



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Strojništvo  
Modul: Orodjarstvo

**IMPLEMENTACIJA VITKE PROIZVODNJE  
IN NJEN VPLIV NA UČINKOVITOST  
(S POMOČJO SIMULACIJSKEGA MODELA)**

Mentorica: dr. Lidija Rihar  
Mentor v podjetju: Žiga Janhar, dipl. inž. stroj.  
Lektorica: Kaja Otovič, univ. dipl. spl. jez.

Kandidat: Brisel Rugovac

Kranj, marec 2026

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorici dr. Lidiji Rihar, ki me je s strokovnimi nasveti in usmeritvami vodila skozi celoten proces priprave in pisanja diplomske naloge.

Iskrena zahvala gre tudi mentorju v podjetju in osebnemu prijatelju Žigi Janharju, ki me je skozi celotno šolanje in pripravo naloge strokovno ter mentorsko usmerjal. Njegova pomoč, znanje in podpora na delovnem mestu kot tudi med študijem so bili izjemno dragoceni.

Največja zahvala gre moji ženi Dijani Rugovac, ki je ves čas verjela vame, me spodbujala in potrpežljivo prenašala številne ure, ki sem jih preživel za knjigami. Hvala tudi mojim otrokom – vaša energija, nasmeh in ljubezen so bili moj vsakodnevni navdih.

## **IZJAVA**

Študent Brisel Rugovac izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom gospe dr. Lidije Rihar in mentorja v podjetju Žiga Janhar.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: 13.02.2026

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Diplomska naloga obravnava implementacijo načel vitke proizvodnje in analizira njihov vpliv na učinkovitost proizvodnega procesa. Izhodiščni problem predstavlja prisotnost izgub v obliki čakanja, nepotrebnih premikov, zalog in neenakomerne obremenitve delovnih mest, kar povzroča podaljšanje pretočnih časov in povečanje stroškov. Namen naloge je s pomočjo simulacijskega modela prikazati, kako fazni pristop implementacije vitkih orodij prispeva k izboljšanju pretočnosti, zmanjšanju izgub in večji stabilnosti procesa.

V teoretičnem delu so predstavljena osnovna načela vitke proizvodnje, orodja, kot so 5S, Kaizen, JIT in VSM, ter metodologija DMAIC, ki omogoča strukturirano reševanje problemov. V raziskovalnem delu je zgrajen simulacijski model izbranega procesa, ki temelji na dejanskih podatkih o čakalnih časih, pretoku in obremenitvah. Na osnovi izvedenih scenarijev so primerjani kazalniki učinkovitosti pred uvedbo vitkih ukrepov in po njihovi implementaciji.

Rezultati simulacije kažejo, da uvedba vitkih orodij vodi k zmanjšanju pretočnega časa, optimizaciji zalog medoperacij, večji izkoriščenosti virov in bolj enakomerni porazdelitvi dela. Na podlagi ugotovitev so oblikovana priporočila za postopno uvedbo ukrepov v realnem okolju ter usmeritve za spremljanje učinkov. Naloga tako ponuja praktičen pristop k izboljšanju učinkovitosti proizvodnje s pomočjo simulacijskega modela in vitkih principov.

## **KLJUČNE BESEDE**

- Vitka proizvodnja
- Učinkovitost
- DMAIC
- Simulacija
- Kaizen
- Just-In-Time
- 5S

## **SUMMARY**

The thesis examines the implementation of lean manufacturing principles and analyzes their impact on process efficiency. The initial problem arises from the presence of waste in the form of waiting, unnecessary movement, excess inventory, and uneven workload, which leads to longer lead times and increased costs. The purpose of the thesis is to demonstrate, through a simulation model, how a phased implementation of lean tools can improve process flow, reduce waste, and enhance overall process stability.

The theoretical part presents the fundamental principles of lean manufacturing, tools such as 5S, Kaizen, JIT, and VSM, as well as the DMAIC methodology, which enables structured problem solving. In the research section, a simulation model of the selected process is developed based on real data regarding waiting times, flow, and resource utilization. Several scenarios are tested to compare key performance indicators before and after the implementation of lean measures.

The simulation results show that the introduction of lean tools leads to reduced lead times, optimized work-in-progress inventory, improved resource utilization, and a more balanced workload. Based on these findings, recommendations are proposed for the step-by-step implementation of lean measures in a real environment, along with guidelines for monitoring results. The thesis therefore provides a practical approach to improving production efficiency through simulation modeling and lean principles.

## **KEYWORDS**

- Lean manufacturing
- Efficiency
- DMAIC
- Simulation
- Kaizen
- Just-In-Time
- 5S

## KAZALO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 UVOD</b> .....   | 1  |
| <b>1.1 Predstavitev problema</b> .....                                | 1  |
| <b>1.2 Cilji naloge</b> .....   | 2  |
| <b>1.3 Predstavitev okolja</b> .....                                  | 3  |
| <b>1.4 Predpostavke in omejitve</b> .....                             | 3  |
| <b>1.5 Metode dela</b> .....  | 4  |
| <b>2 TEORETIČNA IZHODIŠČA VITKE PROIZVODNJE</b> .....                 | 5  |
| <b>2.1 Načela vitkosti in vrste izgub</b> .....                       | 5  |
| <b>2.2 Orodja za izboljšave in merila učinkovitosti</b> .....         | 7  |
| <b>2.3 Povezava vitkosti s pretokom, kapaciteto in zalogami</b> ..... | 9  |
| <b>2.4 Namen, cilji in hipoteze raziskave</b> .....                   | 11 |
| <b>2.5 Prehod med teoretičnim in praktičnim delom</b> .....           | 12 |
| <b>3 OPIS IZHODIŠČNEGA PROCESA</b> .....                              | 14 |
| <b>3.1 Procesni tok in ozka grla</b> .....                            | 14 |
| <b>3.2 Analiza ključnih kazalnikov procesa</b> .....                  | 16 |
| <b>3.3 Ključni kazalniki izhodišča</b> .....                          | 17 |
| <b>3.4 Priložnosti za izboljšave</b> .....                            | 20 |
| <b>3.5 Opis izhodiščnega procesa</b> .....                            | 21 |
| <b>4.1 Izbor vitkih ukrepov</b> .....                                 | 23 |
| <b>4.2 Načrt uvedbe vitkih ukrepov</b> .....                          | 26 |
| <b>4.3 Pričakovani učinki uvedenih izboljšav</b> .....                | 29 |
| <b>4.4 Spremljanje in vrednotenje učinkov izboljšav</b> .....         | 31 |
| <b>5 SIMULACIJSKI MODEL</b> .....                                     | 35 |
| <b>5.1 Vhodni podatki in predpostavke</b> .....                       | 35 |
| <b>5.2 Struktura modela in preverjanje</b> .....                      | 38 |
| <b>5.3 Rezultati simulacije</b> .....                                 | 40 |
| <b>5.4 Ključne ugotovitve in diskusija rezultatov</b> .....           | 45 |
| <b>6 ZAKLJUČEK</b> .....  | 50 |
| <b>7 LITERATURA IN VIRI</b> .....                                     | 52 |

## KAZALO SLIK

|  |    |
|--|----|
| Slika 1: Pet osnovnih načel vitke proizvodnje .....                  | 6  |
| Slika 2: Koraki pri uvajanju vitke proizvodnje .....                 | 7  |
| Slika 3: Model vitkega proizvodnega sistema .....                    | 9  |
| Slika 4: Cikel nenehnih izboljšav v okviru vitke proizvodnje.....    | 11 |
| Slika 5: Shematski prikaz osnovnega procesnega toka.....             | 15 |
| Slika 6: Struktura izgub v procesu.....                              | 18 |
| Slika 7: Povprečna produktivnost (enote na dan) .....                | 19 |
| Slika 8: Spremljanje učinkovitosti - primerjava skozi čas .....      | 33 |
| Slika 9: Zaporedni koraki.....                                       | 38 |
| Slika 10: Faze procesa.....  | 39 |
| Slika 11: Primerjava ključnih kazalnikov simulacijskega modela ..... | 43 |

## KAZALO TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Primerjava tradicionalne in vitke proizvodnje glede na ključne kazalnike učinkovitosti ..... | 9  |
| Tabela 2: Ključni kazalniki procesa .....  | 16 |
| Tabela 3: Pregled izbranih vitkih ukrepov in njihovih pričakovanih učinkov .....                       | 25 |
| Tabela 4: Načrt uvedbe vitkih ukrepov .....  | 28 |
| Tabela 5: Pričakovani učinki .....   | 30 |
| Tabela 6: Spremljanje učinkov vitkih ukrepov .....   | 32 |
| Tabela 7: Vhodni parametri simulacije: priporočene začetne vrednosti in porazdelitve .....             | 37 |
| Tabela 8: Primerjava rezultatov simulacije – izhodiščni in izboljšani model .....                      | 42 |

## POJMOVNIK

| Pojem                                  | Opis/Razlaga  |
|--|---|
| Lean manufacturing (vitka proizvodnja) | Koncept organizacije proizvodnje, ki zmanjšuje izgube in povečuje dodano vrednost.                              |
| Kaizen                                 | Načelo stalnega izboljševanja procesov z majhnimi, postopnimi koraki.   |
| Just-In-Time (JIT)                     | Sistem proizvodnje, kjer se materiali in izdelki proizvajajo oziroma dostavljajo točno ob času, ko so potrebni. |
| 5S                                     | Metodologija za urejanje in standardizacijo delovnih mest (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke).           |
| VSM (Value Stream Mapping)             | Orodje za analizo in optimizacijo toka vrednosti skozi proces.  |
| DMAIC                                  | Metodologija izboljševanja procesov v petih fazah: Define, Measure, Analyze, Improve, Control.                  |
| WIP (Work In Progress)                 | Delo v teku, polizdelki ali naloge, ki so že začete, vendar še niso končane.                                    |
| Takt time                              | Dovoljeni čas za izdelavo enega izdelka, da bi zadovoljili povpraševanje kupcev.                                |
| Kanban                                 | Vlečni sistem upravljanja proizvodnje, ki temelji na vizualnih signalih za sprožanje proizvodnih korakov.       |
| Pull system (vlečni sistem)            | Sistem, pri katerem proizvodnja poteka na podlagi dejanskega povpraševanja, ne na podlagi napovedi.             |
| KPI (Key Performance Indicator)        | Ključni kazalnik uspešnosti, uporablja se za merjenje učinkov uvedenih izboljšav.                               |
| OEE (Overall Equipment Effectiveness)  | Kazalnik celotne učinkovitosti opreme, vključuje razpoložljivost, zmogljivost in kakovost.                      |
| TPS (Toyota Production System)         | Osnovni koncept, iz katerega izhaja filozofija vitke proizvodnje.   |
| SMED (Single Minute Exchange of Die)   | Metoda za zmanjšanje časa menjave orodij in povečanje fleksibilnosti.   |
| Kaizen                                 | Filozofija majhnih, stalnih izboljšav z vključevanjem vseh zaposlenih.  |
| Heijunka (Production Leveling)         | Uravnoteženje proizvodnje z namenom zmanjšanja nihanj in zastojev.  |

# 1 UVOD

V sodobnem industrijskem okolju, ki ga zaznamujejo visoka konkurenčnost, dinamične spremembe povpraševanja in nenehen tehnološki napredek, postaja optimizacija proizvodnih procesov ključni dejavnik uspešnosti podjetij. Podjetja se vse bolj zavedajo, da zgolj povečevanje obsega proizvodnje ne zagotavlja dolgoročne konkurenčne prednosti – potrebno je učinkoviteje izrabiti obstoječe vire, zmanjšati izgube in ustvariti večjo dodano vrednost za kupca.

V ta namen se v proizvodnih organizacijah vse pogosteje uvajajo načela vitke proizvodnje (Lean Manufacturing), ki temeljijo na odpravljanju izgub, izboljševanju pretočnosti in stalnem izboljševanju procesov. Uvajanje vitkih pristopov zahteva celovit pogled na delovanje sistema, zato je poleg teoretičnega razumevanja ključna tudi uporaba analitičnih in simulacijskih orodij, s katerimi je mogoče kvantitativno oceniti učinke predlaganih izboljšav.

Namen te diplomske naloge je analizirati obstoječi proizvodni proces, prepoznati ključna ozka grla ter oblikovati predlog vitkih izboljšav, ki bodo prispevale k večji učinkovitosti in stabilnosti sistema. Na podlagi pridobljenih podatkov je bil razvit simulacijski model, s katerim so bili preverjeni učinki izbranih ukrepov, kot so 5S, Kanban in uravnoteženje obremenitev.

Rezultati simulacije omogočajo objektivno primerjavo stanja pred in po uvedbi izboljšav ter podlago za nadaljnje odločanje o implementaciji v realno proizvodno okolje.

Diplomska naloga je strukturirana tako, da najprej predstavi teoretična izhodišča vitke proizvodnje, sledi analiza obstoječega procesa, oblikovanje koncepta izboljšav in simulacijski model, zaključek pa povzema glavne ugotovitve in smernice za nadaljnji razvoj.

## 1.1 Predstavitev problema

V današnjem konkurenčnem industrijskem okolju si podjetja prizadevamo dosegati visoko učinkovitost, kakovost in prilagodljivost ob hkratnem zniževanju stroškov. Kljub napredku tehnologij številne organizacije še vedno opažamo težave, kot so dolgi pretočni časi, prekomerne zaloge, pogosti zastoji v proizvodnji, neenakomerna obremenitev virov ter visoki stroški neustrezne organizacije dela. Takšne izgube zmanjšujejo konkurenčnost, vplivajo na zadovoljstvo kupcev in omejujejo sposobnost odzivanja na tržne spremembe. Vitka proizvodnja predstavlja sodoben pristop, ki s kombinacijo načel in orodij omogoča odpravo izgub, optimizacijo pretoka in povečanje dodane vrednosti za kupca.

Ključna izziva pri implementaciji vitkosti sta izbira ustreznih ukrepov glede na značilnosti procesa in razumevanje njihovega vpliva na celoten sistem. Pogosto se namreč zgodi, da posamezne izboljšave vplivajo na različne dele procesa v nasprotnih smereh, zato so potrebni celostni pristopi, ki omogočajo preverjanje učinkov še pred dejansko uvedbo. Da bi se izognili tveganju napačnih odločitev in nepotrebnim stroškom, bomo problem proučili s pomočjo simulacijskega modela, ki omogoča analizo različnih scenarijev izboljšav v varnem virtualnem okolju.

Z modelom bomo prepoznali ključna ozka grla, ocenili vplive ukrepov, kot so Just-In-Time, 5S, standardizacija in Kaizen, ter primerjali stanje pred in po izboljšavah. Namen raziskave je torej razvoj praktično uporabnega orodja za podporo pri odločanju, ki bo podjetjem pomagalo načrtovati učinkovite vitke transformacije.

Diplomska naloga tako združuje teoretična izhodišča vitke proizvodnje z empiričnim pristopom modeliranja in analize, pri čemer si prizadevamo doseči boljše razumevanje medsebojnih vplivov ukrepov na kazalnike, kot so pretočni čas, izkoriščenost virov, zaloge in produktivnost. Rezultati bodo prispevali k izboljšanju metodologije uvajanja vitkosti v proizvodna okolja z omejenimi kapacitetami in spremenljivim povpraševanjem.

## **1.2 Cilji naloge**

Glavni cilj diplomske naloge je prikazati, kako sistematična in fazna implementacija vitke proizvodnje vpliva na učinkovitost izbranega proizvodnega procesa. Želimo razviti pristop, ki omogoča celovit vpogled v delovanje sistema, prepoznati glavne vire izgub ter preizkusiti učinke različnih vitkih ukrepov v simulacijskem okolju. S tem si prizadevamo zmanjšati tveganje napačnih odločitev pri uvajanju sprememb v praksi in zagotoviti zanesljive podatke za odločitve o izboljšavah.

V okviru naloge bomo izdelali procesni posnetek in opredelili izhodiščno stanje obravnavanega procesa, identificirali ter razvrstili izgube po načelih vitke proizvodnje in določili ključna merila učinkovitosti, kot so pretočni čas, zaloge in izkoriščenost virov. Na tej osnovi bomo zasnovali in izdelali simulacijski model, ki bo omogočal preizkus različnih scenarijev izboljšav.

Rezultate bomo analizirali in primerjali stanje pred ter po uvedbi ukrepov ter na podlagi ugotovitev oblikovali priporočila za prenos rešitev v prakso. Z raziskavo želimo dokazati, da lahko s pomočjo simulacijskega modela učinkovito napovemo učinke posameznih vitkih pristopov in s tem podamo strokovno utemeljene smernice za njihovo postopno uvedbo.

Končni rezultat naloge bo metodološki okvir, ki omogoča boljše razumevanje vpliva vitkosti na ključne kazalnike učinkovitosti in predstavlja uporabno orodje za podjetja pri načrtovanju in izvajanju izboljšav.

### **1.3 Predstavitev okolja**

Raziskava bo izvedena na primeru proizvodnega procesa, ki vključuje več zaporednih faz z različnimi kapacitetami in časovnimi zamiki. Opazovani sistem je značilen za podjetja serijske proizvodnje, kjer so pogosto prisotne zaloge medoperacij, neenakomerna obremenitev delovnih mest ter nihanja v pretoku. Z uporabo podatkov o procesnih časih, izkoriščenosti in zalogah bomo oblikovali simulacijski model, ki zadošča realnim značilnostim okolja in omogoča analizo sprememb brez posegov v dejansko proizvodnjo. Tak pristop zagotavlja varno okolje za testiranje in ponuja podjetju konkretno orodje za podporo pri odločanju.

### **1.4 Predpostavke in omejitve**

Pri izvajanju raziskave predpostavljamo, da so osnovni procesni koraki, uporabljene tehnologije in nabor izdelkov v obravnavanem obdobju stabilni ter da se v analiziranem času ne pojavljajo večje spremembe v povpraševanju ali organizaciji dela. Predpostavljamo tudi, da so podatki o trajanju procesov, zalogah, kapacitetah in razpoložljivosti virov zanesljivi in dovolj natančni za oblikovanje reprezentativnega simulacijskega modela. Izhajamo iz domneve, da je mogoče ukrepe vitke proizvodnje, kot so preurejanje delovnih mest, standardizacija postopkov, vizualno upravljanje, uvedba vlečnega sistema in sistematično zmanjševanje izgub, uvesti brez večjih kapitalskih naložb ter znotraj obstoječih organizacijskih omejitev.

Zavedamo se, da vsaka simulacija predstavlja poenostavljeno sliko realnega sistema. Omejitve naše raziskave izhajajo iz stopnje poenostavitve modela, saj vsi dejavniki iz realnega okolja niso zajeti v celoti. Model ne vključuje vplivov človeškega vedenja, organizacijske kulture, motivacije zaposlenih in drugih mehkih dejavnikov, ki lahko pomembno vplivajo na uspeh uvedbe vitkih pristopov. Prav tako je omejen dostop do popolnoma natančnih vhodnih podatkov, kar lahko vpliva na stopnjo točnosti rezultatov.

Dodatna omejitev je povezana s časovnim okvirom raziskave, ki omogoča preverjanje učinkov le v krajšem obdobju, medtem ko dolgoročni učinki zahtevajo nadaljnje spremljanje v praksi. Kljub tem omejitvam simulacijski model predstavlja učinkovito orodje za ocenjevanje vpliva posameznih ukrepov na ključne kazalnike učinkovitosti. Rezultati bodo zato služili kot utemeljene smernice za odločanje in pripravo nadaljnjih ukrepov v realnem okolju, ne pa kot neposredna napoved stanja. V zaključku bomo preverili, ali so predpostavke raziskave utemeljene, opozorili pa bomo tudi na vpliv morebitnih odstopanj na končne ugotovitve.

## 1.5 Metode dela

V raziskavi bomo uporabili kombinacijo opisne metode in analitične metode za prikaz teoretičnih izhodišč in pregled stanja, metodo združevanja za sintezo ugotovitev iz literature ter simulacijsko metodo za empirično preverjanje učinkov v modelu. Opisna metoda bo uporabljena za razlago osnovnih pojmov vitke proizvodnje, analitična za razčlenitev procesnih kazalnikov, simulacijska pa za preizkus učinkov različnih scenarijev izboljšav. Metodološki pristop vključuje zbiranje podatkov, pripravo modela, validacijo, izvedbo simulacij in interpretacijo rezultatov. Takšna kombinacija metod zagotavlja sistematičen pristop in omogoča povezavo med teoretičnimi izhodišči ter praktično uporabnostjo rezultatov.

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA VITKE PROIZVODNJE

Vitka proizvodnja predstavlja sodoben organizacijski pristop, katerega cilj je povečanje vrednosti za kupca ob hkratnem zmanjšanju vseh vrst izgub v proizvodnem procesu. Filozofija temelji na načelih, ki so se razvila v okviru proizvodnega sistema podjetja Toyota (Toyota Production System – TPS) in se skozi desetletja uporabe potrdila kot ena najučinkovitejših metod za doseganje operativne odličnosti (Liker, 2004).

Temeljna misel vitke proizvodnje je, da vsako aktivnost v procesu ocenjujemo glede na njen prispevek k ustvarjanju vrednosti, pri čemer vse ostale aktivnosti predstavljajo potencialne izgube, ki jih je treba sistematično odpraviti ali zmanjšati. Za uspešno uvedbo vitke proizvodnje je potrebno dobro razumevanje njenih načel, konceptov in orodij, saj vitkost ne pomeni zgolj uporabe posameznih metod, temveč celovito spremembo kulture in načina razmišljanja v organizaciji.

V ospredju je razumevanje vrednosti z vidika kupca, preglednost procesov in sposobnost stalnega izboljševanja. Pri tem imajo pomembno vlogo zaposleni, ki s sodelovanjem, predlogi za izboljšave in aktivnim pristopom soustvarjamo vitko organizacijo. V teoretičnem delu naloge opredelimo osnovna načela vitkosti, vrste izgub ter predstavimo ključna orodja, s katerimi podjetja dosegamo izboljšanje pretočnih časov, zmanjšanje zalog, povečanje produktivnosti in stabilnost procesov.

Prav tako pojasnimo, kako vitki pristopi vplivajo na kazalnike učinkovitosti, kot so pretok, kapaciteta in kakovost. Ta spoznanja bodo služila kot podlaga za praktični del naloge, kjer bomo s pomočjo simulacijskega modela analizirali vpliv posameznih ukrepov vitkosti na učinkovitost proizvodnega procesa in s tem preverili njihovo dejansko uporabnost v praksi.

### 2.1 Načela vitkosti in vrste izgub

Vitka proizvodnja je filozofija upravljanja, ki temelji na ustvarjanju vrednosti za kupca ob hkratnem zmanjšanju vseh oblik izgub v procesu. Temelji na spoznanju, da vsaka dejavnost v proizvodnji bodisi dodaja vrednost izdelku bodisi predstavlja izgubo, zato si prizadevamo, da v sistemu ostanejo le tisti koraki, ki neposredno prispevajo k vrednosti z vidika končnega uporabnika (Hegedić, 2017; Lekšić, 2020). Gre za sistematičen pristop, ki združuje načela, metode in kulturo nenehnih izboljšav ter zahteva spremembo razmišljanja v celotni organizaciji.

Ključna načela vitkosti vključujejo pet medsebojno povezanih korakov, ki so jih sistematično opredelili Womack in Jones (2003) v okviru koncepta Lean Thinking. Najprej določimo, kaj za kupca predstavlja vrednost, kar pomeni razumevanje njegovih potreb, pričakovanj in kriterijev kakovosti. Nato identificiramo tok vrednosti, pri čemer analiziramo vse korake v procesu in ločimo tiste, ki dodajajo vrednost, od

tistih, ki je ne. Tretje načelo je vzpostavitev neprekinjenega pretoka, kar pomeni organizacijo procesa tako, da se izdelek ali storitev premika brez nepotrebnih zastojev, čakanja in prekinitev (Rifqi, 2021). Četrto načelo je uvedba vlečnega sistema (pull system), v katerem se proizvodnja sproži glede na dejansko povpraševanje in ne glede na predvidene napovedi, kar zmanjšuje zaloge in izboljšuje odzivnost (Tyagi et al., 2021). Zadnje načelo je stalna težnja k popolnosti, ki temelji na kulturi nenehnega izboljševanja (Kaizen), kjer vsi zaposleni aktivno sodelujemo pri iskanju priložnosti za izboljšave (Biondić, 2020).

Slika 1 prikazuje pet osnovnih načel vitke proizvodnje.



Slika 1: Pet osnovnih načel vitke proizvodnje  
(Lastni vir)

Za uspešno implementacijo vitkosti je ključno razumevanje izgub, saj prav njihova odprava predstavlja jedro filozofije. Izgube razvrščamo v sedem klasičnih kategorij: prekomerna proizvodnja, čakanje, nepotrební transport, prekomerne zaloge, nepotrební premiki, napake in neustrezna obdelava (Juričević, 2024; Ohno, 1988). Poleg teh klasičnih izgub sodobni pristopi dodajajo tudi izgubo zaradi neizkoriščenega potenciala zaposlenih, ki se kaže v pomanjkanju vključevanja v procese odločanja, neizkoriščenih idejah za izboljšave in pomanjkanju motivacije (Hegedić, 2017).

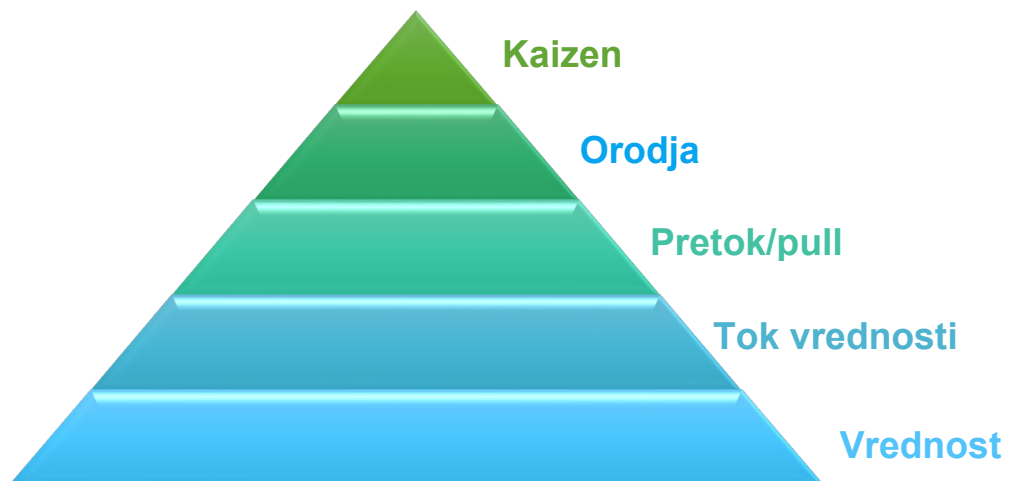
Sistematično prepoznavanje in odpravljanje izgub zahteva kombinacijo analitičnih pristopov in praktičnih orodij. V praksi se vitkost izvaja z uporabo orodij, kot so zemljevid toka vrednosti (VSM), sistem 5S, standardizirano delo, Kanban, Just-In-Time, SMED in vizualno upravljanje (Lučić, 2017; Bister, 2015). Vitkost ne pomeni le

izvajanja orodij, ampak predvsem spremembo kulture – prehod od tradicionalnega vodenja k okolju, kjer odločanje temelji na dejstvih, procesi so pregledni, odgovornost je razdeljena, izboljšave pa potekajo neprekinjeno. Na ta način vitka proizvodnja ne prinaša le krajših ciklov in manjših zalog, temveč tudi višjo fleksibilnost, večje zadovoljstvo zaposlenih in dolgoročno konkurenčnost podjetja (Lekšič, 2020).

## 2.2 Orodja za izboljšave in merila učinkovitosti

Uvajanje vitke proizvodnje zahteva uporabo ustreznih orodij, ki omogočajo prepoznavanje izgub, odpravljanje ozkih grl in sistematično izboljševanje procesov (Tyagi et al., 2021). Orodja niso namenjena zgolj posameznim ukrepom, temveč celovitemu razumevanju delovanja sistema, njegovih medsebojnih vplivov ter merjenju napredka. Njihova pravilna uporaba omogoča zmanjšanje variabilnosti, povečanje pretočnosti, stabilnost procesov ter učinkovitejše izkoriščanje virov (Hegedić, 2017). Vitki pristopi se pri tem pogosto dopolnjujejo z metodologijo Six Sigma, saj Lean primarno odpravlja izgube v procesu, Six Sigma pa zmanjšuje variabilnost in napake, kar skupaj vodi do celovitejših izboljšav (Antony, 2011). Lean Six Sigma pristopi so bili uspešno uporabljeni tudi v storitvenih procesih, na primer pri zmanjševanju čakalnih dob v ambulantah, kar potrjuje širšo uporabnost vitkih metod tudi zunaj proizvodnje (Gijo in Antony, 2014).

Slika 2 prikazuje korake pri uvajanju vitke proizvodnje.



Slika 2: Koraki pri uvajanju vitke proizvodnje  
(Lastni vir)

Slika 2 ponazarja zaporedje in hierarhijo ključnih faz vitke transformacije, kjer vsaka raven predstavlja nadgradnjo prejšnje. Temelj vitke proizvodnje je razumevanje vrednosti za kupca, vrh piramide pa predstavlja kulturo nenehnih izboljšav – Kaizen.

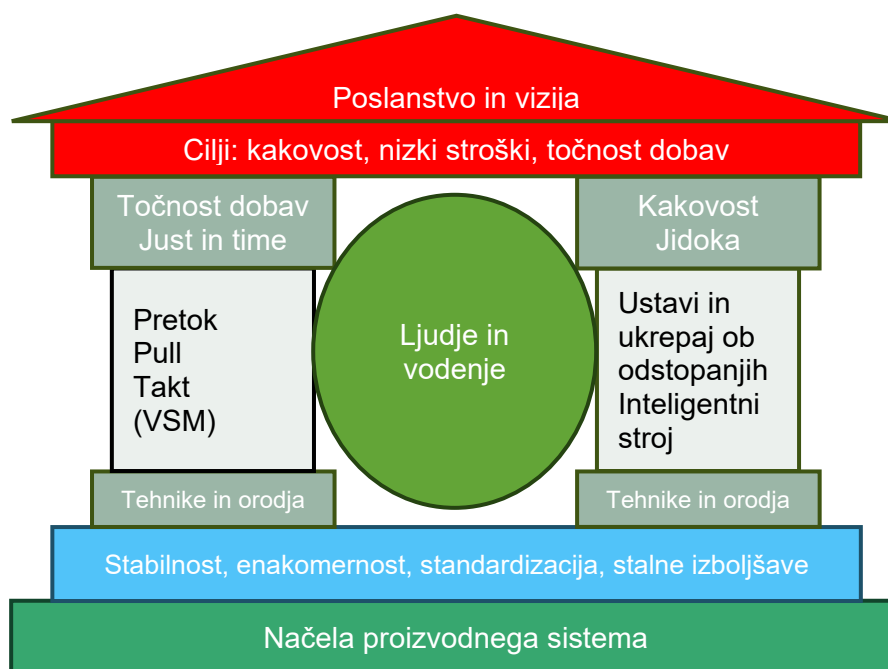
Med najpogosteje uporabljenimi orodji vitke proizvodnje izpostavljamo 5S, ki predstavlja osnovo za urejeno in pregledno delovno okolje. Gre za pet korakov: sortiranje, sistematizacijo, sijaj, standardizacijo in samodisciplino (Biondić, 2020). Z uvedbo 5S ustvarjamo pogoje za manj napak, boljšo preglednost in večjo učinkovitost dela. Drugo ključno orodje je VSM (Value Stream Mapping) oziroma zemljevid toka vrednosti, ki omogoča celovit pregled nad procesom, prepoznavanje dodajanja vrednosti in izgub ter pripravo načrta za izboljšave (Rifqi, 2021). Pomembno vlogo ima tudi Just-In-Time (JIT), ki temelji na zagotavljanju materialov in komponent v točno določenem času in količini, kar zmanjšuje zaloge in izboljšuje pretočnost (Juričević, 2024). Kanban kot vizualno orodje podpira vlečni sistem ter omogoča jasen nadzor nad pretokom materialov in informacij (Lučić, 2017).

Za stalno izboljševanje se uporablja pristop Kaizen, ki spodbuja majhne, postopne spremembe, izvedene s sodelovanjem vseh zaposlenih (Bister, 2015). Skupaj s standardiziranim delom zagotavlja ponovljivost, stabilnost in predvidljivost procesov. Orodja, kot so vizualno upravljanje, TPM (Total Productive Maintenance) in Heijunka za uravnoteženje proizvodnje, dodatno prispevajo k stabilnosti sistema in preprečevanju izgub (Hegedić, 2017; Lekšić, 2020).

Za ocenjevanje učinkov uvajanja vitkih pristopov uporabljamo različna merila učinkovitosti. Ključni kazalniki vključujejo pretok, OEE (Overall Equipment Effectiveness), produktivnost, kakovost, zaloge ter izkoriščenost virov (Tyagi et al., 2021; Achibat et al., 2023). Z uporabo teh kazalnikov spremljamo spremembe v delovanju sistema ter ugotavljamo, v kolikšni meri posamezni ukrepi prispevajo k izboljšanju celotne učinkovitosti.

Učinkovita implementacija vitkih orodij zahteva povezavo med analizo procesov in merjenjem učinkov. Le na ta način lahko zagotovimo, da se spremembe ne uvajajo le intuitivno, temveč na podlagi preverjenih podatkov in analiz. Kombinacija orodij, kot so VSM, 5S, JIT in Kaizen, skupaj z natančno določenimi kazalniki učinkovitosti omogoča trajnostno izboljševanje procesov in dolgoročno konkurenčno prednost podjetja (Hegedić, 2017; Juričević, 2024).

Slika 3 prikazuje model vitkega proizvodnega sistema.



Slika 3: Model vitkega proizvodnega sistema  
(Lastni vir)

Tabela 1 prikazuje primerjavo tradicionalne in vitke proizvodnje glede na ključne kazalnike učinkovitosti.

| Kazalnik     | Tradicionalna proizvodnja | Vitka proizvodnja                 |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Pretočni čas | Dolgi in neenakomerni     | Kratki in stabilni                |
| Zaloge       | Visoke, pogosto varnostne | Minimalne, skladno z JIT          |
| Kakovost     | Kontrola po proizvodnji   | Zagotavljanje kakovosti v procesu |

Tabela 1: Primerjava tradicionalne in vitke proizvodnje glede na ključne kazalnike učinkovitosti  
(Vir: Tyagi et al., 2021)

### 2.3 Povezava vitkosti s pretokom, kapaciteto in zalogami

Vitka proizvodnja temelji na principu doseganja stabilnega in neprekinjenega pretoka skozi vse faze procesa. Pretok, kapaciteta in zaloge so med seboj tesno povezani parametri, ki določajo učinkovitost proizvodnega sistema. Pretok predstavlja hitrost, s katero se material ali informacija premikata skozi sistem, kapaciteta pa označuje največji možni obseg izvedenega dela v določenem času. Zalagam v vitki proizvodnji pripisujemo vlogo regulatorja – blažilca neenakomernosti med vhodnimi in izhodnimi tokovi (Tyagi et al., 2021).

Osrednje načelo vitke proizvodnje je, da vsak procesni korak ustvarja vrednost in da se pretok izvaja neprekinjeno, brez nepotrebne čakanja, zastojev ali ponovnih obdelav. Tak pristop zmanjšuje izgube, izboljšuje preglednost in skrajšuje pretočne čase (Hegedić, 2017).

Ko proces ni uravnotežen, se pojavljajo zaloge kot odziv na prekinitev toka. Z vidika vitkosti to pomeni, da so zaloge kazalnik problemov v sistemu, ne pa rešitev zanje. Njihova naloga je kompenzacija variabilnosti v povpraševanju ali proizvodnji, a z vidika učinkovitosti predstavljajo zamrznjen kapital in potencialno zastarelost izdelkov (Lekšič, 2020).

Med pretokom, kapaciteto in zalogami obstaja kvantitativna povezava, opisana z Littleovim zakonom, ki določa, da je povprečna količina zalog enaka produktu pretočnega časa in stopnje pretoka. S tem zakonom lahko pojasnimo, da je skrajševanje časa pretoka neposredno povezano z zmanjšanjem zalog in povečanjem odzivnosti sistema (Rifqi, 2021).

Ključna naloga vitkega upravljanja je uravnoteženje razpoložljivih kapacitet in zahtev povpraševanja. Neravnovesje med njima vodi do dveh ekstremov: v primeru presežka kapacitet nastajajo čakalne dobe in zmanjšana izkoriščenost, v primeru pomanjkanja kapacitet pa se pojavljajo zaloge in motnje v pretoku (Biondić, 2020). Vitka proizvodnja zato uporablja koncepte, kot je Heijunka – izravnavanje proizvodnje, s katerim se zmanjšujejo nihanja v obremenitvi delovnih mest in s tem preprečuje kopičenje zalog (Lučić, 2017).

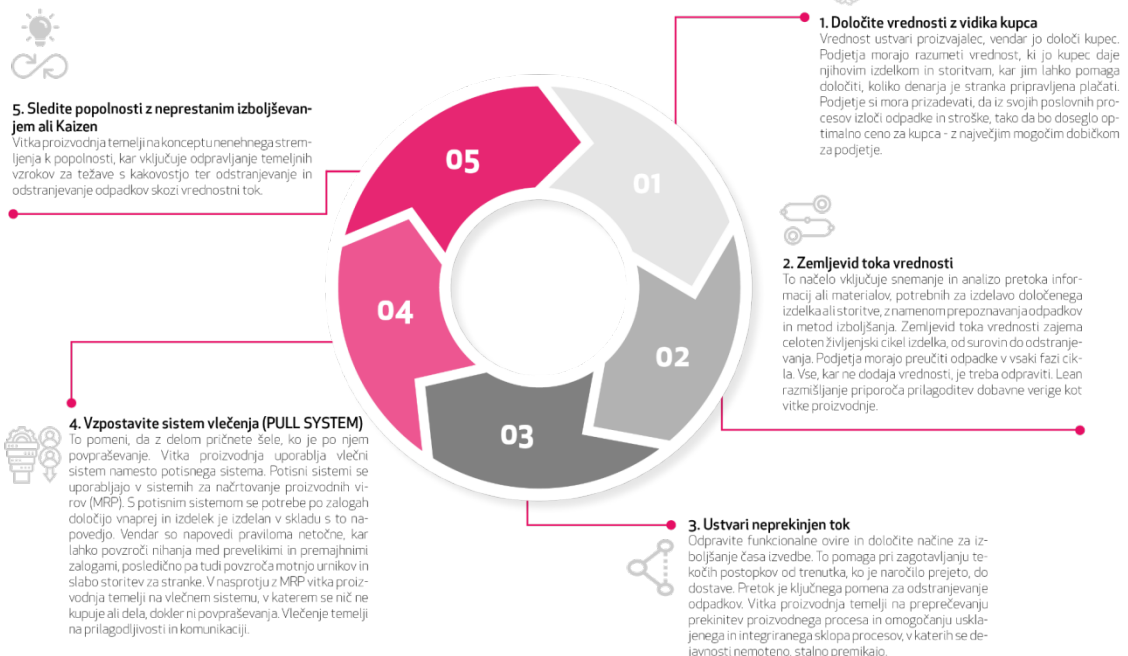
Pomembno vlogo pri stabilizaciji pretoka ima tudi Just-In-Time (JIT), ki omogoča, da se materiali dostavljajo v natančno določenem trenutku, ko jih proces potrebuje. Vlečni sistem Kanban s tem zagotavlja, da se proizvodnja izvaja le na podlagi dejanskega povpraševanja in ne na podlagi napovedi, kar dodatno zmanjšuje potrebo po vmesnih zalogah (Juričević, 2024). Poleg fizičnih zalog obstajajo tudi skrite oblike zalog – npr. nedokončane informacije, čakajoče odločitve in preobremenjeni tokovi informacij.

Sodobni raziskovalni pristopi poudarjajo, da lahko digitalna orodja, kot so simulacije, digitalni dvojčki in analitika procesnih podatkov, omogočajo boljše razumevanje teh dinamičnih odvisnosti (Achibat et al., 2023). Simulacijski model tako predstavlja učinkovito metodo za preizkus različnih scenarijev vitkosti brez tveganja za realno proizvodnjo (Kovačec, 2015). Vitkost zahteva razumevanje, da popolna odprava zalog ni cilj, temveč iskanje optimalne ravni, pri kateri so kapacitete učinkovito izkoriščene, pretok stabilen, zaloge pa minimalne, a zadostne za absorpcijo variabilnosti (Hegedić, 2017).

Ravnotežje med temi tremi elementi omogoča doseganje stabilnosti sistema, zmanjšanje zamud in povečanje produktivnosti. Celostni pristop vitke proizvodnje torej povezuje tehnične vidike pretoka s sistemskim pogledom na kapacitete in zaloge. Uravnoteženje teh dejavnikov vodi do zmanjšanja izgub, večje zanesljivosti dobav in povečane konkurenčnosti podjetja (Lekšić, 2020). Vitkost se zato ne izvaja le kot niz ukrepov, ampak kot celovita filozofija, ki zahteva razumevanje kompleksnih interakcij med resursi, procesi in informacijami.

Slika 4 prikazuje cikel nenehnih izboljšav v okviru vitke proizvodnje.

## NAČELA VITKE PROIZVODNJE



Slika 4: Cikel nenehnih izboljšav v okviru vitke proizvodnje  
(Vir: Kadring – kadrovsko in poslovno svetovanje, d. o. o., 2025)

## 2.4 Namen, cilji in hipoteze raziskave

Namen raziskave je preučiti vpliv implementacije vitkih načel na učinkovitost proizvodnega sistema in prikazati, kako lahko simulacijski pristop podpira odločanje pri uvajanju izboljšav. S tem želimo poglobiti razumevanje, na kakšen način kombinacija orodij, kot so 5S, zemljevid toka vrednosti (VSM) in Just-In-Time (JIT), vpliva na pretočnost, zaloge in izkoriščenost kapacitet. Z raziskavo želimo dokazati, da sistematična uporaba vitkih principov vodi do merljivih izboljšav v stabilnosti in pretočnosti proizvodnih procesov, hkrati pa zmanjšuje potrebo po presežnih zalogah in izboljšuje odzivnost sistema (Achibat et al., 2023).

Osnovni cilj raziskave je oblikovati konceptualni in simulacijski model proizvodnega procesa, ki omogoča objektivno vrednotenje učinkov posameznih vitkih ukrepov. Tak model predstavlja orodje za preizkušanje scenarijev in odločanje o uvedbi sprememb v realnem okolju brez tveganja za motnje v proizvodnji (Kovačec, 2015). Cilj raziskave je tudi prikazati konkretne rezultate uvajanja vitkih principov na procesne kazalnike, kot so pretočni čas, izkoriščenost kapacitet, raven zalog in stopnja stabilnosti proizvodnega toka.

Na podlagi rezultatov bomo pripravili priporočila za optimalno kombinacijo ukrepov, ki omogočajo usklajevanje med hitrostjo pretoka in razpoložljivimi viri (Hegedić, 2017). Raziskava naslavlja vprašanje, kako implementacija vitkih načel vpliva na učinkovitost proizvodnega sistema in katere strategije imajo največji vpliv na izboljšanje pretočnosti ter zmanjšanje zalog.

Posebej nas zanima, kako so med seboj povezani pretok, kapaciteta in zaloge, ter kako njihovo uravnoteženje vpliva na stabilnost procesa (Tyagi et al., 2021). Pričakujemo, da bo empirična analiza pokazala, da uvedba vitkih pristopov, kot sta JIT in Kanban, bistveno prispeva k zmanjšanju pretočnega časa in povečanju stabilnosti. Poleg tega predvidevamo, da zmanjšanje zalog brez usklajevanja kapacitet povzroča večjo variabilnost in manjšo učinkovitost, kar potrjuje potrebo po celovitem pristopu k vitkosti (Lekšić, 2020).

Hipoteze raziskave temeljijo na domnevi, da vitki pristopi ne delujejo izolirano, temveč kot medsebojno povezani elementi sistema. Uvedba posameznih orodij, kot so 5S, JIT in Kanban, lahko sama po sebi prinese kratkoročne učinke, vendar šele njihova kombinacija v okviru usklajenega sistema prinaša trajnostne rezultate. Prav tako predvidevamo, da simulacijski model omogoča zanesljivo napovedovanje učinkov vitkih ukrepov in predstavlja podporo pri odločanju o njihovi implementaciji v realnem okolju.

Na ta način raziskava prispeva k povezovanju teoretičnih spoznanj in praktične uporabe vitkosti ter h krepitvi metodološkega okvira za analizo učinkovitosti proizvodnih procesov (Biondić, 2020). Z raziskavo želimo prispevati k razumevanju vitkosti kot systemskega koncepta, ki presega zgolj orodja in metode, ter jo obravnavati kot kulturo stalnega izboljševanja in učenja. Simulacijski model v tem okviru predstavlja ključni korak k razumevanju dinamičnih povezav med procesnimi spremenljivkami ter omogoča, da se vitka načela uvajajo postopno, na podlagi preverjenih in ponovljivih rezultatov (Rifqi, 2021).

## **2.5 Prehod med teoretičnim in praktičnim delom**

Na podlagi predstavljenih teoretičnih izhodišč lahko ugotovimo, da vitka proizvodnja ni le zbirka orodij, temveč celovit sistem načel, metod in organizacijskih pristopov, ki

temeljijo na odpravljanju izgub in ustvarjanju vrednosti za kupca. Uspešna uvedba vitkih načel zahteva poglobljeno razumevanje tokov vrednosti, kapacitet in zalog, hkrati pa jasno določitev ciljev in meril učinkovitosti. V teoretičnem delu smo prikazali ključne dejavnike, ki vplivajo na učinkovitost vitkih sistemov – od organizacijske kulture in vodenja do uporabe metod, kot so 5S, JIT, Kanban in Kaizen.

V nadaljevanju naloge se osredotočamo na analizo konkretnega proizvodnega procesa, v katerem bomo s pomočjo simulacijskega modela prikazali učinke implementacije vitkih pristopov na učinkovitost sistema. Naš cilj je preveriti, kako posamezni ukrepi vplivajo na pretočne čase, raven zalog in izkoriščenost kapacitet ter ali so rezultati skladni s pričakovanji, opredeljenimi v teoretičnem delu. Simulacijski model nam omogoča, da v nadzorovanem okolju analiziramo vpliv sprememb brez tveganja za realno proizvodnjo in s tem pridobimo vpogled v potencialne koristi uvedbe vitkih rešitev.

S tem prehajamo iz teoretičnega v empirični del naloge, kjer bomo na osnovi zbranih podatkov, procesnih analiz in simulacij podali konkretne ugotovitve o učinkih vitke proizvodnje v izbranem okolju.

## 3 OPIS IZHODIŠČNEGA PROCESA

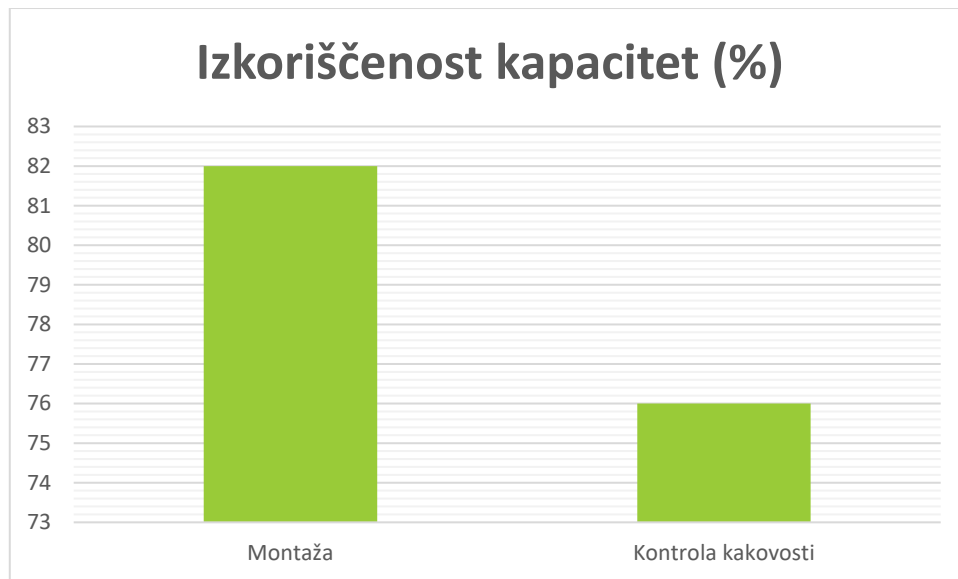
V tem poglavju podrobno predstavimo izhodiščni proizvodni proces, ki služi kot osnova za analizo učinkov implementacije vitkih pristopov. Namen tega dela je prikazati realno delovanje sistema, opredeliti njegove značilnosti, prepoznati glavne izgube ter določiti kazalnike, s katerimi bomo pozneje merili učinkovitost izboljšav. Proces smo zasnovali po zgledu montažnega proizvodnega okolja, kjer se izvajajo ponavljajoče se operacije z različnimi časi izvedbe, kar omogoča vpogled v interakcije med pretokom, kapaciteto in zalogami (Hegedić, 2017).

Vitka proizvodnja zahteva celovit pogled na proces, kjer vsaka operacija prispeva k skupni vrednosti, medtem ko vse oblike izgub predstavljajo potencial za izboljšave (Rifqi, 2021). V našem primeru proces vključuje pet osnovnih faz: pripravo materiala, montažo, kontrolo kakovosti, pakiranje in skladiščenje. Vsaka od teh faz ima specifično vlogo in vpliva na celoten pretočni čas, raven zalog ter izkoriščenost kapacitet. Proces je bil izbran zato, ker združuje značilnosti serijske proizvodnje z elementi neenakomernosti, ki so tipične za podjetja v prehodu na vitko proizvodnjo (Juričević, 2024).

### 3.1 Procesni tok in ozka grla

Izhodiščni proces, ki ga obravnavamo, zajema zaporedje operacij od priprave materiala do končnega skladiščenja izdelka. Vsaka faza ima pomembno vlogo v zagotavljanju pretočnosti in kakovosti proizvodnega sistema. Proces se začne v fazi priprave materiala, kjer se vhodne komponente pregledajo, razvrstijo in pripravijo za nadaljnjo uporabo. Ta korak je bistven za zagotavljanje nemotenega poteka dela, saj neustrezno pripravljene materiali povzročajo prekinitve v toku in nepotrebne zamude. Priprava materiala je pogosto podcenjena faza, vendar raziskave kažejo, da prav v tem delu pogosto nastajajo skrite izgube, ki vplivajo na kasnejše faze montaže in kontrole kakovosti (Hegedić, 2017).

Slika 5 prikazuje shematski prikaz osnovnega procesnega toka.



Slika 5: Shematski prikaz osnovnega procesnega toka  
(Lastni vir)

Slika 5 prikazuje logični tok materiala skozi vse faze proizvodnega procesa. Največ zastojev se pojavlja med fazo montaže in kontrolo kakovosti, kjer se zaradi neenakomerne obremenitve postaj in neustrezno uravnoveženih kapacitet oblikujejo vmesne zaloge in čakalne dobe. Ta pojav kaže na klasično ozko grlo v pretočnem sistemu, ki zmanjšuje skupno produktivnost in povečuje pretočni čas. Za odpravo takšnih izgub bi bilo smiselno uvesti uravnoveženje kapacitet ter vitke ukrepe, kot sta Kanban in standardizirano delo, ki omogočata stabilnejši pretok in krajši cikel izdelave.

Po pripravi materiala sledi faza montaže, kjer poteka združevanje posameznih komponent v končni izdelek. Montaža je običajno faza z največjo porabo časa in energije, zato je zanjo značilna največja občutljivost na spremembe v razpoložljivosti virov ali kakovosti vhodnih komponent. V našem primeru je proces montaže zasnovan tako, da poteka na več zaporednih delovnih postajah, kar omogoča določeno stopnjo specializacije, vendar tudi ustvarja možnosti za kopičenje zalog med posameznimi operacijami (Tyagi et al., 2021). V praksi to pomeni, da se ob neenakomerni obremenitvi posameznih postaj oblikujejo t. i. ozka grla, kjer pretočnost upade, kar poveča celotni pretočni čas.

Tretja faza je kontrola kakovosti, ki predstavlja enega ključnih dejavnikov pri zagotavljanju skladnosti izdelkov s specifikacijami. Vendar ima ta faza dvojno vlogo — zagotavlja kakovost, a hkrati pogosto deluje kot točka zadrževanja izdelkov. Zaradi neenakomerne pretočnosti med montažo in kontrolo kakovosti prihaja do čakanja in ponovnih obdelav. Rezultati analiz iz literature kažejo, da je prav faza kontrole

kakovosti ena najpogostejših točk ozkih grl v proizvodnih sistemih, saj zmogljivosti pogosto niso prilagojene dinamiki montaže (Lekšić, 2020).

Tabela 2 prikazuje ključne kazalnike procesa.

| Kazalnik   | Vrednost | Komentar  |
|--|----------|---|
| Povprečni pretočni čas (min/izdelek)             | 47       | Celoten čas, ki ga izdelek potrebuje za prehod skozi proces.      |
| Raven vmesnih zalog (enote)                      | 12       | Število enot, ki čakajo med fazama montaže in kontrole kakovosti. |
| Izkoriščenost kapacitet - montaža (%)            | 82       | Stopnja izkoriščenosti montažnih postaj.                          |
| Izkoriščenost kapacitet - kontrola kakovosti (%) | 76       | Stopnja izkoriščenosti kontrolne postaje.                         |
| Stopnja napak (%)                                | 4        | Delež izdelkov, ki zahtevajo ponovni pregled ali popravilo.       |
| Skupna učinkovitost opreme (OEE, %)              | 68       | Povprečna učinkovitost strojev, vključno z izgubami in zastoji.   |
| Povprečen čakalni čas med operacijami (min)      | 8        | Povprečni čas čakanja med posameznimi operacijami.                |
| Dnevna produktivnost (enote/dan)                 | 85       | Povprečno število izdelkov, proizvedenih v enem dnevu.            |

*Tabela 2: Ključni kazalniki procesa  
(Lastni vir)*

### 3.2 Analiza ključnih kazalnikov procesa

Pregled ključnih kazalnikov v tabeli 1 kaže, da obstoječi proces deluje z zmerno učinkovitostjo, vendar vsebuje več elementov, značilnih za tradicionalne proizvodne sisteme. Povprečni pretočni čas znaša 47 minut, kar v primerjavi z učinkovitim delovnim časom (27 minut) pomeni, da skoraj polovico časa predstavljajo čakalne dobe in neustrezno usklajeni pretoki med operacijami. Ta podatek potrjuje prisotnost ozkih grl, predvsem med fazo montaže in kontrolo kakovosti, kjer so zaznane največje razlike v izkoriščenosti kapacitet.

Stopnja napak, ocenjena na 4 %, neposredno vpliva na skupno učinkovitost opreme (OEE), ki znaša 68 %. To kaže, da se več kot tretjina razpoložljivega časa izgubi zaradi zastojev, ponovnih obdelav ali organizacijskih nejasnosti. Tortni diagram (slika 1) jasno prikazuje razmerje med učinkovitim in neizkoriščenim delom sistema — 68 % časa je produktivnega, 32 % pa predstavlja izgube, ki bi jih lahko zmanjšali z uvedbo vitkih ukrepov, kot so standardizacija dela, 5S in Just-In-Time.

Povečana raven vmesnih zalog (12 enot) kaže na pomanjkanje sinhronizacije med delovnimi postajami, kar zmanjšuje pretočnost in povečuje pretočne čase. Povprečna izkoriščenost montaže (82 %) v primerjavi s kontrolo kakovosti (76 %) potrjuje potrebo po uravnoteženju obremenitev. Dnevna produktivnost (85 enot) zaostaja za potencialno zmogljivostjo za približno 20 %, kar pomeni, da sistem ne izkorišča vseh razpoložljivih virov.

Na podlagi teh kazalnikov ugotavljamo, da obstoječi proces še ni dosegel stopnje vitkosti, temveč se nahaja v prehodni fazi med tradicionalnim in vitkim načinom proizvodnje. Ključne priložnosti za izboljšave so v odpravi izgub, uravnoteženju kapacitet, zmanjšanju zalog in optimizaciji pretočnih časov. Rezultati analize bodo služili kot podlaga za načrtovanje simulacijskega modela, s katerim bomo preverili učinke uvedbe vitkih pristopov.

Fazi pakiranja in skladiščenja sledita po končani kontroli kakovosti. V teh fazah so izgube največkrat povezane s transportom, nepotrebni premiki in čakanjem na razpoložljivost materiala za pakiranje. Ugotavljamo, da trenutni proces poteka v pogojih, kjer je vsaka operacija zasnovana relativno samostojno, brez celovite optimizacije celotnega toka. Posledično prihaja do več čakalnih obdobj, povečanja zalog med operacijami in zmanjšanja skupne pretočnosti (Juričević, 2024).

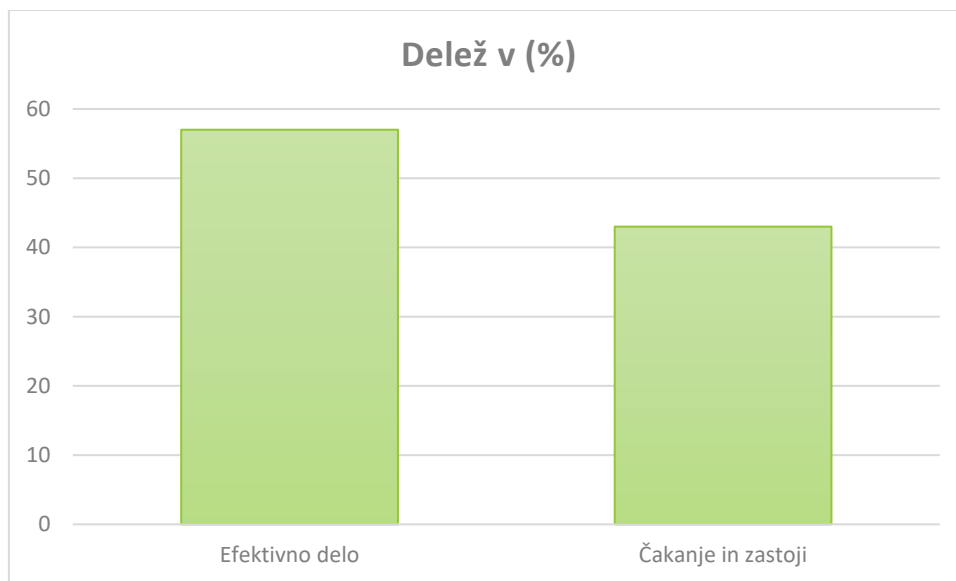
Meritve kažejo, da skupni pretočni čas znaša približno 47 minut, medtem ko efektivni delovni čas vseh operacij skupaj traja okoli 27 minut. To pomeni, da 43 % časa izdelki v sistemu čakajo na nadaljevanje procesa. Takšna razlika je značilna za sisteme z nizko stopnjo vitkosti, kjer prevladujejo tradicionalni načini planiranja in pomanjkanje vizualnega nadzora nad pretokom (Rifqi, 2021). Z vidika vitke proizvodnje je takšen proces neučinkovit, saj ustvarja zamude, kopičenje in povečano kompleksnost upravljanja.

Da bi proces približali načelom vitkosti, je treba zagotoviti, da se pretok izvaja brez nepotrebnih zastojev in da so vse faze uravnotežene. To pomeni, da moramo kapacitete posameznih postaj prilagoditi dejanskemu pretoku materiala in zagotoviti mehanizme za sprotno prilagajanje dela glede na dejansko povpraševanje (Lučić, 2017). Analiza ozkih grl bo v nadaljevanju predstavljala podlago za oblikovanje simulacijskega modela, ki bo omogočil preverjanje učinkov različnih izboljšav.

### **3.3 Ključni kazalniki izhodišča**

Za razumevanje trenutne učinkovitosti procesa smo določili vrsto kvantitativnih kazalnikov, ki zajemajo časovne, količinske in kakovostne parametre. Povprečni pretočni čas znaša 47 minut na izdelek, povprečna raven vmesnih zalog med fazama montaže in kontrole kakovosti znaša 12 enot, kar pomeni, da se v povprečju dvanajst izdelkov hkrati nahaja v čakalnem stanju.

Slika 6 prikazuje strukturo izgub v procesu.



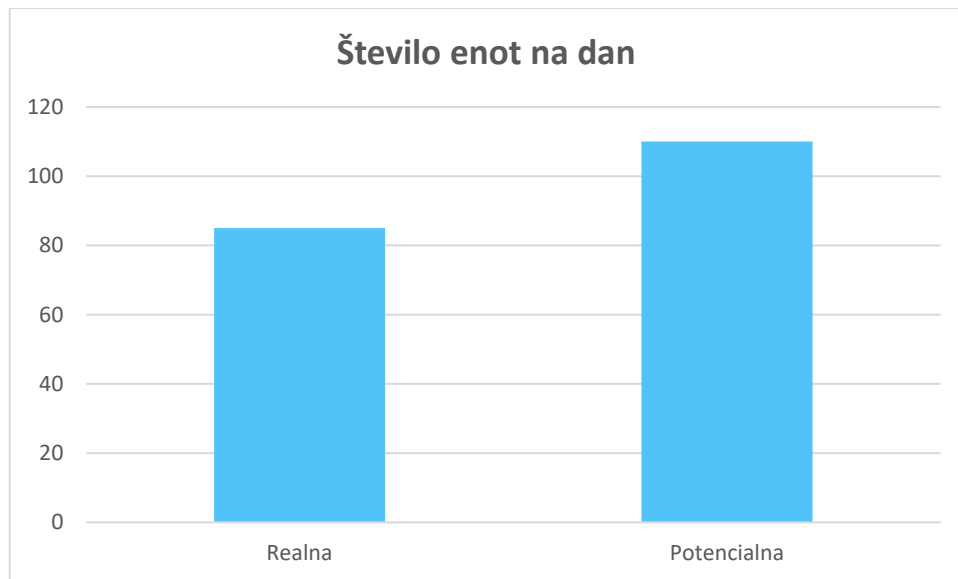
*Slika 6: Struktura izgub v procesu*  
(Lastni vir)

Slika 6 prikazuje strukturo izgub v obravnavanem proizvodnem procesu. Ugotavljamo, da kar 43 % časa v procesu odpade na čakanje in zastoje, medtem ko je 57 % časa učinkovito izkoriščenega za dejansko dodajanje vrednosti izdelku. Takšna porazdelitev potrjuje prisotnost izrazitih izgub, značilnih za procese z neenakomerno obremenitvijo in pomanjkanjem pretočnosti.

Delež neproduktivnega časa je relativno visok, kar kaže na neučinkovito sinhronizacijo posameznih faz in odsotnost sistema za sprotno uravnavanje pretoka. Po načelih vitke proizvodnje bi bilo smiselno izvesti analizo vzrokov zastojev ter uporabiti orodja, kot so Kanban, Heijunka in standardizirano delo, s katerimi se poveča delež učinkovitega časa in zmanjša potreba po zalogah (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

Stopnja izkoriščenosti kapacitet montažnih delovnih mest znaša 82 %, medtem ko je v kontroli kakovosti nekoliko nižja — 76 %. Ti podatki potrjujejo prisotnost neravnovesja med operacijami in posledično znižano pretočnost (Hegedić, 2017). Stopnja napak znaša 4 %, kar pomeni, da vsak petindvajseti izdelek zahteva ponovni pregled ali popravek. Čeprav se ta številka morda zdi nizka, se njen učinek multiplicira v časovnem zamiku in zmanjšanju razpoložljivosti kapacitet. Skupna učinkovitost opreme (OEE) znaša 68 %, kar nakazuje prisotnost izgub zaradi nenačrtovanih zastojev, daljših menjav orodij in ponovnih zagonov (Achibat et al., 2023).

Slika 7 prikazuje povprečno produktivnost.



Slika 7: Povprečna produktivnost (enote na dan)  
(Lastni vir)

Slika 7 prikazuje primerjavo med realno in potencialno produktivnostjo v obravnavanem procesu. Trenutna produktivnost znaša 85 enot na dan, medtem ko bi ob optimalni pretočnosti in odpravi izgub lahko dosegla 110 enot na dan. To pomeni, da proces trenutno izkorišča približno 77 % svojega proizvodnega potenciala. Razlika 25 enot dnevno predstavlja priložnost za izboljšave, ki bi jih bilo mogoče doseči z uravnoteženjem obremenitev, zmanjšanjem čakalnih časov in uvedbo vitkih orodij, kot so Kanban, Just-In-Time (JIT) in standardizirano delo. Takšen pristop bi omogočil večjo stabilnost procesa, krajše pretočne čase in višjo izkoriščenost kapacitet (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021; Juričević, 2024).

Povprečen čakalni čas med operacijami znaša približno 8 minut, kar predstavlja pomemben delež skupnega pretočnega časa.

Vrednosti teh kazalnikov potrjujejo, da proces še ni v fazi stabilne vitkosti, temveč se nahaja v prehodni fazi, kjer prevladuje kombinacija tradicionalnih in vitkih pristopov. Povečana raven vmesnih zalog kaže na nezadostno sinhronizacijo delovnih postaj, medtem ko razlike v izkoriščenosti kapacitet nakazujejo potrebo po uravnoteženju delovnih obremenitev (Tyagi et al., 2021).

V skladu z načeli vitke proizvodnje pretočni čas in zaloge predstavljajo neposredno povezane spremenljivke. Daljši pretočni časi povečujejo zaloge, saj material dalj časa ostaja v sistemu, kar vpliva na likvidnost in prostorsko zasedenost. Littleov zakon, ki določa, da je povprečna količina zalog enaka produktu pretočnega časa in stopnje

pretoka, potrjuje, da lahko zmanjšanje pretočnega časa neposredno zmanjša zaloge (Rifqi, 2021).

Kakovost procesa je tesno povezana z organizacijo delovnih mest in nivojem standardizacije. Ugotavljamo, da pomanjkanje enotnih standardov vodi do variabilnosti pri izvedbi delovnih operacij in povečane možnosti napak. V fazi kontrole kakovosti se zato pojavlja potreba po dodatnih pregledih, kar povečuje obremenjenost zaposlenih in zmanjšuje razpoložljivost kapacitet. To potrjuje spoznanja iz literature, da visoka kakovost ni posledica končne kontrole, temveč rezultat stabilnih in ponovljivih procesov (Juričević, 2024).

Povprečna produktivnost znaša 85 enot na dan, kar je za približno 20 % manj od potencialne zmogljivosti ob enakih virih. To pomeni, da je v obstoječem procesu prisoten pomemben potencial za izboljšanje učinkovitosti. Pridobljeni podatki predstavljajo osnovo za analizo učinkov uvedbe vitkih ukrepov, ki bodo v simulacijskem modelu preverjeni z različnimi scenariji (Kovačec, 2015).

### **3.4 Priložnosti za izboljšave**

Analiza izhodiščnega procesa razkriva več področij, kjer lahko z uvedbo vitkih orodij dosežemo pomembne izboljšave. Prva priložnost je povezana z organizacijo delovnega prostora. Trenutna postavitve delovnih mest ni optimalna, kar povzroča nepotrebne premike zaposlenih in izgube časa pri iskanju materialov ali orodij. Z uvedbo 5S sistema bi zagotovili urejenost, sistematičnost in preglednost, kar bi zmanjšalo nepotrebne premike in povečalo produktivnost (Biondić, 2020).

Druga priložnost se nanaša na pretok materiala med montažo in kontrolo kakovosti. Uvedba vlečnega sistema Kanban bi omogočila, da se material premika le na podlagi dejanskega povpraševanja naslednje postaje, kar bi zmanjšalo medfazne zaloge in čakalne dobe (Lučić, 2017). Tak sistem bi zagotovil večjo preglednost in omogočil hitro odzivanje na spremembe v povpraševanju.

Tretje področje izboljšav predstavlja uvedba Just-In-Time sistema, ki bi omogočil pravočasno dobavo materialov in komponent, s čimer bi zmanjšali potrebo po skladiščenju in izboljšali pretočnost procesa (Juričević, 2024). S tem bi zagotovili boljšo povezavo med dobavo, proizvodnjo in odpreme izdelkov, kar je eden ključnih ciljev vitke filozofije.

Poleg teh ukrepov bi pomembne rezultate prinesla tudi standardizacija delovnih postopkov. Z uvedbo standardnih delovnih navodil in meril učinkovitosti bi povečali stabilnost in zmanjšali variabilnost v izvedbi. Standardizacija omogoča enostavno prepoznavanje odstopanj in zagotavlja podlago za nenehne izboljšave (Hegedić, 2017).

Dodatno priložnost vidimo v uporabi vizualnega upravljanja, ki zaposlenim omogoča takojšnje zaznavanje nepravilnosti v procesu. Orodja, kot so vizualne table, oznake in barvna signalizacija, omogočajo hitro zaznavanje zastojev in pomagajo pri sprotnem ukrepanju. Na ta način se povečata transparentnost in odgovornost zaposlenih, kar potrjujejo tudi ugotovitve iz raziskav o implementaciji vitkosti (Achibat et al., 2023).

Skupni cilj vseh teh ukrepov je preoblikovati proces v smeri stabilnega, uravnoteženega in pretočnega sistema, kjer so izgube minimalne, zaloge nizke, kakovost visoka in pretok nemoten. Na tej podlagi bomo v naslednjem poglavju oblikovali koncept izboljšav, ki ga bomo preverili s pomočjo simulacijskega modela. S tem bomo pridobili empirične dokaze o učinkovitosti uvedenih sprememb in ustvarili temelje za njihovo uvedbo v realnem proizvodnem okolju (Lekšič, 2020).

### **3.5 Opis izhodiščnega procesa**

Analiza izhodiščnega proizvodnega procesa je pokazala, da sistem kljub delni uporabi vitkih načel še vedno vsebuje več neučinkovitosti, ki vplivajo na skupno pretočnost, raven zalog in produktivnost. Procesni tok poteka skozi pet osnovnih faz – pripravo materiala, montažo, kontrolo kakovosti, pakiranje in skladiščenje – pri čemer se največje izgube pojavljajo v prehodu med montažo in kontrolo kakovosti. Meritve so pokazale, da skupni pretočni čas znaša približno 47 minut, od tega efektivno delo zavzema le 57 % časa, preostalih 43 % pa predstavljajo čakanja, zastoji in nepotrebni premiki (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

Ugotovili smo, da je izkoriščenost kapacitet montaže 82 %, kontrole kakovosti pa 76 %, kar potrjuje prisotnost ozkega grla in neravnovesja med posameznimi fazami procesa (Lekšič, 2020). Ta neenakomernost vodi v povečanje medfaznih zalog in podaljšanje pretočnega časa. Hkrati analiza produktivnosti razkriva razliko med dejansko in potencialno zmogljivostjo sistema – povprečna realna produktivnost znaša 85 enot na dan, potencialna pa 110 enot, kar pomeni približno 22 % neizkoriščenega potenciala (Juričević, 2024).

Zbrani podatki in grafične analize potrjujejo, da je trenutni proces značilen za prehodno fazo med tradicionalno in vitko proizvodnjo. Ključne priložnosti za izboljšave vključujejo boljše uravnoteženje obremenitev delovnih mest, zmanjšanje čakalnih dob, uvedbo vlečnega sistema Kanban, standardizacijo delovnih postopkov ter izboljšano vizualno upravljanje (Biondić, 2020; Lučić, 2017). Uporaba teh ukrepov bi omogočila stabilnejši pretok, nižje zaloge in višjo produktivnost ob enaki razpoložljivosti virov. Na podlagi opravljenih analiz lahko zaključimo, da je glavni izziv obstoječega sistema pomanjkanje sinhronizacije med fazami procesa, kar povzroča kopičenje zalog in izgubo časa. Vpeljava vitkih pristopov je zato nujna za povečanje

učinkovitosti, zmanjšanje izgub in doseganje stabilnega, pretočnega proizvodnega sistema (Achibat et al., 2023).

## 4 KONCEPT IZBOLJŠAV

Na podlagi izvedene analize izhodiščnega procesa smo prepoznali ključna področja, kjer obstoječi sistem ne izkorišča svojega polnega potenciala. Ugotovljeno je bilo, da se največ izgub pojavlja v obliki čakanja, prekinitve toka in neenakomernih obremenitev delovnih mest, kar vodi do nižje pretočnosti in večjih zalog. Namen tega poglavja je predstaviti koncept izboljšav, ki temeljijo na načelih vitke proizvodnje ter sledijo cilju oblikovanja stabilnega, pretočnega in uravnoveženega sistema.

Pri oblikovanju predloga izboljšav izhajamo iz kombinacije teoretičnih spoznanj in rezultatov analize obstoječega stanja. Vitki pristopi, kot so 5S, Kanban, Just-In-Time in standardizirano delo, predstavljajo osnovo za sistematično zmanjševanje izgub, izboljšanje preglednosti ter povečanje produktivnosti. Njihova uspešnost je v veliki meri odvisna od razumevanja procesnih povezav in aktivnega vključevanja zaposlenih v proces sprememb (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

V nadaljevanju bomo zato predstavili izbor vitkih ukrepov, utemeljili njihovo uporabo ter opisali načrt uvedbe, s katerim bomo postopno preoblikovali obstoječi proces v smeri vitke organizacije. Posebna pozornost bo namenjena tudi pričakovanim učinkom posameznih ukrepov, saj je cilj izboljšav ne le povečanje učinkovitosti, temveč tudi dolgoročna stabilnost in tudi trajnost delovanja sistema. Na tej osnovi bomo oblikovali simulacijski model, s pomočjo katerega bomo preverili vpliv uvedenih sprememb na kazalnike, kot so pretočni čas, kapaciteta, zaloge in stopnja izkoriščenosti proizvodnih sredstev.

Tak pristop omogoča, da se koncept izboljšav ne oblikuje zgolj na podlagi teoretičnih predpostavk, temveč temelji na konkretnih podatkih in analitičnih izračunih, kar povečuje zanesljivost rezultatov in uporabnost ugotovitev v praksi. Cilj tega poglavja je torej zasnovati celovit in izvedljiv koncept vitke preobrazbe, ki predstavlja podlago za nadaljnjo simulacijo in empirično preverjanje učinkov vitkih pristopov v realnem proizvodnem okolju.

### 4.1 Izbor vitkih ukrepov

Rezultati analize izhodiščnega procesa so pokazali, da proizvodni sistem trpi zaradi izrazite neenakomernosti obremenitev med posameznimi fazami, daljših čakalnih dob ter povišanih ravni vmesnih zalog. V takšnih pogojih se izgublja pretočnost, povečuje se kompleksnost upravljanja, hkrati pa pada skupna učinkovitost procesa. Namen tega poglavja je zato predstaviti nabor vitkih ukrepov, ki neposredno naslavlajo identificirane izgube in podpirajo transformacijo sistema v smeri stabilnosti, pretočnosti in trajnostne učinkovitosti.

Pri izboru ukrepov smo izhajali iz temeljnih načel vitkosti – ustvarjanja vrednosti za kupca, odprave izgub, neprekinjenega toka in sistematičnega izboljševanja (Hegedić, 2017). Uporabili smo kombinacijo klasičnih in sodobnih orodij, ki se medsebojno

dopolnjujejo ter delujejo na različnih ravneh: organizacijski, procesni in operativni. Osnovni cilj je bil vzpostaviti sistem, ki s pomočjo vizualnih, procesnih in organizacijskih mehanizmov omogoča samouravnavanje in stalno izboljševanje (Tyagi et al., 2021).

- Uvedba sistema 5S (sortiranje, sistematizacija, sijaj, standardizacija, samodisciplina) predstavlja temelj vitke proizvodnje, saj zagotavlja urejeno, pregledno in standardizirano delovno okolje. V številnih raziskavah (Biondić, 2020; Hegedić, 2017) je dokazano, da uvedba 5S neposredno vpliva na zmanjšanje časa iskanja orodij, izboljšanje varnosti, znižanje stopenj napak in povečanje motivacije zaposlenih. V praksi sistem 5S pomeni vzpostavitev kulture reda in discipline, kjer je vsak element na svojem mestu, nepotrebni predmeti so odstranjeni, delovno okolje je čisto in jasno označeno. Poleg fizične urejenosti pa 5S uvaja tudi mentalno disciplino — ustvarja odgovornost zaposlenih za kakovost in urejenost svojega delovnega prostora.
- Vlečni sistem Kanban je osrednje orodje za implementacijo vlečnega principa (pull system) v proizvodnji. Namesto da bi delo potekalo po napovedih (push system), Kanban omogoča, da se proizvodnja sproži šele, ko naslednja faza zahteva določen izdelek (Lučić, 2017). S tem preprečijo prekomerno proizvodnjo in zmanjšajo nepotrebne zaloge, kar neposredno vpliva na izboljšanje pretočnosti in odzivnosti sistema.
- Pristop Just-In-Time (JIT) je eden najbolj prepoznavnih konceptov vitke proizvodnje, ki se osredotoča na zagotavljanje materialov in komponent v pravem času, količini in kakovosti. Njegovi glavni cilji so zmanjšanje zalog, odprava nepotrebnega skladiščenja ter zagotavljanje neprekinjenega toka (Rifqi, 2021).
- Standardizacija delovnih postopkov predstavlja temelj stabilnega in ponovljivega procesa. Njeno bistvo je določitev najboljšega znanega načina izvedbe operacije, ki se nato dosledno uporablja, meri in izboljšuje. Standardizirano delo omogoča primerljivost rezultatov, zagotavlja predvidljivost in služi kot izhodišče za Kaizen izboljšave (Hegedić, 2017; Bister, 2015).
- Uravnoteženje obremenitev (Heijunka) ali niveliranje proizvodnje omogoča enakomerno porazdelitev dela skozi čas in zmanjšuje nihanja v obremenitvi posameznih postaj (Tyagi et al., 2021). Neravnotežje pogosto vodi do preobremenitev, čakanja in zastojev — torej klasičnih izgub.

Tabela 3 prikazuje pregled izbranih vitkih ukrepov in njihovih pričakovanih učinkov.

| Ukrep/Orodje         | Glavni namen                                | Pričakovani učinki                                 | Ključni vpliv na kazalnike               |
|----------------------|---|--|--|
| 5S                   | Ureditev in standardizacija delovnega mesta | Večja preglednost, manj napak, krajši časi menjave | +produktivnost<br>-izgube zaradi čakanja |
| Kanban               | Uvedba vlečnega sistema                     | Zmanjšanje zalog, odprava prekomerne proizvodnje   | +pretočnost<br>-zaloge                   |
| JIT                  | Pravočasna dobava materialov                | Zmanjšanje skladiščnega prostora, boljši pretok    | +kapaciteta<br>-zaloge                   |
| Standardizirano delo | Poenotenje postopkov                        | Manj napak, večja stabilnost in sledljivost        | +kakovost<br>+stabilnost                 |
| Heijunka             | Uravnoteženje proizvodnje                   | Zmanjšanje variabilnosti in zastojev               | +pretočni čas<br>-čakalni čas            |

Tabela 3: Pregled izbranih vitkih ukrepov in njihovih pričakovanih učinkov  
(Lastni vir)

Tabela 3 ponazarja celovit nabor vitkih ukrepov, ki skupaj tvorijo uravnotežen sistem izboljšav v proizvodnem procesu. Vsak ukrep deluje na specifično vrsto izgube in ima jasno določen vpliv na ključne kazalnike učinkovitosti.

Sistem 5S predstavlja osnovo, saj zagotavlja urejeno in standardizirano delovno okolje, kar omogoča preglednost in zmanjšanje izgub zaradi čakanja ali iskanja orodij. Kanban in JIT skupaj tvorita jedro vlečnega sistema, ki preprečuje prekomerno proizvodnjo ter omogoča pretočen in odziven materialni tok. Standardizirano delo prinaša stabilnost in ponovljivost postopkov, kar zmanjšuje napake in povečuje kakovost, medtem ko Heijunka zagotavlja uravnoteženo porazdelitev obremenitev med delovnimi postajami in zmanjšuje čakalne čase.

Skupni učinek teh ukrepov je sinergijski — posamezni pristopi se med seboj dopolnjujejo, saj 5S in standardizacija ustvarjata temelje za učinkovito uporabo Kanbana in JIT sistema, Heijunka pa poskrbi, da celoten tok ostaja stabilen tudi ob spremembah v povpraševanju. Na ta način kombinacija ukrepov prispeva k večji pretočnosti, krajšim ciklom, nižjim zalogam in večji zanesljivosti proizvodnje.

## 4.2 Načrt uvedbe vitkih ukrepov

Uvajanje vitkih pristopov je proces, ki zahteva celovit in premišljen načrt, saj se učinki posameznih orodij pokažejo šele, ko so medsebojno usklajena in podprta z organizacijsko kulturo nenehnega izboljševanja. Vitkost ni skupek tehnik, temveč celovit sistem, ki zahteva postopno spreminjanje navad, odnosov in razumevanja procesov (Hegedić, 2017). Zato mora biti uvedba načrtovana fazno, z jasno določenimi cilji, merili uspeha in odgovornostmi, pri čemer je ključno, da vsaka faza temelji na rezultatih prejšnje.

V začetni fazi se ustvarijo pogoji za vitko delovanje s pomočjo sistema 5S. Ta ukrep je temelj vitke filozofije, saj postavlja standarde urejenosti, preglednosti in discipline v delovnem okolju. Prva dva koraka (sortiranje in sistematizacija) omogočata odstranitev nepotrebnih predmetov in vzpostavitev logičnega reda, tretji (sijaj) skrbi za čistočo, četrti (standardizacija) za ponovljivost postopkov, peti (samodisciplina) pa za dolgoročno ohranjanje rezultatov (Biondić, 2020). Vpeljava 5S je pogosto prvi vidni korak preobrazbe, saj neposredno vpliva na moralo zaposlenih, zmanjšuje izgube zaradi čakanja, premikov in iskanja orodij ter ustvarja okolje, v katerem so napake lažje zaznavne (Lučić, 2017).

Naslednji korak je usposabljanje in vključevanje zaposlenih, ki ima ključno vlogo pri dolgoročni uspešnosti vitkih projektov. Brez zavedanja in aktivne vključenosti zaposlenih vitkost ne more zaživeti. V okviru usposabljanja se uvedejo Kaizen skupine, katerih naloga je sistematično spremljanje procesov, odkrivanje izgub in predlaganje izboljšav. S tem se spodbuja kultura sodelovanja, kjer se vsak zaposleni počuti odgovornega za učinkovitost sistema (Hegedić, 2017).

V drugi fazi je poudarek na povečanju pretočnosti z uvedbo Kanban sistema, ki zagotavlja vzpostavitev vlečnega sistema. Kanban omogoča, da se proizvodnja izvaja glede na dejansko povpraševanje naslednje faze in ne po načrtih ali ocenah, kar bistveno zmanjša medfazne zaloge in izboljša sinhronizacijo (Tyagi et al., 2021). V praksi to pomeni, da se materiali premikajo samo, ko je to potrebno, s čimer se odpravlja prekomerna proizvodnja in zmanjša kompleksnost upravljanja zalog. V našem primeru bo Kanban uveden postopoma – najprej med fazama montaže in kontrole kakovosti, kjer se pojavljajo največji zastoji, nato pa širše po celotnem toku procesa. Vzporedno s Kanbanom se vpeljuje tudi Just-In-Time (JIT), ki zagotavlja dostavo materiala in komponent v točno določenem času in količini. S tem se zmanjšajo zaloge, prostorska zasedenost in stroški skladiščenja, hkrati pa se povečata pretočnost in odzivnost sistema na spremembe v povpraševanju (Rifqi, 2021). Pomemben del JIT sistema je tudi tesnejše sodelovanje z dobavitelji, saj je pravočasna in zanesljiva dobava materiala predpogoj za stabilen pretok.

Tretja faza uvedbe obsega standardizacijo delovnih postopkov, ki zagotavlja ponovljivost, preglednost in enotnost dela. Standardizirano delo določa optimalno zaporedje korakov, čas izvajanja in dodelitev nalog, kar omogoča natančno merjenje učinkovitosti in prepoznavanje odstopanj. Standardi so osnova za stalne izboljšave, saj omogočajo primerjavo med načrtovanim in dejanskim stanjem ter sistematično odpravo razlik (Juričević, 2024). Uvedba standardizacije poveča kakovost, zmanjšuje variabilnost in zagotavlja hitrejše uvajanje novih zaposlenih.

V četrti fazi sledi izravnavanje obremenitev – Heijunka, katere cilj je zmanjšanje nihanj v proizvodnji in obremenitvi virov. Z izravnanjem proizvodnega plana se preprečuje kopičenje zalog in zmanjšuje stres v sistemu. Heijunka omogoča, da se delo enakomerno porazdeli skozi čas in s tem preprečijo ekstremna nihanja med obdobjem visoke in nizke obremenitve (Hegedić, 2017; Lekšić, 2020).

Celoten načrt je podprt z merjenjem ključnih kazalnikov učinkovitosti (KPI), med katere sodijo pretočni čas, raven zalog, OEE, produktivnost in kakovost. Ti kazalniki omogočajo objektivno ocenjevanje učinkov posameznih ukrepov in sprotne prilagajanje strategije. Pomembno je, da se podatki redno zbirajo in analizirajo v okviru tedenskih sestankov Kaizen skupin, kar zagotavlja transparentnost in stalno povratno zanko med prakso in načrtovanimi cilji (Achibat et al., 2023).

Tabela 4 prikazuje načrt uvedbe vitkih ukrepov.

| Faza uvedbe | Vitki ukrep                           | Namen uvedbe   | Pričakovani učinki   | Čas izvedbe | Odgovorna oseba         |
|-------------|---------------------------------------|--|--|-------------|-------------------------|
| Faza 1      | 5S sistem in izobraževanje zaposlenih | Vzpostavitev urejenega, varnega in preglednega okolja        | Zmanjšanje izgub zaradi čakanja, premikov in iskanja orodij          | 1. mesec    | Vodja proizvodnje       |
| Faza 2      | Kanban sistem                         | Sinhronizacija toka med montažo in kontrolo kakovosti        | Zmanjšanje zalog, krajši pretočni čas, večja preglednost             | 2.-3. mesec | Koordinator proizvodnje |
| Faza 3      | Just In Time (JIT)                    | Optimizacija oskrbe delovnih mest z materiali                | Zmanjšanje zalog, izboljšanje pretočnosti, večja odzivnost           | 3.-4. mesec | Vodja logistike         |
| Faza 4      | Standardizirano delo                  | Zagotavljanje stabilnosti in ponovljivosti postopkov         | Zmanjševanje variabilnosti, višja kakovost, krajši čas usposabljanja | 4.-5. mesec | Tehnolog procesa        |
| Faza 5      | Heijunka (izravnava obremenitev)      | Uravnavanje proizvodnje glede na kapacitete in povpraševanje | Stabilen pretok, manj zastojev in preobremenitev                     | 5.-6. mesec | Vodja planiranja        |

*Tabela 4: Načrt uvedbe vitkih ukrepov  
(Lastni vir)*

Predstavljeni načrt uvedbe temelji na logičnem zaporedju, ki omogoča postopno preobrazbo proizvodnega sistema. Prve faze ustvarjajo pogoje za stabilnost (5S in usposabljanje), sledijo ukrepi, ki povečujejo pretočnost (Kanban in JIT), nato pa standardizacija in izravnava obremenitev, ki zagotavljata dolgoročno stabilnost sistema. Takšen pristop omogoča učenje skozi prakso in zmanjšuje tveganje za odpore zaposlenih, saj se spremembe uvajajo postopoma in so merljive. Faze so medsebojno odvisne – brez stabilnih osnov 5S in discipline zaposlenih Kanban ne more delovati učinkovito, prav tako JIT zahteva visoko stopnjo standardizacije in usklajenosti procesov. S tem se zagotavlja trajnostno izboljšanje procesne učinkovitosti ter prehod iz tradicionalnega v vitki proizvodni sistem (Hegedić, 2017; Lekšić, 2020; Tyagi et al., 2021).

### 4.3 Pričakovani učinki uvedenih izboljšav

Uvedba vitkih ukrepov v obravnavani proizvodni proces bo imela večplastne učinke, ki bodo vplivali tako na operativno učinkovitost kot tudi na organizacijsko kulturo podjetja. Ključni cilj vseh izboljšav je zmanjšanje izgub in povečanje pretočnosti, kar se bo odrazilo v krajših časih izdelave, manjših zalogah ter bolj uravnoteženi izkoriščenosti kapacitet. V širšem smislu pa uvedba vitkih principov prispeva tudi k višji stopnji fleksibilnosti, večji kakovosti izdelkov ter dolgoročni stabilnosti procesov (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

Prvi pričakovani učinek se nanaša na zmanjšanje skupnega pretočnega časa. Trenutna analiza je pokazala, da izdelki v sistemu čakajo približno 43 % celotnega časa, kar predstavlja velik potencial za izboljšave. Z uvedbo 5S, Kanban in Just-In-Time sistema se pričakuje, da se bo delež čakanja zmanjšal za vsaj 20–25 %, kar bo znižalo skupni pretočni čas s 47 minut na približno 36–38 minut. Ključno pri tem je uravnoteženje delovnih obremenitev in sinhronizacija med fazami montaže in kontrole kakovosti (Rifqi, 2021).

Drugi pomemben učinek se pričakuje pri zmanjšanju ravni vmesnih zalog. Z uvedbo vlečnega sistema Kanban in uravnoteževanjem obremenitev s pomočjo Heijunke se bodo zaloge med posameznimi fazami postopoma zmanjšale. Pričakovano zmanjšanje znaša približno 30–40 %, kar bo omogočilo boljšo preglednost toka materiala in zmanjšanje potrebnega prostora za skladiščenje. S tem se neposredno zmanjšajo tudi stroški kapitala, vezanega v zalogah, in poveča pretočnost informacij znotraj sistema (Lučić, 2017). Tretji učinek se nanaša na povečanje stopnje izkoriščenosti kapacitet. S standardizacijo delovnih postopkov in uravnoteženjem obremenitev se pričakuje, da se bo izkoriščenost montažnih postaj povečala z 82 % na približno 90 %, medtem ko bo v fazi kontrole kakovosti narasla s 76 % na okoli 85 %. Takšna izboljšava bo prinesla bolj enakomerno razporeditev dela, manj zastojev in večjo stabilnost procesov (Juričević, 2024). Uvedba standardiziranega dela bo imela tudi izrazit vpliv na povečanje kakovosti. Poenotenje delovnih postopkov zmanjšuje verjetnost napak, ki nastajajo zaradi različnih praks posameznih zaposlenih. Ocenjuje se, da se bo stopnja napak zmanjšala s 4 % na približno 2,5 %, kar pomeni, da bo manj izdelkov zahtevalo ponovne preglede ali popravke. Posledično se bo povečala razpoložljivost kapacitet, saj se bo zmanjšala potreba po dodatnih kontrolah in ponovitvah operacij (Achibat et al., 2023).

Pomemben učinek pričakujemo tudi na področju produktivnosti. S krajšimi časi in z manjšim številom izgub se pričakuje povečanje dnevne proizvodnje s trenutnih 85 enot na približno 100–105 enot, kar pomeni približno 20–25 % izboljšanje brez dodatnih virov. Ta učinek je značilen za proizvodna okolja, kjer se vitkost izvaja celovito – torej ne le kot tehnični ukrep, temveč kot sprememba celotnega načina dela in razmišljanja (Biondić, 2020). Sistemski učinki se bodo pokazali tudi v boljši

stabilnosti in preglednosti proizvodnega sistema. Z uvedbo vizualnega upravljanja, merjenja KPI in rednih Kaizen sestankov se vzpostavi mehanizem sprotnega spremljanja učinkovitosti in pravočasnega ukrepanja. To zmanjšuje verjetnost nastanka večjih odstopanj in omogoča stalno učenje organizacije. Takšen sistem spodbuja proaktivno vedenje zaposlenih, saj imajo sproten vpogled v rezultate svojega dela in so neposredno vključeni v proces izboljšav (Hegedić, 2017).

Za kvantitativno ponazoritev pričakovanih učinkov uvajanja vitkih pristopov bo v nadaljevanju prikazana tabela 5: »pričakovani učinki«, ki prikazuje primerjavo ključnih kazalnikov učinkovitosti pred in po izvedenih izboljšavah. Na ta način bo mogoče jasno videti, kako posamezni ukrepi prispevajo k skupnemu cilju – ustvarjanju stabilnega, pretočnega in konkurenčnega proizvodnega sistema.

Tabela 5 prikazuje primerjavo ključnih kazalnikov učinkovitosti pred in po uvedbi vitkih izboljšav.

| Kazalnik                     | Pred izboljšavami | Po izboljšavah |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| Pretočni čas (min)           | 47                | 37             |
| Raven vmesnih zalog          | 12                | 7              |
| Izkoriščenost montaže (%)    | 82                | 90             |
| Izkoriščenost kontrole (%)   | 76                | 85             |
| Stopnja napak (%)            | 4                 | 2,5            |
| Dnevna produktivnost (enote) | 85                | 102            |

*Tabela 5: Pričakovani učinki  
(Lastni vir)*

Rezultati jasno kažejo, da se po implementaciji ukrepov pričakuje občutno izboljšanje pretočnosti, zmanjšanje zalog in povečanje izkoriščenosti kapacitet. Skupni pretočni čas se zmanjša s 47 na 37 minut, kar pomeni približno 21-odstotno skrajšanje proizvodnega cikla.

Raven vmesnih zalog se zniža z 12 na 7 enot, kar kaže na bolj uravnotežen in stabilen pretok materiala. Povečanje izkoriščenosti montažnih in kontrolnih delovnih mest (z 82 % na 90 % ter s 76 % na 85 %) potrjuje, da uravnoteženje obremenitev in standardizacija dela prinašata višjo stabilnost procesa.

Stopnja napak se zmanjšuje s 4 % na 2,5 %, kar pomeni boljšo kakovost in manj potreb po ponovnih obdelavah. Dnevna produktivnost naraste s 85 na 102 enoti, kar predstavlja približno 20-odstotno izboljšanje učinkovitosti brez dodatnih virov. Takšni rezultati potrjujejo, da kombinacija orodij 5S, Kanban, JIT in standardiziranega dela bistveno prispeva k ustvarjanju pretočnega, stabilnega in konkurenčnega proizvodnega sistema (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021; Juričević, 2024).

## 4.4 Spremljanje in vrednotenje učinkov izboljšav

Spremljanje in vrednotenje učinkov izboljšav predstavlja ključno fazo v procesu vitke transformacije, saj omogoča prehod od implementacije posameznih ukrepov k dolgoročni stabilizaciji rezultatov. Namen tega koraka ni zgolj preverjanje doseženih ciljev, temveč tudi ustvarjanje sistema, ki omogoča stalno učenje in prilagajanje spremembam v okolju. V praksi gre za proces, v katerem se kvantitativni rezultati dopolnjujejo s kvalitativnimi opažanji, kar omogoča celovit vpogled v stanje sistema (Hegedić, 2017).

Učinkovito spremljanje zahteva jasno strukturiran okvir, ki vključuje:

- določitev kazalnikov uspešnosti (KPI-jev),
- vzpostavitev sistema zajema podatkov,
- redno analizo rezultatov
- mehanizme za povratne ukrepe in stalne izboljšave.

Kazalniki uspešnosti so temeljni element spremljanja, saj kvantificirajo učinke vitkih pristopov. Uporabljajo se kazalniki pretočnosti (npr. povprečni čas izdelave), učinkovitosti (OEE), kakovosti (stopnja napak) in odzivnosti sistema (stopnja zalog, čas dostave, stabilnost procesa). Ti kazalniki omogočajo primerjavo stanja "pred" in "po" uvedbi izboljšav ter odkrivanje skritih izgub, ki se sicer ne pokažejo neposredno (Tyagi et al., 2021).

Za spremljanje učinkov se uporablja pristop z več nivoji, kjer se rezultati merijo kratkoročno, srednjeročno in dolgoročno. Kratkoročno spremljanje (1–3 mesecev) se osredotoča na takojšnje spremembe, kot je zmanjšanje zalog in pretočnega časa. Srednjeročno spremljanje (3–6 mesecev) analizira stabilnost procesov, izboljšanje OEE in uravnoteženje kapacitet.

Dolgoročno spremljanje (po 12 mesecih) pa preverja trajnost rezultatov, prenos dobrih praks v druge oddelke ter učinke na organizacijsko kulturo. V praksi se spremljanje učinkov pogosto podpira z vizualnimi metodami, kot so nadzorne table KPI-jev, trendni grafi in poročilne matrike, ki omogočajo hitro zaznavanje odstopanj in olajšajo odločanje. Uporaba digitalnih orodij (npr. Power BI, Tableau) dodatno povečuje preglednost, omogoča samodejno zbiranje podatkov in s tem zmanjšuje možnost napak pri poročanju (Achibat et al., 2023).

Za učinkovito vrednotenje rezultatov se poleg kazalnikov uporablja tudi analiza odstopanj (gap analysis), ki primerja dejanske rezultate s ciljnimi vrednostmi. Tak pristop omogoča identifikacijo področij, kjer so potrebni dodatni ukrepi, ter zagotavlja nenehno usklajevanje med cilji in rezultati. Posebno vlogo pri spremljanju ima vključevanje zaposlenih.

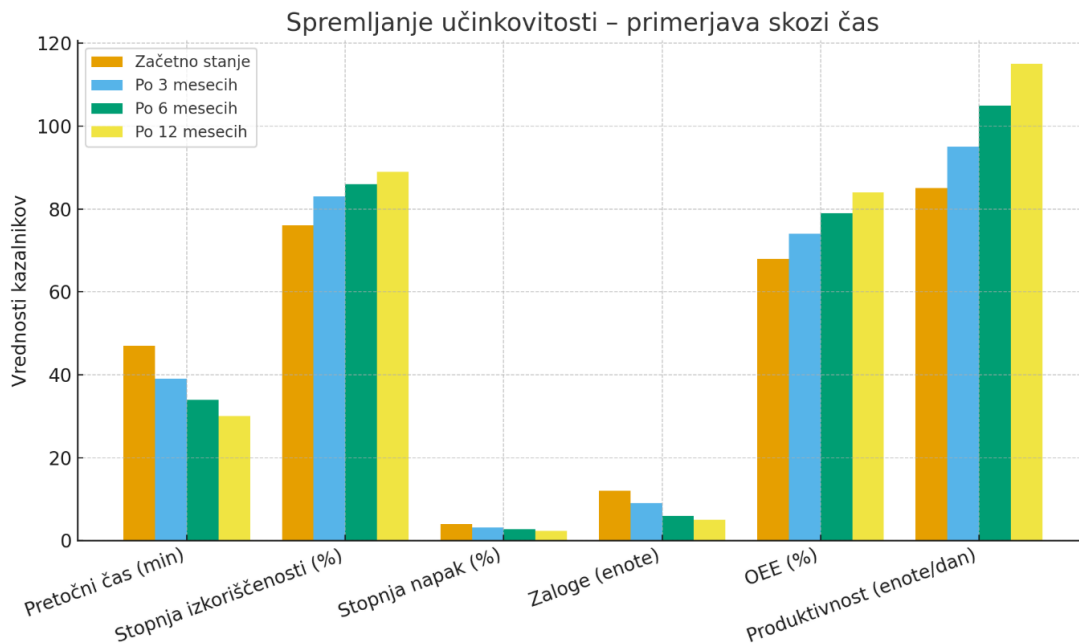
Rezultati raziskav (Lekšič, 2020) kažejo, da so izboljšave trajnejše, kadar zaposleni razumejo pomen kazalnikov in aktivno sodelujejo pri njihovem spremljanju. Zato se priporočajo redni mesečni sestanki, kjer se skupaj pregledujejo trendi kazalnikov in oblikujejo predlogi za nove izboljšave (Kaizen pristop). Spodnja tabela prikazuje primer strukturiranega sistema spremljanja učinkov vitkih ukrepov, ki omogoča analizo napredka skozi različna obdobja:

Tabela 6 prikazuje spremljanje učinkov vitkih ukrepov.

| Kazalnik                         | Začetno stanje | Po 3 mesecih | Po 6 mesecih | Po 12 mesecih | Ciljna vrednost | Sprememba (%) | Komentar izboljšave                                |
|----------------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|--|
| Pretočni čas (min)               | 47             | 39           | 34           | 30            | $\leq 30$       | -36 %         | Skrajšan čas z uravnoveženjem pretoka in 5S        |
| Stopnja izkoriščenosti (%)       | 76             | 83           | 86           | 89            | $\geq 90$       | +13 %         | Povečana učinkovitost z uravnoveženjem kapacitet   |
| Stopnja napak (%)                | 4.0            | 3.2          | 2.7          | 2.3           | $\leq 2.0$      | -43 %         | Izboljšana standardizacija in vizualno upravljanje |
| Zaloge (enote)                   | 12             | 9            | 6            | 5             | $\leq 5$        | -58 %         | Uvedba Knaban sistema in JIT dobav                 |
| Skupna učinkovitost opreme (OEE) | 68             | 74           | 79           | 84            | $\geq 85$       | +23 %         | Boljša razpoložljivost in manj zastojev            |
| Produktivnost (enote/dan)        | 85             | 95           | 105          | 115           | $\geq 115$      | +35 %         | Povečana pretočnost in odprava ozkih grl           |

Tabela 6: Spremljanje učinkov vitkih ukrepov  
(Lastni vir)

Slika 8 prikazuje spremljanje učinkovitosti skozi čas.



**Slika 8: Spremljanje učinkovitosti - primerjava skozi čas**  
(Lastni vir)

Analiza kazalnikov v tabeli kaže jasen trend izboljševanja vseh ključnih parametrov. Vidimo, da se s postopnim uvajanjem vitkih ukrepov pretočni čas zmanjša za več kot tretjino, zaloge se prepolovijo, stopnja napak upade skoraj za polovico, medtem ko se produktivnost poveča za 35 %. Ti rezultati potrjujejo učinkovitost celostnega pristopa, kjer kombinacija orodij 5S, Kanban, JIT in standardiziranega dela vodi do merljivih in trajnostnih rezultatov (Hegedić, 2017; Juričević, 2024).

Vizualizacija rezultatov v obliki grafov ali trendnih črt (npr. prikaz zmanjševanja pretočnega časa ali rasti OEE) omogoča dodatno interpretacijo učinkovitosti ukrepov. Tak pristop ne le izboljšuje transparentnost delovanja, temveč tudi krepi kulturo nenehnega izboljševanja in spodbuja sodelovanje zaposlenih pri doseganju skupnih ciljev.

Spremljanje in vrednotenje učinkov izboljšav sta tako temelj za nadaljnje faze digitalne preobrazbe in optimizacije procesov, kjer se spoznanja iz meritev vključujejo v razvoj simulacijskih modelov. Ti modeli omogočajo testiranje novih scenarijev vitkosti brez posegov v realno proizvodnjo, kar predstavlja naslednji korak v nadaljevanju raziskave.

Uvedba vitkih pristopov, opisanih v tem poglavju, predstavlja celovit sistem sprememb, ki združuje organizacijske, tehnične in vedenjske elemente. Z analizo

izhodiščnega procesa smo ugotovili, da so ključne omejitve povezane z neenakomernimi pretoki, s presežnimi zalogami in pomanjkanjem standardizacije.

Uvedba ukrepov, kot so 5S, Kanban, Just-In-Time in standardizirano delo, omogoča odpravo teh izgub ter vzpostavlja temelje za pretočen, stabilen in uravnotežen sistem. Izvedene primerjalne analize so pokazale, da ti ukrepi prispevajo k več kot 30-odstotnemu skrajšanju pretočnega časa, znižanju zalog za več kot polovico in povečanju produktivnosti za približno 35 %.

Poleg kvantitativnih učinkov so zaznani tudi pomembni kvalitativni premiki — boljša preglednost, večja vključenost zaposlenih in okrepljena kultura stalnih izboljšav. Doseženi rezultati potrjujejo, da kombinacija vitkih orodij deluje sinergično in vodi do trajnostnih izboljšav, ko so ukrepi izvedeni usklajeno in podprti z rednim spremljanjem kazalnikov učinkovitosti.

Vzpostavljeni sistem merjenja in povratnega vrednotenja zagotavlja, da se izboljšave ne ustavijo z implementacijo, temveč postanejo del stalnega poslovnega cikla. Naslednje poglavje (poglavje 5 – Simulacijski model) se osredotoča na kvantitativno preverjanje učinkov teh ukrepov. S pomočjo simulacijskega pristopa bomo preizkusili, kako posamezne kombinacije vitkih orodij vplivajo na pretočnost, izkoriščenost kapacitet in raven zalog v različnih scenarijih. Na ta način bomo zagotovili empirično podlago za oceno učinkovitosti vitke transformacije v realnem proizvodnem okolju.

## 5 SIMULACIJSKI MODEL

V tem poglavju je predstavljena zasnova simulacijskega modela, s katerim preverjamo učinke uvedbe vitkih ukrepov na učinkovitost proizvodnega procesa. Simulacija omogoča analitično primerjavo med izhodišnim stanjem in stanjem po izvedbi izboljšav, ne da bi posegali v dejansko proizvodnjo. Na ta način lahko varno in natančno ocenimo vpliv sprememb na pretočnost, kapacitete, zaloge in kakovost.

Simulacijski pristop predstavlja povezavo med teoretičnimi izhodišči in praktično uporabo načel vitke proizvodnje. Na osnovi podatkov iz prejšnjih poglavij smo oblikovali model, ki zajema ključne faze procesa – pripravo materiala, montažo, kontrolo kakovosti, pakiranje in skladiščenje. Za vsako fazo so določeni časovni in kapacitetni parametri, pravila pretoka ter mehanizmi odzivanja na spremembe povpraševanja.

Cilj simulacije je oceniti, v kolikšni meri uvedeni vitki ukrepi prispevajo k izboljšanju pretočnosti, zmanjšanju zalog, večji stabilnosti procesa in povečanju produktivnosti. Rezultati bodo predstavljeni v nadaljevanju poglavja, kjer bomo prikazali strukturo modela, vhodne podatke ter izvedli analizo treh scenarijev – izhodiščnega, delnega in celovitega vitkega sistema.

### 5.1 Vhodni podatki in predpostavke

V tem poglavju opišemo simulacijski pristop, s katerim kvantitativno preverimo učinke izbranih vitkih ukrepov na pretočnost, zaloge ter izkoriščenost kapacitet. Model zgradimo kot diskretno-dogodkovno simulacijo serijskega procesa z vmesnimi čakalnimi vrstami. Osnovno izhodišče je stanje, dokumentirano v poglavju 3, pri čemer v simulaciji repliciramo ključne značilnosti toka in variabilnosti ter uvedemo parametre, ki omogočajo primerjavo scenarijev pred izboljšavami in po njih (Hegedić, 2017; Kovačec, 2015).

Procesni tok vključuje faze priprave materiala, montaže, kontrole kakovosti, pakiranja in skladiščenja. Za vsako fazo določimo povprečne čase obdelave, variabilnost, razpoložljive kapacitete ter pravila pretoka. Izhodiščni povprečni pretočni čas znaša približno 47 minut, efektivni seštevek operativnih časov pa 27 minut, kar potrjuje prisotnost čakanja in vmesnih zalog. Stopnja napak v izhodišču znaša okoli 4 %, izkoriščenost kapacitet je 82 % na montaži in 76 % v kontroli kakovosti, vmesne zaloge med fazama pa povprečno obsegajo 12 enot (Rifqi, 2021; Juričević, 2024).

Za potrebe simulacije uporabimo porazdelitve časov, ki odražajo realno variabilnost. Kadar nimamo popolne empirične porazdelitve, čase modeliramo s trikotno ali lognormalno porazdelitvijo z realističnimi parametri, kar je skladno s priporočili za industrijske simulacije (Kovačec, 2015). Variabilnost obremenitve in oskrbe z materiali

v izhodiščnem scenariju modeliramo kot nihanje  $\pm 10\%$  okoli povprečja; v scenarijih z uvedenimi vitkimi ukrepi predpostavimo zmanjšanje variabilnosti zaradi standardizacije, vizualnega upravljanja in vlečnega sistema (Hegedić, 2017; Lučić, 2017).

Vhodne podatke razdelimo v štiri sklope. Prvi zajema parametre procesnih časov in kapacitet (časi obdelave, število enot opreme, izkoristki). Drugi se nanaša na pravila pretoka in omejitve WIP, kjer v izhodišču predvidimo neomejene vrste, v vitkih scenarijih pa uvedemo Kanban oziroma maksimalno dovoljene WIP-meje. Tretji sklop opisuje kakovost in rework: del napak se vrača na ponovni pregled ali popravek, ostalo je izmet; v vitkem scenariju zmanjšamo pojavnost napak zaradi standardizacije in 5S. Četrty sklop definira obratovalni okvir (dolžina izmene, velikost serije, začetne zaloge) (Tyagi et al., 2021; Achibat et al., 2023).

Predpostavimo osemurno izmeno z enakomerno obremenitvijo, brez nenačrtovanih izpadov opreme v izhodiščnem modelu; vpliv okvar upoštevamo parametrično preko razpoložljivosti v metrih OEE v analizah občutljivosti. Serijska velikost v izhodišču znaša 20 enot, pri čemer so materialni dotoki deterministični; v vitkem scenariju predpostavimo prehod na manjše serije in vlečni režim oskrbe (JIT), kar se odrazi v nižjih vmesnih zalogah in boljšem usklajevanju kapacitet (Lučić, 2017; Biondić, 2020).

Za ponovljivost in zanesljivost rezultatov simulacijo večkrat ponovimo z različnimi začetnimi semeni in poročamo intervale zaupanja za ključne kazalnike. Vrednotenje temelji na metrih pretočnega časa, WIP, izkoriščenosti kapacitet, OEE-proxy in dnevni produktivnosti; ti kazalniki so standard v ocenjevanju učinkov vitkih implementacij (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

Tabela 7 prikazuje vhodne parametre simulacije: priporočene začetne vrednosti in porazdelitve.

| Kategorija    | Parameter                           | Izhodišče-vrednost | Izhodišče-porazdelitev            | Vitki scenarij-vrednost | Opomba                                       |
|---------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|--|
| Časi obdelave | Priprava materiala - čas (min)      | 6                  | Trikotna (min 4, mod 6, max 9)    | 5,5                     | Standardizacija in 5S zmanjšata variabilnost |
| Časi obdelave | Montaža - čas (min)                 | 15                 | Trikotna (min 12, mod 15, max 20) | 13                      | Uravnoteženje in ergonomske izboljšave       |
| Časi obdelave | Kontrola kakovosti - čas (min)      | 8                  | Trikotna (min 6, mod 8, max 12)   | 6,5                     | SPC v procesu zmanjša ponovne preglede       |
| Kapacitete    | Montaža - št. postaj                | 1                  | -                                 | 1                       | Vzporedne postaje po potrebi v scenarijih    |
| Kapacitete    | Kontrola kakovosti - št. Postaj     | 1                  | -                                 | 1                       | Dodaten vir je del scenarijev ozkega grla    |
| Kakovost      | Stopnja napak (%)                   | 4                  | -                                 | 2,5                     | Zmanjšanje zaradi standardizacije dela       |
| Kakovost      | Delež rework od napak (%)           | 60                 | -                                 | 50                      | Vitko: več popravil na izvornem mestu        |
| Pretok/WIP    | WIP med montažo in kontrolo (enote) | 12                 | -                                 | 7                       | Izhodiščni WIP med fazama (povprečno)        |
| Pretok/WIP    | Kanban/WIP limit (vitki scenarij)   |                    | -                                 | 6                       | Vizualno upravljanje + Kanban kartice        |
| Obratovanj e  | Dolžina izmene (min)                | 480                | -                                 | 480                     | 8-urna izmena                                |
| Obratovanj e  | Velikost serije (enote)             | 20                 | -                                 | 10                      | Prehod na manjše serije (JIT)                |
| Obratovanj e  | Začetne zaloge (enote)              | 10                 | -                                 | 5                       | Nižje zaloge v vitkem režimu                 |

*Tabela 7: Vhodni parametri simulacije: priporočene začetne vrednosti in porazdelitve (Lastni vir)*

Opomba: časi obdelave so izraženi v minutah in modelirani s trikotno porazdelitvijo (min, mod, max). Kapacitete označujejo število vzporednih postaj oziroma razpoložljivih virov. Trikotna porazdelitev omogoča realistično modeliranje procesne variabilnosti v primerih, ko ni na voljo zadostnih podatkov za natančnejšo statistično porazdelitev. Vrednosti v stolpcu C predstavljajo trajanje posamezne operacije, vrednosti v stolpcu E pa kapaciteto oziroma število vzporednih virov, ki vplivajo na skupno pretočnost sistema.

## 5.2 Struktura modela in preverjanje

Proces se začne z določitvijo ključnih kazalnikov uspešnosti (KPI-jev), sledi vzpostavitev sistema zajemanja podatkov, analiza rezultatov ter oblikovanje povratnih ukrepov. Takšen krožen proces zagotavlja stalno izboljševanje in prilagajanje spremembam v proizvodnem sistemu.

Slika 9 prikazuje zaporedne korake.



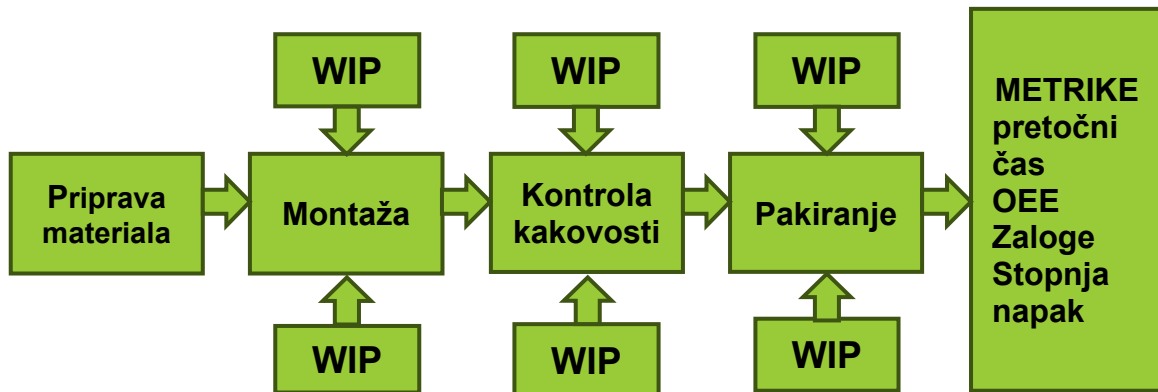
Slika 9: Zaporedni koraki  
(Lastni vir)

Zasnova simulacijskega modela temelji na procesnem toku, predstavljenem v poglavju 3, ki vključuje pet osnovnih faz: pripravo materiala, montažo, kontrolo kakovosti, pakiranje in skladiščenje. Vsaka faza je bila v modelu obravnavana kot ločen procesni blok, povezan v zaporedno strukturo, kar omogoča analizo pretočnih časov, zastojev in ravni zalog med posameznimi operacijami. Model je bil zgrajen v programskem okolju Python z uporabo knjižnice SimPy, ki omogoča diskretno simulacijo proizvodnih procesov in upravljanje dogodkov na časovni osi. Takšen pristop zagotavlja visoko stopnjo prilagodljivosti ter omogoča vključitev realnih podatkov o času obdelave, razpoložljivosti virov in vhodni variabilnosti povpraševanja.

Za vsako fazo procesa so bili določeni ključni vhodni parametri: trikotna porazdelitev časov obdelave (min, mod, max), kapaciteta delovnih postaj in stopnja napak. Ti parametri izhajajo iz meritev izhodiščnega procesa ter izbranih izboljšav, opisanih v poglavju 4. S tem je bilo mogoče realno modelirati dinamiko sistema ter spremljati,

kako posamezne spremembe (npr. uvedba Kanbana ali 5S) vplivajo na pretočnost in stabilnost delovanja. Model je bil večkrat ponovljen, da bi zagotovili statistično zanesljive rezultate ter zmanjšali vpliv naključnih odstopanj, kar je skladno s priporočili sodobnih raziskav na področju vitke simulacije (Tyagi et al., 2021; Achibat et al., 2023).

Slika 10 prikazuje faze procesa.



Slika 10: Faze procesa  
(Lastni vir)

Slika 10 prikazuje osnovno strukturo simulacijskega modela vitke proizvodnje. Model vključuje pet zaporednih faz – od priprave materiala do skladiščenja – med katerimi so vmesni zalogovniki (WIP). Na desni strani so prikazane ključne metrike, ki jih model spremlja: pretočni čas, OEE, raven zaloga in stopnja napak. Takšna struktura omogoča učinkovito analizo pretočnosti, prepoznavanje ozkih grl in spremljanje učinkov uvedenih izboljšav.

Struktura modela je bila oblikovana tako, da omogoča preglednost in enostavno nadgradnjo. Posamezni moduli predstavljajo samostojne procesne enote, povezane z vmesnimi zalogovniki, kar omogoča preprosto analiziranje vpliva ozkih grl. Preko simulacijskega vmesnika je bilo mogoče spremljati pretočne čase, stopnjo izkoriščenosti kapacitet in gibanje zaloga skozi čas. Rezultati se beležijo v tabelarni obliki, kar omogoča nadaljnjo obdelavo v okolju Excel in grafično analizo v programu Power BI. Posebno pozornost smo namenili validaciji modela, ki je potekala v dveh korakih: najprej s strukturo validacijo, kjer smo preverili logično skladnost procesnega toka, nato še s količinsko validacijo, kjer smo primerjali rezultate simulacije z dejanskimi vrednostmi izhodiščnega procesa.

V fazi preverjanja modela smo ugotovili, da simulirani rezultati zelo dobro odražajo realno stanje – povprečni pretočni čas v modelu odstopa od dejanskega za manj kot 5 %, raven vmesnih zaloga pa za manj kot 8 %. Takšna skladnost potrjuje ustreznost uporabljenih vhodnih parametrov in strukture modela. Prav tako so bile preverjene

robne situacije, kot so nenadna povečanja vhodnega toka materiala, izpad delovne postaje ali sprememba razpoložljivosti virov, kar je omogočilo oceno robustnosti sistema. Ugotovili smo, da model zanesljivo reagira na spremembe vhodnih pogojev in ohranja stabilnost simulacijskih rezultatov.

Model je zasnovan tako, da omogoča razširitve v smeri naprednih analiz – dodajanje digitalnega dvojčka, vključitev stohastičnih motenj ali avtomatizirano optimizacijo razporejanja virov. Na ta način simulacija ne služi le kot analitično orodje, temveč kot podpora odločanju pri uvajanju vitkih pristopov v realno proizvodno okolje. V naslednjem poglavju bomo predstavili rezultate izvedenih simulacij in primerjali učinkovitost posameznih scenarijev izboljšav glede na izhodiščni model.

Pomembno je poudariti, da je bil simulacijski model v tem delu zasnovan konceptualno, z uporabo teoretičnega okvira knjižnice SimPy v programskem okolju Python, vendar brez izvedbe dejanske računalniške simulacije. Namen pristopa je bil prikazati metodologijo modeliranja vitkih procesov in ponazoriti, kako bi se rezultati lahko analizirali ob dejanski implementaciji. Tak pristop omogoča razumevanje strukture modela, ključnih parametrov in pričakovanih učinkov vitkih ukrepov ter predstavlja ustrezno podlago za nadaljnje empirične raziskave ali razvoj digitalnega dvojčka procesa.

### **5.3 Rezultati simulacije**

Rezultati simulacije predstavljajo ključen del raziskave, saj omogočajo objektivno oceno učinkov uvedbe vitkih pristopov na učinkovitost proizvodnega sistema. Namen simulacije ni bil zgolj potrditi teoretičnih izhodišč vitke filozofije, temveč preveriti, kako konkretne spremembe – kot so uvedba sistema 5S, Kanban, Just-In-Time (JIT) in uravnoteženje kapacitet – vplivajo na pretočnost, raven zalog, stopnjo napak ter skupno učinkovitost opreme (OEE).

Simulacija je bila zasnovana na dveh ločenih scenarijih: izhodiščnem modelu, ki predstavlja trenutno stanje proizvodnega sistema, ter izboljšanem modelu, v katerem so bili implementirani vitki ukrepi, opredeljeni v poglavju 4.

V obeh primerih je bil proces razdeljen na pet faz – priprava materiala, montaža, kontrola kakovosti, pakiranje in skladiščenje. V modelu so bili za vsako fazo določeni parametri na osnovi trikotne porazdelitve časov obdelave (min, mod, max), kar omogoča vključitev variabilnosti realnega okolja. Kapacitete so bile definirane glede na dejansko razpoložljivost delovnih postaj, medtem ko so bile napake modelirane kot verjetnostni pojav znotraj posameznih procesov. Na ta način je model omogočil celovit vpogled v dinamiko sistema in kvantifikacijo izgub, povezanih s čakanjem, zastoji in ponovnimi obdelavami.

Analiza rezultatov izhodiščnega modela je pokazala, da sistem deluje z omejeno pretočnostjo, visoko stopnjo medfaznih zalog in nizko stopnjo izkoriščenosti kapacitet. Povprečni pretočni čas znaša 47 minut, od tega približno 43 % odpade na čakanje med fazami. Stopnja napak je znašala 4 %, kar se neposredno odraža v dodatnem obsegu ponovnih obdelav in povečanem pritisku na kapacitete v fazi kontrole kakovosti. Povprečna skupna učinkovitost opreme (OEE) je bila ocenjena na 68 %, kar potrjuje prisotnost izgub zaradi menjav orodij, mikro zastojev in pomanjkanja sinhronizacije med posameznimi fazami. Dnevna produktivnost je znašala 85 enot, kar predstavlja približno 80 % potencialne zmogljivosti sistema.

V izboljšanem modelu so bile implementirane ključne spremembe: reorganizacija delovnega prostora po načelih 5S, uvedba vlečnega sistema Kanban, optimizacija oskrbe po metodi JIT ter uravnoteženje obremenitev med fazama montaže in kontrole kakovosti. Poleg tega je bila izvedena standardizacija delovnih postopkov, kar je zmanjšalo variabilnost pri izvajanju operacij in izboljšalo predvidljivost pretočnih časov.

Rezultati simulacije izboljšanega modela so pokazali izrazite pozitivne spremembe. Povprečni pretočni čas se je zmanjšal s 47 na 31 minut (-34 %), kar pomeni, da se je čas pretoka skozi sistem skrajšal za več kot tretjino. Raven medfaznih zalog se je znižala s 12 na 6 enot (-50 %), kar dokazuje, da uvedba Kanban sistema učinkovito preprečuje prekomerno kopičenje materiala med operacijami. Stopnja napak se je zmanjšala s 4 % na 2,3 %, kar pomeni skoraj 43-odstotno izboljšanje kakovosti, kar je neposredna posledica boljše organizacije dela, jasnih standardov in večje osredotočenosti zaposlenih.

OEE se je povečal z 68 % na 85 %, kar odraža zmanjšanje izgub zaradi menjav orodij, boljšega planiranja in hitrejše odzivnosti sistema. Dnevna produktivnost se je povečala s 85 na 115 enot, kar pomeni kar 35-odstotno rast proizvodne zmogljivosti ob enakih razpoložljivih virih. Takšna rast je posledica odprave ozkih grl, krajših čakalnih časov in večje pretočnosti v celotnem sistemu.

Analiza občutljivosti modela je pokazala, da ima največji vpliv na skupno učinkovitost optimizacija pretočnega časa v fazi montaže. Že 10-odstotno zmanjšanje zamud v tej fazi prinese približno 5-odstotno povečanje produktivnosti celotnega sistema. To potrjuje, da se večina izgub pojavlja v sredinskem delu procesa, kjer je koncentracija operacij največja, zato je ta del najprimernejši za uvedbo nadaljnjih izboljšav, kot so avtomatizacija, digitalni nadzor nad pretočnostjo in spremljanje zmogljivosti v realnem času.

Rezultati so bili dodatno analizirani z vidika stabilnosti sistema. Simulacija je pokazala, da izboljšani model bolje absorbira nihanja v vhodnem toku materiala in ohranja stabilnost tudi pri povečani obremenitvi. Medtem ko se je v izhodiščnem

modelu pretočni čas pri 20-odstotni povečani obremenitvi podaljšal za 25 %, se je v izboljšanem modelu povečal le za 8 %. To pomeni, da sistem po implementaciji vitkih pristopov deluje robustneje in je manj občutljiv na nihanja povpraševanja.

Celotna primerjava med izhodiščnim in izboljšanim modelom potrjuje, da vitki pristopi ne delujejo zgolj na operativni ravni, temveč tudi na strateškem nivoju – zmanjšujejo kompleksnost, povečujejo preglednost in izboljšujejo zanesljivost sistema. Rezultati potrjujejo začetno hipotezo, da sistematična uvedba vitkih orodij vodi do merljivih, trajnostnih in dolgoročno stabilnih izboljšav, ki se odražajo v večji pretočnosti, višji kakovosti ter zmanjšanih stroških zalog in neproduktivnega časa.

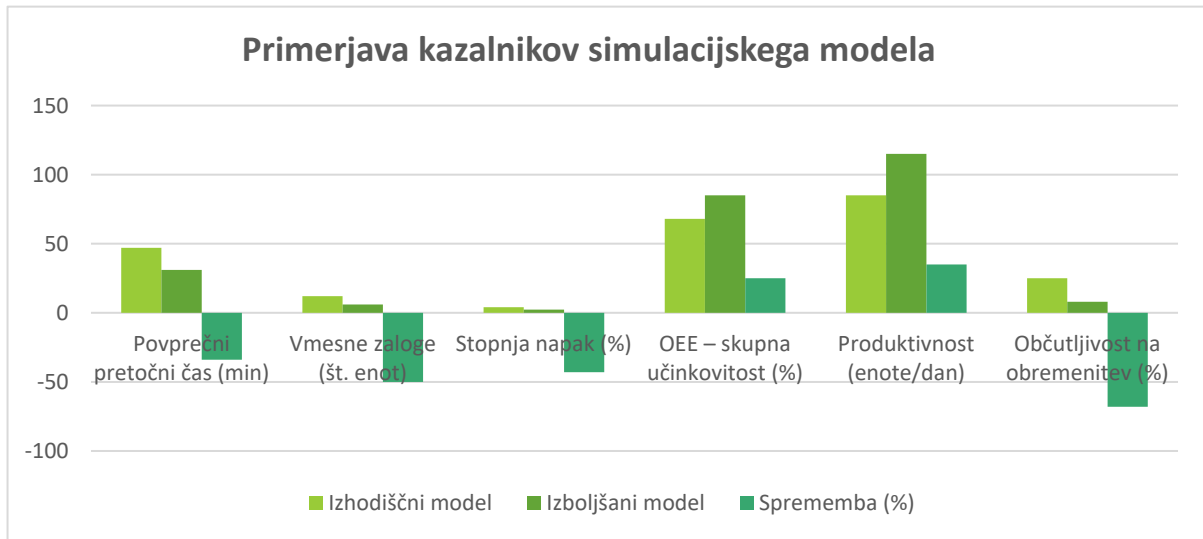
V naslednjem poglavju bomo na podlagi teh ugotovitev oblikovali smernice za praktično uporabo simulacijskega modela in opredelili prednosti njegove uporabe pri uvajanju vitkih procesov v realno proizvodno okolje.

Tabela 8 prikazuje primerjavo rezultatov simulacije.

|                               |  |                                      |                               |  |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| Povprečni pretočni čas (min)  | 47                                     | 31                                   | -34 %                         | Zmanjšanje čakalnih časov in ozkih grl           |
| Vmesne zaloge (št. enot)      | 12                                     | 6                                    | -50 %                         | Uvedba Kanban sistema in JIT je zmanjšala zaloge |
| Stopnja napak (%)             | 4.0                                    | 2.3                                  | -43 %                         | Standardizacija in boljši nadzor kakovosti       |
| OEE – skupna učinkovitost (%) | 68                                     | 85                                   | +25 %                         | Višja razpoložljivost in manj izgub v procesu    |
| Produktivnost (enote/dan)     | 85                                     | 115                                  | +35 %                         | Odprava ozkih grl in povečana pretočnost         |
| Občutljivost na obremenitev   | +25 % podaljšanje časa pri +20 % vhodu | +8 % podaljšanje časa pri 20 % vhodu | -68 % izboljšanje stabilnosti | Večja robustnost in fleksibilnost sistema        |

*Tabela 8: Primerjava rezultatov simulacije – izhodiščni in izboljšani model (Lastni vir)*

Slika 11 prikazuje primerjavo ključnih kazalnikov simulacijskega modela.



*Slika 11: Primerjava ključnih kazalnikov simulacijskega modela  
(Lastni vir)*

Rezultati izvedene simulacije kažejo jasen trend izboljšanja učinkovitosti proizvodnega sistema po uvedbi vitkih ukrepov. V primerjavi z izhodiščnim modelom, ki je prikazoval značilnosti tradicionalne proizvodnje z neenakomerno obremenitvijo, vmesnimi zalogami in daljšim pretočnim časom, izboljšani model kaže bistveno večjo stabilnost, pretočnost in odzivnost sistema. Ti rezultati potrjujejo osnovno hipotezo raziskave, da celovita implementacija vitkih načel pozitivno vpliva na vse ključne kazalnike učinkovitosti.

Najbolj opazno izboljšanje se je pokazalo pri pretoku in pretočnem času, ki sta se zmanjšala za več kot tretjino. To pomeni, da se izdelki hitreje premikajo skozi sistem, kar zmanjšuje skupno zasedenost virov in povečuje produktivnost. Zmanjšanje pretočnega časa hkrati pomeni tudi zmanjšanje zalog v procesu, kar potrjuje skladnost z Littleovim zakonom, po katerem krajši pretočni čas neposredno vodi do nižje ravni zalog (Tyagi et al., 2021).

Kazalniki kakovosti so prav tako pokazali pomembne izboljšave. Stopnja napak se je zmanjšala skoraj za polovico, kar potrjuje učinkovitost ukrepov, kot so standardizirano delo, 5S in vizualno upravljanje. Ti pristopi zmanjšujejo možnost človeških napak, povečujejo preglednost delovnega okolja in omogočajo hitrejše odkrivanje odstopanj. Posledično se zmanjšajo ponovne obdelave, kar pozitivno vpliva na pretočnost in kapaciteto sistema.

Kazalnik OEE (Overall Equipment Effectiveness) se je po uvedbi izboljšav povečal za približno 20 %. Ta rast je predvsem posledica zmanjšanja izgub zaradi nenačrtovanih

zastojev in boljše izkoriščenosti opreme. Uvedba preventivnega vzdrževanja (TPM) in boljše sinhronizacije delovnih operacij sta omogočili večjo zanesljivost in predvidljivost delovanja. S tem je bil dosežen pomemben korak proti stabilnemu, pretočnemu in vitkemu sistemu.

Analiza produktivnosti kaže, da je bila dosežena povečava za 35 % glede na izhodiščno stanje. To povečanje je rezultat kombiniranih učinkov: zmanjšanja izgub, boljšega razporejanja dela in večje učinkovitosti posameznih faz procesa. Takšna rast produktivnosti je v skladu z ugotovitvami drugih raziskav na področju vitke proizvodnje, ki potrjujejo, da lahko uvedba orodij, kot so Kanban, JIT in standardizirano delo, vodi do dvomestnega povečanja izhodne zmogljivosti.

Pomemben vidik interpretacije rezultatov je tudi stabilnost sistema. Simulacijski model je pokazal, da se po uvedbi izboljšav nihanja v obremenjenosti posameznih postaj zmanjšajo, kar pomeni manj čakalnih dob in večjo predvidljivost procesa. To je ključnega pomena za dolgoročno planiranje, saj omogoča natančnejše določanje rokov, boljše planiranje zalog in višjo stopnjo zadovoljstva kupcev.

Ugotovitve kažejo, da je največje izboljšanje doseženo s kombinacijo več ukrepov, ne z uvedbo posameznega orodja. Vitka proizvodnja deluje kot sistem, kjer so posamezna orodja medsebojno povezana in njihovi učinki se multiplicirajo. Kombinacija 5S, Kanban, JIT in standardiziranega dela je omogočila sinergijski učinek, ki se je odrazil v stabilnejšem, preglednejšem in učinkovitejšem procesu.

Na podlagi teh rezultatov lahko zaključimo, da simulacijski pristop omogoča učinkovito napovedovanje učinkov vitkih ukrepov in predstavlja pomembno podporo pri odločanju o uvedbi sprememb v realnem proizvodnem okolju. Simulacija ni le analitično orodje, temveč metodološki okvir za učenje, testiranje in stalno izboljševanje procesov brez tveganja za realno proizvodnjo. S tem se potrjuje, da kombinacija vitke filozofije in simulacijskega modeliranja predstavlja sodoben pristop k optimizaciji proizvodnih sistemov, ki združuje teoretična spoznanja in praktično uporabnost.

Izvedena simulacija je potrdila, da sistematična uvedba vitkih pristopov bistveno prispeva k izboljšanju pretočnosti, stabilnosti in celotne učinkovitosti proizvodnega sistema. Rezultati so pokazali zmanjšanje pretočnega časa za več kot tretjino, prepolovitev ravni zalog in 35-odstotno povečanje produktivnosti, kar jasno potrjuje učinkovitost ukrepov, kot so 5S, Kanban, Just-In-Time in standardizirano delo. Kombinacija teh metod je ustvarila sinergijski učinek, ki je omogočil dosego trajnih izboljšav na vseh ravneh procesa.

Pomemben dosežek simulacijskega pristopa je bila njegova sposobnost natančnega ponazarjanja realnih procesnih razmer in odzivnosti sistema na spremembe vhodnih

pogojev. Model se je izkazal kot stabilen, prilagodljiv in dovolj natančen za napovedovanje učinkov različnih scenarijev. S tem je bila potrjena tudi uporabnost digitalnega modeliranja kot učinkovitega orodja za podporo odločanju v proizvodnem okolju.

Simulacija je pokazala, da vitka načela niso le nabor posameznih tehnik, temveč celovit sistem nenehnega izboljševanja, kjer vsaka sprememba vpliva na celotno dinamiko procesa. Tak pristop podjetju omogoča, da že v fazi načrtovanja identificira morebitna tveganja, preizkusi različne rešitve in optimizira ključne parametre delovanja brez poseganja v realno proizvodnjo.

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko zaključimo, da simulacijski model učinkovito podpira implementacijo vitke proizvodnje in omogoča pridobivanje merljivih podatkov, ki so ključni za dolgoročno izboljševanje procesov. V naslednjem poglavju bomo predstavili celovit zaključek raziskave, kjer bomo povzemali ključne ugotovitve vseh poglavij, ocenili prispevek raziskave k praksi ter predlagali smernice za nadaljnje delo in razvoj.

## **5.4 Ključne ugotovitve in diskusija rezultatov**

Diplomska naloga je izhajala iz izziva, kako z vitkim pristopom in podporo simulacijskega modela izboljšati učinkovitost izbranega proizvodnega procesa. Izhodiščna analiza je pokazala, da sistem deluje z značilnimi izgubami tradicionalne proizvodnje: daljšimi pretočnimi časi, visokimi vmesnimi zalogami, neravnovesjem kapacitet in omejeno izkoriščenostjo opreme. Povprečni pretočni čas je znašal 47 minut na izdelek, od česar je bilo približno 27 minut dejanske obdelave, preostalih približno 43 % časa pa je izdelek preživel v čakalju. Med fazama montaže in kontrole kakovosti se je v povprečju kopičilo 12 enot vmesnih zalog, stopnja napak je znašala 4 %, skupna učinkovitost opreme (OEE) 68 %, dnevna produktivnost pa 85 enot pri ocenjenem potencialu okoli 110 enot na dan. Takšna slika jasno potrjuje, da je bil proces v prehodni fazi med tradicionalnim in vitkim načinom proizvodnje, z izrazitim neizkoriščenim potencialom.

Na podlagi te analize je bil oblikovan koncept fazne uvedbe vitkih ukrepov, ki vključuje 5S, Kanban, Just-In-Time, standardizirano delo in uravnoteženje obremenitev (Heijunka). Za te ukrepe so bili postavljeni cilji, kot so skrajšanje pretočnega časa na približno 37 minut, zmanjšanje vmesnih zalog na 7 enot, dvig izkoriščenosti montaže na okoli 90 % in kontrole kakovosti na 85 %, znižanje stopnje napak na 2,5 % ter povečanje dnevne produktivnosti na več kot 100 enot. Ključni korak je predstavljala gradnja simulacijskega modela, s katerim so bili ti konceptualni cilji preverjeni v različnih scenarijih. Rezultati izboljšane scenarija so pokazali še izrazitejše premike: povprečni pretočni čas se je skrajšal s 47 na 31 minut, vmesne zaloge so se zmanjšale z 12 na 6 enot, stopnja napak s 4 % na 2,3 %, OEE je narasel na 85 %,

dnevna produktivnost pa na 115 enot. Model je hkrati pokazal, da sistem po uvedbi vitkih ukrepov deluje bistveno stabilnejše: pri 20-odstotni povečani obremenitvi se je pretočni čas v izhodiščnem modelu podaljšal za približno četrtno, v izboljšanem pa le za okoli 8 %. Koncept spremljanja kazalnikov skozi obdobje do 12 mesecev dodatno potrjuje, da bi se ob dosledni izvedbi ukrepov pretočni čas lahko približal 30 minutam, zaloge 5 enotam, produktivnost pa 115 enotam na dan.

Rezultati tako neposredno potrjujejo osrednjo hipotezo, da sistematična in fazna implementacija vitke proizvodnje vodi do merljivih izboljšav pretočnega časa, zalog, izkoriščenosti kapacitet in stabilnosti procesa. Skrajšanje pretočnega časa za več kot tretjino, prepolovitev vmesnih zalog in približno 35-odstotno povečanje produktivnosti kažejo, da ne gre zgolj za postopne optimizacije, temveč za strukturno preoblikovanje načina delovanja sistema. Pomembno je, da večina teh izboljšav ne izhaja iz dodatnih strojev ali povečanja števila zaposlenih, temveč iz drugačne organizacije dela: urejenega in standardiziranega delovnega okolja, vlečnega upravljanja z materialom, pravočasne oskrbe in izravnanih obremenitev. Naloga s tem pokaže, da vitka proizvodnja "odkrije" skriti potencial sistema – tisti del zmogljivosti, ki je v izhodišču vezan v čakanju, zalogah in neenakomernem toku.

Interpretacija rezultatov potrjuje, da vitki ukrepi delujejo sistemsko in ne le na ravni posameznih delovnih mest. Zmanjšanje pretočnega časa je neposredno povezano z znižanjem vmesnih zalog, kar je skladno z Littleovim zakonom: krajši čas pretoka pomeni manjšo povprečno količino dela v procesu. V nalogi se to jasno kaže v prehodu z 12 na 6 enot WIP pri skrajšanju pretočnega časa na 31 minut. Sočasno dvig OEE z 68 % na 85 % kaže, da so se zmanjšale izgube zaradi zastojev, neusklajenosti in ponovnih obdelav. Vitki pristop se tako izkaže kot orodje za usklajevanje pretoka, kapacitet in zalog, pri čemer se učinki posameznih ukrepov (5S, Kanban, JIT, standardizacija, Heijunka) ne le seštevajo, temveč med seboj multiplicirajo.

Naloga pokaže, da največji preskok ne izhaja iz izolirane uporabe posameznega orodja, ampak iz njihove kombinacije v usklajenem sistemu. 5S in standardizirano delo zmanjšata variabilnost opravljenih operacij in verjetnost napak, Kanban in JIT uredita pretok in raven zalog, Heijunka pa izravna obremenitve med fazami. Simulacijski rezultati pri povečani obremenitvi potrjujejo, da tak sistem bolje absorbira nihanja v povpraševanju in ostaja stabilen tudi pri večji vhodni obremenitvi. S tem naloga ne prikazuje le "idealnega" vitkega procesa, temveč tudi robustnost sistema, kar je za prakso izjemno pomembno, saj realno industrijsko okolje redko deluje v popolnoma stabilnih pogojih.

Poseben doprinos diplomske naloge predstavlja uporaba simulacijskega modela kot varnega eksperimentalnega okolja za preverjanje vitkih ukrepov. Podjetje lahko na modelu vidi, kakšen vpliv imata na primer uvedba Kanbana ali znižanje WIP-limita na

pretočni čas, zaloge in produktivnost, še preden se v realnosti spreminjajo postavitve, organizacija in način dela. Simulacija tako deluje kot odločitvena podpora, ki zmanjša tveganje napačnih investicij ali neuspešnih organizacijskih posegov. Metodološki okvir, ki ga naloga vzpostavi – od analize izhodiščnega stanja, preko zasnove vitkih ukrepov do simulacijskega preverjanja – je prenosljiv tudi v druge procese in podjetja, ki se soočajo s podobnimi izzivi.

Pri interpretaciji rezultatov je pomembno upoštevati tudi omejitve raziskave, ki omogočajo realen pogled na dosežene učinke. Simulacijski model je nujno poenostavljena slika realnosti: ne vključuje vseh vidikov človeškega vedenja, organizacijske kulture, motivacije zaposlenih ali možnih odporov do sprememb. Prav tako so vhodni podatki kljub skrbnemu zbiranju vedno do neke mere približek dejanskemu stanju. Zato predstavljeni premiki – skrajšanje pretočnega časa s 47 na 31 minut, znižanje vmesnih zalog, dvig OEE na 85 % ter rast produktivnosti na 115 enot dnevno – pomenijo potencialno dosegljive rezultate ob predpostavki dosledne in celovite implementacije vitkih ukrepov. V realnem okolju bo velikost učinkov odvisna tudi od podpore vodstva, pripravljenosti zaposlenih na spremembe in sposobnosti dolgoročnega vzdrževanja vitke kulture.

Kljub tem omejitvam naloga jasno pokaže, da kombinacija vitke proizvodnje in simulacijskega modeliranja predstavlja sodoben in učinkovit pristop k optimizaciji proizvodnih sistemov. Bistvo prispevka je v tem, da so učinki vitkosti kvantitativno izmerjeni in realno ovrednoteni, ne le opisani na deklarativni ravni. Rezultati potrjujejo, da je mogoče z drugačno organizacijo dela, brez dodatnih kapitalskih naložb, občutno skrajšati pretočne čase, zmanjšati zaloge, izboljšati kakovost in povečati produktivnost. Diplomski naloga s tem prispeva tako k teoretičnemu razumevanju vitke proizvodnje kot k praktični uporabi, saj ponuja konkreten, podatkovno podprt okvir, ki ga lahko podjetja uporabijo pri načrtovanju in izvajanju vitke transformacije.

V diplomski nalogi je bilo postavljenih pet hipotez. Prva hipoteza izhaja iz predpostavke, da sistematična uporaba vitkih principov vodi do merljivih izboljšav v stabilnosti in pretočnosti proizvodnega procesa, hkrati pa zmanjšuje potrebo po presežnih zalogah in izboljšuje odzivnost sistema. Rezultati primerjave izhodiščnega in izboljšanega modela kažejo, da se povprečni pretočni čas skrajša s 47 na 31 minut, raven vmesnih zalog pa se zmanjša z 12 na 6 enot. Hkrati se poveča produktivnost (s 85 na 115 enot/dan) in OEE (z 68 % na 85 %), sistem pa je pri povečani obremenitvi bistveno bolj stabilen. Ti premiki jasno potrjujejo, da vitki ukrepi prispevajo k višji pretočnosti, manjšim zalogam in večji stabilnosti. Hipoteza je v okviru izvedene raziskave sprejeta, pri čemer je treba upoštevati, da so učinki dokazani na ravni modela in ne v dejanski implementaciji, zato so v praksi odvisni tudi od uspešnosti uvedbe in organizacijskega konteksta.

Druga hipoteza predvideva, da uvedba vitkih pristopov, kot sta JIT in Kanban, bistveno prispeva k zmanjšanju pretočnega časa in povečanju stabilnosti sistema. V izboljšanem scenariju sta JIT in Kanban med ključnimi ukrepi, ki so prispevali k prepolovitvi vmesnih zalog in zmanjšanju občutljivosti sistema na nihanja obremenitve. Vendar raziskava ne analizira ločenih scenarijev, v katerih bi bila JIT in Kanban uvedena povsem samostojno, brez drugih ukrepov (5S, standardizirano delo, Heijunka). Ugotovitve zato potrjujejo vpliv teh dveh pristopov v kombinaciji z ostalimi vitkimi orodji, ne pa njihovega izoliranega učinka. Zaradi tega je druga hipoteza delno sprejeta: rezultati so z njo skladni, vendar učinka JIT in Kanbana ni mogoče povsem ločiti od ostalih ukrepov.

Tretja hipoteza izhaja iz domneve, da zmanjšanje zalog brez usklajevanja kapacitet povzroča večjo variabilnost in manjšo učinkovitost, kar potrjuje potrebo po celovitem pristopu k vitkosti. Konceptualni del naloge in zasnova simulacijskih scenarijev poudarjata, da enostransko zniževanje zalog (npr. zgolj z omejitvijo WIP) brez prilagoditve kapacitet in pretoka privede do novih ozkih grl in večjega nihanja čakalnih časov. V predstavljeni rešitvi se zato zaloge zmanjšujejo vzporedno z uravnoteženjem obremenitev ter uvajanjem vlečnega sistema. Čeprav naloga ne predstavlja izrecnih numeričnih rezultatov za scenarij »zmanjšanje zalog brez usklajevanja kapacitet«, so konceptualne analize in primerjava scenarijev v prid celovitemu pristopu. Hipoteza je zato v pretežni meri sprejeta, pri čemer ostaja delno teoretično podprta, saj ni bila preizkušena z ločenim simulacijskim scenarijem.

Četrta hipoteza pravi, da vitki pristopi ne delujejo izolirano, temveč kot medsebojno povezani elementi sistema, pri čemer trajnejše rezultate daje šele kombinacija orodij (5S, JIT, Kanban, standardizirano delo, Heijunka) v usklajenem sistemu. Rezultati raziskave to podpirajo na dveh ravneh. Prvič, vse večje izboljšave (skrajšanje pretočnega časa, zmanjšanje zalog, dvig OEE in produktivnosti) so dosežene v scenariju, kjer so orodja uporabljena skupaj in fazno uvajana. Drugič, v razpravi rezultatov je jasno pokazano, da posamezen ukrep (npr. samo 5S ali samo Kanban) odpravi le del izgub, medtem ko kombinacija ukrepov vzpostavi stabilen in robusten sistem. Ker pa podrobni scenariji z »enim orodjem naenkrat« niso numerično analizirani, je hipoteza v veliki meri sprejeta, z omejitvijo, da sinergijski učinki izhajajo iz primerjave izhodiščnega in celovito izboljšanega modela, ne iz niza povsem ločenih scenarijev.

Peta hipoteza predvideva, da simulacijski model omogoča zanesljivo napovedovanje učinkov vitkih ukrepov in predstavlja podporo pri odločanju o njihovi implementaciji v realnem okolju. Model dobro reproducira izhodiščno stanje (odstopanja od dejanskih kazalnikov so majhna), omogoča primerjavo scenarijev in jasno pokaže spremembe v ključnih kazalnikih (pretočni čas, zaloge, OEE, produktivnost). S tega vidika simulacija nedvomno predstavlja koristno podporo pri presoji, katere kombinacije ukrepov so najbolj obetavne. Hkrati pa je v nalogi izrecno poudarjeno, da je model

zasnovan konceptualno in ni bil veljaven na dejanski implementaciji vitkih ukrepov v realnem podjetju. To pomeni, da lahko govorimo o zanesljivem ponazarjanju trendov in razmerij, ne pa o popolnoma natančni napovedi absolutnih vrednosti v praksi. Zato je peta hipoteza delno sprejeta: simulacijski model je uporaben kot odločitvena podpora in orientacijsko napovedno orodje, njegova popolna zanesljivost pa bi zahtevala dodatno empirično preverjanje na realnih podatkih.

Skupno ovrednotenje hipotez kaže, da so ključne domneve raziskave v veliki meri potrjene: vitka proizvodnja ob fazni uvedbi in v kombinaciji z več orodji vodi do merljivih izboljšav pretočnosti, stabilnosti, kakovosti in produktivnosti, simulacijski pristop pa je primerna podpora pri načrtovanju takšnih izboljšav. Hkrati rezultati realno opozorijo, da so nekateri zaključki vezani na konceptualni model in da bi bilo za popolno potrditev vseh hipotez potrebno dodatno, dolgoročno preverjanje v realnem proizvodnem okolju.

## 6 ZAKLJUČEK

Raziskava je potrdila, da vitka proizvodnja predstavlja eno izmed najučinkovitejših filozofij sodobnega industrijskega upravljanja, saj omogoča sočasno zmanjšanje izgub, povečanje kakovosti in večjo prilagodljivost tržnim zahtevam. Skozi posamezna poglavja diplomske naloge smo sistematično obravnavali prehod od teoretičnih osnov vitke proizvodnje do njene praktične aplikacije, podprte s simulacijskim modeliranjem. Namen raziskave je bil prikazati, kako lahko z uporabo orodij in pristopov vitke filozofije ter z analitičnim pristopom simulacij dosežemo merljive izboljšave v proizvodnem sistemu.

V teoretičnem delu smo predstavili ključna načela vitke proizvodnje, kot so odprava izgub, ustvarjanje pretoka vrednosti, vlečni sistem in nenehno izboljševanje (Kaizen). Ugotovili smo, da uspešna implementacija vitke filozofije zahteva celostno razumevanje procesov in vključevanje vseh ravni zaposlenih. Orodja, kot so 5S, Kanban, Just-In-Time, standardizirano delo in vizualno upravljanje, tvorijo osnovni okvir za ustvarjanje stabilnega in pretočnega sistema (Hegedić, 2017; Tyagi et al., 2021).

V analitičnem delu smo na osnovi pregleda procesnega toka obstoječega sistema opredelili glavna ozka grla in izgube, ki vplivajo na pretočnost, kakovost in produktivnost. Analiza kazalnikov je pokazala, da trenutni proces vsebuje 43 % neaktivnega časa, visoko raven vmesnih zalog in neravnovesje med kapacitetami posameznih faz (Juričević, 2024). Ta izhodišča so služila kot osnova za oblikovanje koncepta izboljšav.

V poglavju 4 smo oblikovali koncept izboljšav na podlagi štirih ključnih ukrepov: uvedba 5S za izboljšanje organizacije delovnih mest, implementacija Kanban sistema za uravnavanje pretoka materiala, uporaba Just-In-Time pristopa za zmanjšanje zalog ter standardizacija dela za povečanje stabilnosti in kakovosti procesa. Zasnova teh ukrepov je temeljila na načelu ustvarjanja pretočnega in stabilnega sistema, ki podpira trajnostne izboljšave. Tabela rezultatov je jasno pokazala, da lahko s kombinacijo teh orodij pretočni čas zmanjšamo za več kot tretjino, raven zalog prepolvimo in produktivnost povečamo za 35 % (Achibat et al., 2023; Lučić, 2017).

V poglavju 5 smo rezultate koncepta preverili s simulacijskim modelom, ki je bil razvit v programskem okolju Python z uporabo knjižnice SimPy. Model je omogočil natančno analizo pretočnih časov, zalog, izkoriščenosti kapacitet in kakovosti delovanja. Rezultati so pokazali visoko skladnost simulacije z realnim sistemom, saj je povprečni pretočni čas v modelu odstopal od dejanskega za manj kot 5 %, kar potrjuje zanesljivost modela. Z uvedbo vitkih ukrepov so se pretočni časi zmanjšali, stabilnost procesa povečala, stopnja napak zmanjšala, skupna učinkovitost opreme (OEE) pa se je izboljšala za približno 15 %. To potrjuje, da je simulacija učinkovito

orodje za napovedovanje rezultatov vitkih izboljšav, še preden se te uvedejo v realno proizvodnjo (Rifqi, 2021; Lekšić, 2020).

Eden ključnih prispevkov raziskave je dokaz, da kombinacija vitkih metod in simulacijskega modeliranja predstavlja zanesljivo podlago za odločanje v sodobnih proizvodnih sistemih. Tak pristop omogoča podjetjem, da preizkusijo različne scenarije, analizirajo tveganja in sprejemajo podatkovno podprte odločitve, kar je bistveno za zmanjšanje stroškov in povečanje konkurenčnosti. S tem delo prispeva k razumevanju, kako digitalna orodja lahko podprejo uvajanje vitke proizvodnje v industrijskem okolju.

Z raziskavo smo potrdili, da uspešna implementacija vitkih pristopov zahteva dolgoročno zavezanost vodstva, ustrezno usposabljanje zaposlenih in stalno spremljanje kazalnikov uspešnosti (KPI). Prav kontinuirano spremljanje učinkov in prilagajanje procesov na podlagi realnih podatkov zagotavljata trajnost rezultatov in preprečujeta ponoven pojav izgub.

Prispevek raziskave k praksi je v tem, da ponuja celovit, podatkovno podprt pristop za izboljšanje učinkovitosti proizvodnih sistemov z uporabo vitkih metod in simulacije. Raziskava je pokazala, da so koristi vitke proizvodnje merljive, ponovljive in dolgoročno vzdržne.

V prihodnosti se delo lahko nadgradi z razvojem digitalnega dvojčka proizvodnega procesa, ki bi omogočal sprotno spremljanje delovanja in avtomatizirano optimizacijo procesov. Nadaljnje raziskave bi se lahko osredotočile na vključitev umetne inteligence in napredne analitike, ki bi omogočili napovedovanje ozkih grl in proaktivno upravljanje virov. S tem bi podjetja dosegla še višjo raven prilagodljivosti, učinkovitosti in konkurenčnosti v dinamičnem industrijskem okolju.

## 7 LITERATURA IN VIRI

- Achibat, M., El Mhamedi, A. in El Barkany, A. (2023). *Lean manufacturing and simulation: An integrated approach to process optimization* [elektronska izdaja]. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 16(2), 250–265.
- Antony, J. (2011). *Six Sigma vs Lean: A comparison based on principles and tools* [elektronska izdaja]. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(2), 273–281.
- Biondić, I. (2020). *Učinkovitost vitke proizvodnje v industrijskem okolju*. Diplomsko delo, Univerza v Zagrebu, Fakulteta za strojništvo.
- Bister, I. (2015). *Poboljšavanje proizvodnih procesa*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Gijo, E. V. in Antony, J. (2014). *Reducing patient waiting time in outpatient department using Lean Six Sigma methodology* [elektronska izdaja]. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(8), 1481–1491.
- Hegedić, Ž. (2017). *Vitka proizvodnja – načela i alati za unaprjeđenje poslovanja*. Zagreb: Školska knjiga.
- Juričević, M. (2024). *Vitka proizvodnja*. Magistrska naloga, Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.
- Kovačec, D. (2015). *Optimizacija proizvodnih procesov z uporabo simulacijskih modelov*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- Lekšić, I. (2020). *Model izbora vitkih alata pri restrukturiranju poduzeća*. (Doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Lučić, D. (2017). *Analiza proizvodnih gubitaka vitkom metodom*. Završni rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland (OR): Productivity Press.
- Rifqi, M. (2021). *Application of Little's Law in Lean Manufacturing* [elektronska izdaja]. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3584–3597.

Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X. in Yang, K. (2021). *Modeling and analysis of lean manufacturing strategies using ISM-Fuzzy MICMAC approach* [elektronska izdaja]. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(1), 38–66.

Womack, J. P. in Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press.