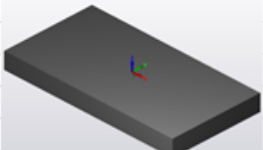
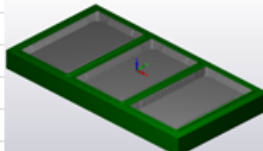
SECTION B-B

SECTION A-A

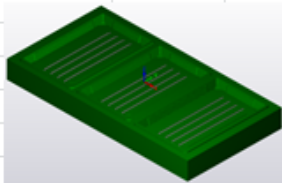
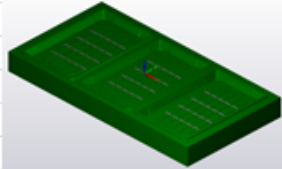
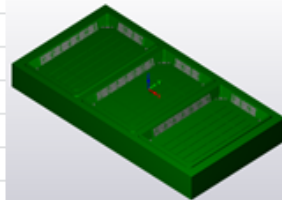
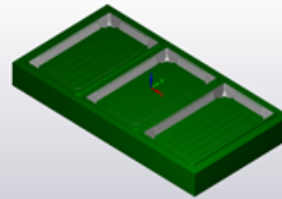
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio				
Crtao	28.08.2023.	Paula Djanusić		
Pregledao		Tihomir Opetuk		
Objekt:			Objekt broj:	
Napomena:			R. N. broj:	Kopija
Materijal: Aluminij 5083	Masa: 11kg	Smjer: IIM		
 Mjerilo originala 1:2	Naziv:	Sushi kalup		Pozicija:
	Crtež broj: 230394			1
				Format: A2
				Listova:
				List:



FSB	Ime i prezime: Paula Dijanušić		List: 1	PLAN IZRADE				Materijal: 5083 Dimenzije: 460×240×50		Naziv: Kalup					
	OPERACIJA			OBRADNI STROJEVI	SKICA OBRADNE	FAZA I ZAHVAT		ALATI I NAPRAVE		VRIJEME [min]					
Redni broj	Naziv		Redni broj			Opis	Kom.			$t_t$	$t_p$	$t_{pz}$	$t_1$		
10	Glodanje		Haas VF-2 YSST	    	1	Priprema stroja						5			
					2	Stezanje i uzimanje nultočke	2 1	Alfa A-130 Renishaw				3			
					3	Poravnavanje	1	Face Mill 50 mm		2,02	0,08				
					4	Zabušivanje provrta 5 mm	1	Spot Drill 10 mm		0,15	0,07				
					5	Bušenje provrta 3 mm	1	Carbide Drill 3 mm		133,13	11,73				
					6	Bušenje provrta 5 mm	1	Carbide Drill 5 mm		1,07	0,1				
					7	Rezanje navoja M6	1	Tap M6		0,6	0,08				

FSB	Ime i prezime: Paula Dijanušić		List: 2	PLAN IZRADE				Materijal: 5083 Dimenzije: 460x240x50		Naziv: Kalup					
	OPERACIJA			OBRADNI STROJEVI	SKICA OBRADNE	FAZA I ZAHVAT		ALATI I NAPRAVE		VRIJEME [min]					
Redni broj	Naziv					Redni broj	Opis	Kom.		$t_t$	$t_p$	$t_{pz}$	$t_1$		
					8	Skidanje oštih rubova	1	Chamfer End Mill 6 mm	0,93	0,08					
					9	Skidanje obratka				0,17					
										$\Sigma$	5	168,5			
20	Glodanje	Haas VF-2	YSST		1	Priprema stroja						2			
					2	Stezanje i uzimanje nultočke	2	Alfa A-130				3			
					1	Renishaw									
					3	Poravnavanje	1	Face Mill 50 mm		2,02	0,08				
					4	Glodanje rubova gnijezda	1	End Mill 6 mm		4	0,4				
					5	Izrada konusa na rubu gnijezda	1	Ball Nose 2 mm		14,87	0,75				
	6	Izrada konusa na rubu gnijezda	1	Ball Nose 2 mm		14,87	0,75								
	7	Izrada konusa na rubu gnijezda	1	Ball Nose 2 mm		14,87	0,75								
					8	Grubo glodanje gnijezda	1	End Mill 6 mm	173,37	11,43					



FSB		Ime i prezime: Paula Dijanušić		List: 3		PLAN IZRADE				Materijal: 5083 Dimenzije: 460x240x50		Naziv: Kalup	
OPERACIJA		OBRADNI STROJEVI		SKICA OBRADNE		FAZA I ZAHVAT		ALATI I NAPRAVE		VRIJEME [min]			
Redni broj	Naziv					Redni broj	Opis	Kom.		$t_t$	$t_p$	$t_{pz}$	$t_1$
						9	Glodanje dna vertikalno	1	End Mill 3 mm	4,4	0,47		
						10	Glodanje dna horizontalno	1	End Mill 3 mm	2,27	0,42		
						11	Skidanje viška materijala s rebara	1	End Mill 3 mm	19,6	28,68		
						12	Fina obrada bokova	1	Ball Nose 2 mm	328,62	9,28		
						13	Bušenje provrta 0,8 mm	1	Drill 0,8 mm	191,5	2,07		
						14	Skidanje obratka				0,17		
						15	Spremanje					3	
											$\Sigma$	5	911,6