

UNIVERZA V LJUBLJANI  
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**DOLOČITEV PARAMETROV PLANIRANJA PROIZVODNJE IN  
URAVNAVANJA ZALOG V IZBRANEM PROIZVODNEM  
ODDELKU PODJETJA DANFOSS TRATA**

Ljubljana, februar 2026

MATEJ FRANETIČ


## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Matej Franetič, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom Določitev parametrov planiranja proizvodnje in uravnavanja zalog v izbranem proizvodnem oddelku podjetja Danfoss Trata, pripravljenega v sodelovanju z mentorjem izred. prof. dr. Markom Jakšičem

### IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.
11. da sem preveril verodostojnost informacij, ki izhajajo iz zapisov na podlagi uporabe orodij umetne inteligence.

V Ljubljani, dne 13.02.2026

Podpis študenta: 

## POVZETEK

V magistrskem delu obravnavamo analizo velikosti proizvodnih serij proizvodov na primeru izbranih delovnih mest v podjetju Danfoss Trata. Razumevanje problematike določanja optimalne velikosti proizvodne serije pomembno prispeva k učinkovitemu izvajanju proizvodnih procesov in pravočasnemu izpolnjevanju naročil strank, s čimer se izboljšuje poslovna uspešnost podjetja. Osrednji cilj magistrskega dela je teoretični izračun optimalnih proizvodnih serij za izbrane proizvode ter analiza vpliva sprememb velikosti proizvodne serije na delovanje proizvodnih naprav in skladišča. Glavno raziskovalno vprašanje se nanaša na določitev optimalnih proizvodnih serij na dveh obravnavanih delovnih mestih ter na oceno izboljšanja stroškovne učinkovitosti proizvodnje v primerjavi z obstoječim stanjem. Poseben poudarek je namenjen tudi fleksibilnosti proizvodnje in vplivu velikosti proizvodne serije nanjo. Izhodišče praktičnega dela predstavlja analiza obstoječega stanja procesov določanja proizvodnih serij, ki ji sledi zbiranje in pregled relevantnih podatkov za izvedbo analize. V okviru analize so med seboj primerjani različni pristopi določanja proizvodnih serij, in sicer: pristop z vidika minimalne proizvodne serije, pristop optimalne velikosti proizvodne serije, pristop z upoštevanjem fleksibilnosti ter pristop soproizvodnje na delovnem mestu. Rezultati analize kažejo, da tako pristop optimalne velikosti proizvodne serije kot pristop z upoštevanjem fleksibilnosti izboljšujeta stroškovne parametre pri petih od vseh obravnavanih proizvodov. Na podlagi primerjave pristopov so bila oblikovana tudi priporočila za izbiro najprimernejšega pristopa za podjetje. Magistrsko delo tako prispeva k boljšemu razumevanju in izboljšanju postopkov določanja velikosti proizvodnih serij.

**KLJUČNE BESEDE:** proizvodni plan, proizvodna serija, zaloga, proizvodna fleksibilnost, Danfoss Trata, metoda EPQ

## CILJI TRAJNOSTNEGA RAZVOJA



## ABSTRACT

In this master's thesis, an analysis of production batch sizes is conducted using the case of selected workstations in the company Danfoss Trata. Understanding the issue of determining the optimal production batch size significantly contributes to the efficient execution of production processes and the timely fulfillment of customer orders, thereby improving the company's business performance. The main objective of the master's thesis is the theoretical calculation of optimal production batch sizes for selected products and the analysis of the impact of changes in batch size on the operation of production equipment and the warehouse.

The main research question focuses on the determination of optimal production batch sizes at two selected workstations and on the evaluation of improvements in production cost efficiency compared to the current state. Special emphasis is also placed on production flexibility and the impact of production batch size on it. The starting point of the practical part is an analysis of the current state of production batch size determination processes, followed by the collection and review of relevant data required for the analysis. Within the analysis, different approaches to determining production batch sizes are compared, namely: the minimum production batch size approach, the optimal production batch size approach, the flexibility-based approach, and the co-production approach at the workstation. The results of the analysis show that both the optimal production batch size approach and the flexibility-based approach improve cost parameters for five of all the products considered. Based on the comparison of the approaches, recommendations were also formulated for selecting the most appropriate approach for the company. The master's thesis thus contributes to a better understanding and improvement of production batch size determination procedures.

**KEY WORDS:** production plan, production batch, inventory, production flexibility, Danfoss Trata, metoda EPQ

#### **SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS**



# KAZALO

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>PLANIRANJA POTREB PO MATERIALIH IN VELIKOST PROIZVODNE SERIJE</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Planiranje potreb po materialih</b> .....                                 | <b>4</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Dejavniki določanja velikosti proizvodne serije</b> .....                 | <b>9</b>  |
| 2.2.1      | Strošek odpada.....  | 9         |
| 2.2.2      | Strošek skladiščenja.....  | 9         |
| 2.2.3      | Strošek priprave proizvodnje.....  | 10        |
| 2.2.4      | Fleksibilnost proizvodnega procesa .....                                     | 12        |
| <b>2.3</b> | <b>Modeli in izračun velikosti proizvodne serije</b> .....                   | <b>13</b> |
| 2.3.1      | Optimalna velikost proizvodne serije .....                                   | 14        |
| 2.3.2      | Minimalna velikost proizvodne serije .....                                   | 17        |
| 2.3.3      | Velikost proizvodne serije z upoštevanjem soproizvodnje .....                | 20        |
| 2.3.4      | Velikost proizvodne serije z dvema kriterijema .....                         | 22        |
| <b>3</b>   | <b>OPIS IN ANALIZA SISTEMA PLANIRANJA PROIZVODNJE</b> .....                  | <b>25</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Splošen opis podjetja</b> .....   | <b>25</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Opis oskrbovalne verige in proizvodnih procesov</b> .....                 | <b>27</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Opis planiranja proizvodnje</b> .....                                     | <b>29</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Opis izbranih delovnih mest in vzorca proizvodov</b> .....                | <b>32</b> |
| 3.4.1      | Delovno mesto – frezanje.....  | 33        |
| 3.4.2      | Delovno mesto – struženje .....  | 34        |
| <b>3.5</b> | <b>Analiza trenutnega stanja (velikosti proizvodnih serij)</b> .....         | <b>34</b> |
| <b>4</b>   | <b>DOLOČITEV OPTIMALNIH PARAMETROV PLANIRANJA IN PREDLOG IZBOLJŠAV</b> ..... | <b>37</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Optimalna velikost proizvodne serije</b> .....                            | <b>37</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Določanje minimalne velikosti proizvodne serije</b> .....                 | <b>44</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Velikost proizvodne serije z upoštevanjem soproizvodnje</b> .....         | <b>48</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Velikost proizvodne serije z dvema kriterijema</b> .....                  | <b>52</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Uravnavanje zalog</b> .....   | <b>55</b> |
| <b>4.6</b> | <b>Diskusija rezultatov</b> .....  | <b>59</b> |
| <b>5</b>   | <b>SKLEP</b> .....   | <b>61</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SEZNAM KLJUČNE LITERATURE .....</b> | <b>63</b> |
| <b>LITERATURA IN VIRI .....</b>        | <b>64</b> |
| <b>PRILOGE .....</b>                   | <b>67</b> |

## **KAZALO TABEL**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Določitev vrednosti kriterijev glede na karakteristike podjetja .....         | 23 |
| Tabela 2: Velikosti serij in odjem proizvodov: obstoječe stanje .....                   | 35 |
| Tabela 3: Obrazložitev in vir vhodnih podatkov iz tabele 4 .....                        | 39 |
| Tabela 4: Vhodni podatki za preračun velikosti proizvodnih serij .....                  | 40 |
| Tabela 5: Letni plan rabe proizvodov za omenjeni delovni mesti .....                    | 40 |
| Tabela 6: Rezultati izračuna velikosti optimalne proizvodne serije .....                | 41 |
| Tabela 7: Rezultati izračuna MPQ za proizvode.....                                      | 45 |
| Tabela 8: Izračun odstopanja za izračun minimalne velikosti proizvodne serije.....      | 47 |
| Tabela 9: Primerjava parametrov med konceptom EPQ in konceptom soproizvodnje .....      | 50 |
| Tabela 10: Korekcija števila proizvodov na liniji Nakamura .....                        | 51 |
| Tabela 11: Izračun zmanjšanja proizvodne količine (optimizacija z dvema kriterijema)... | 54 |
| Tabela 12: Primerjava parametrov za računski model EPQ in model z dvema kriterijema     | 54 |
| Tabela 13: Velikost proizvodne serije glede na teoretični koncept .....                 | 59 |
| Tabela 14: Skupni stroški glede na velikost proizvodne serije .....                     | 59 |

## **KAZALO SLIK**

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Problem definiranja velikosti proizvodne serije .....                          | 14 |
| Slika 2: Skupni stroški v odvisnosti od velikosti proizvodne serije.....                | 16 |
| Slika 3: Vpliv manjšanja velikosti proizvodne serije na skupne stroške .....            | 18 |
| Slika 4: Izris krivulje skupnih stroškov glede na velikost proizvodne serije .....      | 24 |
| Slika 5: Velikosti proizvodnih serij za obravnavane proizvode.....                      | 36 |
| Slika 6: Analiza enkratnih odjemov proizvodov iz skladišča .....                        | 36 |
| Slika 7: Primerjava med številom proizvodnih serij in številom odjema iz skladišča..... | 37 |
| Slika 8: Skupni stroški na delovnem mestu freziranja.....                               | 42 |
| Slika 9: Skupni stroški na delovnem mestu stružnice .....                               | 43 |
| Slika 10: Določanje vrednosti MPQ za proizvod 2.....                                    | 46 |
| Slika 11: Primerjava skupnih stroškov modela EPQ in modela soproizvodnje.....           | 50 |
| Slika 12: Prikaz preteklega obdobja zaloge in proizvodne serije za proizvod 6.....      | 56 |
| Slika 13: Gibanje zaloge proizvoda 6 v prihodnjem planskem obdobju.....                 | 58 |

## KAZALO PRILOG

|   |    |
|---|----|
| Priloga 1: Določitev MPQ za proizvod 1 .....  | 1  |
| Priloga 2: Določitev MPQ za proizvod 3 .....  | 2  |
| Priloga 3: Določitev MPQ za proizvod 4 .....  | 3  |
| Priloga 4: Določitev MPQ za proizvod 5 .....  | 4  |
| Priloga 5: Določitev MPQ za proizvod 6 .....  | 5  |
| Priloga 6: Določitev MPQ za proizvod 7 .....  | 6  |
| Priloga 7: Določitev MPQ za proizvod 8 .....  | 7  |
| Priloga 8: Proizvodna serija z upoštevanjem sproizvodnje na delovnem mestu frezanja ... | 8  |
| Priloga 9: Proizvodna serija z upoštevanjem sproizvodnje na delovnem mestu struženja    | 10 |

## SEZNAM KRATIC

angl. – angleško

**CNC** – (angl. Computer Numerical Control.); Računalniško numerično krmiljenje

**EBITA** – (angl. earnings before interest and taxes); Dobiček pred obrestmi, davki in amortizacijo

**ELSP** – (angl. Economic Lot Scheduling Problem); Model za definiranje proizvodne serije z upoštevanjem sproizvodnje proizvodov

**EOQ** – (angl. Economic Order Quantity); Optimalna velikost naročila

**EPQ** – (angl. Economic Production Quantity); Optimalna velikost proizvodne serije

**ERP** – (angl. Enterprise Resource Planning); Planiranje virov v podjetju

**MOQ** – (angl. Minimum Order Quantity); Minimalna velikost naročila

**MPS** – (angl. Master Production Schedule); Glavni proizvodni plan

**MPQ** – (angl. Minimum Production Quantity); Minimalna velikost proizvodne serije

**MRP** – (angl. Material Requirements Planning); Planiranje potreb po materialih

**S&OP** – (angl. Sales and Operations Planning); Plan prodaje in proizvodnje



# 1 UVOD

Planiranje proizvodnje vpliva na precej dejavnikov znotraj poslovanja podjetja, kot je na primer zagotavljanje potrebnih zmogljivosti z ustrezno razporeditvijo delavcev. Neposredno je prav tako povezano z managementom zalog in je ključno za doseganje učinkovite proizvodnje z opredelitvijo optimalnih terminov izvedbe in velikosti proizvodnih serij. Usklajevanje vseh omenjenih dejavnikov je težko izvedljivo, saj se v času planiranja in izvajanja dogajajo spremembe, kot so okvare strojev, nedobavljen material ali polizdelki, nova nepredvidena naročila in druge motnje. Slednje lahko vplivajo na optimalno delovanje proizvodnega procesa, zato je vidik planiranja proizvodnih sistemov izjemno pomemben, saj lahko z obravnavo vseh dejavnikov in ustreznimi odločitvami bolj uspešno pokrивamo povpraševanje kupcev in bolj učinkovito izrabljamo vire ter s tem izboljšamo poslovanje podjetja. Razlika med izvedbo in planom proizvodnje ponudi veliko podatkov, ki jih lahko analiziramo in preko tega prepoznamo probleme ter ugotovimo vzroke za odmike od plana proizvodnje (Thomas in McClain, 1993, str. 1-2).

Del planiranja proizvodnje je določanje velikosti proizvodnih serij izdelkov na posameznih proizvodnih napravah. Proizvodna serija oziroma ustrezno lansiran proizvodni nalog je izjemno pomemben, saj se navezuje na delovanje naprave in je neposredno povezan z vsemi vrstami zalog v procesu. Proizvodna podjetja velik poudarek namenjajo stroškovnemu vidiku poslovanja. V tem primeru lahko z optimalno proizvodno serijo znižamo skupne stroške – predvsem stroške vezane zaloge in stroške priprave naprave. V primeru prevelikih proizvodnih serij podjetje povečuje kapital, vezan v zalogi končnih izdelkov oziroma proizvodov. Manjše proizvodne serije so mogoče le v primerih, ko imamo nizke stroške z menjavo orodja oziroma pripravo delovnega mesta na novo proizvodno serijo. Za potrebe opredelitve kratkoročnega operativnega plana proizvodnje in učinkovite izvedbe proizvodnih nalogov na dnevni ravni je ključno določiti parametre sistema planiranja v okviru taktičnega planiranja proizvodnje. Ključni parametri, ki vplivajo na taktično planiranje proizvodnje so velikost proizvodnih serij, varnostne zaloge in skupne zaloge. Na izračun slednjih vplivamo z vhodnimi podatki, kot so stroški skladiščenja proizvodov, stroški priprave naprav, kapaciteta in zmogljivost delovnega mesta, število operativnih ur proizvodnje ter podatki o napovedi povpraševanja. Praviloma določitev slednjih v bolj kompleksnih proizvodnih okoljih ni enostavna in temelji predvsem na natančni opredelitvi stroškov menjave orodij in stroškov skladiščenja. Vhodni podatki imajo velik vpliv na izračun velikosti proizvodne serije, ob tem pa je potrebno upoštevati tudi vpliv velikosti proizvodne serije na razpoložljivo proizvodno zmogljivost in težje opredeljive proizvodne dejavnike, kot sta odzivnost in prilagodljivost proizvodnega plana (Kavčič, 2000).

Čeprav vsako podjetje ne glede na svoj poslovni model drži zaloge, je pomembno upoštevati, da je pojem zaloge širok in lahko zajema različne oblike, ne zgolj končnih izdelkov. Poznamo vhodni material, polizdelke, delno dokončane proizvode, polproizvode oziroma proizvode v transportu in končne proizvode. Podjetje vedno stremi k minimiziranju zalog

proizvodov in posledično stroškov skladiščenja ter ob tem zagotavljanju zanesljive izvedbe plana proizvodnje in izpolnitve vseh naročil. Uspešno uravnavanje zalog podjetju omogoča optimalno delovanje z nižjimi stroški in izboljšanje poslovanja podjetja (Waters, 2017, str. 195-197). Podjetja ne uspejo vedno proizvajati izdelkov v optimalnih proizvodnih serijah zaradi notranjih ali zunanjih vplivov na delovanje proizvodnje. V teh primerih se lahko podjetja osredotočijo na določitev minimalne količine proizvodnje oziroma količine naročila (angl. Minimum Order Quantity, v nadaljevanju MOQ), pri kateri lahko podjetje še vedno posluje s sprejemljivimi stroški proizvodnje. V praksi to pomeni, da se naročila ali proizvodne serije pod vrednostjo MOQ ne izvedejo. Ravno tako na določitev vrednosti MOQ vplivajo stroški skladiščenja in stroški priprave naprave (Richrer in Okhrin, 2011, str. 1-2).

V magistrskem delu obravnavamo planiranje proizvodnje na primeru izbranih proizvodnih naprav v podjetju Danfoss Trata d.o.o. (v nadaljevanju podjetje). Podjetje izdeluje visoko kakovostne izdelke za potrebe stanovanjskega in daljinskega ogrevanja, visoko na prioritetni listi pa so prav tako regulacijski izdelki. Na izbranih dveh proizvodnih napravah mehanske obdelave se na prvi izvaja proces struženja, na drugi pa proces frezanja in vrtanja. Poudariti velja, da je pri obdelavi večine proizvodov prvi proces struženja, v nadaljevanju pa gre proizvod še skozi postopek frezanja oziroma vrtanja. Vsi proizvodi, ki se končajo na napravah, se transportirajo v skladišče na lokaciji podjetja.

Proces planiranja proizvodnje se začne pri določitvi napovedi povpraševanja za obdobje enega leta. Slednja je definirana na tedenski ravni in nam napove število potrebnih končnih izdelkov, ki jih bo potrebno zagotoviti s proizvodnjo. Letni plan proizvodnje končnega izdelka se razdrobi glede na kosovnico sestave končnega izdelka. Oddelek interne oskrbovalne verige pridobi količine proizvodov, ki jih je potrebno proizvesti, nato glede na 18 naprav v oddelku mehanske obdelave izvede plan proizvodnje in določi velikosti proizvodnih serij. Podjetje ima glede na veliko proizvodno kapaciteto možnost prilagajanja slednje trenutnemu povpraševanju. Oddelek interne oskrbovalne verige se srečuje z izjemno nizko natančnostjo napovedi povpraševanja, kar otežuje proces planiranja proizvodnje. Vsakodnevno mora podjetje glede na spreminjajoče se stanje varnostne zaloge vseh proizvodov prilagajati proizvodne plane za naprave v oddelku mehanske obdelave. Podjetje veliko pozornosti posveča optimizaciji proizvodnih procesov, a se kljub intenzivnim prizadevanjem za odpravljanje notranjih in zunanjih motenj še vedno sooča še s preostalimi izzivi. Največji izziv je usklajevanje številnih dejavnikov, ki onemogočajo optimalno delovanje proizvodnih in logističnih procesov. Ob določanju proizvodnih serij je potrebno upoštevati že omenjeno napoved povpraševanja, skupne zaloge, varnostne zaloge, razpored zaposlenih, okvare oziroma remonte naprav, kapaciteto naprav ter proizvodne in dobavne roke. Omenjenih je le nekaj ključnih vplivov, ki jih mora podjetje tekom planiranja proizvodnega procesa upoštevati. Glede na specifično proizvodnjo podjetja in hitro spreminjajočo se napoved povpraševanja, smo določanje proizvodnih serij smatrali kot odličen primer, kako lahko izboljšave privedejo do stroškovnih prihrankov. Na osnovi teoretičnih izračunov bo lahko podjetje obstoječe stanje primerjalo s predlaganim

optimalnim stanjem v magistrskem delu, določenim na podlagi izračunanih vrednosti parametrov sistema planiranja.

V magistrskem delu smo analizirali problematiko, s katero se sooča velika večina proizvodnih podjetij. Prispevek magistrskega dela je primerjalna analiza z več pristopi izračuna velikosti proizvodnih serij, pri čemer delo ne predpostavlja enotnega optimalnega modela za vse proizvode. Razumevanje izziva določanja optimalne velikosti proizvodne serije pomembno prispeva k učinkoviti izvedbi proizvodnih procesov in izpolnjevanju naročil strank, s tem pa k izboljššanemu poslovanju podjetja. V magistrskem delu smo izračunali optimalno velikost proizvodne serije na realnem primeru ter določili ostale ključne proizvodne parametre. Izračun smo primerjali s podatki sistema planiranja, ki ga podjetje uporablja v praksi in skušali prepoznati pomanjkljivosti v trenutnem sistemu planiranja ter predlagati izboljšave. Podjetje bo tako dobilo vpogled v teoretične izračune optimalnih proizvodnih serij za obe obravnavani napravi, s pomočjo katerih bodo lahko definirali izboljšave v planiranju proizvodnje. Pri branju magistrskega dela se bodo bralci spoznali z določanjem proizvodnih serij in upoštevanjem vseh vhodnih podatkov proizvodnje, kot so stroškovni vidiki, zmogljivost proizvodnje in zaloge proizvodov. Poznavanje in razumevanje problema določanja velikosti proizvodne serije namreč ključno prispeva k zniževanju stroškov proizvodnih procesov in optimalnemu delovanju proizvodnje.

Cilji magistrskega dela so neposredno povezani z analizo proizvodnih serij v podjetju. Glavni cilj je izračun optimalnih proizvodnih serij na podlagi različnih teoretičnih modelov. S pridobljenimi podatki smo določili ustrezne velikosti proizvodnih serij za izbrane izdelke na posameznih napravah. Prizadevamo si namreč prikazati, kako vhodni podatki vplivajo na teoretične izračune optimalnih proizvodnih serij in doseganje optimalnih pogojev za izpolnjevanje povpraševanja. Podjetje namerava pridobiti analizo, ki primerja trenutno velikost proizvodne serije s teoretičnimi izračuni na podlagi enakih vstopnih podatkov. Na podlagi teh izračunov smo skozi celotno analizo določili nove velikosti proizvodnih serij za izbrane izdelke. Osrednji cilj magistrskega dela je teoretično izračunati optimalne proizvodne serije za izbrane izdelke ter prikazati vpliv spremembe velikosti proizvodne serije na delovanje proizvodne naprave in skladišča.

Ključno raziskovalno vprašanje, oblikovano na podlagi analize obstoječega stanja podatkov, je naslednje: **Kakšne so optimalne proizvodne serije na obravnavanih dveh proizvodnih napravah in posledično ocena izboljšanja stroškovne učinkovitosti proizvodnje v primerjavi s trenutnim stanjem?**

Za bolj natančno opredelitev raziskovalnega problema in poglobljeno analizo sistema proizvodnje ter sistema zalog smo glavno raziskovalno vprašanje razčlenili na podvprašanja, in sicer:

- Kateri so ključni dejavniki, ki vplivajo na velikost proizvodne serije in določajo učinkovitost delovanja proizvodne naprave?

- Kakšni so pristopi k določanju optimalne proizvodne serije in minimalne velikosti proizvodne serije glede na značilnosti proizvodnje v izbranem proizvodnem oddelku?
- Kakšen je vpliv spremembe velikosti proizvodne serije na zalogo proizvoda in na izkoriščenost zmogljivosti proizvodne naprave?

Magistrsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in praktičnega dela. V teoretičnem delu smo za raziskovanje uporabili deskriptivno metodo (zbiranje literature/informacij in njen pregled ter analizo). Teoretični del sloni na deskriptivni metodi, kjer smo skozi strokovno literaturo in različne članke proučevali bistvena področja obravnavane tematike. V začetnem delu se v sklopu predstavitve planiranja proizvodnje osredotočamo na taktično planiranje proizvodnje in bolj podrobno definiramo pojem zaloge, ki je ključen parameter določevanja proizvodnih serij. V nadaljevanju smo opredelili vhodne podatke izračuna proizvodnih serij, kot so stroškovne postavke, kapaciteta in zmogljivost. Zaključek teoretičnega dela temelji na predstavitvi izračunov proizvodnih serij, ki so ključni za analizo v praktičnem delu.

Praktični del se prične s predstavitvijo podjetja in analizo obstoječega stanja procesov določanja velikosti proizvodnih serij. V prvem koraku praktičnega dela je bilo potrebno urediti in pregledati vse podatke za nadaljnjo obravnavo v analizi. Sledi obrazložitev procesov na obravnavanih proizvodnih napravah. Izračuni in analize potekajo za dve napravi v oddelku mehanske obdelave, ki se razlikujeta v procesu obdelave. Podatke za analizo proizvodnih serij smo pridobili iz njihovega sistema za planiranje virov v podjetju (angl. Enterprise Resource Planning, v nadaljevanju ERP). Slednji so izbrani za zasnovo analize obstoječega stanja in zasnovo trenutnih oziroma prihodnjih parametrov proizvodnje. Vhodni podatki so definirali stroškovne postavke, podatke o pretekli proizvodnji, časovne parametre obratovanja proizvodnje in napovedi povpraševanja. Z vidika stroškovnih postavk sta ključna strošek skladiščenja in strošek priprave naprave. S pomočjo analize smo odgovorili na raziskovalna vprašanja magistrskega dela. Analiza temelji na izračunih velikosti proizvodnih serij in omogoča temeljit vpogled v pristop k določanju proizvodne serije. Zaradi obsežnosti planiranja proizvodnje v podjetju smo morali opredeliti določene predpostavke, ki vključujejo izpustitev obravnave varnostne zaloge in dobavnih rokov. Magistrsko delo smo zaključili s sklepom. Slednji poudarja ugotovitve za podjetje, pridobljene tekom obravnave analize izračunov določanja proizvodnih serij.

## **2 PLANIRANJA POTREB PO MATERIALIH IN VELIKOST PROIZVODNE SERIJE**

### **2.1 Planiranje potreb po materialih**

Planiranje proizvodnje je dejavnost usklajevanja povpraševanja, razpoložljivih kapacitet, zalog in drugih virov s ciljem zagotoviti pravočasno ter stroškovno učinkovito izdelavo končnih izdelkov. Vključuje več časovnih ravni: od strateškega planiranja (več let vnaprej)

preko srednjeročnega planiranja (meseci do leto), ki določa okvirne količine družin končnih izdelkov in zaporedje proizvodnje, do operativnega planiranja (dni do tedni), kjer se plan pretvori v konkretne delovne naloge proizvodov in terminske razporede (Kavčič, 2000, str. 230). V okviru magistrskega dela je osrednji poudarek na srednjeročnem planiranju, pri čemer se s planom prodaje in proizvodnje (angl. Sales and operations planning, v nadaljevanju S&OP) poveže strateške cilje podjetja z operativnimi vidiki glavnega proizvodnega plana ter vključuje vse postopke, potrebne za oblikovanje ocenjenega proizvodnega plana na taktični ravni (Chase, 2016, str. 50). Podatki iz S&OP služijo kot osnova za glavni proizvodni plan (angl. Master Production Schedule, v nadaljevanju MPS), ki nato omogoča tedensko planiranje končnih proizvodov v sklopu kratkoročnega planiranja proizvodnje. Ti podatki se uporabljajo kot ključni vhodni podatki za pripravo potreb po materialih, ki se izvajajo preko sistema za planiranje materialnih potreb (angl. Material Requirements Planning, v nadaljevanju MRP). Na ta način se zagotavlja usklajenost med taktičnim planiranjem prodaje in operativnim planiranjem proizvodnje (Kumar in Suresh, 2009).

Na planiranje proizvodnje vpliva tip proizvodnega procesa, saj določa način določanja količin, zaporedja operacij in izbiro ustreznih metod planiranja. Proizvodne procese ločimo glede na obseg proizvodnje in raznolikost proizvodnega programa, kar vpliva na zasnovo proizvodnega procesa in pristop k planiranju procesa. Ločimo tri skupine proizvodnih procesov: posamična, serijska in množična proizvodnja. V serijski proizvodnji procesi vključujejo standardne proizvode po zalogi, medtem ko posamični procesi obravnavajo proizvode po meri. Do serijske proizvodnje pride vedno, ko povpraševanje ni zadostno za množično proizvodnjo (Gelders in Van Wassenhove, 1981). Serijska proizvodnja je najbolj pogosta oblika proizvodnje. Uporabljajo jo podjetja s širšim naborom proizvodov, katerih količine niso dovolj velike za množično proizvodnjo, zato se enaki proizvodi proizvajajo občasno. V serijski proizvodnji se izdelava enakih proizvodov ponavlja, kar imenujemo proizvodne serije. Na enakih napravah se tako proizvajajo različni proizvodi. Pri serijski proizvodnji je ključna fleksibilnost proizvodnega procesa in prilagoditev proizvodnih procesov glede na spremembe nabora proizvodov (Rusjan, 2009, str. 25-27). V primeru serijske proizvodnje slednje pomeni bolj strukturiran in zahtevnejši pristop planiranja kot pri posamični proizvodnji. Pri takšnem tipu proizvodnje proces planiranja omogoča planiranje ponovljivih postopkov ter optimizacijo stroškov in časa za določeno proizvodno serijo. Planiranje serijske proizvodnje se osredotoča na proizvodni proces za predvideno število proizvodov v seriji, usklajevanje zalog, delovne sile in strojev za določeno obdobje (Kumar in Suresh, 2009, str. 4-7).

Pomemben plan v srednjeročnem planiranju je S&OP, ki združuje vse ključne operativne oddelke podjetja (npr. prodajo, marketing, planiranje, proizvodnjo in finance) z namenom, da se opredeli najbolj učinkovit način upravljanja virov za uspešno zadovoljevanje povpraševanja strank ter določitev realne in izvedljive splošne usmeritve podjetja (Chase, 2016, str. 50-51). Pri proizvodnem podjetju je srednjeročni plan največkrat časovno

razporejen po mesecih in se osredotoča na stopnje proizvodnje ter zagotavljanje zalog. Temelji na napovedi povpraševanja in omejitvah kapacitet ter predstavlja plan o obratovanju proizvodnje, številu zaposlenih in ravni zalog. Srednjeročno planiranje proizvodnje določa kapacitete virov, ki jih bo podjetje potrebovalo za zadovoljevanje povpraševanja v obdobju naslednjih 6 do 18 mesecev. Gre za postopek določanja ravni proizvodnje (enot) za skupine izdelkov v tem obdobju, običajno na mesečni ravni, pri čemer plan prikazuje splošno raven proizvodnje, ki podpira poslovni plan podjetja (Shridhara in Aswathappa, 2010, str. 253-255). V sklopu S&OP se podjetja ukvarjajo z zalogami oziroma stroški zalog, ravno storitev za stranke ter planiranjem proizvodnje, kar pomeni, da je velik del procesa S&OP osredotočen na planiranje proizvodnje namesto na stranke (Chase, 2016, str. 50-51). Srednjeročno planiranje se običajno izvaja po tipih ali družinah proizvodov. Ko so določena razmerja in količine za posamezen tip, je mogoča razporeditev na družine končnih izdelkov oziroma na posamezne končne izdelke ter proizvode (Kavčič, 2000, str. 233).

Podatki o potrebah po tipih oziroma družinah izdelkov, oblikovanih v planu S&OP, se prenesejo v MPS, ki na podlagi napovedi povpraševanja in dejanskih naročil določi podroben proizvodni plan za posamezne končne izdelke. Slednji opredeljuje vse proizvodne in dobavne dejavnosti, ki predstavljajo osnovo za kratkoročno planiranje kapacitet ter določa zagotavljanje materialnih sredstev (Slack, Brandon-Jones, in Johnston, 2013, str. 456). Najbolj pogosto se končni izdelki razdelijo na materiale in komponente v sklopu sistema MRP, medtem ko avtor Chapman (2006, str. 73-74) opredeljuje, da lahko že v sklopu MPS podjetje za določitev planskega obdobja pregleda kosovnico končnega izdelka, ki prikazuje vse sestavne dele in kako se sestavljajo v končni izdelek. Kosovnica hkrati vsebuje količine posameznih komponent, dobavne roke za nabavo ali izdelavo delov, kar omogoča izračun skupnega časa, potrebnega za izdelavo končnega izdelka.

Srednjeročno planiranje vključuje taktično odločanje v procesu S&OP o proizvodnih serijah, ki nato podpirajo operativno izvedbo preko že opisanega MPS in v končni fazi operativnega planiranja MRP (Kumar in Suresh, 2009, str. 202-220). MRP je proces planiranja, ki se uporablja v proizvodnem okolju za planiranje potreb po surovinah in komponentah za proizvodnjo proizvodov. Planiranje potreb po materialih omogoča združevanje zahtev za postopke, ki so skupni mnogim sklopom v planu proizvodnje in zagotavlja razporejanje v planskem obdobju (Enns, 1999, str. 15). Podatki za potrebe razčlenitve po materialih in proizvodih se pridobijo iz kosovnice, v kateri so opredeljeni sestavni elementi končnega izdelka (Chapman, 2006, str. 77). MRP tako zagotavlja podrobno kratkoročno planiranje potreb po materialih, medtem ko optimizacija velikosti proizvodnih serij za posamezne sestavne dele poteka na srednjeročni ravni, kjer se upoštevajo kapacitete, zaloge in stroški proizvodnje (Kumar in Suresh, 2009, str. 202-220).

Ključni vhodni podatek pri planu S&OP je napoved povpraševanja, ki jo pripravi prodaja, saj predstavlja osnovo za nadaljnje planiranje proizvodnje. Na podlagi napovedi se izvajata tako planiranje po načelu MPS kot tudi MRP, pri čemer napoved povpraševanja določa okvir za obravnavano obdobje. Ta je ključnega pomena za nemoteno poslovanje podjetij, saj

zagotavlja informacije, ki so temelj za definiranje prihodnjih procesov v podjetju. Vodje in oddelki v podjetju lahko napoved povpraševanja uporabljajo za ocene cen materiala, planiranje ter razporeditev osebja, uravnavanje zalog itd. Informacije o prihodnjih količinah končnih izdelkov tako vplivajo na parametre delovanja poslovne organizacije (Kumar in Suresh, 2009, str. 105). Podjetja za časovno okno napovedovanja najbolj pogosto uporabljajo obdobje do enega leta. V teoretičnem pregledu obstajata dva glavna pristopa, ki določata količine povpraševanja, pri čemer prvi temelji na ekstrapolaciji preteklih podatkov naročil oziroma na informacijah o povpraševanju v preteklih obdobjih (Axsater, 2006, str. 7-8), drugi pristop pa na podlagi dejanske napovedi prihodnjega povpraševanja. Napovedi prihodnjih zahtev glede na določeno časovno obdobje se redno posodablja glede na vstopne parametre sistema (povpraševanje po končnih izdelkih, že definirana naročila, itd.). Oddelek planiranja proizvodnje analizira in uporabi definirane napovedi povpraševanja ter jih pretvori v ustrezne plane proizvodnih procesov, ki minimizirajo pričakovane skupne stroške proizvodnje ter skladišča (Toktay in Wein, 2001, str. 1268).

V sklopu razumevanja pojma povpraševanja Rusjan (2006, str. 136) deli povpraševanje na odvisno in neodvisno povpraševanje. Neodvisno povpraševanje predstavlja zahtevo po končnih izdelkih, ki jo določajo tržni dejavniki zunaj podjetja in je izven neposrednega nadzora proizvodnje. Običajno je to povpraševanje določeno z različnimi trendi, sezonskimi nihanji, cikličnimi vzorci ter naključnimi vplivi, ki izhajajo iz tržnih dejavnikov. Nasprotno pa je odvisno povpraševanje odvisno od potrebe po končnih izdelkih in je pod nadzorom proizvodnje ter sistema uravnavanja zaloge. Zahteva po določenem materialu se pojavi le, ko je ta proizvod potreben za proizvodnjo sestavnega dela ali končnega izdelka. Ko sestava določenega končnega izdelka ne poteka, povpraševanja po tem materialu ni. Odvisno povpraševanje po posameznih materialih se izračuna na podlagi povpraševanja po končnih izdelkih. Rosas in Shenoy (2018, str. 7) definirata, da je neodvisno povpraševanje večinoma neobvladljivo zaradi dejavnikov zunaj podjetja, kar predstavlja izziv za učinkovito določitev dejanskega povpraševanja.

Povpraševanje po končnih izdelkih na trgu proizvodna podjetja izpolnjujejo z ustreznim razmerjem med tekočo proizvodnjo in razpoložljivimi zalogami. Proizvodnja omogoča sprotno pokrivanje potreb, medtem ko zaloge zagotavljajo tako varnostno rezervo kot tudi neposreden vir za izpolnjevanje naročil. V sklopu skladiščnih kapacitet za izpolnjevanje potreb proizvodnih procesov avtor Viale (1996, str. 7) v svoji knjigi definira pet vrst zalog.

V literaturi so največkrat omenjene naslednje:

- vhodni material,
- material v procesu ali proizvodi (angl. Work-in-Proces),
- končni izdelki,
- dobaviteljska zaloga,
- zaloga materiala za vzdrževanje, popravila in delovanje.

Analiza je usmerjena v obravnavo materiala v procesu ter določitev ustreznih parametrov, povezanih z njegovim gibanjem in obvladovanjem v okviru proizvodnega procesa ter skladiščenja. Material oziroma zaloga v procesu predstavlja proizvode in sestavne dele, ki so v fazi preoblikovanja v končne izdelke. Surovine se sprostijo iz inventarja in premaknejo v delovni center, kjer delovna sila in/ali stroji dodajajo vrednost z njihovim sestavljanjem/obdelavo v podsestave, sklope in končne izdelke. Te dele se začasno shrani, dokler niso ponovno uporabljeni v proizvodnem procesu. V tem stanju, ko so še v postopku predelave, se ti deli imenujejo zaloga v procesu. Sestavljeni deli in proizvodi tečejo skozi proizvodni proces kot podsklopi in sklopi ter se na koncu združijo v končni sestav, ki je pripravljen za pošiljanje (Viale, 1996, str. 7). Podjetja za izračun vrednosti materiala v procesu uporabijo stroške materiala in dela, ki povedo, koliko kapitala je podjetje vezalo v proizvod oziroma končni izdelek (Byrne in O'Grady, 1990, str. 141).

Uravnavanje zalog vključuje načrtno spremljanje, analizo in optimizacijo količin proizvodov oziroma končnih izdelkov z namenom zagotavljanja ustrezne razpoložljivosti ter ohranjanja kontinuitete poslovnih procesov. Ta proces je ključen, saj zaloge materiala in proizvodov v podjetju ključno vplivajo na finančni vpliv kot del obratnih sredstev. Z zmanjšanjem zalog se lahko sprostijo pomembna likvidnostna sredstva, vendar je preveliko zmanjšanje zalog pred optimizacijo poslovanja in proizvodnje tvegano, saj lahko privede do čakalnih dob in neučinkovite proizvodnje (Slack, Brandon-Jones, in Johnston, 2013, str. 370-371). Politike za uravnavanje zalog in izpolnjevanje povpraševanja po proizvodih oziroma končnih izdelkih vključujejo planiranje proizvodnje po metodi serija za serijo (angl. lot-for-lot), uporabo minimalnih ali optimalnih količin naloga, naročanje oziroma proizvodnjo za določeno število obdobj naenkrat ter združevanje potreb za daljše plansko obdobje, med katere sodi tudi algoritem enota-obdobje (angl. part-period balancing) (Rusjan, 2006, str. 182-183). Našteti koncepti so bolj podrobno opredeljeni v poglavju 2.3.

Na raven zalog neposredno vpliva velikost proizvodne serije, ki določi količino proizvodov, ki bodo ob zaključku proizvodne serije na razpolago podjetju. S prevelikimi proizvodnimi serijami nastanejo velike zaloge proizvodov, saj je povpraševanje po proizvodih manjše od proizvedene količine proizvodov. Trend uravnavanja zalog stremi k zmanjševanju zalog v oskrbovalni verigi. Vpliv omejenih skladiščnih kapacitet je zelo pomemben dejavnik, saj je ob povečanju poslovanja ali proizvodnih zmogljivosti potrebno prilagoditi obseg proizvodnje na učinkovite velikosti proizvodnih serij. V kolikor se prilagoditve ne zgodijo, se podjetja soočijo z neučinkovitimi proizvodnimi procesi (Waters, 2017, str. 196-197). Določanje optimalnih velikosti proizvodnih serij kot parameter planiranja proizvodnje je del srednjeročnega plana, na podlagi katerega se v nadaljevanju določi parametre proizvodnega planiranja v operativnem planu. V srednjeročnem planu se planira obseg proizvodnje oziroma količino proizvodnje, ki se bo izvedla v obdobju do enega leta za zadovoljevanje potreb kupcev ob najnižjih stroških (Kavčič, 2000). Določanje velikosti optimalne proizvodne serije v proizvodnji zahteva upoštevanje kompleksnih interakcij med več dejavniki, kot so čas izdelave, stopnja napredka v proizvodnji in raven zalog proizvodov.

Večina pristopov k določanju velikosti serije temelji na analitičnih metodah, ki se odražajo k približku realnega stanja v proizvodnji (Byrne in O'Grady, 1990, str. 139). Klasični modeli določanja velikosti proizvodne serije pogosto ne upoštevajo stroškov, povezanih s časom izvedbe, čeprav obstajajo sistemska razmerja med velikostjo proizvodne serije in dobavnimi roki (Karmarkar, 1987, str. 409). Bolj podrobna opredelitev določanja optimalne proizvodne serije je definirana v poglavju 2.3.1.

## **2.2 Dejavniki določanja velikosti proizvodne serije**

### **2.2.1 Strošek odpada**

Stroški odpada se glede na zasnovo velikosti proizvodne serije lahko v podjetjih različno klasificirajo glede na proizvodni sistem. Kot prvi primer Rusjan (2006, str. 138) navaja, da je pri pripravi delovnega mesta pogosto potrebno izvesti poskusno proizvodnjo, kar ustvari dodatne stroške zaradi zavrženega materiala in časa izvedbe procesa. Ti stroški nastajajo, dokler oprema ni dokončno nastavljena in pripravljena za nadaljnjo proizvodnjo. V tem obdobju se lahko proizvaja več proizvodov, ki niso uporabni, kar povečuje skupne stroške proizvodnje.

V sklopu stroška odpada obravnavamo še vpliv povečane proizvodnje enega izdelka in njegove finančne posledice. Pri tem na skupne stroške proizvodnje, povezane z odpadom, vplivata dva ključna dejavnika (Sapot, 2020):

- Prekomerna proizvodnja – proizvodnja proizvodov pred dejansko potrebo po njih, kar vodi v kopičenje odpadkov v različnih kategorijah. Slednje vključuje fizične odpadke materialov in izgubo časa. Čas, porabljen za izdelavo neuporabljenih delov, predstavlja zapravljanje materiala in zmogljivosti delovnega mesta. Poleg tega prekomerna proizvodnja povzroča tudi dodatne režijske stroške, kot so stroški presežnega osebja in stroški skladiščenja. Za odpravo prekomerne proizvodnje je ključno jasno razumevanje povpraševanja in procesa proizvodnje. Na ta način se lahko podjetje izogne prekomerni proizvodnji in s tem povezanimi stroškov odpada.
- Odvečne zaloge, ki so rezultat neoptimalne velikosti proizvodne serije, kar povzroča domino učinek težav. Odvečne zaloge pogosto vodijo do možnosti poškodovanja proizvodov ter visokih stroškov skladiščenja. Poleg tega presežek zalog pogosto prikriva druge težave, kot so proizvodna neravnovesja in napake v proizvodnih procesih.

### **2.2.2 Strošek skladiščenja**

Stroški skladiščenja so zaradi svoje pomembne vloge pri oblikovanju sredstev organizacije pomemben vhodni podatek pri organizaciji poslovnih procesov podjetja. Cilj uravnavanja zalog je določiti raven zalog, ki zmanjša skupne stroške podjetja (Nobil in drugi, 2017, str. 266). Rusjan (2009, str. 320) je definiral strošek skladiščenja kot sestav iz več postavk.

Skladiščni stroški zajemajo širok spekter izdatkov, ki so neposredno povezani s skladišči. Prvi pomemben vidik so stroški amortizacije skladiščne zgradbe, kar pomeni postopno razporejanje stroškov gradnje ali nakupa skladišča skozi čas. S časom obratovanja je potrebno ovrednotiti stroške vzdrževanja, ki vključujejo redna popravila in nadgradnje za funkcionalno in varno za uporabo.

Ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljava so ključni za zagotavljanje primernih delovnih pogojev dela in kakovosti za proizvode v skladišču. Za te sisteme je potrebno natančno evidentirati porabe energije (Kavčič, 2000, str. 290). Vsi ti stroški skupaj predstavljajo celovito sliko finančnih obremenitev, neposredno povezanih s skladiščenjem proizvodov in imajo pomembno vlogo pri upravljanju celotnih proizvodnih procesov. Nekatera podjetja lahko strošek skladiščenja razširijo tudi na logistične procese znotraj njihovega delovanja oziroma na logistični strošek. V stroške skladiščenja lahko vključimo tudi osebne dohodke zaposlenih, ki skrbijo za dnevno upravljanje in organizacijo skladišča. Pri tem obstajajo še stroški, povezani s skladiščno opremo, kot so viličarji, regalni sistemi in druge naprave, ki so potrebne za logistiko proizvodov (Rusjan, 2006, str. 320).

Enačba (1) obravnava strošek povprečne maksimalne ciklične zaloge v času skladiščenja obravnavanega proizvoda. Strošek skladiščenja na proizvod je ključen vhodni podatek pri definiranju skupnih stroškov določanja velikosti proizvodne serije. Podjetja v veliki večini strošek skladiščenja obravnavajo glede na logistično mesto (paleta ali zaboj). Strošek skladiščenja ne upošteva varnostne zaloge v sklopu ciklične zaloge zato je predpostavljeno, da varnostne zaloge ni.

$$S_H = \frac{I_m}{2} \cdot H \quad (1)$$

Kjer je:

$S_H$  – strošek skladiščenja proizvoda v časovnem obdobju [EUR],

$I_m$  – maksimalna zaloga v ciklu [št. proizvodov],

$H$  – strošek skladiščenja enote proizvoda v časovnem obdobju [EUR/proizvod] (Čižman, 2002, str. 84).

### 2.2.3 Strošek priprave proizvodnje

Stroški priprave delovnega mesta so neposredno vezani na proizvodni proces na sami napravi. Slednji nastanejo, ko na določeni napravi pričnemo izdelovati drug proizvod z nabora proizvodov podjetja. Vključujejo lahko tudi pripravo proizvodne dokumentacije za proizvodno serijo. Upoštevati je potrebno stroške zamenjave orodij, saj med zamenjavo orodij naprava ne obratuje, kar pomeni ustavitev produktivnega časa. Čas zaposlenega, ki menjuje opremo na napravi je potrebno ovrednotiti in upoštevati v strošku priprave

delovnega mesta. Podjetja največkrat uporabijo urno postavko zaposlenega, ki se jo ovrednoti pri proizvodnji proizvoda. Stroški priprave delovnega mesta so kot stroški naročanja fiksni in se v podjetjih ne spreminjajo glede na proizvode in proizvodne serije. Večje proizvodne serije pomenijo manj pogosto pripravo naprav in s tem nižje stroške priprave delovnih mest v obravnavanem obdobju. Medtem pa manjše proizvodne serije povzročajo pogostejšo pripravo naprav, kar povečuje skupne stroške priprave delovnega mesta. Vendar pa slednje pomenijo tudi manjše zaloge nedokončanih in dokončanih proizvodov. Ko je proizvodna naprava pripravljena za nov proizvod, so potrebni različni viri in dejavnosti. Prvi korak je priprava ustrezne proizvodne dokumentacije, ki zagotavlja, da so vse zahteve in specifikacije jasno določene za posamezno serijo. Stroški priprave delovnega mesta so pomemben vhodni podatek, saj menjave zahtevajo čas in delo zaposlenih, med katerima naprava ni v uporabi. Uravnavanje stroškov priprave proizvodnje je zato ključnega pomena za optimizacijo proizvodnih procesov in obvladovanje stroškov v proizvodnem podjetju. Neposredno pa priprava proizvodnje vpliva tudi na planiranje proizvodnega procesa, ki ga je potrebno pravilno časovno ovrednotiti in umestiti v proizvodni plan (Rusjan, 2006, str. 138-139). V strošek priprave proizvodnje lahko vštejemo naslednje vhodne podatke (Hui-Ming, 2011, str. 52):

- Čas izvedbe menjave orodja delavca ali strošek nastavitve (izguba proizvodne zmogljivosti).
- Potrata materiala (material se lahko za izdelavo enega proizvoda zavrže, ko se izvede menjava). Ta podatek je lahko tudi samostojen strošek, kot je obrazloženo v poglavju 2.2.1 magistrskega dela.
- Stroški materiala za preostale procese na delovnem mestu (npr. čiščenje naprave).

Na strošek priprave delovnega mesta lahko ključno vplivajo družine proizvodov, kar pomeni združevanje proizvodov glede na uporabo enakih orodij pri proizvodnji drugačnega proizvoda. Pomembno je tehnično obravnavati posamezne proizvode in njihove proizvodne lastnosti (Hui-Ming, 2011, str. 51). Enačba (2) predstavlja skupen strošek priprave delovnega mesta, kjer na velikost stroška neposredno vpliva velikost proizvodne serije. Zmanjševanje velikosti proizvodne serije neposredno povečuje stroške zaradi pogostejših nastavitvev delovnega mesta.

$$S_p = \frac{D}{Q} \cdot R \quad (2)$$

Kjer je:

$S_p$  – strošek priprave proizvodnje v časovnem obdobju [EUR],

$D$  – povpraševanje po proizvodu (letna/mesečna/tedenska raven) [št. proizvodov],

$Q$  – velikost proizvodne serije [št. proizvodov],

$R$  – strošek priprave proizvodnje [EUR/proces priprave] (Čižman, 2002, str. 85).

Skrajšanje časa priprave proizvodnje je ključno za doseganje zmanjšanja velikosti proizvodne serije. Zmanjševanje velikosti proizvodne serije lahko prinese povečanje prilagodljivosti proizvodnih in logističnih procesov, izboljša hitrost tehnološkega delovanja itd. Nasprotno pa lahko povečanje velikosti proizvodne serije privede do podaljšanja povprečnega časa izdelave, zmanjšanja proizvodne tolerance na spremembe ter okvare (TREBUŃA, 2009, str. 59).

#### 2.2.4 Fleksibilnost proizvodnega procesa

Na današnjem izjemno konkurenčnem trgu imajo stroški ključno vlogo pri zagotavljanju izdelave ustreznih končnih izdelkov. Kupci pričakujejo višjo kakovost po vedno nižjih cenah, zato podjetja nenehno stremijo k izboljšanju kakovosti, fleksibilnosti, inovativnosti in raznolikosti končnih izdelkov. Da bi podjetja preživela in uspela v boju proti konkurenci morajo zniževati skupne stroške. Podjetja, ki lahko v zgodnjih fazah razvoja zagotovijo podrobne in smiselne ocene stroškov, imajo večjo verjetnost, da bodo njihovi procesi pravočasni in bodo imeli nižje stroške razvoja. Nasprotno pa se podjetja, ki tega ne morejo zagotoviti, soočajo z bistveno višjim odstotkom procesov, ki zaostajajo za časovnim razporedom in imajo višje stroške poslovanja (Xu in drugi, 2012, str. 300).

Obravnavanje negotovosti in sprememb v poslovnem okolju se naslavljata kot osrednji temi problematike v podjetju. Ključna naloga vsakega proizvodnega podjetja je obvladovanje teh negotovosti glede na dogajanje na trgu. Naloga vodstva vključuje iskanje, odzivanje in izkoriščanje sprememb kot priložnosti. Spremembe se dogajajo hitreje kot v preteklosti, kar povzroča negotovost, kar je glavni razlog za neuspehe v proizvodni industriji. Kot strategija za ohranjanje konkurenčnih prednosti je bila razvita nova proizvodna strategija, imenovana agilnost. Ta se osredotoča na sposobnost podjetja, da se odzove glede na spremembe na trgu. Strategija agilnosti vključuje dva glavna dejavnika (Sharifi in Zhang, 2000, str. 496):

- pravočasno in pravilno odzivanje na predvidene ali nepričakovane spremembe,
- spremembe kot del strategije za priložnosti v poslovnem okolju.

Strategija agilnosti v proizvodnem podjetju se osredotoča na le nekatere specifikacije, vendar v veliki večini obravnavamo in razvijamo osnove, kot so hitrost, prilagodljivost, inovativnost ali zmanjšanje blažilnikov v procesih. Razvijanje osnov se izvaja skladno z integracijo modularnih virov in najboljših praks v trenutnih proizvodnih procesih. Strategija se v podjetjih uvaja predvsem za omogočanje hitrih prilagoditev na področju izdelkov in storitev za stranke v dinamičnem tržnem okolju (Ramasesh in drugi, 2001, str. 534). Kot navaja Schroeder (2004), je skrajševanje časa nastavitve bistveno za povečevanje razpoložljive kapacitete proizvodnje, saj izboljšuje fleksibilnost za izpolnjevanje sprememb planov procesov in zmanjšuje zaloge proizvodov.

### 2.3 Modeli in izračun velikosti proizvodne serije

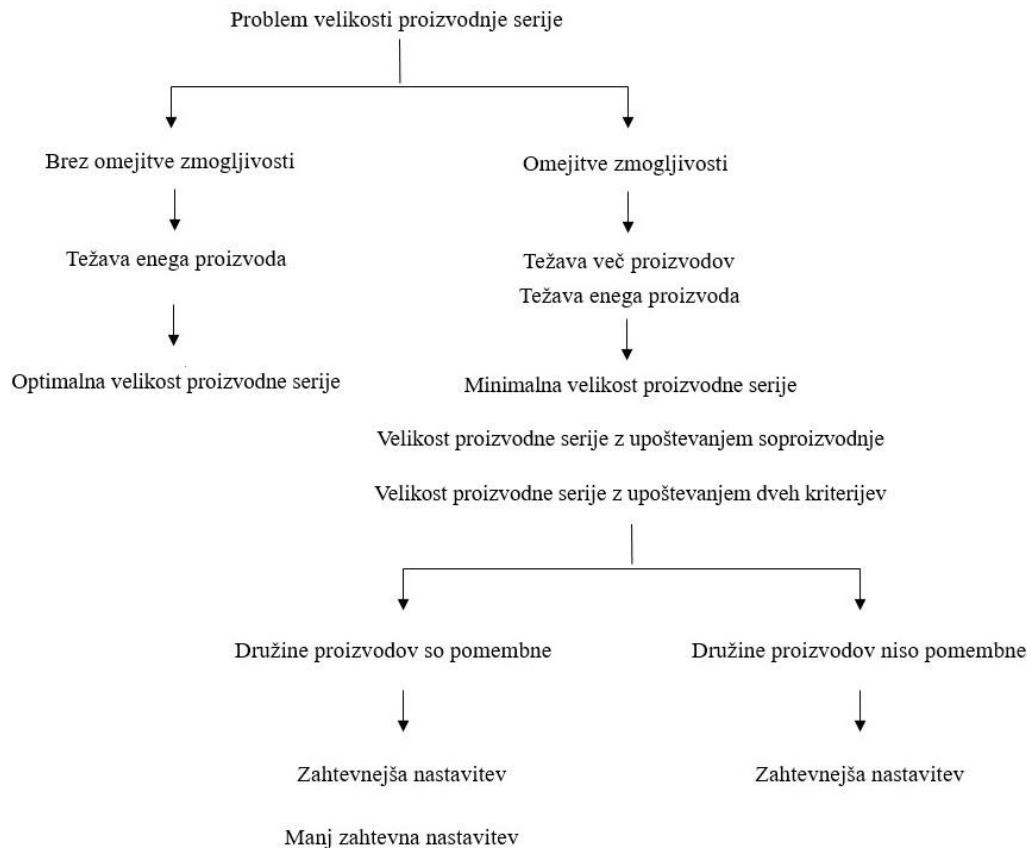
Podjetja določajo velikost proizvodne serije proizvodov, da znižajo stroške naročanja in priprave proizvodnje. V kolikor je velikost proizvodne serije višja od potreb po proizvodu, nastane presežni del proizvedene serije. Obstajajo različni načini določanja velikosti serije, pri čemer vsak način prinaša določene slabosti. Poznamo štiri splošne možnosti za določanje velikosti proizvodnih serij (Rusjan, 2006, str. 182-183):

- Proizvodnja po metodi serija za serijo pomeni, da vsakič proizvedemo velikost serije, ki izhaja iz neto potreb posameznega obdobja. Vendar se lahko pojavijo manjši nalogi, kar povečuje stroške naročanja oziroma priprave proizvodnje na enoto. Vendar pa takšna velikost serij minimizira zaloge in izboljša proizvodne procese podjetja.
- Minimalne ali optimalne količine naloga se uporabljajo, ko so neto potrebe v določenem obdobju manjše od minimalne ali optimalne serije. V tem primeru naročamo minimalno ali optimalno količino. Če so neto potrebe večje od teh količin, pa naročamo količino v višini neto potreb. Minimalna količina je pogosto določena ob upoštevanju velikosti zabojnikov, palet ali tudi dogovorom z dobavitelji materiala in polizdelkov. Optimalna serija se določi na podlagi povprečnega povpraševanja in stroškov zalog ter priprave proizvodnje.
- Naročanje ali proizvodnja za določeno število obdobj naenkrat omogoča združevanje potreb za daljše plansko obdobje. Definiranje števila obdobj se izvede z izračunom ekonomsko optimalne količine in povprečne napovedi potreb.
- Algoritem enota-obdobje se uporablja za določanje velikosti serije, ki izravnava stroške skladiščenja in naročanja. Ta pristop omogoča združevanje potreb v različnih obdobjih za čim nižje skupne stroške. Enota-obdobje je merska enota, kjer ena enota pomeni skladiščenje ene enote za eno obdobje, kar ima določen strošek. Algoritem je preprost in učinkovit, še posebej pri neenakomernem povpraševanju, kjer se količina naloga lahko razlikuje od optimalne količine naročila.

Slika 1 prikazuje drevesno strukturo definiranja problema velikosti proizvodne serije. Ključna specifikacija je poznavanje proizvodnega procesa in asortima proizvodov na delovnem mestu. Po določitvi parametrov lahko definiramo, o kakšnih omejitvah zmogljivosti govorimo na samem delovnem mestu. Vključevanje posameznih proizvodov na delovnem mestu vpliva na razpored in obravnavanje celotnega planiranja časovnega okna ter uravnavanje zalog. Teoretično lahko podjetje deluje brez omejitev zmogljivosti proizvodnih procesov, kar pomeni, da prilagoditev glede na ostale proizvode ni potrebna. V takšnem primeru lahko uporabimo računski model optimalne proizvodne serije (angl. Economic Production Quantity, v nadaljevanju EPQ), ki minimizira stroške priprave delovnega procesa in skladiščenja proizvodov. Ob omejitvi proizvodnih kapacitet pa je potrebno zmogljivosti proizvodnih procesov obravnavati za posamezen proizvod ali za več proizvodov hkrati. V takšnih primerih lahko uporabimo tri računske modele, ki vključujejo več vhodnih podatkov in omogočajo primerljivo obravnavo z osnovnim EPQ modelom. Dodatna razčlenitev nato sledi pri družinah proizvodov, ki se osredotoča na to, koliko truda

je potrebno vložiti v spremembo delovnega mesta za drug proizvod. V kolikor so posegi na delovnih mestih/napravah veliki, je prav tako velika izguba produktivnega časa. Pomemben je čas nastavitve, saj je pri proizvodih, kjer družine niso pomembne, ta čas bistveno daljši kot pri proizvodih, kjer so družine relevantne. Družina proizvoda vpliva predvsem na postopek priprave naprave, kjer lahko z enakimi orodji izdelamo drug tip proizvoda (Hui-Ming, 2011, str. 51).

Slika 1: Problem definiranja velikosti proizvodne serije



Vir: prirejeno po Hui-Ming (2011, str. 51).

### 2.3.1 Optimalna velikost proizvodne serije

Avtor Rossi (2021, str. 41) razloži model optimalne velikosti naročila (angl. Economic Order Quantity, v nadaljevanju EOQ) preko sistema zalog, kjer je povpraševanje konstantno v časovnem obdobju. Predpostavljamo, da imamo stalen nadzor nad stanjem zaloge in da je naročanje ali proizvodni proces takojšen, kar pomeni, da so proizvodi ali serije proizvodov dostavljeni takoj po oddaji naloga. Količina naročila lahko zavzame katerokoli nenegativno realno vrednost. Celoten obseg povpraševanja mora biti pravočasno izpolnjen, brez zamud. V odsotnosti fiksnih stroškov, povezanih z oddajo naročil ali začetkom proizvodnje in ob upoštevanju samo stroškov zalog, je najbolj optimalna strategija za zadovoljevanje povpraševanja metoda serija za serijo, kar predstavlja čisto reaktivno in vitko strategijo.

Vendar pa se v praksi podjetja soočajo tudi s fiksnimi stroški proizvodnje ali nastavitve delovnih mest, zaradi česar optimalna strategija nadzora ni tako enostavno določljiva. Slednje nas privede do problema določanja ekonomske količine naročila/proizvodnje. V tem kontekstu se izraz "ekonomsko" nanaša na optimalno količino naročila oziroma proizvodnje, ki ob upoštevanju fiksnih in variabilnih proizvodnih stroškov minimizira skupne stroške zalog.

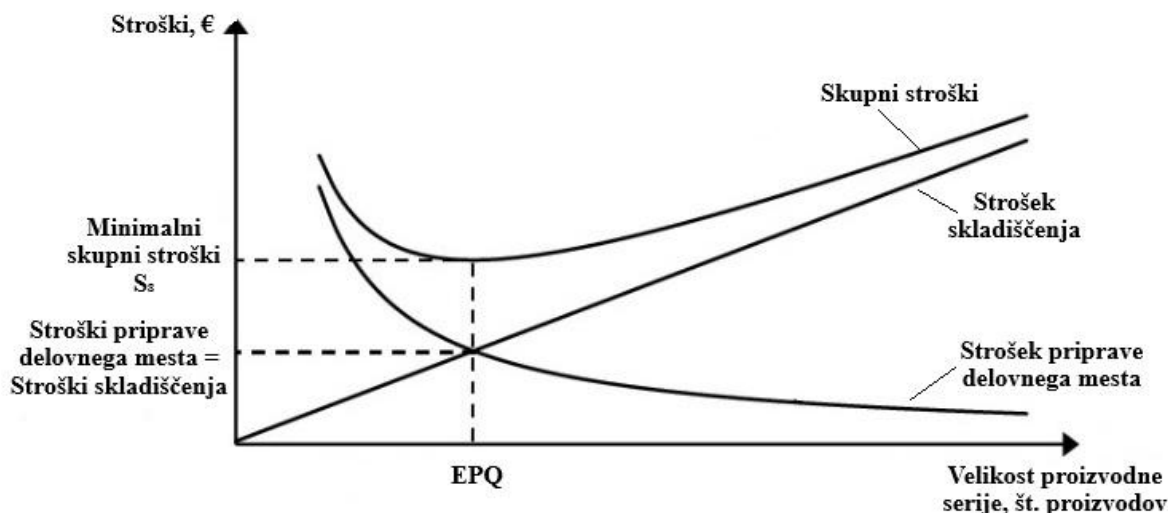
Model optimalne proizvodne serije temelji na enakih predpostavkah kot klasičen model ekonomske optimalne količine naročila z izjemo, da je celotna proizvodna serija proizvedena v enem trenutku. Ta model je uporaben za ocene optimiziranja velikosti proizvodnih serij (Rusjan, 2009, str. 328-329). V procesu določanja proizvodne serije je ključno uravnovežiti stroške skladiščenja, ki nastanejo zaradi vzdrževanja večjih količin proizvodov na zalogi ter stroške priprave delovnega mesta, ki se pojavijo ob bolj pogosti proizvodnji manjših serij. Optimalna velikost proizvodne serije je tista, ki minimizira skupne stroške in hkrati zagotavlja pravočasno razpoložljivost proizvodov za nadaljnjo proizvodnjo. Tako pristop združevanja neto potreb iz različnih obdobjev pomaga doseči ekonomičnost in učinkovitost v proizvodnem procesu (Rusjan, 2006).

Model določitve velikosti optimalno proizvodne serije temelji na izenačitvi stroška priprave proizvodnje in stroška skladiščenja ob predpostavki, da se ne drži varnostna zalog. Primer grafa stroškov glede na velikost proizvodne serije je prikazan na sliki 2. Definiranje optimizacije stroškovnega vidika lahko razširimo tudi na višje stopnje v kosovnicah (sestavi nižjih ravni proizvodov). Znižanje stroškov priprave proizvodnje ima dvojni učinek na znižanje skupnih stroškov. Če se strošek priprave delovnega mesta zmanjša in se izbere temu ustrezna velikost serije, se bodo posledično znižali skupni stroški. Podjetja morajo vedno iskati načine za izboljšanje učinkovitosti, ki zmanjšujejo čas in stroške ter tako povečujejo proizvodne zmogljivosti. Pomembni so tudi stroški obdelave, ki so povezani z izbiro orodij in metodo obdelave. Velike proizvodne serije zahtevajo premikanje večjih količin proizvodov skozi proces, večje kapacitete delovnih mest, proizvodnih hal itd., kar vpliva na stroške priprave proizvodnje. Če se v tem primeru optimalna proizvodna serija zmanjša, je slednje učinkovito prav tako z vidika zmanjšanja zaloge proizvodov oziroma končnih izdelkov (Čižman, 2002, str. 86-87).

Rusjan (2009, str. 335) obrazloži, da se lahko tudi v primeru enakomernega stohastičnega povpraševanja uporabi sistem zalog s fiksnim obsegom proizvodnje, kot je model EPQ. Pri enakomernem determinističnem povpraševanju so dobavni časi in časovni intervali med posameznimi proizvodnimi cikli vnaprej znani. V nasprotju s tem pa pri enakomernem stohastičnem povpraševanju teh informacij nimamo. Količine proizvodnje se lahko spreminjajo zaradi nepredvidljive narave povpraševanja. Kljub temu pa je sistem EPQ še vedno uporaben, saj omogoča določitev ocene optimalne velikosti proizvodne serije, ki minimizira skupne stroške skladiščenja, vključno s stroški priprave proizvodnje. Pri stohastičnem povpraševanju je prav tako pomembno, da se v model vključi verjetnostna

porazdelitev povpraševanja, kar omogoča boljše prilagajanje zalog nepredvidljivim spremembam v povpraševanju.

Slika 2: Skupni stroški v odvisnosti od velikosti proizvodne serije



Vir: prirejeno po Malakooti (2014, str. 319).

Enačba (3) obravnava vsoto stroška skladiščenja, ki je predstavljena v enačbi (1) in stroška priprave delovnega mesta, ki je prikazan v enačbi (2). Skupen strošek je prikazan na sliki 2, kjer je definiran kot najvišje izrisana krivulja. Enačba predstavlja izhodišče za izračun optimalne proizvodne serije, ki je predstavljen v enačbi (4).

$$S_S = \frac{(D \cdot R)}{Q} + Q \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot \frac{H}{2} \quad (3)$$

Kjer je:

$S_S$  – skupni stroški [EUR],

$P$  – maksimalna proizvodna količina (letna/mesečna/tedenska raven) [št. proizvodov],

$D$  – povpraševanje po proizvodih (letna/mesečna/tedenska raven) [št. proizvodov],

$R$  – strošek priprave delovnega mesta oziroma proizvodnje [EUR/proces],

$H$  – strošek skladiščenja enote proizvoda na časovno obdobje [EUR/proizvod],

$Q$  – optimalna velikost proizvodne serije [št. proizvodov].

Enačba (4) predstavlja osnovno enačbo za izračun velikosti optimalne proizvodne serije na delovnem mestu.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot R}{H \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad (4)$$

Metodologija izračuna definira izračun maksimalne ciklične zaloge za proizvod glede na velikost proizvodne serije, vhodni podatek povpraševanja ter proizvodne kapacitete delovnega mesta. Enačba (5) prikazuje izračun velikosti ciklične zaloge. V kolikor nameravamo pridobiti podatek povprečne zaloge za obravnavano časovno obdobje, je potrebno upoštevati polovico maksimalne ciklične zaloge ( $I_m/2$ ).

$$I_m = Q \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) \quad (5)$$

Definiranje števila proizvodnih serij v planskem obdobju je prikazano v enačbi (6).

$$n = \frac{D}{Q} \quad (6)$$

Kjer je:

$n$  – optimalno število proizvodnih serij (Čižman, 2002, str. 84-86).

### 2.3.2 Minimalna velikost proizvodne serije

Proizvodna in distribucijska podjetja v večini MOQ določajo na podlagi različnih dejavnikov, kot so pogodbe, kapacitete dobaviteljev, dogovorov z dobavitelji in drugih vidikov. Zato enostavne rešitve za izračun MOQ oziroma minimalne velikosti proizvodne serije (angl. Minimum Production Quantity, v nadaljevanju MPQ) v primeru proizvodnje niso vedno primerne. Literatura ne nudi informacij glede določanja vrednosti parametra MPQ glede na koncept teoretičnega izračuna EPQ. Optimalna velikost proizvodne serije določa optimalno razmerje med stroški skladiščenja in stroški priprave proizvodnega procesa, kar pomeni, da minimizira skupne stroške proizvodne serije v določenem obdobju. Velikokrat te zahteve ni mogoče izpeljati, saj obstajajo določene omejitve, ki izhajajo iz poslovnih zahtev. Zato podjetja velikokrat definirajo minimalno velikost proizvodne serije glede na dogovore z dobavitelji, parametre zalog ali izpolnjevanja rabe proizvodov. Koncepta EPQ in MPQ pa temeljita na stroškovnem vidiku in preprečujeta majhne proizvodne serije, ki povzročajo zelo visoke stroške priprave proizvodnje ter dodatno obremenjenost zmogljivosti naprave. MPQ je tako alternativen način za doseganje ekonomije obsega v proizvodnji, saj pomaga preprečiti previsoke stroške nastavitve naprave, ki nastanejo pri manjših proizvodnih serijah. MPQ tako predstavlja praktičen pristop k doseganju ekonomskih koristi v proizvodnji (Park in Klabjan, 2015, str. 235).

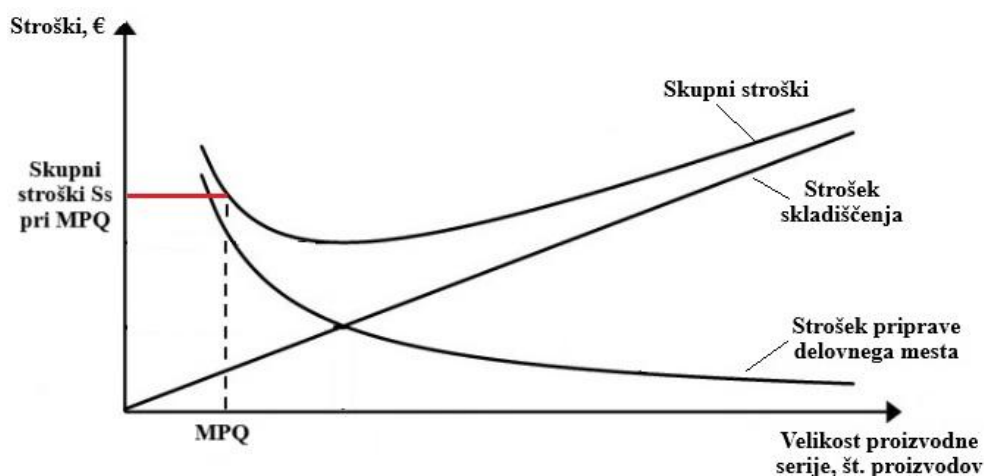
Določitev velikosti proizvodne serije neposredno vpliva na dejansko zmogljivost delovnega mesta. V kolikor ima podjetje premajhne proizvodne serije, to delovno mesto obremeni z večjim številom nastavitve stroja, kar pomeni manjšo zmogljivost delovnega mesta in posledično višje stroške nastavitve delovnega mesta ob izpustitvi faktorja družin proizvodov. Zaradi tega se pogosto upošteva parameter minimalne velikosti proizvodne serije, kar pomeni, da za manjše proizvodne serije proizvodnja ni učinkovita, saj ne

zagotavlja optimalnega izkoristka razpoložljivih virov. Cilj je določiti zgornjo mejo skupnih stroškov glede na velikost proizvodne serije, pri čemer se upoštevajo omejitve skladiščnih kapacitet, proizvodnih zmogljivosti delovnih mest in fleksibilnosti proizvodnega procesa (Okhrin in Richter, 2011, str. 1-2).

Na sliki 3 je prikazan graf funkcije skupnih stroškov v odvisnosti od velikosti proizvodne serije, kjer je mogoče prikazati spreminjanje stroškovnega vidika z zmanjševanjem velikosti proizvodne serije. Funkcija skupnih stroškov se z zmanjšanjem velikosti proizvodne serije viša proti neskončnosti, kar pomeni, da so najvišji skupni stroški pri neskončno majhni velikosti proizvodne serije. Z rdečo črto so označeni skupni stroški pri parametru MPQ. Potrebno je poudariti, da se skupni stroški izračunajo na podlagi enačbe (3), kjer velikost proizvodne serije predstavlja ključen vhodni podatek – v tem primeru upoštevanje vrednosti MPQ. V literaturi ni bilo zaznati eksplicitne povezave med EPQ modelom in določitvijo MPQ na podlagi obstoječih stroškovnih vhodnih podatkov. Zato je v nadaljevanju poglavja 2.3.2 obravnavan model izračuna MPQ, ki poišče, pri kateri velikosti proizvodne serije je vsota proizvodne cene enega izdelanega proizvoda in skupnega stroška skladiščenja ter priprave delovnega mesta nižja od ciljne lastne cene proizvoda. Teoretični model za izračun MPQ bo določil najnižjo potrebno količino proizvodnje, ki zagotavlja optimalno izkoriščenost razpoložljivih proizvodnih zmogljivosti. Pri tej količini bo skupen strošek proizvodnje na enoto proizvoda skladen s ciljno lastno ceno, ki jo je določilo podjetje. Proizvodna podjetja poznajo strošek izdelave proizvoda, kar jim omogoča nadaljnje oblikovanje cen proizvodov oziroma končnih izdelkov. Za določitev parametra MPQ je uporabljena cena proizvodnje enega proizvoda, ki je neodvisna od velikosti proizvodne serije. V proizvodni ceni proizvoda sta zajeta naslednja dva podatka:

- delo (amortizacija opreme, urne postavke tehnologije, fiksni stroški energentov, porabe vode, maziv itd.),
- surovi material za proizvodnjo enega proizvoda.

Slika 3: Vpliv manjšanja velikosti proizvodne serije na skupne stroške



Vir: prirejeno po Malakooti (2014, str. 319).

V proizvodno ceno proizvoda niso zajeti stroški, ki nastanejo v primeru logistike ali skladiščenja proizvoda. Ne glede na velikost proizvodne serije se ta cena ne spreminja skozi leto. Spremeni se le v primeru, da se surovemu materialu spremeni cena, v nasprotnem primeru ostane v obdobju enega leta enaka.

Vhodni podatki za določitev MPQ izhajajo iz koncepta optimalne proizvodne serije, ki je izračunan v poglavju 2.3.1. Pri določanju minimalne velikosti proizvodne serije so ključni vhodni podatki za izračun naslednji:

- Skupni stroški proizvodnje: vključujejo seštevek stroškov skladiščenja in priprave delovnega mesta.
- Stroški skladiščenja: vključujejo neposredne stroške skladiščenja zalog, kot so stroški prostora, obresti na vezani kapital in stroški tveganja.
- Stroški priprave delovnega mesta: nanašajo se na stroške, povezane s pripravo in nastavitvijo proizvodnega procesa za začetek nove proizvodne serije, kar vključuje stroške priprave naprav, čas zaposlenih in drugih operativnih aktivnosti.
- Strošek izdelave proizvoda na delovnem mestu.

Teoretični model MPQ temelji na izračunu velikosti proizvodne serije  $Q$ , ki je izračunana na podlagi vnaprej znanih vhodnih podatkov: proizvodne cene proizvoda ter ciljnih skupnih stroškov. Iz tega izhaja pogoj, da mora biti ciljna lastna cena proizvoda večja od vsote navedenih vhodnih podatkov. Na desni strani enačbe (7) je prikazan izračun ciljnih skupnih stroškov, ki vključuje stroške skladiščenja ter stroške priprave delovnega mesta.

$$c_{ciljna} \geq c_{proizvodna} + S_{ciljni}, S_{ciljni} = \frac{R + H \cdot \frac{Q}{2}}{Q} \quad (7)$$

Kjer je:

$c_{ciljna}$  – ciljna lastna cena proizvoda z upoštevanjem stroška skladiščenja in priprave delovnega mesta ter proizvodne cene [EUR/proizvod],

$c_{proizvodna}$  – proizvodna cena enega izdelanega proizvoda [EUR/proizvod],

$S_{ciljni}$  – ciljni skupni stroški skladiščenja in priprave delovnega mesta [EUR/proizvod].

Enačba (8) prikazuje izpeljavo minimalne velikosti proizvodne serije iz izhodiščne enačbe (7). MPQ je določen pri tisti velikosti proizvodne serije  $Q$ , pri kateri se ciljna cena izenači z vsoto skupnih stroškov in stroški izdelave, opredeljenih v okviru podjetja. Na določitev MPQ vplivajo štiri vhodni podatki, ki so vsi določeni iz strani podjetja.

$$MPQ = \frac{R}{(c_{ciljna} - c_{proizvodna}) - \frac{H}{2}} \quad (8)$$

Za določitev parametra MPQ se uporabijo enaki vhodni podatki kot v primeru parametra EPQ. Na ta način teoretični model omogoča primerjavo med MPQ in EPQ na podlagi enakih vhodnih podatkov, kar zagotavlja skladnost rezultatov. Minimalna velikost proizvodne serije je tako definirana glede na skupne stroške skladiščenja in stroške priprave delovnega mesta ter stroška proizvodnje proizvoda.

### 2.3.3 Velikost proizvodne serije z upoštevanjem sproizvodnje

Model za definiranje optimalne proizvodne serije z upoštevanjem sproizvodnje proizvodov (angl. Economic Lot Scheduling Problem, v nadaljevanju ELSP) se pojavi v proizvodnih sistemih, kjer se na enem delovnem mestu proizvede več različnih proizvodov v serijah. Oddelek planiranja proizvodnje mora določiti število proizvodov, ki jih je potrebno proizvesti v posamezni proizvodni seriji. Določitev omenjenega parametra vpliva na stroške skladiščenja in stroške nastavitve delovnega mesta. Čas, porabljen za nastavitev, zmanjšuje zmogljivost, ki je na voljo za proizvodnjo vseh proizvodov. Zaporedje proizvodnje različnih proizvodov odločevalcu omogoča, da vpliva na čas nedejavnosti naprav, kar posledično vpliva na operativne stroške, kot je strošek energije. Problem večstopenjskega ekonomskega razporejanja serij je tesno povezan z razporejanjem delovnih mest in tokov v proizvodnji, kjer se obravnava zaporedje procesov na več oddelkih proizvodnje. ELSP je tipičen problem operativnega planiranja, ki se pojavlja v proizvodnih procesih številnih podjetij, ki proizvajajo več proizvodov v enem obratu. Glavne predpostavke, na katerih temelji klasični ELSP, so povzete v nadaljevanju (Beck in Glock, 2020, str. 2):

- Na eni napravi se izdelujeta dva ali več proizvoda.
- Naprava proizvede en proizvod v enem postopku proizvodnega procesa.
- Vsi vhodni podatki so deterministični, znani in konstantni v obravnavnem časovnem obdobju.
- Stroški in čas priprave proizvodnje so neodvisni od zaporedja izdelave.
- Čas priprave proizvodnje ni upoštevan.
- Pomanjkanja proizvodov niso dovoljena.
- Stroški skladiščenja so premo sorazmerni z velikostjo zalog.

Metodologija preko enačbe (9) določi sprotno dnevno rabo proizvodov glede na število dni proizvodnje in letno povpraševanje.

$$d = \frac{D}{N} \quad (9)$$

Kjer je :

$D$  – povpraševanje po proizvodu (letna/mesečna/tedenska raven) [št. proizvodov],

$d$  – povpraševanje po proizvodu na dan [št. proizvodov],

$N$  – število dni operativne proizvodnje v letu.

Na ekonomiko proizvodnega procesa ključno vpliva število proizvodnih serij v planskem obdobju. Enačba (10) preko dnevne proizvodnje in dnevnega odjema proizvodov ob ustreznih postavkah stroškov izračuna število serij v enem letu za vse proizvode na delovnem mestu. Proizvodi so ovrednoteni z indeksom  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ . Teoretični model ne upošteva dinamike razporejanja izdelave proizvodov v času. Na primer – izdelamo lahko vseh  $n_0$  serij določenega proizvoda v prvi polovici leta, medtem ko v drugi polovici ta proizvod ne nastopi več v proizvodnji. Takšen način planiranja ne vpliva na skupne stroške teoretičnega modela, saj slednji temeljijo na skupnem številu proizvodnih serij, ne pa na njihovi časovni razporeditvi.

$$n_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - d_i) \cdot D_i \cdot H / p_i}{2 \cdot \sum_{i=1}^n R_i}} \quad (10)$$

Kjer je:

$P$  – proizvodna količina (letna/mesečna/tedenska raven) [št. proizvodov],

$p_i$  – proizvodna količina na dan [št. proizvodov],

$H$  – strošek skladiščenja proizvoda na časovno obdobje [EUR/proizvod],

$R$  – strošek priprave delovnega mesta oziroma proizvodnje [EUR/proces],

$n_0$  – število proizvodnih serij na letni ravni [/].

Preko enačbe (11) definiramo velikost proizvodne serije glede na povpraševanje v izbranem časovnem obdobju.

$$Q_i = \frac{D_i}{n_0} \quad (11)$$

Kjer je:

$Q_i$  – optimalna velikost proizvodne serije proizvoda  $i$  [št. proizvodov].

Enačbi (12) in (13) omogočata preverjanje ali predviden čas delovanja proizvodnje zadošča za izdelavo vseh proizvodov brez upoštevanja časa priprave delovnega mesta. Enačba (12) prikazuje časovno kontrolo za obdobje celega leta, medtem ko enačba (13) prikazuje časovno kontrolo za proizvodni cikel vsote proizvodov (Hui-Ming, 2011, str. 56).

$$N \geq \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{p_i} \quad (12)$$

$$\frac{N}{n_0} \geq \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{p_i} \quad (13)$$

Določitev števila proizvodov glede na proizvodno serijo poda število in razmerje med vsemi izdelanimi proizvodi. V naslednjem koraku mora podjetje te proizvode z določenimi velikostmi proizvodnih serij razporediti na delovnem mestu. Pri teoretični metodologiji izračuna model ne upošteva postavk, kot so okvare naprav, pomanjkljivosti operaterja, odpad na delovnem mestu, napake na procesih ali težave s kakovostjo (Hui-Ming, 2011, str. 59).

#### 2.3.4 Velikost proizvodne serije z dvema kriterijema

V proizvodnem okolju je fleksibilna proizvodnja vedno bolj pomembna, saj proizvodni procesi temeljijo na hitrem prilagajanju različnim proizvodom, količinam in zahtevam trga brez velikih izgub v učinkovitosti. Ob tem pa podjetja natančno vodijo stroškovno analizo o učinkovitosti proizvodnih in logističnih procesov izdelovanja proizvodov. Če proizvodna kapaciteta ter stroški priprave proizvodnje in skladiščenja ne predstavljajo omejitve pri prilagajanju proizvodnih parametrov, lahko podjetja z zmanjšanjem velikosti proizvodne serije povečajo fleksibilnost in odzivnost na spreminjajoče se povpraševanje ter hkrati zagotovijo nizko raven zalog. Princip določanja velikosti proizvodne serije z dvema kriterijema skuša definirati kompromisno rešitev med rešitvami fleksibilne proizvodnje in stroškovne učinkovitosti v luči priprave proizvodnje ter skladiščenja. Računski model temelji na predpostavki, da je potreba po proizvodih konstantna. Teoretični princip temelji na funkciji  $f_1$ , ki predstavlja skupne stroške ter funkciji  $f_2$ , ki določa velikost proizvodne serije. Princip ne upošteva dejavnikov pri planiranju proizvodnje, kot so na primer prostorske omejitve, okvare naprav, omejitve v povezavi z dobavitelji in proizvodne prednostne naloge. Potreba po upoštevanju dodatnih meril, kot je fleksibilnost, je očitna, saj stroški zalog ne zajemajo vseh kvalitativnih in kvantitativnih ciljev. Pri določitvi velikosti proizvodne serije glede na dva kriterija se upoštevata naslednja dva cilja (Malakooti, 2014, str. 332-333):

- $w_1$  – zasledovanje stroškovne učinkovitosti,
- $w_2$  – zmanjšanje zalog proizvodov in povečanje fleksibilnosti proizvodnje.

Kriterija nista preračunljiva, vendar ju je potrebno preko kvalitativnih predpostavk določiti za posamezno podjetje. V tabeli 1 so prikazane obrazložitve pri izbiri vrednosti kriterija. Pri določitvi vrednosti so upoštevani trije splošni faktorji, in sicer značilnost proizvodnega procesa, variabilnost povpraševanja po proizvodnih in oskrbovalna veriga. Podjetja, ki temeljijo na visoki fleksibilnosti in nizkih zalogah, sledijo k nizki vrednosti  $w_2$ . Pri določanju kriterijev je potrebno upoštevati, da je vsota uteži kriterijev  $w_1$  in  $w_2$  enaka 1.

Tabela 1: Določitev vrednosti kriterijev glede na karakteristike podjetja

| <b>w<sub>1</sub> – zmanjšanje zalog proizvodov in povečanje fleksibilnosti proizvodnje</b> |   |
|--|---|
| w <sub>1</sub> = 0,0 – 0,3<br>(nizka vrednost):  | Osredotočenost na prilagodljivost in odzivnost prav tako na račun višjih stroškov.                            |
|  | Manjše proizvodne serije, več nastavitev naprav, vendar boljše prilagajanje povpraševanju.                    |
|  | Primerno za podjetja z dinamičnimi trgi z visokimi spremembami v povpraševanju.                               |
| w <sub>1</sub> = 0,4 – 0,6<br>(srednja vrednost):  | Uravnotežen pristop med stroškovno učinkovitostjo in fleksibilnostjo proizvodnje.                             |
|  | Optimizacija proizvodnih serij brez prevelikih zalog ali prevelikega števila nastavitev naprav.               |
|  | Ustrežno za podjetja, ki iščejo kompromis med učinkovitostjo in prilagodljivostjo.                            |
| w <sub>1</sub> = 0,7 – 1,0<br>(visoka vrednost):   | Osredotočanje na minimizacijo stroškov priprave proizvodnje in skladiščenja.                                  |
|  | Večje proizvodne serije, manj pogoste nastavitve naprav, kar zmanjšuje skupne stroške.                        |
|  | Primerno za podjetja z velikimi stabilnimi naročili in nizko variabilnostjo povpraševanja.                    |
| <b>w<sub>2</sub> – zmanjšanje zalog in povečanje fleksibilnosti proizvodnje</b>            |   |
| w <sub>2</sub> = 0,0 – 0,3<br>(nizka vrednost):  | Podjetje daje prednost večjim zalogam za zagotavljanje stabilne oskrbe.                                       |
|  | Manjša fleksibilnost proizvodnje, saj so serije večje in bolj standardizirane.                                |
|  | Primerno za panoge z dolgimi dobavnimi roki ali visoko variabilnostjo povpraševanja.                          |
| w <sub>2</sub> = 0,4 – 0,6<br>(srednja vrednost):  | Uravnotežen pristop med zmanjšanjem zalog in zagotavljanjem stabilnosti oskrbe.                               |
|  | Fleksibilnost proizvodnje se povečuje, vendar serije ostajajo ekonomsko učinkovite.                           |
|  | Primerno za podjetja, ki si prizadevajo optimizirati zaloge, vendar ohraniti stabilnost oskrbe.               |
| w <sub>2</sub> = 0,7 – 1,0<br>(visoka vrednost):   | Močan poudarek na zmanjševanju zalog in hitremu obračanju zalog.  |
|  | Večja prilagodljivost proizvodnje – omogoča boljše prilagajanje povpraševanju brez odvečnih zalog.            |
|  | Primerno za podjetja s stabilnimi dobavitelji, kratkimi dobavnimi roki in dobro napovedljivim povpraševanjem. |

Vir: lastno delo.

Obraunavane uteži v tabeli 1 izražajo pomembnost posameznega kriterija in s tem določajo pripravljenost odločevalca na kompromis, koliko dodatnih stroškov je pripravljen sprejeti za večjo fleksibilnost (manjše proizvodne serije) oziroma koliko fleksibilnosti je pripravljen žrtvovati v korist stroškovne učinkovitosti. Uteži neposredno ne spreminjajo vrednosti funkcij  $f_1$  in  $f_2$ , ampak spremenijo pomen razmerja med njima v imenovalcu enačbe (16). Enačba (14) predstavlja prvi kriterij, kjer je funkcija vsote stroška priprave proizvodnje in stroška skladiščenja ter stremi k optimizaciji skupnih stroškov.

$$f_1 = \frac{(D \cdot R)}{Q} + Q \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot \frac{H}{2} \quad (14)$$

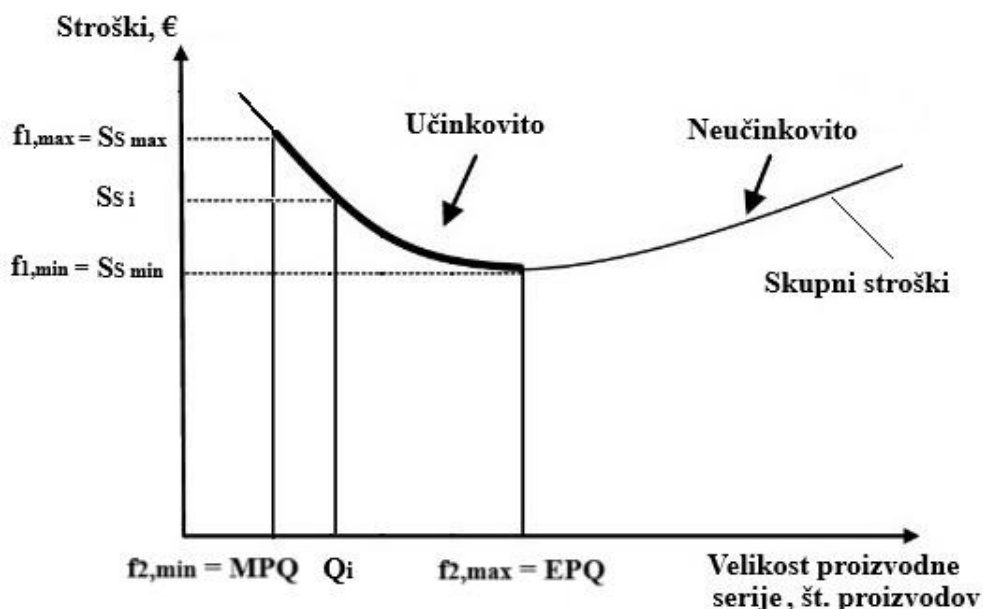
Kjer je:

$Q$  – izbrana velikost proizvodne serije [št. proizvodov],

$f_i$  – funkcija kriterija.

Slika 4 prikazuje krivuljo skupnih stroškov, ki je bila že obravnavana v poglavju optimalne velikosti proizvodne serije. Na krivuljo sta dodatno vrisana parameter MPQ in pripadajoči skupni stroški za oba proizvodna parametra MPQ in EPQ. Proizvodni procesi se vedno bolj prilagajajo spremembam trga in različnim proizvodom, zato se podjetja ozirajo k manjšim proizvodnim serijam. Slednje podjetju omogoča hitrejše menjave med proizvodi ter bolj učinkovito izpolnjevanje povpraševanja. Na krivulji je z odebeljeno črto označen del skupnih stroškov, ki je označen kot učinkovit del. Zmanjšanje velikosti proizvodne serije pod EPQ je smiselno, kadar kljub nekolikošnem povečanju skupnih stroškov pridobimo večjo fleksibilnost proizvodnega procesa, kar omogoča bolj učinkovito izpolnjevanje naročil. Medtem v nasprotnem primeru neučinkovit del krivulje nastane zaradi povečanja velikosti proizvodne serije nad EPQ, kar pomeni znižanje fleksibilnosti proizvodnega procesa, hkrati pa se skupni stroški dodatno povečujejo.

Slika 4: Izris krivulje skupnih stroškov glede na velikost proizvodne serije



Vir: prirejeno po Malakooti (2014, str. 334).

Enačba (15) opisuje funkcijo velikosti proizvodne serije. Vrednost funkcije  $f_2$  je odvisna od modela, kjer pri modelu MPQ zavzame vrednost  $f_{2,min}$ , pri modelu EPQ pa vrednost  $f_{2,max}$ . Funkcijo kriterija  $f_2$  je ovrednotena z velikostmi proizvodnih serij, izračunanimi v poglavjih 2.3.1 in 2.3.2. Obe vrednosti, MPQ in EPQ se uporabita v enačbi (16).

$$f_2 = Q \quad (15)$$

Izračun nove velikosti proizvodne serije glede na dva kriterija je prikazan v enačbi (16). Po določitvi obeh vrednosti  $f_i$  za proizvodna parametra MPQ in EPQ določimo še kriterija  $w_i$ , ki predstavljata uteži za izračun nove velikosti proizvodne serije. Določitev uteži je opredeljeno na začetku poglavja 2.3.4. Višja utež fleksibilnosti  $w_2$  poveča relativni prispevek kriterija fleksibilnosti, kar vodi v večji imenovalac enačbe (16) in s tem v manjšo velikost

proizvodne serije  $Q_i$ . Model omogoča pridobitev vrednost  $Q_i$ , ki so nižje od parametra EPQ, saj teoretični model stremi k večji prilagodljivosti proizvodnje in manjšim proizvodnim serijam. Ključno vlogo pri določitvi velikosti proizvodne serije ima razmerje uteži  $w_2/w_1$ . Višja vrednost vodi k zmanjševanju velikosti proizvodne serije in posledično k bolj fleksibilnemu proizvodnemu procesu. Nasprotno pa nižanje vrednosti razmerja uteži vodi k višanju velikosti proizvodne serije, kar prispeva k višanju zaloge proizvodov in posledično k bolj uravnoveženim stroškom skladiščenja ter priprave delovnega mesta.

$$Q_i = \sqrt{\frac{D \cdot R}{\frac{w_2}{w_1} \cdot \frac{(f_{1,max} - f_{1,min})}{(f_{2,max} - f_{2,min})} + \frac{H}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad (16)$$

Kjer je:

$Q_i$  – velikost proizvodne serije z upoštevanjem dveh kriterijev [št. proizvodov],

$w_i$  – utež kriterija stroškovnega koncepta ali koncepta fleksibilnosti [/] (Malakooti, 2014, str. 337).

### 3 OPIS IN ANALIZA SISTEMA PLANIRANJA PROIZVODNJE

#### 3.1 Splošen opis podjetja

Podjetje Danfoss je ustanovil Mads Clausen v Nordborgu septembra 1933. Od svojega skromnega začetka kot enočlansko podjetje je podjetje Danfoss preraslo v globalno vodilno podjetje na področju dobave inovativnih in energetsko učinkovitih rešitev. V letu 2023 je Danfoss dosegel prihodke iz prodaje v vrednosti 10,7 milijarde EUR, kar odraža uspešno poslovno strategijo podjetja. Korporacija Danfoss je v letu preseгла 42.000 zaposlenih po celem svetu. Podjetje je zavezano h gradnji boljše prihodnosti, pri kateri se osredotoča na zmanjšanje emisij, porabo energije ter omogočanje elektrifikacije. Skozi leta vlagajo v razvoj svojih izdelkov in izboljšav poslovnih oziroma proizvodnih procesov. Podjetje je v samem vrhu svetovnega trga na področjih ogrevanja, hlajenja, hidravlike in upravljanja z energijo. Korporacija Danfoss se deli na naslednje štiri glavne stebre: »Drives«, »Power solutions«, »Cooling« in »Heating« (Danfoss, 2024).

Danfoss je svojo poslovno enoto v Sloveniji vzpostavil leta 1995, kjer je prevzel oddelek ventilov podjetja IMP d.d. Kamniška enota proizvaja toplotne izmenjevalce, medtem ko se ljubljanska enota osredotoča na proizvodnjo ventilov za optimizacijo daljinskega in stavbnega ogrevanja. Glede na letno poročilo 2023 ima podjetje v Sloveniji skupno 550 zaposlenih na obeh lokacijah. V letu 2023 je podjetje Danfoss Trata, d. o. o. doseglo 163,5 milijonov evrov prihodka od prodaje in ustvarilo EBITA (angl. earnings before interest and taxes) 34,3 milijona evrov (Danfoss Trata, 2024).

Proizvodna enota podjetja je specializirana za končne izdelke na področju regulacije sistemov ogrevanja – vključno s stanovanjskimi in daljinskimi sistemi. Proizvodna enota omogoča tako serijsko proizvodnjo kot tudi personalizirano izdelavo določenih končnih izdelkov, s čimer zagotavlja prilagodljivost za različne segmente trga. Skozi zadnje obdobje izvajajo investicije v avtomatizacijo in optimizacijo svojih proizvodnih procesov. V podjetju imajo zasnovan proizvodni proces od obdelave surovega materiala (npr. jeklena palica) do izdelave končnega izdelka (npr. regulacijska ventila za ogrevalni sistem). Preko proizvodnega procesa se poslužujejo delne vertikalne integracije, kar pomeni, da izdelujejo večje število komponent, potrebnih za montažo končnega sestava. Seveda ima podjetje dobavitelje, ki dobavljajo preostale sestavne dele za izdelavo končnega izdelka. Ti deli so lahko že končne narave in opredeljeni kot del sestava ali pa so lahko še dodatno obdelani v tovarni podjetja. Proizvodni proces lahko ločimo na dva ključna sklopa, in sicer na mehansko obdelavo ter montažo. V sklopu mehanske obdelave se vhodnemu materialu spremeni oblika oziroma karakteristike materiala. Obdelan material je uporabljen kot sestavni del za sestav končnega izdelka v sklopu montaže. V tem delu proizvodnje se proizvode (komponente) iz mehanske obdelave nato sestavi v zaključen sestav (npr. ohišje ventila se poveže z elementi regulacije). Predstavljena zasnova proizvodnje podjetju hkrati omogoča prilagajanje zahtevam po serijski proizvodnji in personalizirani proizvodnji končnih izdelkov iz asortimaja.

Podjetje deluje brez skladišča za končne izdelke. Vsi proizvedeni končni izdelki se ob koncu vsakega delovnega dne pošljejo neposredno v centralni distribucijski center na Danskem, kjer upravljajo zaloge končnih izdelkov in izpolnjujejo povpraševanje. Centralni distribucijski center (angl. Central Distribution Center, v nadaljevanju CDC) vodi natančne podatke o zalogah končnih izdelkov, na podlagi katerih podjetje nato določa količine potrebnih proizvodov za proizvodnjo. Na lokaciji v Sloveniji poteka proces uravnavanja zalog proizvodov in surovih materialov. V skladišču podjetja se nahaja več enot proizvodov (komponent) iz mehanske obdelave kot pa končnih izdelkov v CDC. Slednje omogoča hitro odzivanje na povpraševanje in preprečuje zamude v oskrbovalni verigi. Ključno načelo celotnega sistema je pokrivanje povpraševanja iz zaloge, kar zahteva natančno planiranje proizvodnje in sprotno uravnavanje zalog na vseh ravneh oskrbovalne verige.

Podjetje stremi k načelom vitke proizvodnje, pri čemer si prizadeva za zmanjševanje izgub z zasnovo proizvodnih procesov, ki odpravljajo odpadke, neučinkovitosti in nepotrebne stroške. S standardizacijo procesov in uvajanjem najboljših praks podjetje viša produktivnost, saj dosega višjo hitrost in kakovost. Podjetje dosega hitro preklapljanje med različnimi serijami proizvodov brez večjih motenj ter prilagoditev obsega proizvodnje glede na povpraševanje.

V oskrbovalni verigi podjetje stremi k visoki stopnji integracije. Z vertikalno integracijo proizvaja številne ključne komponente za svoje končne izdelke, kar povečuje kontrolo kakovosti in znižuje stroške. Poleg tega s tesnim sodelovanjem z dobavitelji, ki so strateški partnerji, zagotavlja materiale in polproizvode visoke kakovosti. Za podjetje je analiza določitve velikosti proizvodne serije pomembna, saj poizkušajo na delovnih mestih

optimizirati proizvodne procese in skladiščenje proizvodov tekom proizvodnih procesov. Za podjetje je ključno znanje, kateri modeli omogočajo analiziranje velikosti proizvodnih serij in razumevanje razlogov za odstopanje od obstoječih velikosti proizvodnih serij.

### 3.2 Opis oskrbovalne verige in proizvodnih procesov

Osredotočamo se na proces proizvodnje in tok materiala skozi eksterno ter interno oskrbovalno verigo podjetja. Pred podrobno razlago in analizo je potrebno razjasniti terminologijo izrazov v podjetju. Tekom celotnega poglavja 3 in analize novih parametrov planiranja proizvodnega procesa (poglavje 4) se uporablja naslednja terminologija: surovi material, polproizvod, proizvod in končni izdelek. Te terminološke enote so za obravnavan primer podjetja definirane kot navedeno v nadaljevanju:

- Surovi material: predstavlja osnovne vhodne surovine oziroma material, ki jih podjetje pridobi od dobaviteljev in jih v začetnih fazah proizvodnega procesa uporablja kot osnovo za nadaljnjo obdelavo (npr. jeklene palice, medenina itd.).
- Polproizvodi: proizvodi, ki jih podjetje pridobi od dobaviteljev in so lahko že pripravljene na montažo ali pa delno pripravljene na dodelavo v mehanski obdelavi. Te enote v analizi magistrskega dela niso obravnavane.
- Proizvod: označuje vmesne proizvode oziroma sestavne dele, ki nastajajo v različnih fazah proizvodnega procesa. Ti sestavni deli so rezultat delnih obdelav, ki so po končni mehanski obdelavi pripravljene na lakiranje in v naslednjem koraku za proces montaže.
- Končni izdelek: končni rezultat proizvodnega procesa montaže, ko je popolnoma dokončan in pripravljen za proces embaliranja oziroma posledično pripravljen za transport v distribucijski center.

Podjetje Danfoss Trata je eno izmed proizvodnih lokacij podjetja Danfoss, ki se nahaja v Ljubljani. Lokacija v Ljubljani je neposredno povezana s preostalimi lokacijami proizvodnih tovarn, saj sodelujejo tako pri razvoju njihovih končnih izdelkov, kot pri optimizaciji dobaviteljskega ter logističnega sistema. Evropske tovarne neposredno povezujejo skupni distribucijski centri končnih izdelkov, kjer se skladiščijo izdelki iz evropskih proizvodnih tovarn. Tako imajo glavni distribucijski centri neposreden nadzor nad prodajo in zalogo končnih izdelkov. Danfoss na ta način znižuje razpršeno skladiščenje končnih izdelkov in posledično zmanjša potreben skladiščni prostor na proizvodnih lokacijah. S tem omogoči povečanje kapacitet proizvodnje ali razporeditev prostora med preostale oddelke. Proizvodni proces v podjetju delimo na dva glavna oddelka – mehanska obdelava in montaža. Ob omenjenih oddelkih sta prisotna še lakirnica in embalirnica, ki sta nekoliko manj obsežna od mehanske obdelave in oddelka montaže. Na oddelku mehanske obdelave 80 % procesov poteka na računalniško numerično krmiljenjih (angl. Computer Numerical Control, v nadaljevanju CNC) obdelovalnih strojih, kjer se izvaja preoblikovanje surovega materiala v proizvod, pripravljen za postopke sestavljanja na oddelku montaže. Preoblikovanje materiala na oddelku mehanske obdelave poteka v obliki struženja, vrtnanja, frezanja in

drugih manjših ročnih procesov. Ko je proizvod dokončno preoblikovan glede na zahteve podjetja, se pripravi za lakiranje oziroma nanos zaščitnih slojev laka. Iz skladišča se zgoraj omenjene proizvode nato uporabi na oddelku montaže. Na oddelku se končne izdelke sestavi iz proizvodov, ki so se izdelali na oddelku mehanske obdelave, polizdelkov od dobaviteljev in standardnih izdelkov (vijaki, matice, podložke itd.). Vsi ti naštetih proizvodi oziroma izdelki tvorijo končni izdelek na zadnji postaji oddelka montaže. Na oddelku montaže so postavljena zaporedna delovna mesta, na katerih zaposleni sestavljajo končni izdelek. Na začetnih delovnih mestih se sestavljajo večji in bolj kompleksni elementi, medtem ko se proti končni postaji osredotočajo na montažo manjših komponent, regulacijskih kosov ter zadnjih nastavitev končnih izdelkov. Obe izbrani delovni mesti se nahajata v oddelku mehanske obdelave. Delovno mesto struženja je izhodišče v proizvodnem postopku, saj se na tem mestu obdeluje kar 90 % vseh proizvodov, ki vstopijo v proces. Po zaključeni obdelavi na stružnici se proizvodi prepeljejo v skladišče, kjer se začasno shranijo do nadaljnje obdelave. Naslednja faza proizvodnega postopka vključuje delovno mesto frezanja, na katerega se proizvodi iz skladišča transportirajo glede na potrebe in zahteve nadaljnje proizvodnje. Proizvodna procesa na delovnih mestih sta bolj natančno opredeljena v poglavjih 3.4.1 in 3.4.2.

Na obravnavanih delovnih mestih mehanske obdelave se po dopolnitvi logistične enote z zaključenimi proizvodi slednje vedno transportira v skladišče. Transport se izvede preko specializiranih logističnih vozičkov, ki jih upravljajo zaposleni v proizvodni logistiki. Zaposleni takoj po prevzemu logistične enote optično prebere kodo na logistični enoti in tako v istem trenutku v ERP sistemu zabeležijo proizvode oziroma material na zalogi v skladišču. Večina proizvodov, ki se zaključijo z obdelavami na mehanskem delu proizvodnje, nato transportirajo iz skladišča v lakirnico. Ko je proizvod končan in pripravljen na postopek montaže, se hrani v skladišču do potreb v oddelku montaže. V času potreb na oddelku montaže se proizvode vleče iz skladišča v obsegu, ki je zahtevan s strani oddelka interne oskrbovalne verige. Oddelek montaže deluje bolj fleksibilno od oddelka mehanske obdelave, saj deluje v serijah z manjšimi količinami končnih izdelkov, ki so nato dnevno pripravljene na transport v centralni distribucijski center v Evropi. Podjetje tako drži le zalogo proizvodov v procesu in ne končnih izdelkov.

Za delovanje proizvodnega podjetja je pomembno dobro poznati končne kupce in centralni distribucijski center. V oskrbovalni verigi Danfoss Trate so tako končni kupci kot CDC ključni pri delovanju njihovega sistema dobave končnih izdelkov, ki so v veliki večini ventili, elektromotorni pogoni, regulatorji in termostati. Skoraj 90 % končnih izdelkov podjetja se uporablja za večje poslovne sisteme ogrevanja ali hlajenja, kot so poslovne stavbe, industrijski objekti, večstanovanjske zgradbe, naselja itd. Tako so embalažne enote za končne proizvode večje, saj nabava poteka v večjih količinah za namen vgradnje v novogradnje oziroma servisiranje omenjenih vrst objektov. Le 10 % izdelkov iz asortimaja izdelkov podjetja pristane v maloprodaji. Slednje neposredno vpliva na določitev velikosti proizvodnih serij tako končnih izdelkov na oddelku montaže kot tudi proizvodov v interni

oskrbovalni verigi. Omenjena specifika vpliva na proces embaliranja in vodenja zalog v CDC-ju v sklopu končnih izdelkov podjetja Trate. Takšen proces ureditve oskrbovalne verige podjetja omogoča maloserijsko proizvodnjo, ki stremi k agilni in fleksibilni zasnovi proizvodnje ter skladišča.

V analizi delovanja procesa proizvodnje je pomembno poudariti ozadje temeljev konceptov proizvodnje v podjetju. Koncept proizvodnje MRP sistema predvideva pokrivanje povpraševanja z zalogo materiala/proizvodov/končnih izdelkov. V podjetju pokrivanje povpraševanja temelji na konceptu MRP sistema, ki ima tekom svoje celotne oskrbovalne verige razporejene zaloge za izpolnjevanje naročil. Podjetje sicer deluje v okviru maloserijske proizvodnje, kar posledično pomeni nizke zaloge tako v procesu kot tudi v skladiščih. Podjetje ima na trgu slabo natančnost predvidevanja povpraševanja, kar se odraža v zalogah končnih izdelkov in proizvodov v lastnem skladišču. Kljub temu podjetje stremi k zniževanju zalog vseh proizvodov skozi oskrbovalno verigo. Koncept fleksibilne proizvodnje pa ne predvideva le znižanja zaloge, vendar ob tem poudarja pomembnost preostalih dejavnikov, ki jih v podjetju skušajo skozi planiranje in proces proizvodnega procesa uporabiti. Zniževanje odpadnega materiala dosega z ustreznim planiranjem parametrov naprav, kar omogoča optimizacijo proizvodnih procesov. Poleg tega je ključno stalno izobraževanje zaposlenih, zlasti CNC operaterjev, saj krivulja učenja neposredno vpliva na njihovo učinkovitost in zmanjšanje napak v proizvodnji. Posodobitve proizvodnih procesov v podjetju temeljijo na robotizaciji postopkov proizvodnje, čeprav je na področju mehanske obdelave težko doseči visoko raven avtomatizacije. Robotizacija in avtomatizacija prispevata k boljši ponovljivosti in stabilnosti procesov. Čas nastavitve naprav krajšajo z učinkovitim planiranjem in vzdrževanjem proizvodnih družin, kar dodatno izboljšuje produktivnost. Uporabljajo boljše materiale za proizvode in orodja, kar zmanjšuje obrabo oziroma odpad na delovnem mestu, s čimer se povečata trajnost ter kakovost proizvodnje.

### **3.3 Opis planiranja proizvodnje**

Pred analizo trenutnega stanja je potrebno poznati procesa planiranja in proizvodnje, ki sta osnova za pravilno oceno učinkovitosti ter produktivnosti proizvodnje. Vhodni podatek napovedi povpraševanja je pri planiranju proizvodnje v podjetju ključnega pomena. Potrebno je poznati trenutno povpraševanje po končnih izdelkih in vpliv povpraševanja na planiranje proizvodnega procesa. Na podlagi štirih vrst vhodnih podatkov podjetje določi srednjeročni plan oziroma napoved povpraševanja po končnih izdelkih, in sicer:

- Naročilo končnih izdelkov, kjer končni kupec potrди dejanske končne količine izdelkov. Kot primer kupec podjetju definira, da vsak peti dan v mesecu potrebuje 1.000 končnih izdelkov. Glede na potrjeno naročilo lahko podjetje določi dejanske količine, ki jih vpelje v proizvodnjo in do potankosti določi potek proizvodnje za končni izdelek. Takšnih naročil je v povprečju le okoli 20 %, saj sistem temelji na napovedih (opredeljeno v

naslednji alineji). Ker so to potrjeni proizvodni nalogi, lahko slednje determiniramo kot kratkoročni plan. V podjetju kratkoročni plan obravnavajo v obdobju od enega pa tudi do štiri tedne, odvisno od končnih kupčevih naročil in stanja zalog v distribucijskem centru.

- Napoved prodaje končnih izdelkov, kjer kupec napove kaj bo kupil v planskem letu. Podjetje ima pogodbe z njihovimi kupci za končne izdelke, ki določajo, kaj se zgodi, v kolikor kupec ne kupi napovedane količine končnih izdelkov. Pogodbe so sestavljene interno med kupcem in podjetjem ter določajo, kdo nosi stroške v primeru izpada definirane količine. Kupci večinoma definirajo napovedi za obdobje 11 mesecev, medtem ko za 1–4 tedne izdajo naročila, ki so definirana v prejšnjem odstavku. Pogodbe morajo biti natančno opredeljene, saj podjetje glede na napovedi z dobavitelji določi količine materiala. Pri določanju pogodbenih določil in možnosti prilagoditev glede obsega dobave končnih izdelkov je ključnega pomena natančno poznavanje dobavnih časov znotraj oskrbovalne verige. Reševanje primanjkljajev ali presežkov končnih izdelkov je potrebno strateško obravnavati bodisi z vzpostavitvijo zalog pri dobavitelju bodisi z zalogami v lastnih skladiščnih prostorih.
- Povpraševanje ni ne napoved niti ne naročilo. Povpraševanje podjetje pridobi od končnih kupcev, v veliki večini od podjetij, ki so izvajalci strojnih inštalacij ali serviserjev. Povpraševanje ni obvezujoče, vendar se kljub temu končnemu kupcu definira dobavne roke in preveri zaloga končnih izdelkov v lastnih skladiščih. Po pridobljenem povpraševanju po končnih izdelkih podjetje glede na kosovnico končnega izdelka določi dobavne roke proizvodnje in dobave materialov od dobaviteljev. V tem primeru podjetje že izkaže zanimanje za potrebne materiale glede na kosovnico za proizvodnjo končnega izdelka.
- Podatki o prodaji končnih izdelkov v preteklih obdobjih – podjetje operira z veliko količino podatkov za pretekla obdobja, kar jim omogoča natančne analize pretekle rabe končnih proizvodov. V računskih modelih s pomočjo statističnih kazalcev, kot je npr. standardni odklon, ocenjujejo nihanje v podatkih prodaje in prepoznajo nenavadna odstopanja od povprečij pretekle prodaje.

Oddelek prodaje pripravi srednjeročni oziroma letni plan za dejanska naročila končnih izdelkov in napovedi kupcev glede na lastne podatke ter podatke o naročilnih količinah s strani distribucijskega centra. Na srednjeročni ravni se planira skupna proizvodnja končnih izdelkov za obdobje nekaj mesecev do enega leta, pri čemer se upoštevajo napovedi, povpraševanja ter razpoložljive zmogljivosti (zaposleni, naprave, skladišče). Ta plan služi kot osnova za določitev potreb po končnih izdelkih in surovih materialih. Nato sledi definiranje operativnega plana po proizvodih z uporabo sistema MRP, ki vključuje več korakov. Sistem MRP razčleni potrebo po materialih glede na kosovnico končnega izdelka, razpoložljivo zalogo in časovne dejavnike. Na podlagi teh podatkov se izračuna potreba po materialih, kar omogoča določitev potrebnih količin, časovnih razporedov za proizvodnjo proizvodov in planiranje nabave materiala. Pri tem se upoštevajo časi izdelave, transporta in montaže, da se zagotovi pravočasna razpoložljivost komponent in surovin. Prehod na

operativni plan vključuje pripravo delovnih nalogov za proizvodne procese ter izdajo naročil za potrebne materiale. Ves čas se izvajajo redni pregledi in prilagoditve, da se obvladajo spremembe povpraševanja, zamude v dobavi ali proizvodni oziroma tehnološki izzivi.

Po pridobitvi kratkoročnega plana oziroma končnih količin proizvodov planer glede na razpoložljivo kapaciteto naprav v mehanski obdelavi razporedi obdelavo proizvodov na delovno mesto oziroma napravo in določi ustrezno število menjav. Kapaciteta naprav je omejena, vendar ima podjetje v proizvodnji 18 naprav mehanske obdelave, kar pomeni, da ima proizvodnja več CNC stružnic in rezkarjev. Glede na navedeno lahko planer – v kolikor ima prezasedeno stružnico – nekatere proizvode v tednu oziroma mesecu razporedi na preostale stružnice. Planer v oddelku planiranja proizvodnje glede na lastne izkušnje definira ustrezne velikosti proizvodnih serij ter glede na stanje operativnega plana zalogo proizvodov in dejanska naročila. Trenutno v podjetju na oddelku mehanske obdelave zaradi specifičnosti proizvodnega procesa še ne računajo optimalnih velikosti proizvodnih serij. Nekateri proizvodi na oddelku mehanske obdelave imajo tako zalogo kot tudi varnostno zalogo, kar omogoča hitrejše izpolnjevanje delovnih nalogov na oddelku montaže za sestavo končnih izdelkov. V tem primeru planer za proizvode določi velikost varnostne zaloge, ki jo lahko tekom operativnega planiranja prav tako uporabi za dejanska naročila, ki niso bila predvidena. Planer se lahko odloči za povečanje zalog z ustreznim povečanjem velikosti proizvodne serije za določen proizvod – na primer zaradi prihajajočega remonta naprave, sprememb na proizvodu ali drugih operativnih razlogov, ki bi lahko vplivali na razpoložljivost proizvodnje. V kolikor število proizvodov na zalogi prestopi raven varnostne zaloge, lahko planer spremeni plan proizvodnje in proizvod doda na plan proizvodnje v naslednjih dveh dneh. Iz plana za naslednji dan izpusti proizvod, za katerega so zaloge še vedno nad ravnjo varnostne zaloge. Opisana motnja spremembe plana vpliva na velikost proizvodne serije na delovnem mestu, kar odraža spreminjanje velikosti proizvodne serije v planskem obdobju proizvodnje na delovnem mestu.

Na planiranje proizvodnje oddelka mehanske obdelave neposredno vpliva raba proizvodov na oddelku montaže za namen izdelave končnega izdelka. V kolikor bi kupčeva naročila in napovedi količin končnih izdelkov obveljale na začetku planskega obdobja, bi planiranje v podjetju potekalo glede na naprej definirane parametre proizvodnje. Podjetje se sooča s problemom nenatančnosti letnega plana, kar neposredno vpliva na delovanje proizvodnje. Nenatančnost napovedi povpraševanja je predvsem odraz specifične maloserijske proizvodnje, ki kaže značilnosti »butične proizvodnje«. Maloserijska proizvodnja podjetju omogoča prilagajanje specifičnim potrebam kupcev ter visoko stopnjo fleksibilnosti, s katero bolj učinkovito izpolnjuje tržne zahteve. Ob tem je napovedovanje okvar na sistemih daljinskega ogrevanja ekstremno težko, zato te okvare vplivajo na natančnost napovedi povpraševanja, ki v povprečju znaša 30 %. Spreminjanje plana in napovedanih količin po končnih izdelkih neposredno vpliva na zalogo po celotni oskrbovalni verigi podjetja. Glede na to, da podjetje uporablja strategijo pokrivanja povpraševanja na podlagi dobave iz zaloge končnih izdelkov in posledično proizvodov, slednje vpliva na dopolnjevanje zalog po

oskrbovalni verigi. Podjetje ima možnost spremljati količino zaloge končnih izdelkov v CDC-ju, vendar ne glede na to možnost sistem avtomatsko sproži naročilo za končni izdelek, v kolikor število končnih izdelkov pade pod minimalno dovoljeno zalogo. Planer v naslednjih dveh dneh spremeni plan proizvodnje in končni izdelek doda na plan oddelka montaže. Iz plana za naslednji dan izpusti končni izdelek, za katerega so zaloge še vedno nad ravno minimalno zalogo. Podjetje ima oskrbovalno verigo urejeno tako, da v petih dneh omogočijo proizvodnjo in dostavo v distribucijski center, kar imenujemo pet-dnevni dobavni čas (angl. »days delivery time«, v nadaljevanju DDT). Obe specifiki – tako planiranja kot organizacije poslovanja – vplivata na hitro spreminjajoče plane proizvodnje in procese logistike. Plan izvedbe operacij na izbranih dveh delovnih mestih je opredeljen v poglavjih 3.4.1 in 3.4.2.

### **3.4 Opis izbranih delovnih mest in vzorca proizvodov**

Analitični del magistrskega dela temelji na analizi planiranja proizvodnih serij na dveh izbranih delovnih mestih oddelka mehanske obdelave. Glede na teoretične pristope izračunov smo s pomočjo oddelka interne oskrbovalne verige pridobili podatke iz njihovega ERP sistema in jih analizirali. Izbrali smo štiri proizvode na delovnem mestu frezanja Moiri Seiki (označene s številkami od 1 do 4) in štiri proizvode na delovnem mestu struženja Nakamura (označene s številkami od 5 do 8). Izbrani proizvodi predstavljajo tipične primerke letnega povpraševanja, razdeljeni so v štiri kategorije, iz vsake pa smo vključili enega. Proizvodnjo smo razporedili na dve delovni enoti – strožnico in frezalo – kot reprezentativni napravi za celoten proizvodni proces. Posamezne teoretične pristope smo morali glede na količino podatkov smiselno ovrednotiti in določiti vzorec za analizo. Glede na velikost podjetja je obravnava celotne proizvodnje nesmiselna, zato smo na podlagi izračunov izbrali naslednje velikosti vzorcev proizvodov:

- Za izračun »Optimalna velikost proizvodne serije« smo izbrali štiri proizvode iz naprave Mori Seiki NT in štiri proizvode iz naprave Nakamura NTY3.
- Pri določanju minimalne velikosti proizvodne serije smo uporabili enak vzorec proizvodov kot v točki »Optimalna velikost proizvodne serije«.
- »Velikost proizvodne serije z upoštevanjem soproizvodnje« – uporabili smo vse proizvode, ki se izdelujejo na obeh delovnih mestih. Delovno mesto naprave Mori Seiki NT obravnava 60 proizvodov, medtem ko delovno mesto naprave Nakamura NTY3 obravnava 35 proizvodov.
- Pri izračunu »Velikost proizvodne serije z dvema kriterijema« smo uporabili le en proizvod iz delovnega mesta stružnice Nakamura.

Vzorci proizvodov smo za računske modele prilagodili, kot je opredeljeno v zgornjih alinejah. Le v primeru soproizvodnje proizvodov ima število obravnavanih proizvodov neposreden vpliv na rezultat analize problema soproizvodnje. Tako so upoštevani vsi proizvodi na obravnavanih delovnih mestih v obdobju enega leta. Posamezne rezultate

izračunov smo analizirali in definirali smiselnost teoretičnih predpostavk za obstoječe stanje proizvodnje. Obravnavali smo zunanje vplive na velikost optimalne proizvodne serije, ki so v začetni fazi definirani kot predpostavke. V zaključnem delu naloge smo opredelili vpliv proizvodne serije na zalogo proizvodov. Za proizvod 6 na delovnem mestu stružnice Nakamura smo analizirali pretekle podatke zaloge in proizvodnje ter nato glede na tedenski plan definirali gibanje zaloge glede na različne izračunane nove velikosti proizvodne serije. Tekom magistrskega dela smo se osredotočili le na parameter velikosti proizvodne serije na obravnavanih delovnih mestih in vpliv vhodnih podatkov na število proizvodov v proizvodni seriji. Zaradi obsežnosti sistema in tematike smo izpustili faktorje, ki so neposredno vezani na proizvodnjo in uravnavanje zalog:

- varnostna zaloga (angl. safety stock),
- dobavni roki (angl. lead times),
- točka ponovnega naročila.

V obravnavo smo vključili dve delovni mesti iz oddelka mehanske obdelave, za kateri smo pridobili ustrezen vzorec proizvodov za preračun optimalne proizvodne serije. Kot pogoj pri izbiri delovnih mest smo upoštevali, da se proizvodi izdelajo od surovega materiala na obravnavanih delovnih mestih. Obravnavali smo proizvode z odvisnim povpraševanjem, kar pomeni, da je povpraševanje po teh proizvodih odvisno od končnega izdelka. Proizvod se na oddelku montaže sestavi v končni izdelek in je del končnega sestava.

#### 3.4.1 Delovno mesto – frezanje

Delovno mesto Mori Seiki NT je CNC naprava za operacijo rezkanja in vrtnanja. Rezkanje je proces obdelave, pri katerem se material odstranjuje s pomočjo rotacijskih rezalnih orodij. Obdelovanec je pri tem fiksiran v nepremični napravi za držanje, kot je primež. Ta postopek lahko primerjamo s struženjem, kjer je obdelovanec pritrjen v vrtečem se držalu, imenovanem vpenjalna glava. Med rezkanjem se material odvzema tako, da se obdelovanec premika pod določenim kotom glede na orodje (Desai in Mital, 2018). Na napravi upravljalec nastavlja surovi material na vpenjanje in ga odstrani po obdelavi iz naprave. Izdelane proizvode operater sklada na logistično enoto poleg delovnega mesta. Po dopolnitvi logistične enote s proizvodi jo operater logistike odpelje v skladišče, kjer jo ustrezno namestijo na regalno mesto. Operater na izmeno dela na dveh CNC strojih zaradi izboljšanja kapacitete zaposlenega. Naprava Mori Seiki je v letu 2023 delovala 2.705 ur. V letu 2023 je CNC frezalni stroj povprečno deloval v dveh izmenah, kar znaša 14 operativnih ur na delovni dan. Pri določanju operativnih ur delovnega mesta je potrebno upoštevati odmore operaterja CNC frezalnega stroja, ki znašajo približno eno uro na izmeno.

Procesi na delovnih mestih mehanske obdelave so specifični, saj hkrati zahtevajo tehnološke prilagoditve tekom izdanih proizvodnih nalogov. Pri ulitkih in jedrih lahko občasno pride do manjših zamikov ali nepravilnosti. Takšne napake običajno ne vplivajo na kakovost izdelka,

saj jih je mogoče odpraviti z dodatnim struženjem in centriranjem. V primerih, ko se pojavljajo majhne nepravilnosti, je pogosto mogoče z dodatno obdelavo doseči želene dimenzije in funkcionalnost. Drugi primer spremembe velikosti proizvodnih serij na delovnem mestu je lahko v obdobjih z visoko zračno vlago. Nekateri materiali so lahko v enojnem embalažnem paketu zapakirani v večkratnik kosov. Takrat lahko tehnolog in planer prilagodita število proizvodov na proizvodno serijo. Prilagodita lahko prav tako proizvodno serijo (npr. 20 proizvodov namesto 10), da se zmanjša tveganje za korozijo preostalega materiala, ki bi se shranil v skladišču z odprto embalažo. Obdelani proizvodi po mehanski obdelavi takoj preidejo v proces lakiranja. Serija, manjša od 20 proizvodov, bi lahko bila bolj izpostavljena rjavenju, kar bi zahtevalo dodatno peskanje za odstranitev korozije, s čimer bi se povečali stroški in podaljšal proizvodni proces. Takšne tehnološke zahteve vplivajo na spremembo plana na delovnem mestu mehanske obdelave.

### 3.4.2 Delovno mesto – struženje

Na delovnem mestu struženja smo izbrali CNC stružnico tipa Nakamura NTY3. Struženje je mehanski postopek obdelave, pri katerem se obdelovanec vrti glede na os naprave. Pritrditev obdelovanca poteka v vrteči vpenjalni glavi, ki omogoča natančno obdelavo materiala (Desai in Mital, 2018). Princip delovanja delovnega mesta struženja je enak kot delovanje delovnega mesta, opredeljenega v poglavju 3.4.1. Na napravi upravljalec nastavlja surovi material na vpenjalno glavo in nato proizvode odvzame iz naprave po obdelavi. Izdelane proizvode operater sklada na logistično enoto poleg delovnega mesta. Po dopolnitvi logistične enote s proizvodi jo operater logistike odpelje v skladišče, kjer jo ustrezno namestijo na skladiščne regale. Operater dela na izmeno na dveh CNC strojih zaradi izboljšanja kapacitete zaposlenega. Delovno mesto stružnice Nakamura NTY3 je v letu 2023 obratovalo 2.513 ur. CNC stružnica je v letu 2023 opravila operativni čas delovanja v povprečju dve izmeni na delovni dan.

## 3.5 Analiza trenutnega stanja (velikosti proizvodnih serij)

Analiza stanja proizvodnih serij in odjemov iz skladišč za proizvode na izbranih delovnih mestih je bila izvedena za obdobje leta 2023. Za obravnavani delovni mesti je opravljena analiza glavnih dveh parametrov, ki določata dinamiko delovanja proizvodnega procesa na samem delovnem mestu. Za osem proizvodov so definirane proizvodne serije, ki so se izdelovale v letu 2023 in odjem proizvodov iz skladišča podjetja. Za izbranih osem proizvodov je v tabeli 2 prikazano naslednje:

- povprečna velikost proizvodne serije in povprečno število proizvodov, odvzetih iz skladišča v enem odjemu,
- maksimalna velikost proizvodne serije in maksimalno število proizvodov, odvzetih iz skladišča v enem odjemu,

- minimalna velikost proizvodne serije in minimalno število proizvodov, odvzetih iz skladišča v enem odjemu,
- število proizvodnih serij v letu 2023 in število enkratnega odjema iz skladišča.

Tabela 2 prikazuje analizo velikosti proizvodnih serij v letu 2023 za osem izbranih proizvodov. Povprečna velikost proizvodne serije pove, koliko proizvodov se je povprečno proizvedlo v proizvodni seriji. Za proizvod 1 se je v letu 2023 izvedlo 46 proizvodnih serij, v katerih se je povprečno proizvedlo 86 proizvodov. Ob tem tabela 2 prikazuje enkratne odjeme proizvodov iz skladišča za osem izbranih proizvodov. Proizvod 1 se je v letu 2023 iz skladišča odvzel 53-krat, kjer je bilo povprečno odvzetih 75 proizvodov. Odjem proizvodov iz skladiščnih prostorov označuje proces premika izbrane količine proizvodov na logistični enoti proti naslednji fazi proizvodnega procesa, praviloma na oddelek montaže.

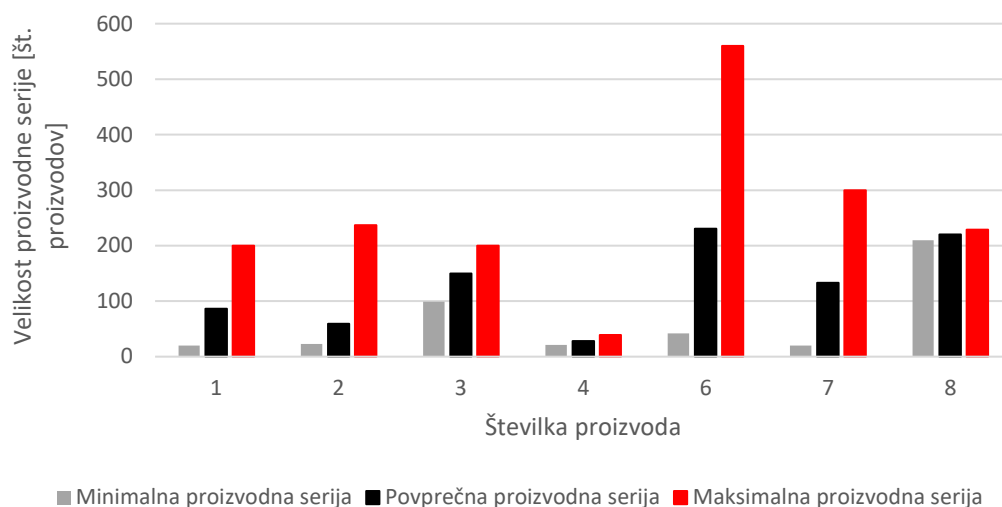
*Tabela 2: Velikosti serij in odjem proizvodov: obstoječe stanje*

| <b>Proizvod</b>  | 1   | 2   | 3   | 4  | 5     | 6   | 7   | 8   |
|--|-----|-----|-----|----|-------|-----|-----|-----|
| <b>Analiza velikosti proizvodnih serij v letu 2023</b>               |     |     |     |    |       |     |     |     |
| Povprečna proizvodna serija  | 86  | 59  | 150 | 28 | 2.689 | 231 | 133 | 220 |
| Maks. proizvodna serija  | 200 | 237 | 200 | 39 | 7.290 | 560 | 300 | 229 |
| Min. proizvodna serija   | 20  | 23  | 99  | 21 | 530   | 42  | 20  | 210 |
| Število proizvodnih serij  | 46  | 24  | 2   | 3  | 15    | 33  | 9   | 3   |
| <b>Analiza enkratnih odjemov proizvodov iz skladišča v letu 2023</b> |     |     |     |    |       |     |     |     |
| Povprečno število proizvodov v odjemu                                | 75  | 47  | 1   | 1  | 212   | 44  | 7   | 19  |
| Maks. število proizvodov v odjemu                                    | 220 | 168 | 10  | 3  | 720   | 141 | 100 | 56  |
| Min. število proizvodov v odjemu                                     | 10  | 2   | 1   | 1  | 1     | 1   | 1   | 1   |
| Število odjemov proizvodov iz skladišča                              | 53  | 32  | 263 | 87 | 202   | 177 | 191 | 37  |

*Vir: lastno delo.*

Slika 5 obravnava velikosti proizvodnih serij v letu 2023 za štiri proizvode na delovnem mestu frezanja Moiri Seiki (proizvodi 1–4) in štiri proizvode na delovnem mestu struženja Nakamura (proizvodi 5–8). Prikazane so vrednosti iz tabele 2. Velikosti proizvodnih serij za šest proizvodov zelo nihajo, kar je vidno v primerjavi maksimalne in minimalne velikosti proizvodne serije. Le v primeru proizvoda 4 in 8 se proizvodne serije tekom leta ne spreminjajo v velikim razponu med minimalno in maksimalno vrednostjo. V primeru proizvoda 1 se minimalna vrednost zniža za 131,7 % glede na povprečno vrednost, ki je obarvana s črno barvo, medtem ko maksimalna vrednost od povprečne vrednosti odstopa za 76,8 %. Analiza velikosti proizvodnih serij nam pove, da se na delovnih mestih velikosti proizvodnih serij velikokrat tekom leta spreminjajo, kar nakazuje na prilagajanje rabe proizvodov oddelku montaže oziroma napovedi po proizvodih glede na končne izdelke. Proizvod 5 na sliki 5 ni obravnavan, saj zaradi večjega števila enkratne proizvodnje ni mogoč za vizualno predstavitev rezultatov.

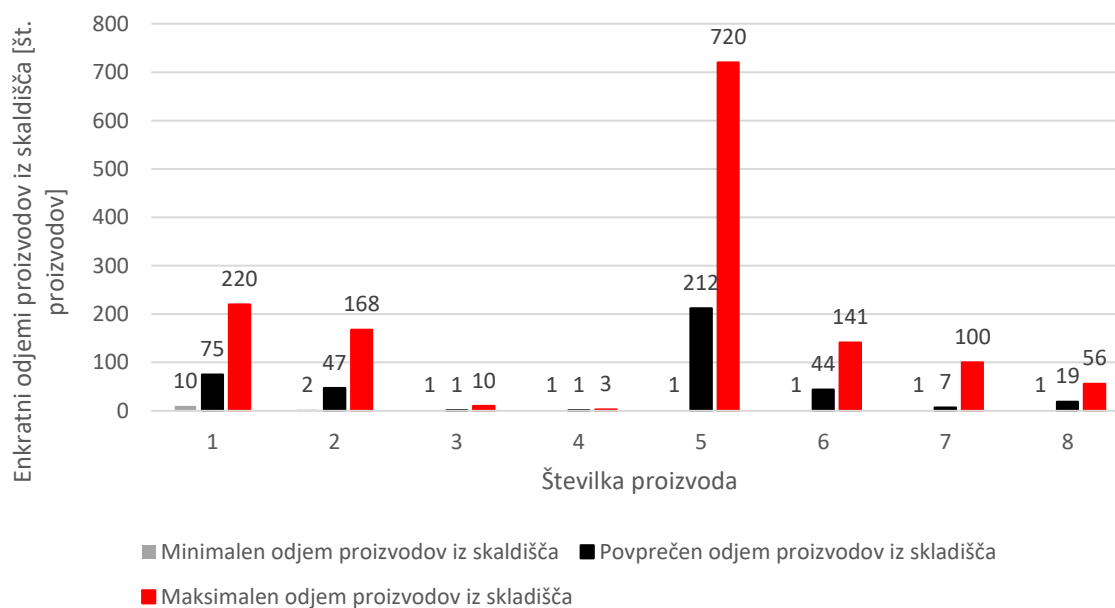
Slika 5: Velikosti proizvodnih serij za obravnavane proizvode



Vir: lastno delo.

Slika 6 prikazuje enkratne odjeme proizvodov iz skladišča. Iz spodnjih podatkov je razvidno, kako se proces montaže razlikuje od procesa mehanske obdelave. Uporaba proizvodov iz skladišča za izvedbo montaže sestava končnega izdelka je veliko bolj fleksibilen od procesov na mehanski obdelavi. V primeru proizvoda 2 so se količine proizvodov v enkratnem odjemu iz skladišča v letu 2023 gibale od minimalno dveh proizvodov do maksimalno 168 proizvodov, kar nakazuje na zelo prilagodljiv proces montaže. Na sliki 6 je razvidno, kako se razlikujejo potrebe po proizvodih za montažo med obravnavnimi proizvodi.

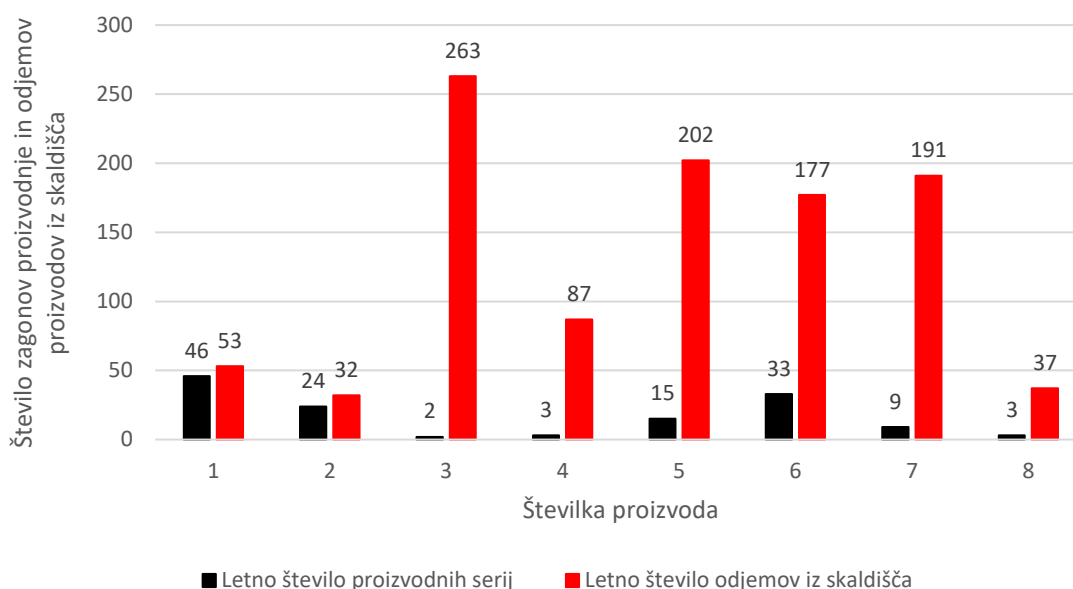
Slika 6: Analiza enkratnih odjemov proizvodov iz skladišča



Vir: lastno delo.

V zaključku analize obstoječega stanja je primerjava števila proizvodnih serij za obravnavanih osem proizvodov in število odjemov iz skladišča, kar je prikazano na sliki 7. Iz obravnavanega grafa je razvidna primerjava velikosti proizvodnih serij in velikosti odjemov iz skladišča v letu 2023. V primerih od vključno proizvoda 3 do proizvoda 8 je letno število odjema proizvodov za namen izdelave sestava bistveno višje, kot je število proizvodnih serij. Slednje pomeni, da oddelek sestave končnih izdelkov deluje bistveno bolj fleksibilno od oddelka mehanske obdelave. Proizvode se iz skladišča za izdelavo končnega izdelka vleče po manjših količinah in večkrat na letni ravni.

*Slika 7: Primerjava med številom proizvodnih serij in številom odjema iz skladišča*



*Vir: lastno delo.*

## 4 DOLOČITEV OPTIMALNIH PARAMETROV PLANIRANJA IN PREDLOG IZBOLJŠAV

### 4.1 Optimalna velikost proizvodne serije

Izračun optimalne proizvodne serije je ključni del optimizacije stroškovne učinkovitosti v proizvodnem procesu, saj omogoča natančno uravnoteženje med stroški priprave delovnega mesta in stroški skladiščenja. Optimizacija planiranja proizvodnje prispeva k racionalni uporabi virov in zmanjšanju nepotrebnih stroškov. Poleg tega je cilj izračuna zagotoviti zadostne zaloge za kontinuirano oskrbo montažnega oddelka, kar je bistveno za nemoten potek proizvodnje in pravočasno izpolnjevanje naročil. Eden izmed motivov za izračun je prikaz razlike v velikosti proizvodne serije trenutnega stanja na delovnem mestu in teoretičnega izračuna velikosti optimalne proizvodne serije. Obravnavani delovni mesti s postopkoma struženja in frezanja sta del mehanskega oddelka, kjer se izdelujejo proizvodi,

obravnavani v tabeli 2. Podjetje trenutno deluje po načelu maloserijske proizvodnje, kar jim omogoča fleksibilno montažo končnih izdelkov in nizko zalogo. Visoka kapaciteta naprav v oddelku mehanske obdelave in majhne velikosti proizvodnih serij na oddelku montaže podjetju omogoča nižanje velikosti proizvodne serije na delovnih mestih mehanske obdelave. Sočasno pa se viša število nastavitev delovnih mest, kar znižuje zmogljivost proizvodnje.

V obravnavanju velikosti optimalne proizvodne serije za delovni mesti smo operirali z vhodnimi podatki, kot so stroški skladiščenja proizvodov, stroški priprave naprav, kapaciteta in zmogljivost delovnega mesta, število operativnih ur proizvodnje ter podatki o napovedi povpraševanja. Trenutni sistem določanja velikosti proizvodne serije v podjetju je bolj natančno opredeljen v poglavju 3.3. Za primerjavo z obstoječim stanjem sta obravnavana velikost proizvodne serije in število izvedenih serij v obdobju enega leta. Izračun temelji na teoriji iz poglavja 2.3.1, ki je zasnovan na podlagi osnovnega modela EOQ. Računski model ima za sistem planiranja proizvodnje podjetja več naslednjih predpostavk, in sicer:

- Neupoštevanje soproizvodnje proizvodov na naprav – računski model ne upošteva faktorja soproizvodnje preostalih proizvodov na napravi, zato je kapaciteta naprave neskončna in neomejena. V realnem primeru podjetja se na delovnem mestu proizvaja več proizvodov, zato soproizvodnja proizvodov vpliva na velikost proizvodne serije.
- Odjem proizvodov iz skladišča je na dnevni ravni določen preko povprečja letne napovedi povpraševanja po proizvodih. V podjetju nimajo konstantnega odjema proizvodov v nadaljnjo proizvodnjo, kot slednje predvideva računski model, vendar glede na situacijo preostalih procesov v podjetju uporabijo več proizvodov hkrati (npr. celotno logistično enoto).
- Podjetje ima vnaprej znane dogovore in obsege dobav materiala oziroma polproizvodov. Teoretični model teh omejitev ne upošteva, saj določi velikost proizvodne serije le glede na stroškovne vidike proizvoda.
- Stroški priprave delovnega mesta in skladiščenja se ne spreminjajo skozi uporabljeno obdobje v izračunu. V primeru podjetja se oba stroška tekom obdobja enega leta ne spreminjata in ostajata enaka, kot je to upoštevano v računskem modelu.
- Izpadi zalog ali pomanjkanje proizvodov niso omogočeni – vedno je na voljo dovolj proizvodov za pokrivanje povpraševanja.
- Cena materiala ali polproizvoda je definirana iz dogovorov podjetja in dobavitelja, hkrati ni količinskih popustov za večja naročila. V primeru podjetja slednje velja, saj ima podjetje vnaprej določene cene materialov in končnih izdelkov ter ne upoštevajo količinskih popustov.
- Dobavni čas proizvodov oziroma materiala je stalen in nespremenjen. Računski model izpušča vpliv časovnih dejavnikov planiranja proizvodnje, kar v primeru podjetja ne drži, saj dobavni čas vpliva na velikost proizvodne serije.

Za posamezen vhodni podatek je opravljena obrazložitev specifikacije in izvira podatka, kar je prikazano v tabeli 3. Potrebno je poudariti, da se pri vhodnem podatku »Letni strošek skladiščenja proizvoda H« upošteva celotna zaloga z varnostno zalogo.

Tabela 3: Obrazložitev in vir vhodnih podatkov iz tabele 4

| Št. proizvoda  | Obrazložitev pridobitve podatka   |
|--|---|
| Strošek priprave delovnega mesta R [€/pripravo]                                | Podatek določen s strani podjetja za proizvodnjo serije proizvoda.  |
| Letni plan potreb proizvodov glede na napoved povpraševanja D [št. proizvodov] | Letni plan potreb proizvodnje je izvožen iz MRP sistema podjetja, katerega se razčleni do tedenske ravni. Letni plan potreb proizvodov se definira glede na napoved povpraševanja končnih izdelkov in njihovih kosovnic.  |
| Čas nastavitve naprave za proizvod [min]                                       | Podatek, določen s strani podjetja za proizvodnjo serije proizvoda.   |
| Čas proizvodnje [min/proizvod]   | Podatek, določen s strani podjetja za izdelavo proizvoda.   |
| Število proizvodov na logistični enoti [št. proizvodov]                        | Podjetje ima za vsak proizvod definirano, koliko proizvodov je na posamezni logistični enoti.   |
| Maksimalna letna proizvodna kapaciteta [št. proizvodov]                        | Letna količina proizvedenih proizvodov, v kolikor bi na delovnem mestu izdelovali le izbran proizvod. V izračunu je upoštevanih 250 delovnih dni v letu in 14 urni operativni delovnik. Glede na čas proizvodnje proizvoda je tako izračunana letna proizvodna kapaciteta.  |
| Maksimalna dnevna proizvodna kapaciteta p [št. proizvodov]                     | Dnevna proizvodna kapaciteta je izračunana glede na 14 urni operativni delovnik in čas izdelave proizvoda.  |
| Letni strošek skladiščenja proizvoda H [€/proizvod]                            | Podjetje ima znan strošek mesta logistične enote, ki znaša 0,33 €/dan/logistično enoto. Znesek se nato razdeli glede na število proizvodov na logistični enoti ob predpostavki stalne zapoljenosti. Tako je pridobljena cena skladiščenja na proizvod, vendar je potrebno za pridobitev letnega stroška še pomnožiti s 365 dnevi. |

*Vir: lastno delo.*

Optimalna proizvodna serija je temelj za učinkovito uravnavanje zalog in spreminjanje stroškovnih vidikov. Upoštevali smo, da so stroški nastavitve delovnega mesta različni in odvisni od proizvoda na delovnem mestu. V tabeli 4 smo prikazali vhodne podatke za izračun optimalnih velikosti proizvodnih serij in stroškov, povezanih na pripravo delovnega mesta ter skladiščenja proizvodov. Ob tem vhodni podatki služijo za preračun skupnih stroškov obstoječih povprečnih velikosti proizvodnih serij iz poglavja 3.5. Primerjava velikosti proizvodne serije je potekala med parametri leta 2023 in izračunanimi parametri glede na vhodne podatke za obdobje od junija 2023 do junija 2024.

Iz tabele 5 je razvidno, da se za vse proizvode trenutni letni plani potreb po proizvodih gibljejo med največ 44.000 proizvodov in 50 proizvodov na leto. Letni plani so definirani na osnovi napovedi povpraševanja po končnih izdelkih. Ti so v analizi obravnavani kot srednjeročni plani za letno plansko obdobje, kjer so količine določene glede na kosovnico končnega izdelka. Število proizvodov v letnem planu potreb se je izračunalo kot vsota tedenskega plana potreb. Letni plani potreb po proizvodih se na letni ravni zelo razlikujejo med proizvodi, kar vpliva na težavnost planiranja velikosti proizvodnih serij in obravnavanje zmogljivosti delovnega mesta.

Tabela 4: Vhodni podatki za preračun velikosti proizvodnih serij

| Št. proizvoda   | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Strošek pripravo naprave nastavitve R [€/pripravo]    | 62,00 € | 62,00 € | 62,00 € | 93,00 € | 31,00 € | 31,00 € | 77,50 € | 31,00 € |
| Letni plan D [št. proizvodov]                         | 4.825   | 1.680   | 250     | 50      | 44.000  | 44.000  | 1.500   | 500     |
| Čas nastavitve naprave za proizvod [min]              | 120     | 120     | 120     | 180     | 60      | 60      | 150     | 60      |
| Čas proizvodnje [min/proizvod]                        | 9,9     | 12,4    | 4,3     | 18,3    | 1,6     | 4,2     | 3,9     | 2,0     |
| Število kosov na logistični enoti [št. proizvodov]    | 144     | 102     | 27      | 4       | 5000    | 42      | 30      | 105     |
| Maks. letna proizvodna kapaciteta [št. proizvodov]    | 21.174  | 16.916  | 48.611  | 11.457  | 133.588 | 50.000  | 53.846  | 104.478 |
| Maks. dnevna proizvodna kapaciteta p [št. proizvodov] | 85      | 68      | 194     | 46      | 534     | 200     | 215     | 418     |
| Letni strošek skladiščenja proizvoda H [€/proizvod]   | 0,84 €  | 1,18 €  | 4,46 €  | 30,11 € | 0,02 €  | 2,87 €  | 4,02 €  | 1,15 €  |

Vir: lastno delo.

Tabela 5: Letni plan rabe proizvodov za omenjeni delovni mesti

| Številka proizvoda         | 1     | 2     | 3   | 4  | 5      | 6      | 7     | 8   |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|--------|--------|-------|-----|
| Letni plan rabe proizvodov | 4.825 | 1.680 | 250 | 50 | 44.000 | 10.010 | 1.500 | 500 |

Vir: lastno delo.

Legenda uporabljenih vhodnih podatkov za izračun velikosti proizvodne serije:

$Q$  – velikost proizvodne serije [št. proizvodov],

$I_m$  – maksimalna zaloga v ciklu [št. proizvodov],

$S_S$  – skupni stroški [EUR],

$S_H$  – strošek skladiščenja proizvoda v časovnem obdobju [EUR],

$S_p$  – strošek priprave delovnega mesta v časovnem obdobju [EUR],

$n$  – optimalno število proizvodnih serij na leto.

V tabeli 6 je prikazana primerjava stroškov ob predpostavki proizvodnje v velikosti optimalne velikosti proizvodne serije in med povprečnimi vrednostmi proizvodnih serij v letu 2023. Obstoječe velikosti proizvodnih serij  $Q$  so izračunane kot povprečje izvedenih proizvodnih serij preteklih delovnih nalogov, kar je bolj podrobno obravnavano v poglavju 3.5. Za predstavitev izračunanih podatkov v tabeli 6 je uporabljen primer izračuna optimalne velikosti proizvodne serije za proizvod 2. Na podlagi obstoječih velikosti proizvodnih serij je najprej izračunana maksimalna ciklična zaloga, pri čemer je za primer izračuna, ki je uporabljena proizvodna serija proizvoda 2, zmanjšana za faktor ciklične rabe tega proizvoda.

Enačba (17) prikazuje izračun maksimalne ciklične zaloge za obstoječo velikost proizvodne serije proizvoda 2.

$$I_m = Q \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) = 59 \cdot \left(1 - \frac{1.680}{16.916}\right) = 54 \quad (17)$$

V nadaljevanju so izračunani letni stroški priprave delovnega mesta in strošek skladiščenja za primer proizvoda 2.

$$S_s = S_p + S_H = \frac{D}{Q} \cdot R + \frac{I_m}{2} \cdot H = \frac{1.680}{59} \cdot 62,00 \text{ €} + \frac{54}{2} \cdot 1,18 \text{ €} = 1.783,4 \text{ €} \quad (18)$$

Na koncu izračuna vhodnih podatkov je izračunano še število proizvodnih serij v enem letu, kjer bi v primeru proizvoda 2 glede na proizvodno serijo 59 proizvodov znašalo 28 zagonov delovnega mesta za omenjen proizvod.

$$n = \frac{D}{Q} = \frac{1.680}{59} = 28 \quad (19)$$

Po izračunu vseh vhodnih podatkov za primerjalno analizo s stanjem EPQ je bil izračunan parameter EPQ z enakimi vhodnimi podatki, kot veljajo za obstoječe stanje. Enačba (20) prikazuje postopek izračuna optimalne velikosti proizvodne serije za proizvod 2.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot R}{H \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.680 \cdot 62,00 \text{ €}}{1,18 \text{ €} \cdot \left(1 - \frac{1.680}{16.916}\right)}} = 443 \quad (20)$$

Postopek izračuna maksimalne ciklične zaloge, skupnih stroškov in števila proizvodnih serij ponovimo na enak način, kot je predstavljeno v izračunih (17), (18) ter (19), vendar je za velikost proizvodne serije Q uporabljen parameter EPQ.

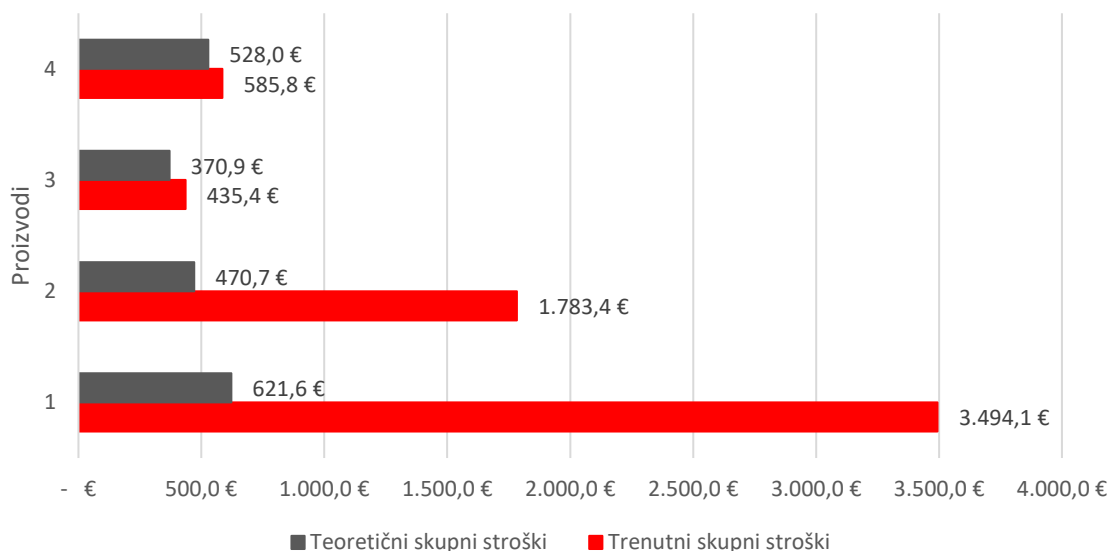
*Tabela 6: Rezultati izračuna velikosti optimalne proizvodne serije*

| / | Vpeljava EPQ |       |            |   | Obstoječa povprečna velikost proizvodne serije |       |         |           |           |    |
|---|--------------|-------|------------|---|--|-------|---------|-----------|-----------|----|
|   | EPQ          | Im    | Ss         | n | Q  | Im    | Sh      | Sp        | Ss        | n  |
| 1 | 962          | 743   | 621,62 €   | 5 | 86   | 67    | 27,9 €  | 3.466,2 € | 3.494,1 € | 56 |
| 2 | 443          | 399   | 470,71 €   | 4 | 59   | 54    | 31,6 €  | 1.751,8 € | 1.783,4 € | 28 |
| 3 | 84           | 83    | 370,92 €   | 3 | 150  | 149   | 331,8 € | 103,7 €   | 435,4 €   | 2  |
| 4 | 18           | 18    | 528,04 €   | 3 | 28   | 28    | 419,7 € | 166,1 €   | 585,8 €   | 2  |
| 5 | 12.995       | 8.715 | 209,93 €   | 3 | 2.689  | 1.804 | 21,7 €  | 507,2 €   | 528,9 €   | 16 |
| 6 | 520          | 416   | 1.193,12 € | 4 | 231  | 185   | 264,6 € | 1.344,9 € | 1.609,5 € | 43 |
| 7 | 244          | 237   | 952,62 €   | 5 | 133  | 130   | 260,0 € | 872,6 €   | 1.132,6 € | 11 |
| 8 | 165          | 164   | 188,13 €   | 6 | 220  | 219   | 125,6 € | 70,5 €    | 196,0 €   | 2  |

*Vir: lastno delo.*

Slika 8 prikazuje graf primerjave skupnih stroškov obstoječih velikosti proizvodnih serij v letu 2023 in vrednosti novih izračunanih parametrov EPQ. Primer obravnava delovno mesto z napravo Mori Seiki NT. Z rdečo barvo so označeni trenutni izračunani skupni stroški podjetja glede na povprečne velikosti proizvodnih serij za posamezen proizvod. S sivo barvo pa so označeni skupni stroški, kjer je upoštevan EPQ. V kolikor bi v podjetju za proizvod 2 vpeljali vrednost EPQ, bi se skupni stroški glede na obstoječe stanje zmanjšali za 73,6 %. Glede na spremembo skupnih stroškov pri proizvodni 1 je to druga največja razlika izmed obravnavanih vzorcev proizvodov. Najmanjša razlika v skupnih stroških je v primeru proizvoda 4, ki znaša 9,9 % znižanje glede na obstoječo velikost proizvodne serije.

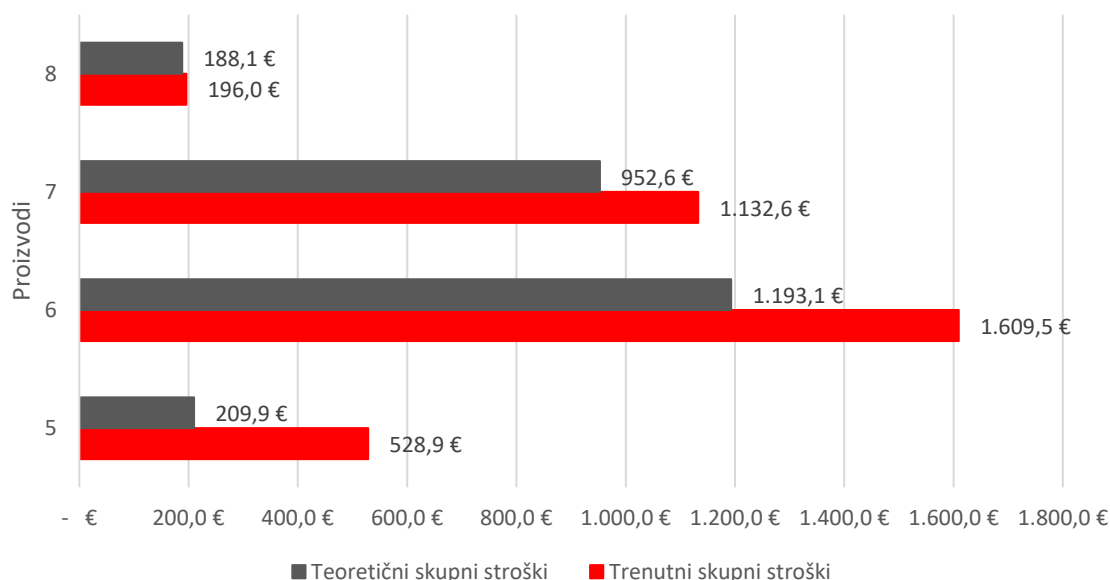
Slika 8: Skupni stroški na delovnem mestu freziranja



Vir: lastno delo.

Na sliki 9 je prikazan graf, na katerem je opredeljena primerjava vsote stroška priprave delovnega mesta in stroška skladiščenja glede na skupne stroške obstoječe proizvodne serije na delovnem mestu strožnice Nakamura NTY3. Tudi pri tem so z rdečo barvo označeni skupni stroški obstoječe velikosti proizvodne serije, s sivo barvo pa novo izračunani skupni stroški. Pri proizvodni 5 skupni stroški znašajo 60,3 % manj glede na obstoječo proizvodno serijo, kar je največja razlika izmed vzorcev za delovno mesto strožnice. Najmanjša razlika med stroškovnim vidikom je pri proizvodni 8, kjer zmanjšanje skupnih stroškov znaša le 4 %.

Slika 9: Skupni stroški na delovnem mestu stružnice



Vir: lastno delo.

Parameter EPQ je pri petih od osmih proizvodov precej višji, kar nakazuje na potencialno povečanje stroškovne učinkovitosti, saj z večjimi proizvodnimi serijami zmanjšujemo povprečne stroške na enoto zaradi ekonomije obsega. Vendar pa s tem zmanjšujemo fleksibilnost proizvodnje, kar pomeni manjšo prilagodljivost na spremembe v povpraševanju ali na druge spremenljivke v proizvodnem procesu; kot so okvare naprav na delovnih mestih, reševanje napak v proizvodnih postopkih itd. V takšnih situacijah je pomembno pretehtati dejanske prihranke, ki jih prinaša večja serija v primerjavi z izgubo fleksibilnosti, ki lahko vodi do povečanja zalog, večjih skladiščnih stroškov in morebitnih težav pri prilagajanju oddelku montaže. Glede na to, da podjetje na oddelku mehanske obdelave obdeluje tudi do 2.000 proizvodov v enem letu in jih posledično shranjuje na lokaciji, proizvodni sistem podjetja ne zmore obvladovati tako velikih izračunanih proizvodnih serij za vse proizvode. V primeru proizvoda 1 je parameter EPQ kar za 10-krat večji od trenutne povprečne velikosti proizvodne serije. V tej situaciji bi za izpolnjevanje zahtev za sestavo končnih izdelkov potrebovali ogromne količine zaloge proizvoda 1, kar pa jim pri tako velikem asortimaju končnih izdelkov in posledično potrebnih proizvodov velikost skladišča ne omogoča.

Manjša fleksibilnost dolgoročno povzroči zamude, neoptimalno uporabo sredstev in celo povečane stroške zaradi nezmožnosti hitrega prilagajanja. Glede na to, da so prihranki pri večini izbranih preračunanih proizvodov le nekaj evrov do nekaj sto evrov na leto za posamezen proizvod, je potrebno oceniti ali ti prihranki upravičujejo potencialne težave pri odzivanju na spremembe. Potrebno je tehtati med kratkoročnimi prihranki in dolgoročno učinkovitostjo proizvodnje, pri čemer ima fleksibilnost podjetja ključno vlogo pri obvladovanju njihovih kompleksnih proizvodnih procesov. Velikosti proizvodnih serij za posamezen proizvod so se zvišale, ker podjetje trenutno deluje kot maloserijska proizvodnja.

V primeru bistveno višjih proizvodnih serij podjetje ne bi moglo izdelovati toliko različnih proizvodov in jih hkrati ohranjati na zalogi, prav tako pa zaradi prostorskih omejitev ne bi bilo mogoče skladiščiti takšnih količin proizvodov do naslednje serije v letu. Parameter EPQ za proizvode na obravnavanih delovnih mestih ni ustrezen, saj upošteva le stroškovni vidik in ne vključuje dejavnikov, kot so zasedenost delovnih mest, skupna zaloga in varnostna zaloga. Smiselno bi bilo razmisliti o zmanjšanju teoretičnih velikosti proizvodnih serij za proizvode. Kljub temu pa bi bilo potrebno takšno spremembo natančno ovrednotiti z vidika vpliva na varnostno ter skupno zalogo in na faktor dobaviteljev. Zanimiv primer sta proizvoda 3 in 4, kjer je izračun pokazal večje število serij v obdobju enega leta. Proizvoda imata za več kot 1,5-kratnik nižji parameter EPQ od obstoječih povprečnih velikosti proizvodnih serij. Omejena proizvoda se razlikujeta predvsem v manjšem številu proizvodov na logistični enoti, kar posledično vodi v višji strošek skladiščenja proizvoda. Ob tem imata oba proizvoda nizek letni plan rabe, zato računski model zviša velikost parametra EPQ. Parameter EPQ je ponovno uporabljen v poglavju 4.4, kjer je velikost proizvodne serije določena glede na dodatna kriterija, ki vplivata na velikost omenjenega parametra. Zaradi omenjenih dejavnikov, ki so navedeni v tem odstavku, je potrebno z dodatnim modelom znižati velikost proizvodne serije v primerjavi z EPQ.

## 4.2 Določanje minimalne velikosti proizvodne serije

Izračun minimalne velikosti proizvodne serije je ključen za določitev spodnje meje velikosti serije, pri kateri so stroški priprave proizvodnje še sprejemljivi, ob tem pa se izognemo prekomernemu kopičenju zalog. V tradicionalnih modelih, kot je EPQ, so stroški proizvodnje optimizirani z upoštevanjem zalog in proizvodnih ciklov. Za primer dveh obravnavanih delovnih mest smo prikazali, kako bi določili zmanjšanje izračunanega parametra EPQ iz poglavja 4.1 tako, da smo postavili omejitev skupnih stroškov na proizvod in opredelili ciljni strošek proizvodnje. Za podjetje sta fleksibilnost proizvodnih oddelkov in možnost prilagajanja na proizvodne potrebe ključni ob upoštevanju specifične maloserijske proizvodnje in nenatančne napovedi povpraševanja po končnih proizvodih. Na podlagi vhodnih stroškovnih podatkov kot so; strošek priprave delovnega mesta, strošek skladiščenja proizvoda in proizvodne cene enega izdelanega proizvoda se določi parameter MPQ.

Zbrani vhodni podatki so omogočili določitev MPQ znotraj obsega predpostavk, ki so definirane v poglavju 2.3.2. Za osem izbranih proizvodov na dveh delovnih mestih so izdelani grafi skupnih stroškov pri določitvi optimalne proizvodne serije, ki so prikazani v prilogah od 1 do 7, medtem ko je za proizvod 2 prikazan graf na sliki 10. Uporabljeni so bili enaki podatki kot v poglavju 4.1. V tabeli 7 so prikazani rezultati izračunov minimalnih velikosti proizvodnih serij. Ključen podatek za definiranje parametra MPQ je določitev ciljnega skupnega stroška skladiščenja in priprave delovnega mesta  $S_{ciljni}$  za proizvod, ki je prikazan v četrtem stolpcu tabele 7. Vrednosti, uporabljene za preračun MPQ, so bile predpostavljene in ocenjene z namenom ponazoritve metodologije izračuna. Pri tem gre za hipotetičen primer in so zato uporabljene zgolj orientacijske vrednosti.

Legenda uporabljenih vhodnih podatkov za izračun minimalne velikosti proizvodne serije:

$c_{ciljna}$  –ciljna lastna cena proizvoda z upoštevanjem stroška skladiščenja in priprave delovnega mesta ter proizvodne cene [EUR/proizvod],

$c_{proizvodna}$  – proizvodna cena enega izdelanega proizvoda [EUR/proizvod],

$S_{ciljni}$  – ciljni skupni stroški skladiščenja in priprave delovnega mesta [EUR/proizvod].

Kot vhodni podatki bi se upoštevali ciljni skupni stroški skladiščenja in stroški priprave delovnega mesta, ki v primeru proizvoda 2 znašajo 2,00 EUR na proizvod ter proizvodna cena enega izdelanega proizvoda 2, ki znaša 21,30 EUR. Oba podatka sta določena s strani podjetja in skupaj tvorita ciljno lastno ceno za proizvod 2. Ob tem smo uporabili letni strošek skladiščenja enega proizvoda  $H$  in strošek priprave delovnega mesta  $R$ . Cilj izračuna je določiti minimalno velikost proizvodne serije, pri kateri skupni stroški na proizvod ne presežejo 2,00 EUR. Poudariti je potrebno, da se proizvodna cena enega izdelanega proizvoda ne spreminja in ostaja konstantna ne glede na količino izdelanih proizvodov. Enačba (21) prikazuje način, kako se določi MPQ, kadar sta znani ciljna lastna cena proizvoda 2 in proizvodna cena enega izdelanega proizvoda 2.

$$c_{ciljna} = c_{proizvodna} + S_{ciljni} = 21,30\text{€} + \frac{62,00\text{€} + 1,18\text{€} \cdot \frac{MPQ}{2}}{MPQ} \quad (21)$$

Izračun (22) podaja vrednost parametra MPQ, pri katerem se lastna cena proizvoda izenači z lastno ciljno ceno določeno s strani podjetja. Izračun (22) je izpeljan iz izhodiščne enačbe (21). Za proizvod 2 je bila tako ugotovljena minimalna velikost proizvodne serije, ki znaša 44 proizvodov.

$$MPQ = \frac{R}{(c_{ciljna} - c_{proizvodna}) - \frac{H}{2}} = \frac{62,00\text{€}}{(23,30\text{€} - 21,30\text{€}) - \frac{1,18\text{€}}{2}} = 44 \quad (22)$$

Tabela 7: Rezultati izračuna MPQ za proizvode

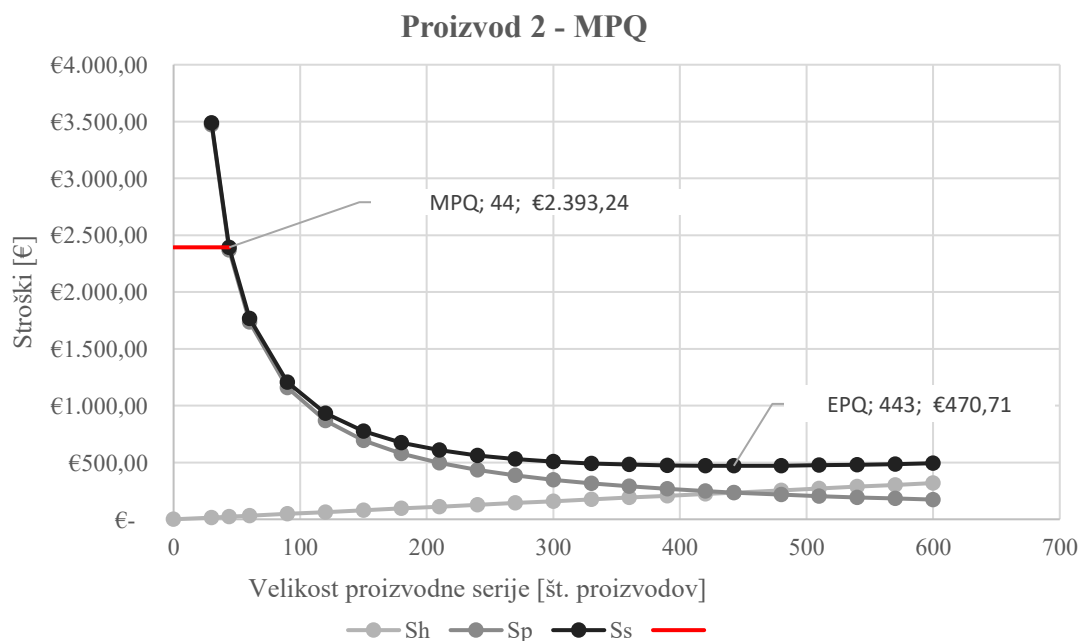
| Proizvod | R       | H       | S <sub>ciljna</sub> | C <sub>proizvodna</sub> | C <sub>ciljna</sub> | MPQ   |
|----------|---------|---------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------|
| 1        | 62,00 € | 0,84 €  | 1,00 €              | 14,26 €                 | 15,26 €             | 107   |
| 2        | 62,00 € | 1,18 €  | 2,00 €              | 21,30 €                 | 23,30 €             | 44    |
| 3        | 62,00 € | 4,46 €  | 4,50 €              | 7,14 €                  | 11,64 €             | 27    |
| 4        | 93,00 € | 30,11 € | 21,00 €             | 41,55 €                 | 62,55 €             | 16    |
| 5        | 31,00 € | 0,02 €  | 0,02 €              | 0,62 €                  | 0,64 €              | 3.897 |
| 6        | 31,00 € | 2,87 €  | 1,52 €              | 6,81 €                  | 8,33 €              | 350   |
| 7        | 77,50 € | 4,02 €  | 3,50 €              | 10,67 €                 | 14,17 €             | 52    |
| 8        | 31,00 € | 1,15 €  | 1,00 €              | 3,34 €                  | 4,34 €              | 73    |

Vir: lastno delo.

Na sliki 10 je prikazan graf, ki prikazuje skupne stroške v odvisnosti od velikosti proizvodne serije. Z rdečo barvo so označeni skupni stroški, izračunani na podlagi trenutnih podatkov,

ki so prikazani v tabeli 4 z upoštevanjem parametra MPQ. Pri tem je bila kot osnova uporabljena enačba (3), ki podaja izračun skupnih stroškov v odvisnosti od vhodnih podatkov za obdobje od junija 2023 do junija 2024. Za primer proizvoda 2 EPQ znaša 443 proizvodov, tako pri tej proizvodni seriji skupni stroški znašajo 470,71 EUR. Kot prikazuje slika 10, se stroški priprave proizvodnje in stroški skladiščenja križajo na točki, kjer je določen EPQ. Za proizvod 2 smo MPQ določili na podlagi izračuna v tabeli 7 in znaša 44 proizvodov, kar v tem primeru pomeni zvišanje skupnih stroškov na vrednost 2.393,24 EUR. V primerjavi velikosti proizvodnih serij se skupni stroški zvišajo za 408 % glede na skupne stroške pri EPQ. Čas nastavitve delovnega mesta se spremeni pri prehodu z MPQ 44 proizvodov, za katerega priprava traja 76,4 ur, na EPQ 443 proizvodov, kjer je čas nastavitve ocenjen na 7,6 ure. Ta sprememba jasno poudarja vpliv velikosti proizvodne serije na skupni čas proizvodnje in učinkovitost proizvodnega procesa v koncept fleksibilne proizvodnje. Tako podjetje povečuje menjave proizvodov na delovnem mestu in zmanjšuje zaloge v skladišču.

Slika 10: Določanje vrednosti MPQ za proizvod 2



Vir: lastno delo.

Število proizvodov na logistični enoti je lahko še eden izmed pomembnih vhodnih podatkov pri določevanju proizvodne serije. Proizvodna podjetja si prizadevajo svoje skladiščne prostore izkoristiti tako, da so logistične enote polno zasedene in ne zasedajo potencialnega prostora za druge proizvode. V tabeli 8 je prikazana primerjava med parametri EPQ, MPQ in maksimalnim številom proizvodov na logistični enoti. Glede na število proizvodov na logistični enoti smo optimizirali MPQ tako, da smo določili točno število proizvodov, ki se sklada s številom proizvodov na logistični enoti. Za primer smo vzeli proizvod 2, kjer se je MPQ zvišal s 44 proizvodov na 102 proizvod, kar pomeni optimizacijo stroškov priprave

delovnega mesta zaradi manjšega števila menjav v enem letu. Zvišanje velikosti MPQ tako polni mesto logistične enote v skladišču, kar bi lahko bilo potencialno ovrednoteno kot oportuniteti strošek, v kolikor logistična enota ni v celoti dopolnjena.

*Tabela 8: Izračun odstopanja za izračun minimalne velikosti proizvodne serije*

| Št. proizvoda | EPQ    | MPQ   | Število proizvodov na logistični enoti | Korekcija MPQ |
|---------------|--------|-------|--|---------------|
| 1             | 962    | 107   | 144                                    | 144           |
| 2             | 443    | 44    | 102                                    | 102           |
| 3             | 84     | 27    | 27                                     | 27            |
| 4             | 18     | 16    | 4                                      | 16            |
| 5             | 12.995 | 3.897 | 5.000                                  | 5.000         |
| 6             | 520    | 350   | 42                                     | 336           |
| 7             | 244    | 52    | 30                                     | 60            |
| 8             | 165    | 73    | 105                                    | 105           |

*Vir: lastno delo.*

V okviru določitve MPQ je razvidno, da se je lastna cena proizvoda ob upoštevanju stroškov skladiščenja, priprave delovnega mesta ter proizvodne cene povišala le za 2,00 EUR v primerjavi s proizvodno ceno enega izdelanega proizvoda. Kljub temu je to povišanje razmeroma majhno, če ga primerjamo s skupnimi stroški, prikazanimi na grafu na sliki 10, kjer se nahaja primerjava skupnih stroškov modela EPQ in MPQ. Takšen rezultat dodatno potrjuje pomen usmerjanja prizadevanj v zmanjševanje časa priprave delovnega mesta in s tem zmanjševanje stroškov priprave. Na ta način podjetje pridobi večjo fleksibilnost ter nižjo raven zalog, kar se pozitivno odraža ne le v stroškovni učinkovitosti, temveč tudi v drugih vidikih poslovanja, kot so manjša poraba prostora in zmanjšano tveganje, povezano z zalogami, ki v stroške niso bili neposredno vključeni. Pri rezultatih je pomembno poudariti, da je MPQ manjši od EPQ, saj omogoča boljše prilagoditev proizvodnje trenutnemu povpraševanju in zmanjšuje presežne zaloge ob ohranjanju sprejemljivih stroškov pri manjših serijah. Ta prilagodljivost pa pomeni bolj pogoste nastavitve naprav na delovnih mestih, kar neposredno zviša stroške priprave in zmanjšuje zmogljivost proizvodnje, saj se s tem zasede napravo na delovnem mestu. Parameter MPQ določa mejo velikosti proizvodne serije, pod katero podjetje naj ne bi obratovalo. Oddelek mehanske obdelave bi tako obratoval pri parametru MPQ z zelo nizkimi proizvodnimi serijami, kar bi morali dodatno opredeliti s kvantitativno analizo zmogljivosti proizvodnih delovnih mest. Rezultate bi lahko v prihodnje nadgradili z upoštevanjem tehnoloških specifikacij proizvodov, s pogodbami z dobavitelji, lahko bi natančno opredelili izračun stroška izdelave proizvoda, določili ciljno lastno ceno proizvoda itd. Te učinke je kvantitativno težko natančno oceniti, saj je vpliv nizkih serij na proizvodnjo kompleksen in odvisen od več težko predvidljivih dejavnikov. Rezultati parametra MPQ so dodatno izboljšani skozi teoretični model določitve proizvodne serije z dvema kriterijema. Uporaba modela MPQ v obravnavanem proizvodnem podjetju je omejena, saj gre za poenostavljen pristop določanja minimalnih velikosti serij. V praksi so

te serije pogosto že opredeljene s pogodbami z dobavitelji ali omejitvami proizvodnih linij, zato računski model le delno vpliva na dejanske odločitve o serijah.

### 4.3 Velikost proizvodne serije z upoštevanjem soproizvodnje

Izračun modela ELSP s soproizvodnjo proizvodov na delovnem mestu podjetju omogoča vpogled v optimizacijo ne le stroškov, kot pri EPQ, temveč tudi razporeditve proizvodnje več proizvodov na enakem delovnem mestu. Model ELSP omogoča boljše usklajevanje proizvodnih serij in ciklov za različne proizvode, kar zmanjšuje pogostost nastavitvev, izboljšuje izkoristek zmogljivosti naprave in povečuje odzivnost na spremembe povpraševanja. S tem podjetje ne le znižuje stroške skladiščenja in priprave delovnega mesta, temveč tudi povečuje zmogljivost kapacitet, kar vodi k večji učinkovitosti proizvodnega procesa. Na obravnavanih delovnih mestih je veliko število proizvodov, zato je ključno upoštevati in analizirati vidik soproizvodnje. Model ELSP tako eden redkih v izračunih upošteva soproizvodnjo proizvodov na enakem delovnem mestu.

Trenutno v podjetju planer določa proizvodne serije na podlagi plana rabe proizvodov, stanja varnostnih zalog in lastnih izkušenj. Z združevanjem vseh proizvodov na določenem delovnem mestu oblikuje program proizvodnega procesa, ki se nato prilagaja v okviru kratkoročnega plana. Podjetje pogosto spreminja plan proizvodnje in po potrebi zamenjuje proizvode s tistimi, ki jim primanjkuje varnostne zaloge oziroma se je zanj izvedlo naročilo. Planer ob tem že upošteva družine proizvodov in v čim večji meri združuje proizvodne postopke znotraj enakih družin, kar zmanjšuje potrebo po dodatnih nastavitvah naprav ob prehodu na naslednji proizvod. S tem optimizira proizvodni proces, saj zmanjšuje pogostost priprav naprav in povečuje učinkovitost znotraj posameznih proizvodnih serij. Trenutno podjetje obratuje v dveh izmenah v delovnem tednu, kar je upoštevano kot kapaciteta delovnih mest in vhodni podatek za analizo.

Teoretični model ELSP definira število operativnih dni, ki so potrebni, da se glede na vhodne podatke izdela vse proizvode glede na zastavljene letne cilje rabe proizvodov na obravnavanih dveh delovnih mestih. Upošteva le čas izvedbe procesa proizvodnje, ne pa čas nastavitve. Upoštevali smo razpoložljivi operativni čas naprave 250 dni s 14 urnim delovnikom (2 izmeni). To je kapaciteta delovnega mesta, v kateri podjetje trenutno povprečno deluje na oddelku mehanske obdelave. V principu model ELSP glede na vhodne podatke stroškov omogoča izračun proizvodne serije, kjer dosega ustrezne kapacitete proizvodne naprave in zmanjšanje števil ponovnih nastavitvev naprave, v kolikor je to potrebno. Zmogljivost delovnega mesta pa je neposredno odvisna od potrebnega časa za nastavitve delovnega mesta in števila proizvodnih serij. Podjetje na delovnem mestu naprave Moiri izdeluje 60 proizvodov, medtem ko na stružnici Nakamura izdeluje 35 različnih proizvodov. Za obe delovni mesti sta izdelana izračuna soproizvodnje proizvodov s pomočjo teoretičnega modela ELSP. V izračunu je bilo potrebno velikost vzorca proizvodov povečati na celoten asortima proizvodov, ki se izdelujejo na samem delovnem mestu. Na podlagi enačb,

prikazanih v poglavju 2.3.2, je bilo mogoče preračunati teoretično optimalno število proizvodnih serij ( $n_0$ ) za vse proizvode na obravnavanih delovnih mestih. V nadaljevanju se analiza nanaša na prilogo 8, kjer je prikazan izračun za delovno mesto CNC frezala Moiri, medtem ko so tabelarični rezultati za delovno mesto CNC stružnice Nakamura predstavljeni v prilogi 9. Teoretični model ELSP ne upošteva nekaterih pogojev za proizvodnjo obravnavanega podjetja, zato so bili predpostavljene naslednji pogoji v izračunu:

- Število proizvodnih serij proizvodov na delovnem mestu je enako za vse proizvode. Na delovnem mestu se število proizvodnih serij v letu za posamezen proizvod spreminjajo in se med seboj močno razlikujejo.
- Model določi povprečno dnevno rabo proizvodov iz skladišča, tako predpostavlja povprečno število proizvodov izven ciklične zaloge. Na obeh obravnavanih delovnih mestih so situacije za proizvode različne in se spreminjajo glede na povpraševanje in izpolnjevanje zahtev višje kotiranih sestavov.
- Neupoštevanje družin proizvodov na delovnem mestu oziroma napravi. Podjetje trenutno poizkuša kar najbolje združevati družine proizvodov in tako v znižati čase nastavitvev.

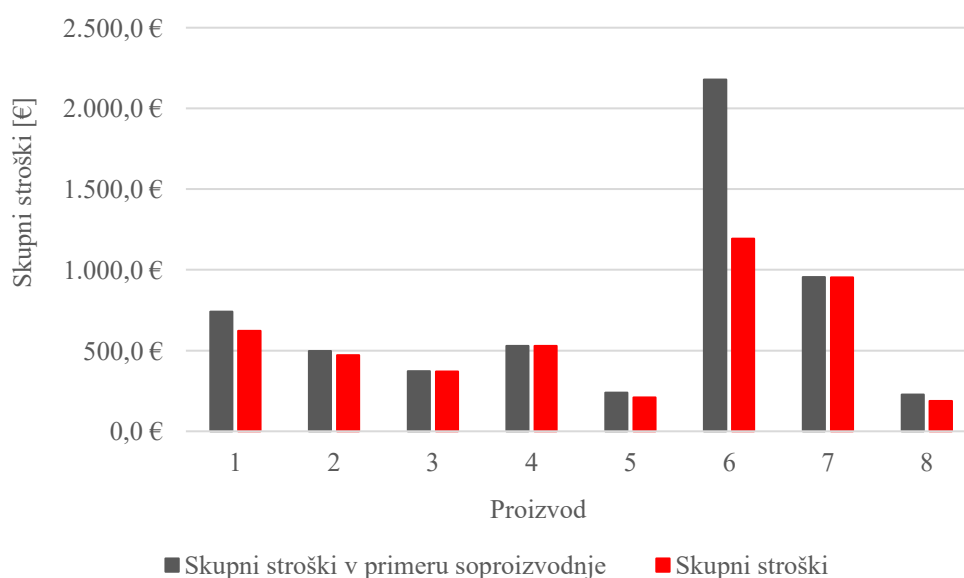
V tabeli 9 so prikazani rezultati izračuna velikosti proizvodnih serij glede na soproizvodnjo proizvodov na dveh delovnih mestih. Glavni vhodni podatki za izračun proizvodnih serij s soproizvodnjo so bili raba proizvodov za plansko leto, strošek skladiščenja, strošek priprave delovnega mesta in število maksimalne količine proizvodov, v kolikor bi na delovnem mestu izdelovali le ta proizvod. Iz teh podatkov se izračuna povprečna dnevna proizvodnja proizvodov in dnevni odjem proizvodov iz skladišča ter se uporabi v enačbi (10). Nato se iz izračunane vrednosti izračuna število proizvodnih serij za vse proizvode. Na delovnem mestu naprave Mori bi izdelali vse proizvode v treh proizvodnih serijah, medtem ko bi na delovnem mestu stružnice Nakamura slednje izdelali v šestih serijah. Iz izračunanih podatkov števila proizvodnih serij in letnega plana rabe proizvodov se izračunajo proizvodne količine za posamezen proizvod v proizvodni seriji. Za obravnavanih 8 proizvodov je v tabeli 9 opredeljena primerjava med proizvodnimi serijami s soproizvodnjo in med EPQ modelom. Kot je razvidno, so v večini proizvodne serije v primeru soproizvodnje višje, le v primeru proizvoda 5 in 8 so serije manjše ter v primeru proizvoda 4 je proizvodna serija enaka v obeh modelih. Proizvodni seriji pri proizvodih 5 in 8 so se povečale, saj so proizvodni časi enega proizvoda bistveno nižji v primerjavi s preostalimi proizvodi. Zaradi omenjenega vhodnega podatka je model predpostavil večjo proizvodno serijo v primerjavi z EPQ. Za proizvode, kjer se proizvodna serija poviša, nastanejo višji stroški skladiščenja kot v primeru EPQ. Pri zmanjšanju proizvodne serije pri proizvodih 5 in 8 se stroški priprave delovnega mesta povečajo glede na situacijo modela EPQ. Teoretični izračun letne proizvodnje vseh proizvodov na dveh delovnih mestih je prikazal preseganje proizvodnih kapacitet, kar je obravnavano v tabeli 10.

Tabela 9: Primerjava parametrov med konceptom EPQ in konceptom sproizvodnje

| Proizvod | Proizvodna serija s sproizvodnjo [št. proizvodov] | Skupni stroški v primeru sproizvodnje | EPQ [št. proizvodov] | Skupni stroški |
|----------|---|---------------------------------------|----------------------|----------------|
| 1.       | 1.774   | 741,47 €                              | 962                  | 621,62 €       |
| 2.       | 618   | 497,11 €                              | 443                  | 470,71 €       |
| 3.       | 92  | 372,60 €                              | 84                   | 370,92 €       |
| 4.       | 18  | 528,52 €                              | 18                   | 528,04 €       |
| 5.       | 7.673   | 239,75 €                              | 12.995               | 209,93 €       |
| 6.       | 1.746   | 2.179,74 €                            | 520                  | 1.193,12 €     |
| 7.       | 262   | 954,91 €                              | 244                  | 952,62 €       |
| 8.       | 87  | 227,54 €                              | 165                  | 188,13 €       |

Vir: lastno delo.

Slika 11: Primerjava skupnih stroškov modela EPQ in modela sproizvodnje



Vir: lastno delo.

Slika 11 predstavlja primerjavo skupnih stroškov med modeloma EPQ in teoretičnim modelom z upoštevanjem sproizvodnje. Velikost proizvodne serije se za proizvod 1 v primeru sproizvodnje zviša za 811 proizvodov oziroma za 84,3 % glede na vrednost EPQ. Za proizvod 1 skupni stroški z upoštevanjem sproizvodnje znašajo 741,5 €. Glede na razliko v izračunu se v modelu ELSP zaradi povišanja velikosti proizvodne serije povišajo stroški skladiščenja, medtem ko se stroški priprave delovnega mesta znižajo, saj se nastavitve delovnega mesta izvede le trikrat in ne več petkrat kot v primeru EPQ.

Glede na določeno vrednost šestih proizvodnih serij na delovnem mestu Nakamura je za vse proizvode izračunano število minut, ki so potrebne za izdelavo vseh proizvodov. Brez časa za nastavitve delovnega mesta slednje nanese kar za 263 dni oziroma 220.838 minut. Kapaciteta naprave je s tem presežena, kar bi moralo podjetje v nadaljevanju spreminjati z

dodatnimi izmenami ali dodatnimi dnevi proizvodnje. Podjetje ima na mehanskem oddelku več strožnic, kar omogoča razporejanje proizvodov in možnost razbremenitve nekaterih delovnih mest, v kolikor je kapaciteta druge strožnice nezasedena. V poglavju 3.3 je bolj podrobno opisan postopek prerazporeditve proizvodov na druga delovna mesta.

Za proizvode na strožnici Nakamura je bila opravljena korekcija, s katero smo omogočili bolj realno reprezentacijo glede na parametre posameznih proizvodov. V prilogi 9 smo z »X« in »Y« označili proizvoda, katera bi premestili na drugo strožnico in tako povečali zmogljivost strožnice Nakamura. Brez proizvodov »X« in »Y« smo ponovno preračunali teoretični model; novi izračuni so trajanje proizvodnega procesa določili na 232 dni. Za primer proizvodov na strožnici Nakamura smo izračunali čas priprave delovnega mesta, ki bi za vse proizvode vseh šestih proizvodnih serij znašal približno 14 dni. Kljub dodatnemu času priprave stroja je trajanje proizvodnje še vedno v dovoljenem časovnem območju proizvodnega časa, ki znaša 250 dni. Rezultati primerjave so prikazani v tabeli 10, kjer je primerjava obravnave vseh proizvodov poimenovana kot »začetna faza«, različica s prerazporeditvijo dveh proizvodov pa je poimenovana »korekcija«.

*Tabela 10: Korekcija števila proizvodov na liniji Nakamura*

|                           | <b>Začetna faza (vsi proizvodi)</b> | <b>Korekcija (prerazporeditev dveh proizvodov)</b> |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Število proizvodnih serij | 6                                   | 5  |
| Število dni proizvodnje   | 263                                 | 232  |
| Ustreznost enačbe (13)    | 44 >= 46                            | 44 >=40  |
| Ustreznost enačbe (12)    | 250 >= 263                          | 250 >=232  |

*Vir: lastno delo.*

Enako število serij na leto za vse proizvode, ki ga uporablja ELSP, je za podjetje s 60 proizvodi na delovnem mestu, ki imajo zelo različno povpraševanje, nepraktično. Pri proizvodih z nizkim povpraševanjem vodi do proizvodnje v večjih serijah, kar povzroča presežene zaloge in povečanje stroškov skladiščenja, medtem ko je proizvodnja proizvodov z visokim povpraševanjem lahko prepočasna za pravočasno izpolnjevanje potreb oddelka montaže, kar negativno vpliva na konkurenčnost podjetja in zadovoljstvo kupcev. Ta model prikazuje pomen upoštevanja dejavnika soproizvodnje na obeh delovnih mestih. Čeprav je izračunan z omejitvijo enotnega števila proizvodnih serij, bi lahko število serij prilagodili glede na EPQ za vsak proizvod in nato ob upoštevanju kapacitet prilagodili količine v posamezni proizvodni seriji. Na ta način bi število serij prilagodili posameznemu proizvodu in optimizirali, katere proizvode je smiselno proizvajati na zalogo ter katere izdelovati z višjo frekvenco oziroma manjšimi proizvodnimi serijami.

Uporaba modela z upoštevanjem soproizvodnje v obravnavanem podjetju je omejena, saj model temelji na poenostavljenih predpostavkah. Ne upošteva dejanskih časov nastavitve, razvrščanja proizvodov v družine ter možnosti prerazporejanja proizvodnje na druga delovna mesta, zato njegova praktična uporaba ni neposredno izvedljiva brez večjih prilagoditev.

#### 4.4 Velikost proizvodne serije z dvema kriterijema

Podjetje ima dve ključni omejitvi pri planiranju proizvodnje. Prva omejitev je prostorsko omejen skladiščni prostor za surove materiale in proizvode v procesu, kar zahteva natančno planiranje ter optimizacijo skladiščnih kapacitet. Druga omejitev je povezana z nenatančnostjo napovedovanja povpraševanja končnih izdelkov, kar podjetju narekuje potrebo po fleksibilni proizvodnji. Podjetje zaradi teh omejitev ne more vzdrževati visokih zalog v skladišču, saj bi to negativno vplivalo na funkcionalnost skladiščnega prostora za preostali del proizvodnje. Poleg tega bi prevelike proizvodne serije omejile kapaciteto delovnih mest na mehanski obdelavi za preostali del asortimaja proizvodov in tako dodatno ovirale učinkovitost proizvodnih procesov. Definirano vrednost EPQ je bilo potrebno skozi izračun parametrov proizvodne serije z dvema kriterijema znižati v namen zmanjšanja vmesne zaloge proizvodov. V poglavju 2.3.4 smo teoretično opredelili problem, kjer smo prikazali vse izračune za možnost zmanjšanja proizvodne serije z dvema kriterijema.

Vhodni podatki, uporabljeni za preračun proizvodne serije z dvema kriterijema, so enaki tistim, ki so opredeljeni v poglavjih 4.1 in 4.3. Takšna enotnost pri vhodnih podatkih zagotavlja preglednost in omogoča neposredno primerjavo med različnimi izračuni ter rezultati. Za podjetje smo določili uteži, ki določata vpliv posameznega kriterija na izračun proizvodne serije. Uteži, ki sta za ta primer predpostavljene in vplivajo na teoretični izračun, sta naslednji:

- $w_1 = 0,4$  (optimizacija skupnih stroškov). Utež  $w_1$  se osredotoča na znižanje skupnih stroškov določitve velikosti proizvodne serije, v tem primeru k vrednosti količine proizvodov iz poglavja 4.1. Utež se nagiba k večanju proizvodne serije in višanju trenutnih zalog proizvodov, s čimer povzroči zmanjšanje števila nastavitve delovnega mesta in posledično nižje skupne stroške. Pomanjkljivost povečanja uteži  $w_1$  je predvsem v prekomernem številu proizvodov v istočasnem časovnem obdobju, kar lahko privede do prezasedenosti skladišča z izdelanimi proizvodi.
- $w_2 = 0,6$  (znižanje velikosti proizvodne serije). Utež  $w_2$  bazira na zmanjšanju proizvodne serije, kar izboljša fleksibilnost proizvodnje in delovanja logističnih ter proizvodnih procesov. Višji kot je faktor  $w_2$ , bolj je proizvodnja prilagodljiva nenehnim motilcem proizvodnega procesa in lažje zadosti nepričakovanemu impulzivnemu povpraševanju po proizvodih. Kljub znižanju velikosti proizvodne serije in drugim prednostim modela velja poudariti, da se stroški povečajo zaradi bolj pogostih nastavitve delovnega mesta.

Glede na analizo delovanja oddelka interne oskrbovalne verige smo predpostavili razmerje 60:40 v korist znižanja velikosti proizvodne serije. Kljub trudu podjetja pri zmanjšanju skupnih stroškov in specifični delovanja podjetja smo si prizadevali poudariti znižanje velikosti proizvodne serije in možnost operacije maloserijske proizvodnje. Tabela 11 prikazuje izračun proizvodne serije za osem proizvodov, ki se izdelujejo na delovnih mestih Mori Seiki NT in Nakamura NTY3. Izračun obravnava koristnost tako, da noben kriterij ne pade pod raven, ki smo jo določili za skupne stroške in zmanjšanje velikosti proizvodne

serije. Tako je izpolnjena zastavljena sprejemljiva raven za oba kriterija. Za proizvod 2 je izračun pokazal za 79 % nižjo proizvodno serijo glede na izračunan EPQ iz poglavja 4.1. Kljub zvišanju skupnih stroškov za 153 % glede na skupne stroške pri proizvodni količini EPQ se neposredno spremeni uravnavanje zalog proizvoda, kar smo prikazali v poglavju 4.5.

Postopek izračuna ob predpostavki obeh določenih kriterijev je prikazan v spodnjih izračunih. Izračun (23) prikazuje določitev minimalnega skupnega stroška za parameter EPQ, v katerega je v prvem delu vsote všteti strošek priprave delovnega mesta, medtem ko je v drugem delu vsote prikazan izračun stroška skladiščenja proizvoda 2.

$$f_{1,min} = \frac{(D \cdot R)}{Q_{EPQ}} + EPQ \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot \frac{H}{2} = \frac{(1.680 \cdot 62,00\text{€})}{443} + 443 \cdot \left(1 - \frac{1.680}{16.916}\right) \cdot \frac{1,18\text{€}}{2} = 470,71\text{€} \quad (23)$$

Sledi še izračun (24), v katerem je prikazan izračun skupnih stroškov v primeru proizvoda 2, kjer je upoštevan parameter MPQ.

$$f_{1,max} = \frac{(D \cdot R)}{Q_{MPQ}} + MPQ \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot \frac{H}{2} = \frac{(1.680 \cdot 62,00\text{€})}{100} + 44 \cdot \left(1 - \frac{1.680}{16.916}\right) \cdot \frac{1,18\text{€}}{2} = 2.391,45\text{€} \quad (24)$$

Teoretični pristop dveh kriterijev zahteva določitev minimalne velikosti proizvodne serije, ki je v tem primeru MPQ, kar prikazuje izračun (25). Izračun (26) prikazuje še maksimum funkcije  $f$ , ki v primeru proizvoda 2 znaša 443 proizvodov.

$$f_{2,min} = Q = MPQ = 44 \quad (25)$$

$$f_{2,max} = Q = EPQ = 443 \quad (26)$$

Zadnji korak določitve proizvodne serije  $Q^*$  je prikazan v izračunu (27). V tem delu so uporabljeni vsi vhodni podatki, ki so bili do sedaj izračunani v poglavju 4.4 in preostali splošni vhodni podatki, kot so letni plan rabe proizvoda 2, maksimalna letna proizvodna kapaciteta, strošek skladiščenja in strošek priprave delovnega mesta.

$$Q = \sqrt{\frac{D \cdot R}{\frac{w_2}{w_1} \cdot \left(\frac{f_{1,max} - f_{1,min}}{f_{2,max} - f_{2,min}}\right) + \frac{H}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} = \sqrt{\frac{1.680 \cdot 62\text{€}}{0,6 \cdot \left(\frac{2.391,45\text{€} - 470,71\text{€}}{443 - 44}\right) + \frac{1,18\text{€}}{2} \cdot \left(1 - \frac{1.680}{16.916}\right)}} = 114 \quad (27)$$

Rezultati izračunov podajajo velikosti proizvodnih serij glede na podane vhodne podatke ter izbrana kriterija. Pri proizvodih št. 4 in 6 se je izkazalo, da izračunana velikost proizvodne serije pade pod MPQ, kar z vidika proizvodnega procesa ni ustrezno. Zato je pri teh dveh proizvodih kot spodnjo mejo potrebno upoštevati MPQ. Pri obeh proizvodih je opazen majhen razkorak med vrednostma MPQ in EPQ, kar vpliva na skupne stroške. V primeru proizvoda št. 4 se dodatno izpostavlja vpliv visokih stroškov skladiščenja, ki prispevajo k

zmanjšanju velikosti proizvodne serije. Višji stroški skladiščenja, ki se pojavljajo v imenovalcu enačbe, neposredno vplivajo na zmanjšanje končnega rezultata – torej na nižjo velikost proizvodne serije. Poleg skupnih stroškov je izjemno pomemben vidik zmogljivosti delovnega mesta glede na velikost proizvodne serije in števila nastavitve naprave delovnega mesta. V tabeli 12 je predstavljen vidik zmogljivosti obeh delovnih mest glede na število proizvodnih serij v enem letu. Primerjava je izvedena med modelom, ki vključuje dva kriterija in klasičnim modelom EPQ. Kot glavni primerjalni parameter je uporabljen skupni čas nastavitve, izražen v minutah na letni ravni. Povprečno se za vseh osem proizvodov čas nastavitve poveča za več kot 141 %, kar vpliva na željeno kapaciteto delovnega mesta za zadostitev izdelavo proizvodov. Največja sprememba bi bila pri proizvodu 2, kjer bi se čas nastavitve delovnega mesta povečal iz 456 minut na 1.770 minut, kar znaša 289 % zvišanje glede na čas nastavitve v primeru parametra EPQ.

Tabela 11: Izračun zmanjšanja proizvodne količine (optimizacija z dvema kriterijema)

| Proizvod | f <sub>1_min</sub> | f <sub>1_max</sub> | f <sub>2_min</sub> | f <sub>2_max</sub> | MPQ   | EPQ    | Q*    | Q - Podjetje |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------|-------|--------------|
| 1        | 621,62 €           | 2.841,46 €         | 107                | 962                | 107   | 962    | 261   | 86           |
| 2        | 470,71 €           | 2.391,45 €         | 44                 | 443                | 44    | 443    | 114   | 59           |
| 3        | 370,92 €           | 627,98 €           | 27                 | 84                 | 27    | 84     | 39    | 150          |
| 4        | 528,04 €           | 531,77 €           | 16                 | 18                 | 16    | 18     | 14    | 28           |
| 5        | 209,93 €           | 381,50 €           | 3.897              | 12.995             | 3.897 | 12.995 | 5.810 | 2.689        |
| 6        | 1.193,12 €         | 1.199,47 €         | 350                | 520                | 350   | 520    | 348   | 231          |
| 7        | 952,62 €           | 2.340,08 €         | 52                 | 244                | 52    | 244    | 92    | 133          |
| 8        | 188,13 €           | 254,71 €           | 73                 | 165                | 73    | 165    | 89    | 220          |

Vir: lastno delo.

Tabela 12: Primerjava parametrov za računski model EPQ in model z dvema kriterijema

| Proizvod   | D      | n - Q* | n - EPQ | Čas nastavitve v letu - Q* [min] | Čas nastavitve v letu - EPQ [min] | Odstotek      |
|--|--------|--------|---------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 1.   | 4.825  | 18     | 5       | 2.214                            | 602                               | 268,1%        |
| 2.   | 1.680  | 15     | 4       | 1.770                            | 456                               | 288,5%        |
| 3.   | 250    | 6      | 3       | 769                              | 359                               | 114,2%        |
| 4.   | 50     | 4      | 3       | 664                              | 511                               | 30,0%         |
| 5.   | 44.000 | 8      | 3       | 454                              | 203                               | 123,6%        |
| 6.   | 10.010 | 29     | 19      | 1.724                            | 1.155                             | 49,3%         |
| 7.   | 1.500  | 16     | 6       | 2.448                            | 922                               | 165,5%        |
| 8.   | 500    | 6      | 3       | 336                              | 182                               | 84,4%         |
| <b>Povprečna sprememba časa nastavitve za proizvode iz Q* glede na EPQ [%]</b> |        |        |         |                                  |                                   | <b>140,5%</b> |

Vir: lastno delo.

Pri določitvi končne proizvodne serije smo upoštevali dva ključna kriterija: zmanjšanje proizvodne serije in optimizacijo stroškov, pri čemer smo večji poudarek dali prvemu kriteriju. Ta odločitev temelji na značilnostih podjetja, ki deluje v maloserijski proizvodnji. Zaradi tega pristopa lahko na mehanski obdelavi učinkovito obdelujemo več kot 10 različnih

proizvodov v celotnem obsegu proizvodnje, kar je ključno za ohranjanje fleksibilnosti in prilagodljivosti. Zmanjšanje proizvodne serije je bilo izbrano kot prednostni kriterij, saj omogoča naslednje prednosti:

- **Fleksibilna proizvodnja:** Z nižjimi proizvodnimi serijami hitreje prehajamo med proizvodnjo različnih proizvodov, kar je bistveno za izpolnjevanje potreb po proizvodih v primeru v maloserijske proizvodnje.
- **Manjše zaloge:** Zmanjšanje proizvodne serije neposredno vpliva na znižanje stroškov skladiščenja, zmanjšanje tveganja zastarelosti zalog in izboljšano likvidnost.
- **Boljša kontrola kakovosti:** Nižje proizvodne serije omogočajo lažje sledenje kakovosti in manjšajo tveganje napak v proizvodnem procesu.

Drug kriterij, optimizacija stroškov, je imel manjši vpliv pri določitvi proizvodne serije, vendar ni bil zanemaren. Optimizacija stroškov je bila integrirana v končni rezultat prek uteži 0,4, kot so skupni stroški nastavitve delovnega mesta in skladiščenja. Ti stroški so bili uravnoteženi z zmanjšanjem velikosti proizvodne serije, pri čemer je bila dosežena rešitev, ki je izboljšala stroškovne parametre proizvodnega procesa.

Uporaba računskega modela z upoštevanjem dveh kriterijev predstavlja za obravnavano podjetje najprimernejšo oceno med analiziranimi pristopi. Kljub določenim poenostavitvam omogoča zmanjšanje proizvodnih serij ter večjo fleksibilnost sistema, ob hkratnem upoštevanju vidika skupnih stroškov. Med vsemi štirimi modeli se ta pristop najbolj približa dejanskim razmeram in potrebam podjetja.

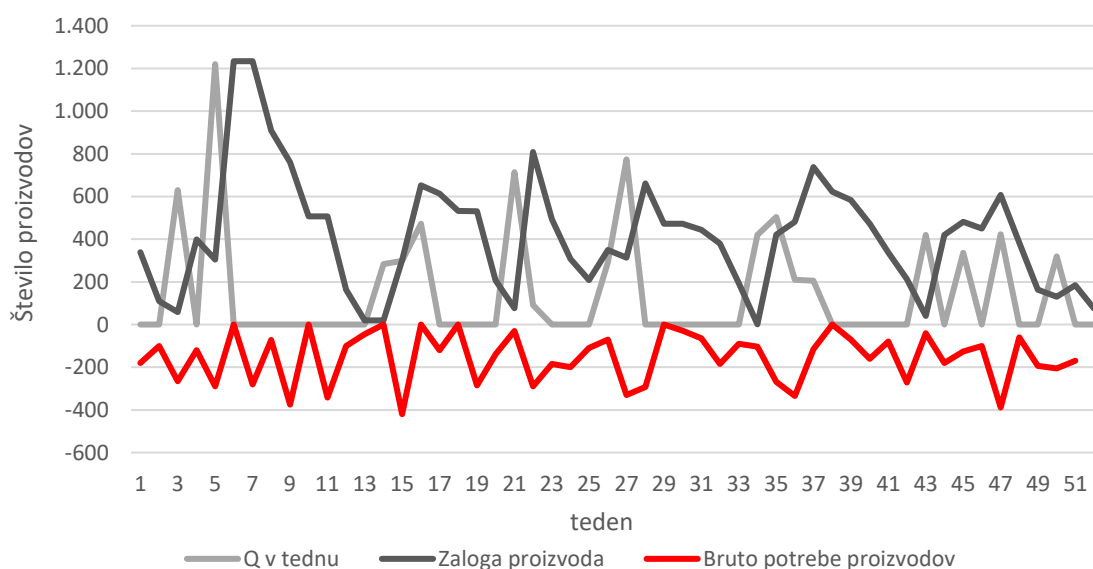
#### **4.5 Uravnavanje zalog**

Obravnava uravnavanja zalog je pri analizi proizvodne serije in stroškovne učinkovitosti proizvodnega procesa pomemben parameter, saj zaloga neposredno vpliva na stroške skladiščenja, odzivnost na rabo proizvodov iz skladišča in proizvodno fleksibilnost. Pravilno uravnotežena zaloga omogoča nemoten potek proizvodnje, zmanjšuje tveganje prekomernih zalog ali pomanjkanje in hkrati podpira optimalno izkoriščenost virov. Tako postane zaloga osrednji mehanizem za usklajevanje sprememb povpraševanja in proizvodnih zmogljivosti.

Določitev proizvodne serije neposredno vpliva na zasedenost skladišča s proizvodi iz delovnih mestih. Glede na izračunane proizvodne serije na obeh delovnih mestih smo za proizvod 6 iz delovnega mesta Nakamura izračunali nastalo zalogo na tedenski ravni. Izračuni so bili pripravljeni v MRP tabeli, v kateri smo definirali bruto potrebe proizvodov v planskem obdobju enega leta in izračunano proizvodno serijo. MRP tabel v magistrsko delo nismo vključili, saj zaradi obsega tabele glede na tedensko raven ne ustreza formatu poročila. Predpostavili smo, da se potrebna količina proizvede v istem tednu, brez upoštevanja zamikov zaradi dobavnih rokov. Grafična predstavitev tako ne prikazuje dejanskega MRP izpisa, temveč analitični prikaz na konceptu MRP tabel, ki omogoča pregled dinamike zalog, proizvodnje in kapacitete na tedenski ravni. Slika 12 prikazuje

gibanje proizvodne količine v tednu, velikost zaloge proizvoda 6 in bruto potrebe proizvodov iz skladišča za preteklo leto 2023. V analizi je upoštevano obdobje 52 tednov. V letu 2023 se je izvedlo 33 proizvodnih serij s povprečjem 231 proizvodov, kjer je bil razpon med maksimalno 560 proizvodov do minimalno 42 proizvodov. Zaradi močnega nihaja rabe proizvoda je podjetje moralo prilagajati velikost proizvodne serije in posledično tudi časovno razporeditev izvedbe. V sedmih tednih leta 2023 so se proizvodne serije prav tako ponovile znotraj enega tedna, zato slika 12 ne odraža realnih proizvodnih serij, ampak vsote tedenskih proizvodnih količin. Tako je 231 proizvodov povprečje vseh proizvodnih serij na delovnem mestu Nakamura za proizvod 6. Glede na profil proizvodnih serij za preteklo obdobje je mogoče opaziti, da tedenska proizvodna količina iz tedna v teden niha, kar prikazuje svetlo siva črta. Proizvodna količina se v enem tednu spremeni od maksimalno 1.220 do minimalno 92 proizvodov, kar je odraz dopolnjevanja zaloge in izpolnjevanja naročil oddelka montaže. Ravno tako zaloga proizvoda 6 podobno sledi profilu proizvodne količine, saj so vsi proizvodi po dokončanju proizvodne serije transportirani v skladišče. Prilagajanje proizvodne serije predstavlja izziv predvsem zaradi nenehnih sprememb v potrebah po proizvodih, ki so posledica nihajočega povpraševanja po končnih izdelkih. Analiza obstoječih podatkov na sliki 12 ne upošteva meje varnostne zaloge pri določanju materialnih potreb, čeprav je ta vključena v skupno količino. Za primer magistrskega dela smo slednje obravnavali kot skupno zalogo proizvoda 6. Kot je razvidno, je oddelek interne oskrbovalne verige v letu 2023 šestkrat v letu dopustil rabo vseh proizvodov iz skladišča za namen oddelka montažne linije. To pomeni, da so v tistem tednu zalogo proizvoda 6 izpraznili in jo nato najkasneje v roku petih dni dopolnili. Velikost zaloge na tedenski ravni je bila neposredno odvisna od skupne proizvodne količine v enakem tednu po izpraznitvi zaloge.

*Slika 12: Prikaz preteklega obdobja zaloge in proizvodne serije za proizvod 6*



*Vir: lastno delo.*

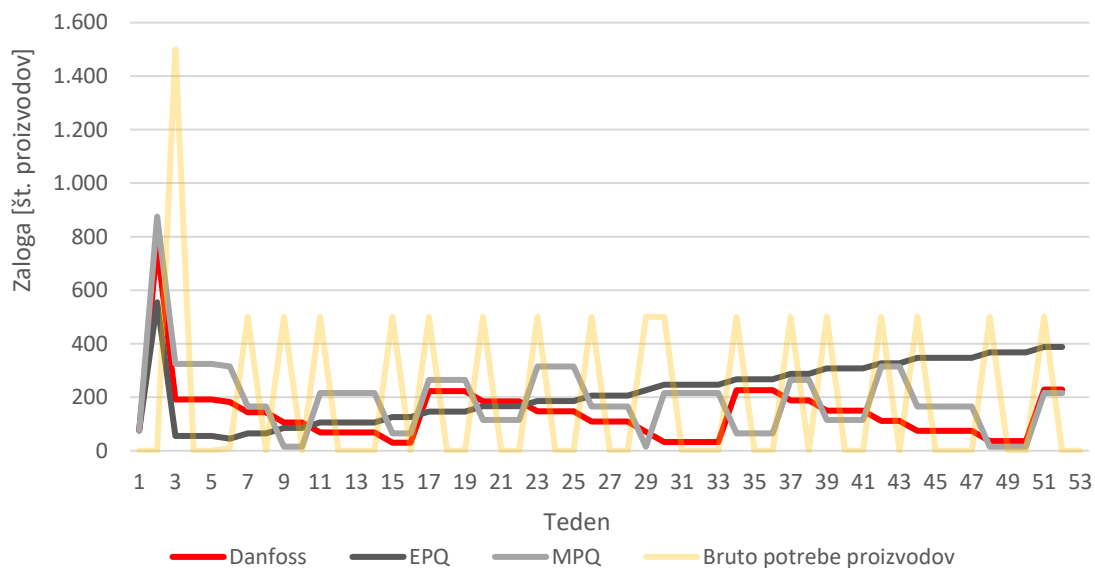
Za obdobje enega leta je opravljena analiza gibanja zaloge proizvoda 6 s predpostavko, da se proizvodna serija ne spremeni tekom planskega obdobja oziroma se lahko enaka vrednost proizvodne serije le ponovi. Teoretične vrednosti izračunanih proizvodnih serij za proizvod 6 so prenesene v graf na sliki 13. Ker izračun v MRP tabeli poteka na tedenski ravni, so proizvodne količine prikazane kot vsota večkratnika določene proizvodne serije v enem tednu. Vhodni podatki za pripravo MRP tabele so količina začetne zaloge v tednu 0 ter bruto potrebe proizvodov v obdobju enega leta. Čeprav bruto potrebe v večini tednov ne presegajo 500 enot, se v drugem tednu pojavijo zahteve po 1.500 enotah, kar zahteva prilagoditve pri izpolnjevanju povpraševanja za proizvod 6. Ker je največja mogoča tedenska proizvodnja v dveh izmenah omejena na 1.000 enot, naročila v drugem tednu ni mogoče v celoti izpolniti. Zato se v prvem tednu proizvede dodatna serija v obsegu, ki zadostuje za pokritje manjkajočega dela naročila in se začasno skladišči do uporabe v drugem tednu. Na sliki 13 je razviden profil nihanja zaloge proizvoda 6 glede na izračunane parametre EPQ in povprečno velikost proizvodne serije podjetja v letu 2023 in MPQ glede na bruto potrebe proizvodov. V primeru proizvoda 6 ni mogoče obravnavati velikosti proizvodne serije z upoštevanjem dveh kriterijev, saj ta ne dosega minimalne velikosti proizvodne serije, ki smo jo izračunali v poglavju 4.5. Analiza zalog proizvoda 6 je pripravljena na podlagi izračunanih proizvodnih količin, ki so znašale:

- Povprečna proizvodna serija podjetja v letu 2023 znaša 231 proizvodov.
- EPQ magistrskega dela znaša 520 proizvodov (poglavje 4.1).
- MPQ znaša 350 proizvodov (poglavje 4.2).

Parametra zaloge in števila proizvodnih serij sta neposredno vezana na skupne stroške. Trenutna proizvodna serija podjetja je glede na teoretične računске modele neoptimalna, saj so obstoječi skupni stroški bistveno višji od EPQ modela. Stroški obstoječih proizvodnih serij so v primerjavi z EPQ modelom neusklajeni, saj je strošek skladiščenja proizvodov nizek v primerjavi z letnim stroškom nastavitve proizvodnega mesta. Vendar zaradi velikega števila proizvodov, ki jih podjetje izdeluje na oddelku mehanske obdelave, potrebuje nižje velikosti proizvodnih serij, saj bi v nasprotnem primeru prišlo do nezmožnosti izdelave vseh proizvodov pravočasno. Glede na celotno analizo magistrskega dela bi v primeru proizvoda 6 upoštevali parameter MPQ, ki se glede na profil zaloge na sliki 13 nekoliko spremeni glede na trenutno velikost proizvodne serije. Zaloga pri trenutni tedenski proizvodni količini se v primerjavi z zalogo ob uporabi MPQ razlikuje predvsem v amplitudi nihanj. Uporaba MPQ povzroča večja nihanja zaloge zaradi redkejše, a obsežnejše proizvodnje, medtem ko se pri manjših in pogostejših proizvodnih ciklih zaloga postopoma zmanjšuje. Pri parametru EPQ se pojavi zanimiv pojav: po začetnih dveh tednih se vzorec zalog razlikuje od tistega pri modelu MPQ in obstoječi velikosti proizvodnih serij. Zaloga se skozi plansko obdobje postopoma zvišuje, kar je posledica velikosti proizvodne serije. Zaradi visoke proizvodne serije se zaloga vsakič dopolni le delno, saj se del proizvodov takoj porabi za izpolnjevanje bruto potreb. Kljub temu zaloga v celotnem obdobju ne preseže 500 enot, kolikor znaša povpraševanje po proizvodih, zato je za pokritje potreb smiselno proizvodnjo v velikih

serijah planirati po modelu EPQ, pri čemer se proizvodnja sproži vedno ob izdaji naročila. Če bi obravnavali celotno skladišče oziroma vnaprej določili prostorsko omejitev za skladiščenje proizvoda 6, bi bilo mogoče določiti še največje dopustno število enot tega proizvoda, ki jih je mogoče skladiščiti ob njegovi izdelavi. Velikost proizvodne količine v seriji mora biti v končnem stanju usklajana s preostalimi delovnimi mesti na oddelku mehanske obdelave in kot že omenjeno kapaciteto skladišča.

Slika 13: Gibanje zaloge proizvoda 6 v prihodnjem planskem obdobju



Vir: lastno delo.

Zaloga proizvodov je za podjetje izjemno pomembna, saj le z zadostno zalogo proizvodov izpolnjujejo potrebe na oddelku montaže, ki deluje bolj fleksibilno in z manjšimi proizvodnimi serijami kot oddelk mehanske obdelave. Izračunani parametri proizvodne serije so uporabljeni v MRP tabeli, kjer so pokrivali potrebno število zahtevanih proizvodov v enem tednu. V enem tednu se lahko na delovnem mestu proizvede maksimalno 1.000 proizvodov 6 ob upoštevanju časa izdelave posameznega proizvoda, pri čemer čas nastavitve delovnega mesta ni vključen. Glede na ta vhodni podatek so nato po potrebi proizvodne serije predstavljene v predhodni teden, v kolikor bi bile kapacitete delovnega mesta Nakumura prezasedene. Povprečna zaloga za vseh 52 tednov je znašala 218 proizvodov pri parametru EPQ, 139 proizvodov za povprečno proizvodno serijo podjetja in 190 proizvodov za izračunan parameter MPQ. Iz rezultatov preračuna je razvidno, da je v povprečju strošek skladiščenja še vedno najmanjši pri parametru obstoječe povprečne proizvodne serije podjetja. Vendar je potrebno upoštevati, da je podjetje delovalo z različnimi velikostmi proizvodne serije v predhodnih obdobjih, ki so bile tako nižje kot višje od povprečne uporabljene vrednosti. Podjetje bi lahko s parametrom MPQ optimiziralo izbiro proizvodne serije, saj parameter upošteva najnižje zastavljene skupne stroške za izbran proizvod.

#### 4.6 Diskusija rezultatov

Štirje teoretični računski modeli določitve proizvodne serije so potrdili, da je vpliv vhodnih stroškovnih parametrov zelo visok glede na velikost proizvodne serije. V današnjem konkurenčnem poslovnem svetu in trendu nižanja skupnih stroškov je analiza proizvodnih serij za dve delovni mesti v oddelku mehanske obdelave izjemno pomembna, saj lahko podjetje na tej analizi gradi bolj podrobne analize pri določitvi optimalnih proizvodnih serij. Glavno raziskovalno vprašanje se nanaša na to, ali podjetje trenutno deluje v skladu z modelom EPQ. Model obravnava vprašanje o stroškovni učinkovitosti med skladiščenjem proizvoda ali ponovnem zagonu proizvodnje, kadar se pojavi potreba po proizvodu. Izkazalo se je, da obstoječa proizvodnja vseh osmih proizvodov deluje izven stroškovne učinkovitosti modela EPQ. Za pet od osem proizvodov so vrednosti EPQ bistveno višje od sedanjih povprečnih serij, medtem ko je pri treh proizvodih realna povprečna proizvodna serija nekoliko nižja. Tabela 13 prikazuje izračunane velikosti proizvodnih serij glede na teoretični model. Ob tem je v zadnjem stolpcu prikazana povprečna velikost proizvodne serije v letu 2023, ki je služila kot referenčna vrednost za primerjavo z izračunanimi parametri.

Tabela 13: Velikost proizvodne serije glede na teoretični koncept

| Proizvod | MPQ   | EPQ    | Q*    | Q - soproizvodnja | Q - obstoječe |
|----------|-------|--------|-------|-------------------|---------------|
| 1.       | 107   | 962    | 261   | 1.774             | 86            |
| 2.       | 44    | 443    | 114   | 618               | 59            |
| 3.       | 27    | 84     | 39    | 92                | 150           |
| 4.       | 16    | 18     | 14    | 18                | 28            |
| 5.       | 3.897 | 12.995 | 5.810 | 7.673             | 2.689         |
| 6.       | 350   | 520    | 348   | 1.746             | 231           |
| 7.       | 52    | 244    | 92    | 262               | 133           |
| 8.       | 73    | 165    | 89    | 87                | 220           |

Vir: lastno delo.

Tabela 14: Skupni stroški glede na velikost proizvodne serije

| Proizvod | Ss - MPQ   | Ss - EPQ   | Ss - Q*    | Ss - Q soproizvodnja | Ss - obstoječe |
|----------|------------|------------|------------|----------------------|----------------|
| 1.       | 2.841,46 € | 621,62 €   | 1.228,42 € | 741,47 €             | 3.494,09 €     |
| 2.       | 2.391,45 € | 470,71 €   | 974,92 €   | 497,11 €             | 1.783,44 €     |
| 3.       | 627,98 €   | 370,92 €   | 483,86 €   | 372,60 €             | 435,43 €       |
| 4.       | 531,77 €   | 528,04 €   | 546,28 €   | 528,52 €             | 585,81 €       |
| 5.       | 381,50 €   | 209,93 €   | 281,69 €   | 239,75 €             | 528,89 €       |
| 6.       | 1.288,00 € | 1.193,12 € | 1.290,26 € | 2.179,74 €           | 1.609,53 €     |
| 7.       | 2.340,08 € | 952,62 €   | 1.444,10 € | 954,91 €             | 1.132,60 €     |
| 8.       | 254,71 €   | 188,13 €   | 224,46 €   | 227,54 €             | 196,04 €       |

Vir: lastno delo.

V tabeli 14 so prikazni skupni stroški za vsak proizvod pri izračunani velikosti proizvodne serije iz tabele 13. Skupni stroški upoštevajo seštevek stroška skladiščenja proizvodov in

strošek nastavitve delovnega mesta. Tabela 14 je oblikovana tako, da je v vrstici s temno zeleno barvo obarvan najnižji skupni strošek pri posameznem proizvodu in s temno rdečo najvišji skupni strošek. Stroškovna učinkovitost bi se lahko povečala v primeru uporabe modela EPQ, saj bi računski model za pet proizvodov določil večje proizvodne serije. S tem bi se zmanjšalo število nastavitvev delovnega mesta, posledično pa bi bil lahko skupni strošek tudi do petkrat nižji v primerjavi s skupnim stroškom pri trenutnih proizvodnih serijah. Najnižji skupni stroški se pojavijo pri parametru EPQ, kjer se stroški skladiščenja in stroški priprave delovnega mesta izenačijo. Če bi podjetje upoštevalo le ta dva stroška, bi moralo izbrati tisto velikost proizvodne serije po modelu EPQ, pri kateri je skupni strošek najnižji glede na preostale velikosti serij. To za podjetje pomeni, da imajo vhodni stroškovni parametri velik vpliv na optimalno velikost proizvodne serije. Kljub temu pa najnižji teoretični stroški še ne pomenijo nujno tudi najprimernejše rešitve za dejansko proizvodno okolje, saj je potrebno pri odločanju upoštevati tudi druge omejitve in značilnosti proizvodnega sistema.

Pri določanju optimalne proizvodne serije ima pomembno vlogo tudi vpliv na zaloge proizvodov. V kolikor proizvodno serijo povišamo, s tem zmanjšamo stroške nastavitve delovnega mesta, vendar zaradi visokih enkratnih izdelav proizvodov nastane visoka zaloga proizvodov v skladišču. Tako se kapaciteta skladišča zmanjša za preostalih približno 2.000 proizvodov, ki se izdelujejo na oddelku mehanske obdelave. S tem pa podjetje v primeru tako visokih proizvodnih serij, kot je parameter EPQ, ne zmore zagotoviti skladiščenja vseh proizvodov naenkrat. Podjetje tako ne izpolnjuje povpraševanja po končnih izdelkih, saj bi nekateri proizvodi izostali iz proizvodnje. To za podjetje pomeni, da večje serije po modelu EPQ povečajo povprečno zalogo, medtem ko uporaba dveh kriterijev zmanjša zalogo, optimizira skladišče in ohranja fleksibilnost proizvodnje.

Poleg stroškovnega vidika je za podjetje pomembna fleksibilnost proizvodnje. Potrebno je upoštevati, da se trenutna proizvodna serija prilagaja rabi proizvodov na oddelku montaže, kar je posledica naknadnih naročil končnih izdelkov. Razponi med maksimalnimi in minimalnimi velikostnimi proizvodnih serij so prikazani v poglavju 3.5. Za podjetje je pomembno, da proizvodnja ostane fleksibilna in omogoča prilagajanje oddelka mehanske obdelave oddelku montaže končnih izdelkov. Prihranka stroška fleksibilnosti ni mogoče natančno opredeliti kvantitativno, vendar si ga lahko predstavljamo kot oportuniteti strošek zaradi izgube naročila končnih izdelkov. Podjetje bi moralo za proizvoda 4 in 6 uporabiti parameter MPQ, saj je to minimalna vrednost, ki je dovoljena glede na zastavljene stroškovne parametre določitve MPQ. Glede na teoretični izračun velikosti proizvodne serije z upoštevanjem dveh kriterijev za omenjena proizvoda  $Q^*$  ni mogoče uporabiti, saj glede na uporabljene vhodne podatke ne moremo dosegati višje vrednosti od MPQ. Za preostale proizvode bi se podjetje odločilo za velikost proizvodne serije z upoštevanjem dveh kriterijev, kjer je upoštevan tako vidik stroškovne optimizacije kot tudi strmenje k fleksibilni proizvodnji. Za zagotovitev ustreznosti uporabe izračunanih velikosti proizvodnih serij je smiselno njihovo posodobitev izvesti enkrat letno oziroma ob bistvenih spremembah

vhodnih podatkov, kot so spremembe cen materialov, stroški postopka izdelave ali večje spremembe v povpraševanju. To za podjetje pomeni, da model z dvema kriterijema omogoča upoštevanje fleksibilnosti proizvodnje hkrati z oceno skupnih stroškov, kar omogoča uravnoteženo odločanje o velikosti proizvodnih serij.

Pri interpretaciji rezultatov je potrebno upoštevati tudi prostorske omejitve proizvodnega sistema. V primeru zelo velikih proizvodnih serij bi podjetje težko zagotovilo skladiščenje vseh proizvodov naenkrat, kar bi lahko povzročilo motnje v proizvodnem procesu. Če skladiščne kapacitete niso zadostne, podjetje ne more proizvesti vseh proizvodov v velikih serijah, saj bi to omejilo proizvodnjo drugih proizvodov in posledično vplivalo na izpolnjevanje naročil kupcev. Poleg tega bi velike proizvodne serije dodatno obremenile kapacitete proizvodnih delovnih mest. Posledično podjetje ne bi moglo izdelati določenega proizvoda v trenutku, ko bi ga potrebovalo, saj bi bil čas proizvodnje posameznega produkta daljši zaradi zasedenosti proizvodnih kapacitet. To za podjetje pomeni, da lahko velikosti proizvodnih serij, določene z modeli EPQ ali soproizvodnje, v praksi presegajo razpoložljive skladiščne in proizvodne kapacitete, zato jih je treba pri uporabi modelov ustrezno prilagoditi dejanskim omejitvam sistema.

Pri interpretaciji rezultatov je potrebno upoštevati tudi določene omejitve raziskave. Analiza temelji na poenostavljenih teoretičnih modelih, ki ne vključujejo vseh dejavnikov realnega proizvodnega okolja. V obravnavi niso bili upoštevani vplivi varnostnih zalog, skupnih zalog, dobavnih rokov ter dejanskega vpliva proizvodne serije na fleksibilnost proizvodnje. Prav tako analiza temelji na omejenem vzorcu osmih proizvodov in dveh delovnih mest v oddelku mehanske obdelave.

Rezultati modelov EPQ, MPQ, z upoštevanjem proizvodnje in z dvema kriterijema dajejo teoretično oceno optimalnih proizvodnih serij, vendar so v maloserijski proizvodnji izvedljivi le delno, saj predpostavljajo stabilno povpraševanje, stalne proizvodne hitrosti in zadostne skladiščne kapacitete. V praksi se bodo proizvodne serije verjetno razlikovale zaradi prilagajanja naročilom, časa nastavitve naprav, kapacitet delovnih mest in prostorskih omejitev. Modeli se izkažejo za manj učinkovite predvsem v primerih nepredvidljivih naročil, pogostih sprememb proizvodnih serij ter omejenih kapacitet proizvodnih linij in skladišč, saj praviloma ne upoštevajo možnosti prerazporejanja proizvodnje med posameznimi napravami ali družinami proizvodov.

## **5 SKLEP**

Raziskovalno delo temelji na določitvi velikosti proizvodne serije za osem proizvodov in primerjavi izračunanih velikosti proizvodnih serij s povprečnimi velikostmi obstoječih serij za obravnavani delovni mesti struženja ter frezanja. Prizadevali smo si prikazati metodologijo določitve velikosti proizvodne serije glede na stroškovne parametre, ki neposredno vplivajo na proces planiranja proizvodnje. Podjetju smo tako orisali možnost

izračuna optimalnih velikosti proizvodnih serij glede na zbrane vhodne stroškovne podatke. Opredelili smo modele za določitev velikosti proizvodnih serij, ki upoštevajo aspekte proizvodnje, kot so: stroški skladiščenja in priprave delovnega mesta, soproizvodnja ter minimalna velikost proizvodne serije glede na stroškovni vidik in zahtevano fleksibilnost proizvodnje.

Analiza trenutnega stanja vključuje ključne osnovne podatke za posamezen proizvod. V sklopu analize smo izračunali povprečno velikost proizvodnih serij v obstoječi proizvodnji in število proizvodov, ki so istočasno zapustili skladišče. Obravnava podatkov je potrdila, da se oddelek montaže sooča z visokim številom menjav med različnimi finalnimi izdelki in manjšimi proizvodnimi serijami. V fazi analize trenutnega stanja so bili opredeljeni vsi stroškovni parametri za posamezen proizvod, kar mi je omogočilo pregled stanja iz stroškovne perspektive. Glede na vhodne podatke sem preračunal dejanske skupne stroške za obstoječe povprečne velikosti proizvodnih serij. V začetni primerjavi smo izbrali model EPQ in zanj pri izbranih proizvodih izračunali skupne stroške. Primerjava je pokazala, da ta model zagotavlja najnižje skupne stroške, saj enači stroške skladiščenja in stroške priprave delovnega mesta. Primerjava je pokazala, da izračunane optimalne velikosti proizvodnih serij odstopajo od trenutnega stanja, za katerega je značilna prevelika frekvenca nastavitve delovnih mest kot posledica majhnih proizvodnih serij. Izziv, na katerega smo naleteli, je bila omejitev velikost proizvodne serije v smer zmanjševanja le te. Zato smo postavili koncept izračuna MPQ parametra, ki bil je definiran na podlagi zastavljene minimalne vrednosti povprečnega skupnega stroška in stroška proizvodnje enega proizvoda. Dejansko določanje parametra MPQ je pomembno za proizvodni proces, saj previsoki stroški pri majhnih velikostih proizvodnih serij negativno vplivajo na stroškovno učinkovitost celotne proizvodnje. Pristopa MPQ in EPQ sta bila tekom analize nadgrajena z možnostjo upoštevanja zmanjšanja zalog, kar veva koncept fleksibilnosti proizvodnje. Z določitvijo razmerja med stroškovno optimizacijo in fleksibilno proizvodnjo smo določili velikost proizvodnih serij, ki upoštevajo koncept odzivne proizvodnje glede na rabo proizvodov na oddelku montaže. Eden izmed ciljev magistrskega dela je bil prav tako pregled vpliva dejavnika soproizvodnje na delovnem mestu. Določili smo velikosti proizvodnih serij glede na skupne stroškovne parametre vseh izdelujočih proizvodov na delovnem mestu. Velikost proizvodne serije in čas nastavitve delovnih mest sta pomembno vplivala na izkoriščenost kapacitete naprave. Izkoriščenost zmogljivosti delovnega mesta se je nižala z manjšanjem velikosti proizvodne serije, saj je nastavitve delovnega mesta zahtevala več časa. V zaključku magistrskega dela smo s pomočjo MRP tabel prikazali, kako velikost proizvodne serije vpliva na zalogo proizvodov na tedenski ravni. S profila števila proizvodov na zalogi lahko opazimo, da z višanjem proizvodne serije skozi obdobje enega leta zaloga postopoma raste na visoke ravni, kar s stroškovnega vidika ni optimalno.

Namen analize velikosti proizvodnih serij je bil dokazati vpliv slednjih na stroškovno učinkovitost. Z določitvijo novih velikosti proizvedenih serij smo prikazali pozitiven vpliv na stroškovne parametre in ob tem upoštevali fleksibilnost proizvodnje. V svetu

konkurenčnosti in prilagodljivosti kupcem mora podjetje izpolnjevati povpraševanje v najkrajšem mogočem času, kar primarno omogočajo manjše proizvodne serije ali enormne zaloge vseh proizvodov. Z izbranimi parametri ostane oddelek mehanske obdelave še vedno fleksibilen in lahko proizvode v hitrejšem taktu zamenjuje ter zmanjšuje zalogo v primerjavi s konceptom EPQ. Za vse spremembe pri planiranju proizvodnje je potrebno ugotoviti širši vpliv na preostale parametre, zato bi bilo potrebno za dane velikosti proizvodnih serij opraviti evalvacijo. Podjetje ima na oddelku mehanske obdelave neizkoriščene kapacitete v tretji izmeni in ob sobotah, kar omogoča dodatno optimizacijo parametrov planiranja ter razvoj projektov za izboljšanje učinkovitosti proizvodnih procesov.

Na določitev proizvodne serije vpliva precej dejavnikov znotraj podjetja, vendar vseh nisem vključil v analizo. Med parametre, ki sem jih izpustil iz analize sodijo: varnostna zaloga, vpliv dobaviteljev na dobavo surovega materiala in omejitve kapacitete skladiščnega prostora. Kljub temu, da imajo tudi ti parametri pomemben vpliv na dejansko določitev proizvodnih serij, bi bilo magistrsko delo ob dodatnih treh parametrih preobsežno, zato je bila izpustitev le teh nujna, ob tem pa se ponuja možnost za nadaljnje raziskovanje.

Tema določanja proizvodne serije je izjemno širok pojem, ki obsega veliko dejavnikov, katere je potrebno skozi analizo upoštevati pri optimizaciji parametrov planiranja proizvodnje. V prvem koraku razširitve magistrskega dela bi bilo potrebno v računske modele dveh delovnih mest vpeljati vhodne podatke kot so varnostna zaloga, točka ponovnega naročila in določitev kapacitete skladišča za posamezen proizvod. Ti podatki bi omogočili pregled nad širšo sliko določitve proizvodnih serij in ne samo stroškovnih parametrov. Dodatno razširitev magistrskega dela predstavlja možnost upoštevanja vseh delovnih mest na oddelku mehanske obdelave, kar bi prikazalo dejanski tok materiala skozi oddelek mehanske obdelave v skladišče proizvodov. Tako bi v analizi definirali dejansko stanje potreb po proizvodih in obravnavali dejanske količine, ki se lahko skladiščijo. Tekom magistrskega dela je bilo potrebno upoštevati strošek logistične enote, ki je bil v naprej določen iz strani oddelka interne oskrbovalne verige. Tretja razširitev magistrskega dela bi lahko temeljila na teoretičnem izračunu določitve stroška skladiščenja logistične enote. Tako bi bralci in podjetje pridobili vpogled v določitev vseh vhodnih podatkov pri zasnovi stroška skladiščenja logističnega mesta.

## SEZNAM KLJUČNE LITERATURE

1. Chapman, S. N. (2006). *The fundamentals of production planning and control*. Person Education.
2. Čižman, A. (2002). *Logistični management v organizaciji*. Založba Moderna organizacija.
3. Enns, S. T. (1999). The effect of batch size selection. *Computers & Industrial Engineering*, (27), 15–19. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00014-5)

4. Malakooti, B. (2014). *Operations and Production Systems with Multiple Objectives*. John Wiley & Sons.
5. Rusjan, B. (2006). *Managemenet proizvodnje*. Ekonomska fakulteta v Ljubljani, Enota za založništvo.

## LITERATURA IN VIRI

1. Axsater, S. (2006). *Inventory Control* (2. izd.). Springer Science.
2. Beck, F. G. in Glock, C. H. (2020). The economic lot scheduling problem: a content analysis. *International Journal of Production Research*, 58(3), 3437–3454.
3. Byrne, M. D. in O'Grady, P. (1990). Aa industrial study of the effects of batch sizes on the performance of the overall manufacturing system. *Engineering Costs and Production Economics*, 21, 139–147.
4. Chase, C. W. (2016). *Next Generation Demand Management : People, Process, Analytics, and Technology*. John Wiley & Sons.
5. Danfoss. (2024). *Highlights from 90 years of engineering tomorrow to build a better future*. Pridobljeno 2. junija 2024 s <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/company/history/>
6. Danfoss Trata, d.o.o. (2024). *Letno poročilo 2023 Danfoss Trata, d.o.o.* <https://www.ajpes.si/>
7. Desai, A. in Mital, A. (2018). *Production Economics: Evaluating Costs of Operations in Manufacturing and Service Industries*. Taylor & Francis Group.
8. Gelders, L. F. in Van Wassenhove, N. L. (1981). Production planning: a review. *European Journal of Operational Research*, 101–110.
9. Hui-Ming, W. (2011). *Inventory Systems: Modeling and Research Methods*. Nova Science Publishers.
10. Karmarkar, U. S. (1987). Lot Sizes, Lead Times and In-Process Inventories. *Management Science*, 33(3), 409–418.
11. Kavčič, B. (2000). *Upravljanje proizvodnje*. Visoka šola za upravljanje in poslovanje Novo mesto.
12. Kumar, S. A. in Suresh, N. (2009). *Operations Management*. New Age International.
13. Nabil, A. H., Sedigh, A. H. in Cárdenas-Barrón, L. E. (2017). A multiproduct single machine economic production quantity (EPQ) inventory model with discrete delivery order, joint production policy and budget constraints. *Annals of Operations Research*, 169, 265–301.
14. Okhrin, I. in Richter, K. (2011). The linear dynamic lot size problem with minimum order quantity. *Int. J. Production Economics*, 688–693.
15. Park, Y. W. & Klabjan, D. (2015). Lot sizing with minimum order quantity. *Discrete Applied Mathematics*, 235–254.
16. Ramasesh, R., Kulkarni, S. in Jayakumar, M. (2001). Agility in manufacturing systems: an exploratory modeling framework and simulation. *Integrated manufacturing systems*, 12(7), 534–548.

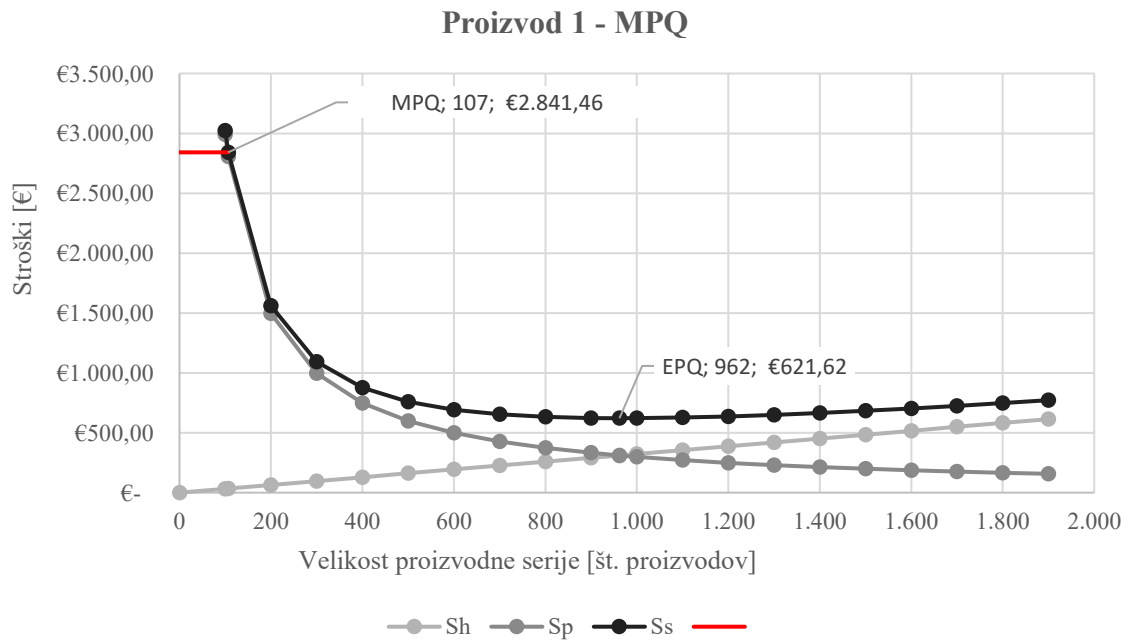
17. Richrer, K. in Okhrin, I. (2011). The linear dynamic lot size problem with minimum order quantity. *International Journal of Production Economics*, 33(2), 688-693.
18. Rosas, R. in Shenoy, D. (2018). *Problems & Solutions in Inventory Management*. Springer International Publishing.
19. Rossi, R. (2021). *Inventory Analytics*. Open book publishers.
20. Rusjan, B. (2009). *Management proizvodnih in storitvenih procesov*. Ekonomska fakulteta v Ljubljani, Založništvo.
21. Sapot, B. (22. Julij 2020). *What Waste in Manufacturing is Costing You*. <https://www.mingosmartfactory.com/what-waste-in-manufacturing-is-costing-you/>
22. Schroeder, R. G. (2004). *Operations Management: Contemporary concepts and cases* (5. izd.). McGraw-Hill Education.
23. Sharifi, H. in Zhang, D. (2000). A Methodology for Achieving Agility in Manufacturing Organizations. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(4), 496-513.
24. Shridhara, B. K. in Aswathappa, K. (2010). *Production and Operations Management*. ProQuest Ebook Central.
25. Slack, N., Brandon-Jones, A. in Johnston, R. (2013). *Operations management* (7. izd.). Pearson Education Limited.
26. Thomas, L. J. in McClain, J. O. (1993). An overview of production planning. *Handbooks in operations research and management science*, 4, 333–370.
27. Toktay, L. B. in Wein, L. M. (2001). Analysis of a forecasting-production-inventory system with stationary demand. *Management Science*, 47(9), 1268–1281.
28. TREBUŃA, P. (2009). Factors influencing batch size. *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara: Journal of engineering*, 59–62.
29. Viale, J. D. (1996). *Basics of inventory management*. CrisoLearning.
30. Waters, D. (2017). Inventory Management. *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management, 2017*, 195–212.
31. Xu, Y., Elgh, F., Erkoyuncu, J. A., Bankole, O., Goh, Y., Cheung, W. M., Baguley, P., Wang, Q., Arundachawat, P., Shehab, E., Newnes, L. in Roy, R. (2012). Cost Engineering for manufacturing: Current and future research. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(4-5), 300–314.



## **PRILOGE**

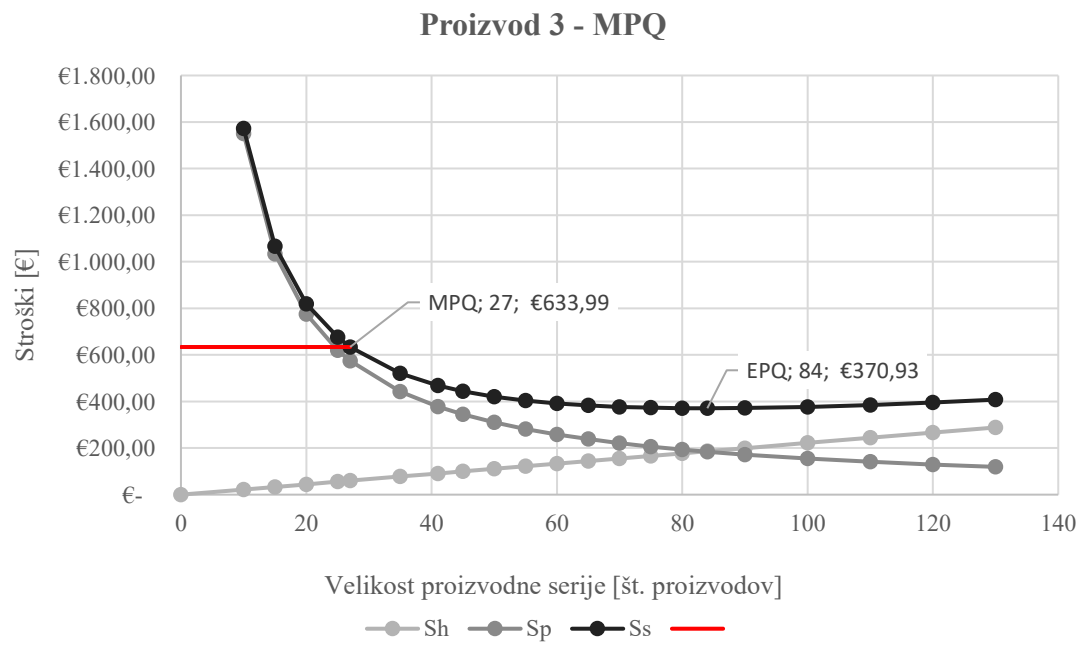


## Priloga 1: Določitev MPQ za proizvod 1



*Vir: lastno delo.*

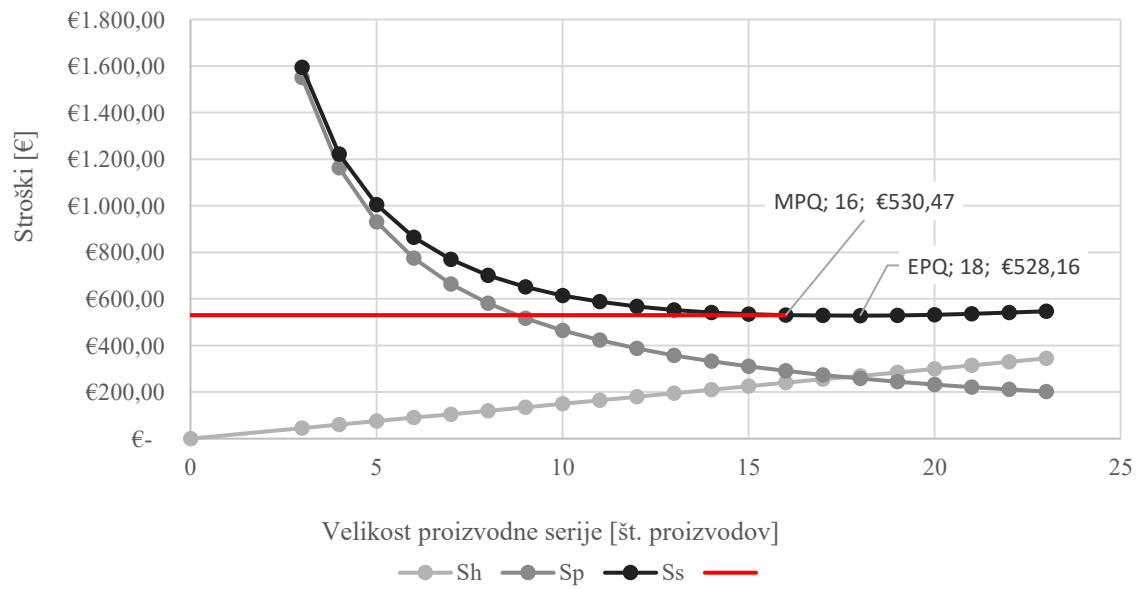
## Priloga 2: Določitev MPQ za proizvod 3



Vir: lastno delo.

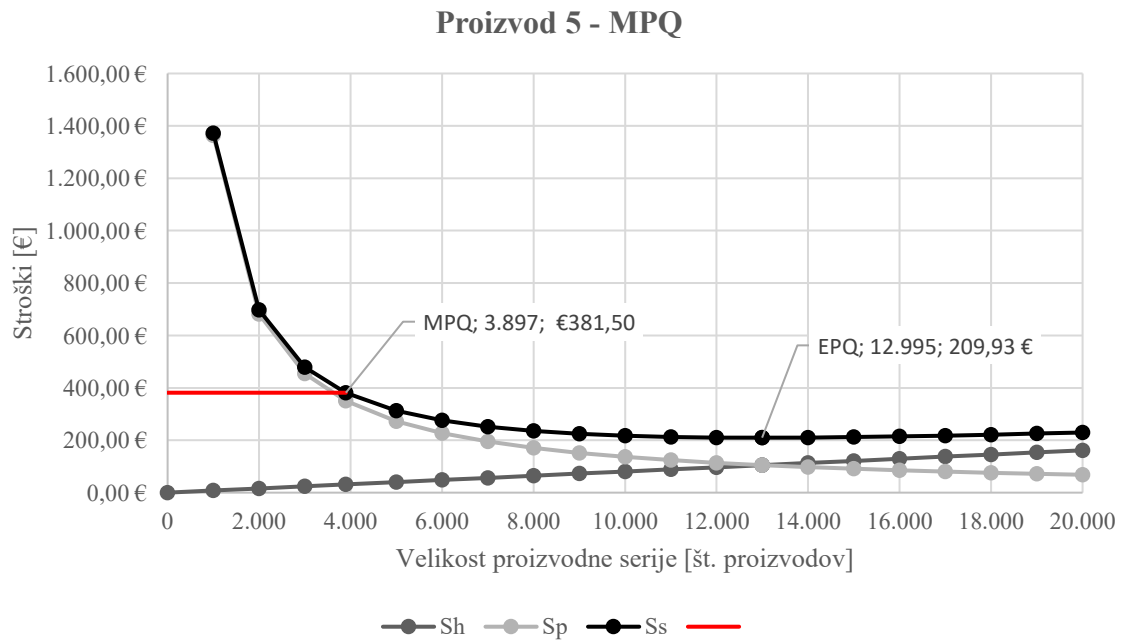
### Priloga 3: Določitev MPQ za proizvod 4

#### Proizvod 4 - MPQ



Vir: lastno delo.

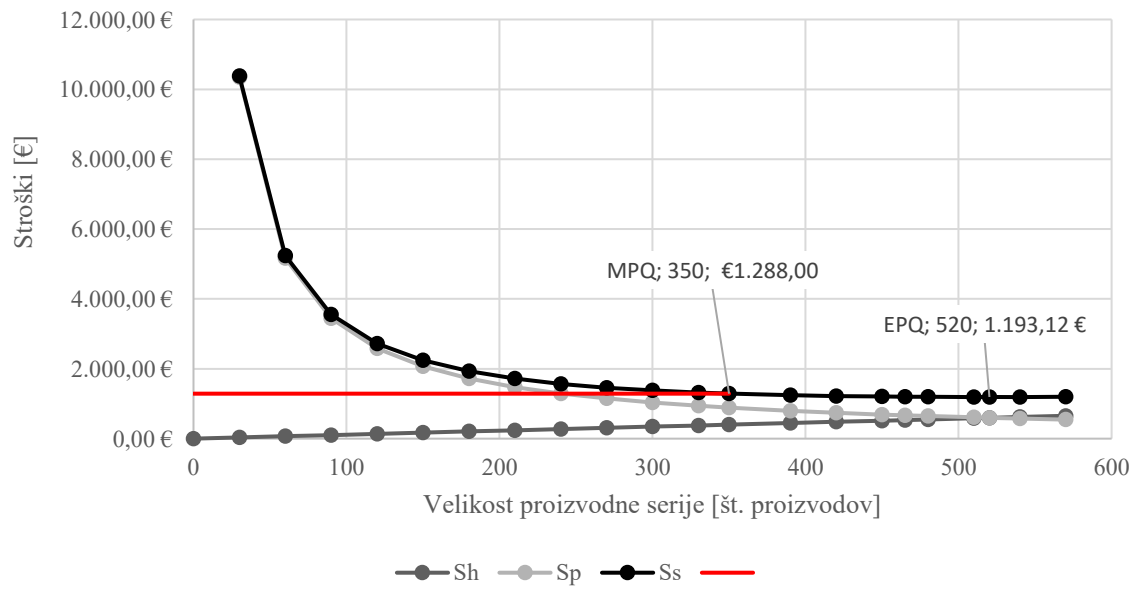
## Priloga 4: Določitev MPQ za proizvod 5



*Vir: lastno delo.*

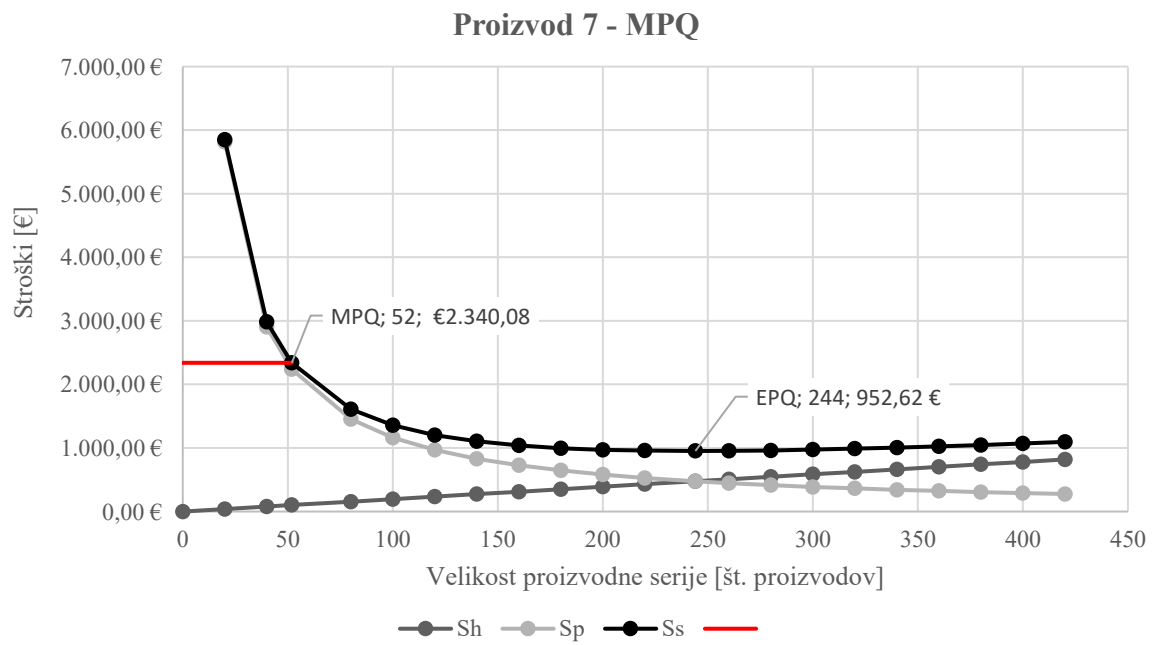
## Priloga 5: Določitev MPQ za proizvod 6

### Proizvod 6 - MPQ



*Vir: lastno delo.*

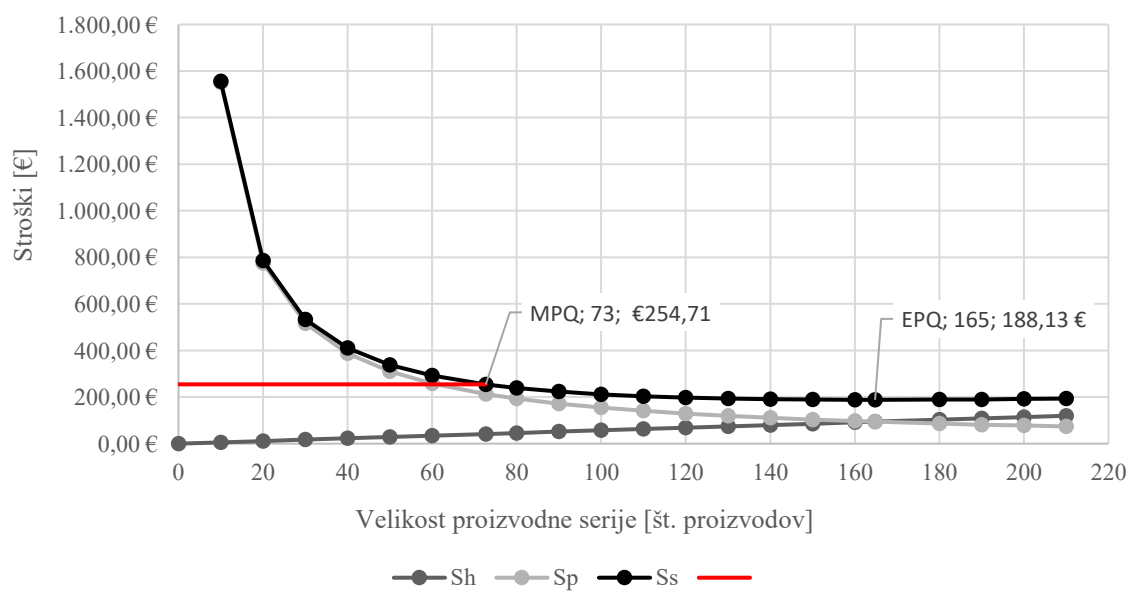
## Priloga 6: Določitev MPQ za proizvod 7



*Vir: lastno delo.*

## Priloga 7: Določitev MPQ za proizvod 8

### Proizvod 8 - MPQ



Vir: lastno delo.

## Priloga 8: Proizvodna serija z upoštevanjem soproizvodnje na delovnem mestu frezanja

| Proizvod | Vrednost priprave proizvodnje R | Hitrost proizvodnje v dnevni p [št. proizvodov] | Dnevno povpraševanje d [št. proizvodov] | Vrednost števca enačbe (12) | Število dni izdelovanja za eno proizvodno serijo [št. dni] | Letno povpraševanje D [št. proizvodov] | Število dni proizvodnje v enem letu [št. dni] | Proizvodna količina glede na soproizvodnjo [št. proizvodov] | EPQ [št. proizvodov] |
|----------|---------------------------------|---|---|-----------------------------|--|--|---|---|----------------------|
| 1.       | 62,00 €                         | 85  | 19                                      | 3.116                       | 20,94  | 4.825                                  | 57,0  | 1.774   | 962                  |
|          | 62,00 €                         | 78  | 11                                      | 4.880                       | 13,52  | 2.850                                  | 36,8  | 1.048   | 454                  |
| 2.       | 62,00 €                         | 68  | 7                                       | 1.787                       | 9,13   | 1.680                                  | 24,8  | 618   | 443                  |
|          | 31,00 €                         | 175   | 3                                       | 946                         | 1,68   | 800                                    | 4,6   | 294   | 205                  |
|          | 31,00 €                         | 115   | 2                                       | 11.793                      | 1,93   | 600                                    | 5,2   | 221   | 44                   |
|          | 93,00 €                         | 84  | 2                                       | 2.925                       | 2,63   | 600                                    | 7,1   | 221   | 151                  |
|          | 93,00 €                         | 93  | 2                                       | 2.349                       | 2,12   | 539                                    | 5,8   | 198   | 152                  |
|          | 62,00 €                         | 265   | 2                                       | 2.214                       | 0,69   | 500                                    | 1,9   | 184   | 118                  |
|          | 62,00 €                         | 92  | 2                                       | 1.550                       | 2,01   | 500                                    | 5,5   | 184   | 141                  |
|          | 62,00 €                         | 113   | 2                                       | 255                         | 1,40   | 430                                    | 3,8   | 158   | 300                  |
|          | 93,00 €                         | 69  | 2                                       | 1.307                       | 2,12   | 400                                    | 5,8   | 147   | 151                  |
|          | 93,00 €                         | 94  | 2                                       | 987                         | 1,56   | 400                                    | 4,2   | 147   | 174                  |
|          | 93,00 €                         | 87  | 1                                       | 576                         | 1,48   | 350                                    | 4,0   | 129   | 199                  |
|          | 93,00 €                         | 53  | 1                                       | 764                         | 2,28   | 325                                    | 6,2   | 119   | 160                  |
|          | 93,00 €                         | 61  | 1                                       | 3.936                       | 1,82   | 300                                    | 4,9   | 110   | 65                   |
|          | 93,00 €                         | 82  | 1                                       | 1.978                       | 1,34   | 300                                    | 3,6   | 110   | 92                   |
|          | 62,00 €                         | 21  | 1                                       | 4.192                       | 5,16   | 295                                    | 14,0  | 108   | 51                   |
|          | 93,00 €                         | 52  | 1                                       | 2.027                       | 1,93   | 275                                    | 5,3   | 101   | 83                   |
|          | 62,00 €                         | 53  | 1                                       | 324                         | 1,92   | 275                                    | 5,2   | 101   | 170                  |
|          | 93,00 €                         | 44  | 1                                       | 3.678                       | 2,10   | 250                                    | 5,7   | 92  | 56                   |
|          | 93,00 €                         | 45  | 1                                       | 1.636                       | 2,02   | 250                                    | 5,5   | 92  | 84                   |
|          | 62,00 €                         | 93  | 1                                       | 4.965                       | 0,98   | 250                                    | 2,7   | 92  | 40                   |
| 3.       | 62,00 €                         | 194   | 1                                       | 1.110                       | 0,47   | 250                                    | 1,3   | 92  | 84                   |
|          | 62,00 €                         | 132   | 1                                       | 500                         | 0,42   | 150                                    | 1,1   | 55  | 75                   |
|          | 93,00 €                         | 60  | 1                                       | 696                         | 0,86   | 140                                    | 2,3   | 51  | 72                   |
|          | 62,00 €                         | 47  | 0,40                                    | 149                         | 0,79   | 100                                    | 2,1   | 37  | 91                   |
|          | 62,00 €                         | 65  | 0,40                                    | 239                         | 0,57   | 100                                    | 1,5   | 37  | 72                   |
|          | 77,50 €                         | 112   | 0,40                                    | 500                         | 0,33   | 100                                    | 0,9   | 37  | 56                   |
|          | 62,00 €                         | 42  | 0,30                                    | 90                          | 0,65   | 75                                     | 1,8   | 28  | 88                   |
|          | 93,00 €                         | 39  | 0,30                                    | 1.494                       | 0,71   | 75                                     | 1,9   | 28  | 26                   |
|          | 93,00 €                         | 93  | 0,30                                    | 643                         | 0,30   | 75                                     | 0,8   | 28  | 40                   |
|          | 77,50 €                         | 80  | 0,24                                    | 480                         | 0,28   | 60                                     | 0,8   | 22  | 34                   |
|          | 93,00 €                         | 65  | 0,20                                    | 204                         | 0,29   | 51                                     | 0,8   | 19  | 49                   |
|          | 93,00 €                         | 105   | 0,20                                    | 316                         | 0,18   | 50                                     | 0,5   | 18  | 38                   |
|          | 93,00 €                         | 80  | 0,20                                    | 222                         | 0,23   | 50                                     | 0,6   | 18  | 46                   |
|          | 93,00 €                         | 35  | 0,20                                    | 998                         | 0,53   | 50                                     | 1,4   | 18  | 22                   |
| 4.       | 93,00 €                         | 46  | 0,20                                    | 1.499                       | 0,40   | 50                                     | 1,1   | 18  | 18                   |
|          | 108,50 €                        | 105   | 0,20                                    | 334                         | 0,18   | 50                                     | 0,5   | 18  | 40                   |
|          | 108,50 €                        | 105   | 0,20                                    | 601                         | 0,18   | 50                                     | 0,5   | 18  | 30                   |
|          | 93,00 €                         | 55  | 0,20                                    | 286                         | 0,33   | 50                                     | 0,9   | 18  | 40                   |
|          | 93,00 €                         | 100   | 0,20                                    | 125                         | 0,18   | 50                                     | 0,5   | 18  | 61                   |
|          | 93,00 €                         | 75  | 0,20                                    | 250                         | 0,25   | 50                                     | 0,7   | 18  | 43                   |

| Proizvod | Vrednost priprave proizvodnje R | Hitrost proizvodnje v dnevu p [št. proizvodov] | Dnevno povpraševanje d [št. proizvodov] | Vrednost števca enačbe (12) | Število dni izdelovanja za eno proizvodno serijo [št. dni] | Letno povpraševanje D [št. proizvodov] | Število dni proizvodnje v enem letu [št. dni] | Proizvodna količina glede na soproizvodnjo [št. proizvodov] | EPQ [št. proizvodov] |
|----------|---------------------------------|--|---|-----------------------------|--|--|---|---|----------------------|
|          | 93,00 €                         | 74   | 0,20                                    | 751                         | 0,25   | 50                                     | 0,7   | 18  | 25                   |
|          | 93,00 €                         | 45   | 0,12                                    | 621                         | 0,25   | 31                                     | 0,7   | 11  | 17                   |
|          | 93,00 €                         | 34   | 0,10                                    | 300                         | 0,27   | 25                                     | 0,7   | 9   | 20                   |
|          | 93,00 €                         | 28   | 0,10                                    | 750                         | 0,33   | 25                                     | 0,9   | 9   | 12                   |
|          | 108,50 €                        | 105  | 0,10                                    | 334                         | 0,09   | 25                                     | 0,2   | 9   | 20                   |
|          | 108,50 €                        | 105  | 0,10                                    | 301                         | 0,09   | 25                                     | 0,2   | 9   | 21                   |
|          | 62,00 €                         | 25   | 0,10                                    | 375                         | 0,36   | 25                                     | 1,0   | 9   | 14                   |
|          | 93,00 €                         | 257  | 0,10                                    | 167                         | 0,04   | 25                                     | 0,1   | 9   | 26                   |
|          | 93,00 €                         | 70   | 0,10                                    | 100                         | 0,13   | 25                                     | 0,4   | 9   | 34                   |
|          | 93,00 €                         | 90   | 0,10                                    | 251                         | 0,10   | 25                                     | 0,3   | 9   | 22                   |
|          | 93,00 €                         | 35   | 0,10                                    | 86                          | 0,26   | 25                                     | 0,7   | 9   | 37                   |
|          | 93,00 €                         | 53   | 0,10                                    | 75                          | 0,18   | 25                                     | 0,5   | 9   | 39                   |
|          | 93,00 €                         | 24   | 0,10                                    | 150                         | 0,38   | 25                                     | 1,0   | 9   | 28                   |
|          | 93,00 €                         | 56   | 0,10                                    | 150                         | 0,16   | 25                                     | 0,4   | 9   | 28                   |
|          | 93,00 €                         | 28   | 0,10                                    | 167                         | 0,33   | 25                                     | 0,9   | 9   | 26                   |
|          | 93,00 €                         | 76   | 0,09                                    | 147                         | 0,11   | 22                                     | 0,3   | 8   | 25                   |
|          | 93,00 €                         | 28   | 0,08                                    | 160                         | 0,26   | 20                                     | 0,7   | 7   | 22                   |
|          | 67,20 €                         | 34   | 0,04                                    | 120                         | 0,11   | 10                                     | 0,3   | 4   | 11                   |
| <b>Σ</b> | <b>4.996,20 €</b>               |  |   | <b>73.927</b>               | <b>93</b>  |  | <b>252</b>                                    |   |                      |

*Vir: lastno delo.*

## Priloga 9: Proizvodna serija z upoštevanjem sproizvodnje na delovnem mestu struženja

| Proizvod | Vrednost priprave proizvodnje R | Hitrost proizvodnje v dnevu [št. proizvodov] | Dnevno povpraševanje [št. proizvodov] | Vrednost števca enačbe (12) | Število dni izdelovanja za eno proizvodno serijo [št. dni] | Letno povpraševanje [št. proizvodov] | Število dni proizvodnje v enem letu [št. dni] | Proizvodna količina glede na sproizvodnjo [št. proizvodov] | EPQ [št. proizvodov] |
|----------|---------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|---|--|----------------------|
| 6.       | 31,00 €                         | 200  | 40                                    | 22.960                      | 8,73   | 10.010                               | 50,1  | 1.746  | 520                  |
|          | 46,50 €                         | 388  | 19                                    | 6.106                       | 2,16   | 4.800                                | 12,4  | 837  | 592                  |
|          | 31,00 €                         | 410  | 63                                    | 13.432                      | 6,74   | 15.827                               | 38,6  | 2.760  | 1.075                |
| 5.       | 31,00 €                         | 534  | 176                                   | 711                         | 14,36  | 44.000                               | 82,3  | 7.673  | 12.995               |
|          | 77,50 €                         | 187  | 7                                     | 6.831                       | 1,54   | 1.646                                | 8,8   | 287  | 248                  |
| X        | 46,50 €                         | 327  | 8                                     | 807                         | 1,05   | 1.977                                | 6,0   | 345  | 671                  |
| Y        | 31,00 €                         | 222  | 22                                    | 19.891                      | 4,33   | 5.500                                | 24,8  | 959  | 307                  |
|          | 31,00 €                         | 491  | 1                                     | 27                          | 0,05   | 150                                  | 0,3   | 26   | 226                  |
|          | 62,00 €                         | 439  | 0                                     | 13                          | 0,02   | 50                                   | 0,1   | 9  | 156                  |
|          | 31,00 €                         | 381  | 0                                     | 6                           | 0,00   | 10                                   | 0,0   | 2  | 31                   |
| 7.       | 77,50 €                         | 215  | 6                                     | 5.855                       | 1,21   | 1.500                                | 7,0   | 262  | 244                  |
|          | 46,50 €                         | 315  | 0                                     | 3                           | 0,01   | 10                                   | 0,03  | 2  | 54                   |
|          | 31,00 €                         | 92   | 0                                     | 360                         | 0,11   | 60                                   | 0,7   | 10   | 25                   |
|          | 31,00 €                         | 209  | 0                                     | 27                          | 0,02   | 25                                   | 0,1   | 4  | 38                   |
|          | 31,00 €                         | 178  | 1                                     | 374                         | 0,29   | 300                                  | 1,7   | 52   | 122                  |
|          | 31,00 €                         | 353  | 0                                     | 36                          | 0,04   | 75                                   | 0,2   | 13   | 98                   |
|          | 31,00 €                         | 326  | 0                                     | 7                           | 0,01   | 25                                   | 0,1   | 4  | 74                   |
|          | 31,00 €                         | 481  | 3                                     | 239                         | 0,25   | 700                                  | 1,5   | 122  | 356                  |
|          | 31,00 €                         | 401  | 2                                     | 166                         | 0,26   | 600                                  | 1,5   | 105  | 366                  |
|          | 31,00 €                         | 337  | 3                                     | 995                         | 0,36   | 700                                  | 2,1   | 122  | 175                  |
|          | 31,00 €                         | 459  | 3                                     | 277                         | 0,31   | 810                                  | 1,8   | 141  | 383                  |
|          | 31,00 €                         | 394  | 2                                     | 442                         | 0,17   | 387                                  | 1,0   | 67   | 145                  |
|          | 31,00 €                         | 442  | 2                                     | 499                         | 0,24   | 600                                  | 1,4   | 105  | 211                  |
|          | 31,00 €                         | 264  | 5                                     | 249                         | 0,86   | 1.300                                | 4,9   | 227  | 648                  |
|          | 31,00 €                         | 275  | 11                                    | 668                         | 1,76   | 2.775                                | 10,1  | 484  | 845                  |
|          | 31,00 €                         | 438  | 4                                     | 237                         | 0,38   | 951                                  | 2,2   | 166  | 487                  |
| 8.       | 31,00 €                         | 418  | 2                                     | 571                         | 0,21   | 500                                  | 1,2   | 87   | 165                  |
|          | 31,00 €                         | 389  | 2                                     | 514                         | 0,20   | 450                                  | 1,2   | 78   | 156                  |
|          | 31,00 €                         | 368  | 0                                     | 86                          | 0,04   | 75                                   | 0,2   | 13   | 64                   |
|          | 31,00 €                         | 389  | 0                                     | 25                          | 0,02   | 50                                   | 0,1   | 9  | 79                   |
|          | 31,00 €                         | 459  | 0                                     | 12                          | 0,01   | 25                                   | 0,1   | 4  | 57                   |
|          | 31,00 €                         | 153  | 0                                     | 72                          | 0,06   | 50                                   | 0,3   | 9  | 47                   |
|          | 31,00 €                         | 227  | 0                                     | 21                          | 0,02   | 25                                   | 0,1   | 4  | 42                   |
|          | 31,00 €                         | 355  | 0                                     | 29                          | 0,01   | 25                                   | 0,1   | 4  | 37                   |
|          | 31,00 €                         | 374  | 0                                     | 20                          | 0,01   | 25                                   | 0,1   | 4  | 44                   |
| <b>Σ</b> | <b>1.255,50 €</b>               |  |                                       | <b>82.569</b>               | <b>46</b>  |                                      | <b>263</b>                                    |  |                      |

Vir: lastno delo.