

Automatizacija normiranja izrade prirubnica

Sokele, Dunja

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:513836>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dunja Sokele

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar, dipl. ing.

Studentica:

Dunja Sokele

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći se stečenim znanjima tijekom studija i navedenom literaturom.

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Damiru Ciglaru na savjetima i ustupljenoj literaturi.

Posebno zahvaljujem asistentu mag. ing. Mihi Klaiću na utrošenom vremenu i trudu, pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Također veliko hvala djelatnicima tvrtke Končar – Metalne konstrukcije d.d., posebice Luki Drobilu te operaterima strojeva na suradnji i prenesenom znanju.

Dunja Sokele



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DUNJA SOKELE** Mat. br.: 0035187978

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **AUTOMATIZACIJA NORMIRANJA IZRADE PRIRUBNICA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **AUTOMATION OF STANDARDISATION OF FLANGES MANUFACTURING**

Opis zadatka:

Trendovi današnje suvremene proizvodnje zahtijevaju stalno poboljšavanje kvalitete postojećih proizvoda i procesa obrade, što ujedno postavlja i visoke zahtjeve na točnost predviđanja raspoloživih kapaciteta i planiranja proizvodnje. U tu svrhu je potrebno imati dobar pregled zauzeća kapaciteta obrade postojećih i ugovorenih proizvoda. Postupak izračuna, pomoću kojega bi se ostvarila automatizacija procesa normiranja izrade prirubnica u poduzeću „Končar - Metalne konstrukcije“, imat će za konačni cilj implementaciju algoritma u ERP-sustav poduzeća, čime bi se trebalo osigurati dobro praćenje kapaciteta.

Prema prethodno navedenom, u radu je potrebno pripremiti sljedeće:

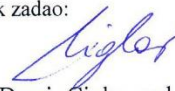
- Izvadak reprezentativnih standardnih pozicija iz prirubničkog programa.
- Podlogu za izračun normi uobičajenih izvedbi prirubnica prema karakterističnim parametrima pozicija.
- Snimanje trenutnog stanja obrade.
- CAM programe za odabrane izvedbe prirubnica.
- Korekcije CAM programa i/ili definiranje korektivnih faktora za automatizirano određivanje normi.

U radu je potrebno dati pregled korištene literature te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
9. ožujka 2017.

Rok predaje rada:
11. svibnja 2017.

Predviđeni datum obrane:
17., 18. i 19. svibnja 2017.

Zadatak zadao:

dr. sc. Damir Ciglar, red. prof.

Predsjednica Povjerenstva:

dr. sc. Biserka Runje, red. prof.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA	5
SAŽETAK.....	6
SUMMARY	7
1. UVOD.....	8
2. STUDIJ RADA.....	10
2.1. Normiranje	11
2.2. Primjena metode PDSA na studij rada.....	13
3. STUDIJ I ANALIZA VREMENA	15
3.1. Definicija norme	16
3.2. Sastavni elementi vremena rada.....	17
3.2.1. Pripremno-završno vrijeme.....	17
3.2.1.1. Pripremni radovi	18
3.2.1.2. Završni radovi	19
3.2.1.3. Tehnološko vrijeme	19
3.2.1.4. Pomoćno vrijeme	20
3.2.1.5. Dodatno vrijeme.....	21
4. NAČINI ODREĐIVANJA VREMENA IZRADE.....	22
4.1. Određivanje vremena izrade snimanjem.....	22
4.2. Određivanje vremena izrade formulama za strojni rad	23
4.3. Određivanje vremena izrade sustavima unaprijed određenih vremena (SOUV).....	24
5. TEHNOLOŠKI PROCESI	27
5.1. Proizvodni proces i tehnološki proces	28
5.1.1. Proizvodni proces.....	28
5.1.2. Tehnološki proces	29
5.2. Obradni sustav.....	30
5.3. Proizvodni sustav	31
5.4. Ciklus izrade i ciklus proizvodnje.....	31

5.4.1.	Ciklus izrade	31
5.4.2.	Ciklus proizvodnje	32
6.	DEFINIRANJE (PLANIRANJE) TEHNOLOŠKOG PROCESA	33
7.	ELEMENTI DEFINIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA	38
7.1.	Operacija	38
7.2.	Strukturiranje tehnološkog procesa.....	39
7.2.1.	Karakteristike izratka, karakteristike opreme i količina	40
7.2.2.	Kategorije obrade	40
7.3.	Strukturiranje operacije – fina razrada tehnološkog procesa	41
7.4.	Priprema i raspreda radnog mjesta.....	42
8.	O TVRTKI KONČAR – METALNE KONSTRUKCIJE d.d.	44
8.1.	Opis trenutnog stanja u strojnoj obradi	45
8.1.1.	Raspoloživi kapaciteti	45
8.1.2.	Strojna obrada prirubnica.....	47
9.	ANALIZA VREMENA STROJNE OBRADNE PRIRUBNICA	48
9.1.	Proračun vremena strojne obrade računalnim programom <i>CATIA</i>	48
9.2.	Mjerenje stvarnih vremena strojne obrade u tvrtki <i>Končar – MK</i>	56
9.2.1.	Snimanje vremena obrade na stroju <i>Traub TNA 480</i>	56
9.2.2.	Snimanje vremena obrade na stroju <i>Haas ST-35</i>	62
9.2.3.	Snimanje vremena obrade na stroju <i>Ada Potisje PA-900</i>	65
9.2.4.	Snimanje vremena obrade na stroju <i>Alfa 410×1000</i>	67
9.3.	Usporedba proračunatih i stvarnih vremena	69
10.	ZAKLJUČAK.....	74
11.	LITERATURA	76

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Shema studija rada	12
Slika 2.2. Primjena metode PDSA na studij rada.....	14
Slika 6.1. Osnovna organizacijska struktura TPP prema vrsti poslova.....	34
Slika 6.2. Osnovna organizacijska struktura TPP prema vrsti proizvodnih problema.....	36
Slika 7.1. Struktura operacije	42
Slika 9.1. CAD model priprema i odabranog obratka.....	49
Slika 9.2. <i>Design Table</i>	50
Slika 9.3. CAD modeli prirubnica u programu <i>CATIA</i>	51
Slika 9.4. Vanjsko tokarenje okrugle prirubnice.....	52
Slika 9.5. Čeono tokarenje okrugle prirubnice.....	52
Slika 9.6. Tokarenje utora okrugle prirubnice.....	53
Slika 9.7. Unutarnje tokarenje okrugle prirubnice	53
Slika 9.8. Bušenje provrta okrugle prirubnice.....	54
Slika 9.9. Upuštanje provrta okrugle prirubnice	54
Slika 9.10. CNC tokarilica <i>Traub TNA 480</i>	57
Slika 9.11. Stegnuti pripremak prije prve obrade.....	58
Slika 9.12. Obratci i gotovi proizvodi iz serije	62
Slika 9.13. CNC obradni centar <i>Haas ST-35</i>	62
Slika 9.14. Klasični tokarski stroj <i>Ada Potisje PA-900</i>	65
Slika 9.15. Klasični tokarski stroj <i>Alfa 410×1000</i>	67

POPIS TABLICA

Tablica 8.1. Raspoloživi kapaciteti strojnog parka tvrtke <i>Končar – MK</i> [10]	45
Tablica 9.1. Dimenzije i značajke prirubnica odabranih za CAM program	48
Tablica 9.2. Režimi obrade	55
Tablica 9.3. Tehnološka vremena dobivena u programu <i>CATIA</i>	55
Tablica 9.4. Popis praćenih strojeva i proizvoda	56
Tablica 9.5. Dimenzije obrađivanih prirubnica.....	57
Tablica 9.6. Režimi obrade	59
Tablica 9.7. Izmjerena tehnološka i pomoćna vremena za prvo stezanje	59
Tablica 9.8. Izmjerena tehnološka i pomoćna vremena za drugo i treće stezanje	60
Tablica 9.9. Prosječna vremena obrade prirubnica	61
Tablica 9.10. Pripremno-završna vremena.....	61
Tablica 9.11. Dimenzije obratka	63
Tablica 9.12. Režimi obrade	63
Tablica 9.13. Tehnološko vrijeme.....	64
Tablica 9.14. Pomoćno vrijeme.....	64
Tablica 9.15. Pripremno-završna vremena za prvo i drugo stezanje	64
Tablica 9.16. Dimenzije obratka	65
Tablica 9.17. Tehnološka i pomoćna vremena.....	66
Tablica 9.18. Ukupna prosječna vremena	67
Tablica 9.19. Dimenzije priprema.....	68
Tablica 9.20. Dimenzije obrađivanih prirubnica.....	68
Tablica 9.21. Tehnološka i pomoćna vremena.....	69
Tablica 9.22. Tehnološka vremena dobivena u programu <i>CATIA</i>	70
Tablica 9.23. Usporedba stvarnih i proračunatih tehnoloških vremena na CNC strojevima... ..	71
Tablica 9.24. Usporedba stvarnih i proračunatih tehnoloških vremena na klasičnim tokarilicama	71
Tablica 9.25. Korektivni faktori za obradu prirubnica na CNC strojevima.....	72
Tablica 9.26. Korektivni faktori za obradu na klasičnim tokarskim strojevima	72
Tablica 9.27. Pripremno-završna vremena praćenih obrada	73

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
t_{pz}	min, s	pripremno-završno vrijeme
t_t	min, s	tehnološko vrijeme
t_p	min, s	pomoćno vrijeme
t_d	min, s	dodatno vrijeme
t_a	min, s	strojno vrijeme
t_{ar}	min, s	strojno-ručno vrijeme
t_r	min, s	ručno vrijeme
t_{CI}	min, s	vrijeme ciklusa izrade
t_{O_i}	min, s	vrijeme i -te operacije
t_{t_j}	min, s	vrijeme j -tog transporta
t_{mk}	min, s	vrijeme k -tog međuskladištenja
t_{kl}	min, s	vrijeme l -te kontrole
t_{TC}	min, s	tehnološki ciklus
v_c	m/min	glavna brzina rezanja
f	mm	posmak
n	min ⁻¹	broj okretaja

SAŽETAK

U radu je prikazana analiza vremena strojne obrade prirubnica u tvrtki *Končar – MK* sa svrhom izrade podloga za automatizaciju normiranja vremena proizvodnje koje bi se mogle implementirati u proizvodno-poslovni informacijski sustav tvrtke. Odabran je reprezentativni standardni proizvod iz grupe sličnih dijelova koji se učestalo ponavljaju u proizvodnji, te načinjen *CAD/CAM* program za 15 varijanti tog proizvoda prema režimima koji se upotrebljavaju u proizvodnji tvrtke. Varijante proizvoda razlikuju se u dimenzijama i značajkama kao što su utor, broj i veličina provrta i sl. Snimana je obrada prirubnica na CNC obradnim centrima i klasičnim tokarskim strojevima te je načinjena usporedba s proračunatim vremenima dobivenim iz simulacije obrade u programu *CATIA*. Definirani su korektivni faktori koji bi se upotrebljavali prilikom automatiziranog određivanja normi za ove proizvode.

Ključne riječi: strojna obrada, prirubnice, normiranje, *CAM* simulacija

SUMMARY

The thesis analyses the flange machining time at the company *Končar – MK*, with the purpose of making a base for the automation of standardisation of manufacturing time that could be implemented in the company's business process management software. A representative standard product was selected from a group of similar parts frequently recurring in production, and a CAD/CAM program was developed for 15 variations of this product, applying the machining regimes used in the company's production. Product variants differ in dimensions and features such as groove, holes, etc. The flange manufacturing on CNC machining centres and classical lathe machines was monitored and a comparison was made with the calculated times obtained from the simulation of the manufacturing in the *CATIA* program. Corrective factors were defined that would be used in automated standardisation of these products.

Key words: machining, flanges, standardization, *CAM* simulation

1. UVOD

U današnje doba na tržištu je velika konkurencija među proizvođačima. Poduzeća koja prave kvalitetne proizvode i pronašla su svoje mjesto na tržištu nastoje u najvećoj mogućoj mjeri sniziti svoje troškove kako bi u konačnici njihovi proizvodi imali što nižu prodajnu cijenu. Kako bi proizvodnja bila ekonomična, nužna je organizacija proizvodnje uz realno određivanje vremena izrade za pojedine operacije, tj. određivanje norme. Za određivanje normi potrebno je definirati tehnološki proces i odrediti vrijeme izrade prikladnim metodama. U okviru ovog projekta obradit će se načini određivanja vremena izrade i izračunavanja norme, kao i struktura tehnološkog procesa u proizvodnom poduzeću.

Pitanje koje danas postavljaju gotovo svi menadžeri poduzeća je kako pomiriti zahtjeve svih dionika, kako biti i ostati uspješan, te koje tehnike ili metode pri tome koristiti. Dio odgovora leži u poboljšanjima. Jedinstvene definicije poboljšanja nema, ali skoro svi se slažu u jednome: poboljšanja su promjene na bolje, sve ono što je pomak u odnosu prema trenutačnom, a donosi uštedu, financijsku ili funkcionalnu. [1]

Karakteristika današnjeg doba nesumnjivo je rastuća dominacija automatizacije, sve novije generacije elektroničkih računala, elektronička obrada podataka te uvođenje robota za obavljanje poslova koje je do sada obavljao čovjek. To ima svoje prednosti, ali su time stvoreni i mnogi problemi, naročito ako se ne vodi računa o čovjeku. Zato se danas sve više traži da se donose takva rješenja i stvore takvi uvjeti koji će osigurati humanizaciju rada. [2]

Činjenica je da se danas nove tehnologije vrlo dinamično razvijaju te da se ulažu znatna sredstva u postrojenja, strojeve, uređaje, alate i opremu sa svrhom da se proizvodi i posluje što uspješnije. No velika se korist ne može očekivati od primjene novih tehnologija, strojeva i postupaka, ako se ne posvećuje pažnja usklađivanju proizvodnog sustava te dobrom vođenju proizvodnog procesa u kojem se ta nova tehnologija primjenjuje. U mnogo poduzeća je, usprkos znatnim ulaganjima u modernizaciju, iskorištenje strojeva i opreme vrlo često jako nisko, pa se gubici vremena povećavaju i normativi vremena su posve nerealni. Stoga se

ciklus proizvodnje ne skraćuje, a proizvodnost rada ne povećava, što sve dovodi do toga da se ni obujam proizvodnje ne povećava, iako se upravo to očekivalo prilikom investiranja. [2]

To ukazuje na činjenicu da nisu dobro usklađeni odnosi u proizvodnom sustavu i da proizvodni proces nije dobro vođen, što zapravo znači da ne postoji dobra organizacija rada te da se ne primjenjuju načela koje ona zastupa. Posljedica toga je povećanje troškova proizvodnje s negativnim odrazom na cjelokupno poslovanje poduzeća. [2]

S druge je strane posve jasno da sva ta nova dostignuća ne bi imala tako brzu primjenu da se nije razvilo područje informatike pa je onda i razumljivo da je porastao značaj točne, potpune, sveobuhvatne i pravovremene informacije koja je posljedica odluka koje još uvijek mora donijeti čovjek. Od tih se odluka zahtijeva da osiguraju optimalno rješenje uzevši u obzir sve čimbenike o kojima ovisi takvo rješenje. Upravo zato improvizacija, samo iskustvo, besplodna i nepromišljena inicijativa, donošenje neodgovarajućih i brzopletih odluka za koje se ne zna kakve će biti posljedice predstavljaju vrlo opasne karakteristike koje danas ne bi smjele ni u kojem slučaju biti zastupljene ni u jednoj djelatnosti. [2]

Razumljivo je zato da se donošenje odluka ne može više prepustiti stihiji već se znanstvenim metodama trebaju prikupiti sve informacije, analizirati ih, razraditi alternativna rješenja i tek na taj način stvoriti osnovu za znanstveno donošenje odluka i to na svim područjima, pa tako i u organizaciji proizvodnje. [2]

2. STUDIJ RADA

Unutar područja organizacije rada i organizacije proizvodnje znanstvena disciplina studij rada, koja polazi od čovjeka i njegovog rada kao i od analize međusobnog djelovanja odnosa u sustavu čovjek – radno mjesto – okolina, uvelike pomaže kod rješavanja problema u proizvodnji. Iz povijesnog razvitka te discipline može se vidjeti da je upravo proučavanje ljudskog rada, i rješenja koja su iz toga slijedila, bila jedno od osnovnih u stvaranju i razvijanju organizacije proizvodnje i organizacije rada. [2]

Problem povećanja proizvodnje, određivanja točnog vremena izrade, kao i želja da se neki posao obavi sa što manje zamora, a da se što bolje i brže izvrši, postoji kod svakog rada. Zato se nastoji energiju potrebnu za rad što svrsishodnije upotrijebiti, kako bi se iskoristila sredstva za proizvodnju, a da se u krajnjoj liniji snize troškovi proizvodnje. Razvitkom tehnike i potrebom da se što više proizvodi, trebalo je riješiti ne samo probleme tehničke naravi, već se trebalo povesti računa i o ljudima koji rade. Došlo se do spoznaje, da će rad dobro napredovati samo onda, ako se uz poboljšanje metoda i načina rada misli i na poboljšanje uvjeta rada ljudi, te ako se strojevi i radna mjesta prilagode čovjeku koji s njima i na njima radi, a ne obratno. Neekonomično trošenje energije radnika, što je sigurno posljedica nesređenog načina rada i nestabiliziranog radnog mjesta, dovodi do umora radnika, a zamoren radnik sigurno manje uradi nego bi mogao i trebao. Kada radnik pravilno upotrebljava svoju energiju, smanjuje se njegov umor, a smanjenjem umora i olakšanjem rada kraće je vrijeme izrade, što dovodi do uštede i povećanja proizvodnosti. [2]

Metode studija rada pružaju mogućnost analize svakog rada, kao i čitave proizvodnje, a poslije analize i mogućnost za poboljšanje postojećeg načina rada te određivanje ispravnog vremena izrade koje je temelj za ispravno izračunanu normu. [2]

U području organizacije proizvodnje studij rada je disciplina čiji je zadatak da se znanstvenim metodama, logičkim, cjelovitim i sustavnim analizama nekog rada dođe do [2]:

1. optimalno oblikovanog načina rada prilagođavanjem radnog mjesta, metoda i uvjeta rada čovjeku

-
2. realno potrebnog vremena izrade te ispravno izračunate norme koja mora biti organizacijsko mjerilo humano oblikovanog rada.

Da bi se ostvarili zadaci, cilj i svrha studija rada moraju se obuhvatiti studij i analiza vremena, kojima se utvrđuje, u ovisnosti o metodama, sredstvima i radnim uvjetima, objektivno potrebno vrijeme za pravilno izvršavanje postavljenih zadataka uzimajući u obzir uvježbanost, normalno zalaganje i zamor izvršitelja rada. [2]

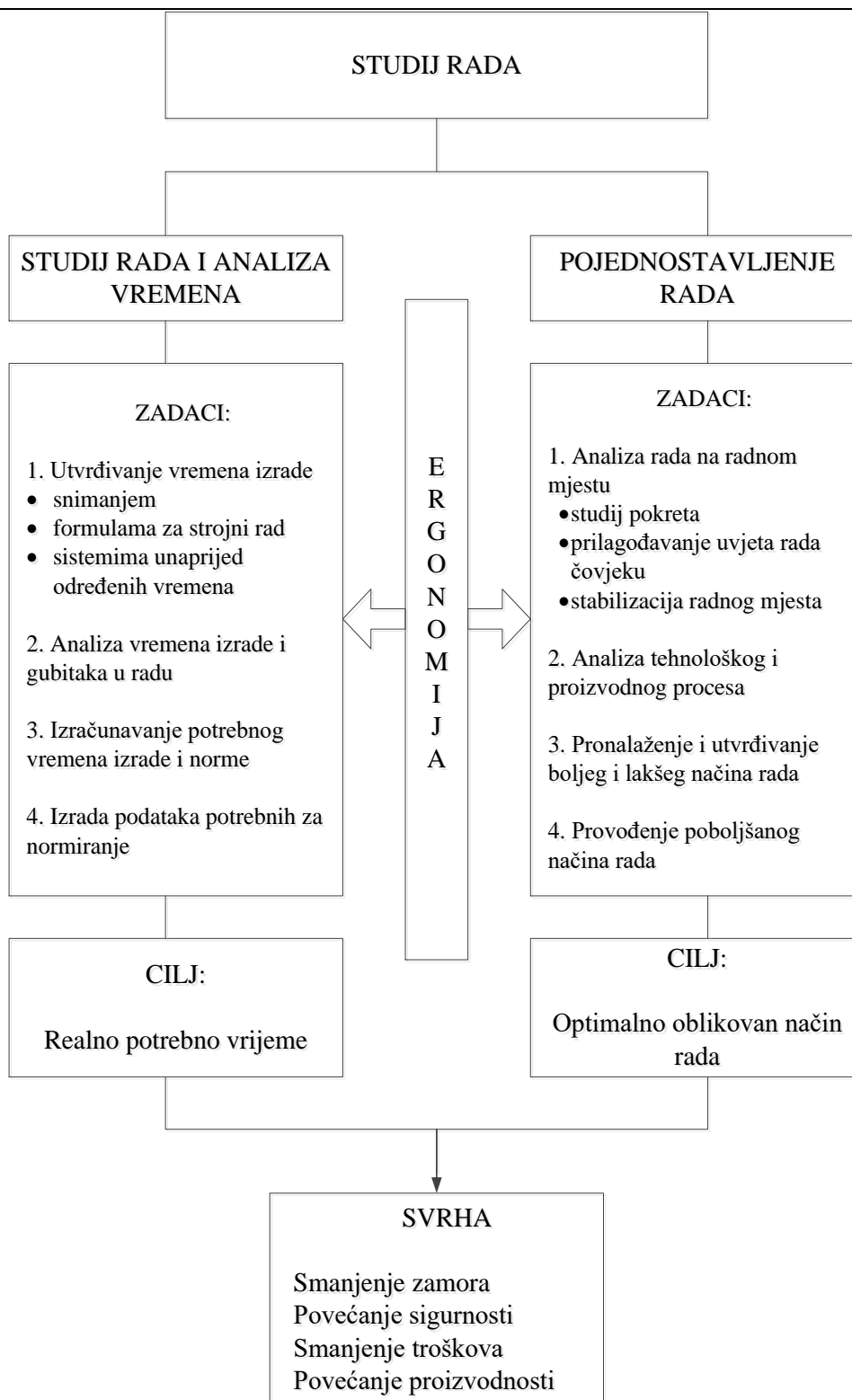
Pojednostavljenjem rada se pojednostavljuje, unapređuje te olakšava rad radnika, pri čemu se ne smije ni u kojem slučaju težiti povećanju brzine rada radnika, već primjeni najprikladnijeg ritma rada. [2]

2.1. Normiranje

Iz sheme podjele studija rada na slici 2.1 vidljivi su zadaci i cilj svakog dijela, te svrha zbog koje se provodi studij rada. U početku razvoja studija rada, a ponekad još i danas, govori se kod određivanja vremena o normiranju, no kako se iz zadataka na shemi vidi, posao studija i analize vremena je složeniji i raznolikiji no što je to normiranje. [2]

Naziv normiranje se danas primjenjuje samo za posao koji se sastoji u upisivanju izračunatih podataka o vremenu potrebnom za rad u neki dokument, koji može služiti i kao normativ ili kao osnovica za plaćanje. Taj posao mora vršiti tehnolog koji razrađuje i postavlja tehnološki proces, a analitičar vremena će se baviti utvrđivanjem, a zatim i analizom vremena izrade te analizom gubitaka vremena, da bi time postavio temelje za kasnije izračunavanje norme. Rezultat tog rada su razrađeni podaci vremena za standardne operacije ili zahvate koji su svrstani u tablice ili dijagrame. Naziva ih se često podloge za normiranje, a njima se služe tehnolozi. [2]

Cilj pojednostavljenja rada, često još nazvanog racionalizacija, jest da se nakon analize odvijanja rada tako oblikuje radno mjesto i uvjeti rada da oni budu prilagođeni čovjeku kako bi se olakšao njegov rad, što dovodi do humanizacije rada. [2]



Slika 2.1. Shema studija rada [2]

2.2. Primjena metode PDSA na studij rada

Six sigma je proizvodna strategija čija primjena doprinosi smanjenju i uklanjanju grešaka. Strategija podrazumijeva kreiranje grupa eksperata s različitim iskustvima u određenim područjima koji vode jedan od danih problema s ciljem rješavanja istog i dostizanja zadanog cilja. Primjenjuje se u procesima koji sadrže karakteristike koje se mogu mjeriti, analizirati, kontrolirati, a u svrhu njihovog poboljšanja. [3]

Metode *six sigme* inspirirane su PDCA metodom koju je prvi iznio William Edward Deming, američki inženjer, statističar i profesor. Naziv PDCA (ili PDSA) metoda dolazi od prvih slova riječi *Plan – Do – Check (Study) – Act* (planiranje – provedba – provjera – djelovanje). [3]

Planiranje podrazumijeva definiranje ciljeva i procesa potrebnih za ostvarenje cilja, provedba podrazumijeva implementaciju isplaniranih koraka, provođenje procesa ili proizvodnja proizvoda. Pri tome je važno pratiti sam proces te bilježiti njegovo odvijanje kako bi se kasnije mogao analizirati. U koraku provjere ili analize radi se analiza rezultata dobivenih i sakupljenih tijekom prethodnog koraka. Važno je imati očekivane rezultate definirane u samom početku, kako bi se moglo usporediti očekivano od dobivenog te sukladno tome djelovati. Posljednji korak je djelovanje – prema dobivenim rezultatima, definiraju se koraci koji će se poduzeti, a u svrhu poboljšanja procesa. [3]

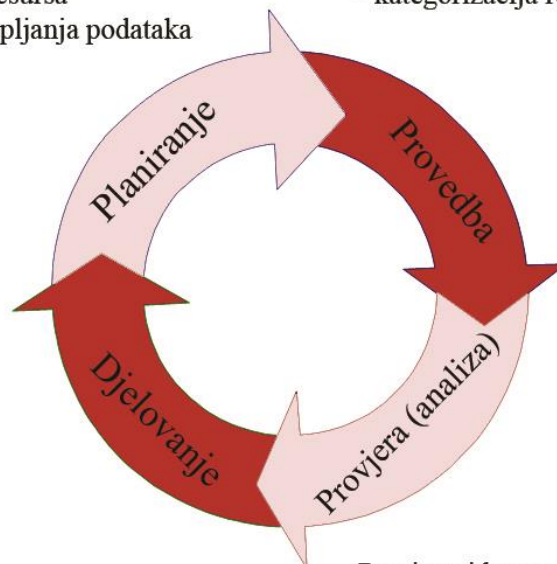
Isti pristup može se primijeniti i na studij rada, što je prikazano na slici 2.2. Korak provedbe u tom slučaju podrazumijeva mjerenje vremena, tj. utvrđivanje vremena izrade. [4]

Određivanje opsega rada

- dijagram toka procesa
- definiranje varijabli
- određivanje metode mjerenja rada
- procjena potrebnih resursa
- planiranje faze prikupljanja podataka

Mjerenje

- mjerenje rada (studij rada, mjerenje vremena)
- prikupljanje i snimanje podataka
- nadzor izlaza
- kategorizacija rezultata



Optimizacija

- prepoznavanje optimalnog stanja parametara
- određivanje dodjele resursa, planiranje rokova, itd.
- dokumentiranje.

Procjena i komunikacija

- analiza rezultata
- provjera trenutnog pristupa
- određivanje dostupnosti resursa
- informiranje o rezultatima
- izrada simulacijskog modela

Slika 2.2. Primjena metode PDSA na studij rada [4]

3. STUDIJ I ANALIZA VREMENA

U modernom načinu organiziranja proizvodnje problem utvrđivanja vremena izrade, utvrđivanja svih gubitaka vremena te izračunavanje opravdanih gubitaka, kao i izračunavanje vremena izrade i norme, treba riješiti na zadovoljavajući način, ako se želi imati realne podatke s pomoću kojih će se moći donositi optimalne i ispravne odluke. [2]

Realno određivanje vremena izrade jedno je od temeljnih pokazatelja i mjerila rada, te tako od velikog značenja i važnosti za poduzeća. Poznavanje realnog vremena nužno je u bilo kojoj proizvodnji, a još je veće značenje pravilno izračunate norme u cilju snižavanja troškova i povećanja proizvodnje, budući da ona mora služiti kao orijentacija za sve ono što se može i mora postići, a ne za ono što već postoji ili je postignuto. Norma izražava vrijeme koje treba utrošiti na neki rad, a ne novčani iznos koji je izračunat na temelju norme, jer se on može mijenjati od vremena do vremena, dok se jednom dano vrijeme izrade može mijenjati jedino onda ako se promijeni jedan od uvjeta pod kojim je norma bila postavljena. [2]

Da bi se utvrdilo vrijeme izrade i izračunala norma, koja mora biti točan i realan podatak kojim se može služiti u proizvodnji bez bojazni da prikazuje krivo stanje, moraju se primijeniti točno određene metode i tehnike. Ako se želi te metode i tehnike pravilno primijeniti, mora ih se dobro naučiti i još bolje znati provoditi, tim više što kod toga sudjeluje i ljudski faktor. [2]

Izračunati normu ne znači samo snimati vrijeme izrade ili još lošije, određivati to vrijeme po iskustvu, već je pritom potrebno, uz pravilno snimanje, analizirati uzroke varijacija vremena izrade i gubitaka, objasniti ih i na kraju pronaći realno vrijeme, potrebno za izvršenje nekog zadatka u određenim normalnim uvjetima rada za prosječnog radnika, a sve u ovisnosti o ljudskim mogućnostima i raspoloživim sredstvima. [2]

Realna norma je jedan od osnovnih normativa u organizaciji proizvodnje tim više što temelji znanstvenog rukovođenja proizvodnjom upravo i počivaju na točnim i realnim vremenskim normativima, stabilizaciji radnih mjesta i metoda rada, proučavanju pokreta i racionalizaciji, što sve doprinosi realnijim planovima i koordinaciji rada svih djelatnosti. [2]

3.1. Definicija norme

Norma je vrijeme koje je potrebno prosječno uvježbanom i određeno kvalificiranom radniku, da, pod normalnim pogonskim okolnostima, s propisanim sredstvima, na točno određeni način, uz normalno zalaganje i zamor, obavi točno definirani posao. [2]

Iz definicije norme dakle slijedi da će se moći govoriti o realnoj normi koja će izraziti kvantitetu uz traženu kvalitetu tek onda kad se propiše, a još više kad se radnik toga pridržava, treći uvjet iz kojeg zapravo slijede i kvantiteta i kvaliteta, a to je pridržavanje metoda rada. [2]

Norma se dakle, kao realno mjerilo rada, može odrediti tek onda kad bude ispunjen uvjet poštivanja metoda rada, što slijedi iz tehnološkog procesa. U praksi, međutim, u ne malo slučajeva nerealno izvršenje norme nastaje zbog promjene propisanih metoda i režima rada od strane radnika. [2]

Kako su se tehnike i metode rada razvijale i poboljšavale, tako su se razvijale i poboljšavale metode utvrđivanja vremena. Došlo se do novih postavki kao i do novih metoda, gdje matematička statistika i teorija vjerojatnosti uvelike pomažu da se dođe do ispravnih zaključaka, a time daje i garanciju da će vremena koja se izračunaju imati onu točnost koju ta znanost i jamči. [2]

Postoji nekoliko načina i metoda na koje se može mjeriti rad. Osnovna procedura, neovisno o metodi mjerenja, sastoji se od tri faze [5]:

- faza analize, gdje se rad razdijeli u prikladne, zasebne dijelove, tzv. sastavne elemente rada
- faza mjerenja, gdje se primjenjuju posebne tehnike mjerenja kako bi se odredilo vrijeme potrebno da kvalificirani radnik definirane razine vještine završi svaki element rada
- faza sinteze u kojoj se dodaju različita elementarna vremena, za izradu norme za cjelokupni posao.

Pristup utvrđivanju vremena izrade promijenio se s vremenom. Dok se prije utvrđivalo vrijeme za pojedini dio ili komad (od tuda naziv komadno vrijeme ili komadna norma), sada

se težište stavlja na utvrđivanje vremena pojedinih operacija ili zahvata. Na taj se način stvaraju podloge za tehnologe, u kojima su sređena vremena po sastavnim elementima (pripremno-završno, tehnološko i pomoćno vrijeme). Zato kod takvog načina otpada pitanje određuju li se vremena u pojedinačnoj, serijskoj ili masovnoj proizvodnji (ako se kod toga misli na količinu proizvoda u seriji), jer se zahvati odnosno operacije, s pomoću kojih se neki rad obavlja, stalno ponavljaju. Problem kod toga je samo odrediti čimbenike o kojima ovisi vrijeme za pojedinu operaciju, jer vrijeme je funkcija faktora koji na njega utječu. [2]

Kod ručnih radova ti su faktori, za razliku od onih kod strojnih, mnogobrojni i varijabilni te često teško obuhvatljivi za kvantificiranje jer ovise o organizaciji proizvodnje, metodama rada na radnom mjestu te na kraju o čovjeku koji izvršava posao. [2]

3.2. Sastavni elementi vremena rada

Ukupno vrijeme rada koje je potrebno da se izvede neki posao zadan radnim nalogom sastoji se od sljedećih elemenata [2]:

- t_{pz} – pripremno-završno vrijeme, potrebno je za pripremanje radnog mjesta za neki posao, te uređenje tog mjesta nakon rada.
- t_t – tehnološko vrijeme, označava ono vrijeme koje je potrebno za izvršavanje nekog efektivnog rada, odnosno kada se događa promjena oblika, dimenzije ili strukture materijala, bez obzira da li se obavlja ručno ili strojem.
- t_p – pomoćno vrijeme, ono vrijeme koje je potrebno za obavljanje pomoćnih poslova koje omogućuju da se izvedu tehnološki.
- t_d – dodatno vrijeme, služi za kompenzaciju onih gubitaka koje ima radnik tijekom dana, a nije za njih kriv.

Tehnološko i pomoćno vrijeme zajedno naziva se vrijeme izrade, i to je ono vrijeme kada se nešto događa na predmetu obrade.

3.2.1. Pripremno-završno vrijeme

Da bi se mogao nesmetano obavljati posao na bilo kojem radnom mjestu, treba ga pripremiti za rad. Vrijeme koje je potrebno za sve pripreme, kako bi se rad mogao ispravno obavljati,

naziva se pripremno vrijeme (t_p). Nakon završetka posla na cijeloj seriji proizvoda, radno mjesto mora se dovesti u prvobitno stanje, a za to utrošeno vrijeme naziva se završno vrijeme (t_z). Oba vremena zajedno odnose se na čitavu seriju, a sačinjavaju pripremno-završno vrijeme (t_{pz}), koje se obavlja samo jednom u jednoj seriji. Zato se udio pripremno-završnog vremena za jedan proizvodni komad smanjuje porastom broja komada u seriji. [2]

Veličina pripremno-završnog vremena određena je tehnološkim procesom, složenošću posla, uvježbanošću radnika i stupnjem organizacije proizvodnje. Utjecaj ovog vremena na normu, a neposredno i na troškove proizvodnje, naročito je osjetan pri dugotrajnim podešavanjima i malom broju proizvoda u jednoj seriji. [2]

Ako se analizira struktura vremena za neki posao, vidjet će se da pripremno-završno vrijeme može utjecati na ekonomičnost podjele vremena, i to zato što će ono nekad biti u udjelu cjelokupnog vremena veće nego je to vrijeme izrade. Uvijek se želi da vrijeme izrade bude postotno najveće, jer je to proizvodno vrijeme. Pripremno-završno vrijeme se za ručne radove mora utvrditi snimanjem ili sustavom unaprijed određenih vremena, a treba ga nastojati što više skratiti. [2]

3.2.1.1. Pripremni radovi

Pripremni radovi uključuju [2]:

1. Upoznavanje s dokumentacijom, radom i naputcima,
2. Dobivanje (na radnom mjestu) materijala pripremljenog za obradu, alata i pribora, odnosno uzimanje toga sa skladišta,
3. Pripremanje radnog mjesta (namještanje, provjeravanje, učvršćivanje i skidanje pribora i alata, premještanje pojedinih dijelova i uređaja, te podešavanje uređaja za traženi režim rada),
4. Izvršavanje postupka u vezi s pokusnom obradom.

Dok su vremena radova od 1 do 3 ovisna o radnom mjestu, ona pod točkom 4 ovisna su još i o obliku i dimenzijama predmeta. Zato je potrebno da se vremena za obavljanje probne obrade ustanove za sve predmete koji se na nekom radnom mjestu obavljaju. [2]

3.2.1.2. Završni radovi

Završni radovi uključuju [2]:

1. Predaja gotovog izratka, materijala i dijelova
2. Pospremanje radnog mjesta i dovođenje u početno stanje (skidanje pribora, alata, dijelova uređaja itd.)
3. Vraćanje alata, naprava i pribora u skladište.

Pripremno-završna vremena se mogu još ustanoviti i snimanjem slikom radnog dana, a može se primijeniti i metoda trenutačnih zapažanja, samo što će se snimljeni rezultati morati pretvoriti u vrijeme. [2]

3.2.1.3. Tehnološko vrijeme

Onaj dio vremena izrade koji je potreban da se obavi posao izravno povezan s promjenom oblika, položaja, izgleda ili svojstava materijala ili predmeta obrade u smislu tehnološkog procesa, bez obzira obavlja li se ručno ili strojem, zove se tehnološko vrijeme. Tehnološko vrijeme je jedino u normi izravno korisno, pa zato treba nastojati da njegov udio bude najveći. Svaku novu normu treba analizirati po sastavnim elementima, a za svaki element odrediti njegov udio u normi. Ako na tehnološko vrijeme otpada mali udio u normi, to je znak da treba poduzeti neke tehničke ili organizacijske mjere, tj. pojednostavniti rad da bi se smanjila sva ostala vremena u normi i tako poboljšao njen sastav. Utječući na način i režim rada može se smanjiti tehnološko vrijeme, a time i normu. Tehnološko vrijeme određeno je načinom i propisanim režimima rada. Ono može biti [2]:

- a) strojno vrijeme t_a , tj. vrijeme rada automatike stroja, a to je ono vrijeme kada stroj sam obavlja posao
- b) strojno-ručno vrijeme t_{ar} , tj. vrijeme kada rade zajedno radnik i stroj
- c) ručno vrijeme t_r , tj. ono vrijeme kad radi samo radnik.

Određivanje tehnološkog vremena vrši se u procesu obrade na strojevima, dakle za čisto vrijeme rada automatike stroja t_a , s pomoću formula, tablica i dijagrama s kojima se može dobiti vrijeme obrade ako su poznati režimi rada. U drugim slučajevima, dakle za strojno-ručni t_{ar} i ručni rad t_r , određivanje tehnološkog vremena moguće je samo snimanjem, ili sustavima unaprijed određenih vremena. [2]

Tehnološka vremena treba snimati tako da se odabiru srodne grupe poslova, odnosno operacija, kako bi ih se kasnije moglo lako srediti u tablice ili dijagrame, koji služe i za dužu upotrebu i za određivanje vremena izrade unaprijed. To je moguće izvesti zato što se predmeti i materijali, iako dobivaju različite izgleda i oblike, ipak rade istim ili sličnim operacijama, zahvatima ili pokretima, pa ih se onda i lako svrstava u srodne grupe. Tako će biti moguće da se, kao i pri konstruiranju dijelova gdje postoji standardizacija, i ovdje grupiraju pojedine srodne grupe poslova i operacija, kako bi se lakše svrstale u tablice i dijagrame. [2]

3.2.1.4. Pomoćno vrijeme

Vrijeme potrebno za obavljanje pomoćnih poslova, koji omogućuju izvođenje tehnoloških, naziva se pomoćno vrijeme. Pomoćna vremena mogu biti posve ručna, dakle vrši ih radnik, mogu biti ostvarena zajedničkim radom stroja i radnika, te posve automatska, a ponavljaju se u načelu pri svakoj obradi predmeta ili materijala. [2]

Pomoćni radovi mogu biti [2]:

- namještanje, premještanje i skidanje predmeta obrade,
- razna mjerenja i kontrole unutar rada,
- puštanje stroja u rad i zaustavljanje dugmetom ili prekidačem,
- uzimanje predmeta ili materijala te alata iz sanduka ili s nekog mjesta,
- uključivanje ili isključivanje vretena,
- promjena broja okretaja, odnosno režima rada u toku rada,
- pritezanje ili olabavljenje alata ili naprava, te približavanje ili udaljavanje cijevi za hlađenje,
- promjena alata, naprava na stroju u toku rada (ne početno),
- stezanje materijala ili predmeta u stroj,
- pomak ili posmak materijala, prazan hod alata i stroja,
- nanošenje ulja na materijal četkom ili pliticom itd.

Pomoćna vremena valja svesti na minimum, kako bi u normi učestvovala sa što manjim udjelom, jer ne utječu izravno na promjenu samog proizvoda u toku procesa rada. Veličina pomoćnih vremena ovisi prije svega o tehnološkom procesu izrade, a zatim o vrsti alata i

naprava kojima se radnik služi. Dobro razrađenim procesom, uporabom prikladnih naprava, dobrom organizacijom i stabilizacijom radnog mjesta, te sustavnim podučavanjem radnika u izvršavanju posla, mogu se smanjiti pomoćna vremena, a time i vrijeme izrade. [2]

Pomoćna se vremena, kao i tehnološka, određuju s pomoću formula ako su čista vremena automatike stroja, ili snimanjem za strojno-ručna i ručna vremena, te sustavima unaprijed određenih vremena. [2]

3.2.1.5. Dodatno vrijeme

Kad bi se normu odredilo tako da se samo sumira tehnološko i pomoćno vrijeme, tj. kad bi se samo njih dalo kao vrijeme izrade i takvim se služilo u proizvodnji, dogodilo bi se da takvu normu radnik ne bi mogao dostići ili bi to uspio samo u izuzetnom slučaju uz povećan napor. Razlog leži u tome što u toku jednog dana postoje razdoblja vremena kad radnik ne radi, i to ne zbog svoje krivice, već zbog djelovanja raznih okolnosti pri radu. Da bi se takvi gubici radnog vremena pokrili, vremenima treba dodati izvjestan postotak vremena koji će služiti kao kompenzacija tih gubitaka. To vrijeme se naziva dodatno vrijeme. [2]

4. NAČINI ODREĐIVANJA VREMENA IZRADE

Ima nekoliko načina određivanja vremena izrade, od kojih svaki ima svoje prednosti i mane. U principu se svaki od tih načina može primijeniti u svim uvjetima proizvodnje, ali obično neće biti ekonomično upotrebljavati neki drugi osim onoga koji za te prilike najbolje odgovara. Prije nego li se odluči za neki sustav određivanja vremena izrade, mora se odabrati najekonomičniji način. Poblježe će se razmotriti tri načina određivanja vremena izrade: [2]

- snimanje,
- formule za strojni rad,
- sustavi unaprijed određenih vremena (S.U.O.V.)

Izbor prikladne tehnike mjerenja ovisi o raznim faktorima, od kojih su najvažniji sljedeći: [5]

- svrha mjerenja
- zahtijevana razina detaljnosti mjerenja
- vrijeme koje je dostupno za mjerenje
- postojanje dostupnih unaprijed određenih podataka
- trošak mjerenja.

4.1. Određivanje vremena izrade snimanjem

Najstarija, najraširenija i najpoznatija metoda određivanja vremena izrade po sastavnim elementima je snimanje vremena kronometrom (štopericom). Iako jedna od najstarijih metoda, ona je i danas još uvijek najviše primjenjivana, a u novije vrijeme i znanstveno razrađena te poboljšana, postavljajući joj kao osnovicu matematičku statistiku i teoriju vjerojatnosti. [2]

Metodu snimanja kronometrom treba rabiti za prikupljanje osnovnih podataka za tipične vrste poslova. Promotri li se bilo koji rad, primijetit će se da se on uvijek sastoji od istih grupa operacija, zahvata ili pokreta, te iako se vrše različiti poslovi i izrađuju različiti dijelovi, uvijek se prilikom izrade služi istim ili sličnim grupama operacija. Prema tome može se grupirati pojedine grupe srodnih operacija, zahvata ili pokreta te samo njih snimati, kako bi se

ustanovilo njihova vremena izrade, te ih se kasnije svrstalo u tablice i dijagrame zbog normiranja. [2]

Oprema za snimanje sastoji se od [2]:

- a) osnovnih instrumenata za snimanje (kronometar, instrumenti za registraciju vremena, filmska kamera)
- b) pomoćnih instrumenata (metar, termometar, higrometar)

4.2. Određivanje vremena izrade formulama za strojni rad

Iako se za određivanje vremena strojnih radova može primijeniti i metoda snimanja vremena kronometrom, ipak se strojna vremena moraju određivati s pomoću već poznatih formula. Razumljivo je da se pri tome moraju dobro poznavati tehnološki proces i režimi rada. Osnovna jednadžba za određivanje vremena strojnih radova, tj. čiste automatike rada stroja dana je izrazom [2]:

$$t_a = \frac{L}{n \cdot s} \text{ [min]}$$

Ako postoji više prijelaza pri konstantnom odvijanju rada vrijeme će biti:

$$t_a = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{L \cdot Z}{n \cdot s \cdot a} \text{ [min]}$$

gdje su:

- t_a – strojno vrijeme (vrijeme automatike stroja)
- L – put alata po duljini (mm)
- n – broj okretaja ili dvostrukih hodova na min
- s – posmak (mm/okretaju) ili (mm/dvostruki hod)
- i – broj prijelaza (rezova)
- a – dubina rezanja (mm)
- Z – dodatak za obradu (mm)

Iz jednadžbe slijedi da će strojno vrijeme biti najkraće kada umnožak ($n \cdot s$) bude najveći, a vrijednost (i) najmanja. Maksimalna vrijednost za ($n \cdot s$) može se postići ako se povećaju oba ili samo jedan faktor. Kako (n) ovisi o brzini rezanja koja je potrebna za obradu, a (s) o finoći

površine koja se obrađuje ili o dopustivim silama, maksimalna vrijednost umnoška ($n \cdot s$) bit će određena konkretnim radnim uvjetima, pa prema tome može biti i različita. [2]

Za određivanje strojnih vremena upotrebljavaju se razrađene podloge. Podloge strojnih vremena mogu se izrađivati u obliku tablica ili dijagrama već prema svrsi primjene. Prednost tablica je u tome što su vrlo pregledne i jednostavne za upotrebu. Nedostatak je što se nekad mora vršiti interpolacija vrijednosti, a ne poznaje se zakonitost promjene. Podaci svrstani u dijagrame imaju prednost što pravci ili krivulje pokazuju zakonitost pa se može očitati vrijeme za svaku varijablu. Nedostatak im je što se, naročito kod manjih dijagrama, prava vrijednost teže očitava. [2]

4.3. Određivanje vremena izrade sustavima unaprijed određenih vremena (SOUV)

Promatrajući rad, te analizirajući svaki izvedeni pokret, dolazi se do zaključka da ljudi za izvođenje radova upotrebljavaju uvijek nekoliko istih jednostavnih pokreta. Kombiniranjem tih osnovnih pokreta čovjek ipak može obavljati vrlo različite poslove. Imajući to u vidu, došlo se na pomisao da bi se moglo određivati i vrijeme izrade na temelju tih osnovnih pokreta, odnosno na temelju vremena koja su potrebna za obavljanje pojedinih osnovnih pokreta. [2]

Da bi se moglo određivati vrijeme izrade prema osnovnim, ili često nazvanim i mikropokretima, trebalo je odrediti koliko dugo traje izvršenje svakog od njih. Budući da je riječ o vrlo kratkim vremenima, nemoguće je pratiti ih okom i snimati kronometrom, to više, kad se zna da najbolji snimači mogu snimati tek zahvate koji nisu kraći od 2 do 3 s. Zato je za snimanje osnovnih pokreta uporabljena filmska kamera, jer se na razvijenom filmu i projekciji tog filma može točno pratiti put kretanja ruke ili nekog drugog dijela tijela. Prema broju snimaka koje obuhvaća pokret ili očitavajući vrijeme na mikrokronometru u polju snimanja lako je ustanoviti vrijeme njegova trajanja. [2]

Ideja o osnovnim pokretima bila je vrlo primamljiva za određivanje vremena izrade jer se kod snimanja vremena kronometrom vrši procjena zalaganja za koju se tvrdilo da je subjektivna. Da bi se određivanje vremena izrade oslobodilo problema s procjenom zalaganja, te da bi se moglo odrediti vrijeme za najkraće pokrete kao i da bi se ta vremena mogla kasnije unaprijed odrediti (prije izvršavanja rada), došlo se do novih metoda određivanja vremena izrade prema

osnovnim, odnosno mikropokretima. Sve metode za takvo određivanje vremena nazvane su metodama unaprijed određenih vremena. Do njih se došlo sustavnim radom na velikom broju snimljenih osoba, vodeći računa o mnogo faktora koji utječu na vrijeme izrade, kao što su: dužina pokreta, težina tereta, oblik predmeta, vrsta pokreta i slično. [2]

Postoji nekoliko metoda unaprijed određenih vremena [2]:

- MTM – *Methods Time Measurement*
- MOST – *Maynard Operation Sequence Technique*
- RTM – *Robot Time Motion*
- WFS – *Work Factor System*
- BMT – *Basic Motion Timestudy*
- DMT – *Dimensional Motion Times*
- MTA – *Motion Time Analysis*
- MCD – *Master clerical data.*

Sve ove metode temelje se na činjenici da se svaki pokret sastoji od stanovitog broja osnovnih pokreta, pa se prema tome može na njih i rastaviti. Vremena za te osnovne pokrete složena su pregledno u tablicama te se kombiniranjem i sumiranjem vremena dobiva potrebno vrijeme ukupnog zahvata. Vremenske jedinice koje su svrstane u tim tablicama dane su za prosječnog čovjeka, tako da je i vrijeme koje se dobiva s pomoću njih normalno vrijeme. [2]

Sve navedene metode upotrebljavale su se u početku samo za određivanje vremena izrade, koje je služilo kao osnova za normiranje, no većom primjenom u praksi postale su i sredstvo za poboljšanje načina rada. [2]

Prednosti ovih metoda [2]:

- vremena izrade dobivena na taj način vrlo su točna,
- otpada snimanje vremena kronometrom, a time i procjena zalaganja,
- rezultati dobiveni na taj način objektivni su, jer su osnovni podaci o potrebnim vremenima dobiveni na temelju promatranja velikog broja ljudi i vrijede za prosječnog čovjeka,
- budući da se vremena mogu unaprijed ustanoviti, to služi i za predkalkulaciju,

-
- rastavljajući zahvate na osnovne pokrete dobiva se temelj za pronalaženje boljeg načina rada i određivanje ekonomičnijeg procesa rada, a time i za stabilizaciju radnog mjesta i uvjeta rada,
 - zahtijeva se bolja poduka radnika o načinu rada, a time i bolje izvršavanje rada,
 - omogućuje se izbor pogodne opreme, alata i naprava,
 - daju se smjernice za bolju konstrukciju proizvoda,
 - omogućuje se određivanje normalnih vremena za razne ručne radove.

Velika je korist tih metoda što se određivanjem vremena izrade, tijekom odvijanja rada može tako podesiti (kombinacijom raznih pokreta) da se dobije najmanje moguće vrijeme potrebno za obavljanje rada. Osim toga mogu se prilikom prijedloga novog načina rada unaprijed izračunati razlike vremena s obzirom na stari način rada, pa se tako može unaprijed izračunati i ušteda koja će nastati. [2]

5. TEHNOLOŠKI PROCESI

Danas su u proizvodnji sveprisutne teme: tržišni zahtjevi, kvaliteta proizvoda i primjena proizvodnih tehnika temeljenih na *visokim tehnologijama*. Njihovo ostvarenje u smislu realne i produktivne akcije nužan je preduvjet za promjene industrijskih znanja i stvaranje moderne proizvodnje, koji su mogući samo uz pomoć dovoljnog broja visokoobrazovnih proizvodnih stručnjaka. Centralni sadržaj programa njihove izobrazbe je planiranje tehnoloških procesa (eng. *Process planning*, nj. *Process Planung*). [6]

Tehnološki proces osnova je svake proizvodnje i daje joj temeljne značajke. O tehnološkom procesu u velikoj mjeri ovisi, u kojoj kvaliteti i s kojim troškovima će biti proizveden neki proizvod. [6]

Radeći na svom zadatku tehnolog utječe postupno, ali stalno, na usavršavanje tehnološkog procesa i procesa proizvodnje. Da bi se postigao što veći uspjeh, problemi se rješavaju sustavno, a on njima ovisi konačni rezultat u proizvodnji. [6]

Redoslijed rada tehnologa je uglavnom sljedeći [6]:

- analiza konstrukcije proizvoda i njegovih dijelova, na temelju podataka dobivenih od konstruktora proizvoda
- izbor najprikladnijeg oblika, vrste i dimenzija sirovine za proizvodnju
- izbor najboljeg redoslijeda operacija i postupaka u tehnološkom procesu
- izbor radnog mjesta za svaku operaciju, uza sva potrebna sredstva i pomagala
- propisivanje najboljeg režima rada za svaku operaciju
- provjera kako se ostvaruju zamisli tehnologa, te korekcija ranijih propisa.

Planiranjem (projektiranjem) tehnološkog procesa utvrđuju se način i metode izrade/proizvodnje određenog proizvoda/dijela proizvoda koji općenito uključuju određen broj koraka/operacija pri pretvaranju ulaznih elemenata (poluproizvodi, dijelovi) u gotove dijelove/proizvode. [6]

Planiranje procesa, kao temeljne aktivnosti tehnološke pripreme proizvodnje, započinje proučavanjem konstrukcijske dokumentacije, odnosno proučavanjem načina izvedbe proizvoda i dijelova proizvoda, a rezultira završno izvedenim planom procesa. [6]

Cilj koji se želi postići kod planiranja procesa je stvaranje uvjeta za optimalnu proizvodnju, koju obilježavaju [6]:

- optimalna kvaliteta
- optimalni troškovi
- optimalni ciklus proizvodnje.

S obzirom na međusobno interaktivno djelovanje potrebno je pri tom uskladiti međusobni odnos ove tri varijable.

5.1. Proizvodni proces i tehnološki proces

5.1.1. Proizvodni proces

Proizvodni proces obuhvaća sve aktivnosti i djelovanja vezana za proizvodnju od skladišta ulaznog materijala do skladišta gotovih proizvoda koji rezultiraju pretvorbom poluproizvoda u gotove proizvode. [6]

Proizvodni proces podrazumijeva [6]:

- pripremu materijala (poluproizvoda)
- unutrašnji transport (međupracijski i međuskladišni)
- proizvodnju (izradu) dijelova na alatnim strojevima kao i toplinsku obradu
- montažu
- kontrolu i ispitivanja
- površinsku zaštitu
- izradu alata i proizvodne opreme
- međuskladištenje i pakiranje

Sve ove aktivnosti i događaji na određen način sudjeluju na izravan ili neizravan način u pretvaranju ulaznih elemenata u izlazne elemente iz procesa uz sudjelovanje i uporabu opreme, ljudi i organizacije. [6]

5.1.2. Tehnološki proces

Tehnološki proces predstavlja dio proizvodnog procesa koji je izravno vezan za promjenu oblika, dimenzija, stanja površine i svojstava materijala (fizikalna i kemijska) od sirovog stanja do gotovog proizvoda, tj. uključuje sve aktivnosti koje rezultiraju kvalitativnim promjenama pri pretvaranju ulaznog materijala u gotov proizvod. Te promjene izvode se u određenim koracima (operacijama) na pojedinim radnim mjestima. [6]

Kad se radi o kompleksnom proizvodu, tada sve kvalitativne promjene čine integralni tehnološki proces izrade proizvoda.

Polazeći od postupnosti prerade osnovnih materijala (sirovina) u finalni proizvod primjenom različitih postupaka može se izvršiti podjela integralnog tehnološkog procesa na tehnološke cjeline karakteristične za pojedinu vrstu proizvodnje, odnosno specifična proizvodna područja.

U tom smislu integralni tehnološki proces dijeli se na tri područja, koja u općem slučaju predstavljaju tri faze pretvorbe [6]:

1. Proizvodnja poluproizvoda odnosno tehničkih tvorevina, koje se u drugoj fazi podvrgavaju daljnjoj pretvorbi:
 - valjanje
 - kovanje
 - lijevanje
 - prešanje
 - toplinska obrada
 - zavarivanje
 - sinteriranje
 - površinska zaštita.

2. Proizvodnja dijelova

- obrada odvajanjem čestica
- toplinska obrada
- nanošenja (metalizacija, galvanizacija, plastifikacija, bojanje)
- deformiranje na hladno
- injekcijsko prešanje (plastike)

3. Montaža podsklopova, sklopova i finalnog proizvoda

- spajanje vijcima
- uprešavanje
- plastično deformiranje
- zavarivanje
- lemljenje
- lijepljenje
- površinska zaštita.

5.2. Obradni sustav

Obradnim sustavom (OS) naziva se grupu materijalnih elemenata koji izravno sudjeluju u realizaciji aktivnosti tehnološkog procesa izrade dijela proizvoda: stroj, naprava/stezni pribor, rezni alat i obradak. [6, 7]

Pri izvođenju operacije obradni sustav ima karakteristike dinamičkog sustava, u kojem svaki element obradnog sustava djeluje na određen način na sustav kao cjelinu, uz povratno djelovanje obradnog sustava na pojedine elemente. Pri tom je prisutan i utjecaj poslužitelja na proces i rezultate procesa. [6]

Uzimajući u obzir objektivne međuovisnosti u sustavu stroj-naprava-alat-obradak, potrebno je prilikom definiranja operacije, kao jedne cjeline tehnološkog procesa, među ostalim riješiti probleme koji se javljaju u obradnom sustavu tijekom izvođenja operacije s gledišta: utjecaja ulaznih svojstava materijala izrade, podatljivosti i deformacija elemenata obradnog sustava, temperature, vibracija i unutarnjih naprezanja u obratku, te njihovog kompleksnog djelovanja i utjecaj na izbor režima rada i točnost obratka. [6]

5.3. Proizvodni sustav

Proizvodni sustav (PS) jest sustav na kojem se realizira tehnološki proces određenog proizvoda, dijela proizvoda ili grupe dijelova. Ima ograničeni raspored radnih mjesta namijenjenih i opremljenih za izvršenje određenog radnog zadatka (tehnološkog procesa) međusobno povezanih materijalnim tokom i tokom informacija. [6]

Pojedini proizvodni sustavi međusobno se u najvećoj mjeri razlikuju s obzirom na rješenja podsustava povezivanja, koji pak najviše ovise o prostornom rasporedu radnih mjesta u sustavu.

Modeli PS-a [6]:

1. PS prema vrsti radnih mjesta (raspored prema postupku)
2. PS prema proizvodu (proizvodne linije)
3. PS sličnog redoslijeda korištenja
4. Fleksibilni proizvodni sustavi.

5.4. Ciklus izrade i ciklus proizvodnje

5.4.1. Ciklus izrade

Ciklus izrade podrazumijeva ukupno vrijeme izvođenja svih operacija (aktivnosti), kao i trajanje tehnički i organizacijski uvjetovanih prekida pri proizvodnji jednog izratka. Ovi prekidi su predviđeni i vremenski se mogu odrediti. To su transport, međuskladištenje i kontrola. [6]

$$t_{CI} = \sum_{1}^{n} t_{Oi} + \sum_{1}^{m} t_{tj} + \sum_{1}^{r} t_{mk} + \sum_{1}^{p} t_{kl}$$

gdje je:

- t_{CI} – vrijeme ciklusa izrade
- t_{Oi} - vrijeme i – te operacije, $i = 1,2,3, \dots n$
- t_{tj} – vrijeme j – tog transporta, $j = 1,2,3, \dots m$
- t_{mk} – vrijeme k – tog međuskladištenja, $k = 1,2,3, \dots r$
- t_{kl} – vrijeme l – te kontrole, $l = 1,2,3, \dots p$

Ukupno vrijeme svih operacija naziva se i tehnološkim ciklusom:

$$t_{TC} = \sum_{1}^n t_{Oi}$$

Vrijeme ciklusa izrade može se i jednostavnije izraziti kao zbroj vremena tehnološkog ciklusa i ukupnog vremena tehnički i organizacijski uvjetovanih prekida u odvijanju tehnološkog procesa:

$$t_{CI} = t_{TC} + t_P$$

Ciklus izrade iskazuje se ili za jedinicu proizvoda (dijela) ili za određenu količinu s kojom se ulazi odjednom u proizvodnju. Ovo vrijeme se može točno odrediti.

Duljina ciklusa izrade primarno ovisi o složenosti proizvoda i količinama. Vrijeme t_{TC} raste sa složenošću proizvoda zbog veće složenosti i većeg broja operacija, ali pada kod većih količina, zbog primjene produktivnijih postupaka i opreme. [6]

5.4.2. *Ciklus proizvodnje*

Ciklus proizvodnje podrazumijeva kalendarski odsječak vremena u kojem se odvija proizvodni proces uključujući i prekide (neradne smjene, neradni dani, zastoji zbog kvarova opreme, štrajk itd.) koji nisu uvjetovani tehničkim i organizacijskim postavkama procesa. [6]

Ciklus proizvodnje:

$$t_{CP} = t_{CI} + t_C$$

Prema tome ciklus proizvodnje je ukupno vrijeme koje uključuje određeno nužno potrebno vrijeme ciklusa izrade i u pravilu promjenjivo ukupno vrijeme raznih čekanja, koja produžuju vrijeme boravka proizvoda u procesu. [6]

Što je ciklus proizvodnje dulji, veća je količina i vrijednost proizvoda u procesu. Tada se govori o većim zalihama koje rezultiraju većim troškovima po osnovi kamata na angažirana veća financijska sredstva, kojima se mora pokriti vrijednost zaliha.

Želja je i zahtjev – postizanje što kraćeg ciklusa proizvodnje se jer njegovim skraćanjem smanjuju zalihe, a time i troškovi, pri čemu se osjetno povećava i upravljivost sustava. [6]

6. DEFINIRANJE (PLANIRANJE) TEHNOLOŠKOG PROCESA

Obim, načini i mjesto definiranja tehnološkog procesa nisu uvijek isti, a ovise o karakteru i obimu proizvodnje. Da bi se osigurala prihvatljiva razina troškova proizvodnje uz postizanje tražene kvalitete, potrebno je tehnološki proces voditi pod što je moguće povoljnijim uvjetima, odnosno treba težiti optimalnom procesu. Osnovni preduvjet za optimalno vođenje tehnološkog procesa je njegova pravovremena definicija u potrebnom obimu, kojom se prije početka proizvodnje utvrđuju pojedini elementi vođenja procesa. [6]

U cilju ostvarenja pravovremenog definiranja i pripreme tehnološkog procesa, treba osigurati podjelu poslova, koja je inače jedna od temeljnih značajki industrijske proizvodnje. U ukupnom lancu aktivnosti vezanih za proizvodnju jednu specijaliziranu grupu poslova čini tehnološka priprema proizvodnje (TPP) u okviru koje planiranje tehnološkog procesa, kao veza između konstrukcije i proizvodnje, predstavlja temeljni posao. [6]

Tehnološka priprema proizvodnje obavlja se prije početka proizvodnje, u pravilu se obavlja jednom, a zatim se primjenjuje za sve vrijeme dok traje proizvodnja dotičnog proizvoda. Podrazumijeva se da će osnovno postavljeni tehnološki proces tijekom vremena proizvodnje biti u potrebnoj mjeri usavršavan. [6]

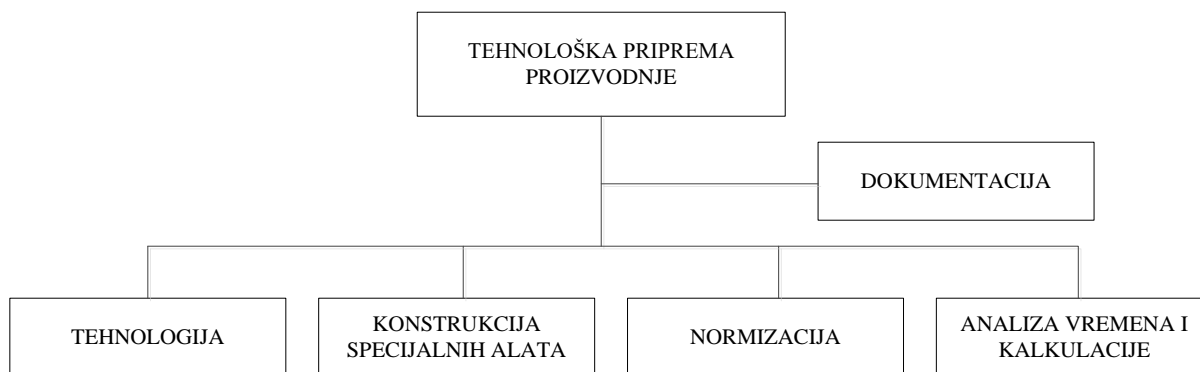
Budući da se tehnološka razdoblje period, a ima velik utjecaj na rezultate proizvodnje i njezinu ekonomičnost, potrebno je provesti je kvalitetno i sveobuhvatno, uvijek u skladu s karakterom osnovnih utjecajnih elemenata na proces i proizvodnju. To ujedno znači da tehnološka priprema proizvodnje neće uvijek biti provedena na isti način. [6]

U metaloprerađivačkoj industriji se tehnološka priprema proizvoda temelji u općem slučaju na definiciji tehnološkog procesa izrade poluproizvoda, izrade dijelova, te montaže i ispitivanja proizvoda, a provodi se kod svih učesnika u proizvodnji određenog proizvoda. Time se za dulje razdoblje određuju: proizvodna oprema, materijali izrade, alati i pribori, tok materijala kroz proces, vremena izrade, potrebna radna snaga i cijeli niz drugih podataka, koji utječu na efikasnost i ekonomičnost proizvodnje. [6]

Da bi TPP mogla uspješno obavljati poslove iz svog djelokruga treba biti odgovarajuće organizirana. Osnovno je pri tome da organizacijska forma bude prije svega u službi proizvodnog programa i proizvodne politike. Upravo iz tog razloga, u praksi se pojavljuju razni oblici organizacije TPP. Navode se dva tipična oblika organizacijske strukture tehnološke pripreme proizvodnje, organizirane [6]:

- a) prema vrsti poslova
- b) prema vrsti proizvodnih problema.

Organizacijska struktura prema vrsti poslova (slika 6.1) tipična je za manja poduzeća, a uključuje niže organizacijske cjeline zadužene za obavljanja pojedinih grupa poslova iz okvira tehnološke pripreme proizvodnje.



Slika 6.1. Osnovna organizacijska struktura TPP prema vrsti poslova [6]

1. Tehnologija

Osnovna organizacijska cjelina TPP-a sa zadatkom obavljanja poslova planiranja tehnoloških procesa, koji uključuju i aktivnost definiranja proizvodnih sustava, te uvođenje i praćenje procesa u eksploataciji. Tehnologija daje zahtjeve za realiziranje određenih zadataka ostalim organizacijskim jedinicama TPP-a i koristi se u svom radu njihovim rezultatima. [6]

2. Konstrukcija specijalnih alata

Temeljem zahtjevnica za konstrukciju specijalnih alata koje ispostavlja tehnologija, konstrukcijski odjel definira izvedbe raznih specijalnih alata, ponekad i posebnih uređaja, namijenjenih racionalnijoj izvedbi pojedinih procesa. [6]

3. Normizacija

Poslovi normizacije se zbog izvanrednog značaja za cijeli poslovni sustav, često izuzimaju u cjelini ili dijelom iz okvira TPP-a i organiziraju zasebno, radi provedbe interne normizacije (standardizacije), kojom se za interne potrebe suzuju područja pojedinih nacionalnih normi i posebno normiraju i unificiraju pojedini, za poslovni sustav interesantni entiteti. Normiranjem se općenito postižu efekti pojednostavljenja, ubrzanja i pojeftinjenja pri obavljanju poslova. Što je viši nivo organiziranosti poslovnog sustava, to je i značaj ove funkcije veći. [6]

Područje normiranja najčešće obuhvaća [6]:

- a) vrste, kvalitete, oblike i dimenzije materijala;
- b) vrste, izvedbe i dimenzije dijelova (inače normiranih nacionalnim i internacionalnim normama)
- c) specifične dijelove, koji se unificiraju za potrebe gradnje proizvoda iz vlastitog proizvodnog programa;
- d) alate, po vrsti, izvedbi i dimenzijama;
- e) dijelove za gradnju specijalnih alata po vrsti, izvedbi i dimenzijama.

Pored navedenih pozitivnih efekata, normiranje je i osnova za znatno smanjenje zaliha materijala, dijelova i alata.

4. Analiza vremena i kalkulacije

Ova organizacijska jedinica TPP-a ima u svom djelokrugu poslove:

- izrada podloga za određivanje vremena kod pojedinih vrsta poslova
- analiza ostvarenja vremenskih normativa
- provjera vremenskih normi kod pojedinih operacija (snimanje)
- izrada kalkulacija cijena koštanja prema planiranim procesima. [6]

5. Dokumentacija

Odjel dokumentacije brine o pohranjivanju i umnožavanju tehnološke dokumentacije, te njezinoj raspodjeli svim korisnicima. Ova aktivnost prilagođena je korištenim oblicima tehnoloških dokumenata i stupnju informatizacije poslovnog sustava. [6]

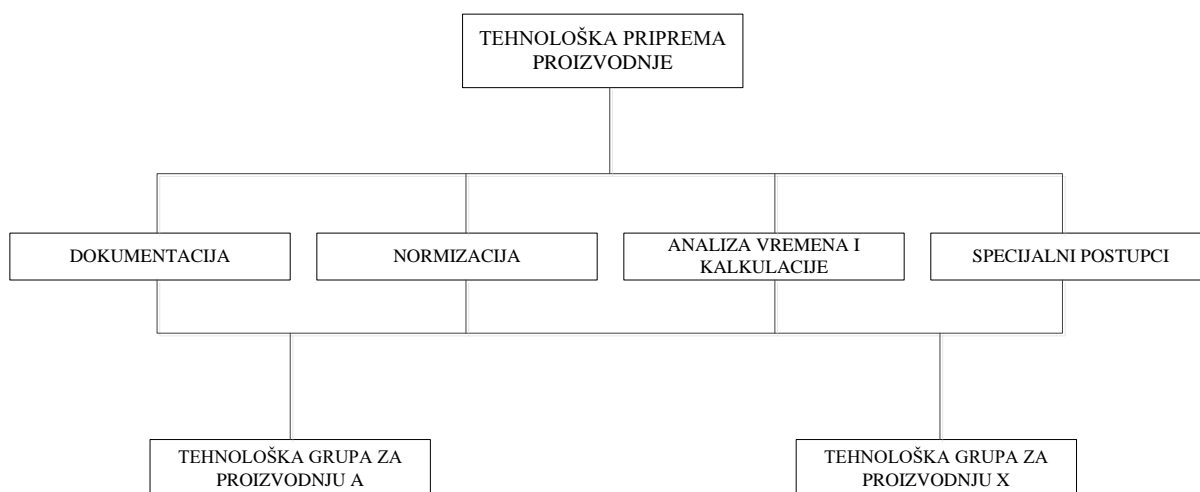
Za uspješnost rada tehnološke pripreme proizvodnje od posebnog je značaja dobra suradnja tehnologije i konstrukcije specijalnih alata. O kvaliteti ove suradnje ovise rješenja specijalnih alata a time i:

- stabilnost kvalitete pri izvođenju operacije
- vrijeme izvođenja operacije. [6]

Zato se u praksi mogu naći i takvi organizacijski oblici koji predviđaju formiranje posebnih grupa u kojima se nalaze tehnolozi i konstruktori specijalnih alata specijalizirani za određeno područje, npr.:

- grupa za ozubljene elemente,
- grupa za limene dijelove
- grupa za kućišta
- grupa za montažu i ispitivanje i sl. [6]

To je najefikasniji način obavljanja poslova tehnološke pripreme, budući da temeljem veće podjele poslova omogućuje i veću specijalizaciju izvršitelja, no nije ga moguće uvijek primijeniti. Obično se primjenjuje pri organiziranju TPP-a prema vrsti proizvodnih problema, slika 6.2. Ovaj organizacijski model može se naći i kod većih poduzeća, gdje postoji veći obim istovrsnih tehnoloških problema, koji omogućuje specijalizaciju pri obavljanju pripremnih poslova. [6]



Slika 6.2. Osnovna organizacijska struktura TPP prema vrsti proizvodnih problema [6]

Kod primjene ove organizacijske strukture karakteristično je da postoji analogija u načinu organiziranja proizvodnje i tehnološke pripreme. Tada se za pojedine proizvodne cjeline u okviru centralne tehnološke pripreme formiraju odgovarajuće tehnološke grupe s potrebnim brojem tehnologa i konstruktora specijalnih alata. Pritom se za obavljanje pojedinih specifičnih i pomoćnih poslova organiziraju zajedničke funkcije. [6]

7. ELEMENTI DEFINIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA

U nastavku su opisani pojedini elementi tehnološkog procesa na kojima se temelji projektiranje i vođenje tehnološkog procesa.

7.1. Operacija

Operacija je temeljni element (temeljna pojedinačna cjelina) tehnološkog procesa. Općenito, izrada svakog proizvoda/dijela proizvoda sastoji se u načelu od niza zaokruženih grupa poslova (operacija) koje se izvode na pojedinim radnim mjestima. Svaka takva grupa poslova smatra se fazom u pretvorbi materijala izrade (ulaznog stanja) u gotov proizvod (izlazno stanje). [6]

Najčešće nije moguće u samo jednoj fazi izvršiti pretvorbu odnosno postići konačne karakteristike proizvoda/dijela proizvoda. Prema tome, operacija je segment tehnološkog procesa u kojoj se izvrši dio transformacije materijala izrade u gotov proizvod. U tom smislu se može reći da se tehnološki proces raščlanjuje u operacije, odnosno tehnološki proces je sastavljen od operacija. [6]

Operacija obuhvaća skup poslova vezanih za izradu određenog proizvoda, koji se obavljaju u kontinuitetu (najčešće u jednom stezanju), na jednom radnom mjestu (proizvodnom kapacitetu) sa strane ili pod nadzorom radnika ili grupe radnika ili upravljačke jedinice stroja. Operacijom se određuje što, iz čega, kako, s čime i u kojem vremenu. [6]

Raščlamba tehnološkog procesa na operacije vrlo je važna jer se na osnovu takve raščlambe vrši [6]:

- planiranje, organiziranje i odvijanje proizvodnje
- kontrola
- obračun troškova.

7.2. Strukturiranje tehnološkog procesa

Strukturiranje tehnološkog procesa odnosi se na određivanje broja, sadržaja i redosljeda operacija u okviru tehnološkog procesa.

Razlikuju se [6]:

- a) zbijene (integrirane) operacije
- b) podijeljene (diferencijalne) operacije
- c) mješovite operacije.

Zbijene operacije predstavljaju takve operacije koje sadrže veći broj poslova. Ovakve operacije su složenije i dugotrajnije, ali ih je manji broj u tehnološkom procesu. Podijeljene operacije sadrže minimalan obim poslova. Jednostavne su i kratkotrajne, ali ih je mnogo. Iako i jedne i druge mogu biti primijenjene kod svih tipova proizvodnje, izbor ovisi o ocjeni prednosti i nedostataka u konkretnom slučaju kao i o raspoloživoj opremi. Zbijene operacije češće su kod manjih količina, podijeljene operacije češće su kod većih količina. [6]

Kod podijeljenih operacija mogu se koristiti jednostavniji strojevi, koji se kod većih količina mogu razmjestiti prema svrsi (grupe, linije), a kod manjih količina prema vrsti. Postavljanjem (vođenjem) procesa zbijenim operacijama integrira se obrada predmeta na jedan ili više složenijih strojeva. [6]

Tipični primjer stroja za izvođenje zbijenih operacija danas je obradni centar (na kojem je moguće objediniti veliki broj raznih obrada (razni postupci) na jednom obratku u jednom ili više stezanja (glodanje, bušenje, narezivanje, glodanje navoja, cirkularno glodanje, tokarenje...)). [6]

To omogućuje veliki fond alata koji su smješteni u magazinu stroja, a čiju izmjenu stroj obavlja automatski i brzo po određenom NC-programu uz automatsko osiguranje (definiranje) potrebnih elemenata režima obrade, automatskog vođenja alata i zauzimanje potrebnog položaja alata (putanja alata). Obradni centri pogodni su posebno za obradu pri manjim i srednjim količinama. [6]

Kod tehnološkog procesa sa zbijenim operacijama ima manje stezanja, manje premještanja itd., što rezultira kraćim ukupnim vremenom transporta i međuoperacijskih čekanja. Manje stezanja, manje premještanja (svako stezanje mogući unos greške) ima pozitivan efekt i na kvalitetu. [6]

Na strukturiranje tehnološkog procesa utječu [6]:

1. Karakteristike obratka, karakteristike opreme i količina
2. Kategorije obrade.

7.2.1. Karakteristike izratka, karakteristike opreme i količina

Veće količine obično znače manji obim poslova po operaciji. Prema obimu se definira oprema, ali često oprema definira obim. Pri tome treba voditi računa o [6]:

- a) Potrebi odvajanja pojedine kategorije obrade zbog:
 - oslobađanja i stvaranja unutrašnjih napreznja pri vođenju procesa – deformacije
 - deformacije predmeta, alata, naprave i dijelova stroja tijekom obrade (sile rezanja i stezanja)
 - utjecaja temperature na točnost dimenzija
 - utjecaja vibracija na kvalitetu.
- b) Balansiranju vremena trajanja pojedine operacije (kod stvaranja uvjeta za tekuću/besprekidnu proizvodnju na liniji).

7.2.2. Kategorije obrade

Karakteristike grube obrade su [6]:

- skidanje velike količine strugotine
- velike sile rezanja, veliki utrošak energije, velike sile stezanja
- oslobađanje velike količine topline (toplinske deformacije)
- oslobađanje površinskih čestica nečistoće (okujina, korozija, čestice pijeska...)

-
- skida se površinski sloj (kora) u kojem su često najviše koncentrirana unutarnja naprezanja – moguće narušavanje ravnoteže unutarnjih naprezanja
 - male točnosti.

Iz ovih karakteristika proizlaze odgovarajući zahtjevi na opremu, što su mala točnost i velika instalirana snaga.

Karakteristike fine obrade su [6]:

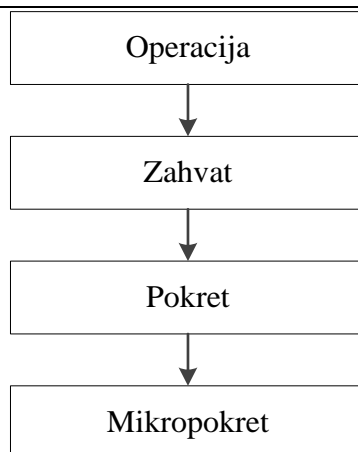
- približavanje ili postizanje konačnih dimenzija i oblika skidanjem manjih količina strugotine
- primjena manjih presjeka strugotina i većih brzina rezanja
- čišći posao, manje sile rezanja i stezanja – manje sile i manje deformacije
- razvijanje manje količine topline, manje zagrijavanje elemenata obradnog sustava i unutrašnja naprezanja manja te manji negativni utjecaj na točnost izrade (manje deformacije)
- primjena strojeva koji su u stanju postizati povećane točnosti za završne obrade.

Zato se rabe strojevi veće točnosti (veće krutosti) i manje instalirane snage.

7.3. Strukturiranje operacije – fina razrada tehnološkog procesa

Operacija kao jedna tehnološka cjelina može se dalje dijeliti radi preciznijeg određivanja načina i uvjeta izvršenja na manje cjeline (slika 7.1) [6].

Zahvat je dio (odsječak) operacije koji obuhvaća pojedinu radnu ili pomoćnu aktivnost u okviru odvijanja operacije (aktivnost vezana za proizvod, ne za stroj ili alat). Kod raznovrsnih operacija koje se pojavljuju u strojogradnji postoje i razni zahvati karakteristični za određene postupke i vrste obavljanja poslova. [6]



Slika 7.1. Struktura operacije [6]

Svi zahvati mogu se grupirati prema karakteru na [6]:

1. Rukovanje proizvodom (stezanje, otpuštanje, okretanje).
2. Obavljanje radnih aktivnosti odnosno poslova, koji neposredno rezultiraju promjenom oblika, dimenzija, kvalitete površine ili svojstava materijala ili položaja komada u sklopu. Radni zahvat obuhvaća posao/poslove s istim alatom i istim režimima i u istom položaju izratka.
3. Završne kontrole kvalitete.

Sastavni zahvat (završni) kod obavljanja operacije je u pravilu i utvrđivanje stanja kvalitete, kako bi se na temelju stanja kvalitete moglo donositi ocjene o potrebi intervencija u procesu (zamjenom alata, korekcijom položaja alata, korekcijom u stezanju izratka itd.) [6]

Kontrola se provodi ako tijekom vođenja procesa zbog prisutnih utjecaja može biti ugrožena određena mjera/karakteristika. O karakteru same operacije i proizvodne opreme ovisi i broj i redoslijed karakterističnih zahvata koji se obavljaju u okviru operacije. [6]

7.4. Priprema i raspreda radnog mjesta

Operacija je vezana za određeno radno mjesto, koje treba biti opremljeno u skladu sa zahtjevima grupe poslova. Nakon obavljanja jedne operacije iduća se obično odvija na drugom radnom mjestu, ali ponekad i na istom. [6]

Za izvođenje svake operacije potrebno je obaviti pripremu radnog mjesta, i radnika po potrebi, a po završetku rasporedu. Za vrijeme njegovog obavljanja nema proizvodnje. To je aktivnost koja je nezaobilazna u funkciji obavljanja operacije, ali blokira određeno vrijeme odvijanja proizvodnje na radnom mjestu za određeno vrijeme – gubitak dijela kapaciteta stroja. [6]

Taj gubitak kapaciteta može biti naročito osjetljiv kada se radi o radnim mjestima s čestom promjenom aktivnosti – operacija, odnosno s malim stupnjem specijaliziranosti. Težnja je da se trajanje prijelaza s jednog posla na drugi smanji što je moguće više odgovarajućim konstrukcijskim i tehničkim rješenjima. [6]

8. O TVRTKI KONČAR – METALNE KONSTRUKCIJE d.d.

Končar grupa osnovana je pod nazivom Elektra davne 1921. godine. Kasnije mijenja ime u Siemens, te Rade Končar da bi konačno od 1991. godine do danas bili poznati kao Končar – Elektroindustrija d.d. Končar grupa uključuje još i 20 ovisnih društava i jedno pridruženo društvo s oko 4000 zaposlenika. [8]

Tvrtka Končar – Metalne konstrukcije d.d. osnovana je 1995. spajanjem poduzeća Končar – Zavarivanje generatora i Končar – Specijalni strojevi i oprema. Raspolaže s 9 550 m² radnog prostora na dvije lokacije; u Zagrebu i Sesevskom Kraljevcu.

Tvrtka Končar – Metalne konstrukcije d.d. specijalizirana je za izradu proizvoda od čelika i aluminija za potrebe sektora energetike, transporta i industrije. Bavi se proizvodnjom komponenata transformatorskih kotlova, kao što su konzervatori, kupole i baterije, zatim proizvodnjom kućišta statora, oklopljenih aluminijskih sabirnica te okretnih postolja za niskopodne tramvaje i vlakove.

Transformatorski kotlovi za energetske i lokomotivske transformatore izrađuju se od konstrukcijskog čelika ili aluminija. Pored toga u proizvodnji transformatora rabe se i sitnozrnati čelici, nemagnetski materijali i bakar. Navedeni materijali zavaruju se postupcima ručnog elektrolučnog zavarivanja (REL), elektrolučnog zavarivanja taljivom elektrodom u zaštiti aktivnog plina (MAG), elektrolučnog zavarivanja taljivom elektrodom u zaštiti neutralnog (inertnog) plina (MIG), elektrolučnog zavarivanja netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (TIG) i elektrolučnog zavarivanja pod zaštitnim praškom (EPP). Nakon zavarivanja vrši se ispitivanje nepropusnosti tlačnom probom i provjera zavara nerazornim metodama. Prije pjeskarenja vrši se funkcionalno i dimenzijsko ispitivanje kroz probnu montažu kompletnog kotla.

Dominantna tehnologija je bravarsko-zavarivačka, a proizvodni potencijal definiran je dizalicama nosivosti 63 tone i maksimalnom visinom dizanja obratka od 11 metara, što omogućuje proizvodnju najvećih i najzahtjevnijih jedinica.

Generatorske komponente koje se proizvode su kućišta statora, polni kotači, rotor i zvijezde rotora. Isporučuju se proizvođačima generatora i proizvođačima industrijskih, građevinskih i transportnih strojeva i opreme. [8]

8.1. Opis trenutnog stanja u strojnoj obradi

Proizvodni proces zaokružen je strojnom obradom, rezanjem te zaštitom od korozije i pakiranjem. Proizvodni kapaciteti tvrtke omogućuju izradu proizvoda velikih gabarita na bazi čeličnih materijala i ostalih metalnih legura te zaštitu od korozije istih. Tijekom godina rada u poduzeću su razvijena posebna specijalistička znanja na području izrade transformatorskih kotlova. [9]

8.1.1. Raspoloživi kapaciteti

U tablici 8.1 navedeni su svi obradni strojevi u strojnom parku tvrtke *Končar – MK*, njihovi radni volumeni, operacije za koje se upotrebljavaju te mogućnosti bušenja.

Tablica 8.1. Raspoloživi kapaciteti strojnog parka tvrtke *Končar – MK* [10]

Grupa strojeva	Strojevi / Oprema	Max. radni volumen stroja, mm	Bušenje, mm	Operacije
Stupne bušilice	Stupna bušilica <i>Dalmastroj BD-3</i>	200 × 200	Ø24 / M20	Bušenje
	Stupna bušilica <i>Joshida YUD-540</i>	200 × 200	Ø24 / M20	
Koordinatne bušilice	Koordinatna bušilica <i>CMA</i> <i>Rapid Drill TRD 38</i> <i>CNC 3000</i>	3000 × 520 × 350	Ø25 / M24	
Radijalne bušilice	Radijalna bušilica <i>Csepel RFH 75</i>	-	Ø50 / M30	
	Radijalna bušilica <i>MAS VR10</i>	-	Ø80 / M48	

Tablica 8.1. Raspoloživi kapaciteti – nastavak [10]

Grupa strojeva	Strojevi / Oprema	Max. radni volumen stroja, mm	Bušenje, mm	Operacije
Klasične tokarilice	Tokarilica <i>Alfa 410×1000</i>	Ø150 × 900	-	Tokarenje
	Tokarilica <i>Ada Potisje PA-600</i>	Ø450 × 1500	-	
	Tokarilica <i>Ada Potisje PA-900</i>	Ø870 × 1250	-	
Vertikalne tokarilice	Vertikalna tokarilica <i>Dimavac SF/2</i>	Ø1300 × 850	-	
CNC tokarski obradni centri	Obradni centar <i>Traub TNA 480</i>	Ø395 × 1600	Ø24 / M16	Tokarenje, bušenje
	Obradni centar <i>Haas ST-35</i>	Ø520 × 660	Ø20 / M16	
Klasične glodalice	Glodalica <i>Prvomajska PGU 400/V</i>	1000 × 390 × 430	-	Glodanje
	Glodalica <i>Optimum MF4 VARIO</i>	800 × 300 × 500	-	
CNC glodaći obradni centri	Obradni centar <i>Stama 540</i>	2000 × 600 × 480	Ø33 / M24	Glodanje, bušenje
	Obradni centar <i>Haas VF-3</i>	1000 × 650 × 690	Ø33 / M24	
	Obradni centar <i>Haas VF-9</i>	2100 × 1000 × 725	Ø33 / M24	
	Obradni centar <i>TOS Varnsdorf WHN138C</i>	3000 × 2000 × 1000	Ø80 / M48	
	Obradni centar <i>Fermat WRF 150</i>	9500 × 5000 × 1200	Prema potrebi	

8.1.2. Strojna obrada prirubnica

Predstavnički proizvod za strojnu obradu su prirubnice, koje mogu biti okrugle ili pravokutne. Obzirom da su najčešće okrugle prirubnice, u ovom radu će težište biti samo na obradi takvih prirubnica.

Okrugle prirubnice koje se obrađuju mogu se svrstati u tri skupine:

- a) Prirubnice s utorom za brtvu
- b) Prirubnice bez utora za brtvu
- c) Poklopci – zatvorene prirubnice.

Sve navedene okrugle prirubnice imaju provrte, koji mogu biti s navojem ili bez navoja. Obzirom da su okrugle prirubnice rotaciono simetrični dijelovi, obrađuju se na nekim od tokarskih strojeva, koji se bira ovisno o dimenzijama prirubnice i veličini serije.

Za veće serije (od 5 do dvadesetak prirubnica po radnom nalogu), upotrebljavaju se tokarski obradni centri, koji imaju mirujuće i pogonjene rezne alate, tako da se i operacija bušenja odrađuje na istom stroju.

Ako je riječ o pojedinačnim proizvodima, oni se obrađuju na klasičnim tokarskim strojevima, a operacija bušenja se obavlja na jednom od strojeva za bušenje.

Polazni materijal (pripremak) za okrugle prirubnice može biti čelični lim ili savijeni plosni profil. Za prirubnice vanjskog promjera do 500 mm, lim odgovarajuće standardne debljine reže se plazmom prije strojne obrade, s potrebnim dodacima za obradu. Za prirubnice čiji je vanjski promjer veći od 500 mm (prsteni širine 100 – 200 mm), polazni materijal je savijeni plosni profil odgovarajućih dimenzija.

Strojna obrada okruglih prirubnica sastoji se od:

- vanjskog tokarenja
- unutarnjeg tokarenja
- tokarenja utora
- bušenja provrta.

9. ANALIZA VREMENA STROJNE OBRADNE PRIRUBNICA

9.1. Proračun vremena strojne obrade računalnim programom CATIA

Prema podacima iz proizvodnje, odabran je nacrt jednog od najučestalijih standardnih tipova okruglih prirubnica kako bi se simulirala njihova strojna obrada u CAD/CAM sustavu (e. *CAD – Computer Aided Design, CAM – Computer Aided Manufacturing*).

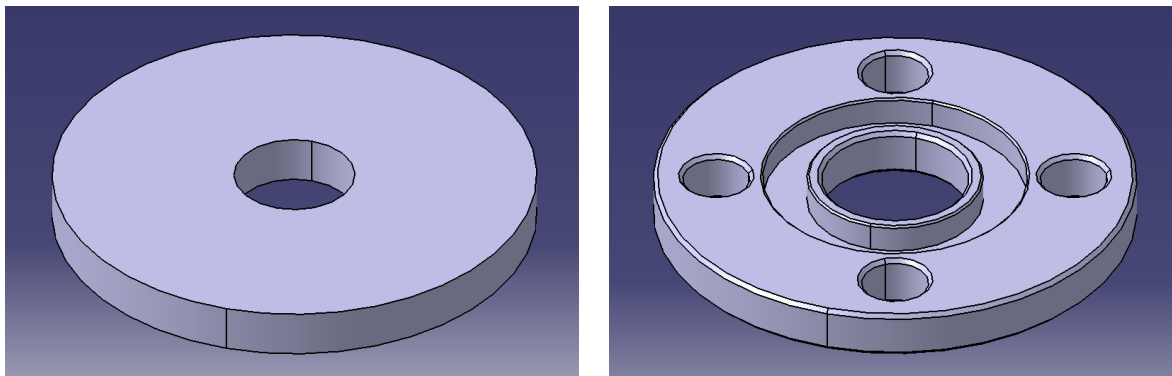
U modulu *Mechanical Design* programa *CATIA V5R20* napravljen je parametarski model (e. *Parametric Design*) za reprezentativni proizvod. Odabrani proizvod ima 15 varijanti, čije su značajke navedene u tablici 9.1.

Tablica 9.1. Dimenzije i značajke prirubnica odabranih za CAM program

Broj	Vanjski promjer, mm	Promjer za provrta, mm	Debljina, mm	Unutarnji promjer, mm	Unutarnji promjer utora, mm	Širina utora, mm	Visina utora, mm	Promjer provrta, mm	Broj provrta
1	95	65	12	22	30	6,5	3,1	16	4
2	105	75	12	28	35	10,5	7	16	4
3	115	85	12	35	42	10,5	7	16	4
4	140	100	12	44	52	10,5	7	19	4
5	150	110	16	50	62	10,5	7	19	4
6	165	125	16	62	76	10,5	7	19	4
7	185	145	16	78	90	10,5	7	19	4
8	200	160	16	91	102	10,5	7	19	4
9	200	160	16	91	102	10,5	7	19	8
10	220	180	20	116	126	10,5	7	19	8
11	250	210	20	141	160	10,5	7	19	8
12	285	240	20	171	178	10,5	7	24	8
13	340	295	20	221	235	10,5	7	24	8
14	395	350	25	276	293	10,5	7	24	12
15	445	400	25	328	340	10,5	7	24	12

Polazni materijal (pripremak) za ovakav tip prirubnice je lim odgovarajuće standardne debljine, prethodno izrezan plazmom. Dodaci za obradu iznose +5 mm za vanjski promjer i

–5 mm za unutarnji promjer. Slika 9.1 prikazuje CAD model priprema i odabranog obratka nacrtanih u programu *CATIA*.



Slika 9.1. CAD model priprema i odabranog obratka

Najprije je nacrtan poprečni presjek okrugle prirubnice u XZ ravnini i s pomoću funkcije *Revolve* dobiven traženi objekt. S pomoću opcije *Formula* zadano je 12 parametara (funkcija *Parameters*) i svaki je povezan s određenom dimenzijom ili značajkom (funkcija *Relations*). Parametri koji su zadani su: vanjski promjer, unutarnji promjer, debljina, promjer za provrte, broj provrta, promjer provrta, kutovi za pozicioniranje provrta, unutarnji promjer utora, širina i visina utora.

Nakon što su definirani parametri, izrađena je tablica *Design Table*, slika 9.2, u koju su uneseni svi potrebni podaci koji variraju za ovaj tip prirubnica.

DesignTable.1 active, configuration row : 1

Design Table Properties
Name: DesignTable.1
Comment: DesignTable created by Dunja 29.3.2017.

Configurations | Associations

Filter: Edit...

Line	Naziv	'R vanjski'	'R za provrte'	Debljina	'R unutarnji'	'R za utor'	'Širina utora'	'Visina utora'	'D provrta'	'Broj provrta'	'Kut 1'	'Kut 2'
<1>	Prirubnica 101	47,5mm	32,5mm	11,5mm	11mm	15mm	6,5mm	3,1mm	16mm	4	45deg	90deg
2	Prirubnica 102	52,5mm	37,5mm	11,5mm	14mm	17,5mm	10,5mm	7mm	16mm	4	45deg	90deg
3	Prirubnica 103	57,5mm	42,5mm	11,5mm	17,5mm	21mm	10,5mm	7mm	16mm	4	45deg	90deg
4	Prirubnica 104	70mm	50mm	11,5mm	22mm	26mm	10,5mm	7mm	19mm	4	45deg	90deg
5	Prirubnica 105	75mm	55mm	15,5mm	25mm	31mm	10,5mm	7mm	19mm	4	45deg	90deg
6	Prirubnica 106	82,5mm	62,5mm	15,5mm	31mm	38mm	10,5mm	7mm	19mm	4	45deg	90deg
7	Prirubnica 107	92,5mm	72,5mm	15,5mm	39mm	45mm	10,5mm	7mm	19mm	4	45deg	90deg
8	Prirubnica 108	100mm	80mm	15,5mm	45,5mm	51mm	10,5mm	7mm	19mm	4	45deg	90deg
9	Prirubnica 109	100mm	80mm	15,5mm	45,5mm	51mm	10,5mm	7mm	19mm	8	22,5deg	45deg
10	Prirubnica 110	110mm	90mm	19,5mm	58mm	63mm	10,5mm	7mm	19mm	8	22,5deg	45deg
11	Prirubnica 111	125mm	105mm	19,5mm	70,5mm	80mm	10,5mm	7mm	19mm	8	22,5deg	45deg
12	Prirubnica 112	142,5mm	120mm	19,5mm	85,5mm	89mm	10,5mm	7mm	24mm	8	22,5deg	45deg
13	Prirubnica 113	170mm	147,5mm	19,5mm	110,5mm	117,5mm	10,5mm	7mm	24mm	8	22,5deg	45deg
14	Prirubnica 114	197,5mm	175mm	24,5mm	138mm	146,5mm	10,5mm	7mm	24mm	12	15deg	30deg
15	Prirubnica 115	222,5mm	200mm	24,5mm	164mm	170mm	10,5mm	7mm	24mm	12	15deg	30deg

Edit table...

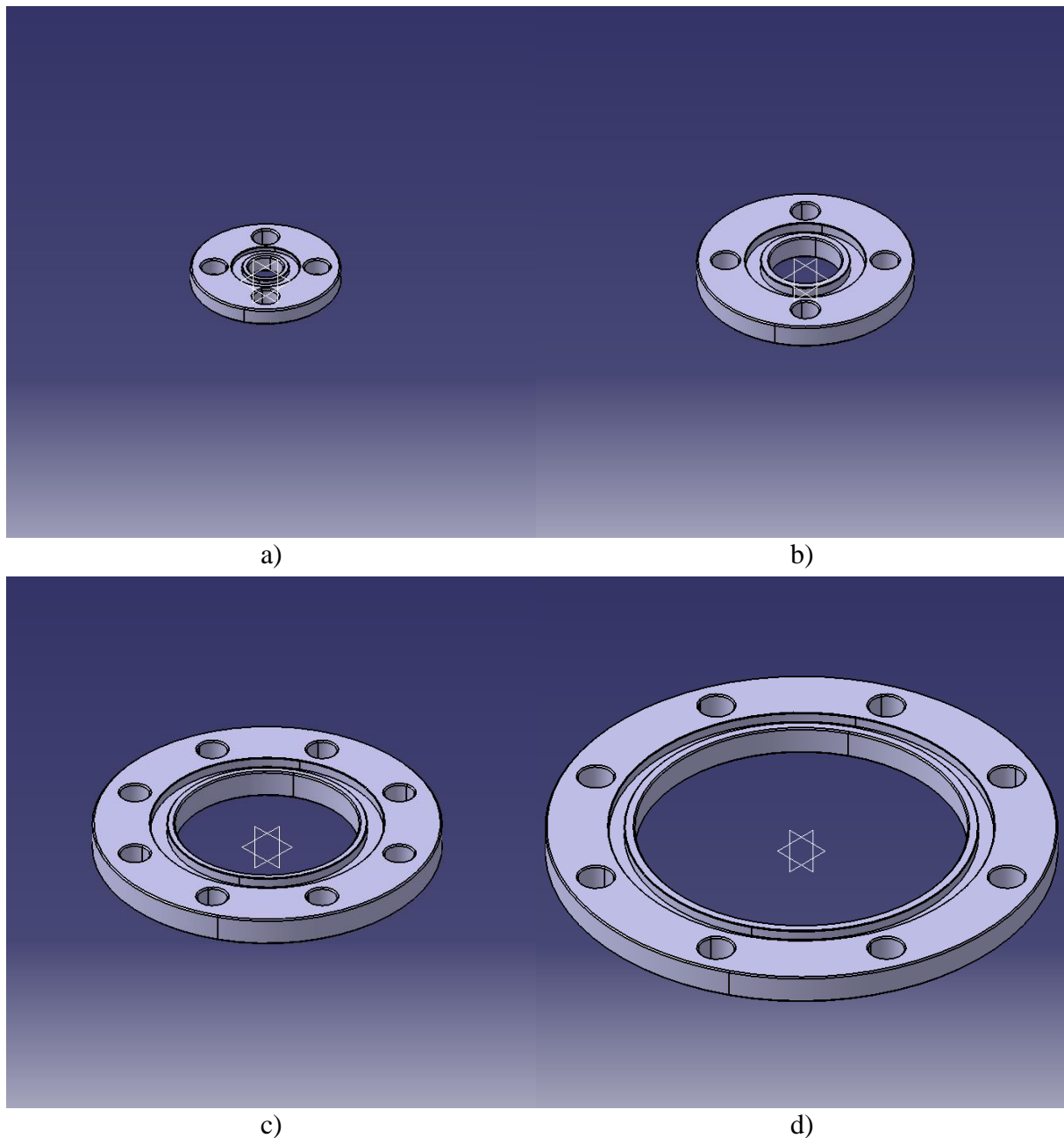
Duplicate data in CATIA model

OK Apply Cancel

Slika 9.2. Design Table

Parametarski model omogućava automatsko učitavanje pojedinog modela koji je ovako definiran.

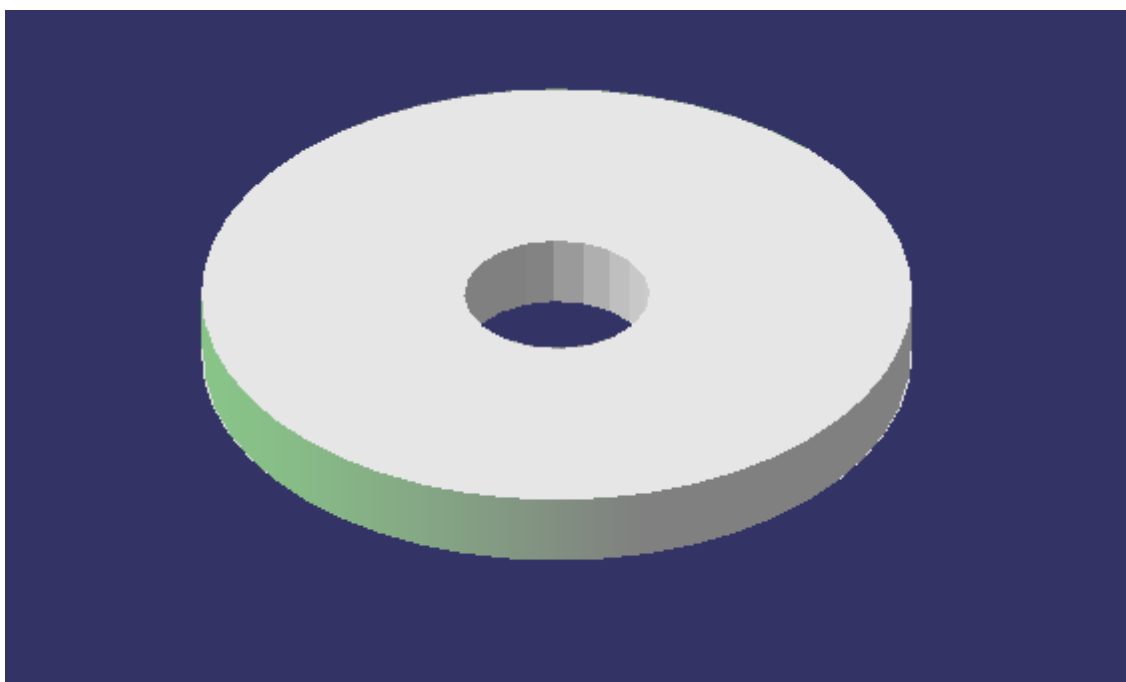
Slika 9.3 prikazuje nekoliko različitih prirubnica istog tipa, vanjskog promjera: a) Ø95 mm, b) Ø150 mm, c) Ø200 mm, d) Ø340 mm



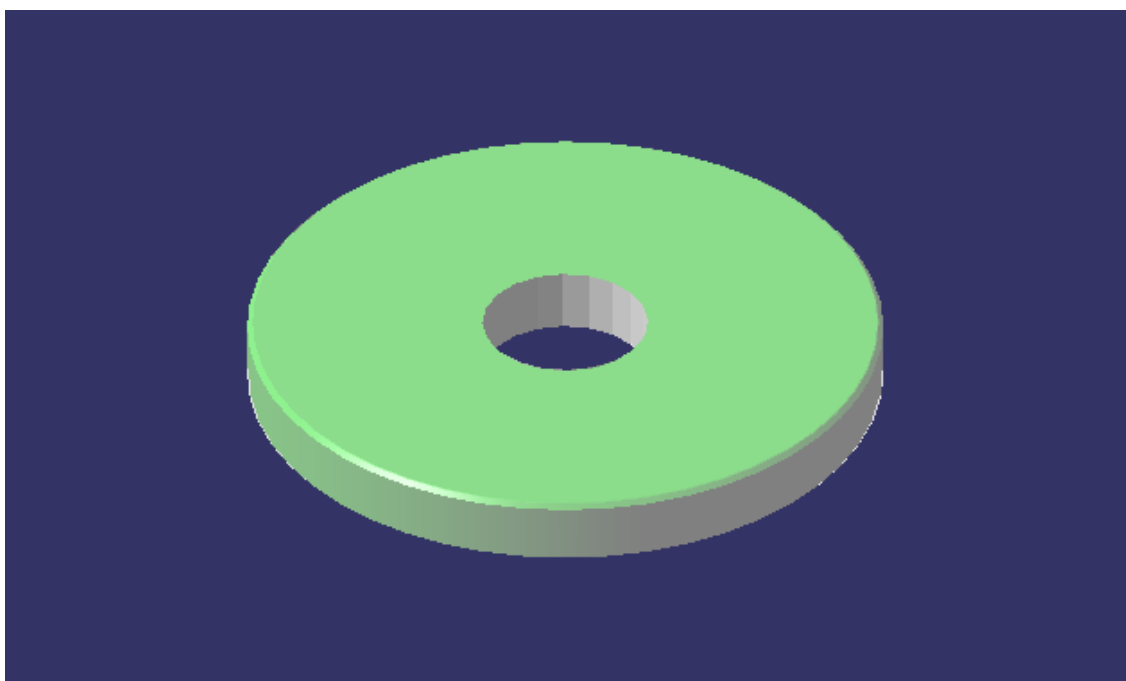
Slika 9.3. CAD modeli prirubnica u programu CATIA

Zahtjevi kao što su zaobljenja ili skošenja na vanjskim bridovima prirubnica i provrtima razlikuju se od kupca do kupca, odnosno od projekta do projekta. U ovom primjeru odabrana su skošenja $1/45^\circ$ na bridovima i provrtima, što je standard ukoliko nema posebnih zahtjeva.

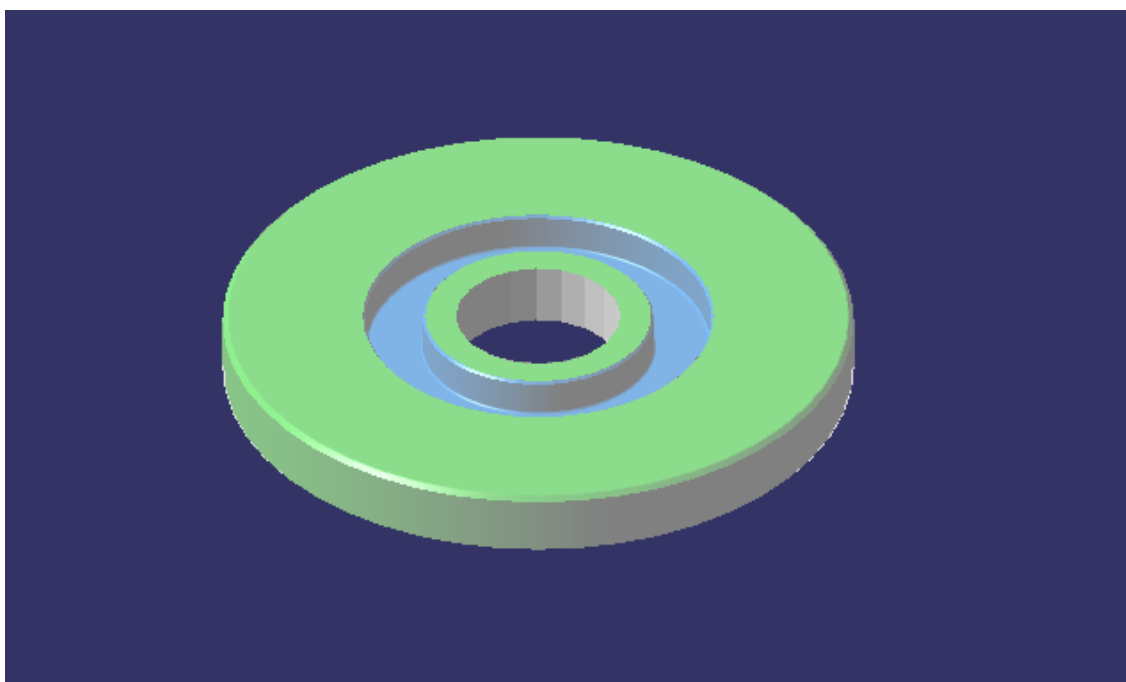
U *CATIA* modulu *Machining* napravljen je CAM program sa svim potrebnim operacijama strojne obrade, a na slikama 9.4 – 9.7 prikazane su pojedine faze obrade.



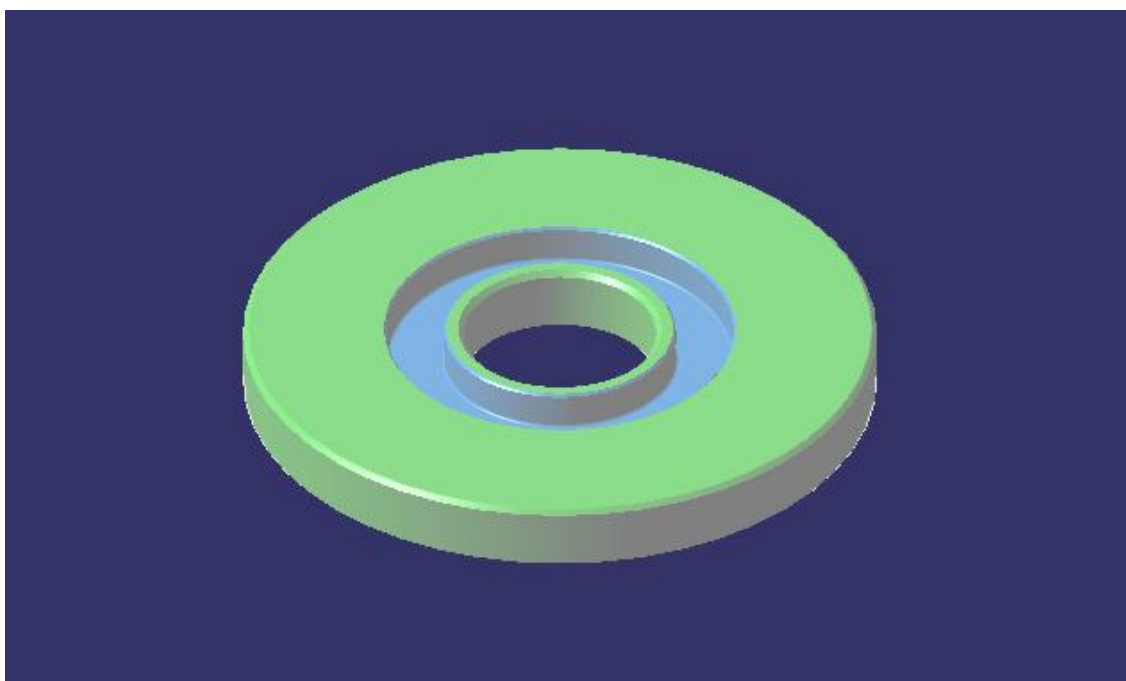
Slika 9.4. Vanjsko tokarenje okrugle prirubnice



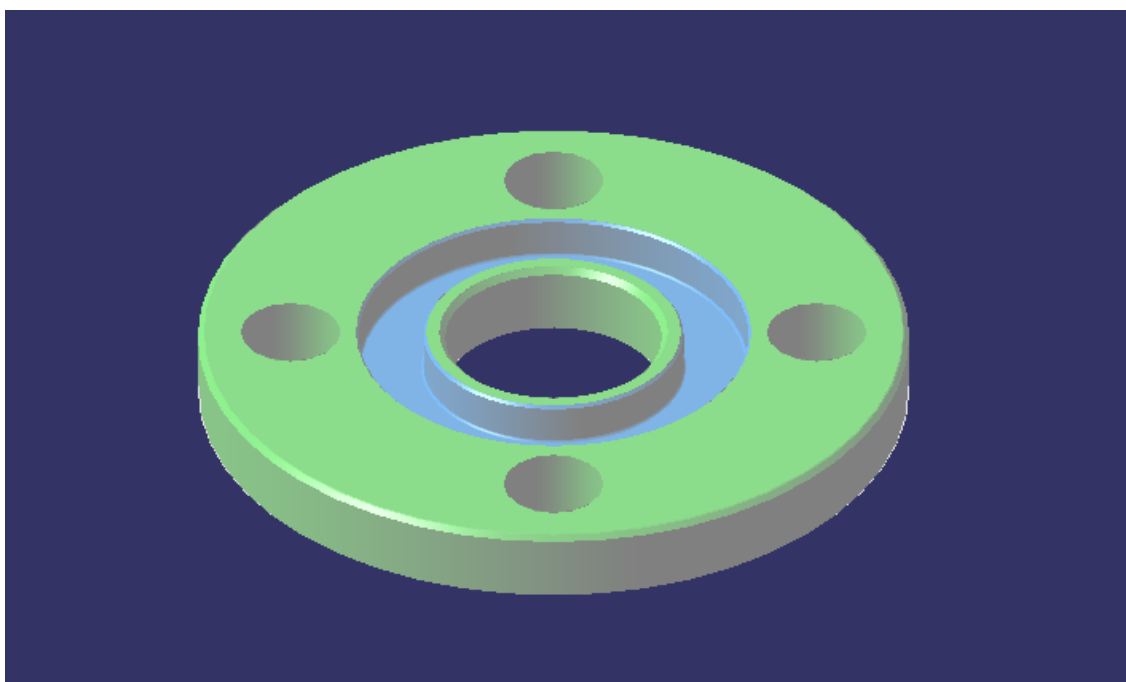
Slika 9.5. Čeono tokarenje okrugle prirubnice



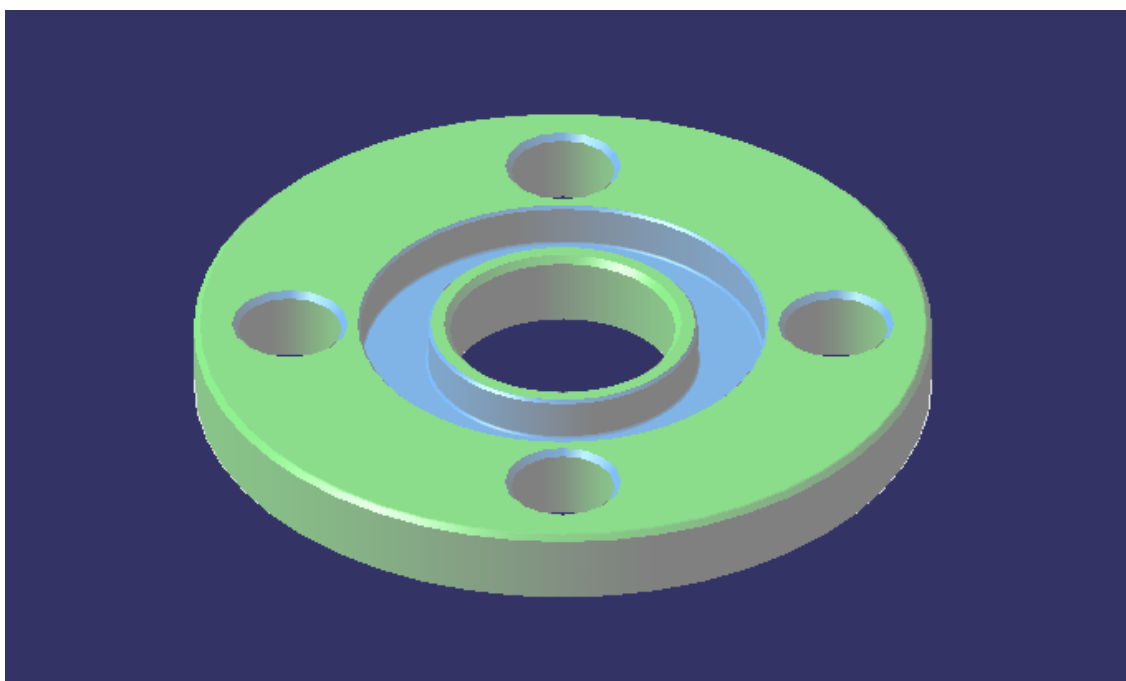
Slika 9.6. Tokarenje utora okrugle prirubnice



Slika 9.7. Unutarnje tokarenje okrugle prirubnice



Slika 9.8. Bušenje provrta okrugle prirubnice



Slika 9.9. Upuštanje provrta okrugle prirubnice

Režimi obrade za prethodno prikazane operacije obrade navedeni su u tablici 9.2.

Tablica 9.2. Režimi obrade

Operacija	Brzina rezanja v_c , m/min	Posmak f , mm
Vanjsko i čeono tokarenje	200	0,3
Unutarnje tokarenje	120	0,2
Tokarenje utora	60	0,05
Bušenje	80	0,15

Za svih 15 varijanti odabranog proizvoda, tj. okrugle prirubnice, pokrenut je CATIA program i generirana je dokumentacija. Tako dobivena vremena obrade pojedinih operacija prikazana su u tablici 9.3.

Tablica 9.3. Tehnološka vremena dobivena u programu CATIA

Broj	Vanjsko tokarenje, h:min:s	Čeono tokarenje, h:min:s	Tokarenje utora, h:min:s	Unutarnje tokarenje, h:min:s	Bušenje svih provrta, h:min:s	Upuštanje, h:min:s	Ukupno, h:min:s
1	0:00:13	0:00:08	0:00:34	0:00:05	0:00:20	0:00:13	0:01:32
2	0:00:15	0:00:10	0:01:29	0:00:07	0:00:20	0:00:13	0:02:34
3	0:00:16	0:00:11	0:01:46	0:00:09	0:00:20	0:00:13	0:02:55
4	0:00:19	0:00:16	0:02:07	0:00:11	0:00:20	0:00:13	0:03:26
5	0:00:24	0:00:18	0:02:29	0:00:16	0:00:23	0:00:13	0:04:03
6	0:00:27	0:00:21	0:02:59	0:00:20	0:00:23	0:00:13	0:04:43
7	0:00:30	0:00:25	0:03:29	0:00:25	0:00:23	0:00:13	0:05:25
8	0:00:32	0:00:28	0:03:55	0:00:29	0:00:23	0:00:13	0:06:00
9	0:00:32	0:00:28	0:03:55	0:00:29	0:00:44	0:00:26	0:06:34
10	0:00:41	0:00:31	0:04:47	0:00:45	0:00:50	0:00:26	0:08:00
11	0:00:47	0:00:38	0:06:01	0:00:55	0:00:53	0:00:51	0:10:05
12	0:00:53	0:00:46	0:06:39	0:01:06	0:00:53	0:00:51	0:11:08
13	0:01:03	0:00:58	0:08:43	0:01:26	0:00:53	0:00:51	0:13:54
14	0:01:26	0:01:10	0:10:48	0:02:09	0:01:29	0:01:28	0:18:30
15	0:01:37	0:01:19	0:12:29	0:02:34	0:01:29	0:01:28	0:20:56

U ovom primjeru čeono se tokarila samo jedna strana prirubnice 0,5 mm, što je slučaj kada su pripremci iste debljine kao i zahtijevane prirubnice.

Dobiveni podaci mogu se rabiti za izradu podloga za određivanje tehnoloških vremena obrade svih vrsta okruglih prirubnica, s obzirom na to da se uvijek obrađuju slični tipovi prirubnica koji se razlikuju u dimenzijama i značajkama koje su pokrivena prethodno napravljenim parametarskim modelom.

9.2. Mjerenje stvarnih vremena strojne obrade u tvrtki *Končar – MK*

Radi usporedbe vremena obrade, izvršeno je snimanje trenutnog stanja obrade u tvrtki *Končar – MK*. U tablici 9.4 navedeni su procesi strojne obrade koji su praćeni, strojevi na kojima se odvijala obrada te vanjski promjer prirubnica koje su obrađivane.

Tablica 9.4. Popis praćenih strojeva i proizvoda

Grupa strojeva	Stroj	Vanjski / unutarnji promjer
CNC tokarski obradni centri	<i>Traub TNA 480</i>	Ø180/50 mm
	<i>Haas ST-35</i>	Ø395/275 mm
Klasični tokarski strojevi	<i>Ada Potisje PA-900</i>	Ø450/320 mm
	<i>Alfa 410×1000</i>	Ø165/61,1 mm
		Ø150/49 mm
		Ø200/90,5 mm

9.2.1. Snimanje vremena obrade na stroju *Traub TNA 480*

Praćena je obrada serije okruglih prirubnica na stroju *Traub TNA 480*, slika 9.10. Serija se sastojala od 26 prirubnica, od kojih je 15 bez utora (prirubnica A), a 11 s utorom (prirubnica B). Dimenzije prirubnica navedene su u tablici 9.5.



Slika 9.10. CNC tokarilica Traub TNA 480

Tablica 9.5. Dimenzije obradivanih prirubnica

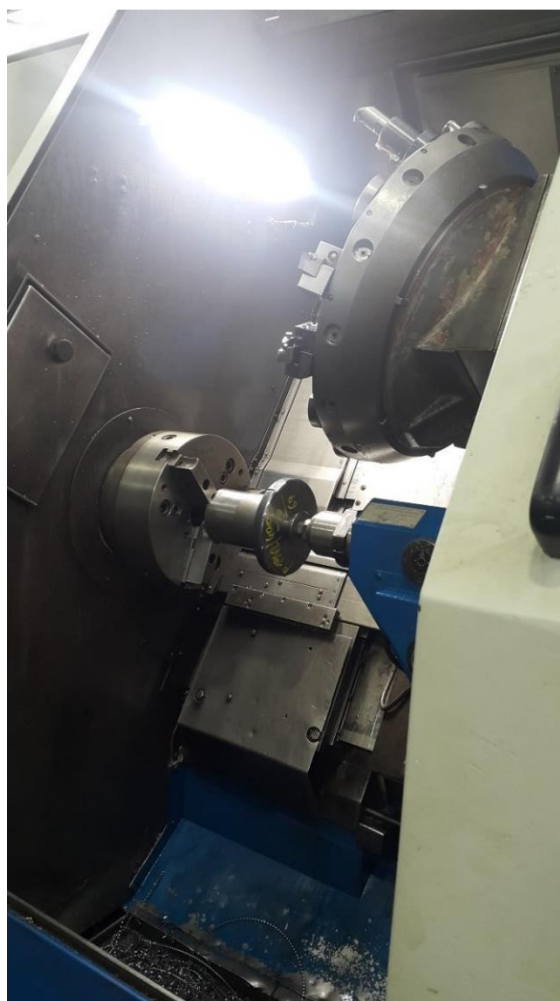
Naziv	Prirubnica A	Prirubnica B
Broj komada	15	11
Vanjski promjer, mm	180	180
Promjer za provrte, mm	120	120
Debljina, mm	18	18
Unutarnji promjer, mm	50	50
Unutarnji promjer utora, mm	-	62
Širina utora, mm	-	7,2
Visina utora, mm	-	3,6
Promjer provrta, mm	19	19
Broj provrta	4	4

Pripreмки za ovu seriju imaju izgled diska, a izrezani su iz lima debljine 20 mm, vanjskog promjera 185 mm i unutarnjeg promjera 45 mm.

Proces se obavio u tri stezanja:

- prvo stezanje – iznutra: vanjsko tokarenje, izrada zaobljenja na vanjskom bridu.
- drugo stezanje – izvana: čeono tokarenje jedne strane (1 mm), unutarnje tokarenje, izrada zaobljenja.
- treće stezanje – izvana: čeono tokarenje druge strane (1 mm), izrada skošenja, bušenje provrta, izrada utora.

Na slici 9.11 prikazan je pripremak prije obrade, stegnut u amerikaner CNC tokarilice *Traub TNA 480*.



Slika 9.11. Stegnuti pripremak prije prve obrade

Režimi obrade koji su korišteni na stroju kod obrade prirubnice su navedeni u tablici 9.6.

Tablica 9.6. Režimi obrade

Operacija	Brzina rezanja v_c , m/min	Posmak f , mm
Vanjsko i čeono tokarenje	200	0,3
Unutarnje tokarenje	120	0,2
Tokarenje utora	60	0,05
Bušenje	80	0,15

Obrada u prvom i drugom stezanju bila je ista za sve prirubnice u seriji, dok se za treće stezanje izmijenio program obzirom da se serija sastojala od 26 prirubnica, od kojih je 15 bez utora (prirubnica A), a 11 s utorom (prirubnica B).

Mjerenje se obavilo štopericom, a rezultati su prikazani u tablicama 9.7 i 9.8. Za svaku operaciju načinjeno je 10 mjerenja te je izračunat prosjek.

Tablica 9.7. Izmjerena tehnološka i pomoćna vremena za prvo stezanje

Operacija	Uzorak	Tehnološko vrijeme t_t , h:min:s	Pomoćno vrijeme t_p , h:min:s	$t_t + t_p$, h:min:s
Prvo stezanje	1	0:00:59	0:01:03	0:02:02
	2	0:01:00	0:00:54	0:01:54
	3	0:00:59	0:01:05	0:02:04
	4	0:01:00	0:01:01	0:02:01
	5	0:01:00	0:02:10	0:03:10
	6	0:01:00	0:00:35	0:01:35
	7	0:00:59	0:01:11	0:02:10
	8	0:00:59	0:00:45	0:01:44
	9	0:01:00	0:00:51	0:01:51
	10	0:00:59	0:00:40	0:01:39
	Prosjek	0:00:59	0:01:01	0:02:01

Tablica 9.8. Izmjerena tehnološka i pomoćna vremena za drugo i treće stezanje

Operacija	Uzorak	Tehnološko vrijeme t_t , h:min:s	Pomoćno vrijeme t_p , h:min:s	$t_t + t_p$, h:min:s
Drugo stezanje	1	0:01:08	0:00:33	0:01:41
	2	0:01:08	0:00:40	0:01:48
	3	0:01:08	0:00:46	0:01:54
	4	0:01:09	0:00:58	0:02:07
	5	0:01:09	0:01:04	0:02:13
	6	0:01:08	0:00:39	0:01:47
	7	0:01:09	0:00:49	0:01:58
	8	0:01:08	0:00:44	0:01:52
	9	0:01:08	0:00:30	0:01:38
	10	0:01:08	0:00:35	0:01:43
	Prosjek	0:01:08	0:00:44	0:01:52
Treće stezanje – bez izrade utora	1	0:02:26	0:01:18	0:03:44
	2	0:02:25	0:00:35	0:03:00
	3	0:02:27	0:00:36	0:03:03
	4	0:02:26	0:00:54	0:03:20
	5	0:02:26	0:01:17	0:03:43
	6	0:02:25	0:01:04	0:03:29
	7	0:02:25	0:00:36	0:03:01
	8	0:02:25	0:00:47	0:03:12
	9	0:02:25	0:00:57	0:03:22
	10	0:02:25	0:00:38	0:03:03
	Prosjek	0:02:25	0:00:52	0:03:18
Treće stezanje – s izradom utora	1	0:03:24	0:00:52	0:04:16
	2	0:03:23	0:01:56	0:05:19
	3	0:03:25	0:00:51	0:04:16
	4	0:03:24	0:00:58	0:04:22
	5	0:03:25	0:00:50	0:04:15
	6	0:03:25	0:00:54	0:04:19
	7	0:03:24	0:01:00	0:04:24
	8	0:03:24	0:00:54	0:04:18
	9	0:03:23	0:00:51	0:04:14
	10	0:03:24	0:00:51	0:04:15
	Prosjek	0:03:24	0:01:00	0:04:24

Tehnološko vrijeme t_t odnosi se na vrijeme obrade uzoraka na stroju, a pomoćno vrijeme t_p odnosi se na zamjenu i namještanje obradaka, stezanje obradaka, promjenu i umjeravanje alata, mjerenja dimenzija obradaka i slične radove navedene u poglavlju 3.2.1.4.

Izračunata su prosječna tehnološka vremena i pomoćna vremena za svako pojedino stezanje, a u tablici 9.9 izračunat je zbroj tih vremena za obradu jednog komada prirubnice oblika A i oblika B.

Tablica 9.9. Prosječna vremena obrade prirubnica

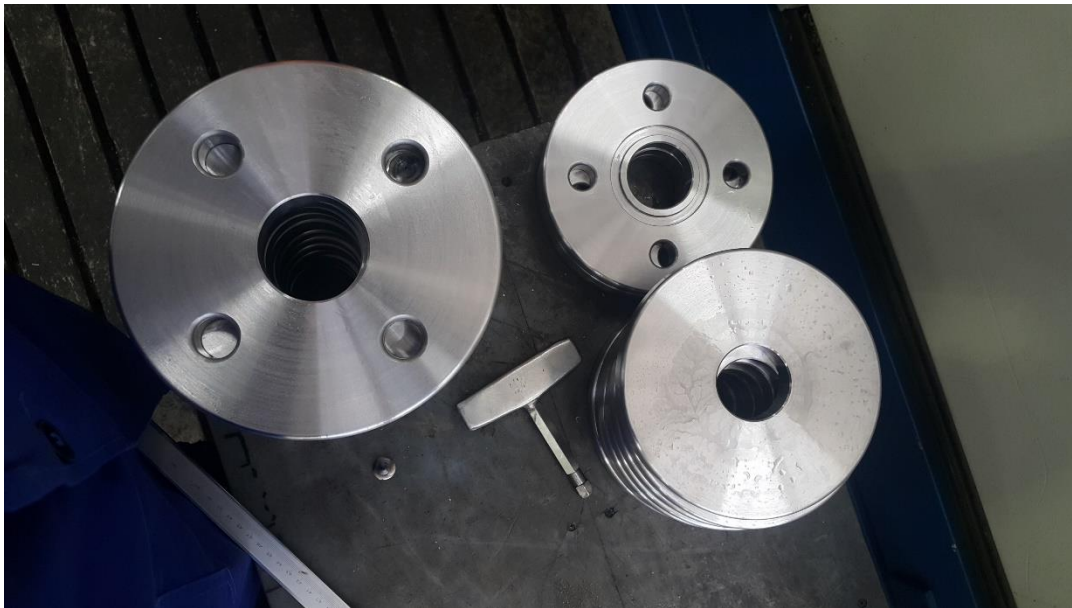
Proizvod	\bar{t}_t , h:min:s	\bar{t}_p , h:min:s	$\bar{t}_t + \bar{t}_p$, h:min:s
Prirubnica A	0:04:33	0:02:37	0:07:11
Prirubnica B	0:05:32	0:02:45	0:08:17

Izvan obrade obavljaju se razni poslovi koji se ubrajaju u pripremo-završno vrijeme t_{pz} , navedeni u tablici 9.10.

Tablica 9.10. Pripremo-završna vremena

Operacija	Opis	Pripremo-završno vrijeme t_{pz} , h:min:s	
		A	B
Prvo stezanje	Podešavanje stezne glave za prvo stezanje	0:04:52	
	Prihvat priprema – stezanje	0:06:18	
	Podešavanje nul točke	0:07:44	
	Zamjena alata zbog puknuća pločice alata	0:03:30	
Drugo stezanje	Podešavanje stezne glave za drugo stezanje	0:04:20	
	Umjeravanje alata, podešavanje nul točke, učitavanje programa za drugo stezanje	0:17:35	
Treće stezanje	Podešavanje i umjeravanje alata za treće stezanje	0:22:00	
	Pisanje i učitavanje novog programa	0:18:30	
	Izmjene i provjere programa za utor	-	0:15:26
Ukupno t_{pz}, h:min:s		1:24:49	1:40:15

Na slici 9.12 prikazani su obratci i gotovi proizvodi iz serije.



Slika 9.12. Obratci i gotovi proizvodi iz serije

9.2.2. Snimanje vremena obrade na stroju Haas ST-35

Drugo snimanje vremena obrade priрубnice provedeno je na stroju *Haas ST-35*, slika 9.13. Serija se sastojala od 6 priрубnica, čije su dimenzije navedene u tablici 9.11. Pripremi za ovu seriju su limovi (diskovi) debljine 35 mm, vanjskog promjera 400 mm i unutarnjeg promjera 270 mm. Operacija bušenja nije se izvršila na ovom stroju, već na jednom od strojeva za bušenje.



Slika 9.13. CNC obradni centar *Haas ST-35*

Obrada prirubnice je izvršena u dva stezanja:

- prvo stezanje – iznutra: vanjsko tokarenje, čeono tokarenje (0,5 mm) i skošenje bridova, tokarenje utora.
- drugo stezanje – izvana: čeono tokarenje druge strane (0,5 mm), unutarnje tokarenje.

Tablica 9.11. Dimenzije obratka

Karakteristika	Iznos, mm
Vanjski promjer	395
Debljina	35
Unutarnji promjer	275
Unutarnji promjer utora	290
Širina utora	11
Visina utora	5,6

Režimi obrade za pojedine operacije navedeni su u tablici 9.12.

Tablica 9.12. Režimi obrade

Operacija	Brzina rezanja v_c , m/min	Posmak f , mm
Vanjsko i čeono tokarenje	200	0,2
Unutarnje tokarenje	120	0,15
Tokarenje utora	60	0,05

Budući da je ovaj stroj noviji i suvremeniji, monitor stroja prikazuje vrijeme potrebno za obradu proizvoda. U tablici 9.13 prikazani su podaci o vremenu trajanja pojedine operacije. Pomoćno vrijeme je snimano za 4 uzoraka, te je izračunat prosjek i ukupna vrijednost tehnološkog i pomoćnog vremena, tablica 9.14.

Tablica 9.13. Tehnološko vrijeme

Stezanje	Operacija	Tehnološko vrijeme t_t , h:min:s
Prvo stezanje	Vanjsko tokarenje	0:02:45
	Čeono tokarenje	0:02:21
	Tokarenje utora	0:07:40
Drugo stezanje	Čeono tokarenje	0:01:22
	Unutarnje tokarenje	0:03:28
	Ukupno	0:17:36

Tablica 9.14. Pomoćno vrijeme

Prirubnica broj	Pomoćno vrijeme t_p , h:min:s		
	Prvo stezanje	Drugo stezanje	Ukupno
1	0:04:20	0:01:21	0:05:41
2	0:03:59	0:01:33	0:05:32
3	0:01:53	0:01:35	0:03:28
4	0:02:39	0:02:06	0:04:45
Prosjeak	0:03:13	0:01:39	0:04:52
$t_t + t_p$	0:22:28		

Vremena izvan obrade koje ulaze u pripremno-završna vremena t_{pz} navedena su u tablici 9.15, a odnose se na namještanje amerikanera, korekciju programa, zamjenu noževa i sl.

Tablica 9.15. Pripremno-završna vremena za prvo i drugo stezanje

Stezanje	Pripremno-završno vrijeme t_{pz} , h:min:s
Prvo stezanje	0:25:00
Drugo stezanje	0:17:00
Ukupno	0:42:00

9.2.3. Snimanje vremena obrade na stroju *Ada Potisje PA-900*

Na klasičnom tokarskom stroju *Ada Potisje PA-900*, slika 9.14, obrađuju se prirubnice većih promjera. Praćena serija sastojala se od 3 prirubnice čije su dimenzije navedene u tablici 9.16.



Slika 9.14. Klasični tokarski stroj *Ada Potisje PA-900*

Tablica 9.16. Dimenzije obratka

Karakteristika	Iznos, mm
Vanjski promjer	450
Debljina	29
Unutarnji promjer	320
Unutarnji promjer utora	345,2
Širina utora	10,5
Visina utora	5,3

Pripremi za ovu seriju su vanjskog promjera 455 mm i unutarnjeg promjera 315 mm. Budući da je pripremak za ove prirubnice bio lim debljine 30 mm, čeono se tokarila samo jedna strana obratka.

Obrada ovih prirubnica obavljena je u dva stezanja:

- prvo stezanje – iznutra: vanjsko tokarenje.
- drugo stezanje – izvana: unutarnje tokarenje, čeono tokarenje (1 mm), tokarenje utora.

U tablici 9.17 navedene su pojedine operacije i pripadajuća izmjerena vremena, te izračunate njihove prosječne vrijednosti. Tehnološka vremena označavaju efektivan rad, a pomoćna vremena uključuju mjerenja dimenzija obratka između operacija tokarenja, stezanja te zamjenu obradaka. Svaka operacija tokarenja na klasičnim tokarskim strojevima odvija se u više prolaza, s obaveznim mjerenjima za provjeru točnosti dimenzija.

Tablica 9.17. Tehnološka i pomoćna vremena

Operacija	Prirubnica broj	Tehnološko vrijeme t_t , h:min:s	Pomoćno vrijeme t_p , h:min:s	$t_t + t_p$, h:min:s
Vanjsko tokarenje	1	0:04:05	0:07:57	0:12:02
	2	0:04:37	0:02:23	0:07:00
	3	0:04:31	0:02:54	0:07:25
Prosjek		0:04:24	0:04:25	0:08:49
Unutarnje tokarenje	1	0:04:25	0:06:18	0:10:43
	2	0:04:50	0:02:29	0:07:19
	3	0:05:06	0:05:04	0:10:10
Prosjek		0:04:47	0:04:37	0:09:24
Čeono tokarenje	1	0:04:57	0:00:38	0:05:35
	2	0:03:41	0:01:30	0:05:11
	3	0:02:38	0:00:21	0:02:59
Prosjek		0:03:45	0:00:50	0:04:35
Tokarenje utora	1	0:03:13	0:04:25	0:07:38
	2	0:03:03	0:00:15	0:03:18
	3	0:02:37	0:00:53	0:03:30
Prosjek		0:02:58	0:01:51	0:04:49

U tablici 9.18 napravljen je pregled ukupnih snimljenih vremena za sve tri prirubnice te izračunata prosječna vrijednost obrade jednog komada tog tipa prirubnice.

Tablica 9.18. Ukupna prosječna vremena

Izmjereno vrijeme	Prirubnica 1	Prirubnica 2	Prirubnica 3	Prosjek
Tehnološko vrijeme t_t	0:16:40	0:16:11	0:14:52	0:15:54
Pomoćno vrijeme t_p	0:19:18	0:06:37	0:09:12	0:11:42
$t_t + t_p$	0:35:58	0:22:48	0:23:43	0:27:30

Za prvu prirubnicu u seriji pomoćna vremena su bila znatno dulja zbog centriranja, namještanja obratka na steznu glavu i provjeravanja njegovog položaja.

Poslovi kao što su namještanje amerikanera, postavljanje noža i sl. ubrajaju se u pripremno-završno vrijeme, koje je sveukupno iznosilo 20 minuta za cijelu seriju.

9.2.4. Snimanje vremena obrade na stroju Alfa 410×1000

Kada je riječ o pojedinačnoj proizvodnji ili proizvodnji nekoliko komada prirubnica manjih promjera, obrada se vrši na klasičnom tokarskom stroju Alfa 410×1000, prikazanom na slici 9.15.



Slika 9.15. Klasični tokarski stroj Alfa 410×1000

Praćena je obrada i snimano je vrijeme obrade 3 različite prirubnice. Dimenzije pripremača navedene su u tablici 9.19, a dimenzije obradaka u tablici 9.20.

Tablica 9.19. Dimenzije pripremača

Značajka	Pripremak A	Pripremak B	Pripremak C
Vanjski promjer, mm	170	155	205
Debljina, mm	30	30	20
Unutarnji promjer, mm	54	44	85,5

Tablica 9.20. Dimenzije obrađivanih prirubnica

Značajka	Prirubnica A	Prirubnica B	Prirubnica C
Vanjski promjer, mm	165	150	200
Debljina, mm	28,5	28,5	20
Unutarnji promjer, mm	61,1	49	90,5
Promjer za utor, mm	-	65	96
Širina utora, mm	-	6,7	9
Visina utora, mm	-	3,3	4,6

Obrada se izvršila u dva stezanja:

- prvo stezanje – iznutra: vanjsko tokarenje.
- drugo stezanje – izvana: čeonno tokarenje, unutarnje tokarenje, tokarenje utora.

U tablici 9.21 navedene su operacije i vremena izmjerena za pojedine operacije.

Tablica 9.21. Tehnološka i pomoćna vremena

Operacija	Prirubnica A	Prirubnica B	Prirubnica C
Stezanje	0:01:54	0:01:36	0:02:04
Vanjsko tokarenje	0:02:29	0:01:48	0:02:56
Stezanje	0:01:18	0:01:54	0:01:35
Čeono tokarenje	0:04:41	0:04:35	0:04:20
Unutarnje tokarenje	0:02:10	0:02:13	0:02:16
Tokarenje utora	-	0:01:55	0:02:22
Tehnološko vrijeme t_t	0:09:20	0:10:31	0:11:54
Pomoćno vrijeme t_p	0:03:12	0:03:30	0:03:39
$t_t + t_p$	0:12:31	0:10:37	0:10:33

Pripremno-završno vrijeme utrošeno prilikom obrade ovih prirubnica iznosilo je sveukupno 15 minuta.

9.3. Usporedba proračunatih i stvarnih vremena

Da bi se usporedila proračunata i stvarna vremena te definirali korektivni faktori za automatizirano određivanje normi kod obrade okruglih prirubnica u poduzeću *Končar – MK*, u *CATIA* programu opisanom u poglavlju 9.1 izrađeni su modeli navedenih prirubnica i napravljen *Machining* program za potrebne operacije strojne obrade. Rezultati su prikazani u tablici 9.22.

Tablica 9.22. Tehnološka vremena dobivena u programu CATIA

Vanjski / unutarnji promjer, dimenzije utora	Broj × promjer provrtā	Vanjsko tok., h:min:s	Čeono tok., h:min:s	Tok. utora, h:min:s	Unutar- nje tok., h:min:s	Bušenje, h:min:s	Upušta- nje, h:min:s	Ukupno, h:min:s
Ø180/50 mm, 7,2×3,6 mm	4×Ø19 mm	0:00:34	0:00:52	0:01:32	0:00:19	0:00:25	0:00:13	0:03:55
Ø180/50 mm bez utora	4×Ø19 mm	0:00:34	0:00:52	-	0:00:19	0:00:25	0:00:13	0:02:23
Ø395/275 mm, 11×5,6 mm	-	0:01:51	0:02:20	0:09:15	0:02:52	-	-	0:16:18
Ø450/320 mm, 10,4×5,3 mm	-	0:01:52	0:02:54	0:10:22	0:02:55	-	-	0:18:03
Ø165/61, 1 mm, bez utora	-	0:00:41	0:00:36	-	0:01:30	-	-	0:03:08
Ø150/49 mm, 6,7×3,3 mm	-	0:00:38	0:00:42	0:01:28	0:00:26	-	-	0:03:25
Ø200/90, 5 mm, 9×4,6 mm	-	0:00:38	0:00:56	0:03:01	0:00:35	-	-	0:05:10

U tablicama 9.23 i 9.24 prikazana je usporedba vremena dobivenih simulacijom (proračunatih) i snimljenih (izmjerenih) vremena, zajedno s podacima o strojevima i prirubicama koje su obrađivane. Podaci o izmjerenim vremenima uzeti su iz tablica 9.9, 9.13, 9.18 i 9.21.

Tablica 9.23. Usporedba stvarnih i proračunatih tehnoloških vremena na CNC strojevima

Stroj	Vanjski / unutarnji promjer, dimenzije utora	Broj × promjer provrta, mm	Tehnološko vrijeme t_t dobiveno simulacijom, h:min:s	Izmjereno tehnološko vrijeme t_t , h:min:s	Izmjereno pomoćno vrijeme t_p , h:min:s	Izmjereno $t_t + t_p$, h:min:s
Traub TNA 480	Ø180/50 mm, 7,2×3,6 mm	4×19	0:03:55	0:04:32	0:02:37	0:07:09
Traub TNA 480	Ø180/50 mm, bez utora	4 × 19	0:02:23	0:05:31	0:02:45	0:08:16
Haas ST-35	Ø395/275 mm, 11×5,6 mm	-	0:16:18	0:17:36	0:01:37	0:19:13

Tablica 9.24. Usporedba stvarnih i proračunatih tehnoloških vremena na klasičnim tokarilicama

Stroj	Vanjski / unutarnji promjer, dimenzije utora	Tehnološko vrijeme t_t dobiveno simulacijom, h:min:s	Izmjereno tehnološko vrijeme t_t , h:min:s	Izmjereno pomoćno vrijeme t_p , h:min:s	Izmjereno $t_t + t_p$
Ada Potisje PA-900	Ø450/320 mm, 10,4×5,3 mm	0:18:03	0:15:54	0:11:42	0:27:36
Alfa 410×1000	Ø165/61,1 mm, bez utora	0:03:08	0:09:20	0:03:12	0:12:32
Alfa 410×1000	Ø150/49 mm, 6,7×3,3 mm	0:03:25	0:10:31	0:03:30	0:14:01
Alfa 410×1000	Ø200/90,5 mm, 9×4,6 mm	0:05:10	0:11:54	0:03:39	0:15:33

Iz tablica 9.23 i 9.24 vidljivo je da su snimljena odnosno izmjerena vremena obrade prirubnica veća u odnosu na vremena dobivena simulacijom tj. proračunom s pomoću programa *CATIA*. Razlika u vremenima je znatno veća kod obrade prirubnica na klasičnim tokarskim strojevima u odnosu na vremena obrade prirubnica na CNC alatnim strojevima. To

je i razumljivo jer je utjecaj operatera na vrijeme obrade dijelova kod CNC alatnog stroja znatno manji.

Dijeljenjem stvarnih vremena obrade (izmjerenih) s vremenima dobivenima simulacijom obrade u programu *CATIA* dobivaju se korektivni faktori koji će poslužiti za automatizirano određivanje normi. Za stvarno vrijeme uzet je zbroj tehnoloških i pomoćnih vremena, koji se uspoređuje s tehnološkim vremenom dobivenim simulacijom. Ovi korektivni faktori su izračunati i prikazani u tablici 9.25 (za CNC strojeve) i tablici 9.26 (za klasične strojeve)

Tablica 9.25. Korektivni faktori za obradu prirubnica na CNC strojevima

Stroj, značajke proizvoda	Tehnološko vrijeme dobiveno simulacijom, h:min:s	Izmjereno tehnološko i pomoćno vrijeme, h:min:s	Korektivni faktor
Traub TNA 480 Ø180/50, utor, bušenje	0:03:55	0:07:09	1,83
Traub TNA 480 Ø180/50, bušenje	0:02:23	0:08:16	3,47
Haas ST-35 Ø395/275, utor	0:16:18	0:19:13	1,18

Tablica 9.26. Korektivni faktori za obradu na klasičnim tokarskim strojevima

Stroj, značajke proizvoda	Tehnološko vrijeme dobiveno simulacijom, h:min:s	Izmjereno tehnološko i pomoćno vrijeme, h:min:s	Korektivni faktor
Ada Potisje PA-900 Ø450/320, utor	0:18:03	0:27:36	1,53
Alfa 410×1000 Ø150/49, utor	0:03:08	0:12:32	4,00
Alfa 410×1000 Ø165/61,1	0:03:25	0:14:01	4,10
Alfa 410×1000 Ø200/90,5, utor	0:05:10	0:15:33	3,01

Dobiveni korektivni faktori mogu poslužiti za određivanje normativa prilikom razrade tehnologije kod obrade okruglih prirubnica, bez obzira na dimenzije, postojanje utora i provrta na njima. Vrijeme obrade određene prirubnice, koje se dobije simulacijom s pomoću programa *CATIA*, potrebno je pomnožiti s odgovarajućim korektivnim faktorom koji odgovara određenom alatnom stroju na kojem će se stvarno vršiti obrada.

U ove korektivne faktore nisu uračunata pripremno-završna vremena, navedena u tablici 9.27. Ova vremena ne mogu se dijeliti na broj komada u seriji jer se odnose na radnje izvan obrade koje bi bile obavljane bez obzira na veličinu serije. Pripremno-završna vremena često su nepredvidiva zbog dinamike proizvodnje ili neplaniranih zastoja, te znatno ovise o uvježbanosti samog radnika. Međutim, pripremno-završna vremena moraju se uzeti u obzir prilikom određivanja normativa.

Tablica 9.27. Pripremno-završna vremena praćenih obrada

Stroj, broj komada u seriji × vanjski promjer prirubnice	Pripremno-završno vrijeme t_{pz}, h:min:s
Traub TNA 480 15 × Ø180 mm	1:25:00
Traub TNA 480 11 × Ø180 mm	1:40:00
Haas ST-35 6 × Ø395 mm	0:45:00
Ada Potisje PA-900 3 × Ø450 mm	0:20:00
Alfa 410×1000 3 × Ø150-200 mm	0:15:00

10. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je proučiti trenutno stanje u proizvodnji i pokušati doći do ideje za unapređenje sustava normiranja vremena kod strojne izrade reprezentativnog proizvoda. Trenutno takve normative određuju tehnolozi, prilikom razrađivanja dokumentacije odgovarajućeg proizvoda i vremena se dosta razlikuju.

U tvrtki *Končar – Metalne konstrukcije* strojno se obrađuje velik broj sličnih pozicija, kod kojih variraju samo dimenzije i može ih se klasificirati u tipske proizvode (tehnološki slične proizvode). Priprema podloge za takve standardne pozicije mogla bi se naknadno implementirati u proizvodno-poslovni informacijski sustav tvrtke i koristiti za automatizaciju procesa normiranja. Ove podloge bi koristile voditeljima projekata u fazi izračuna ponuda obrada kupcima, te tehnologima prilikom planiranja zauzeća strojeva.

Provedena analiza odnosno snimanje trenutnog stanja obrade u tvrtki *Končar – MK*, prvi je korak prema uvođenju automatizacije normiranja obrade izabrane, reprezentativne, standardne pozicije - okrugla prirubnica. Da bi se taj proces mogao uspješno provesti, bile bi nužne znatne promjene u samom procesu proizvodnje tvrtke.

Za automatizirano normiranje izrade određenih proizvoda zahtijeva se stalna serijska proizvodnja sličnih proizvoda, međutim proizvodnju u tvrtki *Končar – MK* karakteriziraju:

- a) Vrlo česte obrade malih serija koje se ne isplate obrađivati na CNC obradnim centrima, već se obrađuju na klasičnim strojevima za obradu odvajanjem čestica.
- b) Česti prekidi radnih naloga kako bi se napravila neka hitna isporuka.
- c) Zbog kratkih rokova isporuke, kupuju se gotovi proizvodi ili poluproizvodi na kojima se samo vrše dorade.
- d) Promjene zahtjeva kupaca za različite projekte, što rezultira raznim varijantama istog proizvoda, čije obrade stoga nisu uvijek iste (npr. tolerancije, hrapavost površine i sl.).

Korektivni faktori dobiveni analizom snimljenih i simuliranih vremena u ovom radu daju uvid u stvarno stanje strojne obrade u tvrtki *Končar – MK* i mogu poslužiti za preciznije određivanje vremena potrebnih za obradu pojedinih pozicija.

Kada je riječ o obradi većih serija na CNC obradnim centrima, tehnološka vremena su uglavnom fiksna i mogu se lako simulirati u programu kao što je *CATIA*, a upotrebom korektivnih faktora mogu se izračunati normativi, za konkretan alatni stroj, koji malo odstupaju od stvarnosti.

Međutim, zbog gore navedenih karakteristika proizvodnje i većinskim udjelom klasičnih alatnih strojeva u cjelokupnoj strojnoj obradi tvrtke, potpunu automatizaciju normiranja strojne obrade bit će vrlo teško ostvariti.

11. LITERATURA

- [1] Pipunić, A., Grubišić, D.: Suvremeni pristupi poboljšanjima poslovnih procesa i poslovna uspješnost, *Ekonomska misao i praksa*, 23(2014)2, 541-572, <http://hrcak.srce.hr/file/193325>, pristupljeno 20.4.2017.
- [2] Taboršak, D.: *Studij rada, Orgdata*, Zagreb, 1994.
- [3] Horvatić, A.: Inovativnost kroz Define, Measure, Analyze and Control Methodology (DMAIC) kod pronalaženja metode umjeravanja CT mjernog uređaja, <https://www.fsb.unizg.hr/brodogradnja/UZIR-Essay-Horvatic-Amalia.pdf>, pristupljeno 20.4.2017.
- [4] Byrne, H.: *Work Measurement Methods*, http://www.iise.org/uploadedFiles/Webcasts/Members_only/WorkMeasurement_Hal ehByrne.pdf, pristupljeno 15.4.2017.
- [5] *Work Measurement*, <http://www.ims-productivity.com/page.cfm/content/Work-Measurement/>, pristupljeno 24.4.2017.
- [6] Perinić, M.: *Osnove tehnoloških procesa, predavanja*, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
- [7] Ciglar, D.: *Obradni strojevi, predavanja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [8] Končar – Elektroindustrija d.d., <https://www.koncar.hr/>, pristupljeno 17.03.2017.
- [9] Končar – Metalne konstrukcije d.d., <http://www.koncar-mk.hr>, pristupljeno 17.03.2017.
- [10] Drobito, L.: *interna prezentacija tvrtke Končar – Metalne konstrukcije d.d.*