

# Idejni projekt proizvodnog sustava strojne obrade

---

**Đumbir, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:213197>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**IDEJNI PROJEKT PROIZVODNOG SUSTAVA STROJNE  
OBRADE**

Rijeka, srpanj 2023.

Ivan Đumbir

1191242553

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**IDEJNI PROJEKT PROIZVODNOG SUSTAVA STROJNE  
OBRADE**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Sandro Doboviček

Komentor: dr. sc. Valter Uran

Rijeka, srpanj 2023.

Ivan Đumbir

1191242553



## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno, koristeći se znanjem i vještinama stečenim tijekom studiranja na Tehničkom fakultetu u Rijeci. Rad je izrađen pod voditeljstvom Izv. prof. dr. sc. Sandra Dobovičeka i dr.sc. Valtera Urana. U radu sam koristio i literaturu koja je navedena na kraju ovog rada.

## ZAHVALA

Ovim putem bih se zahvalio mome mentoru, izv. prof. dr. sc. Sandru Dobovičeku koji je prihvatio moj upit za mentorstvo te svojim znanjem i savjetima omogućio realizaciju ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se na njegovom strpljenju i izdvojenom vremenu za rješavanje mojih brojnih upita.

Također se zahvaljujem dr.sc. Valteru Uranu, djelatniku tvrtke B.R.O.S.S. Tehnika d. o. o. s čijom je suradnjom izrađen ovaj rad, koji mi je omogućio i prikupio sve podatke i informacije potrebne za rješavanje zadatka.

Na kraju, najveću zaslugu i zahvalu dajem svojoj obitelji koja mi je omogućila da ovo postignem i dođem do ove faze studiranja. Bez njihove konstantne podrške i potpore sve ovo ne bi bilo izvedivo.

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	PROIZVODNE PROSTORNE STRUKTURE .....	2
2.1	Osnovne podjele proizvodnih prostornih struktura .....	2
2.2	Tipovi proizvodnih prostornih struktura.....	3
2.2.1	Pojedinačni raspored .....	3
2.2.2	Raspored u skupine po vrsti obrade .....	5
2.2.3	Linijaska proizvodnja.....	6
2.2.4	Prilagodljive proizvodne prostorne strukture .....	8
2.2.5	Proizvodne ćelije .....	10
3.	METODE GRUPIRANJA PROIZVODA .....	12
3.1	Manualne tehnike .....	13
3.2	Metode klasifikacije .....	14
3.3	Metode klaster analize .....	14
3.4	Blok-dijagonalne metode.....	15
3.5	Matematičke metode.....	16
3.6	Tehnike umjetne inteligencije .....	17
4.	GRUPIRANJE PROIZVODA PROCESNOM METODOM .....	18
4.1	Tehnološka analiza proizvoda .....	18
4.2	Proračun kapaciteta.....	26
4.3	Grupiranje izradaka .....	33
4.3.1	Grupiranje izradaka prema minimalnim količinama.....	35
4.3.2	Grupiranje proizvoda prema maksimalnim količinama .....	66
4.4	Proračun broja radnika.....	72
5.	ODABIR RJEŠENJA PROIZVODNOG SUSTAVA.....	74
5.1	Prvi scenarij .....	75
5.2	Drugi scenarij .....	79
5.3	Odabir rješenja.....	82

6. SIMULACIJA PROIZVODNOG SUSTAVA.....	83
7. ZAKLJUČAK .....	98
LITERATURA.....	99
POPIS SLIKA .....	100
POPIS TABLICA.....	103
SAŽETAK.....	105
SUMMARY .....	106
PRILOZI.....	107



# 1. UVOD

Proizvodnja je prostorno i vremenski ograničen proces koji je rezultat svjesnog djelovanja čovjeka u kojem dolazi do svrsishodne korelacije ljudskih aktivnosti i sredstava rada s ciljem stvaranja neke nove vrijednosti. Krajnja vrijednost koja nastaje procesom proizvodnje je najčešće proizvod ili usluga. Sredstva rada ili resursi koji se koriste u procesu proizvodnje mogu biti financijski, materijalni, ljudski, informacijskog tipa te mnogi drugi. Proces proizvodnje je temeljen na znanstvenim zakonitostima, tj. na nekim činjenicama koje su objašnjene i dokazane od strane stručnjaka kako bi na siguran i pozitivan način potpomogle i pridonijele prednosti izvođenju procesa. Samim time što je proizvodnja proces prema njegovoj definiciji od pretvara ulaze u određene izlaze. Ulazi su upravo i navedeni, to mogu biti ljudska snaga, informacije, financijska ili materijalna sredstva, a izlazi su različiti proizvodi i usluge za koje postoji potražnja. U početku se proizvodnja provodila ručno odakle joj i dolazi naziv eng. *manufacturing* (dolazi od latinskih riječi *manus* što znači ruka, te *factus* što znači činiti). Ona se odvijala u univerzalnim radionicama jednostavnijim proizvodnim postupcima. S vremenom su proizvodi zbog različitih želja i potreba ljudi te s razvojem tehnologije postajali sve kompleksniji i različitiji, a njihova je proizvodnja postala složenija. Zbog toga je rasla potreba za sve većim brojem radnika i potreba za sve većom i preciznijom pripremom proizvodnje. Sve to dovelo je do toga da je proizvode bilo potrebno grupirati u grupe prema sličnosti kako bi se njihova proizvodnja mogla odvijati brže i učinkovitije. Zbog toga su razvijene brojne metode za grupiranje proizvoda od kojih će se jedna obraditi u ovome radu.

Zadatak ovog diplomskog rada je izraditi idejni projekt proizvodnog sustava za proizvodnju tj. obradu grupe proizvoda početnih minimalnih količina i maksimalnih potrebnih količina koje su zadane u zadatku. Za grupiranje proizvoda će se primijeniti procesna metoda, a za svaki proizvod će se definirati plan obrade s potrebnim strojevima za njegovu obradu. Za dobivene grupe proizvoda će se dodatno analizirati moguća rješenja grupiranja u razdobljima minimalnih i maksimalnih količina u ovisnosti o troškovima rekonfiguracije. Nakon konačnog formiranja grupa prikazat će se prostorni raspored opreme te izraditi simulacija obrade za odabrane grupe proizvoda u jednom operativnom periodu koji će biti jedan dan. Simulacija će se izvršiti pomoću softvera *Tecnomatix Plant Simulation*.

## **2. PROIZVODNE PROSTORNE STRUKTURE**

### **2.1 Osnovne podjele proizvodnih prostornih struktura**

Kroz brojne radove u literaturi spominju se različite vrste klasifikacije tipova proizvodnih prostornih struktura. Od autora do autora koriste se različiti nazivi za pojedinu strukturu. Uz to su se i tipovi proizvodnih struktura mijenjali kroz vrijeme s porastom automatizacije i razvojem tehnologije. Početna faza donijela je dvije osnovne proizvodne prostorne strukture, a to su radionička prostorna struktura ili raspored prema vrsti obrade te linijska proizvodnja u kojoj je više radnih strojeva za proizvodnju postavljeno u liniju kako bi se proizvod proizveo brže. Radionička proizvodnja imala je prednost brze i efikasne prilagodljivosti prema promjenama pojedinih operacija ili promjenama na proizvodu. Bila je namijenjena za male količine različitih proizvoda koji su se proizvodili prema narudžbi za točno određenog kupca. Mana joj je kompleksan put kroz radionicu koji dovodi do velikih vremena čekanja i transporta te dugog vremena do završetka obrade proizvoda. S druge strane, linijska proizvodnja je zbog redosljeda strojeva u liniji imala veliku produktivnost ali i malu prilagodljivost na promjene proizvoda.[1]

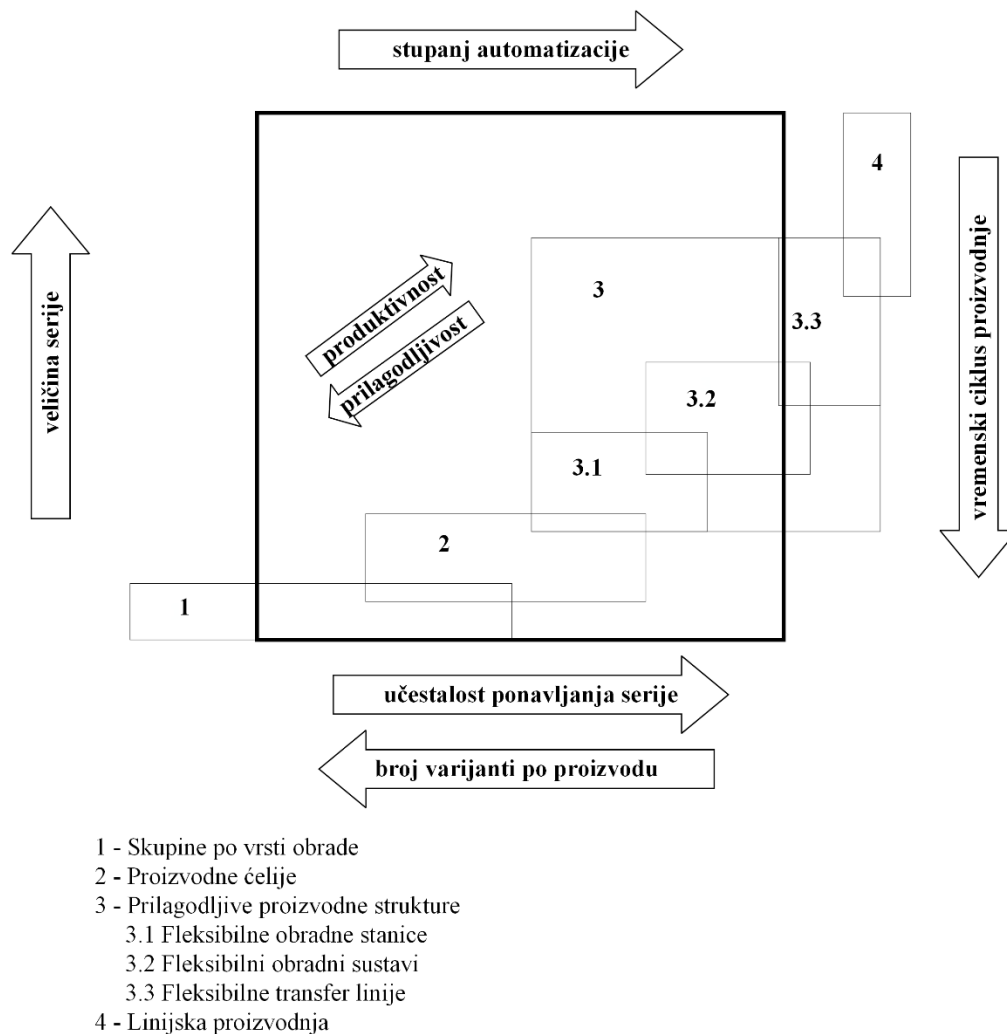
Muther je u svome radu naveo sljedeću podjelu proizvodnih prostornih struktura:

1. Raspored s čvrstom pozicijom. Ova prostorna struktura se sastoji od jednog univerzalnog stroja na kojem se svaki proizvod obrađuje od početka pa sve do kraja. Prema tome kod ovakve proizvodne strukture nema međuoperacijskog transporta.
2. Raspored po vrstama obrade. Kod ove strukture postoji više strojeva koji su smješteni u posebne radionice prema vrsti obrade koju obavljaju.
3. Linijska proizvodnja. Strojevi su raspoređeni u liniju prema redosljedu izvršavanja operacija na određenom proizvodu. [2]

Vremenom su se provodila brojna istraživanja s ciljem povećanja fleksibilnosti radioničke proizvodne strukture uz postizanje produktivnosti linijske proizvodnje. Ovim istraživanjima uvelike je potpomognuo razvoj grupne tehnologije. Zbog toga su nastajale nove proizvodne prostorne strukture, a Schmigalla i Woithe ih dijele na dvije osnovne skupine:

1. Raspored po svrsi: linijska proizvodnja te gnjezdasta proizvodnja
2. Raspored u skupine po svrsi [3,4]

Proizvodne prostorne strukture su se i dalje razvijale, a na slici 2.1 su prikazana obilježja i područja primjene pojedinih prostornih struktura.



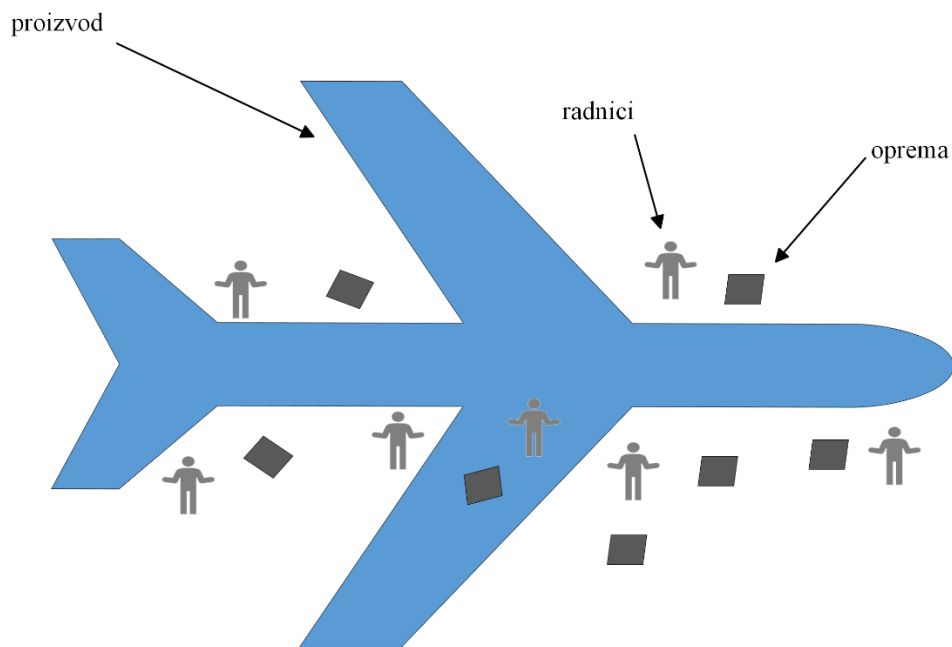
Slika 2.1 Područja primjene proizvodnih prostornih struktura [1]

## 2.2 Tipovi proizvodnih prostornih struktura

### 2.2.1 Pojedinačni raspored

Pojedinačni raspored je oblik proizvodne prostorne strukture u kojoj se određeni proizvod obrađuje u cijelosti na jednom radnom mjestu ili stroju. To se najčešće događa unutar jedne operacije pa zbog toga nema međuoperacijskog transporta. Proizvodnja se odvija na način da se sirovi materijal (odljevak, otkivak ili šipka) doprema iz skladišta repromaterijala do radnog mjesta na kojem se proizvod obrađuje te se po završetku obrade odvozi u skladište gotovih proizvoda. Ovakav raspored proizvodnje je povoljan za izradu velikih i teških proizvoda kod kojih bi proizvodnja bila povezana sa visokim troškovima transporta i nespretnim međuoperacijskim transportom. Zbog

toga je ovo najčešći oblik rasporeda kod proizvodnje velikih strojeva, aviona ili brodova kod kojih proizvod stoji na jednom mjestu dok se radnici kreću oko njega sa alatima i ostalim sredstvima za rad kako bi izvršili njegovu obradu ili montažu (slika 2.2).



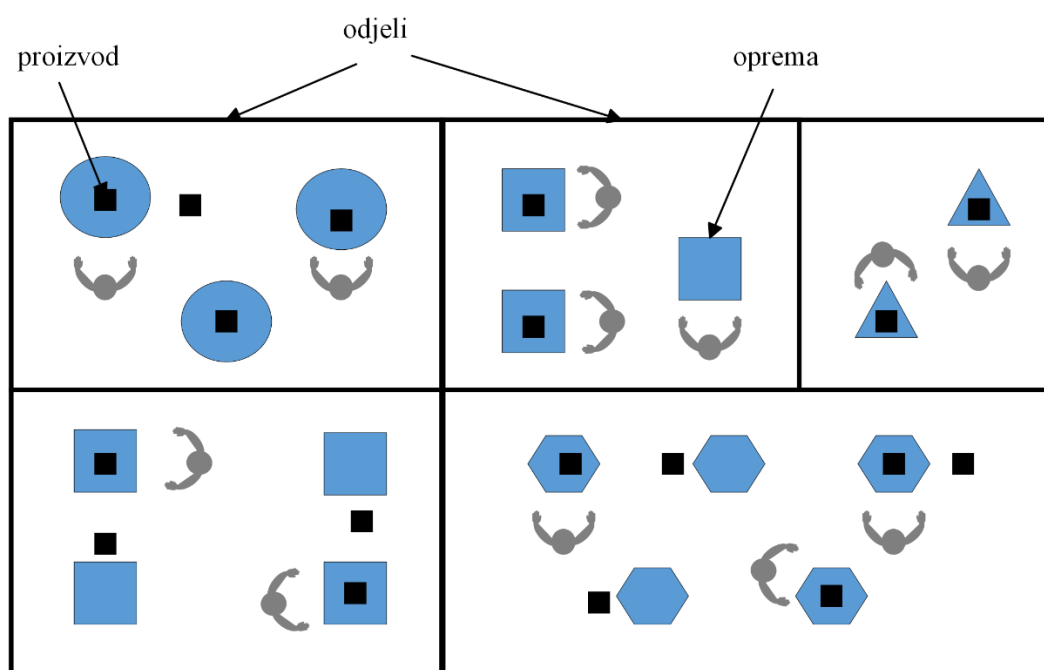
*Slika 2.2 Primjer pojedinačnog rasporeda proizvodnje [5]*

Glavne prednosti pojedinačnog rasporeda su: nema međuoperacijskog transporta, pošto se koriste univerzalni strojevi postoji određena prilagodljivost na promjene u proizvodnji te u redosljedu izvršavanja rada, mali troškovi transporta, mogućnost taktne proizvodnje te veća iskoristivost prostora. Nedostaci ove proizvodne strukture su: zahtjev za pokretnim strojevima i sredstvima za rad, mogućnost samo pojedinačnog tipa proizvodnje, potreba za univerzalnim strojevima. [1,6]

Primjer proizvodnog procesa koji koristi pojedinačni raspored su projekti. To su procesi koji stvaraju proizvode velike varijabilnosti i vrlo male količine. Projektni procesi se koriste za izradu proizvoda prema točno definiranim specifikacijama i željama kupca za kojeg se izrađuje proizvod. Osoblje i oprema odnosno strojevi koji sudjeluju u projektu moraju se moći premjestiti na lokaciju proizvoda. Projekti zahtijevaju koordinaciju mnogih pojedinaca i aktivnosti koje se provode u projektu kako bi se dovršili u dogovorenom vremenskom okviru. Budući da je svaki projekt jedinstven, resursi za transformaciju će sadržavati opremu opće namjene koja se može koristiti u nizu različitih projekata. Primjeri projekata su izgradnja zgrada, dizajn interijera te namještaj izrađen po narudžbi. [7]

## 2.2.2 Raspored u skupine po vrsti obrade

Kod ovakvog tipa proizvodne prostorne strukture mjesta za rad su raspoređena prema funkcijama i poslovima koji se u njima obavljaju (slika 2.3). Radna mjesta se opremaju tako da su specijalizirana za izvođenje istovrsnih operacija (tokarenje, glodanje, bušenje). To znači da će svaki proizvod koji se proizvodi u ovakvom prostornom rasporedu ići svojim jedinstvenim putem od stroja do stroja, odnosno od funkcije do funkcije ovisno o tome koje se operacije na njemu trebaju izvršiti. Prema tome svaki drugačiji proizvod ili grupa proizvoda će imati različite putanje kretanja po ovakvoj prostornoj strukturi što može biti vrlo složeno u organizaciji iste. Ovaj tip prostornog rasporeda je primjenjiv i ekonomičan kod proizvoda sa različitim trajanjima pojedinih operacija te kod proizvoda kod kojih se zahtijeva prilagodljivost opreme i strojeva zbog promjene količine proizvoda ili promjene asortimana proizvoda. [8]



Slika 2.3 Raspored u skupine po vrsti obrade [5]

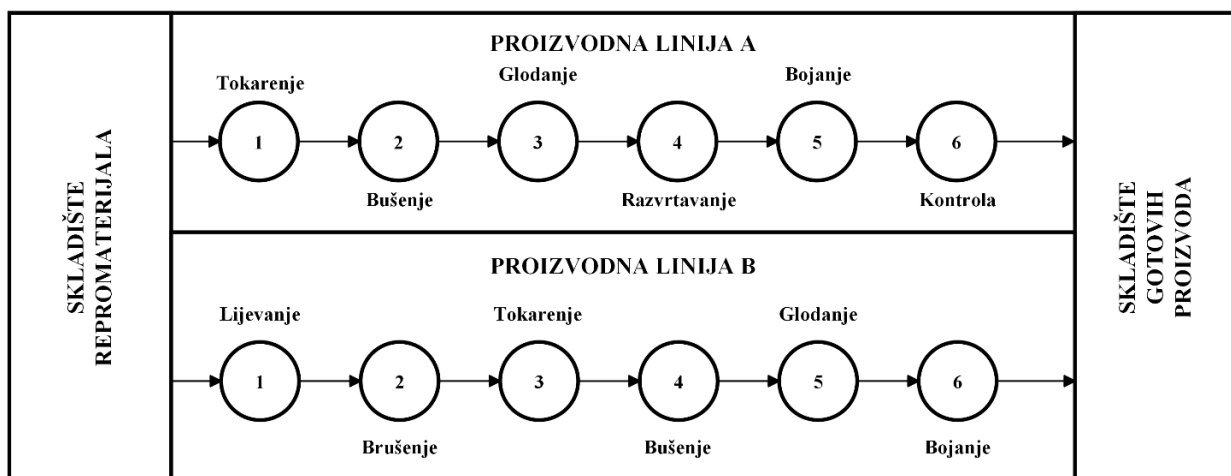
Glavne prednosti ovog proizvodnog rasporeda su: prilagodljivost na promjene potrebne količine ili promjene asortimana proizvoda, visoki stupanj iskorištenja radnih mjesta, dobra prilagodba na nove postupke ili novi redoslijed izvršavanja operacija, lagano obrazovanje i osposobljavanje radnika na strojevima, pošto su strojevi za izvršavanje istih poslova raspoređeni u zasebne prostorije ima ih više pa u slučaju kvara jednog stroja proizvod se lako prebaci na drugi stroj.

Nedostaci ovog prostornog rasporeda su: dugački rokovi isporuke, dug ciklus proizvodnje, povratni putevi proizvoda se ne mogu izbjeći, a to izaziva dodatne komplikacije u osiguravanju transporta te povećava transportne puteve a samim time i troškove transporta, radnici na strojevima moraju imati određena znanja za korištenje istih, potreban je veliki prostor za međuoperacijska skladišta, velika količina WIP (nedovršenih proizvoda), visoki troškovi zaliha, zahtjevno upravljanje i planiranje proizvodnje, zbog različitih putanja proizvoda loš je pregled proizvodnje svakog proizvoda.

### 2.2.3 Linijska proizvodnja

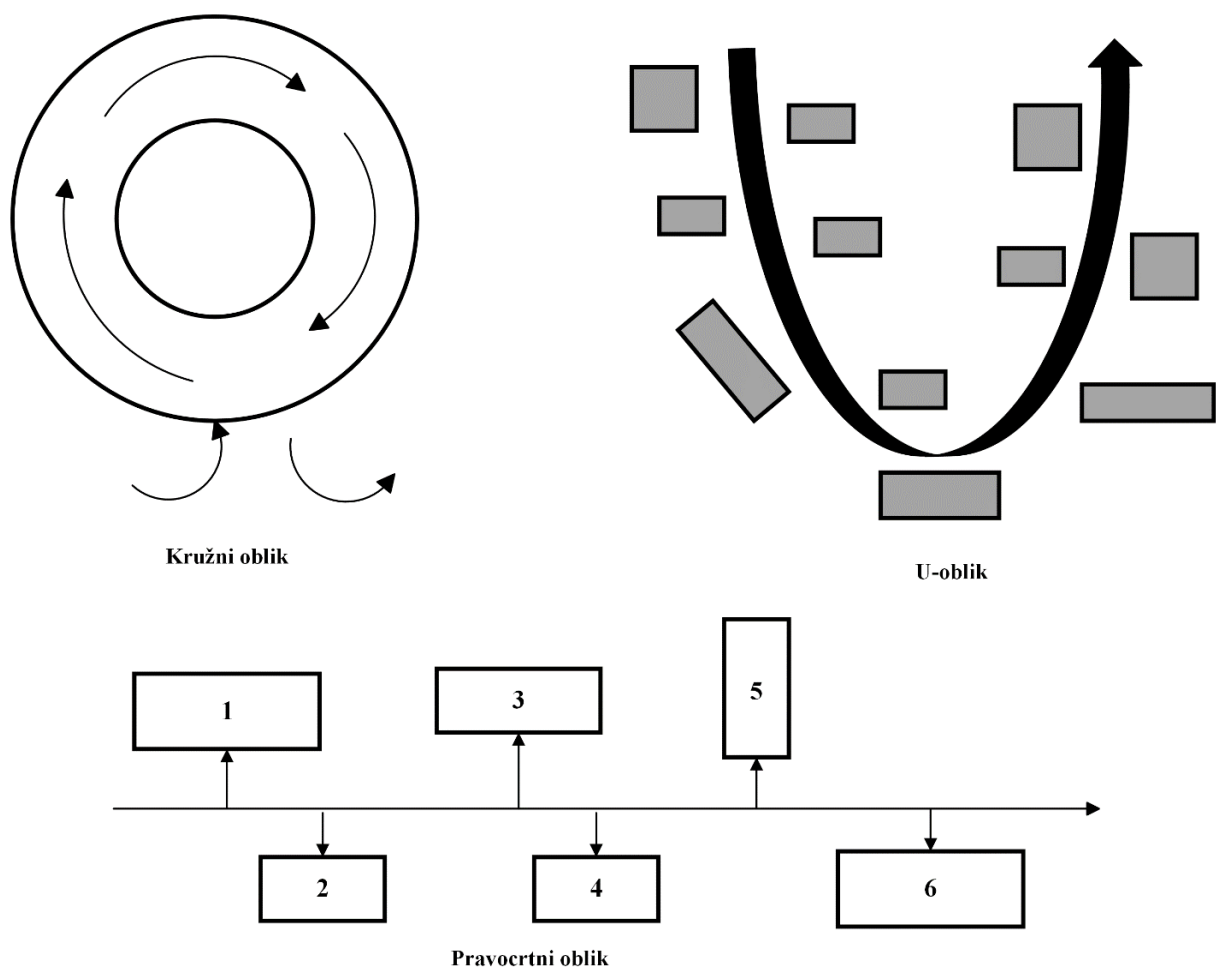
Razbijanje rada na manje standardizirane korake prvi je predložio Taylor 1911. godine, a u praksu je taj princip uveo Ford. U početku su taj linijski rad obavljali ljudi uz pokretnu traku posloženi redosljedom obavljanja operacija na pojedinom proizvodu. To je omogućavalo da se proizvodnja odvija masovno, a zbog raspoređivanja posla na više manjih jednostavnijih zahvata posao je mogla odrađivati niže kvalificirana radna snaga. Postizanje masovne proizvodnje je omogućilo da se proizvodima snizi cijena te da oni postanu dostupni širem sloju ljudi. [9]

Organizacijska prostorna struktura namijenjena za proizvodnju velike količine vrlo sličnih ili potpuno istih proizvoda je linijska proizvodnja. Ova struktura je orijentirana prema proizvodu koji se proizvodi na taj način da su sva sredstva za rad, odnosno strojevi, raspoređeni prema redosljedu obrade proizvoda. To povlači za sobom da je linijska proizvodnja način proizvodnje u jednom smjeru što znači da nema povratnog hoda materijala (slika 2.4). [6,8]



Slika 2.4 Linijska proizvodnja

Ovisno o dostupnom prostoru, vrsti proizvoda, kretanje materijala te instalirane strojeve, tokovi obrade mogu biti pravac, L linija, U linija, O linija ili S linija (slika 2.5). Linijska proizvodnja se može podijeliti u ovisnosti o broju različitih proizvoda koje proizvodi na jednopredmetne linije i na višepredmetne linije. Jednopredmetna linija je linijska proizvodnja za jednu vrstu proizvoda kod koje su strojevi raspoređeni prema redosljedju izvršavanja operacija obrade tog proizvoda od ulaska sirovca iz skladišta repromaterijala pa sve do gotovog proizvoda. Vremenski interval potreban za kretanje proizvoda između strojeva predstavlja takt linije. Višepredmetna linija je također linijska proizvodnja kod koje su strojevi raspoređeni prema redosljedju izvršavanja operacija obrade ali kod ove vrste proizvodnje taj redosljed treba biti zadovoljen za familiju ili grupu geometrijski ili tehnološki sličnih dijelova. Zbog sličnosti između tih dijelova oni će imati isti ili sličan redosljed operacija. Kod višepredmetnih linija je potrebno posebno obratiti pozornost na balansiranje vremena trajanja operacija kako ne bi bilo dugih čekanja i zastoja na liniji.



Slika 2.5 Primjeri tokova obrade u linijskoj proizvodnji [1]

Još jedna podjela linijske proizvodnje je na linije kod kojih se proizvod kreće u određenim vremenskim intervalima te na linije kod kojih se proizvodi ne kreću u pravilnim intervalima odnosno ne postoji takt kretanja materijala. Proizvodne linije kod kojih se proizvodi kreću u određenim vremenskim intervalima imaju balansirana vremena trajanja operacija pa proizvodnja može biti kontinuirana (tekuća) ili u određenim vremenskim razmacima. Kod druge navedene vrste ne postoji balansiranost vremena trajanja operacija. Balansiranost vremena trajanja operacija može se postići preraspodjelom operacija odnosno postavljanjem više operacija koje će se obrađivati na jednom radnom mjestu ili dijeljenjem jedne operacije koja je preduga na više manjih operacija koje će se odrađivati na više radnih mjesta. Balansiranje se također može poboljšati uvođenjem novih boljih strojeva ili poboljšanjem tehnološkog postupka izrade proizvoda. Još neki načini poboljšanja balansiranosti linije su paralelni rad više strojeva u proizvodnji, promjena konstrukcije proizvoda odnosno redosljeda i broja operacija te postavljanje međuoperacijskih skladišta. Ako ni jedan način nije moguće izvesti kako bi se balansirale linije, moguće je produžiti radno vrijeme strojeva i radnika na operacijama koje su usko grlo u proizvodnji. To se postiže radom u više smjena ili prekovremenim radom. Neke od prednosti linijske proizvodnje su: mali potrebni broj radnika, male zalihe, kratak ciklus proizvodnje, jednostavan transport materijala, mogućnost masovne proizvodnje, kratak transport materijala, mogućnost automatizacije procesa, jednostavno upravljanje proizvodnjom. Nedostaci ove organizacijske prostorne strukture su: specijalizirana oprema koja je namijenjena i raspoređena isključivo za proizvodnju jedne vrste ili mali broj vrlo sličnih proizvoda čija bi preraspodjela za drugačiju vrstu proizvoda dovela do velikih troškova, osjetljivost na kvarove koji uzrokuju zastoj cijele linije, relativno visoka cijena transportnih sredstava, potrebna visoka investicijska ulaganja, pogotovo ako je potrebno dupliranje strojeva pri paralelnom radu linija. [1]

#### 2.2.4 Prilagodljive proizvodne prostorne strukture

Prilagodljive ili fleksibilne proizvodne strukture se javljaju kao posljedica na promjene tržišnih zahtjeva, razvoj automatizacije te pojavu numerički upravljanih strojeva (NC i CNC strojevi). Ovakve strukture imaju visoku fleksibilnost i brzu prilagodbu na promjene količine ili vrste proizvoda te na pojavu kvara u proizvodnom sustavu. Glavne fleksibilne proizvodne prostorne strukture su fleksibilne obradne stanice, fleksibilni obradni sustavi i fleksibilne transfer linije.

Fleksibilna obradna stanica je automatizirana struktura u kojoj se mogu obrađivati različiti proizvodi prizmatičnog ili rotacijsko simetričnog oblika. Ova struktura omogućuje automatizirano



rukovanje te skladištenje obrađivanog proizvoda kao i reznih, steznih i mjernih alata. Pomoćni sustavi u fleksibilnoj obradnoj stanici kao što su sustav skladištenja, mjerenje i kontrola te izmjena alata također mogu biti automatizirani. Numerički upravljani obradni centar je osnovna jedinica ove strukture. To je fleksibilni stroj na kojem proizvod može biti obrađen djelomično ili u potpunosti. Za razliku od NC/CNC strojeva, obradni centar omogućava veću fleksibilnost prilikom obrade kao na primjer posjedovanje magazina alata s automatskom izmjenom alata te mogućnost istovremene obrade proizvoda sa više strana. To mu omogućuju okretni stolovi i posjedovanje više vretena za obradu. Zbog automatiziranog rada ove strukture potrebno je i osigurati automatizirani nadzor rada. fleksibilne obradne stanice imaju niz senzora i ticala s pomoću kojih se u svakom trenutku određuje položaj proizvoda i tako sprječava kolizija te mogući lom alata. Ukoliko senzori detektiraju takav događaj, stroj se automatski zaustavlja.[1,9]

Fleksibilni obradni sustavi se sastoje od većeg broja obradnih strojeva koji su međusobno povezani sustavima transporta. Obradni strojevi u ovoj strukturi također sadrže mjerne i kontrolne uređaje te automatsku izmjenu alata i magazin alata, a svim time se upravlja preko numerički upravljane jedinice. U ovisnosti o sličnosti proizvoda i broju operacija, fleksibilni obradni sustavi se mogu podijeliti na jednooperacijske, višeoperacijske i kombinirane. Obradni sustavi koji su jednooperacijski posjeduju dodatna sredstva za rad koja im pomažu i omogućuju potpunu obradu proizvoda na jednom stroju. Višeoperacijski fleksibilni obradni sustavi se sastoje od specijaliziranih strojeva koji imaju ograničenu primjenu. Neki od podsustava koji čine fleksibilni obradni sustav su transportni sustav, skladišni sustav i sustav za rukovanje proizvodom. Transportni sustav povezuje pojedine strojeve u obradnom sustavu te obradni sustav sa skladištem repromaterijala i skladištem gotovih proizvoda. S obzirom na međusobno povezivanje obradnih strojeva mogu se podijeliti na vanjske i unutarnje transportne sustave. U unutarnjem transportnom sustavu proizvodi se kreću kroz radni prostor obradnih strojeva što otežava upravljanje fleksibilnim obradnim sustavom. Vanjski transportni sustav olakšava planiranje i upravljanje fleksibilnim obradnim sustavom i omogućuje paralelno izvršavanje proizvodnje i transporta jer se transport vrši pored obradnih strojeva. Najčešće vrste transportne opreme su industrijska kolica, industrijska vozila, transportne trake i dizalice. U novije vrijeme se sve više koriste automatski vođena vozila (eng. *automated guided vehicles*, AGV). Ova vozila najčešće rade na struju po principu automatskog upravljanja i automatskog izvršenja. Automatski vođena vozila se upravljaju i kreću na principu praćenja različitih magnetskih ili žičanih vodilica te praćenjem putanje u boji. Skladišni sustav ima zadatak pohranjivanje proizvoda prije obrade dok je u stanju sirovca, tijekom obrade (između pojedinih operacija) te nakon obrade. Međuoperacijska skladišta se koriste prije uskih grla procesa kako bi onemogućila zastoje strojeva koji se nalaze prije uskog grla. [9]

Fleksibilne transfer linije se koriste za obradu većih serija proizvoda koji imaju isti ili slični redoslijed operacija. Za razliku od linijske proizvodnje fleksibilne transfer linije se mogu koristiti za veću količinu proizvoda koji imaju manju geometrijsku ili tehnološku sličnost. Ove linije imaju automatiziran sustav transporta koji omogućuje tekuću proizvodnju tako da svaki proizvod prolazi redom kroz obradne strojeva redoslijedom kojim su oni postavljeni. Kako bi se spriječili zastoji uzrokovani kvarom ili redovnim održavanjem, fleksibilne transfer linije također imaju međuskладиšta koja omogućavaju nesmetano odvijanje proizvodnog procesa kroz određeno vrijeme ovisno o veličini međuskладиšta. [1]

## 2.2.5 Proizvodne ćelije

Pošto je kroz povijest s vremenom rasla potražnja za sve različitim asortimanom proizvoda, bilo je potrebno osmisliti proizvodnu strukturu koja zadovoljava proizvodnju različitih proizvoda dovoljno brzo, u dovoljnim količinama te po prihvatljivoj cijeni. [9]

Zbog te različitosti proizvoda oni se nisu mogli proizvoditi u jednoj zajedničkoj proizvodnoj strukturi, nego ih je bilo potrebno prije proizvodnje svrstati u familije dijelova. Familija dijelova je grupa proizvoda ili dijelova koji posjeduju međusobnu sličnost bila ona geometrijska sličnost oblika, geometrijska sličnost dimenzija ili tehnološka sličnost. Ideja koja je nastala 1960-ih godina je da se takve familije dijelova proizvode u zajedničkoj autonomnoj organizacijskoj jedinici – proizvodnoj ćeliji. Proizvodne ćelije su osmišljene na principu stare radioničke proizvodnje koja je nudila fleksibilnost. Problem kod radioničke proizvodnje je teška upravljivost sustava koja je kod proizvodnih ćelija riješena transformacijom odnosa između proizvodnih elemenata odnosno formiranjem više zasebnih proizvodnih sustava (slika 2.6). [9]

Prema principu radioničke proizvodnje



U proizvodnoj ćeliji



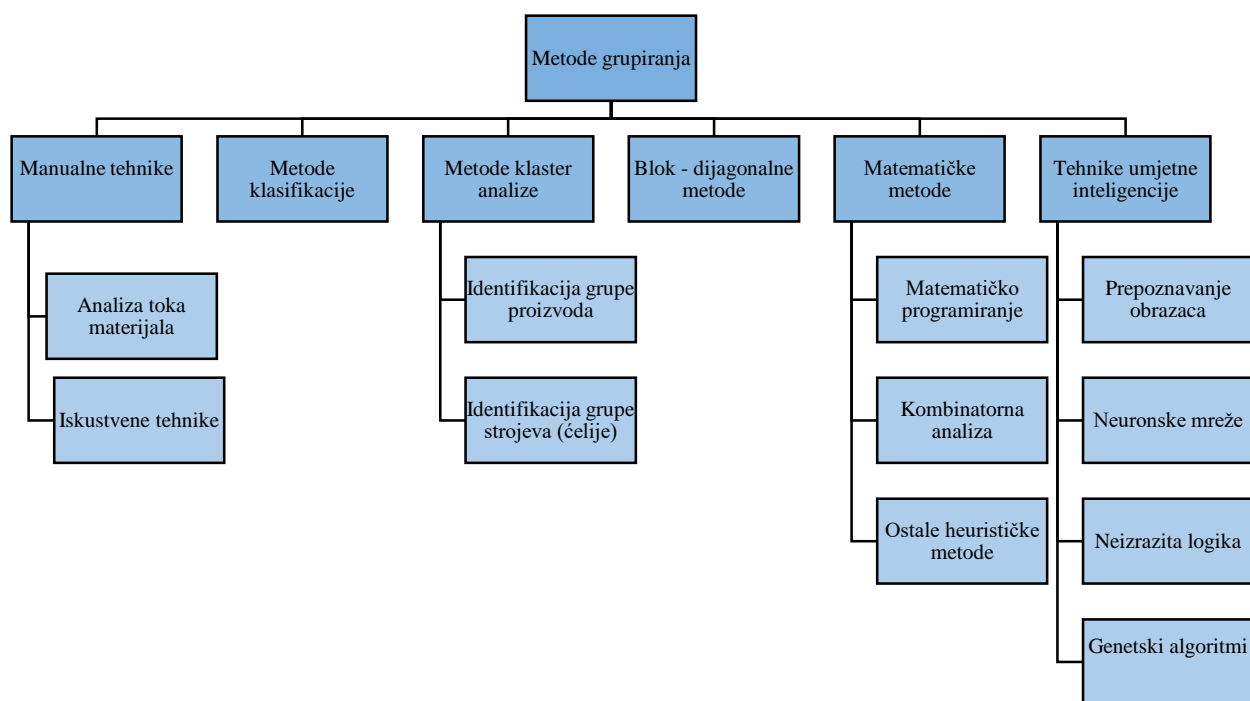
*Slika 2.6 Proizvodnja veće količine proizvoda po principu radioničke proizvodnje i u proizvodnoj ćeliji [10]*

Neke od karakteristika proizvodnih ćelija su: sadrže numerički upravljane fleksibilne strojeve, proizvodnja se vrši kroz više operacija, namijenjene za grupe sličnih proizvoda, automatizirani transport, automatizirani strojevi, općenito visoki stupanj automatizacije.

Kako bi se formirale familije proizvoda razvijene su brojne metode grupiranja proizvoda. Metode grupiranja proizvoda mogu se svrstati u šest skupina, a to su: manualne tehnike, metode klasifikacije, metode klaster analize, blok-dijagonalne metode, matematičke metode i tehnike umjetne inteligencije.

### 3. METODE GRUPIRANJA PROIZVODA

Brojni zahtjevi kao što su kratak životni ciklus proizvoda, sve veća različitost proizvoda, proizvodnja u sve manjim serijama te porast konkurencije na globalnom tržištu, nametnuli su potrebu za pronalaženjem i otkrivanjem metoda za grupiranje proizvoda prema sličnosti. Te metode se koriste zbog brojnih prednosti koje nudi proizvodnja sličnih proizvoda. Takva proizvodnja nudi kraće pripremno-završno vrijeme, smanjuje varijabilnost između trajanja pojedinih operacija, smanjuje nedovršeni posao, pojednostavljuje i olakšava logistiku i transport proizvoda te smanjuje ukupne troškove proizvodnje. Podjela metoda grupiranja proizvoda koja je navedena na kraju prošlog poglavlja prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1 Metode grupiranja [11]

### 3.1 Manualne tehnike

Manualne tehnike grupiranja proizvoda se dijele na metodu analize toka materijala (production flow analysis, PFA) te na iskustvene tehnike. Burbridge je osmislio analizu toka materijala krajem 70-ih i 80-ih godina 20. stoljeća. Ova metoda se temelji na trenutnom toku materijala koji određeni proces generira. Prema tom postojećem toku se stvara novi pojednostavljeni i efikasniji tok materijala. Metoda se provodi s ciljem da se proizvodni sustavi koji imaju raspored strojeva u skupine prema vrsti obrade (funkcijski organiziran) transformiraju u proizvodne ćelije (strukture orijentirane prema proizvodu) (slika 3.2). [1,11]

Iskustvene tehnike su najjednostavniji i najjeftiniji način grupiranja proizvoda. Kvaliteta grupiranja ove metode ponajviše ovisi o teorijskim i praktičnim znanjima te iskustvu projektanta koji provodi metodu. Pošto je ova metoda najjeftinija ima i neke mane, ograničeno grupiranje po opsegu odnosno broj proizvoda koji se može analizirati jedna je od njih. Također ovom metodom se ne dobiva detaljna analiza iskoristivosti i opterećenosti opreme kao ni ekonomska analiza potencijalnih rješenja. [10]



Slika 3.2 Transformacija proizvodnog sustava s pomoću metode analize toka materijala (PFA) [11]

### 3.2 Metode klasifikacije

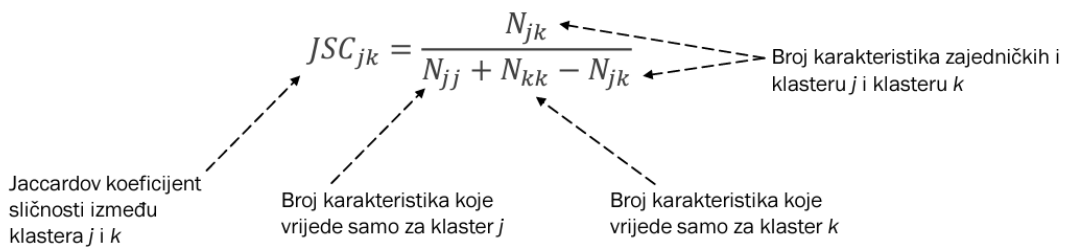
Metoda klasifikacije je metoda koja grupiranje provodi na temelju nekih atributa (klasa) proizvoda. Atributi prema kojima će se proizvodi klasificirati mogu biti dimenzije, oblik, materija, kvaliteta, težina i mnogi drugi. Prvi korak ove metode je upravo određivanje tih važnih atributa prema kojima će se vršiti klasifikacija svih proizvoda. Nakon odabira atributa slijedi određivanje broja razreda te definiranje razreda za svaki atribut (klasu) (slika 3.3). Kada se odrede važni atributi i definiraju razredi može se početi sa klasifikacijom. Za svaki se proizvod redom određuje kojem razredu koje klase pripada i na taj način se dobivaju familije sličnih dijelova. U ovoj se metodi ne provodi tehnološka analiza proizvoda, no zbog istog klasifikacijskog broja može se očekivati da će formirane grupe proizvoda imati sličan tehnološki postupak obrade. [11]



Slika 3.3 Određivanje klase i definiranje razreda za svaku klasu [11]

### 3.3 Metode klaster analize

Metode klaster analize se mogu provoditi na temelju mjere sličnosti između proizvoda ili na temelju mjere različitosti između proizvoda. Prema tim sličnostima ili različitostima proizvoda računaju se koeficijenti sličnosti ili različitosti za svaki par proizvoda. Tih koeficijenata ima mnogo, a jedan od najčešćih je Jaccardov koeficijent sličnosti čiji se način izračunavanja nalazi na slici 3.4. Kada se izračunaju svi koeficijenti sličnosti, oni se upisuju u matricu sličnosti. Matrica sličnosti je matrica koja prikazuje vezu proizvod-stroj i ona je osnova za kreiranje grupa proizvoda. Grupiranje proizvoda se vrši pojedinačnom vezom (single linkage clustering, SLC) ili aritmetičkom sredinom (average linkage clustering, ALC). [11]



Slika 3.4 Jaccardov koeficijent sličnosti [11]

### 3.4 Blok-dijagonalne metode

Ove metode se temelje na sortiranju i preslagivanju redova i stupaca matrice veza kako bi se formirale grupe proizvoda i strojeva na kojima se ti proizvodi obrađuju. Te grupe proizvoda i proizvodne opreme se dobiju duž dijagonale matrice veza u obliku blokova (slika 3.5).

$i \setminus j$	A	B	C	D	E	F	G
1	1			1		1	
2		1	1		1		
3				1		1	
4		1	1				
5			1				1
6		1			1		1

➔

$i \setminus j$	D	F	A	B	C	E	G
1	1	1	1				
3	1	1					
2				1	1	1	
4				1	1		
6				1		1	1
5					1		1

Slika 3.5 Rezultat sortiranja blok-dijagonalnom metodom [11]

Najpoznatija blok-dijagonalna metoda je rank order clustering (ROC). Metoda se provodi u nekoliko koraka pridruživanjem binarnih težinskih faktora svakom proizvodu te svakom stroju. Nakon toga se izračunavaju decimalni ekvivalenti binarne vrijednosti za svaki stroj i proizvod te se nakon toga ti decimalni ekvivalenti rangiraju od najvećeg prema najmanjem. Temeljem tog rangiranja se sortiraju redovi i stupci matrice veza. Ova metoda postaje iterativna ukoliko rješenje preslagivanja nije zadovoljavajuće. Zbog toga je potrebno ponovno proći kroz sve korake metode dok se ne dobije zadovoljavajuće rješenje. Kako bi se moglo odrediti zadovoljava li dobiveno rješenje određeni uvjet grupiranja postoje mjere kojima se vrednuje učinkovitost rezultata grupiranja blok-dijagonalnim metodama. Neke od tih mjera su: energija veze, učinkovitost grupiranja, druga učinkovitost grupiranja te indeks sposobnosti grupe. [11]

### 3.5 Matematičke metode

Matematičke metode su metode koje se koriste različitim analitičkim tehnikama formiranja grupa. Mogu se koristiti radi minimiziranja među-ćelijskog transporta, minimiziranja investicija, minimiziranja ukupnog pripremno-završnog vremena ili postizanja optimalne iskoristivosti opreme.

Primjer jedne matematičke metode je procesna metoda grupiranja proizvoda i proizvodne opreme. Prije samog korištenja ove metode potrebno je poznavati tehnološke i proizvodne informacije svakog proizvoda. Pod tehnološke informacije spadaju redoslijed i vremena trajanja pojedinih operacija te popis strojeva na kojima se odrađuju te operacija. Proizvodne informacije koje je potrebno poznavati su količine određenih proizvoda koje je potrebno proizvesti odnosno njihova potražnja. Kada se saznaju ove informacije može se prijeći na analizu utjecajnih varijabli proizvoda. To je analiza konstrukcijskih, tehnoloških i proizvodnih karakteristika svakog proizvoda. Nakon toga slijede pregovori oko konkretnih ciljeva projektiranja proizvodnog sustava. Ovdje se raspravlja i dogovara o željenoj razini automatizacije i fleksibilnosti te o minimalnom stupnju iskorištenja koji moraju imati grupe proizvoda koje će se formirati. Kada su sve ove informacije prikupljene i dogovorene može se krenuti na formiranje matrica. Prva matrica koja se formira je matrica veza koja prikazuje vezu između proizvoda, opreme i rednog broja operacija. Ova matrica prikazuje redoslijed i trajanje svake operacije pri obradi nekog proizvoda te strojeve na kojima se svaka operacija provodi. Umnoškom ove matrice sa potrebnom količinom svakog proizvoda u određenom vremenskom periodu dobiva se matrica opterećenja u opreme u tom vremenskom periodu. Nakon toga se ta novonastala matrica dijeli sa raspoloživošću opreme i dobiva se matrica koja prikazuje potreban broj strojeva u tom vremenskom periodu. Formiranje matrica je tim činom završeno i može se dalje krenuti izračunavanja pojedinih iskoristivosti i grupiranje proizvoda.

Primarni cilj grupiranja proizvoda ovom metodom je da se odabrana grupa proizvoda može odraditi na istom proizvodnom sustavu, bez obzira na to što se za obradu pojedinog proizvoda neće koristiti svaki stroj koji se nalazi u tom proizvodnom sustavu. Pri tome je važno da iskoristivost te grupe proizvoda bude veća ili jednaka od minimalne potrebne iskoristivosti dogovorene u konkretnim ciljevima projektiranja proizvodnog sustava. Najprije se traže grupe proizvoda koje su najbolje po pitanju upravljivosti sustava, a to su jednopredmetne grupe. Zatim se kreće na formiranje dvopredmetnih, tropredmetnih ili većih grupa. Proizvodi koji nisu svrstani ni u jednu grupu i nemaju dovoljnu iskoristivost svrstavaju se u takozvanu resto grupu. Nakon izračunavanja iskoristivosti za jednopredmetne grupe, one jednopredmetne grupe koje



zadovoljavaju minimalni stupanj iskoristivosti odmah se formiraju. Za formiranje dvopredmetnih, tropredmetnih ili većih grupa potrebno odabrati sve moguće kombinacije proizvoda tako da tvore grupu određene veličine te za svaku grupu izračunati potrebne iskoristivosti. Grupe sa nedovoljnom iskoristivošću se eliminiraju, a grupe koje imaju zadovoljavajuću iskoristivost se rangiraju. Odabire se najbolje rangirana grupa te se eliminiraju grupe koje sa proizvodima koje sadržava odabrana grupa. Ovaj postupak se dalje provodi dok se ne iskoriste svi proizvodi.

Postoji i skraćeni postupak procesne metode u kojem nema rangiranja grupa nego se grupa koja zadovoljava traženu iskoristivost automatski formira i nastavlja se dalje sa metodom. [12]

### **3.6 Tehnike umjetne inteligencije**

Ove tehnike uz pomoć umjetne inteligencije i raznih algoritama obrađuju podatke i formiraju grupe proizvoda. Postoje različiti pristupi i tehnike umjetne inteligencije: prepoznavanje obrasca u cilju formiranja grupe proizvoda, primjena neizrazite logike, neuronske mreže, genetski algoritmi. [12]

## **4. GRUPIRANJE PROIZVODA PROCESNOM METODOM**

Kao što je već rečeno ranije u ovom radu, glavni zadatak je izrada idejnog projekta proizvodnog sustava za proizvodnju zadane grupe proizvoda. To prije svega uključuje grupiranje proizvoda u grupe koje će se zajedno obrađivati na istim strojevima. Proizvodi koje je potrebno grupirati su četiri zupčanika: zupčanik – m1;z75, zupčanik – m1;z20/m0,9;z75, zupčanik m0,8;z19/m0,6;z74 i zupčanik A-B.

### **4.1 Tehnološka analiza proizvoda**

Prvi zupčanik je jednoredni, a preostala tri su dvoredni što znači da imaju dva paralelna ozubljenja na svome tijelu. Grupiranje ova četiri proizvoda postaje složenije iz razloga što se drugi i četvrti zupčanik iz nabrojenog niza izrađuju iz dva zasebna dijela za razliku od prvog i trećeg zupčanika koji nastaju iz jednog komada. Zbog toga će se drugi i četvrti zupčanik dijeliti na tri proizvoda – dva proizvoda od kojih se sastojte proizvod koji nastaje spajanjem istih. Na kraju je, kada se svi proizvodi i dijelovi koji sačinjavaju jedan proizvod zbroje, ukupan broj proizvoda koje je potrebno grupirati jednak osam. Radi jednostavnosti nazivi zupčanika koji će se spominjati u nastavku ovog rada će biti sljedeći: prvi zupčanik će biti proizvod A, drugi zupčanik će se dijeliti na proizvode B i C od kojih je sastavljen proizvod D koji nastaje spajanjem B i C, treći zupčanik će biti proizvod E i četvrti zupčanik će se dijeliti na proizvode F i G od kojih je sastavljen proizvod H koji nastaje nakon montaže F i G. Sljedeće slike prikazuju zupčanike koje je potrebno grupirati.



*Slika 4.1 Zupčanik -  $m1; z75$  (proizvod A)*



*Slika 4.2 Zupčanik –  $m1; z20/m0,9; z75$  (proizvod D)*



*Slika 4.3 Zupčanik  $m0,8;z19/m0,6;z74$  (proizvod E)*



*Slika 4.4 Zupčanik A-B (proizvod H)*

Materijal od kojeg će zupčanici biti izrađeni je legirani konstrukcijski čelik 42CrMo4. To je toplinski obrađen čelik, koji se odlikuje visokom čvrstoćom i žilavošću. Uglavnom se koristi u

strojarstvu, te za uporabu u vozilima i automobilima. Od njega se proizvode zupčanici, radilice i klipnjače. [13]

Prvi zupčanik (proizvod A) se izrađuje od jednog komada i ima 75 zubi sa modulom 1. Izrađuje se kroz dvije faze tokarenja nakon kojih slijedi glodanje središnjeg osmerokuta. Nakon toga se na odvalnoj glodalici izrađuju zubi i s proizvoda se skida srh te se on pere i suši kako bi se pripremio za plazmeno nitriranje odnosno ionsko nitriranje. To je termokemijski proces koji povećava površinsku tvrdoću, otpornost na trošenje i otpornost na zamor čelika. Plazmeno nitriranje visoko legiranog čelika daje visoku tvrdoću površine, što potiče visoku otpornost na trošenje i poboljšava klizna svojstva površine. Zamor čelika se uglavnom povećava s razvojem površinskih tlačnih naprezanja. Nakon nitriranja slijedi četkanje zubi te završna kontrola izratka. Popis operacija, popis opreme, pripremno završna vremena ( $t_{pz}$ ) te vremena trajanja svake operacije ( $t_c$ ) prikazana su u tablici 4.1. [14]

Tablica 4.1 Podaci obrade proizvoda A

Redoslijed obrade za 85388960 - PROIZVOD A				
Oprema	Operacija	Opis operacije	Vrijeme [min]	
			$t_{pz}$	$t_c$
CNC stroj Prvomajska TN315	10	Tokarenje - faza 1	20	1,1
CNC stroj Prvomajska TN315	20	Tokarenje - faza 2	20	0,65
CNC stroj Hurco VM10	30	Glodanje osmerokuta	30	1,4
Pfauter odvalna glodalica	40	Odvalno glodanje	30	1,25
Brusilica sa četkom	50	Skidanje srha	10	0,2
Stroj za pranje i sušenje	60	Pranje i sušenje	10	0,1
Automatska linija za nitriranje	70	Plazmeno nitriranje	45	0,4
Brusilica sa četkom	80	Četkanje zubi	10	0,15
100% kontrola	90	Kontrola i pakiranje	10	0,25

Sljedeći zupčanik (proizvod D) se radi iz dva poluproizvoda (B i C), tj. iz šipke promjera 25 mm na kojoj će biti 20 zubi modula 1 i šipke promjera 65 mm na kojoj će biti 75 zubi modula 0,8. Prvi poluproizvod B kreće obradu na tokarilici gdje se u istoj operaciji vrši obrada vanjskog i unutarnjeg tokarenja. Potom slijedi odvalno glodanje kako bi se izradilo ozubljenje. Dvije operacije poluproizvoda C su unutarnje i vanjsko tokarenje. Nakon dvije početne operacije poluproizvodi B i C idu na pranje i sušenje kako bi se pripremili za montažu TIG postupkom varenja. Kada se poluproizvodi zavare nastaje proizvod D koji odlazi na odvalno glodanje radi izrade ozubljenja na

promjeru od 65 mm. Nakon toga opet slijedi pranje i sušenje radi plazmenog nitriranja te četkanje ozubljenja, kontrola i na kraju pakiranje proizvoda (tablica 4.2).

Tablica 4.2 Podaci obrade proizvoda D

Redoslijed obrade za 85388950								
Oprema		Operacija	Opis operacije		Vrijeme [min]			
					Φ25		Φ65	
Φ25 - PROIZVOD B	Φ65 - PROIZVOD C		Gornji dio zupčanik a Φ25	Donji dio zupčanik a Φ65	t <sub>pz</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>pz</sub>	t <sub>c</sub>
Tok. Quicktech	CNC stroj Prvomajska TN315	10	Tokarenje	Tokarenje - faza 1	40	1,45	20	0,95
Pfauter odvalna glodalica	CNC stroj Prvomajska TN315	20	Odvalno glodanje	Tokarenje - faza 2	30	1,1	20	0,53
Stroj za pranje i sušenje		30	Pranje i sušenje		10	0,1	10	0,1
<b>PROIZVOD D</b>					t <sub>pz</sub>		t <sub>c</sub>	
Stroj za montažu i kružno varenje 1		10	Montaža i varenje TIG		0,2		0,5	
Pfauter odvalna glodalica		20	Odvalno glodanje		30		1	
Stroj za pranje i sušenje		30	Pranje i sušenje		10		0,1	
Automatska linija za nitriranje		40	Plazmeno nitriranje		45		0,3	
Brusilica sa četkom		50	Četkanje zubi		10		0,13	
100% kontrola		60	Kontrola i pakiranje		10		0,25	

Treći zupčanik (proizvod E) se izrađuje iz jednog dijela i ima dva reda zubi. Na dijelu s manjim promjerom ima 19 zubi modula 0,8, a na dijelu većeg promjera ima 74 zuba modula 0,6. Prva operacija na koju proizvod ide je tokarenje koje se obavlja na Quicktech tokarilici koja izvršava cjelokupno tokarenje sa obje strane u toj operaciji. Nakon toga slijedi izrada ozubljenja. Prvo se ozubljenje izrađuje na dijelu s manjim promjerom i to na štos mašini. Zatim se na odvalnoj glodalici izrađuje ozubljenje na dijelu s većim promjerom. Kada se ozubljenja izrade potrebno je skinuti srhove pomoću brusilice. Sljedeće operacije koje slijede su jednake kao i kod prethodna dva zupčanika. Kada se skine srh proizvod ide na pranje i sušenje kako bi se pripremio za plazmeno nitriranje. Nakon nitriranja je potrebno dodatno iščerkati ozubljenje te iskontrolirati proizvod i spakirati isti. Popis operacija, strojeva te svih vremena potrebnih za izradu proizvoda E nalazi se u tablici 4.3.

Tablica 4.3 Podaci obrade proizvoda E

Redoslijed obrade za 85388940 - PROIZVOD E				
Oprema	Operacija	Opis operacije	Vrijeme [min]	
			t <sub>pz</sub>	t <sub>c</sub>
Tok. Quicktech	10	Tokarenje	40	3,2
Štos mašina	20	Izrada ozubljenja	40	4
Pfauter odvalna glodalica	30	Izrada ozubljenja	40	0,95
Brusilica sa četkom	40	Skidanje srha	10	0,2
Stroj za pranje i ručno sušenje	50	Pranje i sušenje	10	0,1
Automatska linija za nitriranje	60	Plazmeno nitriranje	45	0,2
Brusilica sa četkom	70	Četkanje zubi	10	0,15
100% kontrola	80	Kontrola i pakiranje	10	0,25

Posljednji zupčanik (proizvod H) se izrađuje iz dva poluproizvoda F i G. Prva operacija za oba poluproizvoda je jednaka, a to je tokarenje i izrada ozubljenja na Quicktech tokarilici. Na poluproizvodu F se izrađuje ozubljenje od 13 zubi modula 0,5, a na poluproizvodu G ozubljenje sa 48 zubi modula 0,45. Nakon izrade ozubljenja slijedi montaža utiskivanjem poluproizvoda F u poluproizvod G te nastaje proizvod H. Zatim se novonastali proizvod odvodi na pranje i sušenje kako bi se pripremio za spajanje pomoću laserskog varenja te nakon toga za plazmeno nitriranje. Nakon nitriranja potrebno je još razvrtati rupu u zupčaniku kako bi se uklonila eventualna deformacija koja je nastala utiskivanjem ili tijekom procesa varenja. Na kraju opet slijedi pranje i sušenje te kontrola proizvoda i pakiranje. Popis operacija i svih informacija vezanih za izradu proizvoda H nalaze se u tablici 4.4.

Tablica 4.4 Podaci obrade proizvoda H

Redoslijed obrade za 85365520								
Oprema		Operacija	Opis operacije		Vrijeme [min]			
					A		B	
A - PROIZVOD F	B - PROIZVOD G		Gornji dio zupčanika A	Donji dio zupčanika B	t <sub>pz</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>pz</sub>	t <sub>c</sub>
Tok. Quicktech	Tok. Quicktech	10	Tokarenje i izrada ozubljenja	Tokarenje i izrada ozubljenja	30	1,7	30	1,1
<b>PROIZVOD H</b>					<b>t<sub>pz</sub></b>		<b>t<sub>c</sub></b>	
Stroj za montažu		10	Montaža zupčanika A i B		10		0,2	
Stroj za pranje i sušenje		20	Pranje i sušenje		10		0,1	
Stroj za kružno varenje 2		30	Lasersko varenje		0,1		0,3	
Automatska linija za nitriranje		40	Plazmeno nitriranje		45		0,2	
Bušilica		50	Ručno razvrtavanje		10		0,1	
Stroj za pranje i sušenje		60	Pranje i sušenje		10		0,1	
100% kontrola		70	Kontrola i pakiranje		10		0,25	

Tehnička dokumentacija za sve proizvode nalazi se u prilogima ovog rada.

Zbog lakšeg i jednostavnijeg označavanja prilikom proračuna grupiranja proizvoda, imena strojeva su također zamijenjena sa kraticama koje su prikazane u tablici 4.5. Stupac k N.J. predstavlja vrijednosti strojeva koje su potrebne za izračun ekonomskih iskoristivosti prilikom grupiranja proizvoda. Brojčane vrijednosti u stupcu predstavljaju x1000 novčanih jedinica pa tako prema tome stroj M3 ima vrijednost 140000 novčanih jedinica.



Tablica 4.5 Popis strojeva sa njihovim vrijednostima

OPREMA	OZNAKA	k N.J.
CNC stroj Prvomajska TN315	M1	120
CNC stroj Prvomajska TN315	M2	120
CNC stroj Hurco VM10	M3	140
Pfauter odvalna glodalica	M4	100
Brusilica sa četkom	M5	10
Stroj za pranje i sušenje	M6	20
Automatska linija za nitriranje	M7	500
Brusilica sa četkom	M8	10
100% kontrola	M9	80
Tok. Quicktech	M10	150
Stroj za montažu i kružno varenje 1	M11	100
Štos mašina	M12	90
Stroj za kružno varenje 2	M13	60
Bušilica	M14	25
Stroj za pranje i sušenje	M15	20
Stroj za montažu	M16	120

Proizvode je potrebno grupirati na temelju njihovih količina. U ovome radu grupiranje će se izvršiti za dva granična slučaja i to sa minimalne i maksimalne potrebne dnevne količine proizvoda (tablica 4.6).

Tablica 4.6 Potrebne minimalne i maksimalne dnevne količine proizvoda

kom/dan	A	B	C	D	E	F	G	H
$q_{jmax}$	800	700	700	700	1100	1400	1400	1400
$q_{jmin}$	300	220	220	220	440	630	630	630

Proračun će se izvršiti na godišnjoj razini pa je navedene dnevne količine potrebno pomnožiti sa brojem radnih dana u godini. Broj radnih dana u jednoj godini ( $d_g$ ) se ovdje uzima kao 250. Prema tome minimalna i maksimalna godišnja količina proizvoda A je jednaka:

$$q_{gjmaxA} = q_{jmaxA} \cdot d_g = 800 \cdot 250 = 200000 \text{ kom/god}$$

$$q_{gjminA} = q_{jminA} \cdot d_g = 300 \cdot 250 = 75000 \text{ kom/god}$$

Preostale godišnje količine proizvoda su dane u tablici 4.7.

*Tablica 4.7 Potrebne minimalne i maksimalne godišnje količine proizvoda*

kom/god	A	B	C	D	E	F	G	H
$q_{jmax}$	200000	175000	175000	175000	275000	350000	350000	350000
$q_{jmin}$	75000	55000	55000	55000	110000	157500	157500	157500

## 4.2 Proračun kapaciteta

Sada se može početi sa proračunom kapaciteta odnosno potrebnog broja strojeva za izradu datih količina proizvoda. Ovim proračunom će se dobiti potreban broj strojeva te stvarni (cjelobrojni) potreban broj strojeva koji će biti potrebni prilikom proračuna iskoristivosti. Prvi korak je izrada matrice veza između proizvodne opreme i proizvoda koji će se proizvoditi na njoj. Kao što je već navedeno, proizvodi su označeni slovima od A do H, a proizvodna oprema, tj. strojevi oznakom od M1 do M16. Ukoliko između i-tog stroja i j-tog proizvoda postoji veza odnosno ukoliko se na određenom stroju obrađuje proizvod, u matricu veza se za taj par stroja i proizvoda upisuje 1. Ukoliko veze nema upisuje se 0 ili se polje ostavlja prazno. Matrica veza  $M_{ij}$  sa vrijednostima pojedinih strojeva  $A_i$  prikazana je na slici 4.5.

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H	$A_i$
M1	1		1						120000
M2	1		1						120000
M3	1								140000
M4	1	1		1	1				100000
M5	1				1				10000
M6	1	1	1	1	1			1	20000
M7	1			1	1			1	500000
M8	1			1	1				10000
M9	1			1	1			1	80000
M10		1			1	1	1		150000
M11				1					100000
M12					1				90000
M13								1	60000
M14								1	25000
M15								1	20000
M16								1	120000

Slika 4.5 Matrica veza između proizvodne opreme i proizvoda sa danim vrijednostima svakog stroja

Sada je potrebno umjesto jedinica upisati vrijeme trajanja r-te operacija izrade svakog proizvoda na pojedinom stroju kako bi se dobila matrica proizvodnih vremena po strojevima  $M_{trij}$ . Iz tablica 4.1, 4.2, 4.3 i 4.4 se očitaju vremena trajanja operacija za svaki proizvod te se s pomoću tablice 4.5 pridruže određenom stroju (slika 4.6). U matrici su vremena izražena u satima, to se dobilo na način da su se vremena u minutama koja su navedena u tablicama 4.1, 4.2, 4.3 i 4.4 podijelila sa 60.

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H	$a_i$
M1	0,0183		0,0158						12000
M2	0,0108		0,0088						12000
M3	0,0233								14000
M4	0,0208	0,0183		0,0167	0,0158				10000
M5	0,0033				0,0033				1000
M6	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017			0,0017	2000
M7	0,0067			0,0050	0,0033			0,0033	50000
M8	0,0025			0,0022	0,0025				1000
M9	0,0042			0,0042	0,0042			0,0042	8000
M10		0,0242			0,0533	0,0283	0,0183		15000
M11				0,0083					10000
M12					0,0667				9000
M13								0,0050	6000
M14								0,0017	2500
M15								0,0017	2000
M16								0,0033	12000

Slika 4.6 Matrica proizvodnih vremena po strojevima

Vidljivo je da se u matrici nalazi i stupac  $a_i$  koji predstavlja godišnji iznos amortizacije i-tog stroja koji se dobije tako da se vrijednost stroja podijeli sa brojem godina amortizacije.

$$a_i = \frac{A_i}{a_g} \text{ [n. j./god]}$$

Gdje je:

$a_i$  - godišnji iznos amortizacije i-tog stroja

$A_i$  – vrijednost stroja

$a_g$  – broj godina amortizacije

U ovome radu je uzeto 10 godina amortizacije pa je na primjer godišnji iznos amortizacije stroja M1:

$$a_{M1} = \frac{A_{M1}}{a_g} = \frac{120000}{10} = 12000 \text{ n. j./god}$$

Kada su poznati matrica proizvodnih vremena po strojevima i potrebne količine proizvoda može se izračunati matrica godišnjeg opterećenja  $M_{tgrij}$  prema formuli:

$$M_{tgrij} = M_{trij} \cdot q_j \text{ [h/god]}$$

Na primjer, godišnje opterećenje stroja M1 za izvođenje operacije na proizvodu A za minimalne i maksimalne količine računa se:

$$M_{tgrijmin} = M_{tg10M1Amin} = 0,0183 \cdot 75000 = 1375 \text{ h/god}$$

$$M_{tgrijmax} = M_{tg10M1Amax} = 0,0183 \cdot 200000 = 3666,67 \text{ h/god}$$

Ovaj postupak se ponavlja za svaki stroj i proizvod te se nakon toga dobiva matrica godišnjeg opterećenja za minimalne (slika 4.7) i maksimalne (slika 4.8) količine.

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	1375,0		870,8					
M2	812,5		485,8					
M3	1750,0							
M4	1562,5	1008,3		916,7	1741,7			
M5	250,0				366,7			
M6	125,0	91,7	91,7	91,7	183,3			262,5
M7	500,0			275,0	366,7			525,0
$M_{gtrijmin} =$ M8	187,5			119,2	275,0			
M9	312,5			229,2	458,3			656,3
M10		1329,2			5866,7	4462,5	2887,5	
M11				458,3				
M12					7333,3			
M13								787,5
M14								262,5
M15								262,5
M16								525,0

Slika 4.7 Matrica godišnjeg opterećenja za minimalne količine

<i>i/j</i>	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	3666,7		2770,8					
M2	2166,7		1545,8					
M3	4666,7							
M4	4166,7	3208,3		2916,7	4354,2			
M5	666,7				916,7			0,0
M6	333,3	291,7	291,7	291,7	458,3			583,3
M7	1333,3			875,0	916,7			1166,7
$M_{gtrijmax} =$	M8	500,0		379,2	687,5			
	M9	833,3		729,2	1145,8			1458,3
	M10		4229,2		14666,7	9916,7	6416,7	
	M11			1458,3				
	M12				18333,3			
	M13							1750,0
	M14							583,3
	M15							583,3
	M16							1166,7

Slika 4.8 Matrica opterećenja za maksimalne količine

Kako bi se izračunao potreban broj strojeva, uz matricu godišnjeg opterećenja potrebno je znati i raspoloživi kapacitet proizvodne opreme koji se računa prema formuli:

$$K_{gi} = h \cdot s \cdot d_g \cdot \eta_t \text{ [h/god]}$$

Gdje je:

$K_{gi}$  – godišnji raspoloživi kapacitet proizvodne opreme [h/god]

$h$  – broj radnih sati u smjeni [h]

$s$  – broj smjena

$d_g$  – broj radnih dana u godini

$\eta_t$  – stupanj iskorištenja vremena

Tvrtka za koju se radi proračun radi u dvije smjene po 8 sati i ima 250 radnih dana u godini, a stupanj iskorištenja vremena joj je 0,85. Prema svim tim podacima godišnji raspoloživi kapacitet opreme iznosi:

$$K_{gi} = h \cdot s \cdot d_g \cdot \eta_t = 8 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 0,85 = 3400 \text{ h/god}$$

Sada je moguće izračunati potreban broj strojeva prema formuli:

$$S_{ij} = \frac{M_{tgrij}}{K_{gi}}$$

Kao primjer će se prikazati izračun potrebnog broja strojeva M1 za prvu operaciju obrade proizvoda A pri minimalnim i maksimalnim količinama:

$$S_{M1Amin} = \frac{M_{tg10M1Amin}}{K_{gi}} = \frac{1375}{3400} = 0,4$$

$$S_{M1Amax} = \frac{M_{tg10M1Amax}}{K_{gi}} = \frac{3666,67}{3400} = 1,08$$

Potreban broj strojeva za ostale operacije svih pojedinih proizvoda za minimalne i maksimalne količine računa se na isti način i prikazan je na slikama 4.9 o 4.10.

<i>i/j</i>	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	0,40		0,26					
M2	0,24		0,14					
M3	0,51							
M4	0,46	0,30		0,27	0,51			
M5	0,07				0,11			
M6	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05			0,08
M7	0,15			0,08	0,11			0,15
M8	0,06			0,04	0,08			
M9	0,09			0,07	0,13			0,19
M10		0,39			1,73	1,31	0,85	
M11				0,13				
M12					2,16			
M13								0,23
M14								0,08
M15								0,08
M16								0,15

Slika 4.9 Matrica potrebnog broja strojeva za minimalne količine proizvoda

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	1,08		0,81					
M2	0,64		0,45					
M3	1,37							
M4	1,23	0,94		0,86	1,28			
M5	0,20				0,27			
M6	0,10	0,09	0,09	0,09	0,13			0,17
M7	0,39			0,26	0,27			0,34
M8	0,15			0,11	0,20			
M9	0,25			0,21	0,34			0,43
M10		1,24			4,31	2,92	1,89	
M11				0,43				
M12					5,39			
M13								0,51
M14								0,17
M15								0,17
M16								0,34

Slika 4.10 Matrica potrebnog broja strojeva za maksimalne količine proizvoda

Stvarni potreban broj strojeva  $S_{ijc}$  dobiva se zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj (slika 4.11 i 4.12).

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	1		1					
M2	1		1					
M3	1							
M4	1	1		1	1			
M5	1				1			
M6	1	1	1	1	1			1
M7	1			1	1			1
M8	1			1	1			
M9	1			1	1			1
M10		1			2	2	1	
M11				1				
M12					3			
M13								1
M14								1
M15								1
M16								1

Slika 4.11 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za minimalne količine proizvoda



$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	2		1					
M2	1		1					
M3	2							
M4	2	1		1	2			
M5	1				1			
M6	1	1	1	1	1			1
M7	1			1	1			1
M8	1			1	1			
M9	1			1	1			1
M10		2			5	3	2	
M11				1				
M12					6			
M13								1
M14								1
M15								1
M16								1

Slika 4.12 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za maksimalne količine proizvoda

### 4.3 Grupiranje izradaka

Grupiranjem izradaka se određuju skupine proizvoda koje je povoljnije proizvoditi zajedno u autonomnim jedinicama čime se postižu neki pozitivni efekti. Neki od njih su smanjivanje pripremno završnog vremena, smanjivanje ciklusa izrade, smanjivanje varijabilnosti trajanja ciklusa i na kraju minimiziranje ukupnih proizvodnih troškova. U ovome radu će se grupiranje proizvoda vršiti procesnom metodom grupiranja. Procesna metoda se temelji na korelaciji proizvoda i proizvodne opreme te redosljedu i trajanju tehnoloških operacija pri izradi pojedinog proizvoda. Za svaku vrstu proizvoda je prvo potrebno izračunati stupnjeve iskorištenja. Stupnjevi iskorištenja koji će se računati su tehnički linijski stupanj iskorištenja, tehnički povratni stupanj iskorištenja, ekonomski linijski stupanj iskorištenja te ekonomski povratni stupanj iskorištenja. Tehnički linijski stupanj iskorištenja se računa tako da se suma svih potrebnih strojeva za izradu nekog proizvoda ili grupe proizvoda podijeli sa sumom stvarnog potrebnog broja strojeva:

$$\eta_{tl} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^g S_{ij}}{\sum_{i=1}^m S_{ijc}}$$

Gdje je:

$\eta_{tl}$  – tehnički linijski stupanj iskorištenja proizvodnog sustava za obradu g-te grupe proizvoda

$S_{ij}$  – količina i-te opreme za obradu j-tog izratka

$S_{ijc}$  – količina i-te opreme kao cijeli broj od  $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^g S_{ij}$

$i = 1, 2 \dots m$  – pozicija proizvodne opreme u matrici

$j = 1, 2 \dots g$  – broj proizvoda koji čine grupu

Tehnički povratni stupanj iskorištenja se računa na isti način kao i tehnički linijski. Jedina razlika je da se ovdje, ukoliko proizvod prolazi kroz isti stroj više puta, broj potrebnih istih strojeva zbraja i na temelju tog zbroja se određuje stvarni potrebni broj strojeva sa kojim se dijeli:

$$\eta_{tp} = \frac{\sum_{v=1}^m \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^g S_{ij}}{\sum_{v=1}^m S_{ijc}}$$

Gdje je:

$\eta_{tp}$  - tehnički povratni stupanj iskorištenja proizvodnog sustava za obradu g-te grupe proizvoda

$i = 1, 2 \dots v$  – broj istovrsnih strojeva u matrici

$v = 1, 2 \dots m$  – broj različitih strojeva u matrici

Ekonomski linijski stupanj iskorištenja se računa tako da se suma svih umnožaka potrebnih brojeva strojeva i godišnjih iznosa amortizacije za te strojeve podijeli sa sumom umnožaka stvarnih potrebnih brojeva strojeva i godišnjih iznosa amortizacije za te strojeve:

$$\eta_{el} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^g S_{ij} \cdot a_i}{\sum_{i=1}^m S_{ijc} \cdot a_i}$$

Gdje je:

$\eta_{el}$  - ekonomski linijski stupanj iskorištenja proizvodnog sustava za obradu g-te grupe proizvoda

Ekonomski povratni stupanj iskorištenja se računa na isti način kao i tehnički povratni stupanj samo što se radi sa sumom umnožaka strojeva i godišnjeg iznosa amortizacije za te strojeve:

$$\eta_{ep} = \frac{\sum_{v=1}^m \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^g S_{ij} \cdot a_i}{\sum_{v=1}^m S_{ijc} \cdot a_i}$$

Gdje je:

$\eta_{ep}$  - ekonomski povratni stupanj iskorištenja proizvodnog sustava za obradu g-te grupe proizvoda

#### 4.3.1 Grupiranje izradaka prema minimalnim količinama

Sada se može krenuti u izračun svih stupnjeva iskoristivosti. Prvo će se izvršiti grupiranje proizvoda prema minimalnim količinama proizvoda pa su potrebni podaci sa slika 4.9 i 4.11. Najprije se vrši proračun iskoristivosti za jednopredmetne grupe. Prema knjizi profesora Mikca uvjet da će proizvod zadovoljiti formiranje jednopredmetne grupe je da bilo koja iskoristivost bude veća od 0,8. [15]

Primjer proračuna iskoristivosti za proizvod A:

Tehnički linijski stupanj iskoristivosti se računa prema gore navedenoj formuli i iznosi:

$$\eta_{tLA} = \frac{\sum S_{iA}}{\sum S_{iAC}} = \frac{0,4 + 0,24 + 0,51 + 0,46 + 0,07 + 0,04 + 0,15 + 0,06 + 0,09}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,22$$

Tehnički povratni stupanj će biti veći, a to se odmah može vidjeti zato što su strojevi M1 i M2 te M5 i M8 isti. Ako je njihov zbroj potrebnih strojeva manji od 1, stvarni potrebni broj tih strojeva se uzima kao 1 a ne 2 kao u proračunu tehničkog linijskog stupnja iskoristivosti. Pošto se stvarni potrebni broj strojeva nalazi u nazivniku, smanjenjem tog broja će se povećati ukupni rezultat. Tehnički povratni stupanj iskoristivosti za proizvod A iznosi:

$$\eta_{tpA} = \frac{\sum S_{iA}}{\sum S_{iAC}} = \frac{(0,4 + 0,24) + 0,51 + 0,46 + (0,07 + 0,06) + 0,04 + 0,15 + 0,09}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,29$$

Slijedi izračun ekonomskog linijskog stupnja iskoristivosti, za njega je potrebna i slika 4.6 na kojoj se nalaze godišnji iznosi amortizacije za svaki stroj:

$$\eta_{elA} = \frac{\sum S_{iA} \cdot a_i}{\sum S_{iAC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iA} \cdot a_i = 0,4 \cdot 12000 + 0,24 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,46 \cdot 10000 + 0,07 \cdot 1000 + 0,04 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,06 \cdot 1000 + 0,09 \cdot 8000 = 27850$$

$$\sum S_{iAC} \cdot a_i = 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 = 110000$$

$$\eta_{elA} = \frac{\sum S_{iA} \cdot a_i}{\sum S_{iAC} \cdot a_i} = \frac{27850}{110000} = 0,25$$

Ekonomski povratni stupanj iskoristivosti će također biti veći od ekonomskog linijskog stupnja iz istog razloga kao što je bilo i kod tehničkog povratnog stupnja iskoristivosti. Prema tome on je jednak:

$$\eta_{epA} = \frac{\sum S_{iA} \cdot a_i}{\sum S_{iAC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iA} \cdot a_i = (0,4 + 0,24) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,46 \cdot 10000 + (0,07 + 0,06) \cdot 1000 + 0,04 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,09 \cdot 8000 = 27850$$

$$\sum S_{iAC} \cdot a_i = (1) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000 + 1 \cdot 8000 = 97000$$

$$\eta_{epA} = \frac{\sum S_{iA} \cdot a_i}{\sum S_{iAC} \cdot a_i} = \frac{27850}{97000} = 0,29$$

Iz rezultata je vidljivo da niti jedan stupanj iskoristivosti nije veći od potrebnih 0,8 pa prema tome proizvod A ne zadovoljava uvjet da postane jednopredmetna grupa. Proračun za ostale proizvode se provodi na isti način te su ostali rezultati prikazani u tablici 4.8.

Tablica 4.8 Stupnjevi iskoristivosti za jednopredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Jednopredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,8$								
$\eta/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
$\eta_{tl}$	0,22	0,24	0,14	0,10	0,44	0,66	0,85	0,14
$\eta_{tp}$	0,29	0,24	0,21	0,10	0,49	0,66	0,85	0,16
$\eta_{el}$	0,25	0,33	0,19	0,11	0,44	0,66	0,85	0,16
$\eta_{ep}$	0,29	0,33	0,35	0,11	0,45	0,66	0,85	0,16

Iz tablice je vidljivo da samo proizvod G ima barem jedan stupanj iskoristivosti veći od 0,8 pa prema tome on zadovoljava uvjet i postaje prva i jedina jednopredmetna grupa. Proizvod G se sada izbacuje i ostali proizvodi kreću dalje u proračun iskoristivosti za dvopredmetne grupe.

Također prema knjizi profesora Mikca, uvjet za formiranje višepredmetnih grupa je da bilo koja iskoristivost mora biti veća od 0,7. [15]

Za proračun iskoristivosti je prvo potrebno kreirati matricu potrebnog broja strojeva i matricu stvarnog potrebnog broja strojeva za svaku kombinaciju dva proizvoda. Matrice se kreiraju pomoću slika 4.9 i 4.11 tako da se za odabranu kombinaciju proizvoda zbroje njihove potrebne količine istih strojeva koje koriste oba proizvoda. Slijedi primjer izračuna potrebnog broja strojeva za dvopredmetnu grupu proizvoda A i B:

$$S_{iAB} = S_{iA} + S_{iB}$$

Pošto i proizvod A i proizvod B koriste strojeve M4 i M6, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M4AB} = S_{M4A} + S_{M4B} = 0,46 + 0,3 = 0,76$$

$$S_{M6AB} = S_{M6A} + S_{M6B} = 0,037 + 0,027 = 0,06$$

Na isti način se zbrajaju strojevi za sve ostale kombinacije proizvoda i dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sve kombinacije dvopredmetnih grupa (slika 4.13).

$i/j$	AB	AC	AD	AE	AF	AH	BC	BD	BE	BF
M1	0,40	0,66	0,40	0,40	0,40	0,40	0,26			
M2	0,24	0,38	0,24	0,24	0,24	0,24	0,14			
M3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51				
M4	0,76	0,46	0,73	0,97	0,46	0,46	0,30	0,57	0,81	0,30
M5	0,07	0,07	0,07	0,18	0,07	0,07			0,11	
M6	0,06	0,06	0,06	0,09	0,04	0,11	0,05	0,05	0,08	0,03
M7	0,15	0,15	0,23	0,25	0,15	0,30		0,08	0,11	
M8	0,06	0,06	0,09	0,14	0,06	0,06		0,04	0,08	
M9	0,09	0,09	0,16	0,23	0,09	0,28		0,07	0,13	
M10	0,39			1,73	1,31		0,39	0,39	2,12	1,70
M11			0,13					0,13		
M12				2,16					2,16	
M13						0,23				
M14						0,08				
M15						0,08				
M16						0,15				

$S_{ijmin} =$

$i/j$	BH	CD	CE	CF	CH	DE	DF	DH	EF	EH	FH
M1		0,26	0,26	0,26	0,26						
M2		0,14	0,14	0,14	0,14						
M3											
M4	0,30	0,27	0,51			0,78	0,27	0,27	0,51	0,51	
M5			0,11			0,11			0,11	0,11	
M6	0,10	0,05	0,08	0,03	0,10	0,08	0,03	0,10	0,05	0,13	0,08
M7	0,15	0,08	0,11		0,15	0,19	0,08	0,24	0,11	0,26	0,15
M8		0,04	0,08			0,12	0,04	0,04	0,08	0,08	
M9	0,19	0,07	0,13		0,19	0,20	0,07	0,26	0,13	0,33	0,19
M10	0,39		1,73	1,31		1,73	1,31		3,04	1,73	1,31
M11		0,13				0,13	0,13	0,13			
M12			2,16			2,16			2,16	2,16	
M13	0,23				0,23			0,23		0,23	0,23
M14	0,08				0,08			0,08		0,08	0,08
M15	0,08				0,08			0,08		0,08	0,08
M16	0,15				0,15			0,15		0,15	0,15

Slika 4.13 Matrica potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.14).

$i/j$	AB	AC	AD	AE	AF	AH	BC	BD	BE	BF
M1	1	1	1	1	1	1	1			
M2	1	1	1	1	1	1	1			
M3	1	1	1	1	1	1				
M4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M5	1	1	1	1	1	1			1	
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1		1	1	
M8	1	1	1	1	1	1		1	1	
M9	1	1	1	1	1	1		1	1	
M10	1			2	2		1	1	3	2
M11			1					1		
M12				3					3	
M13						1				
M14						1				
M15						1				
M16						1				

$i/j$	BH	CD	CE	CF	CH	DE	DF	DH	EF	EH	FH
M1		1	1	1	1						
M2		1	1	1	1						
M3											
M4	1	1	1			1	1	1	1	1	
M5			1			1			1	1	
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
M8		1	1			1	1	1	1	1	
M9	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
M10	1		2	2		2	2		4	2	2
M11		1				1	1	1			
M12			3			3			3	3	
M13	1				1			1		1	1
M14	1				1			1		1	1
M15	1				1			1		1	1
M16	1				1			1		1	1

Slika 4.14 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Sada se na isti način kao i za jednopredmetne grupe računaju stupnjevi iskoristivosti. Prikazat će se primjer izračuna iskoristivosti za dvopredmetnu grupu AB.

$$\eta_{tLAB} = \frac{\sum S_{iAB}}{\sum S_{iABC}} = \frac{0,4 + 0,24 + 0,51 + 0,76 + 0,07 + 0,06 + 0,15 + 0,06 + 0,09 + 0,39}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,27$$

$$\eta_{tpAB} = \frac{\sum S_{iAB}}{\sum S_{iABC}} = \frac{(0,4 + 0,24) + 0,51 + 0,76 + (0,07 + 0,06) + 0,06 + 0,15 + 0,09 + 0,39}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,34$$

$$\eta_{elAB} = \frac{\sum S_{iAB} \cdot a_i}{\sum S_{iABC} \cdot a_i}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iAB} \cdot a_i &= 0,4 \cdot 12000 + 0,24 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,76 \cdot 10000 + 0,07 \cdot 1000 \\ &+ 0,06 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,06 \cdot 1000 + 0,09 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000 \\ &= 36740 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iABC} \cdot a_i &= 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \\ &\cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 1 \cdot 15000 = 125000 \end{aligned}$$

$$\eta_{elAB} = \frac{\sum S_{iAB} \cdot a_i}{\sum S_{iABC} \cdot a_i} = \frac{36740}{125000} = 0,29$$

$$\eta_{epAB} = \frac{\sum S_{iAB} \cdot a_i}{\sum S_{iABC} \cdot a_i}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iAB} \cdot a_i &= (0,4 + 0,24) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,76 \cdot 10000 + (0,07 + 0,06) \cdot 1000 \\ &+ 0,06 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,09 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000 = 36740 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iABC} \cdot a_i &= (1) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000 + 1 \\ &\cdot 8000 + 1 \cdot 15000 = 112000 \end{aligned}$$

$$\eta_{epAB} = \frac{\sum S_{iAB} \cdot a_i}{\sum S_{iABC} \cdot a_i} = \frac{36740}{112000} = 0,33$$

Na isti način se računaju iskoristivosti svih preostalih mogućih kombinacija dvopredmetnih grupa (tablica 4.9).



Tablica 4.9 Stupnjevi iskoristivosti za dvopredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$							
$\eta/j$	AB	AC	AD	AE	AF	AH	FH
$\eta_{il}$	0,27	0,27	0,26	0,49	0,30	0,23	0,25
$\eta_{tp}$	0,34	0,31	0,33	0,58	0,37	0,30	0,28
$\eta_{el}$	0,29	0,30	0,30	0,51	0,34	0,31	0,29
$\eta_{ep}$	0,33	0,30	0,34	0,55	0,37	0,35	0,30
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$							
$\eta/j$	BC	BD	BE	BF	BH	EF	EH
$\eta_{il}$	0,23	0,19	0,47	0,51	0,19	0,48	0,39
$\eta_{tp}$	0,29	0,19	0,51	0,51	0,21	0,52	0,45
$\eta_{el}$	0,27	0,18	0,46	0,68	0,20	0,48	0,46
$\eta_{ep}$	0,35	0,18	0,46	0,68	0,21	0,49	0,47
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$							
$\eta/j$	CD	CE	CF	CH	DE	DF	DH
$\eta_{il}$	0,13	0,41	0,35	0,15	0,46	0,24	0,16
$\eta_{tp}$	0,15	0,48	0,43	0,20	0,50	0,24	0,18
$\eta_{el}$	0,13	0,41	0,44	0,17	0,47	0,26	0,21
$\eta_{ep}$	0,15	0,44	0,56	0,19	0,48	0,26	0,21

Iz tablice se vidi da niti jedna dvopredmetna grupa ne zadovoljava uvjet, odnosno niti jedna grupa nema barem jedan od stupnjeva iskoristivosti veći od 0,7 pa se neće formirati niti jedna dvopredmetna grupa. Zbog toga se prelazi na izračun stupnjeva iskoristivosti za tropredmetne grupe.

Za tropredmetne grupe se na isti način formiraju matrice potrebnog broja strojeva i stvarnog potrebnog broja strojeva. Slijedi primjer izračuna potrebnog broja strojeva za tropredmetnu grupu proizvoda A, B i C:

$$S_{iABC} = S_{iA} + S_{iB} + S_{iC}$$

Pošto proizvodi A, B i C koriste neke iste strojeve, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M1ABC} = S_{M1A} + S_{M1C} = 0,4 + 0,26 = 0,66$$

$$S_{M2ABC} = S_{M2A} + S_{M2C} = 0,24 + 0,14 = 0,38$$

$$S_{M4ABC} = S_{M4A} + S_{M4B} = 0,46 + 0,3 = 0,76$$

$$S_{M6ABC} = S_{M6A} + S_{M6B} + S_{M6C} = 0,037 + 0,027 + 0,027 = 0,09$$

Na isti način se zbrajaju strojevi za sve ostale kombinacije proizvoda i dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sve kombinacije tropredmetnih grupa (slika 4.15).

$i/j$	ADE	BEF	BFH	BCF	DEH	ABC	ACD	ABD	BDE	DEF	CDE	ABF
M1	0,40			0,26		0,66	0,66	0,40			0,26	0,40
M2	0,24			0,14		0,38	0,38	0,24			0,14	0,24
M3	0,51					0,51	0,51	0,51				0,51
M4	1,24	0,81	0,30	0,30	0,78	0,76	0,73	1,03	1,08	0,78	0,78	0,76
M5	0,18	0,11			0,11	0,07	0,07	0,07	0,11	0,11	0,11	0,07
M6	0,12	0,08	0,10	0,05	0,16	0,09	0,09	0,09	0,11	0,08	0,11	0,06
M7	0,34	0,11	0,15		0,34	0,15	0,23	0,23	0,19	0,19	0,19	0,15
$S_{ijmin} =$ M8	0,17	0,08			0,12	0,06	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	0,06
M9	0,29	0,13	0,19		0,40	0,09	0,16	0,16	0,20	0,20	0,20	0,09
M10	1,73	3,43	1,70	1,70	1,73	0,39		0,39	2,12	3,04	1,73	1,70
M11	0,13				0,13		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	
M12	2,16	2,16			2,16				2,16	2,16	2,16	
M13			0,23		0,23							
M14			0,08		0,08							
M15			0,08		0,08							
M16			0,15		0,15							

$i/j$	AEH	ADH	AFH	ABH	CEH	CDH	CFH	ACH	BEH	BDH	ABE	ACE
M1	0,40	0,40	0,40	0,40	0,26	0,26	0,26	0,66			0,40	0,66
M2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,14	0,14	0,14	0,38			0,24	0,38
M3	0,51	0,51	0,51	0,51				0,51			0,51	0,51
M4	0,97	0,73	0,46	0,76	0,51	0,27		0,46	0,81	0,57	1,27	0,97
M5	0,18	0,07	0,07	0,07	0,11			0,07	0,11		0,18	0,18
M6	0,17	0,14	0,11	0,14	0,16	0,13	0,10	0,14	0,16	0,13	0,12	0,12
M7	0,41	0,38	0,30	0,30	0,26	0,24	0,15	0,30	0,26	0,24	0,25	0,25
M8	0,14	0,09	0,06	0,06	0,08	0,04		0,06	0,08	0,04	0,14	0,14
M9	0,42	0,35	0,28	0,28	0,33	0,26	0,19	0,28	0,33	0,26	0,23	0,23
M10	1,73		1,31	0,39	1,73		1,31		2,12	0,39	2,12	1,73
M11		0,13				0,13				0,13		
M12	2,16				2,16				2,16		2,16	2,16
M13	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23		
M14	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08		
M15	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08		
M16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		

$S_{ijmin} =$

$i/j$	ACF	ADF	AEF	BCD	BCE	BCH	BDF	CDF	CEF	EFH	DFH
M1	0,66	0,40	0,40	0,26	0,26	0,26		0,26	0,26		
M2	0,38	0,24	0,24	0,14	0,14	0,14		0,14	0,14		
M3	0,51	0,51	0,51								
M4	0,46	0,73	0,97	0,57	0,81	0,30	0,57	0,27	0,51	0,51	0,27
M5	0,07	0,07	0,18		0,11				0,11	0,11	
M6	0,06	0,06	0,09	0,08	0,11	0,13	0,05	0,05	0,08	0,13	0,10
M7	0,15	0,23	0,25	0,08	0,11	0,15	0,08	0,08	0,11	0,26	0,24
M8	0,06	0,09	0,14	0,04	0,08		0,04	0,04	0,08	0,08	0,04
M9	0,09	0,16	0,23	0,07	0,13	0,19	0,07	0,07	0,13	0,33	0,26
M10	1,31	1,31	3,04	0,39	2,12	0,39	1,70	1,31	3,04	3,04	1,31
M11		0,13		0,13			0,13	0,13			0,13
M12			2,16		2,16				2,16	2,16	
M13						0,23				0,23	0,23
M14						0,08				0,08	0,08
M15						0,08				0,08	0,08
M16						0,15				0,15	0,15

Slika 4.15 Matrica potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.16).

$ij$	ADE	BEF	BFH	BCF	DEH	ABC	ACD	ABD	BDE	DEF	CDE	ABF
M1	1			1		1	1	1			1	1
M2	1			1		1	1	1			1	1
M3	1					1	1	1				1
M4	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
M5	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
M10	2	4	2	2	2	1		1	3	4	2	2
M11	1				1		1	1	1	1	1	
M12	3	3			3				3	3	3	
M13			1		1							
M14			1		1							
M15			1		1							
M16			1		1							

$ij$	AEH	ADH	AFH	ABH	CEH	CDH	CFH	ACH	BEH	BDH	ABE	ACE
M1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
M2	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
M3	1	1	1	1				1			1	1
M4	1	1	1	1	1	1		1	1	1	2	1
M5	1	1	1	1	1			1	1		1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	2		2	1	2		2		3	1	3	2
M11		1				1				1		
M12	3				3				3		3	3
M13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
M14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
M15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
M16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

$i/j$	ACF	ADF	AEF	BCD	BCE	BCH	BDF	CDF	CEF	EFH	DFH
M1	1	1	1	1	1	1		1	1		
M2	1	1	1	1	1	1		1	1		
M3	1	1	1								
M4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M5	1	1	1		1				1	1	
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	2	2	4	1	3	1	2	2	4	4	2
M11		1		1			1	1			1
M12			3		3				3	3	
M13						1				1	1
M14						1				1	1
M15						1				1	1
M16						1				1	1

Slika 4.16 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Sada se na isti način kao i za jednopredmetne i dvopredmetne grupe računaju stupnjevi iskoristivosti. Prikazat će se primjer izračuna iskoristivosti za tropredmetnu grupu ABC.

$$\eta_{tABC} = \frac{\sum S_{iABC}}{\sum S_{iABCC}} = \frac{0,66 + 0,38 + 0,51 + 0,76 + 0,07 + 0,09 + 0,15 + 0,06 + 0,09 + 0,39}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}$$

$$= 0,32$$

$$\eta_{tpABC} = \frac{\sum S_{iABC}}{\sum S_{iABCC}}$$

$$= \frac{(0,66 + 0,38) + 0,51 + 0,76 + (0,07 + 0,06) + 0,09 + 0,15 + 0,09 + 0,39}{2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}$$

$$= 0,35$$

$$\eta_{eABC} = \frac{\sum S_{iABC} \cdot a_i}{\sum S_{iABCC} \cdot a_i}$$

$$\begin{aligned}\sum S_{iABC} \cdot a_i &= 0,66 \cdot 12000 + 0,38 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,76 \cdot 10000 + 0,07 \cdot 1000 \\ &\quad + 0,09 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,06 \cdot 1000 + 0,09 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000 \\ &= 41600\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum S_{iABCC} \cdot a_i &= 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \\ &\quad \cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 1 \cdot 15000 = 125000\end{aligned}$$

$$\eta_{eIABC} = \frac{\sum S_{iABC} \cdot a_i}{\sum S_{iABCC} \cdot a_i} = \frac{41600}{125000} = 0,33$$

$$\eta_{epABC} = \frac{\sum S_{iABC} \cdot a_i}{\sum S_{iABCC} \cdot a_i}$$

$$\begin{aligned}\sum S_{iABC} \cdot a_i &= (0,66 + 0,38) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 0,76 \cdot 10000 + (0,07 + 0,06) \cdot 1000 \\ &\quad + 0,09 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 50000 + 0,09 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000 = 41600\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum S_{iABCC} \cdot a_i &= (2) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 1 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000 \\ &\quad + 1 \cdot 8000 + 1 \cdot 15000 = 124000\end{aligned}$$

$$\eta_{epABC} = \frac{\sum S_{iABC} \cdot a_i}{\sum S_{iABCC} \cdot a_i} = \frac{41600}{124000} = 0,33$$

Na isti način se računaju iskoristivosti svih preostalih mogućih kombinacija tropredmetnih grupa (tablica 4.10).

Tablica 4.10 Stupnjevi iskoristivosti za tropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ADE	BEF	BFH	BCF	DEH	ABC	ACD	ABD
$\eta_{II}$	0,47	0,53	0,30	0,41	0,40	0,32	0,31	0,28
$\eta_{TP}$	0,54	0,58	0,33	0,49	0,46	0,35	0,34	0,34
$\eta_{eI}$	0,50	0,54	0,34	0,51	0,49	0,33	0,34	0,31
$\eta_{ep}$	0,54	0,54	0,35	0,62	0,50	0,33	0,35	0,34
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	BDE	DEF	CDE	ABF	AEH	ADH	AFH	ABH
$\eta_{II}$	0,44	0,49	0,42	0,37	0,44	0,26	0,29	0,26
$\eta_{TP}$	0,48	0,52	0,49	0,45	0,52	0,33	0,36	0,34
$\eta_{eI}$	0,46	0,51	0,43	0,40	0,52	0,35	0,37	0,34
$\eta_{ep}$	0,46	0,51	0,47	0,44	0,56	0,39	0,41	0,38
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	CEH	CDH	CFH	ACH	BEH	BDH	ABE	ACE
$\eta_{II}$	0,37	0,17	0,25	0,26	0,41	0,21	0,48	0,52
$\eta_{TP}$	0,45	0,20	0,30	0,31	0,47	0,23	0,54	0,56
$\eta_{eI}$	0,43	0,21	0,28	0,34	0,47	0,26	0,49	0,54
$\eta_{ep}$	0,47	0,23	0,31	0,35	0,48	0,26	0,52	0,54
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ACF	ADF	AEF	BCD	BCE	BCH	BDF	CDF
$\eta_{II}$	0,34	0,33	0,51	0,20	0,43	0,19	0,33	0,24
$\eta_{TP}$	0,38	0,39	0,59	0,22	0,50	0,23	0,33	0,26
$\eta_{eI}$	0,37	0,37	0,53	0,19	0,42	0,20	0,34	0,25
$\eta_{ep}$	0,38	0,41	0,57	0,21	0,46	0,23	0,34	0,27
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	CEF	EFH	DFH					
$\eta_{II}$	0,44	0,42	0,24					
$\eta_{TP}$	0,51	0,48	0,26					
$\eta_{eI}$	0,45	0,50	0,31					
$\eta_{ep}$	0,48	0,50	0,31					

Iz tablice se opet vidi da niti jedna grupa proizvoda ne zadovoljava uvjet pa se neće formirati niti tropredmetna grupa. Zbog toga se ide dalje na izračun stupnjeva iskoristivosti za četveropredmetne grupe.

Ponavlja se isti postupak, prvo se računaju matrice potrebnog broja strojeva i matrice stvarnog potrebnog broja strojeva. Primjer izračuna potrebnog broja strojeva za grupu ABCD:

$$S_{iABCD} = S_{iA} + S_{iB} + S_{iC} + S_{iD}$$

Pošto proizvodi A, B, C i D koriste neke iste strojeve, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M1ABCD} = S_{M1A} + S_{M1C} = 0,4 + 0,26 = 0,66$$

$$S_{M2ABCD} = S_{M2A} + S_{M2C} = 0,24 + 0,14 = 0,38$$

$$S_{M4ABCD} = S_{M4A} + S_{M4B} + S_{M4D} = 0,46 + 0,3 + 0,27 = 1,03$$

$$S_{M6ABCD} = S_{M6A} + S_{M6B} + S_{M6C} + S_{M6D} = 0,037 + 0,027 + 0,027 + 0,027 = 0,12$$

$$S_{M7ABCD} = S_{M7A} + S_{M7D} = 0,15 + 0,08 = 0,23$$

$$S_{M8ABCD} = S_{M8A} + S_{M8D} = 0,055 + 0,035 = 0,09$$

$$S_{M9ABCD} = S_{M9A} + S_{M9D} = 0,09 + 0,07 = 0,16$$

Na isti način se zbrajaju strojevi za sve ostale kombinacije proizvoda i dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sve kombinacije četveropredmetnih grupa (slika 4.17).



$i/j$	ABCD	ABCE	ABCF	ABCH	ABDE	ABDF	ABDH	ACDE	CDFH	ACDF	ACDH	ADEF
M1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,40	0,40	0,40	0,66	0,26	0,66	0,66	0,40
M2	0,38	0,38	0,38	0,38	0,24	0,24	0,24	0,38	0,14	0,38	0,38	0,24
M3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51		0,51	0,51	0,51
M4	1,03	1,27	0,76	0,76	1,54	1,03	1,03	1,24	0,27	0,73	0,73	1,24
M5	0,07	0,18	0,07	0,07	0,18	0,07	0,07	0,18		0,07	0,07	0,18
M6	0,12	0,14	0,09	0,17	0,14	0,09	0,17	0,14	0,13	0,09	0,17	0,12
M7	0,23	0,25	0,15	0,30	0,34	0,23	0,38	0,34	0,24	0,23	0,38	0,34
M8	0,09	0,14	0,06	0,06	0,17	0,09	0,09	0,17	0,04	0,09	0,09	0,17
M9	0,16	0,23	0,09	0,28	0,29	0,16	0,35	0,29	0,26	0,16	0,35	0,29
M10	0,39	2,12	1,70	0,39	2,12	1,70	0,39	1,73	1,31	1,31		3,04
M11	0,13				0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
M12		2,16			2,16			2,16				2,16
M13				0,23			0,23		0,23		0,23	
M14				0,08			0,08		0,08		0,08	
M15				0,08			0,08		0,08		0,08	
M16				0,15			0,15		0,15		0,15	

$i/j$	ADEH	ADFH	AEFH	ABEF	ABEH	ACEF	ACEH	BCDE	BCDF	BCDH	BCFH	BCEH
M1	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,66	0,66	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
M2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,38	0,38	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
M3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51					
M4	1,24	0,73	0,97	1,27	1,27	0,97	0,97	1,08	0,57	0,57	0,30	0,81
M5	0,18	0,07	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,11				0,11
M6	0,19	0,14	0,17	0,12	0,19	0,12	0,19	0,13	0,08	0,16	0,13	0,19
M7	0,49	0,38	0,41	0,25	0,41	0,25	0,41	0,19	0,08	0,24	0,15	0,26
M8	0,17	0,09	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,04	0,04		0,08
M9	0,49	0,35	0,42	0,23	0,42	0,23	0,42	0,20	0,07	0,26	0,19	0,33
M10	1,73	1,31	3,04	3,43	2,12	3,04	1,73	2,12	1,70	0,39	1,70	2,12
M11	0,13	0,13						0,13	0,13	0,13		
M12	2,16		2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16				2,16
M13	0,23	0,23	0,23		0,23		0,23			0,23	0,23	0,23
M14	0,08	0,08	0,08		0,08		0,08			0,08	0,08	0,08
M15	0,08	0,08	0,08		0,08		0,08			0,08	0,08	0,08
M16	0,15	0,15	0,15		0,15		0,15			0,15	0,15	0,15

$ij$	BDEF	BDEH	BDFH	BEFH	CDEF	CDEH	CEFH	DEFH	ABFH	ACFH	BCEF
M1					0,26	0,26	0,26		0,40	0,66	0,26
M2					0,14	0,14	0,14		0,24	0,38	0,14
M3									0,51	0,51	
M4	1,08	1,08	0,57	0,81	0,78	0,78	0,51	0,78	0,76	0,46	0,81
M5	0,11	0,11		0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,07	0,07	0,11
M6	0,11	0,19	0,13	0,16	0,11	0,19	0,16	0,16	0,14	0,14	0,11
M7	0,19	0,34	0,24	0,26	0,19	0,34	0,26	0,34	0,30	0,30	0,11
M8	0,12	0,12	0,04	0,08	0,12	0,12	0,08	0,12	0,06	0,06	0,08
M9	0,20	0,40	0,26	0,33	0,20	0,40	0,33	0,40	0,28	0,28	0,13
M10	3,43	2,12	1,70	3,43	3,04	1,73	3,04	3,04	1,70	1,31	3,43
M11	0,13	0,13	0,13		0,13	0,13		0,13			
M12	2,16	2,16		2,16	2,16	2,16	2,16	2,16			2,16
M13		0,23	0,23	0,23		0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	
M14		0,08	0,08	0,08		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
M15		0,08	0,08	0,08		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
M16		0,15	0,15	0,15		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	

Slika 4.17 Matrica potrebnog broja strojeva za četveropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.18).

$ij$	ABC D	ABCE	ABCF	ABC H	ABD E	ABDF	ABD H	ACD E	CDF H	ACDF	ACD H	ADEF
M1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M3	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
M4	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2
M5	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	1	3	2	1	3	2	1	2	2	2		4
M11	1				1	1	1	1	1	1	1	1
M12		3			3			3				3
M13				1			1		1		1	
M14				1			1		1		1	
M15				1			1		1		1	
M16				1			1		1		1	

$i/j$	ADE H	ADF H	AEFH	ABEF	ABE H	ACEF	ACEH	BCDE	BCDF	BCD H	BCFH	BCE H
M1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M3	1	1	1	1	1	1	1					
M4	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1
M5	1	1	1	1	1	1	1	1				1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	2	2	4	4	3	4	2	3	2	1	2	3
M11	1	1						1	1	1		
M12	3		3	3	3	3	3	3				3
M13	1	1	1		1		1			1	1	1
M14	1	1	1		1		1			1	1	1
M15	1	1	1		1		1			1	1	1
M16	1	1	1		1		1			1	1	1

$i/j$	BDEF	BDE H	BDF H	BEFH	CDEF	CDE H	CEFH	DEFH	ABF H	ACFH	BCEF
M1					1	1	1		1	1	1
M2					1	1	1		1	1	1
M3									1	1	
M4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M5	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	4	3	2	4	4	2	4	4	2	2	4
M11	1	1	1		1	1		1			
M12	3	3		3	3	3	3	3			3
M13		1	1	1		1	1	1	1	1	
M14		1	1	1		1	1	1	1	1	
M15		1	1	1		1	1	1	1	1	
M16		1	1	1		1	1	1	1	1	

Slika 4.18 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za četveropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Slijedi računanje stupnjeva iskoristivosti. Prikazat će se primjer izračuna iskoristivosti za četveropredmetnu grupu ABCD.

$$\eta_{tlABCD} = \frac{\sum S_{iABCD}}{\sum S_{iABCDC}}$$

$$= \frac{0,66 + 0,38 + 0,51 + 1,03 + 0,07 + 0,12 + 0,23 + 0,09 + 0,16 + 0,39 + 0,13}{1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,31$$

$$\eta_{tpABCD} = \frac{\sum S_{iABCD}}{\sum S_{iABCDC}}$$

$$= \frac{(0,66 + 0,38) + 0,51 + 1,03 + (0,07 + 0,09) + 0,12 + 0,23 + 0,16 + 0,39 + 0,13}{2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,34$$

$$\eta_{elABCD} = \frac{\sum S_{iABCD} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCD} \cdot a_i = 0,66 \cdot 12000 + 0,38 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,03 \cdot 10000 + 0,07 \cdot 1000$$

$$+ 0,12 \cdot 2000 + 0,23 \cdot 50000 + 0,09 \cdot 1000 + 0,16 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000$$

$$+ 0,13 \cdot 10000 = 50250$$

$$\sum S_{iABCDC} \cdot a_i$$

$$= 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1$$

$$\cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 1 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 = 145000$$

$$\eta_{elABCD} = \frac{\sum S_{iABCD} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDC} \cdot a_i} = \frac{50250}{145000} = 0,35$$

$$\eta_{epABCD} = \frac{\sum S_{iABCD} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCD} \cdot a_i = (0,66 + 0,38) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,03 \cdot 10000 + (0,07 + 0,09)$$

$$\cdot 1000 + 0,12 \cdot 2000 + 0,23 \cdot 50000 + 0,16 \cdot 8000 + 0,39 \cdot 15000 + 0,13$$

$$\cdot 10000 = 50250$$

$$\sum S_{iABCDC} \cdot a_i$$

$$= (2) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000$$

$$+ 1 \cdot 8000 + 1 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 = 144000$$

$$\eta_{epABCD} = \frac{\sum S_{iABCD} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDC} \cdot a_i} = \frac{50250}{144000} = 0,35$$

Na isti način se računaju iskoristivosti svih preostalih mogućih kombinacija četverpredmetnih grupa (tablica 4.11).

Tablica 4.11 Stupnjevi iskoristivosti za četverpredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ABCD	ABCE	ABCF	ABCH	ABDE	ABDF	ABDH	ACDE
$\eta_{tl}$	0,31	0,50	0,41	0,29	0,48	0,36	0,27	0,50
$\eta_{tp}$	0,34	0,54	0,45	0,34	0,55	0,42	0,33	0,53
$\eta_{el}$	0,35	0,51	0,44	0,37	0,51	0,41	0,35	0,53
$\eta_{ep}$	0,35	0,52	0,44	0,38	0,54	0,44	0,38	0,53
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	CDFH	ACDF	ACDH	ADEF	ADEH	ADFH	AEFH	ABEF
$\eta_{tl}$	0,24	0,36	0,29	0,49	0,42	0,31	0,46	0,53
$\eta_{tp}$	0,28	0,40	0,34	0,55	0,50	0,38	0,54	0,60
$\eta_{el}$	0,29	0,41	0,38	0,52	0,51	0,40	0,54	0,55
$\eta_{ep}$	0,32	0,41	0,39	0,56	0,55	0,44	0,58	0,59
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ABEH	ACEF	ACEH	BCDE	BCDF	BCDH	BCFH	BCEH
$\eta_{tl}$	0,43	0,54	0,46	0,41	0,31	0,21	0,28	0,39
$\eta_{tp}$	0,50	0,58	0,52	0,47	0,34	0,25	0,34	0,47
$\eta_{el}$	0,50	0,56	0,54	0,42	0,31	0,25	0,32	0,44
$\eta_{ep}$	0,54	0,56	0,55	0,46	0,34	0,28	0,35	0,48
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	BDEF	BDEH	BDFH	BEFH	CDEF	CDEH	CEFH	DEFH
$\eta_{tl}$	0,50	0,40	0,30	0,46	0,45	0,38	0,40	0,43
$\eta_{tp}$	0,54	0,45	0,33	0,52	0,52	0,46	0,47	0,49
$\eta_{el}$	0,53	0,47	0,38	0,54	0,47	0,45	0,46	0,51
$\eta_{ep}$	0,53	0,48	0,38	0,55	0,50	0,49	0,50	0,52
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ABFH	ACFH	BCEF					
$\eta_{tl}$	0,33	0,32	0,49					
$\eta_{tp}$	0,42	0,36	0,56					
$\eta_{el}$	0,43	0,40	0,50					
$\eta_{ep}$	0,47	0,41	0,53					

Četveropredmetna grupa se također neće formirati jer niti jedna moguća kombinacija četveropredmetne grupe ne zadovoljava uvjet  $\eta \geq 0,7$ . Zbog toga se ide dalje na izračun stupnjeva iskoristivosti peteropredmetnih grupa.

Prvo je potrebno izračunati matricu potrebnog broja strojeva i matricu stvarnog potrebnog broja strojeva. Primjer izračuna potrebnog broja strojeva za grupu ABCDE:

$$S_{iABCDE} = S_{iA} + S_{iB} + S_{iC} + S_{iD} + S_{iE}$$

Pošto proizvodi A, B, C, D i E koriste neke iste strojeve, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M1ABCDE} = S_{M1A} + S_{M1C} = 0,4 + 0,26 = 0,66$$

$$S_{M2ABCDE} = S_{M2A} + S_{M2C} = 0,24 + 0,14 = 0,38$$

$$S_{M4ABCDE} = S_{M4A} + S_{M4B} + S_{M4D} + S_{M4E} = 0,46 + 0,3 + 0,27 + 0,51 = 1,54$$

$$S_{M5ABCDE} = S_{M5A} + S_{M5E} = 0,07 + 0,11 = 0,18$$

$$S_{M6ABCDE} = S_{M6A} + S_{M6B} + S_{M6C} + S_{M6D} + S_{M6E} = 0,037 + 0,027 + 0,027 + 0,027 + 0,054 = 0,17$$

$$S_{M7ABCDE} = S_{M7A} + S_{M7D} + S_{M7E} = 0,15 + 0,08 + 0,11 = 0,34$$

$$S_{M8ABCDE} = S_{M8A} + S_{M8D} + S_{M8E} = 0,055 + 0,035 + 0,081 = 0,17$$

$$S_{M9ABCDE} = S_{M9A} + S_{M9D} + S_{M9E} = 0,09 + 0,07 + 0,13 = 0,29$$

$$S_{M10ABCDE} = S_{M10B} + S_{M10E} = 0,39 + 1,73 = 2,12$$

Na isti način se zbrajaju strojevi za sve ostale kombinacije proizvoda i dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sve kombinacije peteropredmetnih grupa (slika 4.19).

$i/j$	ABCDE	ABCDF	ABCDH	ABCEF	ABCFH	ABDEF	ABDEH	ACDEF	ACDEH	BCDEF	BCDEH
M1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,40	0,40	0,66	0,66	0,26	0,26
M2	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,24	0,24	0,38	0,38	0,14	0,14
M3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51		
M4	1,54	1,03	1,03	1,27	0,76	1,54	1,54	1,24	1,24	1,08	1,08
M5	0,18	0,07	0,07	0,18	0,07	0,18	0,18	0,18	0,18	0,11	0,11
M6	0,17	0,12	0,19	0,14	0,17	0,14	0,22	0,14	0,22	0,13	0,21
M7	0,34	0,23	0,38	0,25	0,30	0,34	0,49	0,34	0,49	0,19	0,34
M8	0,17	0,09	0,09	0,14	0,06	0,17	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12
M9	0,29	0,16	0,35	0,23	0,28	0,29	0,49	0,29	0,49	0,20	0,40
M10	2,12	1,70	0,39	3,43	1,70	3,43	2,12	3,04	1,73	3,43	2,12
M11	0,13	0,13	0,13			0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
M12	2,16			2,16		2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
M13			0,23		0,23		0,23		0,23		0,23
M14			0,08		0,08		0,08		0,08		0,08
M15			0,08		0,08		0,08		0,08		0,08
M16			0,15		0,15		0,15		0,15		0,15

$i/j$	ADEFH	BCEFH	BCDFH	CDEFH	ACDFH	ABDFH	ABEFH	ACEFH	BDEFH	ABCEH
M1	0,40	0,26	0,26	0,26	0,66	0,40	0,40	0,66		0,66
M2	0,24	0,14	0,14	0,14	0,38	0,24	0,24	0,38		0,38
M3	0,51				0,51	0,51	0,51	0,51		0,51
M4	1,24	0,81	0,57	0,78	0,73	1,03	1,27	0,97	1,08	1,27
M5	0,18	0,11		0,11	0,07	0,07	0,18	0,18	0,11	0,18
M6	0,19	0,19	0,16	0,19	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19	0,22
M7	0,49	0,26	0,24	0,34	0,38	0,38	0,41	0,41	0,34	0,41
M8	0,17	0,08	0,04	0,12	0,09	0,09	0,14	0,14	0,12	0,14
M9	0,49	0,33	0,26	0,40	0,35	0,35	0,42	0,42	0,40	0,42
M10	3,04	3,43	1,70	3,04	1,31	1,70	3,43	3,04	3,43	2,12
M11	0,13		0,13	0,13	0,13	0,13			0,13	
M12	2,16	2,16		2,16			2,16	2,16	2,16	2,16
M13	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
M14	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
M15	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
M16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Slika 4.19 Matrica potrebnog broja strojeva za peteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.20).

$i/j$	ABCDE	ABCDF	ABCDH	ABCEF	ABCFH	ABDEF	ABDEH	ACDEF	ACDEH	BCDEF	BCDEH
M1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
M4	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
M5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_{ijmin} =$ M8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	3	2	1	4	2	4	3	4	2	4	3
M11	1	1	1			1	1	1	1	1	1
M12	3			3		3	3	3	3	3	3
M13			1		1		1		1		1
M14			1		1		1		1		1
M15			1		1		1		1		1
M16			1		1		1		1		1

$i/j$	ADEFH	BCEFH	BCDFH	CDEFH	ACDFH	ABDFH	ABEFH	ACEFH	BDEFH	ABCEH
M1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
M2	1	1	1	1	1	1	1	1		1
M3	1				1	1	1	1		1
M4	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2
M5	1	1		1	1	1	1	1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_{ijmin} =$ M8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M10	4	4	2	4	2	2	4	4	4	3
M11	1		1	1	1	1			1	
M12	3	3		3			3	3	3	3
M13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Slika 4.20 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za peteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Slijedi računanje stupnjeva iskoristivosti. Prikazat će se primjer izračuna iskoristivosti za peteropredmetnu grupu ABCDE.



$$\eta_{tlABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE}}{\sum S_{iABCDEC}}$$

$$= \frac{0,66 + 0,38 + 0,51 + 1,54 + 0,18 + 0,17 + 0,34 + 0,17 + 0,29 + 2,12 + 0,13 + 2,16}{1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1 + 3}$$

$$= 0,51$$

$$\eta_{tpABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE}}{\sum S_{iABCDEC}}$$

$$= \frac{(0,66 + 0,38) + 0,51 + 1,54 + (0,18 + 0,17) + 0,17 + 0,34 + 0,29 + 2,12 + 0,13 + 2,16}{2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1 + 3}$$

$$= 0,54$$

$$\eta_{eABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCDE} \cdot a_i$$

$$= 0,66 \cdot 12000 + 0,38 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + 0,18 \cdot 1000$$

$$+ 0,17 \cdot 2000 + 0,34 \cdot 50000 + 0,17 \cdot 1000 + 0,29 \cdot 8000 + 2,12 \cdot 15000$$

$$+ 0,13 \cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 = 107570$$

$$\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i$$

$$= 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1$$

$$\cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 3 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 = 202000$$

$$\eta_{eABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i} = \frac{107570}{202000} = 0,53$$

$$\eta_{epABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCDE} \cdot a_i$$

$$= (0,66 + 0,38) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + (0,18 + 0,17)$$

$$\cdot 1000 + 0,17 \cdot 2000 + 0,34 \cdot 50000 + 0,29 \cdot 8000 + 2,12 \cdot 15000 + 0,13$$

$$\cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 = 107570$$

$$\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i$$

$$= (2) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000$$

$$+ 1 \cdot 8000 + 3 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 = 201000$$

$$\eta_{epABCDE} = \frac{\sum S_{iABCDE} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEC} \cdot a_i} = \frac{107570}{201000} = 0,53$$

Na isti način se računaju iskoristivosti svih preostalih mogućih kombinacija peteropredmetnih grupa (tablica 4.12).

Tablica 4.12 Stupnjevi iskoristivosti za peteropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ABCDE	ABCDF	ABCDH	ABCEF	ABCFH	ABDEF	ABDEH	ACDEF
$\eta_{ul}$	0,51	0,39	0,30	0,55	0,36	0,53	0,44	0,51
$\eta_{tp}$	0,54	0,42	0,34	0,58	0,42	0,60	0,51	0,54
$\eta_{el}$	0,53	0,44	0,38	0,57	0,46	0,56	0,51	0,54
$\eta_{ep}$	0,53	0,44	0,38	0,57	0,47	0,60	0,55	0,55
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ACDEH	BCDEF	BCDEH	ADEFH	BCEFH	BCDFH	CDEFH	ACDFH
$\eta_{ul}$	0,45	0,47	0,38	0,45	0,44	0,29	0,41	0,33
$\eta_{tp}$	0,49	0,53	0,45	0,52	0,52	0,34	0,48	0,38
$\eta_{el}$	0,53	0,49	0,44	0,53	0,50	0,35	0,48	0,43
$\eta_{ep}$	0,54	0,52	0,47	0,56	0,54	0,38	0,52	0,44
Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$								
$\eta/j$	ABDFH	ABEFH	ACEFH	BDEFH	ABCEH			
$\eta_{ul}$	0,33	0,47	0,48	0,45	0,45			
$\eta_{tp}$	0,40	0,55	0,53	0,50	0,50			
$\eta_{el}$	0,43	0,55	0,56	0,53	0,52			
$\eta_{ep}$	0,47	0,59	0,57	0,54	0,53			

Peteropredmetne grupe opet ne zadovoljavaju uvjet pa se proračun nastavlja dalje na moguće šesteropredmetne grupe.

Za matricu potrebnog broja strojeva i matricu stvarnog potrebnog broja strojeva slijedi primjer izračuna potrebnog broja strojeva za grupu ABCDEF:

$$S_{IABCDEF} = S_{iA} + S_{iB} + S_{iC} + S_{iD} + S_{iE} + S_{iF}$$

Pošto proizvodi A, B, C, D, E i F koriste neke iste strojeve, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M1ABCDEF} = S_{M1A} + S_{M1C} = 0,4 + 0,26 = 0,66$$

$$S_{M2ABCDEF} = S_{M2A} + S_{M2C} = 0,24 + 0,14 = 0,38$$

$$S_{M4ABCDEF} = S_{M4A} + S_{M4B} + S_{M4D} + S_{M4E} = 0,46 + 0,3 + 0,27 + 0,51 = 1,54$$

$$S_{M5ABCDEF} = S_{M5A} + S_{M5E} = 0,07 + 0,11 = 0,18$$

$$S_{M6ABCDEF} = S_{M6A} + S_{M6B} + S_{M6C} + S_{M6D} + S_{M6E} = 0,037 + 0,027 + 0,027 + 0,027 + 0,054 = 0,17$$

$$S_{M7ABCDEF} = S_{M7A} + S_{M7D} + S_{M7E} = 0,15 + 0,08 + 0,11 = 0,34$$

$$S_{M8ABCDEF} = S_{M8A} + S_{M8D} + S_{M8E} = 0,055 + 0,035 + 0,081 = 0,17$$

$$S_{M9ABCDEF} = S_{M9A} + S_{M9D} + S_{M9E} = 0,09 + 0,07 + 0,13 = 0,29$$

$$S_{M10ABCDEF} = S_{M10B} + S_{M10E} + S_{M10F} = 0,39 + 1,73 + 1,31 = 3,43$$

Na isti način se zbrajaju strojevi za sve ostale kombinacije proizvoda i dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sve kombinacije šesterpredmetnih grupa (slika 4.21).

$i/j$	ABCDEF	ABCDEH	ABCDFH	ABCEFH	ABDEFH	ACDEFH	BCDEFH
M1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,40	0,66	0,26
M2	0,38	0,38	0,38	0,38	0,24	0,38	0,14
M3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	
M4	1,54	1,54	1,03	1,27	1,54	1,24	1,08
M5	0,18	0,18	0,07	0,18	0,18	0,18	0,11
M6	0,17	0,25	0,19	0,22	0,22	0,22	0,21
M7	0,34	0,49	0,38	0,41	0,49	0,49	0,34
M8	0,17	0,17	0,09	0,14	0,17	0,17	0,12
M9	0,29	0,49	0,35	0,42	0,49	0,49	0,40
M10	3,43	2,12	1,70	3,43	3,43	3,04	3,43
M11	0,13	0,13	0,13		0,13	0,13	0,13
M12	2,16	2,16		2,16	2,16	2,16	2,16
M13		0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
M14		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
M15		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
M16		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Slika 4.21 Matrica potrebnog broja strojeva za šestopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.22).

$i/j$	ABCDEF	ABCDEH	ABCDFH	ABCEFH	ABDEFH	ACDEFH	BCDEFH
M1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	1	1	1	1	1	1
M3	1	1	1	1	1	1	
M4	2	2	2	2	2	2	2
M5	1	1	1	1	1	1	1
M6	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1	1	1	1
M9	1	1	1	1	1	1	1
M10	4	3	2	4	4	4	4
M11	1	1	1		1	1	1
M12	3	3		3	3	3	3
M13		1	1	1	1	1	1
M14		1	1	1	1	1	1
M15		1	1	1	1	1	1
M16		1	1	1	1	1	1

Slika 4.22 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za šestopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda

Slijedi računanje stupnjeva iskoristivosti. Prikazat će se primjer izračuna iskoristivosti za šesteropredmetnu grupu ABCDEF.

$$\eta_{tlABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF}}{\sum S_{iABCDEF C}}$$

$$= \frac{0,66 + 0,38 + 0,51 + 1,54 + 0,18 + 0,17 + 0,34 + 0,17 + 0,29 + 3,43 + 0,13 + 2,16}{1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 4 + 1 + 3}$$

$$= 0,55$$

$$\eta_{tpABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF}}{\sum S_{iABCDEF C}}$$

$$= \frac{(0,66 + 0,38) + 0,51 + 1,54 + (0,18 + 0,17) + 0,17 + 0,34 + 0,29 + 3,43 + 0,13 + 2,16}{2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 4 + 1 + 3}$$

$$= 0,59$$

$$\eta_{elABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEF C} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCDEF} \cdot a_i$$

$$= 0,66 \cdot 12000 + 0,38 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + 0,18 \cdot 1000$$

$$+ 0,17 \cdot 2000 + 0,34 \cdot 50000 + 0,17 \cdot 1000 + 0,29 \cdot 8000 + 3,43 \cdot 15000$$

$$+ 0,13 \cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 = 127220$$

$$\sum S_{iABCDEF C} \cdot a_i$$

$$= 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1$$

$$\cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 4 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 = 217000$$

$$\eta_{elABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEF C} \cdot a_i} = \frac{127220}{217000} = 0,59$$

$$\eta_{epABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEF C} \cdot a_i}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iABCDEF} \cdot a_i &= (0,66 + 0,38) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + (0,18 + 0,17) \\ &\cdot 1000 + 0,17 \cdot 2000 + 0,34 \cdot 50000 + 0,29 \cdot 8000 + 3,43 \cdot 15000 + 0,13 \\ &\cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 = 127220 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i &= (2) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 50000 \\ &+ 1 \cdot 8000 + 4 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 = 216000 \end{aligned}$$

$$\eta_{epABCDEF} = \frac{\sum S_{iABCDEF} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i} = \frac{127220}{216000} = 0,59$$

Na isti način se računaju iskoristivosti svih preostalih mogućih kombinacija šesteropredmetnih grupa (tablica 4.13).

Tablica 4.13 Stupnjevi iskoristivosti za šesteropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$							
$\eta/j$	ABCDEF	ABCDEH	ABCDFH	ABCFH	ABDEFH	ACDEFH	BCDEFH
$\eta_{id}$	0,55	0,46	0,36	0,49	0,48	0,46	0,42
$\eta_{ip}$	0,59	0,51	0,40	0,54	0,55	0,51	0,50
$\eta_{ei}$	0,59	0,54	0,45	0,57	0,56	0,55	0,50
$\eta_{ep}$	0,59	0,54	0,46	0,58	0,60	0,55	0,53

Niti jedna šesteropredmetna grupa, kao što se vidi u tablici, ne zadovoljava uvjet  $\eta \geq 0,7$  pa se prema tome neće ni formirati. Zbog toga će preostali proizvodi činiti takozvanu resto grupu od sedam proizvoda. Slijedi izračun iskoristivosti za tu grupu. Prvo je potrebno napraviti izračun potrebnog broja strojeva za grupu ABCDEFH:

$$S_{iABCDEFH} = S_{iA} + S_{iB} + S_{iC} + S_{iD} + S_{iE} + S_{iF} + S_{iH}$$

Pošto proizvodi A, B, C, D, E, F i H koriste neke iste strojeve, njihove količine se zbrajaju:

$$S_{M1ABCDEFH} = S_{M1A} + S_{M1C} = 0,4 + 0,26 = 0,66$$

$$S_{M2ABCDEFH} = S_{M2A} + S_{M2C} = 0,24 + 0,14 = 0,38$$

$$S_{M4ABCDEFH} = S_{M4A} + S_{M4B} + S_{M4D} + S_{M4E} = 0,46 + 0,3 + 0,27 + 0,51 = 1,54$$

$$S_{M5ABCDEFH} = S_{M5A} + S_{M5E} = 0,07 + 0,11 = 0,18$$

$$S_{M6ABCDEFH} = S_{M6A} + S_{M6B} + S_{M6C} + S_{M6D} + S_{M6E} + S_{M6H}$$

$$= 0,037 + 0,027 + 0,027 + 0,027 + 0,054 + 0,077 = 0,25$$

$$S_{M7ABCDEFH} = S_{M7A} + S_{M7D} + S_{M7E} + S_{M7H} = 0,15 + 0,08 + 0,11 + 0,15 = 0,49$$

$$S_{M8ABCDEFH} = S_{M8A} + S_{M8D} + S_{M8E} = 0,055 + 0,035 + 0,081 = 0,17$$

$$S_{M9ABCDEFH} = S_{M9A} + S_{M9D} + S_{M9E} + S_{M9H} = 0,09 + 0,07 + 0,13 + 0,19 = 0,49$$

$$S_{M10ABCDEFH} = S_{M10B} + S_{M10E} + S_{M10F} = 0,39 + 1,73 + 1,31 = 3,43$$

Dobiva se matrica potrebnog broja strojeva za sedmeropredmetnu resto grupu (slika 4.23).

$i/j$	ABCDEFH
M1	0,66
M2	0,38
M3	0,51
M4	1,54
M5	0,18
M6	0,25
M7	0,49
$S_{ijmin} =$ M8	0,17
M9	0,49
M10	3,43
M11	0,13
M12	2,16
M13	0,23
M14	0,08
M15	0,08
M16	0,15

Slika 4.23 Matrica potrebnog broja strojeva za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine proizvoda

Zaokruživanjem potrebnog broja strojeva na prvi veći cijeli broj dobiva se matrica stvarnog potrebnog broja strojeva (slika 4.24).

$i/j$	ABCDEFH
M1	1
M2	1
M3	1
M4	2
M5	1
M6	1
M7	1
M8	1
M9	1
M10	4
M11	1
M12	3
M13	1
M14	1
M15	1
M16	1

Slika 4.24 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine proizvoda

Stupnjevi iskoristivosti za sedmeropredmetnu resto grupu ABCDEFH su sljedeći (tablica 4.14):

$$\eta_{tABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH}}{\sum S_{iABCDEFHC}}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{iABCDEFH} &= 0,66 + 0,38 + 0,51 + 1,54 + 0,18 + 0,25 + 0,49 + 0,17 + 0,49 + 3,43 \\ &+ 0,13 + 2,16 + 0,23 + 0,08 + 0,08 + 0,15 = 10,93 \end{aligned}$$

$$\sum S_{iABCDEFHC} = 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 4 + 1 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 = 22$$

$$\eta_{tABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH}}{\sum S_{iABCDEFHC}} = \frac{10,93}{22} = 0,5$$

$$\eta_{tpABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH}}{\sum S_{iABCDEFHC}}$$



$$\sum S_{iABCDEFH} = (0,66 + 0,38) + 0,51 + 1,54 + (0,18 + 0,17) + (0,25 + 0,08) + 0,49 + 0,49 \\ + 3,43 + 0,13 + 2,16 + 0,23 + 0,08 + 0,15 = 10,93$$

$$\sum S_{iABCDEFHC} = (2) + 1 + 2 + (1) + (1) + 1 + 1 + 4 + 1 + 3 + 1 + 1 + 1 = 20$$

$$\eta_{tpABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH}}{\sum S_{iABCDEFHC}} = \frac{10,93}{20} = 0,55$$

$$\eta_{eABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i \\ = 0,66 \cdot 12000 + 0,38 \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + 0,18 \cdot 1000 \\ + 0,25 \cdot 2000 + 0,49 \cdot 50000 + 0,17 \cdot 1000 + 0,49 \cdot 8000 + 3,43 \cdot 15000 \\ + 0,13 \cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 + 0,23 \cdot 6000 + 0,08 \cdot 2500 + 0,08 \cdot 2000 \\ + 0,15 \cdot 12000 = 140020$$

$$\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i \\ = 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 2000 + 1 \\ \cdot 50000 + 1 \cdot 1000 + 1 \cdot 8000 + 4 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 + 1 \cdot 6000 \\ + 1 \cdot 2500 + 1 \cdot 2000 + 1 \cdot 12000 = 239500$$

$$\eta_{eABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i} = \frac{140020}{239500} = 0,59$$

$$\eta_{epABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i}$$

$$\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i \\ = (0,66 + 0,38) \cdot 12000 + 0,51 \cdot 14000 + 1,54 \cdot 10000 + (0,18 + 0,17) \\ \cdot 1000 + (0,25 + 0,08) \cdot 2000 + 0,49 \cdot 50000 + 0,49 \cdot 8000 + 3,43 \cdot 15000 \\ + 0,13 \cdot 10000 + 2,16 \cdot 9000 + 0,23 \cdot 6000 + 0,08 \cdot 2500 + 0,15 \cdot 12000 \\ = 140020$$

$$\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i$$

$$= (2) \cdot 12000 + 1 \cdot 14000 + 2 \cdot 10000 + (1) \cdot 1000 + (1) \cdot 2000 + 1 \cdot 50000$$

$$+ 1 \cdot 8000 + 4 \cdot 15000 + 1 \cdot 10000 + 3 \cdot 9000 + 1 \cdot 6000 + 1 \cdot 2500 + 1$$

$$\cdot 12000 = 236500$$

$$\eta_{epABCDEFH} = \frac{\sum S_{iABCDEFH} \cdot a_i}{\sum S_{iABCDEFHC} \cdot a_i} = \frac{140020}{236500} = 0,59$$

Tablica 4.14 Stupnjevi iskoristivosti za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$	
$\eta/j$	ABCDEFH
$\eta_d$	0,50
$\eta_{tp}$	0,55
$\eta_{el}$	0,59
$\eta_{ep}$	0,59

Ovime je završeno grupiranje proizvoda prema minimalnim količinama, dakle proizvodi su svrstani u jednu jednopredmetnu grupu G i jednu sedmeropredmetnu grupu ABCDEFH.

#### 4.3.2 Grupiranje proizvoda prema maksimalnim količinama

Nakon grupiranja proizvoda prema minimalnim količinama slijedi grupiranje proizvoda prema maksimalnim potrebnim količinama proizvoda kako bi se uvidjelo koliko će biti potrebno promijeniti dobivene grupe proizvoda te koliki bi bili troškovi rekonfiguracije grupa.

Proračun se vrši na identičan način kao i za minimalne količine. Kreće se od slika 4.10 i 4.12 na kojima se nalaze matrice potrebnog broja strojeva i stvarnog potrebnog broja strojeva za maksimalne količine. Nakon izračuna stupnjeva iskoristivosti za jednopredmetne grupe dobivaju se sljedeći rezultati (tablica 4.15):

Tablica 4.15 Stupnjevi iskoristivosti za jednopredmetne grupe proizvoda za maksimalne količine

Jednopredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,8$								
$\eta/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
$\eta_{tl}$	0,45	0,57	0,45	0,33	0,68	0,97	0,94	0,31
$\eta_{tp}$	0,54	0,57	0,45	0,33	0,72	0,97	0,94	0,36
$\eta_{el}$	0,51	0,67	0,59	0,34	0,68	0,97	0,94	0,35
$\eta_{ep}$	0,56	0,67	0,59	0,34	0,68	0,97	0,94	0,36

Iz tablice se vidi da su grupe F i G zbog svojih iskoristivosti koje su veće od 0,8 zadovoljile uvjet te se formiraju te dvije jednopredmetne grupe. Dalje se na isti način ide na proračun dvopredmetnih grupa preostalih proizvoda (tablica 4.16).

Tablica 4.16 Stupnjevi iskoristivosti za dvopredmetne grupe za maksimalne količine do grupe AE

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$				
$\eta/j$	AB	AC	AD	AE
$\eta_{tl}$	0,51	0,52	0,52	0,73
$\eta_{tp}$	0,59	0,61	0,61	0,80
$\eta_{el}$	0,55	0,57	0,61	0,76
$\eta_{ep}$	0,59	0,62	0,67	0,80

Pošto se proračun vrši skraćenim postupkom procesne metode, prva grupa koja zadovoljava uvjet se formira. U ovom slučaju je to dvopredmetna grupa AE. Ona se izdvaja i nastavlja se proračun za ostale kombinacije dvopredmetnih grupa koje ne sadržavaju proizvode A i E (Tablica 4.17).

Tablica 4.17 Stupnjevi iskoristivosti za preostale dvopredmetne grupe za maksimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$						
$\eta/j$	BD	BH	CD	CH	DH	BC
$\eta_{tl}$	0,47	0,44	0,41	0,39	0,41	0,60
$\eta_{tp}$	0,47	0,49	0,41	0,44	0,46	0,60
$\eta_{el}$	0,46	0,47	0,41	0,42	0,55	0,66
$\eta_{ep}$	0,46	0,47	0,41	0,42	0,56	0,66

Matrice potrebnog broja strojeva i stvarnog potrebnog broja strojeva koje su se koristile za proračun stupnjeva iskoristivosti nalaze se na slikama 4.25 i 4.26.

$i/j$	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BH	CD	CH	DH
M1	1,08	1,89	1,08	1,08	0,81			0,81	0,81	
M2	0,64	1,09	0,64	0,64	0,45			0,45	0,45	
M3	1,37	1,37	1,37	1,37						
M4	2,17	1,23	2,08	2,51	0,94	1,80	0,94	0,86		0,86
M5	0,20	0,20	0,20	0,47						
M6	0,18	0,18	0,18	0,23	0,17	0,17	0,26	0,17	0,26	0,26
M7	0,39	0,39	0,65	0,66		0,26	0,34	0,26	0,34	0,60
M8	0,15	0,15	0,26	0,35		0,11		0,11		0,11
M9	0,25	0,25	0,46	0,58		0,21	0,43	0,21	0,43	0,64
M10	1,24			4,31	1,24	1,24	1,24			
M11			0,43			0,43		0,43		0,43
M12				5,39						
M13							0,51		0,51	0,51
M14							0,17		0,17	0,17
M15							0,17		0,17	0,17
M16							0,34		0,34	0,34

Slika 4.25 Matrica potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda

$i/j$	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BH	CD	CH	DH
M1	2	2	2	2	1			1	1	
M2	1	2	1	1	1			1	1	
M3	2	2	2	2						
M4	3	2	3	3	1	2	1	1		1
M5	1	1	1	1						
M6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1		1	1	1	1	1
M8	1	1	1	1		1		1		1
M9	1	1	1	1		1	1	1	1	1
M10	2			5	2	2	2			
M11			1			1		1		1
M12				6						
M13							1		1	1
M14							1		1	1
M15							1		1	1
M16							1		1	1

Slika 4.26 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda

Od preostala četiri proizvoda se sada ide u proračun stupnjeva iskoristivosti za kombinacije tropredmetnih grupa. Matrice potrebnog broja strojeva i stvarnog potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe nalaze se na slikama 4.27 i 4.28.

$$S_{ijmax} =$$

<i>i/j</i>	CDH	BDH	BCD	BCH
M1	0,81		0,81	0,81
M2	0,45		0,45	0,45
M3				
M4	0,86	1,80	1,80	0,94
M5				
M6	0,34	0,34	0,26	0,34
M7	0,60	0,60	0,26	0,34
M8	0,11	0,11	0,11	
M9	0,64	0,64	0,21	0,43
M10		1,24	1,24	1,24
M11	0,43	0,43	0,43	
M12				
M13	0,51	0,51		0,51
M14	0,17	0,17		0,17
M15	0,17	0,17		0,17
M16	0,34	0,34		0,34

Slika 4.27 Matrica potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda

$$S_{ijcmax} =$$

<i>i/j</i>	CDH	BDH	BCD	BCH
M1	1		1	1
M2	1		1	1
M3				
M4	1	2	2	1
M5				
M6	1	1	1	1
M7	1	1	1	1
M8	1	1	1	
M9	1	1	1	1
M10		2	2	2
M11	1	1	1	
M12				
M13	1	1		1
M14	1	1		1
M15	1	1		1
M16	1	1		1

Slika 4.28 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda

Stupnjevi iskoristivosti za tropredmetne grupe prikazani su u tablici 4.18.

Tablica 4.18 Stupnjevi iskoristivosti za tropredmetne grupe za maksimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$				
$\eta/j$	CDH	BDH	BCD	BCH
$\eta_{il}$	0,45	0,49	0,51	0,48
$\eta_{tp}$	0,50	0,53	0,51	0,52
$\eta_{el}$	0,57	0,59	0,49	0,50
$\eta_{ep}$	0,57	0,60	0,49	0,50

Iz tablice se vidi da niti jedna tropredmetna grupa ne zadovoljava traženu iskoristivost te se zbog toga preostala četiri proizvoda svrstavaju u četveropredmetnu resto grupu BCDH. Matrice potrebnog broja strojeva i stvarnog potrebnog broja strojeva za resto grupu nalaze se na slikama 4.29 i 4.30.

$S_{ijmax} =$	$i/j$	BCDH
	M1	0,81
	M2	0,45
	M3	
	M4	1,80
	M5	
	M6	0,43
	M7	0,60
	M8	0,11
	M9	0,64
	M10	1,24
	M11	0,43
	M12	
	M13	0,51
	M14	0,17
	M15	0,17
M16	0,34	

Slika 4.29 Matrica potrebnog broja strojeva za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine proizvoda

$i/j$	BCDH
M1	1
M2	1
M3	
M4	2
M5	
M6	1
M7	1
M8	1
M9	1
M10	2
M11	1
M12	
M13	1
M14	1
M15	1
M16	1

$S_{ijcmax} =$

Slika 4.30 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine proizvoda

Stupnjevi iskoristivosti za resto grupu BCDH nalaze se u tablici 4.19.

Tablica 4.19 Stupnjevi iskoristivosti za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine

Višepredmetne grupe - uvjet $\eta \geq 0,7$	
$\eta/j$	BCDH
$\eta_{tl}$	0,52
$\eta_{tp}$	0,55
$\eta_{el}$	0,60
$\eta_{ep}$	0,61

Grupiranje proizvoda prema maksimalnim količinama je završeno i proračunom su dobivene četiri grupe proizvoda: jednopredmetna grupa F, jednopredmetna grupa G, dvopredmetna grupa AE i četveropredmetna resto grupa BCDH.

#### 4.4 Proračun broja radnika

Tijekom proizvodnje određen broj radnika mora posluživati strojeve. Vrijeme koje protekne dok radnik posluži stroj se procjenjuje kao 20% vremena trajanja operacije za proizvod koji se obrađuje na tome stroju. Slijedi primjer proračuna vremena za opsluživanje stroja M10 sa proizvodom F:

$$M_{tRij} = M_{trij} * 0,2 \text{ [h]}$$

Gdje je:

$M_{tRij}$  – vrijeme potrebno za posluživanje i-tog stroja sa j-tim proizvodom

$$M_{tRM10F} = M_{tM10F} * 0,2 = 0,0283 * 0,2 = 0,00566 \text{ h}$$

Na isti način se računaju sva ostala vremena po strojevima i za sve ostale proizvode i dobiva se matrica potrebnih vremena za posluživanje strojeva  $M_{tRij}$  (slika 4.31).

$i/j$	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	0,00367		0,00317					
M2	0,00217		0,00177					
M3	0,00467							
M4	0,00417	0,00367		0,00333	0,00317			
M5	0,00067				0,00067			
M6	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033			0,00033
M7	0,00133			0,00100	0,00067			0,00067
M8	0,00050			0,00043	0,00050			
M9	0,00083			0,00083	0,00083			0,00083
M10		0,00483			0,01067	0,00567	0,00367	
M11				0,00167				
M12					0,01333			
M13								0,00100
M14								0,00033
M15								0,00033
M16								0,00067

Slika 4.31 Matrica potrebnih vremena za posluživanje strojeva

Za proračun broja radnika još je potrebno izračunati godišnju raspoloživost radnika prema izrazu:



$$R_{gi} = h \cdot d_g \cdot \eta_t \text{ [h/god]}$$

$$R_{gi} = 8 \cdot 250 \cdot 0,85 = 1700 \text{ h/god}$$

Sada se mogu izračunati potrebni brojevi radnika za svaku grupu proizvoda. Potreban broj radnika se računa tako da se za određeni proizvod zbroje sva vremena potrebna za posluživanje strojeva tim proizvodom i pomnože sa njegovim godišnjim količinama. Taj umnožak se nakon toga podijeli sa godišnjom raspoloživošću radnika i dobije se potreban broj radnika za tu grupu.

$$R_i = \frac{\sum t_{rij} \cdot q_j}{R_{gi}}$$

Kao primjer je prikazan izračun potrebnog broja radnika za grupu AE u razdoblju minimalnih količina.

$$R_{AEmin} = \frac{\sum t_{riA} \cdot q_{Amin} + \sum t_{riE} \cdot q_{Emin}}{R_{gi}} = \frac{0,0183 \cdot 75000 + 0,0302 \cdot 110000}{1700} = 2,76$$

Na isti način se računaju potrebne količine radnika za sve ostale grupe i dobivaju se sljedeći rezultati:

*Tablica 4.20 Potreban broj radnika za grupe u razdoblju minimalnih količina*

Razdoblje minimalnih količina	F	G	AE	BCDH
Potreban broj radnika	0,53	0,34	2,76	1,09

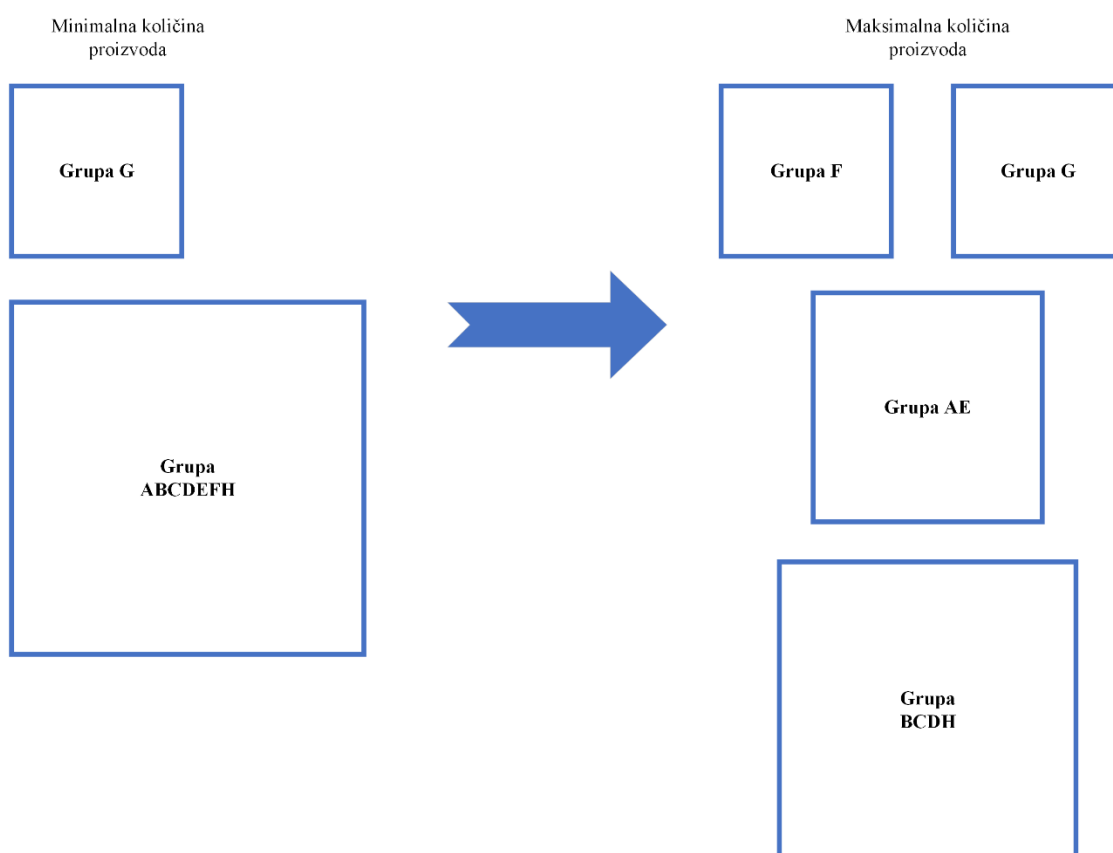
*Tablica 4.21 Potreban broj radnika za grupe u razdoblju maksimalnih količina*

Razdoblje maksimalnih količina	F	G	AE	BCDH
Potreban broj radnika	1,17	0,75	7,04	3,09

## 5. ODABIR RJEŠENJA PROIZVODNOG SUSTAVA

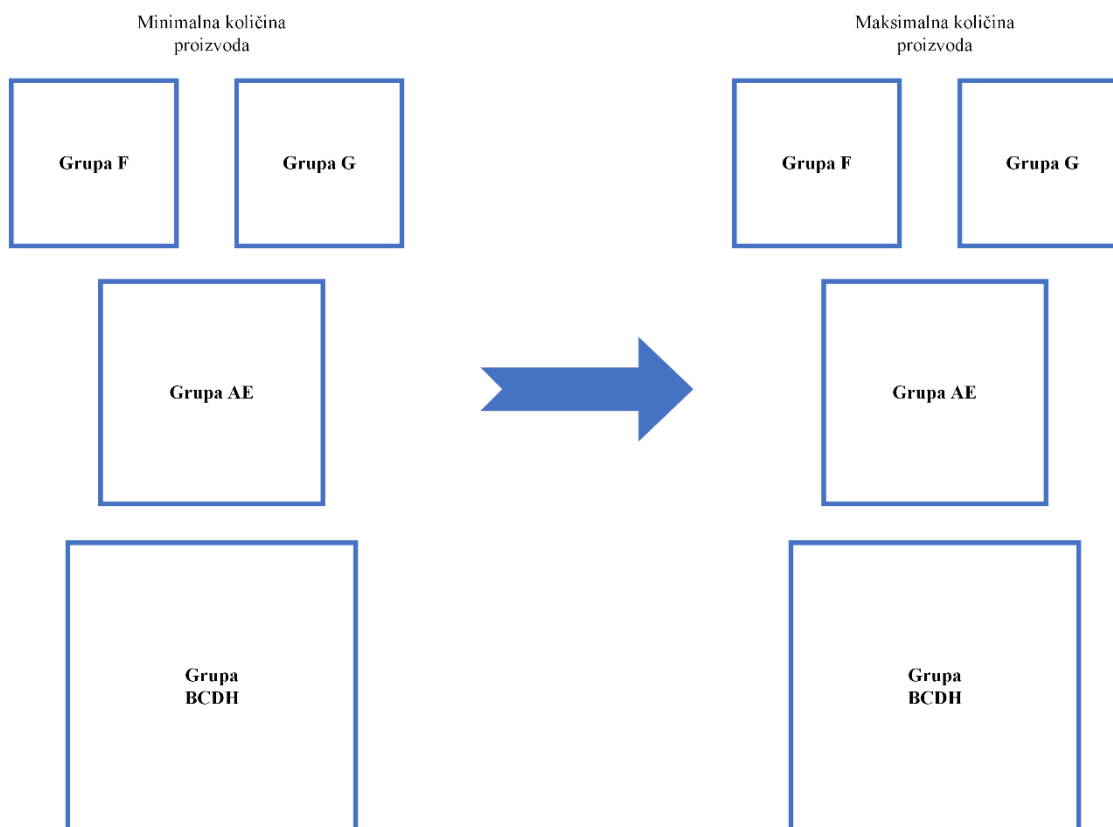
Nakon dobivenih grupa proizvoda za razdoblje minimalnih i maksimalnih potrebnih količina proizvoda sada je potrebno odabrati konačno rješenje proizvodnog sustava. Prije konačnog odabira prvo će se ispitati dva moguća scenarija i za svaki od njih proračunati iskoristivosti grupa te troškove strojeva i rekonfiguracije. Iskoristivosti grupa su već objašnjene i izračunate u prethodnom koraku.

Prvi scenarij će biti jednak onome koji je dobiven grupiranjem proizvoda u prethodnom poglavlju, u razdoblju minimalnih količina proizvoda proizvodni sustav će se sastojati od dvije proizvodne ćelije koje će se u razdoblju maksimalnih količina proizvoda rekonfigurirati u proizvodni sustav sa četiri ćelije. Drugim riječima, u razdoblju minimalnih količina proizvoda će biti grupirani u jednopredmetnu grupu G i sedmeropredmetnu resto grupu ABCDEFH, a u razdoblju maksimalnih količina proizvoda će biti podijeljeni u četiri grupe: jednopredmetne grupe F i G, dvopredmetnu grupu AE te četveropredmetnu resto grupu BCDH (slika 5.1).



*Slika 5.1 Prvi scenarij rekonfiguracije*

Drugi scenarij će biti takav da će broj ćelija i pri razdoblju maksimalnih i minimalnih količina proizvoda biti jednak, one će se samo nadograđivati dodatnim brojem strojeva. Grupe proizvoda koje su dobivene u proračunu za maksimalne količine proizvoda će biti formirane odmah u razdoblju minimalnih količina proizvoda zbog čega će one u tom razdoblju imati nešto niže iskoristivosti. Prelaskom na vremensko razdoblje maksimalnih količina provesti će se rekonfiguracija u obliku dodavanja dodatnih potrebnih strojeva u svaku ćeliju (slika 5.2).



*Slika 5.2 Drugi scenarij rekonfiguracije*

## 5.1 Prvi scenarij

Kao što je već rečeno, u prvom scenariju se vrši rekonfiguracija iz dvije na četiri ćelije. Prema tome su u prethodnom poglavlju dobivene iskoristivosti pojedinih grupa proizvoda u razdoblju minimalnih količina:

Tablica 5.1 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju minimalnih količina proizvoda

$\eta/j$	G	ABCDEFH
$\eta_{tl}$	0,85	0,50
$\eta_{tp}$	0,85	0,55
$\eta_{el}$	0,85	0,59
$\eta_{ep}$	0,85	0,59

Stupnjevi iskoristivosti grupa proizvoda u razdoblju maksimalnih količina se sljedeće:

Tablica 5.2 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju maksimalnih količina proizvoda

$\eta/j$	F	G	AE	BCDH
$\eta_{tl}$	0,97	0,94	0,73	0,52
$\eta_{tp}$	0,97	0,94	0,80	0,55
$\eta_{el}$	0,97	0,94	0,76	0,60
$\eta_{ep}$	0,97	0,94	0,80	0,61

Sljedeći korak je računanje ukupne vrijednosti opreme koja je potrebna za razdoblje minimalnih i maksimalnih količina. To se računa tako da se zbroje istoimeni strojevi koji su potrebni za svaku pojedinu grupu te se taj ukupni broj pomnoži sa vrijednosti stroja (tablica 5.3).

$$\text{vrijednosti} = \sum \text{strojeva} \cdot A_i$$

Prikazat će se proračun za stroj M10. Za obje grupe je potrebno ukupno 5 strojeva M10 pa je ukupna vrijednost strojeva M10:

$$\text{vrijednosti}_{M10} = \sum \text{strojeva}_{M10} \cdot A_{M10} = 5 \cdot 150000 = 750000$$

Ukupna vrijednost svih potrebnih strojeva se dobije tako da se zbroje sve vrijednosti za svaki pojedini stroj.

Tablica 5.3 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju minimalne količine proizvoda

<i>i/j</i>	G	ABCDEFH	$\Sigma$ strojeva	<b>Ai</b>	vrijednosti
M1		1	1	120.000	120.000
M2		1	1	120.000	120.000
M3		1	1	140.000	140.000
M4		2	2	100.000	200.000
M5		1	1	10.000	10.000
M6		1	1	20.000	20.000
M7		1	1	500.000	500.000
M8		1	1	10.000	10.000
M9		1	1	80.000	80.000
M10	1	4	5	150.000	750.000
M11		1	1	100.000	100.000
M12		3	3	90.000	270.000
M13		1	1	60.000	60.000
M14		1	1	25.000	25.000
M15		1	1	20.000	20.000
M16		1	1	120.000	120.000
AGV	1	1	2	100.000	200.000
				$\Sigma$ vrijednosti <sub>MIN</sub>	2.745.000

Na isti način se računaju vrijednosti strojeva i za razdoblje maksimalnih količina (tablica 5.4).

U ukupni trošak rekonfiguracije se ubrajaju i alokacije te dodavanja dodatnih strojeva u proizvodni sustav. Alokacija stroja je premještanje stroja iz jedne ćelije u drugu i trošak jedne alokacije iznosi 1000 novčanih jedinica. Trošak dodavanja novog stroja je jednaka njegovoj vrijednosti uvećanoj za 2000 novčanih jedinica.

Rekonfiguracija bi se u ovom scenariju izvršila tako da bi se iz prvotne grupe ABCDEFH oduzeli određeni strojevi koji su prikazani u tablici 5.4 kako bi se dobila grupa BCDH. Od oduzetih strojeva, jedan stroj M10 bi se alocirao u grupu G kako bi se kreirala grupa G za razdoblje maksimalnih količina proizvoda. Novonastale ćelije, tj. grupe F i AE bi se kreirale alociranjem oduzetih strojeva iz grupe ABCDEFH uz dodavanje novih potrebnih strojeva. Kompletne alokacije i dodavanje strojeva sa ukupnim izračunatim troškom prikazani su u tablici 5.4 i računa se na sljedeći način:

$$\Sigma \text{troška} = \Sigma \text{alokacija} \cdot \text{trošak alokacije} + \Sigma \text{dodavanja} \cdot \text{trošak dodavanja}$$

$$\Sigma \text{troška} = 7 \cdot 1000 + 21 \cdot 2000 = 49000$$

Tablica 5.4 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa potrebnim alokacijama i dodavanjima strojeva i ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju maksimalne količine proizvoda

<i>i/j</i>	F	G	AE	BCDH	$\Sigma$ strojeva	vrijednosti
M1			2	1	3	360.000
M2			1	1	2	240.000
M3			2		2	280.000
M4			3	2	5	500.000
M5			1		1	10.000
M6			1	1	2	40.000
M7			1	1	2	1.000.000
M8			1	1	2	20.000
M9			1	1	2	160.000
M10	3	2	5	2	12	1.800.000
M11				1	1	100.000
M12			6		6	540.000
M13				1	1	60.000
M14				1	1	25.000
M15				1	1	20.000
M16				1	1	120.000
AGV	1	1	1	1	4	400.000
MIN→MAX (1. scenarij)	alocirano: 1xM10 dodano: 2xM10	alocirano: 1xM10	alocirano: 1xM3 1xM5 3xM12 dodano: 2xM1 1xM2 1xM3 3xM4 1xM6 1xM7 1xM8 1xM9 5xM10 3xM12	oduzeto: 2xM10 1xM3 1xM5 3xM12	$\Sigma$ vrijednosti <sub>MAX</sub>	5.675.000
					$\Sigma$ alokacija	7
					trošak alokacije	1.000
					$\Sigma$ dodavanja	21
					trošak dodavanja	2.000
					$\Sigma$ troška	49.000

Sada se može izračunati ukupni trošak rekonfiguracije proizvodnog sustava iz razdoblja minimalnih količina u proizvodni sustav za razdoblje maksimalnih količina proizvoda. Ukupni trošak se odredi tako da se od ukupne vrijednosti strojeva u razdoblju maksimalnih količina oduzme ukupna vrijednost strojeva u razdoblju minimalnih količina proizvoda te se k tome pribroji ukupni trošak alokacije i dodavanja strojeva:

$$\text{rekonfiguracija}_{\text{MIN} \rightarrow \text{MAX}} = \sum \text{vrijednosti}_{\text{MAX}} - \sum \text{vrijednosti}_{\text{MIN}} + \sum \text{troška}$$

$$\text{rekonfiguracija}_{\text{MIN} \rightarrow \text{MAX}} = 5675000 - 2745000 + 49000 = 2979000$$

## 5.2 Drugi scenarij

U drugom scenariju su grupe proizvoda odnosno proizvodne ćelije u razdobljima minimalnih i maksimalnih količina proizvoda jednake, a rekonfiguracija se vrši samo dodavanjem novih strojeva u pojedine ćelije. U sljedećoj tablici su prikazane iskoristivosti grupa u razdoblju minimalnih količina proizvoda koje su također izračunate u prošlom poglavlju.

*Tablica 5.5 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju minimalnih količina proizvoda*

$\eta/j$	F	G	AE	BCDH
$\eta_{\text{d}}$	0,66	0,85	0,49	0,21
$\eta_{\text{tp}}$	0,66	0,85	0,58	0,25
$\eta_{\text{el}}$	0,66	0,85	0,51	0,25
$\eta_{\text{ep}}$	0,66	0,85	0,55	0,28

Stupnjevi iskoristivosti za razdoblje maksimalnih količina proizvoda će biti jednaki kao i u prošlom scenariju.

Potrebna količina strojeva, njihove ukupne vrijednosti kao i ukupni trošak alokacije i dodavanja strojeva se računaju na isti način kao i u prethodnom scenariju i prikazani su u tablicama 5.6 i 5.7.

Tablica 5.6 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju minimalne količine proizvoda

i/j	F	G	AE	BCDH	$\Sigma$ strojeva	vrijednosti
M1			1	1	2	240.000
M2			1	1	2	240.000
M3			1		1	140.000
M4			1	1	2	200.000
M5			1		1	10.000
M6			1	1	2	40.000
M7			1	1	2	1.000.000
M8			1	1	2	20.000
M9			1	1	2	160.000
M10	2	1	2	1	6	900.000
M11				1	1	100.000
M12			3		3	270.000
M13				1	1	60.000
M14				1	1	25.000
M15				1	1	20.000
M16				1	1	120.000
AGV	1	1	1	1	4	400.000
					$\Sigma$ vrijednosti <sub>MIN</sub>	3.945.000



Tablica 5.7 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa potrebnim alokacijama i dodavanjima strojeva i ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju maksimalne količine proizvoda

<i>i/j</i>	F	G	AE	BCDH	$\Sigma$ strojeva	vrijednosti
M1			2	1	3	360.000
M2			1	1	2	240.000
M3			2		2	280.000
M4			3	2	5	500.000
M5			1		1	10.000
M6			1	1	2	40.000
M7			1	1	2	1.000.000
M8			1	1	2	20.000
M9			1	1	2	160.000
M10	3	2	5	2	12	1.800.000
M11				1	1	100.000
M12			6		6	540.000
M13				1	1	60.000
M14				1	1	25.000
M15				1	1	20.000
M16				1	1	120.000
AGV	1	1	1	1	4	400.000
					$\Sigma$ vrijednosti <sub>MAX</sub>	5.675.000
MIN→MAX (2. scenarij)	dodano: 1xM10	dodano: 1xM10	dodano: 1xM1 1xM3 2xM4 3xM10 3xM12	dodano: 1xM4 1xM10	$\Sigma$ dodavanja	14
					trošak dodavanja	2.000
					$\Sigma$ troška	28.000

Iz tablice je vidljivo da se ovdje rekonfiguracija vrši samo dodavanjem novih strojeva.

Ukupni trošak rekonfiguracije se računa kao i u prethodnom scenariju i on iznosi:

$$rekonfiguracija_{MIN \rightarrow MAX} = \Sigma vrijednosti_{MAX} - \Sigma vrijednosti_{MIN} + \Sigma troška$$

$$rekonfiguracija_{MIN \rightarrow MAX} = 5675000 - 3945000 + 28000 = 1758000$$

### 5.3 Odabir rješenja

Zbog preko 40% manjeg troška rekonfiguracije odabire se rješenje proizvodnog sustava iz drugog scenarija. Iako ovo rješenje ima dosta manje iskoristivosti proizvodnih ćelija u razdoblju minimalnih količina proizvoda, vjeruje se da će tvrtka dobro napredovati i da će se proizvodne količine kroz kratak period vremena povećati na maksimum (tablica 5.8).

Tablica 5.8 Usporedba dva scenarija

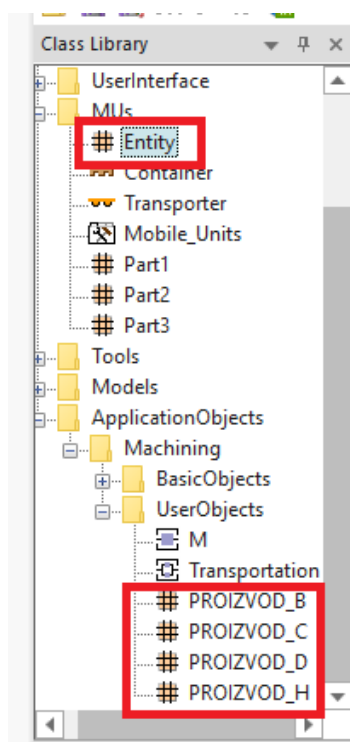
	PRVI SCENARIJ					DRUGI SCENARIJ				
	Razdoblje minimalnih količina	$\eta/j$	<b>G</b>	<b>ABCDEFH</b>			$\eta/j$	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>AE</b>
$\eta_{tl}$		0,85	0,50			$\eta_{tl}$	0,66	0,85	0,49	0,21
$\eta_{tp}$		0,85	0,55			$\eta_{tp}$	0,66	0,85	0,58	0,25
$\eta_{el}$		0,85	0,59			$\eta_{el}$	0,66	0,85	0,51	0,25
$\eta_{ep}$		0,85	0,59			$\eta_{ep}$	0,66	0,85	0,55	0,28
Razdoblje maksimalnih količina	$\eta/j$	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>AE</b>	<b>BCDH</b>	$\eta/j$	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>AE</b>	<b>BCDH</b>
	$\eta_{tl}$	0,97	0,94	0,73	0,52	$\eta_{tl}$	0,97	0,94	0,73	0,52
	$\eta_{tp}$	0,97	0,94	0,80	0,55	$\eta_{tp}$	0,97	0,94	0,80	0,55
	$\eta_{el}$	0,97	0,94	0,76	0,60	$\eta_{el}$	0,97	0,94	0,76	0,60
	$\eta_{ep}$	0,97	0,94	0,80	0,61	$\eta_{ep}$	0,97	0,94	0,80	0,61
Ukupni trošak rekonfiguracije: 2.979.000						Ukupni trošak rekonfiguracije: 1.758.000				

Prostorni rasporedi za svaki proizvodni sustav nalaze se u prilogu ovog rada.

## 6. SIMULACIJA PROIZVODNOG SUSTAVA

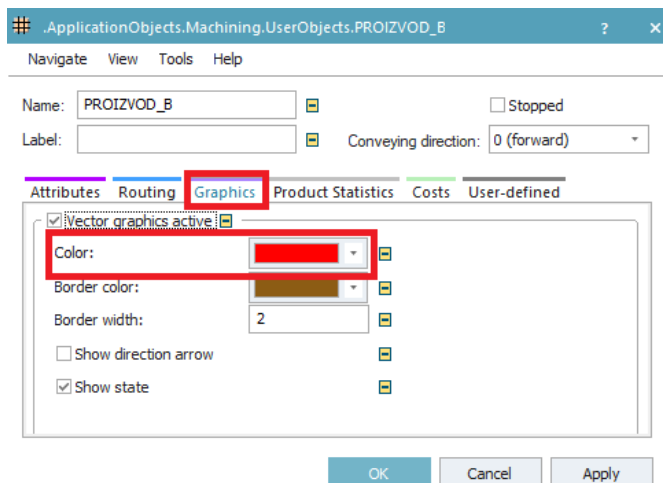
U nastavku će se prikazati izrada simulacije proizvodnog sustava za grupu BCDH u razdoblju minimalnih količina proizvoda u operativnoj vremenskoj jedinici koja iznosi jedan dan, odnosno 16 sati. Simulacija će se napraviti, kao što je već navedeno, u programu *Tecnomatix Plant Simulation*.

Prvi korak u izradi simulacije je kreiranje proizvoda koji će se proizvoditi. Kada pokrenemo program i uđemo u 2D simulaciju sa lijeve strane se nalazi stablo u polju *Class Library*. Unutar stabla se držeći tipku Ctrl i povlačeći sa mišem odvuče identitet pod nazivom *Entity* u datoteku *UserObjects* (slika 6.1). To je naziv za proizvod i taj korak se ponovi četiri puta i proizvodima se dodijele njihova imena.



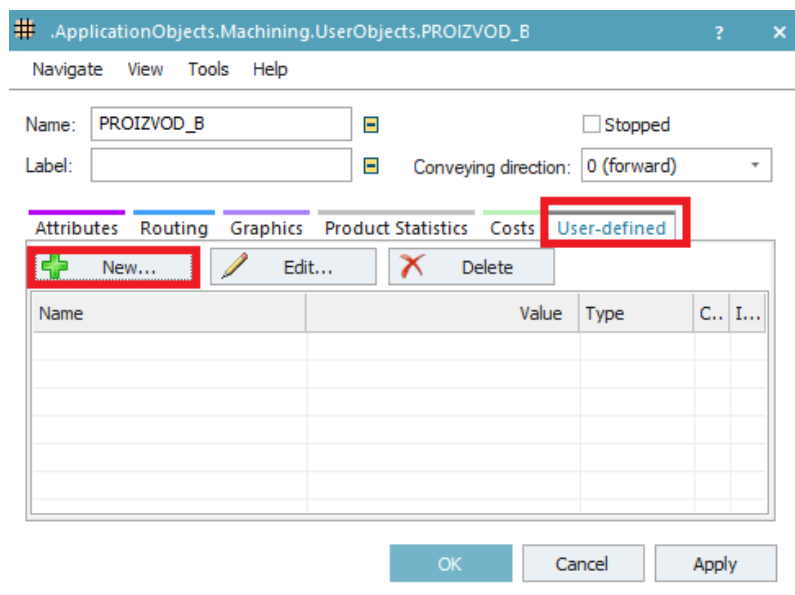
Slika 6.1 Stvaranje proizvoda

Dvostrukim klikom na svaki proizvod otvara se prozor za modificiranje proizvoda. Pod karticom *Graphics* se može odabrati boja proizvoda koji će se prikazivati u simulaciji radi lakšeg prepoznavanja i razlikovanja proizvoda (slika 6.2).



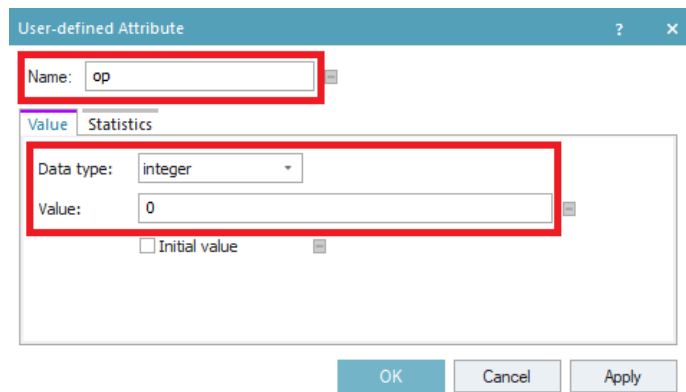
Slika 6.2 Uređivanje proizvoda B

Sljedeća kartica u istom prozoru koju je potrebno modificirati je *User-defined*. U toj kartici se dodaju određeni atributi proizvoda. Pritiskom na tipku *New* dodaje se novi atribut za taj proizvod (slika 6.3).



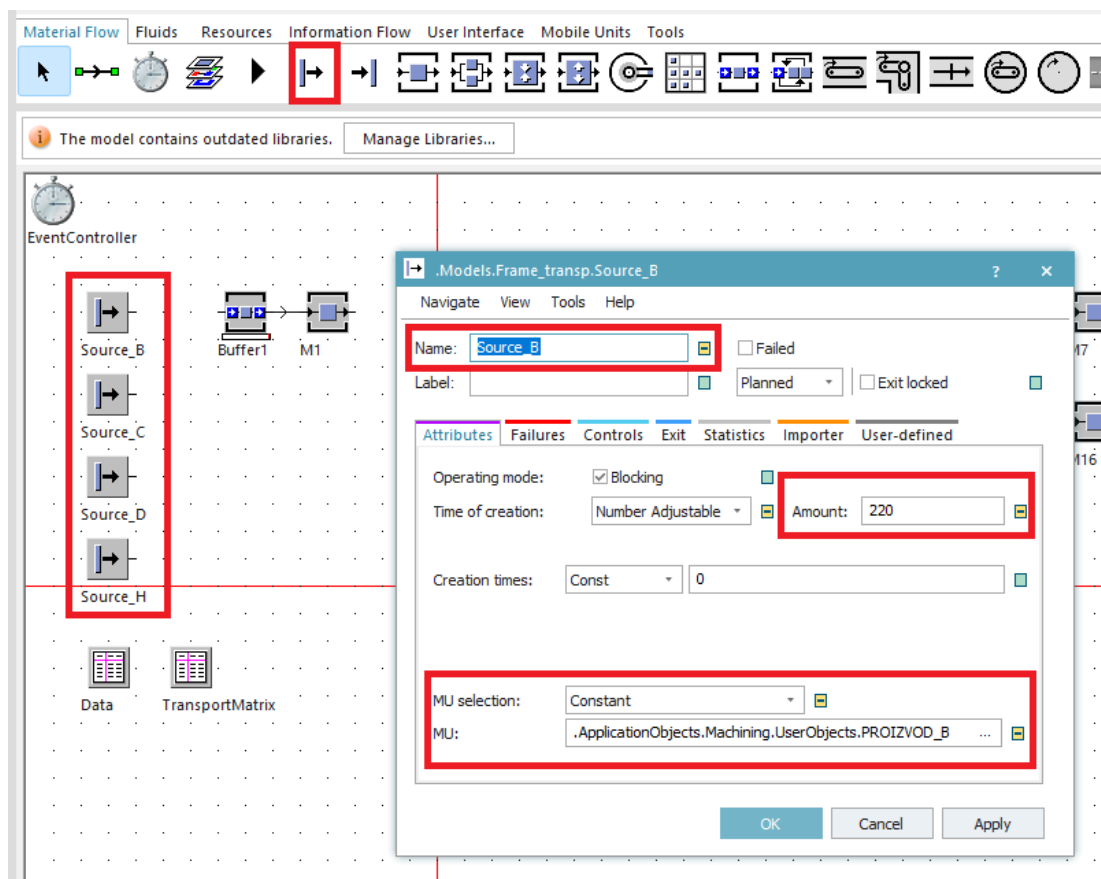
Slika 6.3 Dodavanje atributa proizvodu B

Otvora se novi prozor u koji se upisuje ime atributa, vrsta atributa i njegova vrijednost. Atribut će se nazvati *op* i označavat će redni broj operacije u kodovima kojima će se programirati ulazne i izlazne kontrole strojeva. Pošto će atribut označavati redni broj operacije, vrsta atributa se odabire cijeli broj – *integer*, a početna vrijednost mu se stavlja 0 (slika 6.4).



Slika 6.4 Podešavanje imena, vrste i vrijednosti atributa

Nakon toga je potrebno dodati ulaze za svaki proizvod koji će predstavljati skladišta ulaznog materijala. Iz alatne trake *Toolbox* pod karticom *Material Flow* se odvuče alat *Source* na zaslom i to za svaki proizvod. Nakon što se odvuku sva četiri ulaza, svakom se dodijeli ime i namjeste se potrebne postavke (slika 6.5). Potrebno je odabrati koji proizvod će se slati iz tog skladišta te upisati količinu svakog proizvoda i način odabira proizvoda.



Slika 6.5 Namještanje ulaza za proizvod B

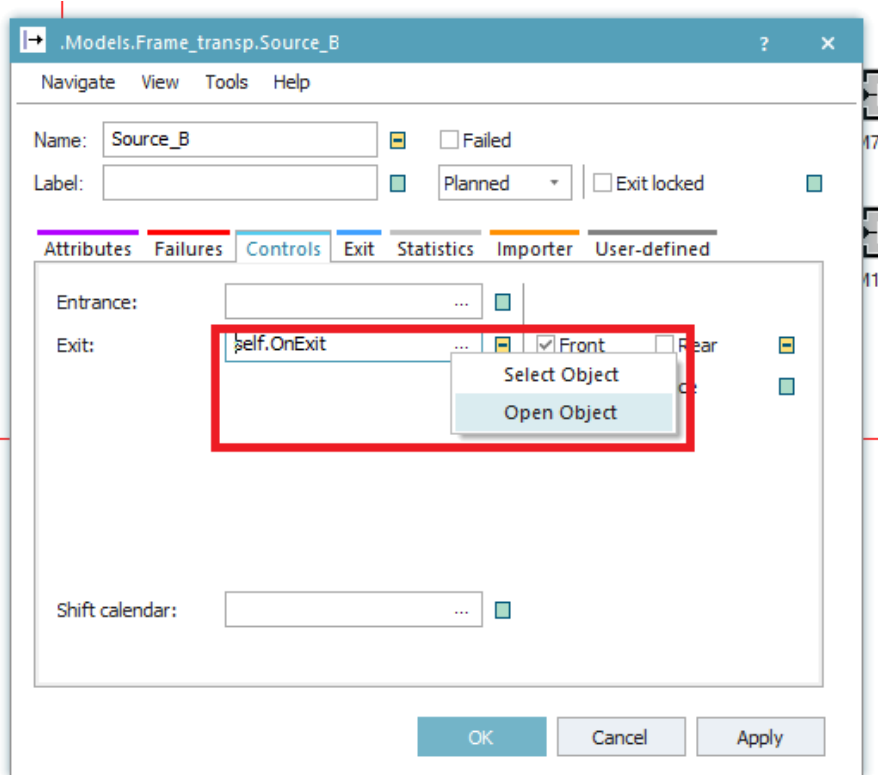
Proizvod se odabire na način da se u polje *MU* dovuče iz stabla prethodno kreirani proizvod. Sljedeći korak je kreiranje tablice sa podacima o redoslijedu i trajanju operacija za svaki proizvod. Iz alatne trake *Toolbox* pod karticom *Information Flow* se odvuče alat *Tabne File* na zaslon te se otvori i upišu podaci (slika 6.6). Slova x u desnom stupcu predstavljaju da je u tom polju još jedna tablica u koju će se upisati redoslijed i trajanje operacija za svaki proizvod. Dvostrukim klikom na svako polje se otvara nova tablica te se upisuju podaci o trajanju operacija i strojevima na kojima će se provoditi (slika 6.7). Sada je potrebno isprogramirati izlaznu kontrolu za svaki ulaz kako bi on znao na koji stroj treba slati svaki proizvod (slika 6.8). U prozoru ulaza pod karticom *Controls* u polju *Exit* se odabere naredba *Create control*. Otvara se novi prozor u koji se upisuje kod koji će kontrolirati koji proizvod ide na koji stroj (slika 6.9). Ovaj kod opisuje slanje svakog proizvoda na stroj potreban za njegovu prvu operaciju. U kodu se koristi sintaksa *str\_to\_obj* koja prima string odnosno riječ koju prebacuje u referencu objekta. Pojednostavljeno rečeno, ovaj kod govori da će stroj na koji se šalje proizvod biti onaj koji se nalazi u drugom stupcu tablice i u retku u kojem se nalazi taj proizvod. Nadalje pošto je na tom mjestu još jedna tablica, naziv stroja se nalazi u prvom stupcu i prvom retku te druge tablice što govore i brojevi u uglatoj zagradi (1,1). Zadnji redak koda govori da se proizvodi odlažu na međuoperacijsko skladište ispred stroja.

	string 0	integer 1	table 2	str 3
string			BOP	
1	Proizvod_B		x	
2	Proizvod_C		x	
3	Proizvod_D		x	
4	Proizvod_H		x	
5				
6				

Slika 6.6 Upisivanje podataka u tablicu

	string 1	time 2	st 3
string	Machine	Proctime	
1	M10	1:27.0000	
2	M4	1:06.0000	
3	M6	6.0000	
4			

Slika 6.7 Tablica unutar prethodne tablice sa informacijama o operacijama za proizvod B



Slika 6.8 Programiranje kontrole

```

is
  nextMachine:object;
do

  --look for the first machine
  nextMachine:=str_to_obj(data[2,@.name][1,1]);
  --move it to the buffer in front the machine
  @.move(nextMachine.pred);

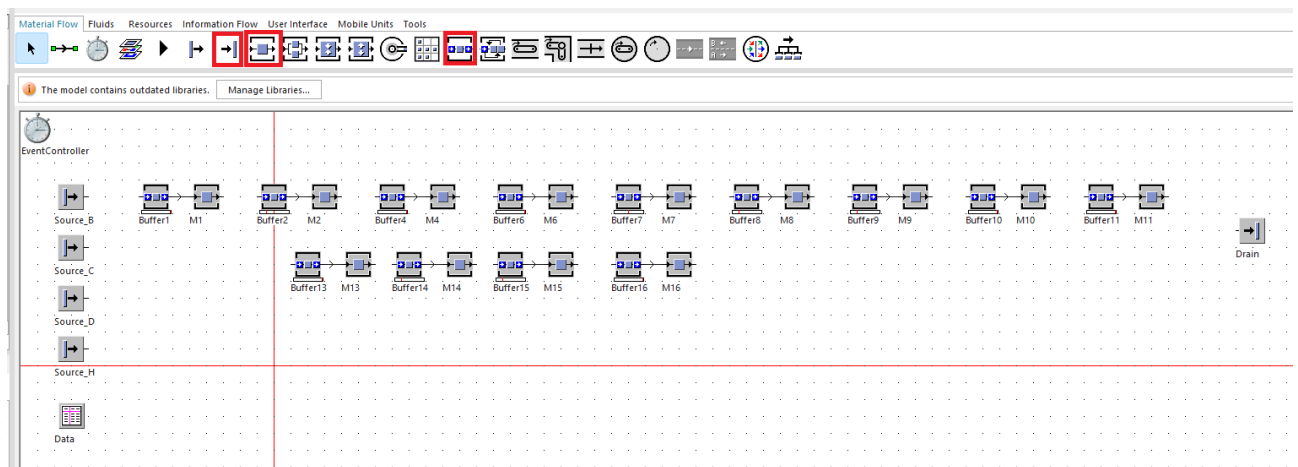
end;|

```

Slika 6.9 Kod za raspodjelu slanja proizvoda

Sada je potrebno složiti sve strojeve koji su potrebni za rad proizvodnog sustava grupe BCDH kako bi se proizvele tražene količine. Strojevi koji su potrebni za ovu grupu navedeni su u tablici 5.6. Ispred svakog stroja će se staviti po jedno međuoperacijsko skladište koje će hraniti svaki stroj u slučaju da se prethodni stroj pokvari ili iz nekog razloga stane s radom. Na kraju će se još postaviti skladište gotovih proizvoda u koje će se slati svi gotovi proizvodi. Svi ovi elementi se

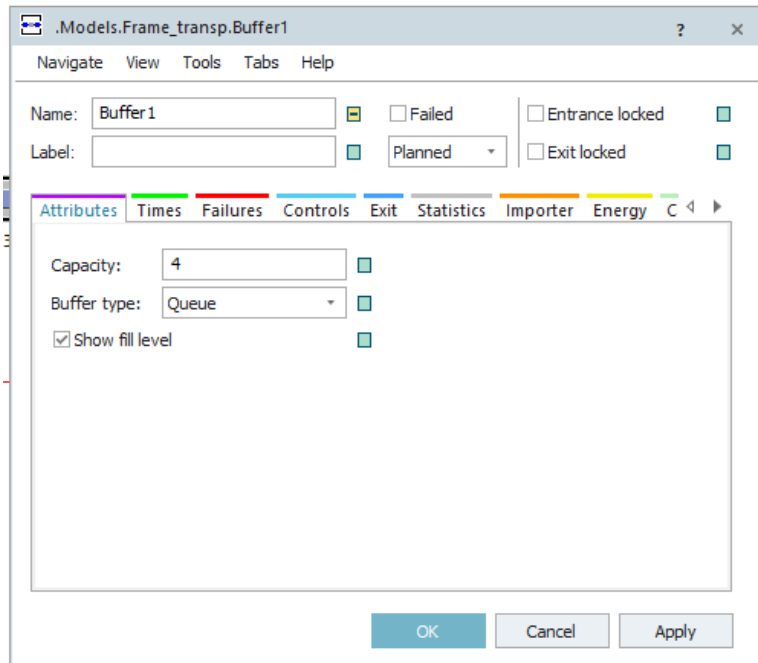
dodaju također iz alatne trake *Toolbox* pod karticom *Material Flow* (slika 6.10). Strojevi se nazivaju *SingleProc*, međuoperacijska skladišta *Buffer*, a skladište gotovih proizvoda *Drain*.



*Slika 6.10 Dodavanje strojeva, međuoperacijskih skladišta i skladišta gotovih proizvoda te konačan izgled simulacije*

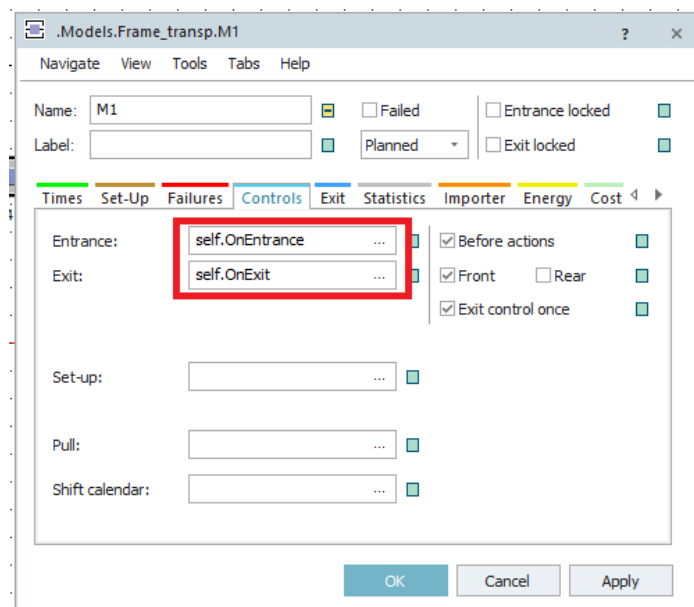
Kapacitet međuoperacijskog skladišta se postavi na 4 (slika 6.11). Za svaki stroj je potrebno isprogramirati ulaznu i izlaznu kontrolu. Ulaznom kontrolom će se određivati vrijeme trajanja operacije ovisno o proizvodu koji ulazi na stroj, a izlaznom kontrolom će se kontrolirati ide li proizvod na sljedeći stroj ili mu je to bila završna operacija nakon koje on odlazi u skladište gotovih proizvoda.





Slika 6.11 Upisivanje kapaciteta međuoperacijskog skladišta

Odabirom na određeni stroj otvara se prozor i pod karticom *Control* se u polja *Entrance* i *Exit* upisuju kodovi na isti način kao i za ulaz materijala (slika 6.12).



Slika 6.12 Programiranje ulazne i izlazne kontrole stroja

```

is
do
  --set the proctime
  self.~.procTime:=root.data[2,@.name][2,@.op+1];
end;

```

Slika 6.13 Kod za ulaznu kontrolu

```

is
  nextMachine:object;
do
  --@ is the batch
  -- increase the operation number
  @.op:=@.op+1;
  --look for the next machine, may be nothing
  if root.data[2,@.name][1,@.op+1] = void then
    @.move(root.drain);

  else
    nextMachine:=str_to_obj(root.data[2,@.name][1,@.op+1]);
    --move it to the buffer infront the machine
    @.move(nextMachine.pred);
  end;
end;
end;

```

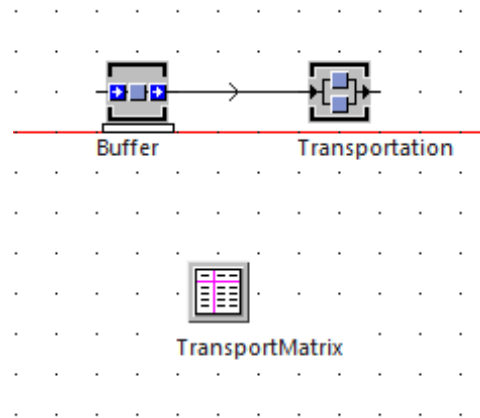
Slika 6.14 Kod za izlaznu kontrolu

Kod na slici 6.13 govori da se postavi vrijeme trajanja za određeni proizvod, a koje je jednako vremenu koje se nalazi unutar tablice koja je kreirana. To vrijeme se nalazi u drugom stupcu operacije i u retku ovisno o kojem proizvodu je riječ. Pošto drugi stupac sadrži tablice potrebno je još u kodu navesti na kojem se mjestu nalazi vrijeme unutar te druge tablice, a to je drugi stupac i broj retka koji je jednak rednom broju operacije uvećanom za 1. Može se primijetiti da se u ovom kodu koristi atribut *op* koji je dodijeljen svakom proizvodu. Pošto mu je početna vrijednost stavljena 0, ovdje se govori o prvom retku.

Kod za izlaznu kontrolu na slici 6.14 opisuje na koji će sljedeći stroj ići proizvod. Prvo se redni broj operacije povećava za 1, a zatim se provjerava nalazi li se u prethodno objašnjenjnoj lokaciji tablice, u retku ispod još neka operacija. Ako je taj red ispod prazan, znači da sljedeće operacije nema, odnosno da je na tom stroju odrađena posljednja operacija te da se proizvod može transportirati u skladište. Ukoliko taj sljedeći redak nije prazan, drugi dio ovog koda jednak je kodu za izlaznu kontrolu ulaznog skladišta. To znači da će sljedeći stroj na koji se transportira

produkt biti onaj čije se ime nalazi u prethodno objašnjenjnoj lokaciji tablice i to u retku ispod trenutnog stroja.

Još se treba dodati transportni sustav i matrica transportnih vremena. Transportni sustav je prikazan na slici 6.15.



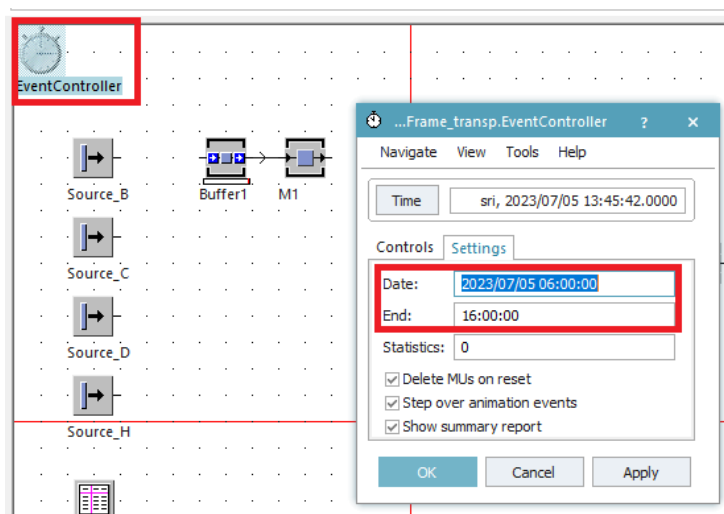
Slika 6.15 Transportni sustav

Transportni sustav se sastoji od jednog buffera i jedne paralelne stanice koja predstavlja AGV vozilo te od tablice, tj. matrice u koju se upisuju vremena transporta (slika 6.16). U ovome primjeru je trajanje svih transportnih puteva uzeto kao 10 sekundi.

string 0	time 1	time 2	time 3	time 4	time 5	time 6	time 7	time 8	time 9	time 10	time 11	time 12	time 13	time 14
string from/to	M1	M2	M4	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M13	M14	M15	M16	Drain
1	M1	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
2	M2	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
3	M4	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
4	M6	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
5	M7	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
6	M8	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
7	M9	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
8	M10	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
9	M11	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
10	M13	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000
11	M14	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000	10.0000
12	M15	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	10.0000
13	M16	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000
14	Drain	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	0.0000
15														

Slika 6.16 Matrica transportnih puteva

Prije samog pokretanja simulacije potrebno je ući u *EventController* i pod karticom *Settings* upisati vrijeme trajanja simulacije (slika 6.17).



Slika 6.17 Upisivanje vremena trajanja simulacije

Sada se može pokrenuti simulacija pritiskom na zelenu tipku *Start/Stop* u gornjem lijevom dijelu prozora. Po završetku simulacije program izbacuje određene podatke (slika 6.18).

#### .Models.Frame\_transp

Simulation time:7:45:42.0000

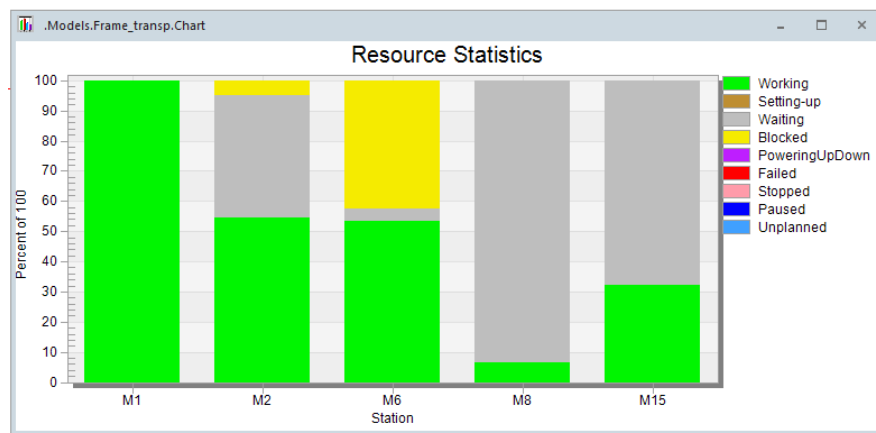
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	PROIZVOD_B	18:13.2082	220	28	29.48%	0.00%	70.52%	14.54%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, red);"></div>
Drain	PROIZVOD_C	7:02.2527	220	28	36.37%	0.00%	63.63%	22.45%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, red);"></div>
Drain	PROIZVOD_D	18:33.8127	220	28	31.63%	0.00%	68.37%	12.28%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, red);"></div>
Drain	PROIZVOD_H	4:53.3381	630	81	36.38%	0.00%	63.62%	25.57%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, red);"></div>

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Slika 6.18 Podaci o simulaciji za proizvodni sustav grupe BCDH u razdoblju minimalnih količina

Iz podataka je vidljivo da je prema simulaciji obrada svih proizvoda završila i prije zadanih 16 sati. Može se još vidjeti i postotak dodane vrijednosti po proizvodu te vrijeme potrebno za proizvodnju jednog proizvoda. Pošto se vidi da su obrađene željene količine proizvoda smatra se da je ovaj model proizvodnog sustava ispravan.

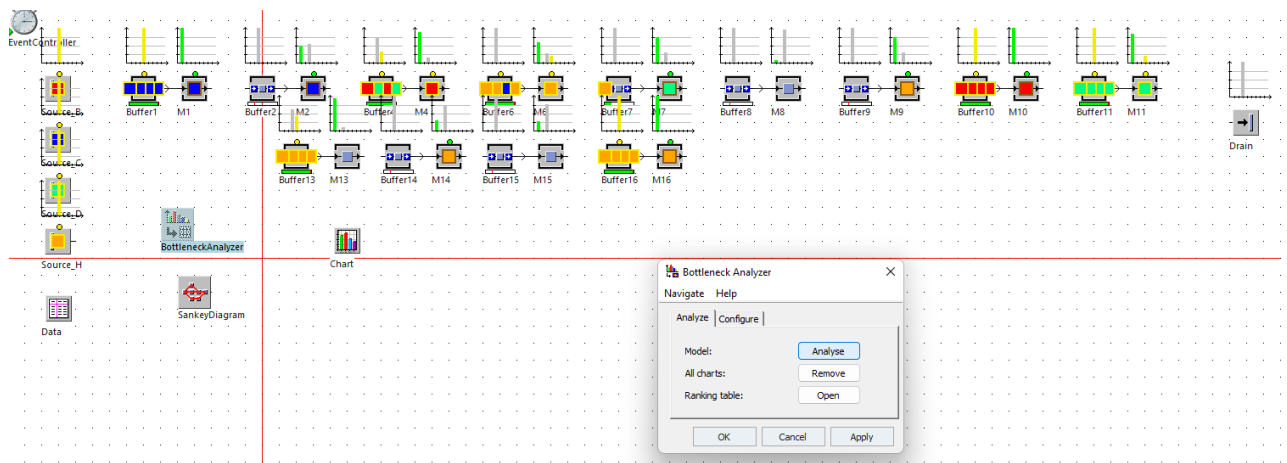
Ovaj program nudi i brojne alate za analizu raznih podataka, neki od njih su *Chart*, *SankeyDiagram* i *BottleneckAnalyzer*. *Chart* se nalazi u alatnoj traci Toolbox pod karticom *User Interface* i kontinuirano prikazuje podatke o zauzeću stroja, blokiranosti stroja, čekanju, pripremno završnim vremenima i mnoge druge. Ovaj alat se samo privuče iz alatne trake, a informacije za željeni stroj se dobiju tako da se stroj privuče na ovaj alat i pokrene se simulacija (slika 6.19).



Slika 6.19 Graf koji prikazuje podatke o strojevima M1, M2, M5, M8 i M15 u nekom trenutku simulacije

Zelena boja na grafu predstavlja da stroj radi, siva boja predstavlja čekanje i žuta boja predstavlja da je stroj blokiran odnosno da ne može predati proizvod sljedećem stroju.

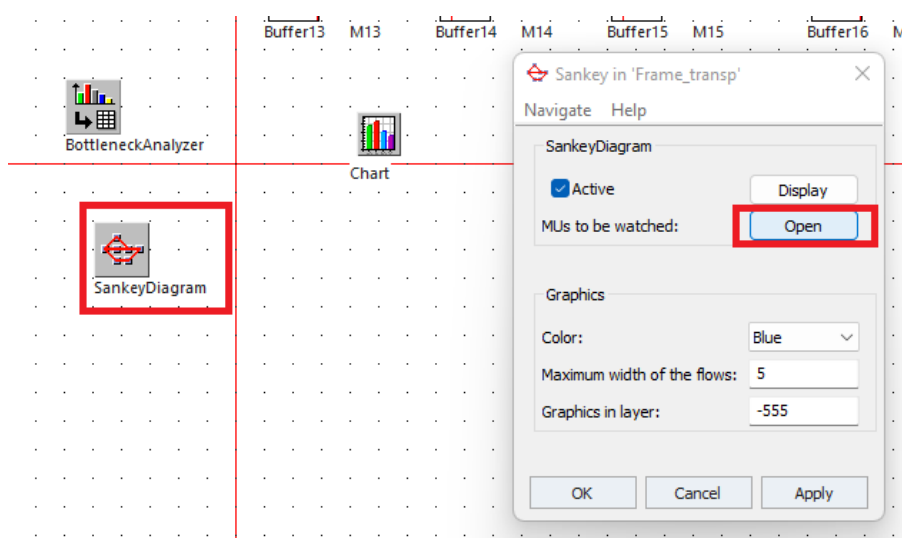
*SankeyDiagram* i *BottleneckAnalyzer* se nalaze u alatnoj traci Toolbox pod karticom *Tools*. *BottleneckAnalyzer* se koristi za otkrivanje uskog grla u procesu. Ovaj alat prikazuje informacije o zauzeću, čekanju i blokiranosti za svaki element unutar simulacije. Alat se samo dovuče na zaslon te se pokrene pritiskom na tipku *Analyse*. Kada se navedena tipka pritisne tijekom izvođenja simulacije prikazu se podaci za dati trenutak (slika 6.20).



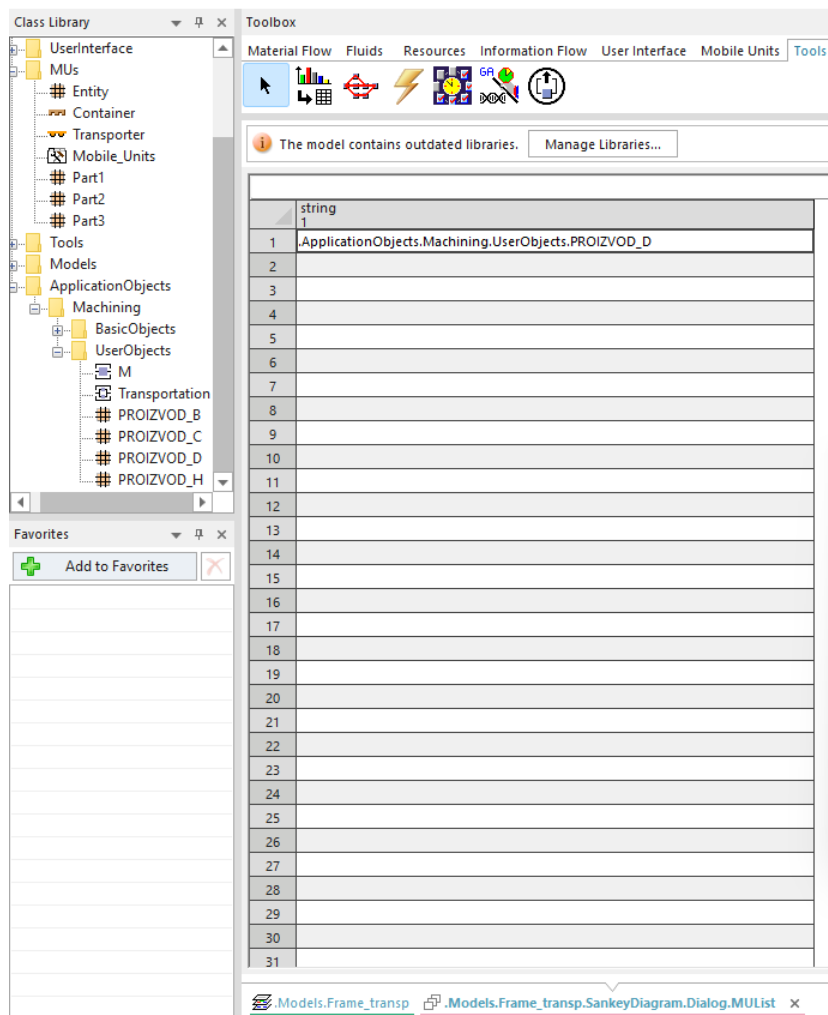
Slika 6.20 Korištenje alata BottleneckAnalyzer

Kao i kod prethodnog alata zelena boja na grafu predstavlja da stroj radi, siva boja predstavlja čekanje i žuta boja predstavlja da je element blokiran odnosno da ne može predati proizvod sljedećem stroju.

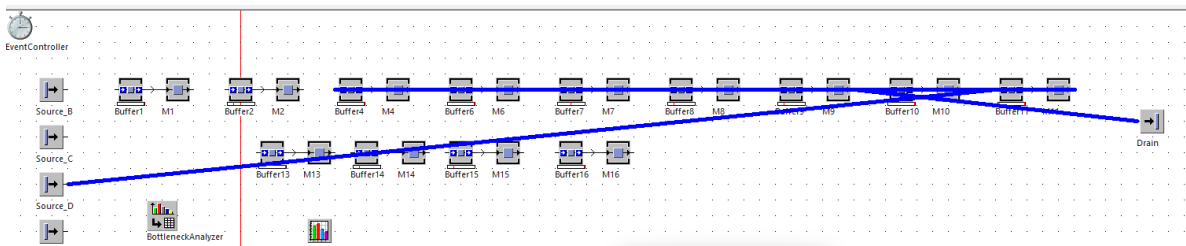
*SankeyDiagram* je alat koji se koristi kako bi se vidjele putanje određenih proizvoda u simulaciji. Alat se na isti način dovuče na zaslone i potom se otvori prozor i pritisne tipka *Open* kako bi se otvorila tablica unutar koje se upisuju proizvodi za koje se želi vidjeti putanja kretanja (slika 6.21). Proizvodi za koje se želi pratiti putanja se samo dovuku iz stabla u tablicu (slika 6.22). Nakon toga se pokrene simulacija i nakon što završi pritisne se tipka *Display* kako bi se prikazale putanje za željene proizvode (slika 6.23).



Slika 6.21 Pripremanje podataka za prikaz sankeyevog dijagrama



Slika 6.22 Postavljenje proizvoda u tablicu



Slika 6.23 Prikaz putanje kretanja proizvoda D

Simulacije za sve ostale grupe proizvoda se izvode i pripremaju na isti način. Sljedeće slike prikazuju dobivena rješenja za neke od ostalih grupa proizvoda u određenim razdobljima.

## .Models.Frame\_transp

Simulation time:14:35:24.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	PROIZVOD_B	11:21.2443	700	48	43.96%	0.00%	56.04%	26.17%	
Drain	PROIZVOD_C	7:14.0374	700	48	36.50%	0.00%	63.50%	21.84%	
Drain	PROIZVOD_D	11:49.6860	700	48	33.34%	0.00%	66.66%	19.28%	
Drain	PROIZVOD_H	9:53.6614	1400	96	23.77%	0.00%	76.23%	12.63%	

Slika 6.24 Rješenje za grupu BCDH u razdoblju maksimalnih količina

## .Models.Frame\_transp

Simulation time:11:33:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Proizvod_G	6:34.4286	630	55	33.33%	0.00%	66.67%	16.73%	

Slika 6.25 Rješenje za grupu G u razdoblju minimalnih količina

## .Models.Frame\_transp

Simulation time:12:50:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Proizvod_G	3:50.5757	1400	109	42.87%	0.00%	57.13%	28.62%	

Slika 6.26 Rješenje za grupu G u razdoblju maksimalnih količina

## .Models.Frame\_transp

Simulation time:14:52:30.0000




Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Proizvod_F	9:52.4095	630	42	42.88%	0.00%	57.12%	22.98%	

Slika 6.27 Rješenje za grupu F u razdoblju minimalnih količina



## .Models.Frame\_transp

Simulation time:13:13:54.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Proizvod_F	5:05.3433	466	35	66.67%	0.00%	33.33%	33.41%	
Drain	Proizvod_F1	5:05.3448	467	35	66.67%	0.00%	33.33%	33.40%	
Drain	Proizvod_F2	5:05.3448	467	35	66.67%	0.00%	33.33%	33.40%	

*Slika 6.28 Rješenje za grupu F u razdoblju maksimalnih količina*

## 7. ZAKLJUČAK

Grupiranje proizvoda se provodi kako bi se povećala iskoristivost strojeva, smanjilo pripremno završno vrijeme, smanjili troškovi proizvodnje te povećala produktivnost. Konačne grupe proizvoda koje su dobivene nekim postupkom grupiranja proizvoda ne moraju biti nužno i konačan izbor. Ukoliko dođe do promjene u potražnji za proizvodima, odnosno do promjene količina koje je potrebno proizvesti, te grupe možda više neće biti optimalne i iskoristivost proizvoda neće biti ista, a možda ni zadovoljavajuća. To potvrđuje i primjer iz ovoga rada. Nakon završetka grupiranja proizvoda, dobivene su dvije grupe proizvoda koje su zadovoljavale određenu iskoristivost u periodu minimalnih potrebnih količina proizvoda te četiri grupe proizvoda koje zadovoljavaju iskoristivosti strojeva u predviđenom razdoblju povećanja potražnje, tj. maksimalne količine proizvoda. Međutim primarni kriterij za određivanje grupa proizvoda u pojedinom razdoblju ne mora biti iskoristivost strojeva. To mogu biti i troškovi rekonfiguracije proizvodnog sustava kako bi se pripremio za razdoblje maksimalnih količina. O tome ovisi i vrijeme koje će biti potrebno da se količine s minimalnih povećaju na maksimalne vrijednosti. U ovome radu su se sagledala dva scenarija odabira grupa. U prvome scenariju je iskoristivost strojeva u periodu minimalnih i maksimalnih količina bila visoka ali su zbog toga troškovi rekonfiguracije proizvodnog sustava bili puno veći nego kod drugog scenarija. Pošto sve ima svoje pozitivne i negativne strane tako je kod drugog scenarija iskoristivost strojeva u razdoblju minimalnih količina bila vrlo mala, no pretpostavilo se da će se proizvodne količine brzo povećati što će ujedno povećati i iskoristivosti na zadovoljavajuću razinu.

Ovim radom se pokazalo da tehnolog, odnosno projektant nekog proizvodnog sustava mora prilikom projektiranja proizvodnog sustava uzeti u obzir brojne kriterije i sagledati mnoge moguće scenarije i preispitati ih kako bi došao do krajnjeg rješenja. To krajnje rješenje neće uvijek biti i najbolje rješenje prema samo jednom kriteriju (npr. tehničkoj i ekonomskoj iskoristivosti, upravljivosti sustava ili lakoći rekonfiguracije sustava) već optimalno rješenje koje zadovoljava cijeli niz kriterija.

## LITERATURA

- [1] Veža, I.: „Projektiranje proizvodnih procesa“, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 1994.
- [2] Muther, R.: „Systematic layout planning“, Industrial education institute, Boston, 1961.
- [3] Schmigalla, H.: „Methoden zur optimalen Maschinenanordnung“, WEB Verlag Technik, Berlin, 1970.
- [4] Woithe, G.: „Projektierung von Betriebsanlagen des Maschinenbaubetriebs“, 3. Lehrbrief – Die Projektierung der technich-organisatorischen Struktur der Hauptabteilungen, TH Magdeburg, 1965.
- [5] Doboviček, S., 2021.: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/mod/resource/view.php?id=2557034>
- [6] Bamford, D.; Forrester, P.: „Essential Guide to Operations Managment“, Wiley, Chichester, 2010.
- [7] Porter, A.: „Operations managment“, Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt, 2011.
- [8] Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R.: „Operations managment“, Prentice Hall/Financial Times, New York, 2007.
- [9] Wiendahl, H.P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: „Handbook Factory Planning and Design“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2015.
- [10] Doboviček, S., 2022.: <https://moodle.srce.hr/2022-2023/mod/resource/view.php?id=2907451>
- [11] Doboviček, S., 2022.: <https://moodle.srce.hr/2022-2023/mod/resource/view.php?id=2951918>
- [12] Doboviček, S., 2022.: <https://moodle.srce.hr/2022-2023/mod/resource/view.php?id=2964168>
- [13] S interneta, <https://www.stahlportal.com/en/stock/17225-42crmo4-17227-42camos4/#:~:text=42CrMo4%20%7C%201.7225%20is%20a%20versatile,rods%20are%20manufactured%20from%20it.,> 26.05.2023.
- [14] S interneta, <https://metaling.eu/storitve/toplotno-kemicno-utrjevanje-povrsin/>, 26.05.2023.
- [15] Mikac, T.: „Projektiranje proizvodnih sustava“, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka, 2004.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Područja primjene proizvodnih prostornih struktura [1].....	3
Slika 2.2 Primjer pojedinačnog rasporeda proizvodnje [5].....	4
Slika 2.3 Raspored u skupine po vrsti obrade [5] .....	5
Slika 2.4 Linijska proizvodnja .....	6
Slika 2.5 Primjeri tokova obrade u linijskoj proizvodnji [1].....	7
Slika 2.6 Proizvodnja veće količine proizvoda po principu radioničke proizvodnje i u proizvodnoj ćeliji [10] .....	10
Slika 3.1 Metode grupiranja [11] .....	12
Slika 3.2 Transformacija proizvodnog sustava s pomoću metode analize toka materijala (PFA) [11] .....	13
Slika 3.3 Određivanje klasa i definiranje razreda za svaku klasu [11] .....	14
Slika 3.4 Jaccardov koeficijent sličnosti [11].....	15
Slika 3.5 Rezultat sortiranja blok-dijagonalnom metodom [11] .....	15
Slika 4.1 Zupčanik - m1;z75 (proizvod A) .....	19
Slika 4.2 Zupčanik – m1;z20/m0,9;z75 (proizvod D).....	19
Slika 4.3 Zupčanik m0,8;z19/m0,6;z74 (proizvod E) .....	20
Slika 4.4 Zupčanik A-B (proizvod H).....	20
Slika 4.5 Matrica veza između proizvodne opreme i proizvoda sa danim vrijednostima svakog stroja .....	27
Slika 4.6 Matrica proizvodnih vremena po strojevima .....	28
Slika 4.7 Matrica godišnjeg opterećenja za minimalne količine.....	29
Slika 4.8 Matrica opterećenja za maksimalne količine .....	30
Slika 4.9 Matrica potrebnog broja strojeva za minimalne količine proizvoda.....	31
Slika 4.10 Matrica potrebnog broja strojeva za maksimalne količine proizvoda .....	32
Slika 4.11 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za minimalne količine proizvoda.....	32
Slika 4.12 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za maksimalne količine proizvoda.....	33
Slika 4.13 Matrica potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	38
Slika 4.14 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	39
Slika 4.15 Matrica potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	43

Slika 4.16 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	45
Slika 4.17 Matrica potrebnog broja strojeva za četveropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	50
Slika 4.18 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za četveropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	51
Slika 4.19 Matrica potrebnog broja strojeva za peteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	55
Slika 4.20 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za peteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	56
Slika 4.21 Matrica potrebnog broja strojeva za šesteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	60
Slika 4.22 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za šesteropredmetne grupe za minimalne količine proizvoda.....	60
Slika 4.23 Matrica potrebnog broja strojeva za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine proizvoda.....	63
Slika 4.24 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine proizvoda.....	64
Slika 4.25 Matrica potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda.....	68
Slika 4.26 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za dvopredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda.....	68
Slika 4.27 Matrica potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda.....	69
Slika 4.28 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za tropredmetne grupe za maksimalne količine proizvoda.....	69
Slika 4.29 Matrica potrebnog broja strojeva za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine proizvoda.....	70
Slika 4.30 Matrica stvarnog potrebnog broja strojeva za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine proizvoda.....	71
Slika 4.31 Matrica potrebnih vremena za posluživanje strojeva.....	72
Slika 5.1 Prvi scenarij rekonfiguracije .....	74
Slika 5.2 Drugi scenarij rekonfiguracije .....	75
Slika 6.1 Stvaranje proizvoda.....	83
Slika 6.2 Uređivanje proizvoda B .....	84

Slika 6.3 Dodavanje atributa proizvodu B .....	84
Slika 6.4 Podešavanje imena, vrste i vrijednosti atributa.....	85
Slika 6.5 Namještanje ulaza za proizvod B.....	85
Slika 6.6 Upisivanje podataka u tablicu .....	86
Slika 6.7 Tablica unutar prethodne tablice sa informacijama o operacijama za proizvod B .....	86
Slika 6.8 Programiranje kontrole .....	87
Slika 6.9 Kod za raspodjelu slanja proizvoda .....	87
Slika 6.10 Dodavanje strojeva, međuoperacijskih skladišta i skladišta gotovih proizvoda te konačan izgled simulacije .....	88
Slika 6.11 Upisivanje kapaciteta međuoperacijskog skladišta.....	89
Slika 6.12 Programiranje ulazne i izlazne kontrole stroja.....	89
Slika 6.13 Kod za ulaznu kontrolu .....	90
Slika 6.14 Kod za izlaznu kontrolu .....	90
Slika 6.15 Transportni sustav .....	91
Slika 6.16 Matrica transportnih puteva .....	91
Slika 6.17 Upisivanje vremena trajanja simulacije .....	92
Slika 6.18 Podaci o simulaciji za proizvodni sustav grupe BCDH u razdoblju minimalnih količina .....	92
Slika 6.19 Graf koji prikazuje podatke o strojevima M1, M2, M5, M8 i M15 u nekom trenutku simulacije .....	93
Slika 6.20 Korištenje alata BottleneckAnalizer .....	94
Slika 6.21 Pripremanje podataka za prikaz sankeyevog dijagrama .....	94
Slika 6.22 Postavljenje proizvoda u tablicu .....	95
Slika 6.23 Prikaz putanje kretanja proizvoda D.....	95
Slika 6.24 Rješenje za grupu BCDH u razdoblju maksimalnih količina .....	96
Slika 6.25 Rješenje za grupu G u razdoblju minimalnih količina.....	96
Slika 6.26 Rješenje za grupu G u razdoblju maksimalnih količina .....	96
Slika 6.27 Rješenje za grupu F u razdoblju minimalnih količina .....	96
Slika 6.28 Rješenje za grupu F u razdoblju maksimalnih količina .....	97

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1 Podaci obrade proizvoda A .....	21
Tablica 4.2 Podaci obrade proizvoda D .....	22
Tablica 4.3 Podaci obrade proizvoda E.....	23
Tablica 4.4 Podaci obrade proizvoda H .....	24
Tablica 4.5 Popis strojeva sa njihovim vrijednostima.....	25
Tablica 4.6 Potrebne minimalne i maksimalne dnevne količine proizvoda.....	25
Tablica 4.7 Potrebne minimalne i maksimalne godišnje količine proizvoda.....	26
Tablica 4.8 Stupnjevi iskoristivosti za jednopredmetne grupe proizvoda za minimalne količine	37
Tablica 4.9 Stupnjevi iskoristivosti za dvopredmetne grupe proizvoda za minimalne količine...	41
Tablica 4.10 Stupnjevi iskoristivosti za tropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine ..	47
Tablica 4.11 Stupnjevi iskoristivosti za četveropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine .....	53
Tablica 4.12 Stupnjevi iskoristivosti za peteropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine .....	58
Tablica 4.13 Stupnjevi iskoristivosti za šesteropredmetne grupe proizvoda za minimalne količine .....	62
Tablica 4.14 Stupnjevi iskoristivosti za sedmeropredmetnu resto grupu za minimalne količine .	66
Tablica 4.15 Stupnjevi iskoristivosti za jednopredmetne grupe proizvoda za maksimalne količine .....	67
Tablica 4.16 Stupnjevi iskoristivosti za dvopredmetne grupe za maksimalne količine do grupe AE .....	67
Tablica 4.17 Stupnjevi iskoristivosti za preostale dvopredmetne grupe za maksimalne količine	67
Tablica 4.18 Stupnjevi iskoristivosti za tropredmetne grupe za maksimalne količine .....	70
Tablica 4.19 Stupnjevi iskoristivosti za četveropredmetnu resto grupu za maksimalne količine.	71
Tablica 4.20 Potreban broj radnika za grupe u razdoblju minimalnih količina .....	73
Tablica 4.21 Potreban broj radnika za grupe u razdoblju maksimalnih količina.....	73
Tablica 5.1 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju minimalnih količina proizvoda .....	76
Tablica 5.2 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju maksimalnih količina proizvoda .....	76
Tablica 5.3 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju minimalne količine proizvoda.....	77
Tablica 5.4 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa potrebnim alokacijama i dodavanjima strojeva i ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju maksimalne količine proizvoda.....	78

Tablica 5.5 Stupnjevi iskoristivosti grupa u razdoblju minimalnih količina proizvoda .....	79
Tablica 5.6 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju minimalne količine proizvoda .....	80
Tablica 5.7 Potreban broj strojeva za svaku grupu sa potrebnim alokacijama i dodavanjima strojeva i ukupnom vrijednosti strojeva u razdoblju maksimalne količine proizvoda.....	81
Tablica 5.8 Usporedba dva scenarija.....	82



## SAŽETAK

U prvom dijelu ovog rada se govori o proizvodnim prostornim strukturama. Navedena je osnovna podjela proizvodnih struktura. Svaki tip proizvodne strukture je redom obrađen i potkrijepljen sa skicama i slikama. Nakon toga, u sljedećem poglavlju navedene su metode grupiranja proizvoda. Izvršena je podjela metoda sa objašnjenjem svake od njih te su navedene metode koje spadaju u svaku od grupacija. Detaljno je objašnjena procesna metoda koja se koristi za rješavanje praktičnog dijela ovog diplomskog rada. Praktični dio rada započinje tehnološkom analizom proizvoda u kojoj se opisuju proizvodi, objašnjava redosljed obrade svakog proizvoda te se daje popis operacija sa potrebnim vremenima za svaku od njih. Nakon tehnološke analize slijedi proračun kapaciteta za minimalne i maksimalne zadane količine proizvoda. Određuju se godišnje opterećenje strojeva i godišnji raspoloživi kapacitet strojeva na temelju kojih se dobiva broj potrebnih strojeva za proizvodnju određenog proizvoda. Nakon određivanja potrebnog broja strojeva prešlo se na grupiranje proizvoda za oba razdoblja količina proizvoda te su se preispitala dva scenarija grupiranja proizvoda u ovisnosti o troškovima rekonfiguracije i o stupnjevima iskoristivosti strojeva. Na samom kraju rada kada su se odabrale konačne grupe proizvoda izvršena je simulacija proizvodnog sustava te detaljno objašnjenje rada unutar softvera kojim je simulacija provedena.

### **Ključne riječi:**

Proizvodna struktura, proizvodni sustav, metoda grupiranja, procesna metoda, tehnološka analiza, operacija, stupanj iskoristivosti, matrica, stroj, proizvod, simulacija.

## SUMMARY

In the first part of this paper, production spatial structures are discussed. There are specified the basic division of production structures. Each type of production structure is covered in turn and supported with sketches and pictures. After that, the next chapter talks about product clustering methods. A division of methods was made with an explanation of each of them, and the methods that fall into each of the groups are listed. The process clustering method used to solve the practical part of this thesis is explained in detail. The practical part of the work begins with a technological analysis of the product, which describes the products, explains the order of processing of each product, and gives a list of operations with the required time for each of them. The technological analysis is followed by the capacity calculation for the minimum and maximum set product quantities. The annual load of the machines and the annual available capacity of the machines are determined, based on which the number of necessary machines for the production of a certain product is obtained. When the required number of machines was determined, it was moved on to product grouping for both periods of product quantities, and two product grouping scenarios were reviewed depending on the costs of reconfiguration and the degree of utilization of the machines. At the very end of the work, when the final groups of products were selected, a simulation of the production system was performed and a detailed explanation of the work within the software used for the simulation was performed.

### **Keywords:**

Production structure, production system, grouping method, process method, technological analysis, operation, degree of utilization, matrix, machine, product, simulation.

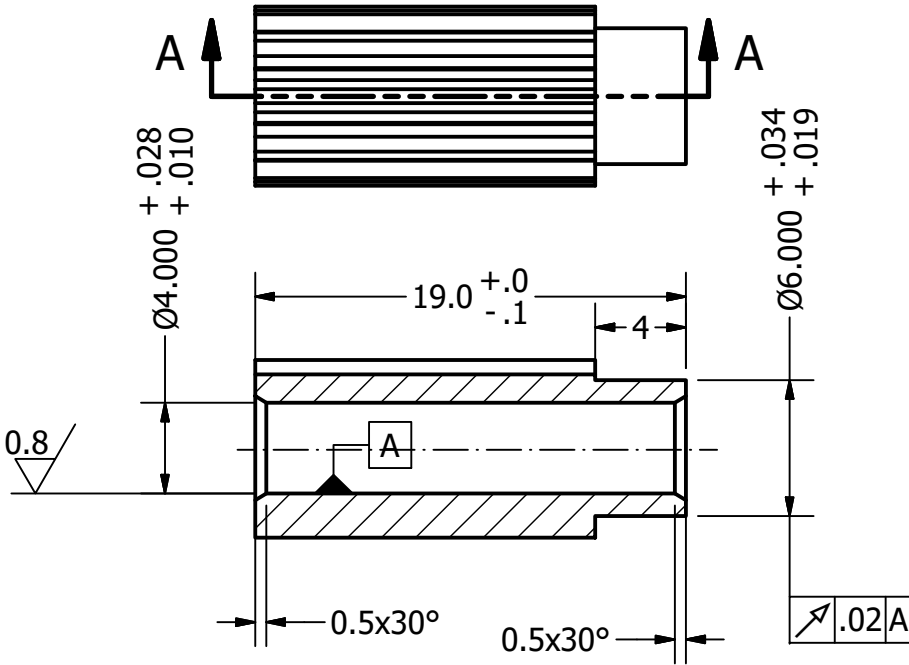
## **PRILOZI**

Prilog A - Nacrti

Prilog B – Prostorni rasporedi

## **Prilog A**

Ra 3.2



SECTION A-A  
SCALE 3 : 1

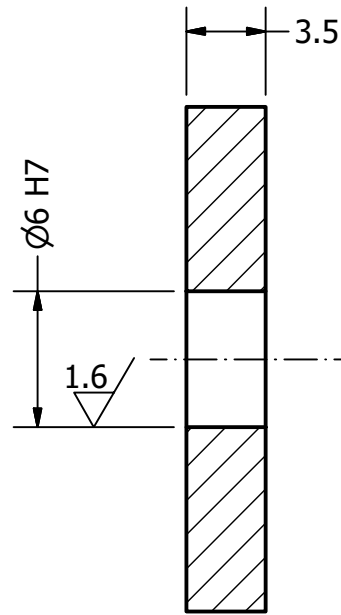
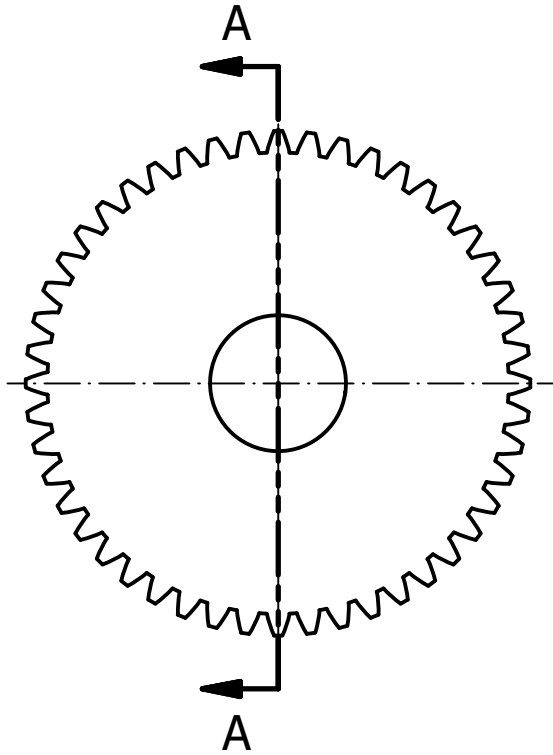


M 2:1

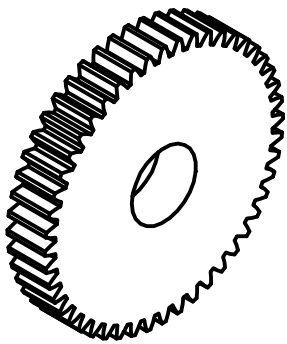
No. of teeth		z	13
Module	mm	m	0.5
Pitch dia.	mm	d0	6.5
Standard profile			DIN 867
Correction	mm	x*m	0.25

DRAWN	5.5.2023.		
CHECKED			
QA		TITLE	
MFG		Gear A	
APPROVED		SIZE	DWG NO
		A4	85365169
		SCALE	REV
		3 : 1	
		SHEET 1 OF 1	

$\sqrt{Ra\ 3.2}$



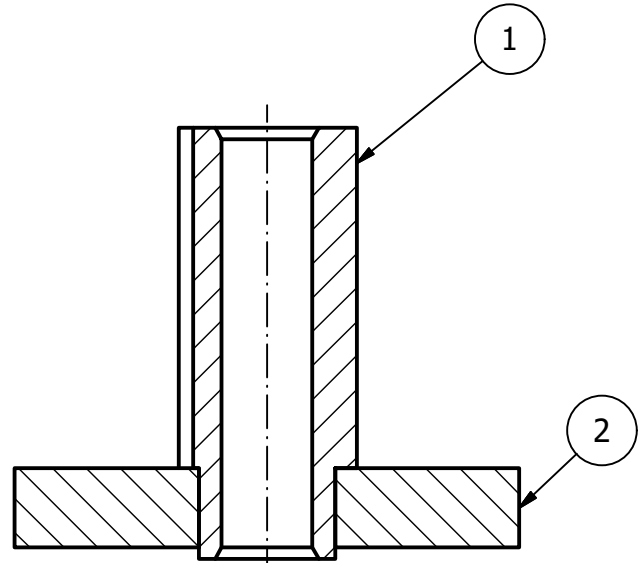
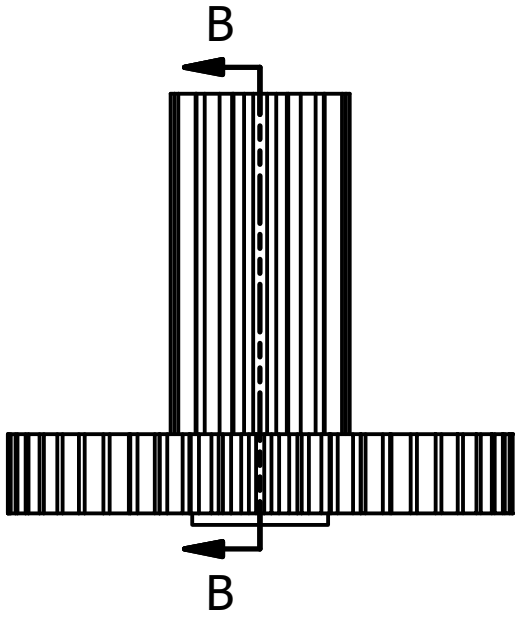
SECTION A-A  
SCALE 3 : 1



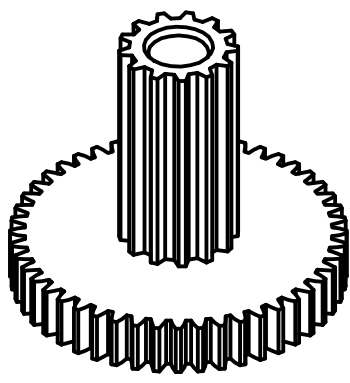
M 2:1

No. of teeth		z	48
Module	mm	m	0.45
Pitch dia.	mm	d0	21.6
Standard profile			DIN 867
Correction	mm	x*m	-0.135

DRAWN	5.5.2023.			
CHECKED				
QA		TITLE		
MFG		Gear A		
APPROVED		SIZE	DWG NO	REV
		A4	85365100	
		SCALE	3 : 1	SHEET 1 OF 1



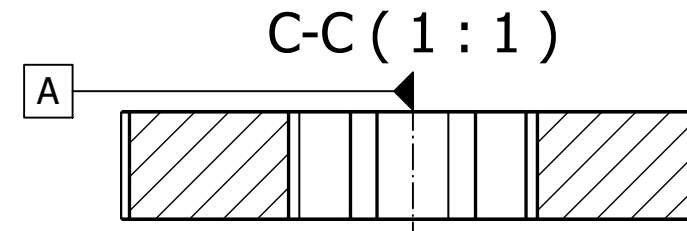
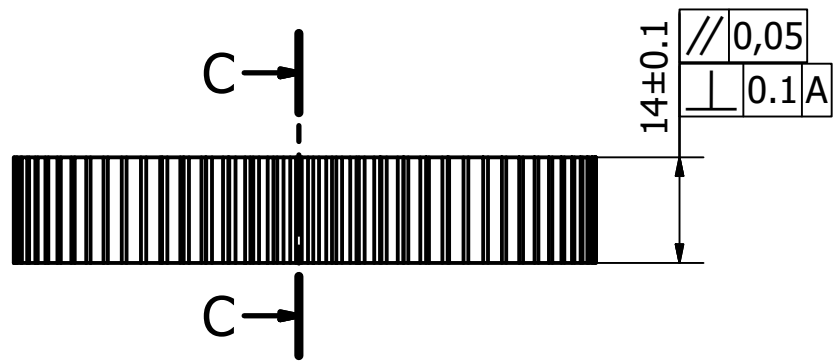
SECTION B-B  
SCALE 3 : 1



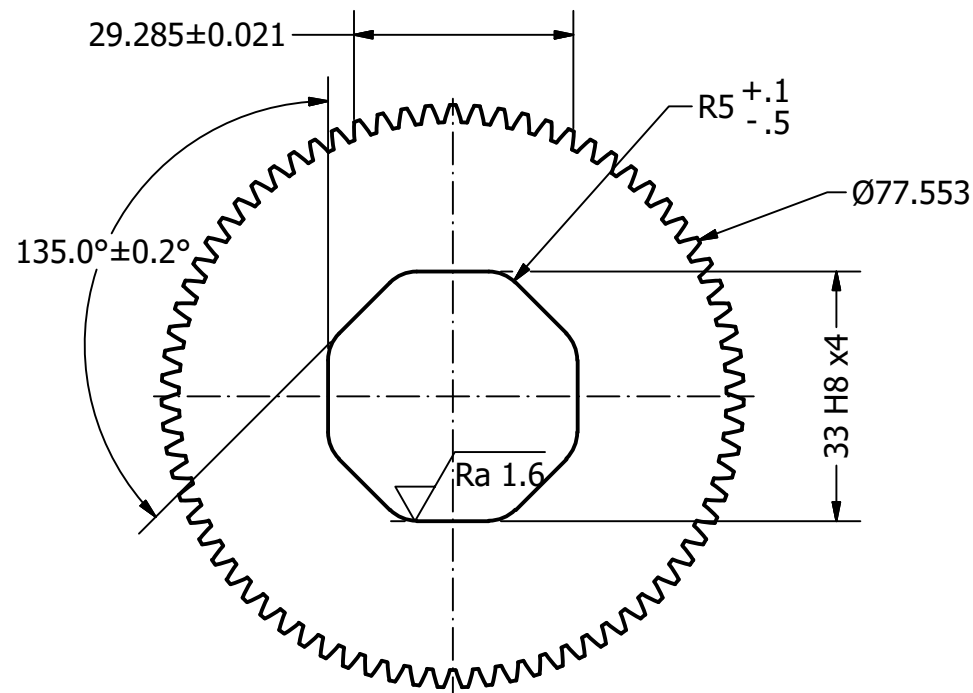
M 2:1

Poz.	Naziv	Kol.	Br. nacrtá
1	Gear A	1	85365169
2	Gear B	1	85365100

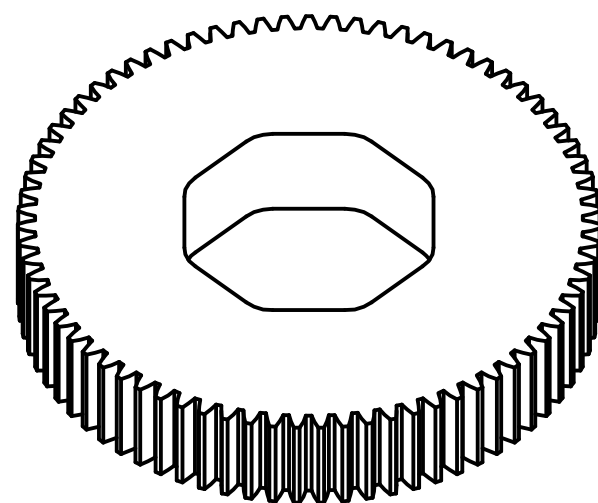
DRAWN	5.5.2023.	TITLE Gear couple A-B		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE A4	DWG NO 85365520	REV
		SCALE 3 : 1	SHEET 1 OF 1	



Ra 3.2

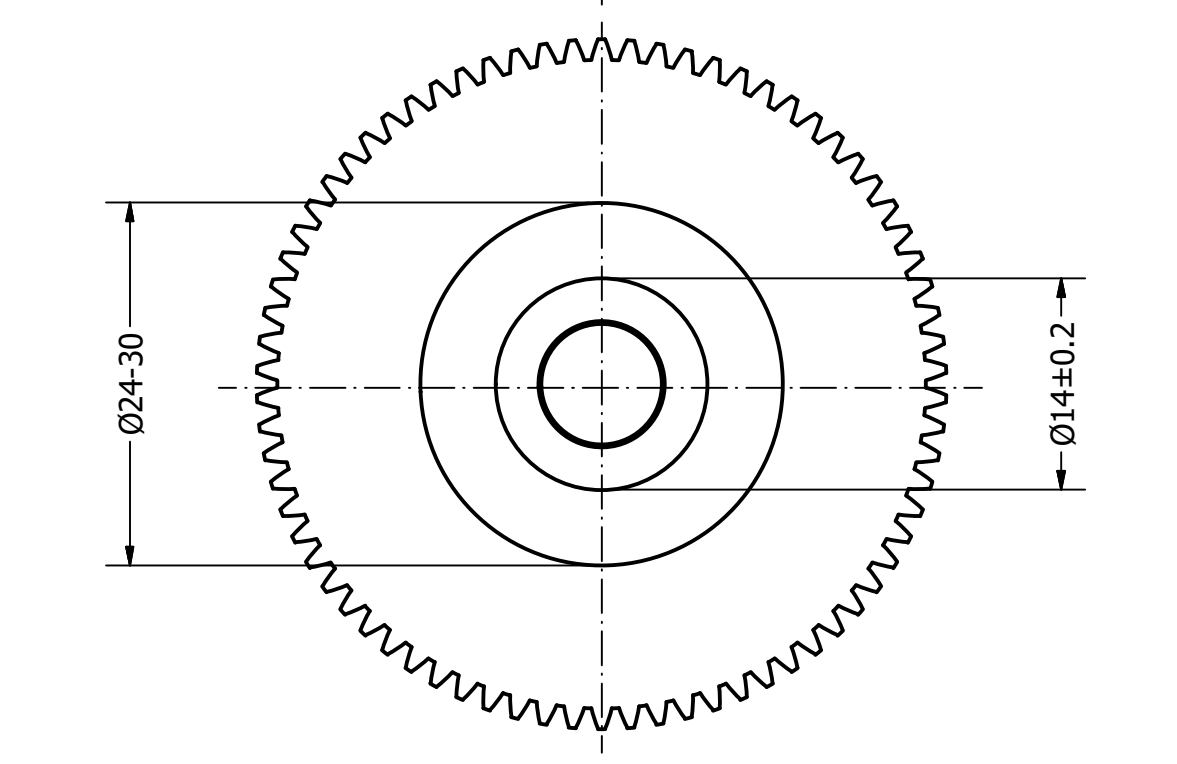
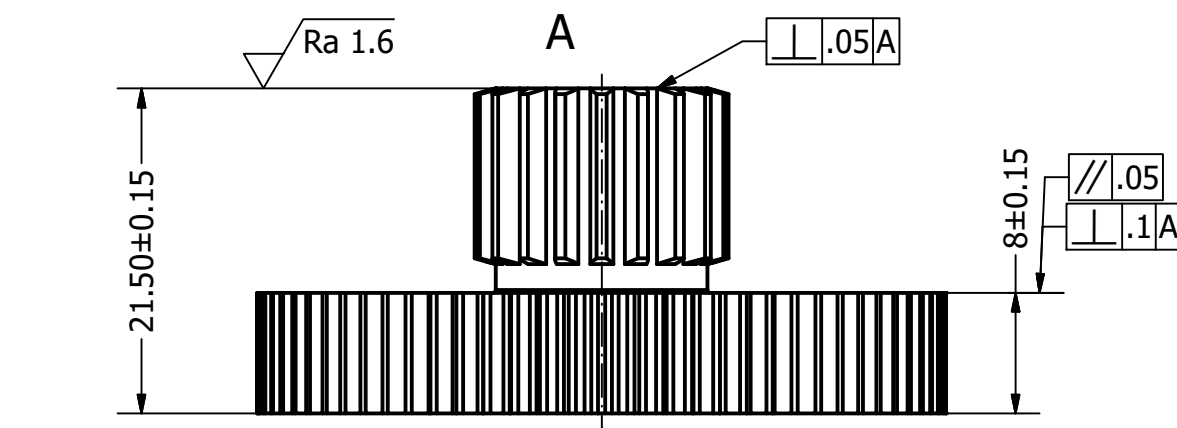
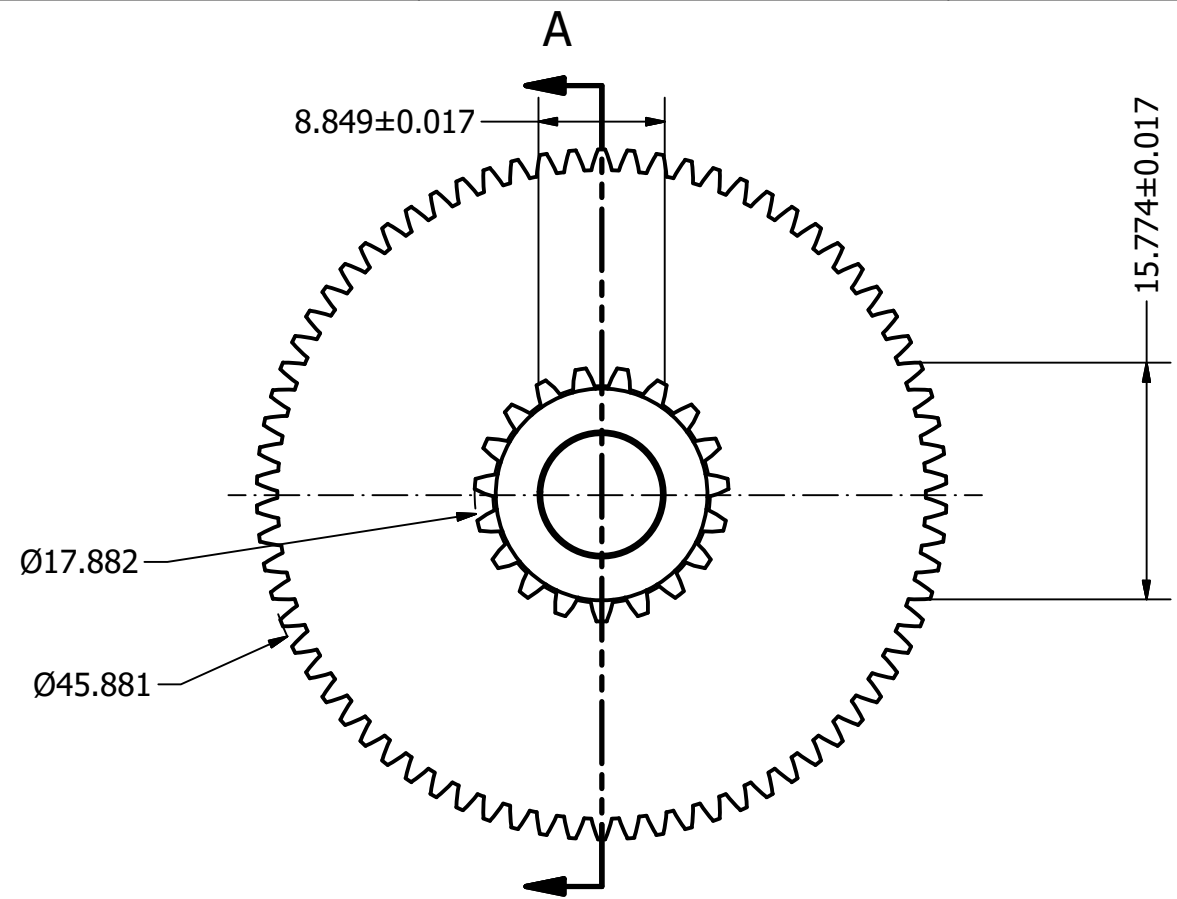


No. of teeth		z	75
Module	m	m	1
Pitch dia.	m	d0	75
Standard profile			DIN 58412-U2
Correction	m	x*m	0,277

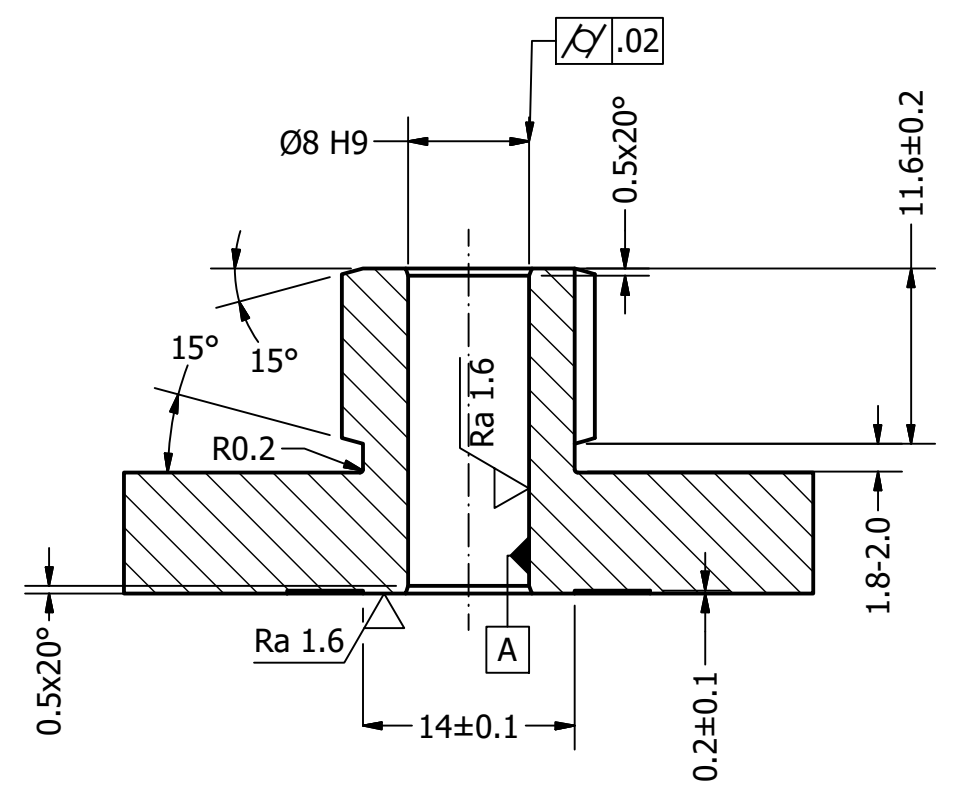


DRAWN	28.4.2023.	TITLE <b>Gear z75/m1,0</b>		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE <b>A3</b>	DWG NO <b>85388960</b>	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	

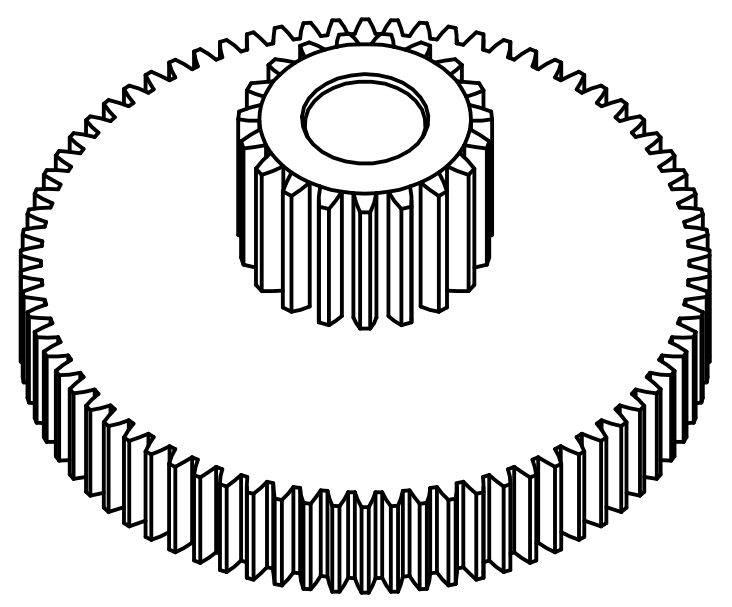




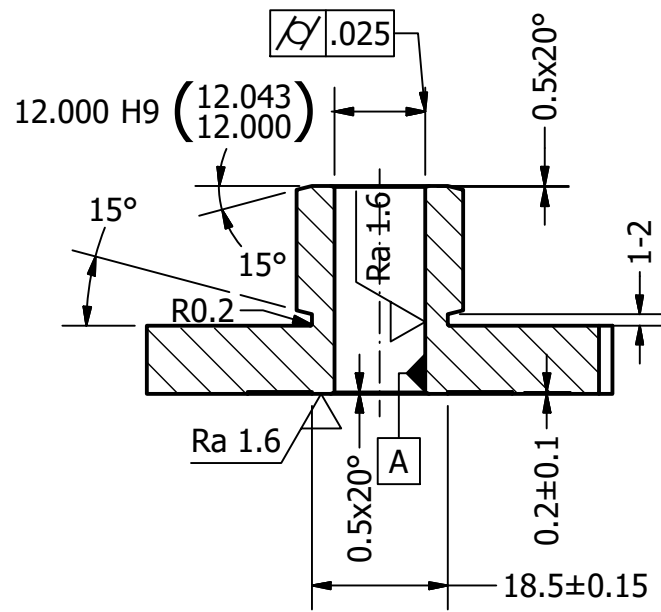
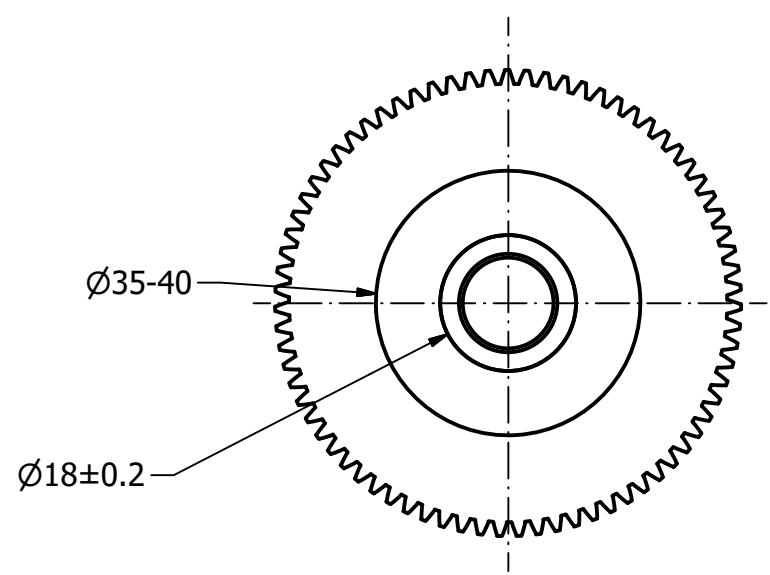
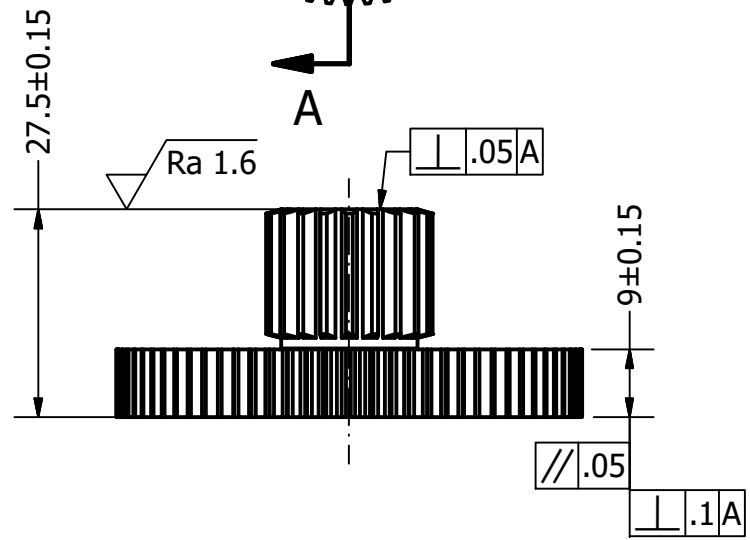
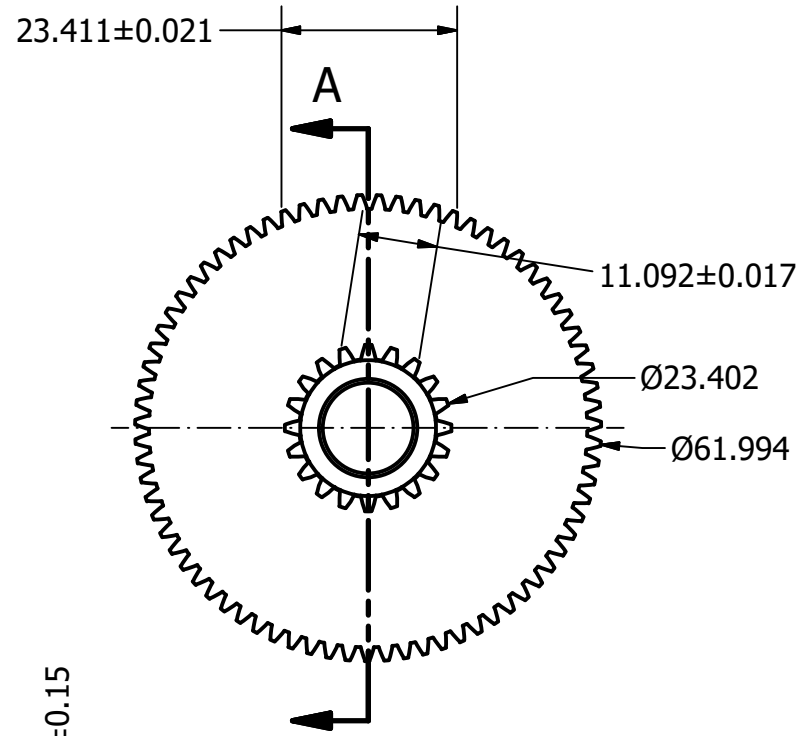
No. of teeth		z	19	74
Module	mm	m	0.8	0.6
Pitch dia.	mm	d0	15.2	44.4
Standard profile			DIN 58412-U2	DIN 58412-U2
Correction	mm	x*m	0.541	0.140



SECTION A-A  
SCALE 2 : 1



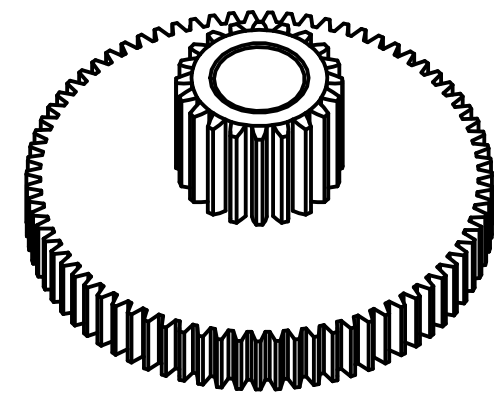
DRAWN	4.5.2023.	TITLE <b>Gear pair z19/m0,8-z74/m0,6</b>		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE <b>A3</b>	DWG NO <b>85388940</b>	REV
		SCALE 2 : 1	SHEET 1 OF 1	



SECTION A-A  
SCALE 1 : 1

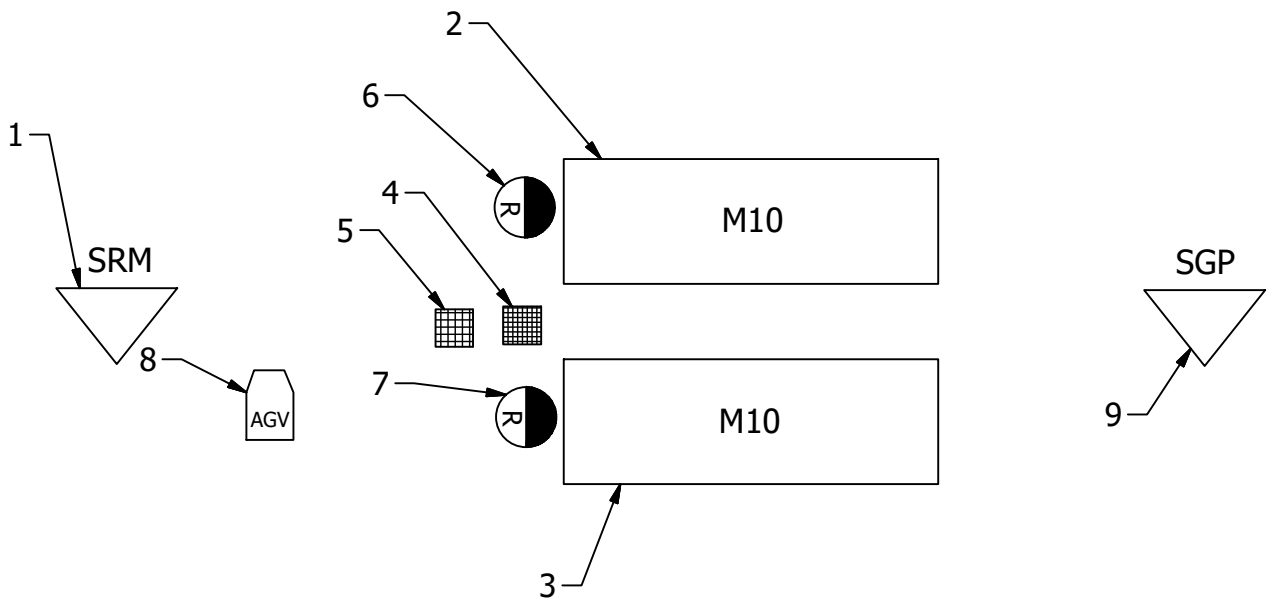
Ra 3.2

No. of teeth		z	20	75
Module	mm	m	1	0,8
Pitch dia.	mm	d0	20	60
Standard profile			DIN 58412-U2	DIN 58412-U2
Correction	mm	x* m	0,701	0,197



DRAWN	30.4.2023.	TITLE  Gear pair z20/m1,0-z75/m0,8		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE <b>A3</b>	DWG NO <b>85388950</b>	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	

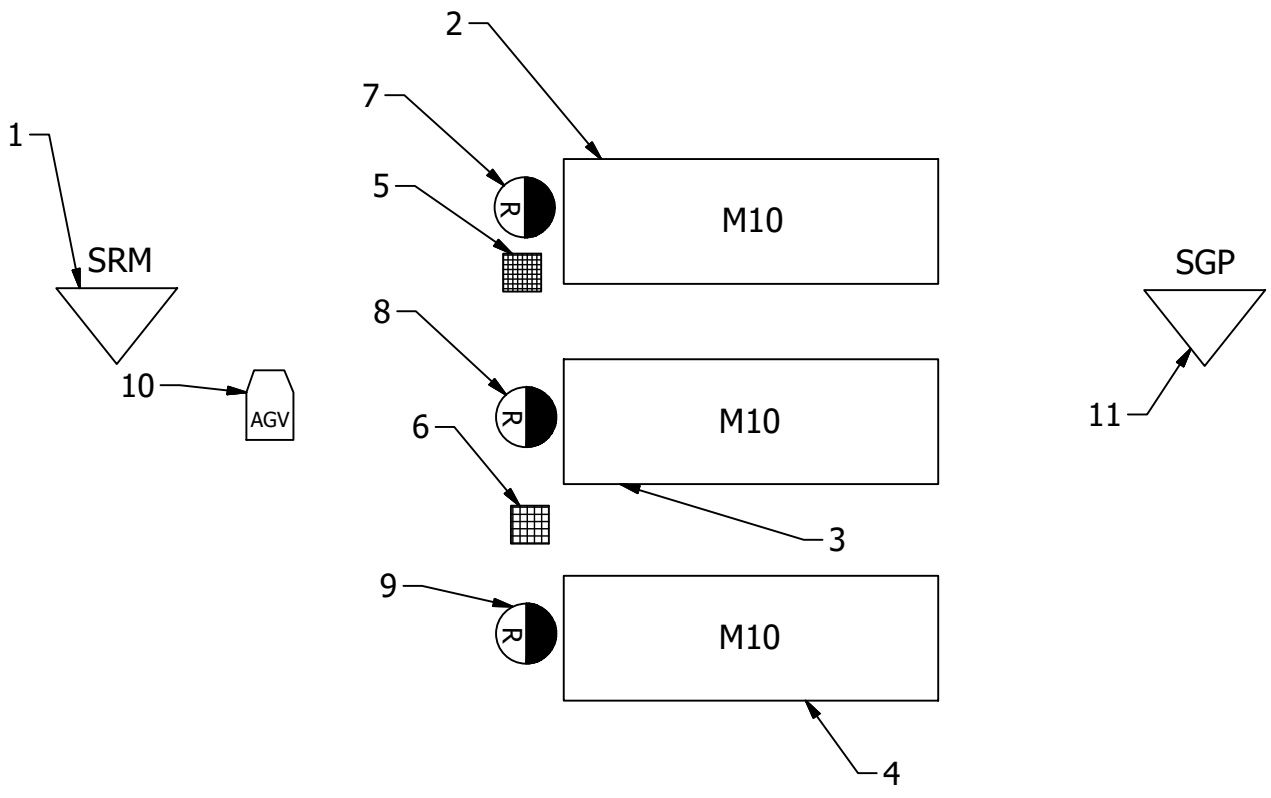
## **Prilog B**



Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2,3	Stroj M10	2	4950x1650
4,5	Međuoperacijsko skladište	2	500x500
6,7	Radno mjesto operatera	2	
8	AGV	1	
9	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir	6.7.2023.	Tehnički fakultet Rijeka		
CHECKED				
QA		TITLE		
MFG		Prostorni raspored za grupu Fmin		
APPROVED		SIZE A4	DWG NO	REV
		SCALE 1:100	SHEET 1 OF 1	

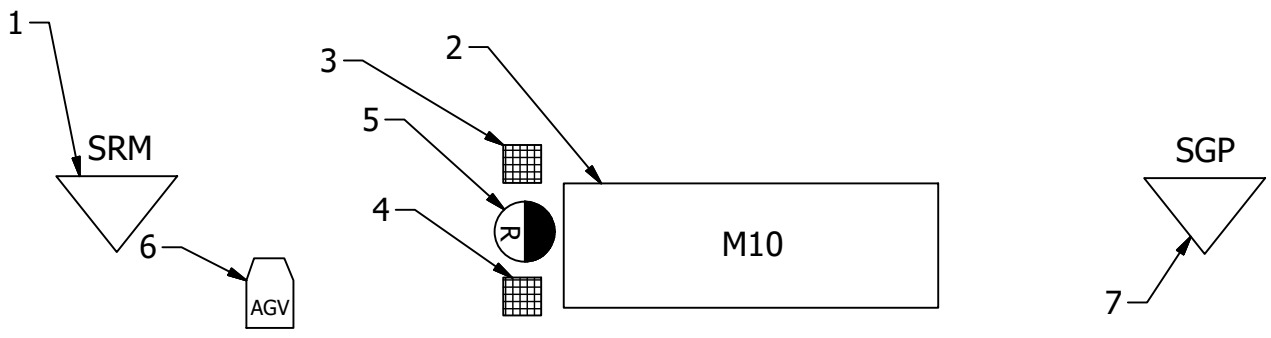




Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2,3,4	Stroj M10	3	4950x1650
5,6	Međuperacijsko skladište	2	500x500
7,8,9	Radno mjesto operatera	3	
10	AGV	1	
11	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir		6.7.2023.		Tehnički fakultet Rijeka				
CHECKED								
QA				TITLE				
MFG				Prostorni raspored za grupu Fmax				
APPROVED				SIZE A4		DWG NO		REV
				SCALE 1:100		SHEET 1 OF 1		

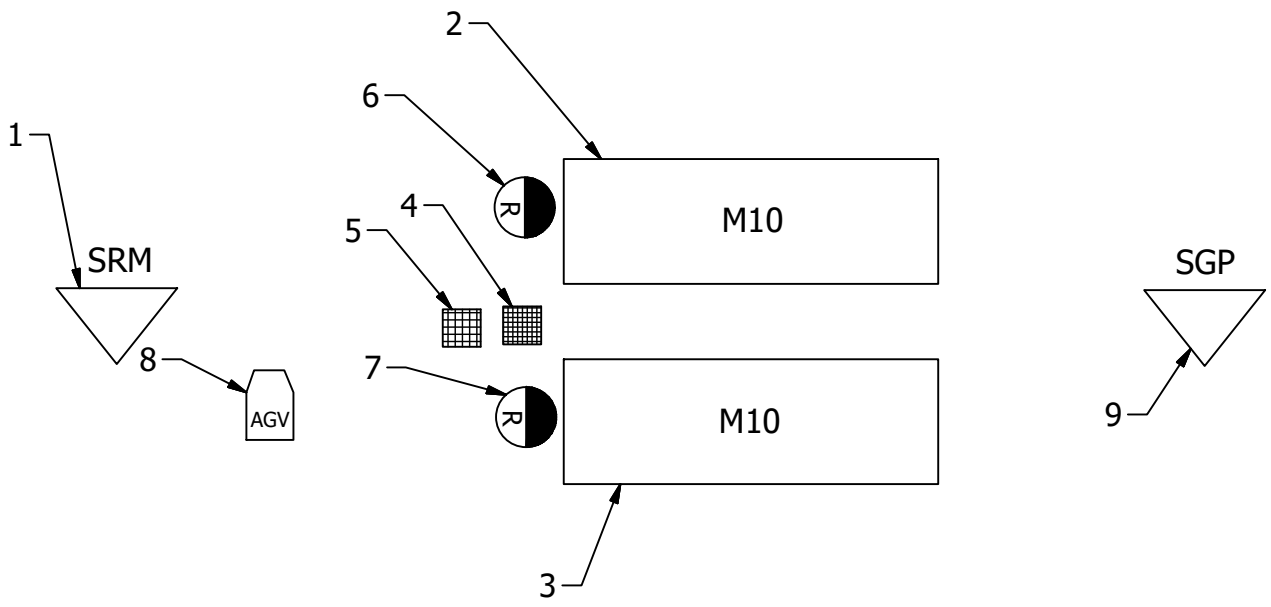




Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2	Stroj M10	1	4950x1650
3,4	Međuperacijsko skladište	2	500x500
5	Radno mjesto operatera	1	
6	AGV	1	
7	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir	6.7.2023.	Tehnički fakultet Rijeka		
CHECKED		TITLE		
QA		Prostorni raspored za grupu Gmin		
MFG		SIZE A4	DWG NO	REV
APPROVED		SCALE 1:100	SHEET 1 OF 1	

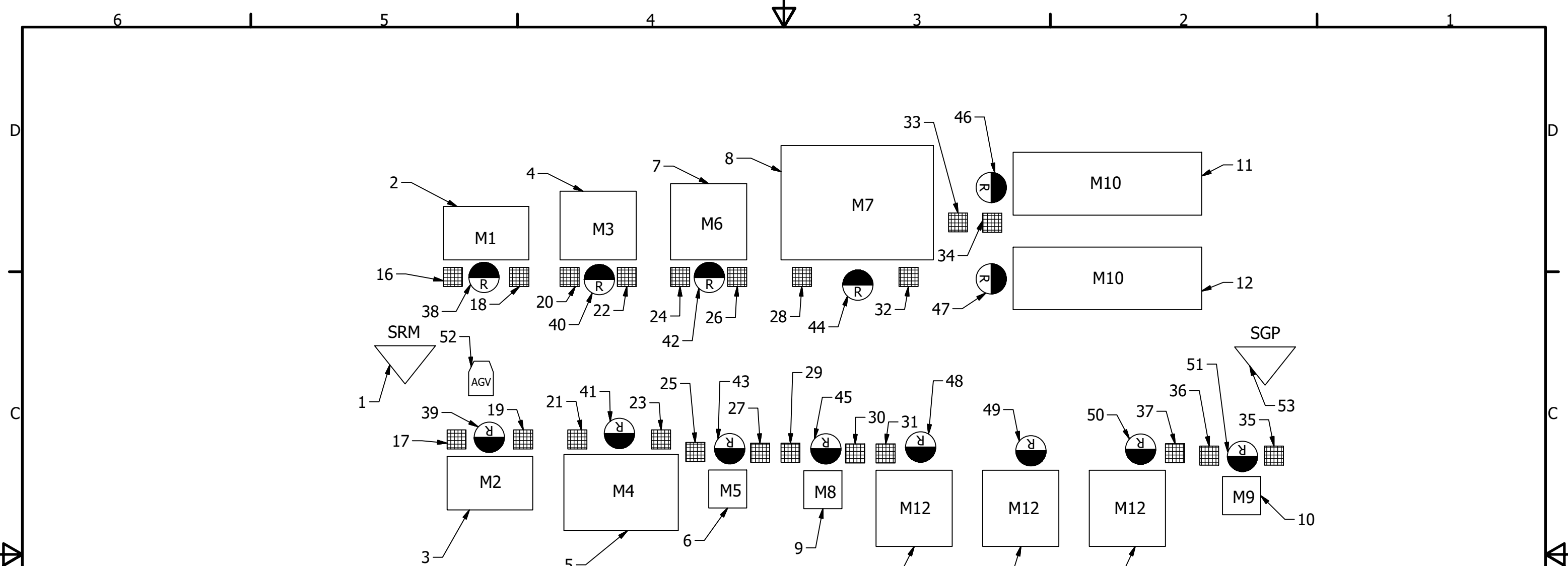




Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2,3	Stroj M10	2	4950x1650
4,5	Međuperacijsko skladište	2	500x500
6,7	Radno mjesto operatera	2	
8	AGV	1	
9	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir	6.7.2023.	Tehnički fakultet Rijeka		
CHECKED				
QA		TITLE		
MFG		Prostorni raspored za grupu Gmax		
APPROVED		SIZE A4	DWG NO	REV
		SCALE 1:100	SHEET 1 OF 1	

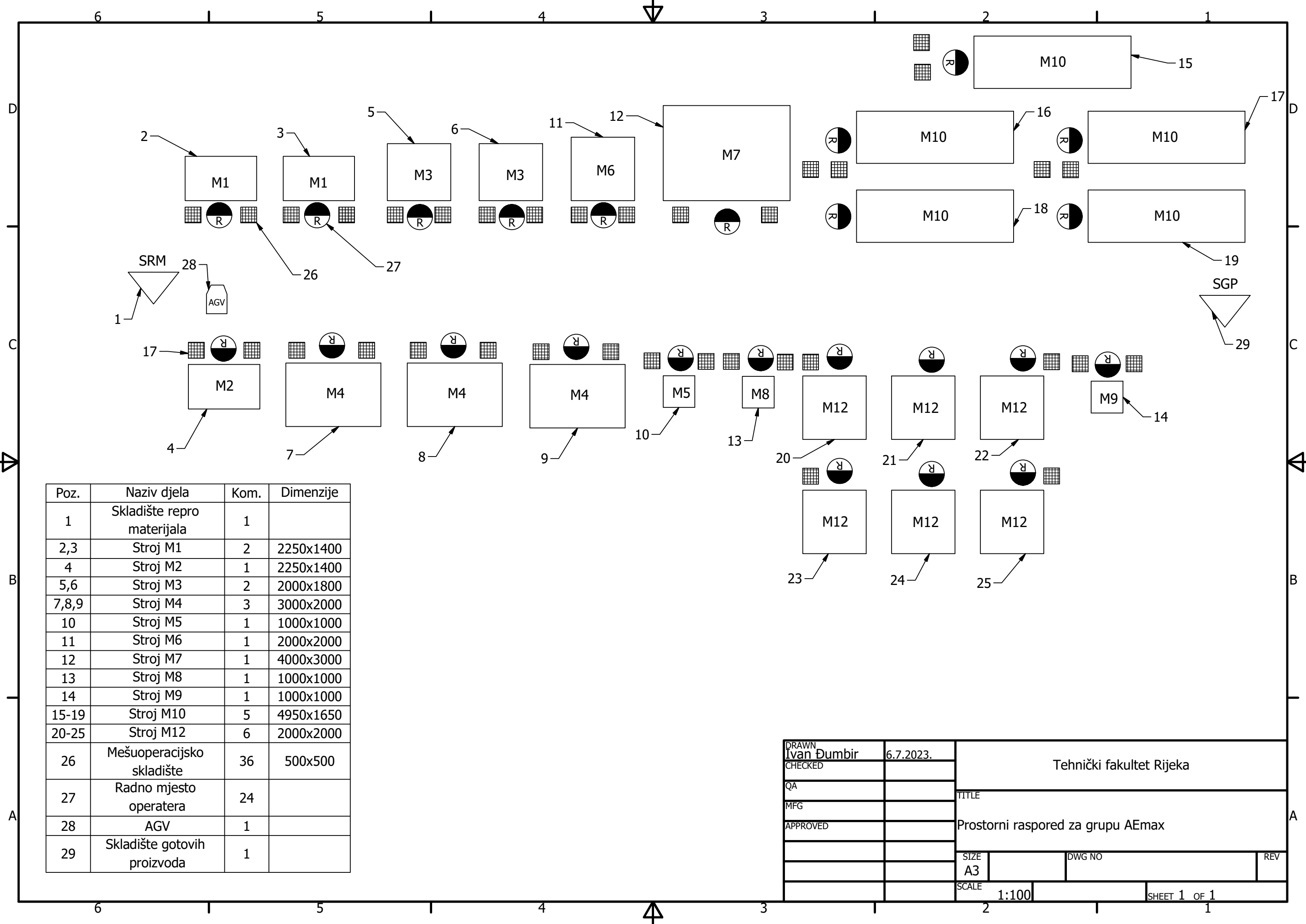




Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2	Stroj M1	1	2250x1400
3	Stroj M2	1	2250x1400
4	Stroj M3	1	2000x1800
5	Stroj M4	1	3000x2000
6	Stroj M5	1	1000x1000
7	Stroj M6	1	2000x2000
8	Stroj M7	1	4000x3000
9	Stroj M8	1	1000x1000
10	Stroj M9	1	1000x1000
11,12	Stroj M10	2	4950x1650
13,14,15	Stroj M12	3	2000x2000
16-37	Mešuooperacijsko skladište	22	500x500
38-51	Radno mjesto operatera	14	
52	AGV	1	
53	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir	6.7.2023.	Tehnički fakultet Rijeka		
CHECKED				
QA		TITLE Prostorni raspored za grupu AEmin		
MFG				
APPROVED		SIZE A3	DWG NO	REV
		SCALE 1:100	SHEET 1 OF 1	



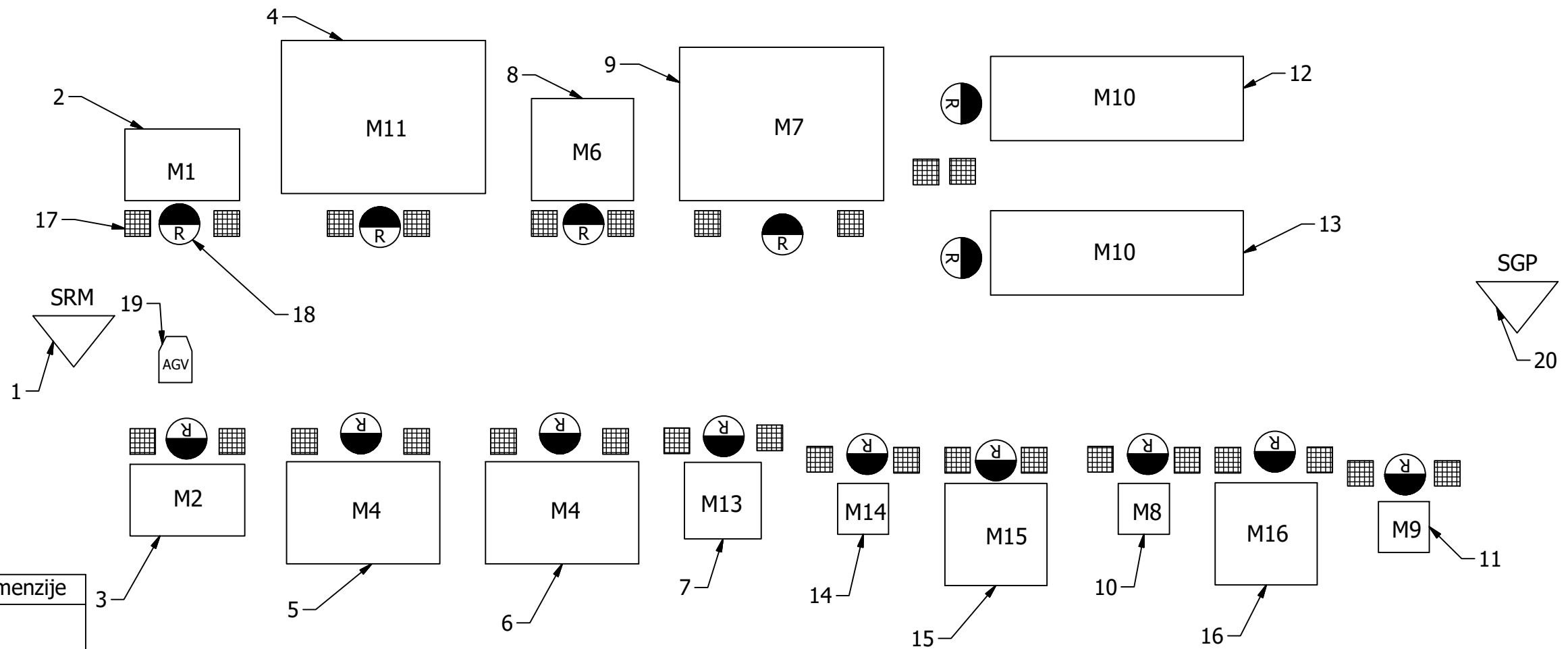


Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2,3	Stroj M1	2	2250x1400
4	Stroj M2	1	2250x1400
5,6	Stroj M3	2	2000x1800
7,8,9	Stroj M4	3	3000x2000
10	Stroj M5	1	1000x1000
11	Stroj M6	1	2000x2000
12	Stroj M7	1	4000x3000
13	Stroj M8	1	1000x1000
14	Stroj M9	1	1000x1000
15-19	Stroj M10	5	4950x1650
20-25	Stroj M12	6	2000x2000
26	Mešuooperacijsko skladište	36	500x500
27	Radno mjesto operatera	24	
28	AGV	1	
29	Skladište gotovih proizvoda	1	

DRAWN Ivan Đumbir	6.7.2023.	Tehnički fakultet Rijeka	
CHECKED		TITLE	
QA		Prostorni raspored za grupu AEmax	
MFG		SIZE A3	DWG NO
APPROVED		SCALE 1:100	REV
		SHEET 1 OF 1	



Poz.	Naziv djela	Kom.	Dimenzije
1	Skladište repro materijala	1	
2	Stroj M1	1	2250x1400
3	Stroj M2	1	2250x1400
4	Stroj M11	1	3000x3000
5,6	Stroj M4	2	3000x2000
7	Stroj M13	1	1500x1500
8	Stroj M6	1	2000x2000
9	Stroj M7	1	4000x3000
10	Stroj M8	1	1000x1000
11	Stroj M9	1	1000x1000
12,13	Stroj M10	2	4950x1650
14	Stroj M14	1	1000x1000
15	Stroj M15	1	2000x2000
16	Stroj M16	1	2000x2000
17	Mešuperijsko skladište	28	500x500
18	Radno mjesto operatera	15	
19	AGV	1	
20	Skladište gotovih proizvoda	1	



DRAWN Ivan Đumbir		6.7.2023.		Tehnički fakultet Rijeka	
CHECKED					
QA				TITLE	
MFG				Prostorni raspored za grupu BCDHmax	
APPROVED					
		SIZE A3	DWG NO		REV
		SCALE 1:100	SHEET 1 OF 1		