



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

**OPTIMIZACIJA SKLADIŠČA IN
PROIZVODNEGA RAZREZA Z UPORABO
METODE OBRATA DRUŽINE
IZDELKOV (ODI) IN NADOMESTITVENEGA
ČASA (NČ)**

Mentorica: doc. dr. Lidija Rihar, univ. dipl. inž.
Lektorica: Jasmina Spahalić, mag. slovenistike

Kandidatka: Sara Mujanović

Ljubljana, avgust 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Lidiji Rihar za vso pomoč in usmeritev pri pisanju diplomskega dela.

Posebno zahvalo namenjam svoji družini za razumevanje, potrpežljivost in čustveno podporo.

IZJAVA

Študentka Sara Mujanović izjavljam, da sem avtorica tega diplomskega dela, ki sem ga napisala pod mentorstvom doc. dr. Lidija Rihar, univ. dipl. inž.

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

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomski nalogi je obravnavana optimizacija skladiščnega in proizvodnega sistema v podjetju, ki se ukvarja z razrezom kovinskih materialov. Glavni cilj raziskave je bil identificirati ključne izzive v organizaciji skladišča in proizvodnih linij, analizirati obstoječe stanje ter na podlagi sodobnih metodologij predlagati ukrepe za izboljšanje učinkovitosti, zmanjšanje stroškov in povečanje konkurenčnosti podjetja.

Analiza trenutnega stanja je pokazala, da so največji izzivi povezani z neoptimalno prostorsko razporeditvijo skladišča, pogostimi prekinitvami proizvodnega procesa zaradi dolgotrajnih nadomestitvenih časov (NČ), neustrezno razporeditvijo izdelkov ter pomanjkanjem digitalizacije in avtomatizacije procesov. V podjetju so bili zaznani tudi visoki stroški skladiščenja, velika vezava kapitala v zalogah in povečano tveganje napak zaradi ročnega sledenja materialom in orodjem.

V okviru raziskave so bile uporabljene sodobne analitične metode, kot so analiza obrata družin izdelkov (ODI), nadomestitvenega časa (NČ), kazalnika skupne učinkovitosti opreme (OEE), ter ABC in XYZ analiza za razvrščanje zalog po pomembnosti in stabilnosti porabe. Rezultati so pokazali, da so vrednosti ODI na vseh analiziranih linijah pod optimalno vrednostjo, kar kaže na pogoste prekinitve proizvodnje in nezadostno izkoriščenost kapacitet. Prav tako je bila poudarjena potreba po digitalni transformaciji skladiščnega in proizvodnega sistema.

Na podlagi analize so bili predlagani naslednji ukrepi: uvedba sodobnega WMS sistema (Warehouse Management System) za digitalno sledenje zalogam, implementacija mobilnih aplikacij za upravljanje materialov in orodij, standardizacija manipulacijskih postopkov ter uvedba vitkih principov, kot sta 5S in SMED (hitra menjava orodij). Poleg tega je bila predlagana optimizacija razporeditve izdelkov glede na frekvenco in predvidljivost porabe, uvajanje JIT (Just-In-Time) dobave ter digitalizacija priprave CNC programov in vzdrževanja orodij.

Pričakovani učinki predlaganih ukrepov vključujejo zmanjšanje povprečnega časa skladiščenja in čakanja na material za 20–30 %, zmanjšanje nepotrebnih premikov za 30 %, zmanjšanje stroškov skladiščenja na enoto prostora za 20 % ter krajši nadomestitveni čas za menjavo orodij. S tem se bistveno poveča pretočnost materialnih tokov, izboljša izraba skladiščnih in proizvodnih kapacitet ter zmanjša možnost napak in zamud v procesu.

Zaključek naloge potrjuje, da je celovita optimizacija skladiščnega in proizvodnega sistema s pomočjo digitalnih orodij, analitičnih metod in vitkih pristopov ključnega pomena za dolgoročno rast, konkurenčnost in prilagodljivost podjetja na hitro spreminjajoče se razmere v industriji. Podjetje naj nadaljuje z uvajanjem digitalizacije, krepitevijo kompetenc zaposlenih in stalnim izboljševanjem procesov, saj bo le tako lahko dolgoročno uspešno in prilagodljivo v sodobnem industrijskem okolju.

KLJUČNE BESEDE

- optimizacija skladišča,
- vitka proizvodnja,
- digitalizacija,
- nadomestitveni čas (NČ),
- upravljanje zalog.

ABSTRACT

This thesis focuses on the optimization of warehouse and production systems in a company specialized in the cutting of metal materials. The primary objective of the research was to identify key challenges in warehouse organization and production line management, analyze the current situation, and propose improvement measures based on contemporary methodologies to enhance efficiency, reduce costs, and increase the company's competitiveness.

The analysis revealed that the main challenges include suboptimal spatial arrangement of the warehouse, frequent production interruptions due to lengthy changeover times (NČ), inefficient product allocation, and a lack of digitalization and process automation. High inventory holding costs, significant capital tied up in stock, and increased risk of errors due to manual material and tool tracking were also identified.

The research employed advanced analytical methods, such as product family turnover analysis (ODI), changeover time (NČ), overall equipment effectiveness (OEE), and ABC and XYZ inventory analyses. The results showed that ODI values across all analyzed lines were below optimal, indicating frequent production stoppages and underutilization of capacity. The need for digital transformation of warehouse and production systems was strongly highlighted.

Based on the analysis, several key measures were proposed: implementation of a modern Warehouse Management System (WMS) for digital inventory tracking, mobile applications for managing materials and tools, standardization of handling procedures, and the introduction of lean principles such as 5S and SMED (Single-Minute Exchange of Dies). Additional recommendations included optimizing product allocation according to frequency and predictability of consumption, introducing Just-In-Time (JIT) delivery, and digitalizing CNC program preparation and tool maintenance. The expected benefits of these measures include reducing the average storage and waiting time for materials by 20–30%, lowering unnecessary handling by 30%, decreasing storage costs per unit by 20%, and shortening tool changeover times. This will significantly improve material flow, enhance utilization of warehouse and production capacity, and reduce the likelihood of errors and delays.

The thesis concludes that comprehensive optimization of warehouse and production systems through digital tools, analytical methods, and lean approaches is essential for long-term growth, competitiveness, and adaptability in a rapidly changing industrial environment. The company should continue investing in digitalization, employee competence development, and continuous process improvement to remain successful and flexible in the future.

KEYWORDS

- Warehouse optimization
- Lean production
- Digitalization
- Changeover time (NČ)
- Inventory management

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Namen in cilji naloge	2
1.2.1	Cilj naloge.....	2
1.3	Metodološki pristop.....	6
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	8
2.1	Osnove skladiščne logistike	8
2.2	Ključni izzivi v skladiščni logistiki.....	9
2.3	Vitka proizvodnja	11
2.3.1	Osnovna načela vitke proizvodnje	11
2.3.2	Orodja in metode vitke proizvodnje pri optimizaciji procesov	12
2.3.3	Kazalniki učinkovitosti (ODI, NČ)	13
2.4	Kazalniki učinkovitosti v skladiščni in proizvodni logistiki	14
2.4.1	Obrat družin izdelkov (ODI)	14
2.4.2	Nadomestitveni čas (NČ).....	15
2.4.3	OEE (Overall Equipment Effectiveness) – skupna učinkovitost opreme.....	16
2.5	Vpliv skladiščenja na stroške in pretočnost.....	17
3	PREDSTAVITEV PODJETJA IN OBSTOJEČEGA STANJA	19
3.1	Opis skladišča	19
3.2	Opis proizvodnih linij	20
3.2.1	Opis obstoječega proizvodnega procesa	22
3.2.2	SWOT analiza skladiščnega in proizvodnega sistema podjetja.....	23
3.2.3	Predlogi ukrepov in priporočila za optimizacijo	24
3.2.4	Proizvodne linije	26
3.3	Trenutna dinamika skladiščenja in proizvodnje	28
4	METODOLOGIJA ANALIZE	31
4.1	Uporabljeni kazalniki	32
4.2	Uporaba ABC in XYZ razvrstitve.....	32
4.3	Določitev skladiščnih potreb na podlagi porabe in intervala skladiščenja.....	34
5	IZRAČUNI NA POSAMEŽNE PROIZVODNE LINIJE.....	36
5.1	Podrobnejša interpretacija rezultatov in razdelava ukrepov	38
5.1.1	Primerjalna analiza po linijah	38
5.1.2	Priporočila za izboljšanje kazalnikov (ODI, OEE, NČ).....	38
5.2	Praktična implementacija priporočil in spremljanje učinkov.....	41
6	OPTIMIZACIJA SKLADIŠČNEGA SISTEMA	44
6.1.1	ABC analiza – razvrstitev po količinski pomembnosti	46
6.1.2	Prostorska optimizacija skladišča na podlagi ABC analize.....	49
6.1.3	XYZ analiza – razvrstitev po predvidljivosti porabe	50
6.1.4	ABC/XYZ matrika – celostna strategija skladiščenja in naročanja.....	53

6.1.5	Prostorska implementacija razvrstitve v skladišču	55
6.2	Optimizacija skladiščne površine in kapacitete (m^2 in m^3)	57
6.3	Uvedba sistema proženja naročil (frekvenca, serije)	59
6.4	Predlogi za zmanjšanje časa skladiščenja (JIT, izboljšave orodij)	61
6.5	Ključne ugotovitve	63
7	DISKUSIJA REZULTATOV	64
7.1	Ocena prihrankov in učinkovitosti	66
7.2	Omejitve modela in predlogi za nadaljnje izboljšave	67
7.2.1	Predlogi za nadaljnje izboljšave	69
8	ZAKLJUČEK	71
9	LITERATURA IN VIRI	72

KAZALO TABEL

Tabela 1: Povzetek trenutnega stanja skladiščnih in proizvodnih procesov v podjetju X.....	3
Tabela 2: Analitični kazalniki (ODI in NČ) za proizvodne linije podjetja X.....	4
Tabela 3: Razporeditev izdelkov po ABC/XYZ analizi v podjetju X.....	5
Tabela 4: Predlogi za optimizacijo skladišča v podjetju X.....	6
Tabela 5: Ključne funkcije skladiščne logistike.....	9
Tabela 6: Ključni izzivi in rešitve v skladiščni logistiki.....	10
Tabela 7: Pregled osnovnih načel vitke proizvodnje.....	12
Tabela 8: Ključna orodja in metode vitke proizvodnje z aplikacijami v skladiščni logistiki.....	13
Tabela 9: Ključni kazalniki učinkovitosti v vitki proizvodnji kovin.....	14
Tabela 10: Strukturna analiza pogostosti in trajanja prehodov med družinami izdelkov v skladišču.....	15
Tabela 11: Pregled nadomestitvenih časov za izbrane procese v skladišču.....	16
Tabela 12: Primer izračuna OEE.....	17
Tabela 13: Povezava med elementi skladiščnih stroškov in pretočnostjo.....	18
Tabela 14: Strukturna razporeditev skladiščnih con in kapacitet.....	20
Tabela 15: Pregled osnovnih značilnosti proizvodnih linij.....	21
Tabela 16: Potek materiala in faze obdelave v proizvodnem procesu.....	23
Tabela 17: SWOT analiza skladiščnega in proizvodnega sistema.....	24
Tabela 18: Predlogi ukrepov za optimizacijo skladiščnega in proizvodnega sistema.....	25
Tabela 19: Tehnične in organizacijske značilnosti proizvodnih linij.....	27
Tabela 20: Proizvodni obseg, življenjska doba orodja in časi menjave.....	28
Tabela 21: Ključni procesni kazalniki trenutne dinamike skladiščenja in proizvodnje.....	29
Tabela 22: Povzetek uporabljenih metod in kazalnikov analize.....	31
Tabela 23: Primer združene ABC in XYZ razvrstitve materialov/izdelkov.....	33
Tabela 24: Optimalna skladiščna količina, interval in mesto za ključne materiale... ..	35
Tabela 25: Analitični izračun ključnih kazalnikov po proizvodnih linijah.....	37
Tabela 26: Vpliv ukrepov za optimizacijo na ključne kazalnike.....	40
Tabela 27: Shema implementacije ukrepov in kazalnikov spremljanja.....	42
Tabela 28: Razvrstitev izdelkov po frekvenci letnih naročil in predlog skladiščnih con.....	45
Tabela 29: Razvrstitev izdelkov po ABC analizi in predlog optimalne skladiščne postavitve.....	48
Tabela 30: Priporočene prostorske cone skladišča glede na ABC razvrstitev.....	50
Tabela 31: Razvrstitev izdelkov po XYZ analizi in priporočila za upravljanje zalog.....	52
Tabela 32: ABC/XYZ matrika s priporočili za skladiščenje in naročanje.....	54
Tabela 33: Predlog prostorske razporeditve izdelkov v skladišču po ABC/XYZ analizi.....	56

Tabela 34: Predlog ukrepov za optimizacijo skladiščne površine in kapacitete v podjetju X	58
Tabela 35: Primerjalni prikaz obstoječega in predlaganega sistema proženja naročil	60
Tabela 36: Predlogi za zmanjšanje časa skladiščenja in pričakovani učinki v podjetju X	62
Tabela 37: Primerjava trenutnega stanja in predlaganih rešitev v skladiščnem in proizvodnem sistemu podjetja X.....	64
Tabela 38: Primerjava ključnih kazalnikov pred in po optimizaciji	67
Tabela 39: Ključne omejitve optimizacijskega modela in možni vplivi na rezultate..	68
Tabela 40: Predlogi ukrepov za nadaljnje izboljšave logistike in proizvodnje	70

KRATICE IN AKRONIMI

ABC: analiza zalog po pomembnosti (A, B, C skupina)

CNC: Computer Numerical Control - računalniško numerično krmiljenje

ERP: Enterprise Resource Planning - celovit informacijski sistem za poslovanje

JIT: Just-In-Time - ravno ob pravem času

KPI: Key Performance Indicators - ključni kazalniki uspešnosti

MES: Manufacturing Execution System - sistem za upravljanje proizvodnje

NČ: nadomestitveni čas

OEE: Overall Equipment Effectiveness - skupna učinkovitost opreme

ODI: obrat družin izdelkov

QR: Quick Response code - hitra odzivna koda

SMED: Single-Minute Exchange of Dies - hitra menjava orodij

WMS: Warehouse Management System - skladiščni informacijski sistem

XYZ: analiza po stabilnosti porabe (X, Y, Z skupina)

5S: Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain - metoda urejenosti delovnega mesta

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V sodobni kovinsko-predelovalni industriji se proizvodna podjetja vsakodnevno soočajo z vedno bolj kompleksnimi izzivi, ki izhajajo iz potrebe po večji konkurenčnosti, skrajševanju dobavnih rokov in prilagajanju nenehnim spremembam v povpraševanju (Brettel et al., 2014; Marodin et al., 2016). Optimizacija notranje logistike, še posebej skladiščenja in razreza materialov, postaja ključni dejavnik za ohranjanje ali pridobivanje tržnega položaja. V tem kontekstu je razrez kovinskih materialov eden izmed najpomembnejših procesov, saj neposredno vpliva na pretočnost, stroške in fleksibilnost celotnega proizvodnega sistema (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Pri razrezu kovinskih materialov imajo tračne žage posebno vlogo zaradi svoje univerzalnosti, visoke natančnosti in sposobnosti obdelave širokega spektra oblik in dimenzij (Cossentino et al., 2022). Kljub napredni tehnični opremljenosti pa mnoga podjetja še vedno ne dosegajo optimalne izrabe skladiščnih in proizvodnih zmogljivosti, kar je pogosto posledica neustreznega načrtovanja, prostorske neorganiziranosti in neučinkovitega pretoka materiala (Niemann et al., 2018).

Neoptimizirano skladiščenje vodi do kopičenja zalog, zmanjšane preglednosti in izgube časa pri manipulaciji z materiali, kar povečuje operativne stroške in zmanjšuje fleksibilnost podjetja. Poleg tega neenakomerna obremenitev proizvodnih linij, zlasti tračnih žag, povzroča zastoje, podaljšuje proizvodni cikel in zmanjšuje izkoriščenost opreme, kar se neposredno odraža v nižji konkurenčnosti podjetja (Liker, 2020).

Namen te naloge je analiza konkretnega primera podjetja X, ki se ukvarja z razrezom kovinskih materialov, z osredotočenostjo na optimizacijo skladišča in enakomernejšo porazdelitev obremenitve na tračnih žagah. Cilj je razviti in implementirati učinkovite rešitve, ki bodo prispevale k boljši organizaciji prostora, krajšim časom skladiščenja in večji pretočnosti proizvodnje.

Za doseganje teh ciljev bosta uporabljeni sodobni metodi obrata družine izdelkov (ODI) in nadomestitvenega časa (NČ), ki sta se v literaturi in praksi izkazali kot izjemno učinkoviti pri optimizaciji serijske in diskretne proizvodnje (Black, 2008; Shingo, 1985). Metoda ODI omogoča smiselno razvrščanje izdelkov v družine glede na podobne značilnosti in frekvenco obdelave, kar bistveno olajša načrtovanje proizvodnih nalog in zmanjšuje število sprememb nastavitvev. Metoda NČ pa omogoča identifikacijo in zmanjšanje izgub časa pri prehodih med posameznimi izdelki ali serijami, s čimer se bistveno poveča produktivnost in zmanjša tako imenovani "mrtvi čas" v procesu (Shingo, 1985).

Celovita analiza trenutnega stanja in uporaba omenjenih metod bosta podlaga za pripravo konkretnih ukrepov optimizacije. Pričakovani rezultati vključujejo večjo preglednost skladiščnega poslovanja, manj izpadov proizvodnje ter boljšo izrabo obstoječih kapacitet, kar vodi k učinkovitejšemu in konkurenčnejšemu podjetju.

1.2 Namen in cilji naloge

Glavni namen diplomske naloge je s podrobno analizo oceniti trenutno stanje štirih proizvodnih linij v podjetju X ter optimizirati njihove zmogljivosti z vidika učinkovitosti skladišča in proizvodnih procesov. Osrednji poudarek je na izboljšanju razporeditve zalog, optimizaciji načrtovanja proizvodnih nalog glede na obremenitev skladišča ter učinkovitejši uporabi orodij za rezanje kovin, kar neposredno vpliva na podaljšanje njihove življenjske dobe in znižanje stroškov (Black, 2008).

Pri tem bo uporabljena kombinacija sodobnih metodoloških pristopov:

- Analiza trenutnega stanja proizvodnih linij in skladiščnih tokov, s poudarkom na identifikaciji ozkih grl in izgub v procesu.
- Metoda ODI za razvrščanje izdelkov v družine glede na podobne obdelovalne značilnosti, kar omogoča racionalizacijo serijske proizvodnje.
- Metoda NČ za analizo in zmanjšanje izgub časa pri prehodih med posameznimi izdelki in serijami.
- Analiza ABC/XYZ za klasifikacijo in optimizacijo zalog, s ciljem racionalnejšega upravljanja skladišča ter zmanjšanja nepotrebnih zalog.

S tem bodo predlagani konkretni ukrepi za izboljšanje učinkovitosti proizvodnje in skladiščnega sistema, ki bodo podjetju omogočili zmanjšanje izpadov, boljšo izrabo virov ter povečanje konkurenčnosti in prilagodljivosti na trgu (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

1.2.1 Cilj naloge

Cilj diplomske naloge je izboljšanje učinkovitosti skladiščnih in proizvodnih procesov v podjetju X, ki se ukvarja z razrezom kovinskih materialov. Prvi korak vključuje sistematično analizo trenutnega stanja skladiščenja in proizvodnje, z namenom identifikacije ozkih grl, neizkoriščenih kapacitet ter priložnosti za izboljšave (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Liker, 2020; Black, 2008).

Analiza obsega pregled obstoječih internih tokov, prostorske organizacije in obremenjenosti proizvodnih linij. Ključni parametri trenutnega stanja so predstavljeni v tabeli 1, kjer so zajeti podatki o linijah, cikličnih časih, izmetu, materialnih tokovih in pakiranju.

Tabela 1: Analiza skladiščnih in proizvodnih procesov

V nadaljevanju je v tabeli 1 prikazan povzetek ključnih parametrov trenutnega sistema skladiščenja, organizacije pretoka materiala ter obremenjenosti proizvodnih linij v podjetju X. Ti podatki predstavljajo osnovo za nadaljnjo identifikacijo ozkih grl, izgubljenih časov in priložnosti za izboljšave.

Postavka	Podatki
Število linij	4 linije
Skupna skladiščna površina	500 m ²
Linije in materiali	1: Jeklo 43702: Toolox 443: Hardox 4504: Hardox 400
Vrste izdelkov (različice)	a1–a4, b1–b2, c1–c3, d1–d3, e1–e2 (skupaj 12 različnih izdelkov)
Letno naročilo (skupaj)	2000 + 950 + 1130 + 144000 = 148,080 kosov
Povprečni cikel (v min)	Linija 1: 140 Linija 2: 270 Linija 3: 222,5 Linija 4: 11,5
Življenjska doba orodja	Linija 1: 10 m ² Linija 2: 8 m ² Linija 3: 6 m ² Linija 4: 150 rezov
Pogostost menjave orodij	Linija 1: 10 min Linija 2: 15 min Linija 3: 15 min Linija 4: 10 min
Odpadki	Linija 1: 4 kosi (2 kontejner, 2 skladišče) Linija 2: minimalni Linija 3: srednji Linija 4: manjši
Pakiranje	Linija 1: Odlagalna mesta Linija 2–3: Palete Linija 4: Palete (250 kosov/paleto)
Letni izmet (%)	Linija 1: 2 % Linija 2: 3,4 % Linija 3: 4,1 % Linija 4: 2,9 %
Obdelovalni čas na kos (min)	Med 75 min (najmanj) in 280 min (največ)
Materialni tokovi (dimenzije vhodov)	Linija 1: 4300×2060×110 mm Linija 2: 4300×2080×110 mm Linija 3: 1750×5060×20 mm Linija 4: fi50×5000 mm
Izhodni produkti (primeri)	Npr. 4000×2000×110, 8 kosov 1000×1000×110, 8 kosov 1125×850×20, 50 kosov fi50×100

Tabela 1: Povzetek trenutnega stanja skladiščnih in proizvodnih procesov v podjetju X
(Lastni vir)

Za oceno potenciala optimizacije sta uporabljeni metodi obrata družin izdelkov (ODI) in nadomestitvenega časa (NČ), ki izhajata iz vitke proizvodnje (Shingo, 1985; Liker,

2020; Ohno, 1988). Metoda ODI omogoča smiselno razvrščanje izdelkov, NČ pa identifikacijo in zmanjšanje mrtvih časov pri menjavi orodij in izdelkov (Black, 2008; McIntosh et al., 2007). Rezultati obeh analiz so povzeti v tabeli 2.

Tabela 2: Analitični kazalniki za proizvodne linije

V tabeli 2 so prikazani ključni analitični kazalniki za vsako proizvodno linijo, in sicer število menjav izdelkov in orodij, skupni nadomestitveni časi ter izračunani indeks obrata družin izdelkov (ODI). Ti kazalniki omogočajo oceno učinkovitosti razporeditve izdelkov ter identifikacijo možnosti za izboljšave.

Li-nija	Št. menjav orodja	Čas menjave orodja (min)	Št. menjav izdelka	Čas menjave izdelka (min)	Nepro- dukt. čas – orodje (min)	Nepro- dukt. čas – izdelek (min)	Skupni NČ (min)	OEE
1	130	10	2000	5	1300	10	11,3	0,94
2	140	15	850	5	2100	4,25	6,35	0,73
3	73	15	2200	5	1,095	11	12,095	0,73
4	386	10	/	/	3,86	/	3,86	0,85

Tabela 2: Analitični kazalniki (ODI in NČ) za proizvodne linije podjetja X
(Lastni vir)

Za podporo optimizaciji skladiščnih lokacij in upravljanja zalog je uporabljena kombinacija ABC in XYZ analize, ki omogoča razvrščanje izdelkov glede na potrošno vrednost in stabilnost povpraševanja (Waller in Fawcett, 2013; Silver et al., 2017; Slack et al., 2020). Na podlagi teh analiz je izdelana tabela 3, ki prikazuje razporeditev izdelkov in pripadajoče strategije skladiščenja.

Tabela 3: ABC/XYZ klasifikacija izdelkov

V tabeli 3 je prikazana razporeditev izdelkov v podjetju X po ABC in XYZ metodologiji, kar omogoča optimizacijo skladiščnih lokacij ter izboljšano strateško upravljanje zalog in naročil.

Izdelek	Letna količina (kos)	ABC skupina	XYZ skupina	Skupina kombinacija	Predlagana lokacija	Opis
a4	61.000	A	X	AX	Regali A (100 m ²) – spodnji nivo	Najvišja rotacija, stabilna poraba – najlažji dostop
b4	49.000	A	X	AX	Regali A (100 m ²) – spodnji nivo	Visoka količina in stabilnost – stalna zaloga ali JIT
b3	680	B	Y	BY	Regali B (250 m ²) – srednji nivo	Srednja rotacija, zmerna nihanja – varnostne zaloge
c1	850	B	Y	BY	Regali B (250 m ²) – srednji nivo	Srednja pomembnost in zmerna poraba
d3	560	B	Y	BY	Regali B (250 m ²) – srednji nivo	Zmerna rotacija – potreba po srednje dostopni lokaciji
b1	650	B	Y	BY	Regali B (250 m ²) – srednji nivo	Povprečna količina, zmerno povpraševanje
c2	200	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Nestabilno povpraševanje – primeren za oddaljeno lokacijo
a2	300	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Majhna količina in visoka variabilnost
b2	350	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Nizka rotacija – smiselno umakniti v manj dostopen del
c3	460	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Nestabilno, ni prioriteta
a1	500	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Redka poraba – make-to-order model
a3	500	C	Z	CZ	Regali C (150 m ²) – zadnji del	Slaba rotacija, manjša frekvenca

Tabela 3: Razporeditev izdelkov po ABC/XYZ analizi v podjetju X
(Lastni vir)

Na osnovi vseh opravljenih analiz je pripravljen nabor ukrepov za izboljšanje skladiščenja, krajšanje skladiščnih ciklov, optimizacijo izrabe prostora ter boljše strateško upravljanje zalog. Predlagani ukrepi so povzeti v tabeli 4.

Tabela 4: Predlogi za optimizacijo skladiščnih procesov

Tabela 4 prikazuje predlagane ukrepe za optimizacijo skladiščnih procesov v podjetju X, z razdelitvijo po področjih izboljšav: skrajšanje časa skladiščenja, izboljšanje odzivnosti in povečanje transparentnosti.

Element	Trenutno stanje	Predlagana rešitev
Razvrstitev izdelkov	Po vrsti materiala in dimenziji	Po ABC/XYZ – frekvenca, količina, predvidljivost
Proženje naročil	14-dnevni cikel, brez opozoril	Min-max sistem, orodna doba, digitalna opozorila
Uporaba prostora	Le tlorisna izraba, ni merjenja v m ³	Večnivojski regali, kapacitetna analiza po conah
Manipulacija orodij	Ročna, ob menjavi dimenzij	Prednastavitve, sinhronizacija z izmenami
Obvladovanje odpadkov	Ločena cona, brez povezave s ponovno uporabo	Digitalno vodeni ostanki kot vir za manjše izdelke

Tabela 4: Predlogi za optimizacijo skladišča v podjetju X
(Lastni vir)

Predlagani ukrepi temeljijo na načelih vitke logistike in konceptu Just-In-Time (JIT) ter prispevajo k večji odzivnosti, preglednosti in znižanju operativnih stroškov (Liker, 2020; Christopher, 2016).

1.3 Metodološki pristop

Metodološki okvir diplomske naloge temelji na kombinaciji analitične in primerjalne metode, ki omogočata celovito preučitev in izboljšanje proizvodnih ter skladiščnih procesov v izbranem podjetju. Analitični del zajema sistematično zbiranje podatkov o

tokovih materialov, obremenitvah linij in časih posameznih operacij, medtem ko primerjalni del omogoča primerjavo trenutnega stanja z najboljšimi praksami v industriji ter oceno učinka predlaganih optimizacijskih ukrepov (Yin, 2018).

V teoretičnem delu je opravljen pregled sodobnih konceptov proizvodnega planiranja, optimizacije, pomena nadomestitvenih časov in metod razvrščanja proizvodnih družin. Ta pregled vključuje tudi pregled digitalnih orodij za podporo logistike (ERP, MES) in principov vitke proizvodnje.

V empiričnem delu sta izvedena dva ključna izračuna:

- Izračun nadomestitvenega časa (NČ), ki temelji na podatkih o številu in trajanju menjav med izdelki in orodji.
- Izračun indeksa obrata družin (ODI), ki omogoča oceno učinkovitosti razporeditve izdelkov v družine glede na potrebo po spremembah nastavitev.

Rezultati so primerjani s pričakovanimi vrednostmi iz literature ter s prakso v podobnih podjetjih. Na tej osnovi so oblikovani konkretni predlogi za izboljšanje – od racionalizacije menjav, preko združevanja izdelkov v družine, do uporabe metod hitrih menjav (SMED).

Celoten pristop omogoča celovito in podatkovno podprto obravnavo proizvodne problematike z vidika časovne, prostorske in stroškovne učinkovitosti, kar predstavlja osnovo za trajnostno in konkurenčno delovanje v praksi (Black, 2008; Shingo, 1985; Christopher, 2016).

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Osnove skladiščne logistike

Skladiščna logistika predstavlja temeljno komponento sodobnega logističnega sistema, saj omogoča povezovanje vseh tokov materialov, informacij in vrednosti znotraj podjetja in širše v dobavni verigi (Christopher, 2016; Waller in Fawcett, 2013). Njen osnovni namen je zagotavljanje ustreznega shranjevanja, varovanja, obdelave in distribucije surovin, polizdelkov ter končnih izdelkov – skladno z zahtevami proizvodnje in trga.

Za učinkovito delovanje skladiščne logistike je nujno obvladovanje treh ključnih področij:

- Prostorska in funkcionalna organizacija skladišča, ki vključuje načrtovanje optimalne postavitve regalov, delovnih postaj, manipulacijskih poti ter učinkovito uporabo skladiščnega volumna (Frazelle, 2016; Bartholdi in Hackman, 2019).
- Koordinacija pretoka materialov skozi sprejem, skladiščenje, interno manipulacijo, pripravo in odpremo, pri čemer je cilj čim krajši čas zadrževanja, zmanjšanje nepotrebnih premikov in eliminacija napak (Richards, 2021).
- Vključevanje digitalnih orodij za spremljanje zalog, optimizacijo procesov in podporo odločanju – kar je v zadnjem desetletju postalo ključno zaradi razvoja Industrije 4.0 in vse večje kompleksnosti oskrbovalnih verig (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Učinkovita skladiščna logistika zato presega zgolj shranjevanje materialov – njena dodana vrednost je v omogočanju nemotenega in hitrega pretoka materialov od dobavitelja do proizvodnje in končnega kupca, ob sočasnem nadzoru stroškov in zagotavljanju visoke stopnje odzivnosti.

Tabela 5: Ključne funkcije skladiščne logistike

V tabeli je predstavljen pregled osnovnih funkcij skladiščne logistike in njihovega pomena za nemoteno delovanje proizvodnje in oskrbovalne verige. Tabela prikazuje povezavo med posameznimi funkcijami, cilji in tipičnimi procesi, ki so značilni za sodobna skladišča.

Funkcija	Opis in pomen	Ključni cilji	Primeri procesov
Sprejem materiala	Evidenca, pregled, prevzem in razvrščanje	Pravilnost, pravočasnost	Prevzem, preverjanje, vnos
Skladiščenje	Organizacija prostora in shranjevanje	Optimalna izraba, varnost	Postavitev, označevanje
Manipulacija	Interni transport in priprava materiala	Hitrost, varnost, ergonomija	Premiki, priprava, sortiranje
Komisioniranje	Priprava naročil ali polizdelkov	Natančnost, sledljivost	Izbor, pakiranje, označevanje
Odprema	Priprava in odprem izdelkov ali materialov	Pravočasnost, točnost	Naklad, dokumentacija
Vodenje zalog	Spremljanje in upravljanje količin	Nizki stroški, dosledljivost	Inventura, informacijski sistem

Tabela 5: Ključne funkcije skladiščne logistike
(Lastni vir)

2.2 Ključni izzivi v skladiščni logistiki

V praksi se skladiščna logistika sooča z izzivi, kot so omejen skladiščni prostor, variabilno povpraševanje, raznovrstnost materialov ter vedno večja potreba po hitrosti in zanesljivosti oskrbe (Bartholdi in Hackman, 2019; Richards, 2021). Sodobna literatura izpostavlja tri ključna področja teh izzivov.

Prvi izziv je prostorska omejenost, ki zahteva maksimalno izrabo površin in volumna. Učinkovito načrtovanje regalov, delovnih mest in manipulacijskih poti omogoča hiter dostop, minimalne premike ter varno delo (Frazelle, 2016). Rešitev predstavljajo večnivojski regali, avtomatizirana skladišča in fleksibilni manipulacijski sistemi.

Drugi izziv je zanesljivo vodenje zalog. Natančen nadzor nad sprejemi, izdajo, količinami in velikostjo zalog zmanjšuje operativna tveganja in omogoča pravočasno pripravo materialov (Silver et al., 2017). Ključno vlogo ima povezava skladiščnih procesov z informacijskimi sistemi.

Tretje ključno področje predstavlja digitalizacija skladišč. Uvedba sistemov WMS, uporaba črtnih kod, RFID in IoT omogočajo sledenje lokacijam, količinam in stanju materialov v realnem času (Waller in Fawcett, 2013; Ghobakhloo in Fathi, 2021). To povečuje učinkovitost, zmanjšuje napake ter omogoča večjo prilagodljivost.

Tabela 6: Ključni izzivi in rešitve v skladiščni logistiki je predstavljen sistematičen pregled najpogostejših izzivov, s katerimi se srečujejo sodobna proizvodna podjetja pri skladiščenju, ter izbranih rešitev oziroma pristopov, ki jih priporoča literatura in industrijska praksa.

Izziv	Opis izziva	Priporočena rešitev	Vir
Prostorska omejitve	Omejenost skladiščnega prostora	Večnivojski regali, optimizacija poti	Frazelle (2016)
Nepreglednost zalog	Slabo vodenje, zamude, napake	Digitalizacija (WMS, črtne kode)	Silver et al. (2017)
Visoki stroški skladišča	Stroški prostora, dela, opreme	Avtomatizacija, optimizacija skladišča	Richards (2021)
Počasna manipulacija	Dolgi časi za iskanje/komisioniranje	RFID, IoT, avtomatizirani transport	Waller in Fawcett (2013)
Variabilnost materialov	Različne dimenzije, zahtevnost manipulacije	Segmentacija skladišča, specializirana oprema	Bartholdi in Hackman (2019)
Variabilnost povpraševanja	Nihanja v proizvodnji in dobavi	Napredno napovedovanje, fleksibilni procesi	Ghobakhloo in Fathi (2021)

Tabela 6: Ključni izzivi in rešitve v skladiščni logistiki
(Lastni vir)

2.3 Vitka proizvodnja

Vitka proizvodnja (lean manufacturing) predstavlja celostni koncept izboljšanja učinkovitosti in kakovosti v proizvodnji, ki temelji na zmanjševanju vseh vrst odpadkov ter ustvarjanju maksimalne vrednosti za kupca z optimalno rabo razpoložljivih virov (Liker, 2020; Womack in Jones, 2003). Izvira iz japonskega proizvodnega sistema (TPS – Toyota Production System), ki je v drugi polovici 20. stoletja postavil temelje za sodobne prakse v svetovni proizvodni industriji. Danes je vitka filozofija ena najpomembnejših gonil trajnostnega razvoja, konkurenčnosti in digitalne transformacije proizvodnih podjetij (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Ohno, 1988).

Osnovni namen vitke proizvodnje je izločanje vseh aktivnosti, ki ne prinašajo dodane vrednosti za stranko – to vključuje zaloge, čakanje, nepotrebno transportiranje, odvečno gibanje, napake in nepotrebne procese (Liker, 2020). V industriji obdelave kovin, še posebej pri rezanju pločevin ali upravljanju skladišč, vitka proizvodnja odpira možnosti za optimizacijo celotnih procesov, izboljšanje organizacije dela, digitalizacijo in znižanje stroškov ter povečanje odzivnosti na potrebe trga.

2.3.1 Osnovna načela vitke proizvodnje

Vitka proizvodnja temelji na sklopu temeljnih načel, ki skupaj tvorijo strategijo za neprekinjeno izboljševanje procesov in odpravljanje vseh oblik odpadkov (Womack in Jones, 2003; Liker, 2020)

Tabela 7: Pregled osnovnih načel vitke proizvodnje podaja strukturiran povzetek ključnih načel lean filozofije, njihove opredelitve ter praktične aplikacije v kovinskopredelovalni industriji, zlasti v kontekstu rezanja pločevine in skladiščne logistike.

Načelo	Opis in namen	Praktična aplikacija v kovinski industriji
Opredelitev vrednosti	Razumevanje, kaj kupec resnično ceni in želi	Natančnost reza, kakovost površine, dobavni rok
Ustvarjanje toka	Neprekinjeno gibanje materiala in informacij brez zastojev	Optimalna postavitev strojev in skladišč, digitalni pretok podatkov
Sistem za umik (pull)	Proizvodnja na osnovi dejanskega povpraševanja	Naročilo materialov glede na realne potrebe proizvodnje
Nenehno izboljševanje (Kaizen)	Stalno in postopno izboljševanje vseh procesov	Optimizacija manipulacije, iskanje ozkih grl, izobraževanje zaposlenih

Tabela 7: Pregled osnovnih načel vitke proizvodnje
(Vir: Womack in Jones, 2003; Liker, 2020)

2.3.2 Orodja in metode vitke proizvodnje pri optimizaciji procesov

Za implementacijo vitkih načel so v praksi razvili številna specifična orodja in metode, s katerimi sistematično prepoznavajo, analizirajo in odpravljajo izgube v proizvodnem in logističnem sistemu (Shingo, 1985; Liker, 2020; Womack in Jones, 2003).

Tabela 8: Ključna orodja in metode vitke proizvodnje z aplikacijami v skladiščni logistiki

Tabela sistematično prikazuje najpomembnejša orodja vitke proizvodnje ter konkretne primere njihove uporabe pri izboljšanju procesov v industriji rezanja pločevine in skladiščne logistike. Poseben poudarek je na digitalizaciji, vizualnem vodenju, ergonomiji in varnosti.

Orodje/metoda	Namen in opis	Primer uporabe v kovinski industriji
5S	Ustvarjanje urejenega, čistega in varnega okolja	Označena skladiščna mesta, razvrščanje orodij
Poka-Yoke	Preprečevanje napak z vgrajenimi varovalnimi mehanizmi	Senzorji za nadzor pravilne namestitve pločevine
Heijunka	Uravnotežena proizvodnja, preprečevanje nihanj	Planiranje dobav pločevine v manjših serijah
Kanban	Vizualno vodenje zalog in toka dela	Kartice ali digitalni signali za dopolnjevanje zalog
Kaizen Blitz	Hitri, intenzivni izboljševalni projekti	Prenova postavitve skladišča, odprava ozkih grl

Tabela 8: Ključna orodja in metode vitke proizvodnje z aplikacijami v skladiščni logistiki

(Vir: Shingo, 1985; Liker, 2020; Womack in Jones, 2003)

2.3.3 Kazalniki učinkovitosti (ODI, NČ)

V sodobni proizvodni logistiki se za spremljanje uspešnosti in učinkovitega uvajanja vitkih pristopov uporabljajo posebni kazalniki učinkovitosti. Med najpomembnejšimi so indeks obrata družin izdelkov (ODI) in nadomestitveni čas (NČ), ki podjetjem omogočata podatkovno podprto odločanje in hitro odzivanje na spremembe v proizvodnji (Black, 2008; McIntosh et al., 2007).

ODI omogoča analizo, v kolikšni meri je možno izdelke združevati v obdelovalne družine z vidika podobnosti obdelave, kar vodi v racionalizacijo nastavitve, manjšo potrebo po menjavah in višjo pretočnost linije.

NČ meri povprečen čas, potreben za zamenjavo orodij, nastavitve ali prehod na drug izdelek ter je ključni kazalnik za identifikacijo izgub in izračun potencialov za izboljšavo.

Tabela 9: Ključni kazalniki učinkovitosti v vitki proizvodnji kovin

Tabela prikazuje strukturo in izračun kazalnikov ODI in NČ v tipičnem procesu rezanja pločevine v skladiščnem okolju, z namenom identifikacije največjih virov izgub in priložnosti za optimizacijo.

Kazalnik	Opis in pomen	Metodologija izračuna	Primer uporabe
ODI	Stopnja združevanja izdelkov v družine	Analiza vrst in pogostosti menjav	Skupine izdelkov s podobnimi dimenzijami
NČ	Povprečni čas menjave orodja/nastavitve	Merjenje časov menjav, analiza SMED	Izračun vpliva na skupni cikel

Tabela 9: Ključni kazalniki učinkovitosti v vitki proizvodnji kovin
(Vir: Black, 2008; McIntosh et al., 2007)

2.4 Kazalniki učinkovitosti v skladiščni in proizvodni logistiki

V sodobni proizvodnji in skladiščni logistiki predstavlja merjenje učinkovitosti temelj za odločanje in nenehne izboljšave (Black, 2008; Liker, 2020). Med najpomembnejšimi kazalniki, ki omogočajo podatkovno podprto upravljanje procesov, so obrat družin izdelkov (ODI), nadomestitveni čas (NČ) in skupna učinkovitost opreme (OEE). Ti kazalniki zagotavljajo pregled nad zmožnostjo hitrega prilagajanja povpraševanju, stopnjo fleksibilnosti sistema ter razkrivajo glavne priložnosti za optimizacijo zalog, pretočnosti in stroškov.

2.4.1 Obrat družin izdelkov (ODI)

Metoda Obrat družin izdelkov (ODI, ang. Family Changeover Index) je v zadnjih letih pridobila pomen kot ključni kazalnik prilagodljivosti skladišča ali proizvodnega sistema (Shingo, 1985; Slack et al., 2020). ODI meri, kako pogosto in učinkovito potekajo prehodi med obdelavo različnih družin izdelkov oziroma artiklov – naj gre za prevzem, skladiščenje, komisioniranje ali odpremo.

Višji ODI pomeni večjo zmožnost skladišča za pogoste, a učinkovite prehode med vrstami blaga, brez nepotrebnega zastoja, pretirane uporabe prostora ali preobremenjevanja virov (Black, 2008). To zahteva dobro načrtovano postavitve regalov, fleksibilno razporeditev poti in digitalno podprte postopke, ki omogočajo hitro prepoznavanje in ravnanje z različnimi družinami izdelkov (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Praktično to pomeni, da je podjetje z visokim ODI sposobno zmanjšati varnostne zaloge, povečati pretočnost in hitro izpolnjevati specifična naročila strank – kar je ključnega pomena v okoljih s hitro spreminjajočim se povpraševanjem (Christopher, 2016).

Tabela 10: Strukturna analiza pogostosti in trajanja prehodov med družinami izdelkov v skladišču prikazuje izračun ODI za izbrane družine izdelkov, skupaj s ključnimi podatki o številu menjav, povprečnem trajanju prekopov ter vplivu na izkoriščenost virov.

Družina izdelkov	Število menjav	Povprečen čas menjave (min)	Skupni čas na mesec (h)	Povprečna zaloga (enote)	ODI*
Pločevine A	40	7	4,7	180	1,5
Cevni profili B	28	9	4,2	125	2
Ploščice C	35	6	3,5	90	2,3

Tabela 10: Strukturna analiza pogostosti in trajanja prehodov med družinami izdelkov v skladišču
(Lastni vir)

* $ODI = \text{Število menjav} \times \text{Povprečen čas menjave} / \text{Povprečna zaloga}$

2.4.2 Nadomestitveni čas (NČ)

Nadomestitveni čas (NČ, ang. Changeover Time) označuje skupni čas, potreben za prehod iz ene vrste izdelka ali procesa na drugo. Vključuje fizične menjave, nastavitve opreme, prilagoditve embalaže, reorganizacijo poti in pripravo dokumentacije (Shingo, 1985; McIntosh et al., 2007). V klasični proizvodnji so prav dolgotrajne menjave glavni vzrok za neizkoriščenost kapacitet, povečane zaloge in dolge pretočne čase.

Cilj metode NČ je sistematično zmanjšati neproduktivni čas menjav, kar dosežemo z uporabo koncepta SMED (Single-Minute Exchange of Dies), standardizacijo delovnih postopkov, izboljšanjem ergonomije in digitalizacijo (Liker, 2020; Shingo, 1985). V skladiščni logistiki skrajševanje NČ pomeni možnost pogostejših menjav serij, večjo odzivnost, nižje zaloge in manj manipulativnih stroškov.

Kadar je NČ previsok, podjetje pogosto umetno povečuje velikost serij, kar vodi v višje zaloge in slabšo fleksibilnost – zato je zniževanje NČ temelj za vitko in agilno logistiko (Womack in Jones, 2003).

Tabela 11: Pregled nadomestitvenih časov za izbrane procese v skladišču prikazuje tipične čase menjave za različne vrste izdelkov ali procesov ter primere ukrepov za njihovo optimizacijo.

Postopek/izdelčna skupina	Povp. nadomestitveni čas (min)	Najpogostejši vzroki	Priporočeni ukrepi (SMED, digitalizacija)
Menjava embalaže	14	Ročne prilagoditve	Standardizacija, označevanje, avtomatizacija
Prilagoditev regalov	18	Iskanje orodij	5S, vizualno vodenje
Menjava nastavitve stroja	12	Neučinkovita rutina	Ergonomija, digitalne kontrole

Tabela 11: Pregled nadomestitvenih časov za izbrane procese v skladišču
(Lastni vir)

2.4.3 OEE (Overall Equipment Effectiveness) – skupna učinkovitost opreme

OEE (skupna učinkovitost opreme) je celovit kazalnik, ki meri realno izkoriščenost razpoložljivih virov v primerjavi z idealnim, načrtovanim časom delovanja (Nakajima, 1988; Muchiri in Pintelon, 2008). OEE vključuje tri ključne dejavnike: razpoložljivost (Availability), učinkovitost (Performance) in kakovost (Quality).

- 100 % OEE pomeni, da je vse razpoložljivo delovno obdobje maksimalno izkoriščeno, brez napak ali izpadov.
- 85 % OEE velja za svetovni razred v industriji.
- 60 % OEE je pogosta praksa v povprečnih podjetjih in kaže na pomembne možnosti za izboljšave.
- 40 % ali manj kaže na velike izgube, pogosto v podjetjih, ki šele uvajajo sistematično spremljanje učinkovitosti (Muchiri in Pintelon, 2008).

OEE omogoča primerjavo različnih strojev, izmen ali podjetij, ter služi kot podlaga za načrtovanje izboljšav in spremljanje napredka čez čas (Nakajima, 1988).

Tabela 12: Primer izračuna OEE za izbrano proizvodno sredstvo prikazuje način izračuna OEE z razdelitvijo na razpoložljivost, učinkovitost in kakovost ter interpretacijo rezultatov glede na standarde v industriji.

Proizvodni stroj	Razpoložljivost (%)	Učinkovitost (%)	Kakovost (%)	*OEE (%)	Industrijski standard
Žaga A	92	89	97	79,4	85
Linija B	95	76	98	70,6	85
Komisionir C	87	67	96	56	85

Tabela 12: Primer izračuna OEE
(Lastni vir)

$$*OEE = \text{Razpoložljivost} \times \text{Učinkovitost} \times \text{Kakovost} / 10000$$

2.5 Vpliv skladiščenja na stroške in pretočnost

Učinkovito skladiščenje ima ključno vlogo v proizvodnih in logističnih sistemih, saj vpliva na stroškovno učinkovitost ter pretočnost materialnih tokov (Christopher, 2016; Richards, 2021). V kovinskopredelovalni industriji lahko že manjše izboljšave skladiščne organizacije pomembno vplivajo na stroške, fleksibilnost in odzivnost podjetja. Stroški skladiščenja vključujejo najem ali amortizacijo prostora, plače zaposlenih, stroške opreme in vzdrževanja ter izgube zaradi napak ali poškodb (Silver et al., 2017). Neoptimizirano skladiščenje vodi v prevelike zaloge, vezavo kapitala, višje operativne stroške in večje tveganje za poškodbe ali zastaranje materialov (Waller in Fawcett, 2013; Christopher, 2016).

Optimalna skladiščna ureditev omogoča hiter dostop do materialov, krajše čakalne čase in zanesljivo oskrbo proizvodnje, kar zmanjšuje izgube zaradi prekinitev proizvodnega toka (Bartholdi in Hackman, 2019). Pri razrezu pločevine je fleksibilnost skladišča ključna za zmanjšanje izpadov ter učinkovitejšo obdelavo naročil (Slack et al., 2020).

Sodobni pristopi, kot so ABC/XYZ analiza, vitka logistika, avtomatizacija in digitalna podpora (WMS, RFID, IoT), omogočajo natančno sledenje stroškom in proaktivno optimizacijo procesov (Ghobakhloo in Fathi, 2021). Takšna praksa je bistvena za ohranjanje konkurenčnosti v dinamičnih oskrbovalnih verigah.

Tabela 13: Povezava med elementi skladiščnih stroškov in pretočnostjo sistematično prikazana povezava med posameznimi stroškovnimi elementi skladišča, njihovim vplivom na pretočnost in ključnimi indikatorji za optimizacijo skladiščnega poslovanja.

Element skladiščnih stroškov	Opis stroška	Vpliv na pretočnost	Ključni indikator optimizacije
Prostor (najem, amortizacija)	Stroški uporabe skladiščne površine	Preobremenjenost ali izkoriščenost prostora vpliva na hitro manipulacijo	Gostota skladiščenja, izkoriščenost prostora
Delo	Plače, socialni prispevki	Več oseb pomeni hitrejšo manipulacijo, a tudi višje stroške	Stroški na manipulacijo, produktivnost na osebo
Oprema in vzdrževanje	Stroški regali, stroji, vzdrževanje	Kakovost opreme vpliva na hitro in varno ravnanje	Razpoložljivost opreme, število okvar
Izgube in odpadki	Poškodbe, zastarelost, napake	Več napak povzroča več prekinitev in izgub v proizvodnji	Stopnja škode, število reklamacij
Digitalizacija in avtomatizacija	Vlaganja v IT, avtomatizacijo	Omogoča sledljivost, hitrejšo manipulacijo in manj napak	Čas obdelave naročila, stopnja sledljivosti

Tabela 13: Povezava med elementi skladiščnih stroškov in pretočnostjo
(Lastni vir)

3 PREDSTAVITEV PODJETJA IN OBSTOJEČEGA STANJA

V sodobnem industrijskem okolju je celovito upravljanje skladiščnih in proizvodnih procesov ključno za konkurenčnost, znižanje stroškov in doseganje visoke storilnosti (Christopher, 2016; Slack et al., 2020). Kovinskopredelovalna podjetja se pri tem soočajo z izzivi, kot so raznolikost materialov, potreba po sledljivosti in optimizacija kapacitet v pogojih visoke intenzivnosti proizvodnje (Bartholdi in Hackman, 2019; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

V tej raziskavi je analizirano podjetje, specializirano za obdelavo različnih vrst jekel, kjer razrez in skladiščenje zahtevata napredno organizacijo in tehnološko podporo. Namen poglavja je podati podroben pregled obstoječega stanja skladiščnega sistema in proizvodnih linij kot osnovo za identifikacijo možnosti za optimizacijo. Poudarek je na fleksibilnosti prostora, učinkoviti rabi kapacitet ter povezavi z načeli vitke logistike in digitalizacije (Richards, 2021; Liker, 2020).

3.1 Opis skladišča

Skladišče podjetja obsega 500 m² in je razdeljeno na tri funkcionalno specializirane cone, organizirane glede na velikost, maso in namen materialov, skladno z najboljšimi praksami sodobne logistike (Bartholdi in Hackman, 2019; Richards, 2021). Takšna razporeditev omogoča učinkovito upravljanje vhodnih surovin, končnih izdelkov in odpadkov ter prispeva k večji pretočnosti notranjih tokov.

Regalna območja so razporejena takole:

- Regali A (100 m²): Za manjše kose, krajših palice in izdelke iz specialnih jekel (npr. Hardox 400); omogočena hitra manipulacija z viličarji.
- Regali B (250 m²): Paletizirano skladišče za surovce in končne izdelke; poudarek na varnosti, kapaciteti in enostavni pripravi za odpremo.
- Regali C (150 m²): Odprto skladišče za velike jeklene plošče (npr. 4370, Toolox 44, Hardox 450), prilagojeno za manipulacijo z mostnimi dvigali.

Ostala oprema skladišča vključuje:

- dve mostni dvigali,
- paletne viličarje,
- manipulacijska mesta za razrezane materiale,
- namensko cono za odpadke.

Materiali se večinoma skladiščijo ročno ali z osnovnimi sredstvi. Zalog ni možno spremljati v realnem času, saj obstoječi informacijski sistem omogoča zgolj osnovno

beleženje, kar povzroča tveganja za napake, zamude in nižjo učinkovitost skladiščenja (Silver et al., 2017).

Tabela 14: Strukturna razporeditev skladiščnih con in kapacitet sistematično prikazan pregled skladiščnih con, razpoložljivih kapacitet ter njihove namenske uporabe v obravnavanem podjetju. Tabela omogoča jasno vizualizacijo razporeditve in funkcionalnosti posameznih območij skladišča.

Skla- diščna cona	Povr- šina (m ²)	Glavni materi- ali	Namen cone	Oprema/na- čin manipu- lacije
Regali A	100	Hardox 400, krajše palice	Manjši kosi, ročna manipula- cija	Ročno, vili- čarji
Regali B	250	Končni izdelki, surovci	Paletno skladišče, priprava odprem	Paletni vili- čarji, ročno
Regali C	150	Jeklo 4370, Toolox 44, Hardox 450	Večje plo- šče, težji formati	Mostna dvi- gala, prosti tloris
Odpadna cona	-	Kovin- ski od- padki	Skladišče- nje, pri- prava za reciklažo	Zabojnik, ločeno zbira- nje

Tabela 14: Strukturna razporeditev skladiščnih con in kapacitet
(Lastni vir)

3.2 Opis proizvodnih linij

V okviru analiziranega podjetja proizvodni proces obsega štiri specializirane proizvo-
dne linije, ki so zasnovane za obdelavo različnih vrst kovinskih materialov in dimenzij.
Vsaka linija je tehnično prilagojena posebnostim materiala, orodja ter zahtevanim pa-
rametrom kakovosti in pretočnosti. Takšna strukturiranost omogoča optimalno rabo

zmogljivosti, skrajšanje pretočnih časov ter boljše upravljanje z življenjsko dobo orodij (Liker, 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Neprekinjenost proizvodnje v treh izmenah zahteva visoko stopnjo usklajenosti med skladiščem in proizvodnimi linijami, saj le pravočasna oskrba z materiali in učinkovita menjava orodij preprečujeta zastoje ter povečujeta skupno učinkovitost opreme (OEE) (Muchiri in Pintelon, 2008). Ključni izzivi so raznolikost vhodnih surovin, pogosta menjava nastavitvenih parametrov in potreba po hitri prilagoditvi glede na proizvodni program in povpraševanje.

Tabela 15: Pregled osnovnih značilnosti proizvodnih linij so predstavljeni ključni podatki o posamezni liniji: vrsta obdelave, namen, obdelovani materiali, zmogljivost, tipične nastavitve in pričakovana življenjska doba orodij. Tabela omogoča hitro primerjavo in identifikacijo morebitnih ozkih grl ali priložnosti za izboljšave.

Proizvodna linija	Namen/vrsta obdelave	Glavni materiali	Kapaciteta (enot/izmeno)	Tipične nastavitve	Življenjska doba orodij (h)
Linija 1	Rezanje plošč	Hardox 400, Toolox 44	75	Visoka natančnost	1200
Linija 2	Razrez krajših palic	Jeklo 4370	150	Srednje dimenzije	1000
Linija 3	Razrez masivnih kosov	Hardox 450	50	Težka orodja	900
Linija 4	Priprava končnih izdelkov	Različne vrste jekla	200	Fina nastavitve	1100

Tabela 15: Pregled osnovnih značilnosti proizvodnih linij
(Lastni vir)

Takšna strukturirana postavitve linij omogoča jasno razmejitev odgovornosti, lažje spremljanje učinkovitosti in hitro prepoznavo ozkih grl v procesu (Slack et al., 2020; Richards, 2021). Pomemben dejavnik je stalna optimizacija nastavitvev in nadzor življenjske dobe orodij, saj obrabljena orodja neposredno vplivajo na kakovost, pretočnost in stroške proizvodnje (Black, 2008). Uvedba digitalnih orodij (npr. CMMS za

spremljanje obrabe, OEE dashboard) je v najboljših praksah industrije ključ do zmanjšanja nepredvidenih zastojev in izboljšanja skupne učinkovitosti (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

3.2.1 Opis obstoječega proizvodnega procesa

Proizvodni proces temelji na usklajenem delovanju skladišča in štirih specializiranih linij za obdelavo različnih kovinskih materialov (Bartholdi in Hackman, 2019; Slack et al., 2020). Surovine se po prihodu evidentirajo in skladiščijo glede na dimenzije, težo in tip. Po aktivaciji delovnega naloga sledi oskrba linij z materialom.

Posamezne linije so prilagojene različnim proizvodnim potrebam:

- Linija 1: precizni razrez tankih, občutljivih materialov,
- Linija 2: obdelava masivnejših kosov z visokim deležem menjav nastavitev,
- Linija 3: serijska proizvodnja krajših palic in plošč,
- Linija 4: priprava izdelkov za odpremo ali nadaljnjo obdelavo.

Proces je optimiziran za pretočnost, z minimalnim številom manipulacij. Uporabljajo se viličarji in mostna dvigala, kar zmanjšuje čakalne čase in tveganje poškodb (Richards, 2021).

Podjetje uporablja osnovni sistem za vodenje zalog, a nima napredne digitalne podpore (WMS/MES). Posledično prihaja do zamud pri iskanju materialov in zmanjšane učinkovitosti proizvodnje (Silver et al., 2017; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 16: Potek materiala in faze obdelave v proizvodnem procesu je sistematično prikazan tipičen tok materiala od vhoda v skladišče do izhoda kot končni izdelek, vključno z glavnimi manipulacijskimi fazami in odgovornimi oddelki. Tabela omogoča jasno predstavo o zaporedju korakov in možnih ozkih grlih.

Faza procesa	Odgovoren oddelek	Glavne aktivnosti	Oprema/sredstva	Potencialni izzivi
Sprejem surovin	Skladišče	Prevzem, pregled, evidentiranje	Ročno, viličar, računalnik	Zamude pri vnosu, nepopolni podatki
Razporeditev	Skladišče	Razvrščanje po conah, začasno skladiščenje	Viličar, dvigalo	Napačna postavitev, dvojno ravnanje
Priprava na obdelavo	Skladišče/proizvodnja	Dovoz do linije, preverjanje	Viličar, ročni transport	Čakanje na prosto linijo
Primarna obdelava	Proizvodne linije 1–3	Razrez, osnovne nastavitve	Stroji za razrez, orodja	Zastoji, napačna nastavitve
Sekundarna obdelava	Proizvodna linija 4	Zaključna obdelava, čiščenje, kontrola	Fina orodja, ročno	Zamude, kakovostni problemi
Odpremna priprava	Skladišče	Končno skladiščenje, pakiranje, odprem	Embalaža, viličar	Napačno označevanje, poškodbe

Tabela 16: Potek materiala in faze obdelave v proizvodnem procesu
(Lastni vir)

3.2.2 SWOT analiza skladiščnega in proizvodnega sistema podjetja

Za učinkovito načrtovanje izboljšav in določanje razvojnih prioritet je nujna celovita ocena trenutnega stanja podjetja skozi SWOT analizo (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Ta metoda omogoča jasno identifikacijo notranjih prednosti in slabosti podjetja ter zunanjih priložnosti in tveganj v poslovnem okolju (Hill in Westbrook, 1997; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 17: SWOT analiza skladiščnega in proizvodnega sistema celovito prikazuje notranje prednosti in slabosti podjetja ter ključne zunanje priložnosti in grožnje, ki izhajajo iz poslovnega okolja kovinskopredelovalne industrije. Takšna analiza predstavlja osnovo za oblikovanje strategije optimizacije in dolgoročne konkurenčnosti.

Notranji dejavniki	Zunanji dejavniki
Prednosti (Strengths)	Priložnosti (Opportunities)
- Specializirana oprema in štiri sodobne proizvodne linije. - Organizirana skladiščna razporeditev po conah (logična segmentacija). - Strokovno usposobljeni zaposleni. - Visoka fleksibilnost glede vrst obdelave.	- Razvoj in uvedba naprednih informacijskih sistemov (WMS/MES). - Avtomatizacija skladiščnih procesov (IoT, RFID). - Krepitev digitalne sledljivosti in industrija 4.0. - Povečanje zahtev za specializirane jeklene izdelke na trgu.
Slabosti (Weaknesses)	Grožnje (Threats)
- Osnovni IT sistem brez digitalne sledljivosti zalog v realnem času. - Odvisnost od ročnega vodenja in fizičnih evidenc. - Občasne zamude pri manipulaciji in neoptimalno izkoriščanje opreme. - Pomanjkanje integracije skladiščnih in proizvodnih podatkov.	- Naraščajoči stroški energije, dela in skladiščnih kapacitet. - Hitra tehnološka zastarelost opreme. - Tveganje napak in izgub zaradi povečane kompleksnosti zalog. - Okoljske in regulativne zahteve (trajne materiale, zmanjšanje odpadkov).

Tabela 17: SWOT analiza skladiščnega in proizvodnega sistema
 (Vir: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats; Hill in Westbrook, 1997;
 Ghobakhloo in Fathi, 2021)

3.2.3 Predlogi ukrepov in priporočila za optimizacijo

Na podlagi opravljene SWOT analize je mogoče oblikovati ciljno usmerjene ukrepe, ki bodo podjetju omogočili izkoristiti notranje prednosti, zmanjšati vpliv slabosti, izkoristiti priložnosti na trgu ter se proaktivno soočiti z zunanjimi grožnjami (Hill in Westbrook, 1997; Richards, 2021). Ključ do uspeha v sodobnem industrijskem okolju je integracija digitalizacije, avtomatizacije in vitkih pristopov v vsakdanje poslovanje, s čimer se zagotovi visoka konkurenčnost, fleksibilnost in dolgoročna vzdržnost sistema (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Liker, 2020).

Tabela 18: Predlogi ukrepov za optimizacijo skladiščnega in proizvodnega sistema so sistematično zbrani najpomembnejši ukrepi glede na ključna področja izboljšav, opremljeni s strokovnimi priporočili, pričakovanimi učinki in povezanimi tveganji. Tabela omogoča prioritarno načrtovanje implementacije ter učinkovito spremljanje rezultatov.

Področje izboljšav	Predlagan ukrep	Pričakovani učinek	Tveganja/izzivi	Priporočeni viri
Digitalizacija skladišča	Uvedba naprednega WMS (Warehouse Management System)	Boljša sledljivost, manj napak, višja učinkovitost	Strošek uvedbe, izobraževanje zaposlenih	Richards (2021)
Avtomatizacija manipulacije	Investicija v avtomatska transportna sredstva, RFID, IoT	Hitrejši pretok, manj poškodb, nižji stroški dela	Investicijski strošek, integracija s staro opremo	Ghobakhloo in Fathi (2021)
Optimizacija zaloga	Implementacija ABC/XYZ analize, uvedba vitke logistike	Nižje zaloge, boljša likvidnost, manj odpadkov	Zahteva spremembo miselnosti, začetni odpor	Silver et al. (2017), Slack et al. (2020)
Izobraževanje zaposlenih	Redna usposabljanja o vitki proizvodnji, digitalnih orodjih	Višja motivacija, manj napak, višja produktivnost	Strošek časa, potreba po prilagajanju	Liker (2020)
Integracija podatkov	Povezava skladiščnih in proizvodnih IT-sistemov	Hitrejše odločanje, manj ročnih evidenc	Tehnična integracija, varnost podatkov	Waller in Fawcett (2013)

Tabela 18: Predlogi ukrepov za optimizacijo skladiščnega in proizvodnega sistema
(Lasten vir)

Izkušnje iz prakse in literatura potrjujejo, da so najuspešnejša podjetja tista, ki so sposobna hkrati vlagati v tehnologijo, znanje in procese, pri čemer optimizacijo izvajajo postopno in v tesnem sodelovanju z zaposlenimi (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021). Pomembno je, da so ukrepi usklajeni z dolgoročno strategijo podjetja ter da vključujejo tudi spremljanje učinkov in možnost hitrega prilagajanja glede na spremembe na trgu ali v tehnologiji.

Pričakovani rezultati vključujejo:

- znatno povečanje sledljivosti in transparentnosti zaloga,
- zmanjšanje nepotrebnih zaloga in hitrejšo rotacijo materiala,
- boljšo pripravo podjetja na digitalno preobrazbo v smeri Industrije 4.0,
- višjo produktivnost in manj napak v vsakdanjih operacijah,
- krepitev konkurenčnega položaja na trgu.

3.2.4 Proizvodne linije

V sodobnem kovinskopredelovalnem podjetju je razrez polizdelkov s tračnimi žagami ključna operacija, ki pomembno vpliva na produktivnost, stroške in prilagodljivost proizvodnje (Liker, 2020; Slack et al., 2020). Proces je razdeljen na štiri specializirane linije, kar omogoča optimizacijo rezalnih parametrov, zmanjšanje izgub in učinkovito spremljanje obrabe orodij (Bartholdi in Hackman, 2019).

Proizvodnja poteka v treh izmenah, kar zagotavlja 24-urno delovanje, višjo pretočnost ter boljšo izrabo kapacitet. Parametri rezanja so prilagojeni lastnostim materiala, kar vpliva na kakovost reza, trajanje cikla in potrebe po menjavi orodij (Silver et al., 2017).

Glavni izzivi so zagotavljanje sledljivosti, pravočasna menjava orodij in nadzor nad obrabo, saj obrabljena orodja povzročajo večje tolerance in slabšo kakovost (Liker, 2020). Priporočena je digitalizacija nadzora strojev in uporaba kazalnikov OEE za zgodnje zaznavanje odstopanj (Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 19: Tehnične in organizacijske značilnosti proizvodnih linij so sistematično prikazane ključne informacije o posamezni liniji, vključno z razdelitvijo po materialu, vhodnih in izhodnih dimenzijah, cikličnih časih ter načinom pakiranja. Preglednica omogoča neposredno primerjavo kompleksnosti, izrabe časa in stopnje avtomatizacije v različnih segmentih proizvodnje.

Tabela 20: Proizvodni obseg, življenjska doba orodja in časi menjave so prikazani podatki o letnih količinah naročil, pričakovani življenjski dobi orodij za posamezne izdelke ter časih, potrebnih za zamenjavo orodja. Ti podatki so ključni za planiranje vzdrževanja, nabavo rezil in načrtovanje optimalne pretočnosti linij.

Linija	Različica	Material	Dimenzije pred obdelavo	Končni izdelek	Čas obdelave (min)	Pakiranje
1	a1	jeklo 4370	4300 × 2060 × 110 mm	4000 × 2000 × 110 mm	180	Odlaganje na manipulacijska mesta
	b1	jeklo 4370		3900 × 1950 × 110 mm	180	Odlaganje na manipulacijska mesta
	c1	jeklo 4370		3950 × 2000 × 110 mm	180	Odlaganje na manipulacijska mesta
2	a2	Toolox 44	4300 × 2080 × 110 mm	2 kosa 2000 × 2000 × 110 mm	230	Paleta
	b2	Toolox 44		4 kosa 2000 × 1000 × 110 mm	320	Paleta
	c2	Toolox 44		8 kosov 1000 × 1000 × 110 mm	450	Paleta
3	a3	Hardox 450	1750 × 5060 × 20 mm	1700 × 5000 × 20 mm	90	Paleta
	b3	Hardox 450		2 kosa 1700 × 2500 × 20 mm	110	Paleta
	c3	Hardox 450		4 kosa 1700 × 1250 × 20 mm	150	Paleta
	d3	Hardox 450		5 kosov 1700 × 1000 × 20 mm	170	Paleta
4	a4	Hardox 400	fi50 × 5000 mm	25 kosov 200 mm	75	Paleta z okvirjem (250 kos/paleto)
	b4	Hardox 400		50 kosov 100 mm	150	Paleta z okvirjem (250 kos/paleto)

Tabela 19: Tehnične in organizacijske značilnosti proizvodnih linij
(Lastni vir)

Linija	Razli- čica	Letno naročilo (kos)	Življenjska doba orodja (m ² reza / št. re- zov)	Čas menjave orodja (min)
1	a1	500	10 m ²	10
	b1	650		
	c1	850		
2	a2	300	8 m ²	15
	b2	350		
	c2	200		
3	a3	500	6 m ²	15
	b3	680		
	c3	460		
	d3	560		
4	a4	61.000	10.000 rezov	10
	b4	49.000		

*Tabela 20: Proizvodni obseg, življenjska doba orodja in časi menjave
(Lastni vir)*

Pregled razpoložljivih podatkov kaže, da so proizvodne linije prilagojene širokemu spektru materialov in dimenzij, kar povečuje fleksibilnost in možnost hitrega odziva na zahteve trga. Ob tem pa takšna kompleksnost zahteva odlično usklajenost planiranja, redno spremljanje življenjske dobe orodij in učinkovito logistično podporo.

Po najboljših praksah vitke proizvodnje in industrije 4.0 je priporočljivo vpeljati digitalno spremljanje parametrov, samodejno napovedovanje menjave orodij ter povezavo z WMS/MES sistemi, saj to omogoča minimizacijo izgub zaradi zastojev, maksimizacijo pretočnosti in stalno kakovost končnih izdelkov (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021; Slack et al., 2020).

3.3 Trenutna dinamika skladiščenja in proizvodnje

Usklajeno delovanje skladišča in proizvodnje je ključno za učinkovitost podjetja v kovinskopredelovalni industriji (Christopher, 2016; Slack et al., 2020). V obravnavanem podjetju se materiali skladiščijo po 14-dnevnem ciklu, segmentirani glede na vrsto in dimenzije, kar omogoča preglednost in zmanjšuje napake. Kljub temu pa pomanjkanje digitalne sledljivosti predstavlja izziv pri obvladovanju zalog (Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Proizvodnja poteka v treh izmenah na štirih linijah, prilagojenih različnim materialom. Proces vključuje pripravo, razrez, manipulacijo in obravnavo odpadkov. Glavno ozko grlo predstavljajo nastavitveni časi strojev (Shingo, 1985; Muchiri in Pintelon, 2008).

Zaradi fizičnega prepletanja skladišča in proizvodnje ter nepovezanosti informacijskih sistemov je pretočnost pogosto odvisna od izkušenj zaposlenih. Kazalniki, kot je ODI, razkrivajo potencial za optimizacijo, ki vključuje digitalizacijo, avtomatizacijo manipulacije in boljšo povezavo sistemov (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Slack et al., 2020).

Tabela 21: Ključni procesni kazalniki trenutne dinamike skladiščenja in proizvodnje sistematično prikazan pregled glavnih značilnosti procesnih tokov, potencialnih ozkih grl in trenutnih slabosti, ki vplivajo na celotno učinkovitost sistema. Tabela služi kot izhodišče za nadaljnjo poglobljeno analizo in pripravo ukrepov optimizacije.

Procesni korak	Opis dinamike	Ozka grla / izzivi	Trenutni kazalnik učinkovitosti (primer)
Priprava materiala	Skladiščenje po 14-dnevnih ciklih, funkcionalna cona	Nepreglednost pri velikih kosih, ročni vnos podatkov	Povprečni čas priprave: 25 min/serijo
Razrez na linijah	3 izmene, 4 specializirane linije	Nadomestitveni časi (menjave, nastavitve, programi)	Povp. čas menjave: 12–15 min
Pakiranje / manipulacija	Palete, manipulacijska mesta	Ročna manipulacija, čakalne dobe	Povprečni čas pakiranja: 15 min/serijo
Obravnava odpadkov	Ločene cone za odpadke	Razpršene lokacije, dodatni transport	Povprečni čas obravnave: 10 min/serijo
Sledenje in informacijski tokovi	Ročni in osnovni računalniški sistem	Ni vpogleda v realnem času, možnost napak	Skladnost zalog: 95 % (cilj: 99+ %)

Tabela 21: Ključni procesni kazalniki trenutne dinamike skladiščenja in proizvodnje (Lastni vir)

Izpostavljeni kazalniki potrjujejo, da je največji potencial za izboljšavo v avtomatizaciji zbiranja podatkov, skrajševanju nadomestitvenih časov in optimizaciji toka informacij. Sodobne prakse priporočajo digitalno integracijo skladiščnih in proizvodnih procesov ter uporabo realnočasovnih kazalnikov, ki omogočajo hitro ukrepanje in optimizacijo

procesov (Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021). Sistematična analiza trenutnega stanja je osnova za vpeljavo principov vitke proizvodnje in industrije 4.0 v praksi (Slack et al., 2020).

4 METODOLOGIJA ANALIZE

Optimizacija skladiščnega in proizvodnega sistema temelji na kombinaciji kvantitativnih, primerjalnih in klasifikacijskih pristopov (Christopher, 2016; Slack et al., 2020). Za doseganje konkurenčnosti je ključno sistematično merjenje in analiza učinkovitosti z namenom prepoznavanja ozkih grl in podpore odločanju (Muchiri in Pintelon, 2008; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

V raziskavi sta bila v ospredju kazalnika ODI (Obrat družine izdelkov) in NČ (Nadomestitveni čas), ki sta pomembna za oceno pretočnosti in izkoriščenosti kapacitet (Shingo, 1985; Slack et al., 2020). Poleg tega so bile uporabljene klasifikacijske metode (ABC/XYZ analiza) za razvrstitev materialov glede na vrednost, rotacijo in stabilnost povpraševanja (Silver et al., 2017; Richards, 2021). Združevanje kazalnikov, procesne analize in razvrščanja zalog predstavlja celovit pristop, skladen z načeli vitke proizvodnje in digitalne transformacije (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 22: Povzetek uporabljenih metod in kazalnikov analize pregledno prikazana sistematika uporabljenih kvantitativnih in klasifikacijskih metod, njihov glavni namen ter prispevek k analizi učinkovitosti skladiščnega in proizvodnega sistema. Tabela omogoča celovit vpogled v metodološko zasnovo ter povezanost posameznih kazalnikov s cilji naloge.

Metoda / kazalnik	Namen in uporaba	Ključni podatki / formule	Prispevek k optimizaciji
ODI (Obrat družine izdelkov)	Meri učinkovitost proizvodnje in fleksibilnost ob pogostih preklapih	$ODI = (\text{Čas efektivne proizvodnje}) / (\text{Skupni čas z menjavami})$	Prepoznavanje ozkih grl, izboljšanje planiranja
NČ (Nadomestitveni čas)	Analiza in optimizacija časa menjave orodij, nastavitev in programov	$NČ = \sum (\text{Čas nastavitve} + \text{čas menjave} + \text{čas programiranja})$	Znižanje mrtvih časov, višja izkoriščenost
ABC analiza	Razvrstitev materialov glede na vrednost oziroma pomembnost	A: 80 % vrednosti, B: 15 %, C: 5 %	Poudarek na najpomembnejših zalogah
XYZ analiza	Razvrstitev glede na stabilnost povpraševanja	X: stabilno, Y: niha-joče, Z: neredno	Optimizacija zalog, prilagoditev skladiščenja
Klasifikacija družin izdelkov	Skupinsko planiranje in združevanje podobnih procesov	Družine: skupni parametri, podobni postopki	Skrajšanje NČ, izboljšanje toka materiala

Tabela 22: Povzetek uporabljenih metod in kazalnikov analize
(Lastni vir)

4.1 Uporabljeni kazalniki

Kazalnik ODI (Obrat družin izdelkov) je ključen za oceno fleksibilnosti in pretočnosti proizvodnje v okoljih z več serijami. Višje vrednosti ODI pomenijo boljšo izrabo časa, hitrejši odziv na spremembe ter možnost zmanjšanja zalog in izboljšanja konkurenčnosti (Shingo, 1985; Slack et al., 2020).

Nadomestitveni čas (NČ) vključuje vse aktivnosti ob prehodu med serijami – menjave orodij, mehanske prilagoditve in programiranje CNC. Njegova optimizacija je temelj vitke proizvodnje, saj neposredno vpliva na razpoložljivost strojev in skupno učinkovitost (Shingo, 1985; Muchiri in Pintelon, 2008).

ABC analiza omogoča določanje prioritet glede na ekonomsko pomembnost zalog, medtem ko XYZ analiza temelji na stabilnosti povpraševanja. Skupaj podjetju omogočata boljše upravljanje zalog, zmanjšanje tveganj in optimizacijo skladiščenja (Silver et al., 2017; Richards, 2021).

Razvrstitev izdelkov v družine temelji na podobnosti tehnoloških postopkov in omogoča racionalnejše planiranje ter zmanjšanje nastavitvev in nadomestitvenih časov (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Uporaba teh metod in kazalnikov nudi trdno osnovo za optimizacijo procesov ter podporo odločanju v skladu z načeli vitke proizvodnje in industrije 4.0 (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Muchiri in Pintelon, 2008).

4.2 Uporaba ABC in XYZ razvrstitve

V sodobnih proizvodnih sistemih je učinkovito upravljanje zalog ključno za znižanje stroškov, izboljšanje pretočnosti in stabilnost procesov (Silver et al., 2017; Richards, 2021). Zaradi omejenih skladiščnih zmogljivosti je nujno razvrščanje materialov glede na ekonomski pomen in dinamiko porabe (Slack et al., 2020).

ABC analiza temelji na Pareto načelu, po katerem manjši delež artiklov predstavlja večji delež porabe ali vrednosti:

- A artikli: visoka vrednost/poraba – zahtevajo strogo kontrolo in natančno planiranje,
- B artikli: srednje pomembni – omogočajo večjo fleksibilnost,
- C artikli: nizka vrednost – primerni za centralno skladiščenje in večje serije.

XYZ analiza pa razvršča artikle glede na stabilnost porabe:

- X artikli: enakomerna, predvidljiva poraba,
- Y artikli: zmerna sezonskost ali nihanja,
- Z artikli: nepredvidljiva, neredna poraba.

Kombinacija ABC/XYZ omogoča ciljno oblikovanje skladiščnih strategij, kot so:

- umestitev A-X artiklov bližje linijam,
- centralizacija C-Z artiklov,
- zmanjšanje presežnih zalog in odpisov,
- večja odzivnost na spremembe v povpraševanju (Slack et al., 2020; Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 23: Primer združene ABC in XYZ razvrstitve materialov/izdelkov prikazana sistematična razvrstitev artiklov v podjetju na podlagi letne porabe in stabilnosti porabe. Tabela omogoča takojšno identifikacijo prioriteten skupin za skladiščenje, naročanje in spremljanje zalog.

Material / Izdelek	Letna poraba / vrednost	Variabilnost porabe	ABC kategorija	XYZ kategorija	Priporočena skladiščna strategija
Jeklo 4370 palica	Visoka	Stabilna	A	X	Blizu proizvodnih linij, minimalne zaloge
Toolox 44 plošča	Srednja	Zmerna variabilnost	B	Y	Redne kontrole, srednje varnostne zaloge
Hardox 450 plošča	Nizka	Nestabilna	C	Z	Centralno skladiščenje, naročanje po potrebi
Vijaki, podložke	Srednja	Stabilna	B	X	Lokalno skladiščenje, serijsko naročanje
Pakirna folija	Nizka	Zmerna variabilnost	C	Y	Občasno naročanje, večje serije

Tabela 23: Primer združene ABC in XYZ razvrstitve materialov/izdelkov
(Lasten vir)

A-X materiali predstavljajo temelj za zagotavljanje nemotene proizvodnje in jih je treba stalno spremljati, medtem ko C-Z artikle podjetje lahko optimizira tako, da znižuje zaloge in zmanjša število manipulacij ter potencialnih izgub zaradi zastarelosti (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

4.3 Določitev skladiščnih potreb na podlagi porabe in intervala skladiščenja

V industrijskih okoljih z omejenimi skladiščnimi kapacitetami in več proizvodnimi linijami je natančna določitev skladiščnih potreb ključna za zagotavljanje pretočnosti in preprečevanje izpadov (Richards, 2021; Silver et al., 2017). Analiza optimalnih zalog mora združevati podatke o dejanski porabi, dimenzijah materialov, pogostosti uporabe ter logističnih in prostorskih omejitvah (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

V raziskavi je bila uporabljena integrirana metoda, ki povezuje:

- letno in mesečno porabo materialov,
- vrednost kazalnika ODI,
- pogostost naročil,
- ter skladiščne omejitve po conah.

Na tej osnovi je za vsak material določen optimalen interval skladiščenja, ki uravnava zalogo glede na potrebe in zmanjšuje presežke (Silver et al., 2017).

Ključni dejavniki vključujejo:

- povprečno in maksimalno porabo,
- prostorsko zahtevnost (masa/dimenzije),
- pogostost obdelave,
- zanesljivost dobav in manipulativnost,
- razpoložljivo skladiščno površino.

Za ključne materiale je določena minimalna in maksimalna zaloga ter predlagano skladiščno mesto – bližina linij za hitro rotirajoče artikle ali centralno skladišče za občasne (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021). Tak pristop omogoča sprotno prilagajanje zalog glede na sezonskost, proizvodni načrt in spremembe v dobavni verigi.

Tabela 24: Optimalna skladiščna količina, interval in mesto za ključne materiale prikazan sistematičen pregled analize porabe, skladiščnih potreb in predlog optimalnih skladiščnih lokacij za izbrane materiale glede na njihovo rotacijo, dimenzije in pomen v procesu.

Mate- rial / Iz- delek	Povp. me- sečna po- raba	ODI / Fre- kvenca obde- lave	Do- bavni rok	Fizične dimen- zije (mm)	Priporo- čena min/maks zaloga	Priporo- čeni in- terval skladi- ščenja	Predla- gana skla- diščna lokacija
Jeklo 4370, plošča	12 t	Visok	3 dni	4300×2060×110	2 t / 8 t	7 dni	Neposre- dno ob li- niji 1
Toolox 44, plo- šča	8 t	Srednji	5 dni	4300×2080×110	1 t / 5 t	10 dni	Skladi- šče B (paletno)
Hardox 450, plošča	5 t	Nizek	7 dni	1750×5060×20	1 t / 3 t	14 dni	Cen- tralno skladišče C
Vijaki, pod- ložke	0,3 t	Visok	2 dni	-	0,1 t / 0,5 t	7 dni	Linjsko skladišče (blizu po- rabe)
Pakirna folija	0,1 t	Srednji	7 dni	-	0,05 t / 0,3 t	14 dni	Skladi- šče B

Tabela 24: Optimalna skladiščna količina, interval in mesto za ključne materiale
(Lastni vir)

Takšen integrirani pristop omogoča podjetju natančno uravnavanje skladiščnih rezerv: visoko rotirajoči materiali z majhnimi dobavnimi roki so vedno na razpolago v bližini linij, materiali z nižjo frekvenco ali obsežnimi dimenzijami pa so locirani v centralnih skladiščih, kjer zavzamejo najmanj dragocenega operativnega prostora (Richards, 2021; Slack et al., 2020). S stalnim spremljanjem ODI, porabe in dinamike naročil se zmanjšuje vezava kapitala v zalogah, obenem pa se bistveno zmanjša tveganje izpadov v proizvodnji zaradi pomanjkanja materialov.

Pri tem je ključnega pomena uporaba sodobnih informacijskih orodij (WMS, digitalna sledenja zalogam), ki omogočajo avtomatizacijo popisov, opozarjanje na presežke ali manjkajoče materiale ter dinamično optimizacijo skladiščnih lokacij (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021).

5 IZRAČUNI ZA POSAMEZNE PROIZVODNE LINIJE

Natančna kvantitativna analiza ključnih kazalnikov učinkovitosti na ravni posameznih proizvodnih linij predstavlja temelj za razumevanje realne izrabe kapacitet, prepoznavanje ozkih grl in načrtovanje ukrepov za optimizacijo procesov (Muchiri in Pintelon, 2008; Slack et al., 2020). V industriji razreza kovin, kjer je obseg menjav orodij, nastavitev strojev in programskih sprememb visok, se lahko izgube hitro akumulirajo in pomembno znižajo celotno produktivnost. Zato je sistematično spremljanje OEE (Overall Equipment Effectiveness), NČ (nadomestitveni čas) in ODI (Obrat družin izdelkov) ključno za strateško in operativno vodenje proizvodnje (Shingo, 1985; Silver et al., 2017).

Analiza v tem poglavju zajema več stopenj izračunov:

- Najprej je na podlagi letnih podatkov o izmetu in naročilih izračunano število dobrih kosov,
- nato je izračunan povprečni čas cikla ter na njegovi osnovi izračunan OEE za vsako linijo,
- sledijo izračuni nadomestitvenega časa, pri čemer so poleg menjave orodij upoštevani tudi časi za vnos programov,
- v zaključku pa so določeni ODI kazalniki in podana interpretacija rezultatov v kontekstu optimizacije proizvodnih kapacitet (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021).

Takšna metodologija je skladna z najboljšimi praksami sodobne proizvodne organizacije, kjer je transparentnost kazalnikov osnova za odločanje, digitalizacija procesov pa ključna za zmanjšanje izgub in povečanje odzivnosti na potrebe trga (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 25: Analitični izračun ključnih kazalnikov po proizvodnih linijah so sistematično prikazani podatki in izračuni za OEE, število dobrih kosov, nadomestitvene čase (NČ) in ODI kazalnik za posamezno linijo. Tabela omogoča neposredno primerjavo med linijami in identifikacijo prioritetnih področij za optimizacijo.

Linija	1	2	3	4
Lanski izmet (%)	2	3,34	4,1	2,9
Povp. čas cikla (min)	180	333	130	3
Letno naročilo (kos)	2 000	850	2 200	110 000
Dobri kosi	1 960	821	2 109	106 810
OEE (%)	94	73	73	85
Št. menjav orodja	130	140	73	386
Čas menjave orodja (min)	10	15	15	10
Št. menjav izdelka	2 000	850	2 200	/
Čas menjav izdelka	5	5	5	/
Skupni NČ (min)	11 300	6 350	12 095	3 860
Razpoložljiv čas (min)	351 936	273 312	273 312	318 240
Potreben čas (min)	360 000	283 050	286 000	330 000
ODI	0,98	0,97	0,96	0,97

*Tabela 25: Analitični izračun ključnih kazalnikov po proizvodnih linijah
(Lastni vir)*

- Skupni nadomestitveni čas (NČ) = (število menjav orodja × čas menjave) + (število menjav izdelka × čas menjave) + (skupni čas za pripravo programov)
- OEE = razmerje med načrtovanim produktivnim časom in skupnim razpoložljivim časom, upošteva tudi izmet in zastoje (Muchiri in Pintelon, 2008).

Rezultati izračuna jasno kažejo, da so vsi kazalniki ODI pod vrednostjo 1, kar pomeni, da proizvodni obrati niso optimalno izkoriščeni, predvsem zaradi pogostih in zamudnih menjav orodij in izdelkov. To povzroča zastoje, zmanjšuje razpoložljivost linij za učinkovito proizvodnjo ter posledično viša stroške (Slack et al., 2020).

Za izboljšanje produktivnosti priporočamo naslednje (Shingo, 1985; Ghobakhloo in Fathi, 2021):

1. Združevanje izdelkov v družine: Izdelke z enakimi ali podobnimi nastavitvami strojev je smiselno planirati v zaporednih serijah, kar zmanjša število prekopov.
2. Optimizacija planiranja proizvodnje: Z uporabo metod planiranja, ki minimizirajo število menjav (npr. sekvenciranje po podobnosti), zmanjšamo NČ in povečamo OEE.
3. Implementacija SMED: Uvedba sistemov za hitro menjavo orodij (Single-Minute Exchange of Die) dokazano bistveno zmanjša zastoje zaradi pripravljalnih aktivnosti (Shingo, 1985).

4. Digitalizacija in informacijska podpora: Uporaba MES in naprednih planerskih orodij za spremljanje porabe, načrtovanje in analiziranje kazalnikov omogoča večjo preglednost, prožnost in hitrejšo odzivanje.

Učinkovita implementacija teh ukrepov vodi v nižje operativne stroške, večjo konkurenčnost in boljšo sposobnost podjetja za odzivanje na zahteve trga v realnem času (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021).

5.1 Podrobnejša interpretacija rezultatov in razdelava ukrepov

Podrobnejša analiza kazalnikov v tabeli 25 razkriva, da je glavni razlog za $ODI < 1$ prekomerna pogostost in dolgotrajnost menjav orodij ter nastavitev, zlasti na linijah z večjim številom izdelčnih variant. Kumulativni nadomestitveni čas (NČ) predstavlja pomemben delež skupnega razpoložljivega časa, kar neposredno vpliva na OEE in na pretočnost proizvodnih linij (Muchiri in Pintelon, 2008).

5.1.1 Primerjalna analiza po linijah

- Linija 1 izkazuje najvišjo vrednost OEE (0,94) in hkrati najmanjši lanski izmet, kar kaže na visoko stabilnost in zanesljivost procesa. Kljub temu skupni NČ dosega kar 11.300 minut letno, večina tega časa pa je posledica velikega števila menjav izdelkov.
- Linija 2 ima nekoliko nižji OEE (0,73), predvsem zaradi višjega izmeta in nekoliko večjega števila menjav orodij, kar posledično podaljšuje skupni NČ.
- Linija 3 kljub visoki letni proizvodnji in zmernemu OEE beleži kar 12.095 minut skupnega NČ, največji delež pa odpade na menjave izdelkov, kar potrjuje pomen sekvenciranja po podobnosti.
- Linija 4 je značilna po največjem letnem naročilu, zelo nizkem povprečnem času cikla in najnižjem skupnem NČ (3.860 min), kar je posledica zanemarljive potrebe po menjavah izdelkov – ta linija je tipičen primer procesa, kjer serijska ponovljivost in stabilnost omogočata maksimalno pretočnost.

5.1.2 Priporočila za izboljšanje kazalnikov (ODI, OEE, NČ)

1. Sekvenciranje po podobnosti in združevanje v družine izdelkov
 - Uporabiti algoritme za optimizacijo zaporedja izdelave (npr. Johnsonov algoritem za minimalizacijo menjav, genetski algoritmi) ter načrtovanje družin izdelkov, ki zmanjšujejo število sprememb nastavitvev (Slack et al., 2020; Silver et al., 2017).
 - Predlagana praksa je, da se skupine izdelkov z enakimi ali zelo podobnimi dimenzijami, materiali in zahtevami planirajo skupaj, kar občutno zmanjša mrtev čas.

2. SMED in digitalizacija priprave

Uvedba sistema SMED (Single-Minute Exchange of Die) je uveljavljena metoda za skrajševanje časa menjave orodij na enomestno število minut (Shingo, 1985). To vključuje:

- pripravo orodij zunaj linije,
- uporabo vnaprej pripravljenih orodnih kompletov,
- digitalne kontrolne sezname in podporo pri programiranju strojev,
- sprotno spremljanje in analizo razlogov za prekinitve (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

3. Avtomatizacija vnosov CNC programov

Vpeljava avtomatskih prenosov programskih podatkov (preko MES ali digitalnih vmesnikov) zmanjšuje potreben čas za ročno nastavitve in odpravlja možnost napak.

4. Spremljanje in optimizacija izmeta

Dodatno analizirati vzroke izmeta (npr. z metodo Pareto, FMEA) in vlagati v usposabljanje operaterjev, kakovost vhodnih materialov ter preventivno vzdrževanje (Muchiri in Pintelon, 2008).

Tabela 26: Vpliv ukrepov za optimizacijo na ključne kazalnike je prikazan pričakovani vpliv posameznih optimizacijskih ukrepov na OEE, ODI in nadomestitveni čas v primeru implementacije v analiziranih proizvodnih linijah. Tabela omogoča oceno potenciala za izboljšanje produktivnosti in izkoriščenosti.

Ukrep / Linija	Pričakovano izboljšanje OEE (%)	Znižanje skupnega NČ (%)	Povečanje ODI (%)	Dodatni učinki
Združevanje v družine (1–3)	+3 do +6	–20 do –40	+2 do +5	Manj zastojev, večja pretočnost
Sekvenciranje po podobnosti	+2 do +5	–15 do –30	+2 do +4	Lažje planiranje, manj napak
Implementacija SMED	+5 do +15	–30 do –60	+4 do +8	Hitrejši preklopi, nižji stroški
Digitalizacija CNC vnosov	+2 do +4	–10 do –20	+1 do +2	Nižja možnost napak, večja sledljivost
Spremljanje in zmanjševanje izmeta	+1 do +3	–	+1 do +2	Več dobrih kosov, manj reklamacij

Tabela 26: Vpliv ukrepov za optimizacijo na ključne kazalnike
(Lastni vir)

Celovit pristop k analizi in optimizaciji proizvodnih linij omogoča podjetju ne le kratkoročno izboljšanje učinkovitosti, temveč tudi dolgoročno odpornost in prilagodljivost na tržne spremembe. Ključ do uspeha je stalno spremljanje kazalnikov (OEE, ODI, NČ), hitro uvajanje izboljšav in uporaba naprednih digitalnih orodij za planiranje, spremljanje ter analiziranje vseh procesov v realnem času (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021).

Implementacija predlaganih ukrepov lahko pripelje do:

- Zmanjšanja mrtvih časov tudi do 50 %,
- Dvig produktivnosti in razpoložljivosti linij,
- Večje fleksibilnosti in odzivnosti na naročila,
- Višje kakovosti izdelkov in manj izmeta,
- Nižjih operativnih stroškov.

5.2 Praktična implementacija priporočil in spremljanje učinkov

1. Združevanje izdelkov v proizvodne družine

Za podjetje, ki se sooča z velikim številom menjav orodja in nastavitev, je najbolj neposreden in učinkovit ukrep razvrstitev izdelkov v proizvodne družine po principu skupnih tehnoloških zahtev, materialov ali geometrijskih značilnosti. V praksi to pomeni, da se proizvodni program razdeli na jasno določene družine (npr. vsi izdelki iz Hardox 400 z enako debelino in širino), ki jih nato v proizvodnji izvajamo zaporedno. Koristi:

- znatno manjše število nastavitev,
- boljša izraba OEE,
- nižje tveganje napak pri programiranju in nastavitvah,
- povečana pretočnost linij (Slack et al., 2020; Silver et al., 2017).

2. Sekvenciranje in dinamično planiranje proizvodnje

Uporaba naprednih planerskih algoritmov, ki za vsak planirani teden ali izmeno določijo optimalni vrstni red izdelave znotraj družin, pripomore k dodatnemu znižanju števila menjav. Priporočena je uporaba digitalnih orodij (npr. APS – Advanced Planning and Scheduling), ki lahko avtomatizirajo ta proces na podlagi podatkov o aktualnih zalogah, stanju strojev in prioritetah naročil (Richards, 2021).

3. SMED- sistem hitrih menjav

Praktična implementacija SMED vključuje več faz:

- Ločevanje notranjih in zunanjih nastavitev (vse, kar je mogoče pripraviti, ko stroj še obratuje, pripravimo vnaprej),
- Standardizacija orodij, nastavkov in programov,
- Izdelava vizualnih navodil in digitaliziranih kontrolnih seznamov, redno merjenje časov menjav in sprotno izboljševanje s pomočjo Kaizen pristopa (Shingo, 1985).

Vpliv: SMED prinaša tudi do 60 % znižanje nadomestitvenega časa, kar neposredno poveča razpoložljivost strojev in OEE (Muchiri in Pintelon, 2008).

4. Digitalizacija in informacijska podpora

Napredne rešitve, kot so MES sistemi (Manufacturing Execution System), omogočajo sprotno spremljanje kazalnikov (OEE, NČ, ODI), opozarjanje na prekoračitve in avtomatsko generiranje optimalnih planov. Hkrati omogočajo transparentno sledenje vsakemu izdelku, spremembam programov in morebitnim izpadom ali napakam (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

5. Sistematično spremljanje in revizija ukrepov

Priporočljivo je uvedbo rednih mesečnih ali kvartalnih analiz doseženih rezultatov:

- spremljanje ključnih kazalnikov (OEE, ODI, NČ, izmet),
- izvajanje primerjalnih analiz pred/po implementaciji ukrepov,
- vključevanje operaterjev v pobude za izboljšanje (Kaizen teami),
- prilagajanje planiranja in ukrepov glede na dejansko dosežene izboljšave.

Tabeli 27 je prikazana shema implementacije ukrepov in kazalnikov spremljanja je prikazan sistematičen načrt izvajanja ukrepov in kazalnikov, ki jih je priporočljivo spremljati za dolgoročno vzdržno optimizacijo proizvodnih linij.

Ukrep	Faza implementacije	Glavni kazalniki spremljanja	Periodika spremljanja	Orodja / pristop
Združevanje v družine	1. teden	Št. menjav, ODI, OEE	Tedensko	Planerska orodja, APS
Sekvenciranje po podobnosti	2. teden	Skupni NČ, število izrednih menjav	Tedensko	APS, digitalno planiranje
SMED	1–3 mesec	Povprečen čas menjave, OEE	Mesečno	SMED tim, digitalna analiza časa
Digitalizacija vnosov CNC	1 mesec	Čas za vnos programa, napake	Dnevno	MES, CNC vmesniki
Spremljanje izmeta	1 teden	Stopnja izmeta, število napak	Tedensko	Kakovostna poročila, MES
Kaizen delavnice	1–6 mesec	Povprečno trajanje izboljšav, predlogi	Mesečno	Delavnice, digitalni predlogi

Tabela 27: Shema implementacije ukrepov in kazalnikov spremljanja
(Lastni vir)

Implementacija opisanih ukrepov vodi v ustvarjanje celostnega sistema nenehnega izboljševanja (Continuous Improvement) – tako na tehnični kot organizacijski ravni. Podjetje postane bolj odporno na nihanja v povpraševanju, lažje absorbira kompleksnost ponudbe in hitreje uvaja inovacije v proizvodnji.

Ključne dolgoročne koristi:

- Do 50 % krajši mrtvi časi in zaustavitve,
- 10–20 % večja produktivnost,
- Manj reklamacij in višja kakovost,
- Bolj motivirani operaterji zaradi večje vključenosti in jasnih ciljev,
- Možnost hitre širitve na nove produkte ali trge zaradi bolj fleksibilnega planiranja.

6 OPTIMIZACIJA SKLADIŠČNEGA SISTEMA

V sodobnem proizvodnem podjetju predstavlja učinkovita organizacija skladišča temelj za zagotavljanje pretočnosti materialov, zmanjšanje operativnih stroškov in nemoten tok proizvodnje od vhoda surovin do končnih izdelkov. Neoptimizirano skladišče vodi do nepotrebnih manipulacij, zastojev, večje porabe prostora ter povečanega tveganja za napake in poškodbe materialov (Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Optimalna skladiščna zasnova zato izhaja iz analitične razvrstitve izdelkov glede na frekvenco in količino premikov, kar je osnovni princip tudi v najnaprednejših sistemih vitke logistike in digitalizirane proizvodnje (Slack et al., 2020; Silver et al., 2017).

Predhodne analize v podjetju X (kazalniki ODI, NČ, izračuni skladiščne obremenitve) so jasno pokazale, da je za doseganje višje pretočnosti nujno:

- identificirati izdelke z najvišjo frekvenco premikov,
- prilagoditi skladiščne cone glede na dinamiko naročil in proizvodnih serij,
- in vpeljati digitalno podprte procese za spremljanje skladiščnih tokov (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

V nadaljevanju se osredotočamo na razvrstitev izdelkov po frekvenci letnih naročil, ki je neposredno povezana z dinamiko skladiščnih manipulacij, načrtovanjem skladiščnega layouta in optimizacijo delovnih tokov. Takšna analiza je ključna za smiselno uporabo principov ABC in XYZ analize v skladišču – najpogosteje uporabljeni in najbolj kritični materiali morajo biti locirani najbližje točkam prevzema, obdelave ali izdaje, medtem ko artikli z nižjo frekvenco premikov zasedajo manj dostopne, bolj oddaljene cone (Richards, 2021).

Tabeli 28: Razvrstitev izdelkov po frekvenci letnih naročil in predlog skladiščnih con je prikazana sistematična razporeditev vseh variant izdelkov po posameznih linijah glede na letno količino naročil. Na tej osnovi je mogoče oblikovati optimizirano skladiščno postavitve, ki temelji na realnih potrebah proizvodnje.

Linija	Razli-čica	Letno naročilo (kos)	Fre-kvenca (A/B/C)	Priporočena skladiščna cona	Ključni razlog za lokacijo
1	a1	500	B	Regali B (pa-letno skladišče)	Srednje pogo-sta, lažji do-stop
	b1	650	B	Regali B (pa-letno skladišče)	Srednje pogo-sta, bližina li-nije 1
	c1	850	B/A	Regali B ali li-nijsko skladišče	Pogosta, pripo-ročljivo bližje proizvodnji
2	a2	300	C	Regali B ali centralno skla-dišče	Nižja fre-kvenca, večje količine
	b2	350	C	Regali B ali centralno skla-dišče	Nižja fre-kvenca, večje količine
	c2	200	C	Regali C (odprti prostor)	Nizka pogo-stost, velikost
3	a3	500	B	Regali B (pa-letno skladišče)	Srednja pogo-stost, bližina li-nije 3
	b3	680	B	Regali B	Pogosta mani-pulacija
	c3	460	C	Regali B ali C	Manj pogosta, prostorska optimizacija
	d3	560	B	Regali B	Srednja pogo-stost, opti-malna dostop-nost
4	a4	61 000	A	Regali A (blizu linije 4, hitro iz-daja)	Zelo visoka fre-kvenca, maksi-malna pretoč-nost
	b4	49 000	A	Regali A ali ločeno linijsko skladišče	Zelo visoka fre-kvenca, stalno v obtoku

Tabela 28: Razvrstitev izdelkov po frekvenci letnih naročil in predlog skladiščnih con
(Lastni vir)

Analiza jasno pokaže, da morajo izdelki z najvišjimi letnimi količinami in pogostimi manipulacijami (A kategorija, npr. a4 in b4 iz linije 4) zavzeti najbolj dostopne skladiščne cone, neposredno povezane s proizvodnimi linijami ali odpremnimi mesti (Slack et al., 2020; Richards, 2021).

Srednje frekventni izdelki (B kategorija) so locirani na paletnih ali univerzalnih regalih, kjer je omogočen hiter dostop, hkrati pa ne zasedajo najdragocenejših mest. Izdelki z najnižjo frekvenco (C kategorija) so locirani v oddaljenih ali manj dostopnih conah, kjer ne ovirajo pretoka kritičnih materialov, a še vedno omogočajo optimalno manipulacijo občasnih potreb.

Takšno razporejanje je standard v najboljših praksah skladiščne logistike in bistven element lean filozofije ter digitalno podprte proizvodnje (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

6.1.1 ABC analiza – razvrstitev po količinski pomembnosti

ABC analiza je ena temeljnih metod za optimizacijo zalog, skladiščne logistike in razporejanja virov v proizvodnih podjetjih. Temelji na Pareto principu (pravilo 80/20), ki pravi, da običajno manjši delež artiklov predstavlja večino skupne porabe, prometa ali vrednosti – in zahteva največ pozornosti v operativnem vodenju (Silver, Pyke, in Thomas, 2017; Richards, 2021).

Z ABC analizo izdelke razdelimo v tri skupine glede na letno količino oziroma pogostost naročanja:

- Skupina A: ključno pomembni artikli z najvišjo letno porabo, pogosto predstavljajo okoli 80 % vseh izdanih kosov, čeprav je število artiklov v tej skupini nizko (praviloma 10–20 % vseh artiklov). Ti izdelki morajo biti locirani na najbolj dostopnih mestih, v neposredni bližini izdajnih ali proizvodnih con, saj omogočajo najhitrejši pretok, zmanjšujejo potrebo po manipulaciji in bistveno zmanjšujejo mrtve čase pri prevzemu materialov (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).
- Skupina B: artikli srednjega pomena, običajno okoli 15 % letne količine, pogosto zasedajo sredinska ali pol-dostopna mesta v skladišču. Zanje velja uravnotežen pristop: skladiščijo se v osrednjih regalnih conah, kjer je omogočen dokaj hiter, a ne nujno prioriteten dostop.
- Skupina C: artikli z najnižjo letno porabo ali najmanjšo frekvenco premikov. Pogosto predstavljajo večino vseh artiklov po številu, a le majhen delež vseh premikov (tipično do 5 % letnega obsega). Zanje je značilna centralizirana ali bolj oddaljena postavitev, na višjih ali manj dostopnih delih skladišča, saj pretirano pogosto rokovanje z njimi ni potrebno (Richards, 2021; Silver et al., 2017).

Tako strukturirano skladiščenje je standardna praksa v naprednih logističnih sistemih, saj omogoča racionalizacijo poti, boljši izkoristek skladiščne površine in nižje operativne stroške. Digitalizacija ABC analize omogoča tudi sprotno prilagajanje razvrstitve na podlagi aktualnih podatkov (Waller in Fawcett, 2013).

Tabela 29: razvrstitev izdelkov po ABC analizi in predlog optimalne skladiščne postavitve je prikazana kategorizacija vseh analiziranih variant izdelkov po letni količinski pomembnosti. Na tej osnovi so podana tudi priporočila za njihovo optimalno skladiščno lokacijo v podjetju X.

Skupina	Izdelek (različica)	Letno naročilo (kos)	Delež skupnega letnega obsega (%)	Priporočena skladiščna lokacija	Argumentacija skladiščne strategije
A	a4	61.000	49	Linija 4, regal A (bližina)	Ekstremno visoka frekvenca, minimalen mrtvi čas
	b4	49.000	39	Linija 4, regal A (bližina)	Ekstremno visoka frekvenca, hitro obnavljanje zalog
B	c1	850	0,7	Regal B, sredinsko	Srednja frekvenca, pogosto premeščanje
	b3	680	0,5	Regal B	Pogosta manipulacija, dostopnost pomembna
	b1	650	0,5	Regal B	Srednja frekvenca, linija 1
	d3	560	0,4	Regal B	Srednja pogostost, manipulacija potrebna
C	a1	500	0,4	Višji regali, zadnja cona	Manjša rotacija, nižja prioriteta dostopnost
	a3	500	0,4	Višji regali, zadnja cona	Manjša rotacija, oddaljeno od hitrih tokov
	b2	350	0,3	Regal C ali centralno skladišče	Nizka pogostost, prostorska racionalizacija
	a2	300	0,2	Regal C ali centralno skladišče	Nizka pogostost, možnost združevanja z drugimi C artikli
	c2	200	0,2	Regal C ali visoki regali	Najmanjša frekvenca, zadnja cona
	c3	460	0,4	Regal C ali visoki regali	Nižja frekvenca, manipulacija redka

Tabela 29: Razvrstitev izdelkov po ABC analizi in predlog optimalne skladiščne postavitve
(Lastni vir)

Tabela izkazuje, da dva izdelka skupine A (a4, b4) predstavljata skupaj skoraj 90 % vseh letnih kosov – nujno je, da sta locirana na najbolj dostopnih in pretočnih mestih

v skladišču, z možnostjo neposredne manipulacije na proizvodne linije (Slack et al., 2020).

Skupina B zahteva kompromis med dostopnostjo in izrabo prostora – ti izdelki so pogosto v obtoku, a ne toliko, da bi upravičili najdražja skladiščna mesta.

Skupina C naj zaseda bolj oddaljene ali višje regale, saj njihova nižja rotacija omogoča racionalizacijo poti in prostora, hkrati pa zmanjšuje možnost napak pri rokovanju in olajša popis zalog (Richards, 2021; Silver et al., 2017).

Takšna razvrstitev je v skladu z najboljšimi praksami vitke logistike, digitalno podprtega skladiščenja in je uveljavljena v vodilnih industrijskih okoljih (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

6.1.2 Prostorska optimizacija skladišča na podlagi ABC analize

Implementacija rezultatov ABC analize v realni skladiščni prostor pomeni, da razporeditev artiklov neposredno izhaja iz njihovega pomena za pretočnost in stroškovno učinkovitost proizvodnje (Richards, 2021).

Sodobna skladišča uporabljajo načela »zoniranja« (zone picking), pri katerem so materiali razporejeni po območjih glede na njihovo pripadnost A, B ali C skupini. S tem dosežemo:

- Krajše poti komisioniranja za najbolj uporabljane izdelke,
- nižje stroške manipulacije in transporta,
- manjše zastoje na skladiščnih poteh,
- lažje digitalno sledenje materialom (IoT, WMS sistemi).

Vpliv pravilne razporeditve je še bolj izrazit v okoljih z veliko artikli in hitrimi cikli – kot je to v proizvodnji kovinskih izdelkov in polizdelkov. Digitalna orodja omogočajo dinamično prilagajanje cone posameznega artikla glede na dejansko porabo ali sezone spremembe (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Waller in Fawcett, 2013).

Za uspešno implementacijo je priporočljivo določiti jasne prostorske cone v skladišču (npr. A-cona, B-cona, C-cona), ki se ujemajo z analizo, ter razviti politike in navodila za razporeditev in premike artiklov ob spremembi kategorije (Slack et al., 2020).

Tabela 30: Priporočene prostorske cone skladišča glede na ABC razvrstitev je prikazan model, kako je mogoče na podlagi analize določiti optimalno skladiščno cono za vsako skupino artiklov, s praktičnimi navodili za izvajanje in uporabo digitalne podpore.

ABC skupina	Priporočena cona skladišča	Način manipulacije	Digitalna podpora	Pogostost revizije lokacije	Primer artikla
A	A-cona (najbližje vходу/izdaji, nizki regali, večji prehodi)	Hitri dostop, električni viličarji, ročno pobiranje	WMS z IoT, RFID za sprotno sledenje	Tedensko	a4, b4
B	B-cona (sredinski regali, večja gostota)	Kombinacija viličarjev in ročnega pobiranja	WMS, barkode	Mesečno	c1, b3, d3, b1
C	C-cona (višji, oddaljeni regali, centralno skladišče)	Redki premiki, predvsem viličarji	Osnovno WMS, ročni popisi	Kvartalno	a1, a3, a2, b2, c2, c3

Tabela 30: Priporočene prostorske cone skladišča glede na ABC razvrstitev
(Lastni vir)

Priročnost A-cone je ključnega pomena za zagotavljanje nemotenega toka materialov do proizvodnih linij z najvišjim obratom (Slack et al., 2020). Uporaba sodobnih Warehouse Management System (WMS) in IoT rešitev omogoča samodejno identifikacijo premikov in opozarjanje ob potrebi po relokaciji, kadar se zaradi sezonskih sprememb spremeni status artikla v ABC analizi (Waller in Fawcett, 2013).

B-cona predstavlja kompromis med dostopnostjo in gostoto skladiščenja – tu je ključno učinkovito planiranje in določitev prioritet v delovnih tokovih.

C-cona omogoča največji izkoristek prostora za artikle z nizko rotacijo, kjer je ključna ekonomičnost skladiščenja in minimizacija nepotrebnih premikov.

Učinkovitost tega pristopa potrjujejo številne empirične študije, ki kažejo na znižanje povprečnega časa komisioniranja do 40 %, boljšo transparentnost zalog in nižjo pojavnost napak v primerjavi s tradicionalnimi, nestrukturiranimi skladišči (Richards, 2021; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

6.1.3 XYZ analiza – razvrstitev po predvidljivosti porabe

Čeprav ABC analiza ponuja vpogled v pomembnost izdelkov glede na količino ali vrednost, sama po sebi ne upošteva stabilnosti povpraševanja. Prav tu se uveljavlja XYZ analiza, ki temelji na stopnji predvidljivosti ali variabilnosti porabe. Gre za uveljavljeno metodologijo v logistiki, ki omogoča podjetjem boljšo prilagoditev strategije naročanja

in skladiščenja raznolikosti realnega povpraševanja (Silver, Pyke, in Thomas, 2017; Richards, 2021).

X skupina zajema artikle z zelo stabilno in predvidljivo porabo oziroma rednimi naročili skozi leto. Zanje je optimalno vzdrževati stalne (ali minimalne) zaloge, omogoča se uvedba principa Just-In-Time (JIT), saj je tveganje zalog izredno nizko (Slack et al., 2020).

Y skupina predstavlja izdelke z zmerno variabilnim povpraševanjem, kjer prihaja do sezonskih ali periodičnih nihanj. Za te je priporočljivo oblikovati **varnostne zaloge** (safety stock), ki preprečujejo izpade v obdobjih konic ali nepredvidenih naročil.

Z skupina vključuje artikle z nerednim, nestabilnim povpraševanjem, pogosto vezanim na projektno ali specifično naročanje. Za to skupino je najbolj ekonomičen pristop naročanje po dejanski potrebi oziroma »make-to-order«, kjer se zaloge minimizirajo ali jih celo ni (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Kombinacija ABC in XYZ analize omogoča celovito sliko – ne le, kateri izdelki so količinsko pomembni, ampak tudi, kako predvidljivo je njihovo povpraševanje. S tem podjetje zgradi bolj robustno in prilagodljivo strategijo upravljanja skladišča, zmanjšuje vezavo kapitala v zalogah in minimizira operativna tveganja (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Tabela 31: Razvrstitev izdelkov po XYZ analizi in priporočila za upravljanje zalog je prikazana kategorizacija ključnih artiklov glede na stabilnost povpraševanja. Na tej osnovi so oblikovana priporočila za način vodenja zalog, pristop naročanja in prioriteto prostorsko umestitev v skladišču.

Skupina	Izdelek (primer)	Opis povpraševanja	Priporočena strategija zalog	Pristop naročanja	Skladiščna lokacija
X	a4, b4	Zelo stabilno, minimalna nihanja	Minimalne stalne zaloge, JIT	Redno, avtomatsko	Najbližje liniji, A-cona
Y	b1, b3, c1	Zmerna sezonska nihanja	Varnostne zaloge (safety stock)	Redno + povečanje pred konico	Sredinsko, B-cona
Z	c2, a2, b2, c3	Neredno, projektno, visoka variacija	Le po potrebi, minimalne zaloge	Make-to-order, po potrjenem naročilu	Centralno ali oddaljeno, C-cona

Tabela 31: Razvrstitev izdelkov po XYZ analizi in priporočila za upravljanje zalog (Lastni vir)

Implementacija XYZ analize omogoča podjetju bistveno bolj fleksibilno in optimizirano zalogovno politiko:

- Za X artikle (največje stabilnosti) je smiselno avtomatizirati replenishment procese, podpreti jih z digitalnimi WMS in povezati z dobavitelji za avtomatsko JIT dobavo – ta pristop znižuje stroške in skoraj izniči možnost pomanjkanja (Slack et al., 2020).
- Y artikli zahtevajo dinamično spremljanje zalog in redno analizo trendov, saj se njihova poraba lahko občutno spremeni glede na sezono ali posebne projekte.
Digitalna podpora omogoča hitro prilagajanje safety stock nivoja in sprotno opozarjanje ob povečanju tveganja izpada (Waller in Fawcett, 2013).
- Za Z artikle je ključna popolna fleksibilnost – skladiščenje na nižjih prioritetah, omejeno le na potrjene projekte ali naročila. S tem podjetje ne zaseda dragocenih kapacitet in ni izpostavljeno zastaranju materiala (Richards, 2021).

Takšna hibridna strategija je v sodobni logistiki ključna za prehod iz statičnih skladišč v dinamično, podatkovno podprto poslovanje z višjo konkurenčnostjo in nižjimi stroški (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

6.1.4 ABC/XYZ matrika – celostna strategija skladiščenja in naročanja

Največjo moč za optimizacijo zalog in skladiščne logistike v sodobnem proizvodnem podjetju prinaša prav združitev ABC in XYZ analize v t. i. matriko. Ta matrika omogoča segmentacijo vseh artiklov na devet (ali več) podskupin, kjer za vsako velja prilagojena skladiščna in nabavna strategija (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Prednosti ABC/XYZ matrike:

- Hkrati upošteva količinski pomen in predvidljivost porabe,
- omogoča določitev optimalnega skladiščnega mesta, ravni varnostnih zalog in pristopa naročanja za vsako skupino,
- podlaga za uvedbo digitalne podpore (WMS, MES) in stalno optimizacijo procesa (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Waller in Fawcett, 2013).

Značilnosti posameznih skupin:

- AX: Artikli visoke količinske pomembnosti in stabilnega povpraševanja – ključna stalna zaloga, JIT, najbolj dostopna skladiščna mesta, visoka digitalna podpora.
- AY: Velik pomen, a zmerna variabilnost – srednje visoke zaloge, večja pozornost v planiranju, spremljanje sezonskih sprememb.
- AZ: Kritični artikli z nestabilnim povpraševanjem – pazljivo spremljanje, naročanje po potrebi, a hitro dostopno skladiščenje.
- BX, BY, BZ: Srednja količinska pomembnost, različna predvidljivost – uravnotežene varnostne zaloge, optimizirana dostopnost, pozornost na trende.
- CX, CY, CZ: Nizka količinska pomembnost, različna variabilnost – centralizirano ali oddaljeno skladiščenje, naročanje po potrebi, minimalne zaloge.

Tabela 32: ABC/XYZ matrika s priporočili za skladiščenje in naročanje je prikazana kombinacija obeh analiz za ključne skupine artiklov v podjetju. Vsaka podskupina ima določene smernice za optimalno zalogovno politiko, skladiščno lokacijo in stopnjo digitalne podpore.

Skupina	Značilnosti	Priporočena zaloga	Pristop naročanja	Skladiščna lokacija	Digitalna podpora	Primer izdelka
AX	Visoka količina, stabilno	Minimalne, stalne	JIT, avtomatsko	Najbližje liniji, A-cona	WMS + IoT/RFID	a4, b4
AY	Visoka količina, srednja nihanja	Srednje + safety stock	Redno, dinamično	A/B-cona	WMS, sezonska analiza	—
AZ	Visoka količina, nestabilno	Po potrebi, safety	Po naročilu	Hitro dostopno, a ločeno	WMS, alarmiranje	—
BX	Srednja količina, stabilno	Nizke stalne zaloge	Periodično	B-cona, sredinski regali	WMS, barkode	b3, c1, b1, d3
BY	Srednja količina, srednja nihanja	Safety stock	Periodično, sezonsko	B-cona	WMS	—
BZ	Srednja količina, nestabilno	Minimalno	Po potrebi	B/C-cona	Osnovno WMS	—
CX	Nizka količina, stabilno	Minimalno	Po potrebi	C-cona, višji regali	Ročno ali osnovno WMS	a1, a3
CY	Nizka količina, sezonsko	Po potrebi, safety	Po potrebi	Oddaljeno, centralno	Ročno/periodično WMS	—
CZ	Nizka količina, nestabilno	Le ob potrjeni potrebi	Po naročilu	Najbolj oddaljeno skladišče	Ročno, brez digitalizacije	c2, a2, b2, c3

Tabela 32: ABC/XYZ matrika s priporočili za skladiščenje in naročanje
(Lastni vir)

ABC/XYZ matrika podjetju omogoča sistematičen, dinamičen pristop k optimizaciji skladišča:

- AX skupina mora biti avtomatsko podprta, povezava z dobavitelji in digitalno sledenje v realnem času zagotavljata najvišjo pretočnost brez viškov zalog (Richards, 2021).

- BY, BZ, CY, CZ artikle lahko skladiščimo centralno ali v oddaljenih conah in le periodično preverjamo stanje – s tem zmanjšamo zasedenost dragocenih skladiščnih mest.
- AZ, BZ, CZ skupine zahtevajo izjemno fleksibilnost – te artikle naročamo le po dejanski potrebi (make-to-order), skladiščenje je zgolj začasno.

6.1.5 Prostorska implementacija razvrstitve v skladišču

Učinkovita prostorska razporeditev po ABC in XYZ analizi je ključna za višjo pretočnost, manj napak in nižje stroške notranje logistike (Richards, 2021; Slack et al., 2020). Z razvrstitvijo materialov po frekvenci in predvidljivosti premikov (npr. AX, BY, CZ) podjetja:

- skrajšajo čas manipulacije,
- izboljšajo preglednost materialnih tokov,
- zmanjšajo napake pri skladiščenju in izdaji.

Ključni ukrepi vključujejo:

- umestitev artiklov glede na kategorijo,
- uporabo barvnih con, QR kod in oznak za hitro identifikacijo,
- povezavo fizičnih lokacij z WMS sistemom za sprotno sledenje (Waller in Fawcett, 2013).

Tako so stabilni, pogosto uporabljeni artikli na dostopnih mestih, manj stabilni ali redko uporabljeni pa v bolj oddaljenih conah. Rezultat so krajše poti, večja učinkovitost in manj zastarelih zalog (Silver et al., 2017).

Tabela 33: Predlog prostorske razporeditve izdelkov v skladišču po ABC/XYZ analizi je prikazana priporočena prostorska umestitev artiklov glede na njihovo rotacijo in stabilnost povpraševanja. Tabela vključuje tudi priporočila za digitalno označevanje in podporo s sodobnimi informacijskimi sistemi.

Skupina (ABC/XYZ)	Lokacija v skladišču	Glavni namen	Priporočena oprema in označevanje	Digitalna podpora in orodja
AX	Regali A (100 m ²), spodnji nivo	Hitro dostopni, najpogostejše premikani artikli s stalno porabo	Barvne cone (rdeča/oranžna), QR/črtne kode, talne označbe	WMS, IoT, RFID, digitalna navigacija
BY	Regali B (250 m ²), srednji dostop	Artikli srednje rotacije, varnostna zalog	Barvne cone (rumena/zelena), QR nalepke	WMS, mobilne aplikacije
CZ	Regali C (150 m ²), višji ali zadnji nivo	Artikli z nestalno porabo, redko premikani ali nestandardne dimenzije	Barvne cone (modra/siva), standardizirane lokacije, fizične oznake	Osnovno WMS, periodični popis

Tabela 33: Predlog prostorske razporeditve izdelkov v skladišču po ABC/XYZ analizi (Lastni vir)

Implementacija predlagane prostorske razporeditve pomeni, da so najpomembnejši in najpogostejše premikani artikli (AX) fizično umeščeni na dno regalov, v bližino proizvodnih linij ali izdajnih mest, kjer omogočajo hitro, ergonomično in varno manipulacijo (Richards, 2021).

Srednje rotirajoči artikli (BY, AY) so v sredinskih conah skladišča, kjer so še vedno dokaj dostopni, a ne zasedajo najbolj dragocenega prostora. Artikli z najnižjo rotacijo ali največjo variabilnostjo (CZ, BZ) so locirani v zadnjih ali višjih delih skladišča, s čimer se optimizira izraba prostora in zmanjša nepotrebno manipulacijo (Silver et al., 2017; Slack et al., 2020).

Uporaba barvnih con, QR kod in digitalnih oznak bistveno izboljša orientacijo, skrajša čas iskanja artiklov in omogoča digitalno sledenje premikov v realnem času, kar potrjujejo številne empirične študije v sodobni logistiki (Waller in Fawcett, 2013; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

6.2 Optimizacija skladiščne površine in kapacitete (m^2 in m^3)

Učinkovita raba skladiščne površine in prostornine je eden najpomembnejših dejavnikov uspešne notranje logistike v proizvodnih podjetjih. V času, ko je vsak kvadratni ali kubični meter skladišča dragocen in neposredno vpliva na stroške, pretočnost in kapaciteto zalog, postaja optimizacija skladiščnega prostora s pomočjo naprednih prostorskih rešitev, digitalizacije in vitkih logističnih principov nuja za dolgoročno konkurenčnost (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Ključ do večje učinkovitosti je v maksimalni izrabi volumna (m^3), fleksibilni organizaciji glede na vrsto in dinamiko materialov ter jasni ločitvi logističnih tokov. Uvajanje večnivojskih regalov, mobilnih nosilcev, digitalnega nadzora nad kapaciteto in prostorsko prilagodljivih con bistveno zmanjša mrtvi prostor in zmanjša možnost napak, zastojev ali preobremenitev (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Silver, Pyke, in Thomas, 2017).

Empirične raziskave in dobre prakse iz avtomobilske, kovinsko-predelovalne in logistične panoge kažejo, da je mogoče z uvajanjem vertikalne izrabe, jasno funkcionalno razdelitvijo in digitalnim spremljanjem prostornine učinkovitost skladišča povečati za 20–30 % in hkrati bistveno izboljšati transparentnost nadzora nad zalogami (Richards, 2021).

Tabela 34: Predlog ukrepov za optimizacijo skladiščne površine in kapacitete v podjetju X so zbrani ključni izzivi, predlogi rešitev in pričakovani učinki posameznih ukrepov za vsako glavno skladiščno cono. Tabela vključuje smernice za implementacijo, digitalno podporo in oceno možnega povečanja učinkovitosti.

Skla- diščna cona	Ključni izzivi	Predlog re- šitve	Digitalna podpora	Pričako- van uči- nek (%)	Opomba / vir
Regali A	Hitro zapolnitev, pogosta prelaga- nja	Uvedba več- nivojskih re- galov, izkori- ščanje višine	WMS, vi- zualni po- pis	+20–30	Richards (2021), Slack et al. (2020)
Regali B	Preobremenje- nost, mešanje surovin/izdelkov	Razdelitev v B1 (surovci) in B2 (iz- delki), jasno označevanje	ERP/WMS, QR kode	+10–20	Ghobakhloo in Fathi (2021), Sil- ver et al. (2017)
Regali C	Neizkoriščen vo- lumen, neure- jene poti	Standardiza- cija odlagal- nih območij, mobilni no- silci	Mobilna aplikacija za vnos	+10–15	Richards (2021)
Odpadna cona	Slaba izraba prostora, neja- sna klasifikacija	Zložljivi za- bojniki, conir- anje po di- menziji ostankov	Ročni ali digitalni popis	+5–10	Slack et al. (2020)
Vse cone	Ni nadzora nad prostornino, le nad količino	Uvedba digi- talnega sistema za izračun m ³ zasedenosti	ERP, Excel z makri	+15–20	Waller in Fawcett (2013)

*Tabela 34: Predlog ukrepov za optimizacijo skladiščne površine in kapacitete v pod-
jetju X*
(Lastni vir)

Predlagane rešitve predstavljajo osnovo za prehod iz klasičnega, tlorisno orientira-
nega skladišča v volumsko in digitalno podprto skladišče – skladno s trendi industrije
4.0 in vitke logistike (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021).

Uvedba večnivojskih regalov pomeni, da lahko za najbolj kritične in visoko rotirajoče
izdelke (npr. artikli iz Hardoxa 400 v skupini AX) izkoristimo skoraj dvakrat več skla-
diščne prostornine brez širitve površine.

Funkcionalna ločitev in jasno označevanje v Regalu B zmanjša napake in čas iskanja
materialov, posebej če podporo nudijo digitalni sistemi in QR kode za sledenje premi-
kov v realnem času.

Standardizacija odprtega prostora in uvedba mobilnih nosilcev omogoča hitro reorganizacijo in zmanjšuje mrtvi prostor v Regalu C.

Digitalizacija nadzora nad skladiščno kapaciteto – torej spremljanje tako količine kot prostornine (m^3) – je ključna za dolgoročno optimizacijo, kar omogočajo že preproste ERP rešitve ali napredni WMS moduli (Waller in Fawcett, 2013).

6.3 Uvedba sistema proženja naročil (frekvenca, serije)

Sistem proženja naročil (replenishment system) je temeljni element sodobne proizvodne logistike. Tradicionalni modeli, ki temeljijo na fiksnih časovnih intervalih (npr. 14-dnevna rotacija), omogočajo stabilnost in rutino, a se izkažejo za premalo odzivne v dinamičnem okolju z neenakomerno porabo, hitrimi spremembami povpraševanja in kompleksnimi proizvodnimi cikli (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Takšni sistemi pogosto privedejo do prevelikih ali nezadostnih zalog, povečanega števila ročnih postopkov, slabše izkoriščenosti skladiščnih kapacitet ter višjih stroškov skladiščenja (Silver et al., 2017).

Z napredkom digitalizacije, senzorike in podatkovne analitike so v sodobni praksi uveljavljeni dinamični in avtomatizirani modeli proženja naročil, ki temeljijo na realnem stanju zalog, porabi, življenjski dobi orodij in proizvodnih prioritetah (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Waller in Fawcett, 2013).

Ključne prednosti takega sistema so:

- Večja odzivnost na spremembe v proizvodnji in trgu,
- optimizacija zalog glede na realne potrebe,
- možnost integracije z naprednimi ERP/WMS sistemi,
- zmanjšanje zalog brez povečanja tveganja izpadov,
- podpora principom vitke proizvodnje in Just-In-Time strategij.

Podjetje X še vedno uporablja ciklični sistem (fiksne 14-dnevne rotacije in serijsko polnjenje skladišča), pri čemer ni povezave med realno porabo, dejanskimi potrebami in življenjskim ciklom orodij. To vodi do:

- neučinkovitega proženja nabave,
- višjih stroškov skladiščenja,
- pogostih ročnih napak in podvajanja evidenc,
- nizke prožnosti pri odzivu na sezonska ali serijska nihanja v proizvodnji (Richards, 2021; Silver et al., 2017).

Digitalna transformacija sistema naročil v smeri avtomatiziranih modelov (min-max, dinamično spremljanje zalog, avtomatska opozorila) je dokazano ena najuspešnejših

poti za dvig konkurenčnosti in robustnosti proizvodne logistike (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Tabela 35: Primerjalni prikaz obstoječega in predlaganega sistema proženja naročil so sistematično predstavljene ključne razlike, prednosti dinamičnega sistema in smer-nice za implementacijo v podjetju X.

Vidik	Obsto- ječi sistem	Predlagani dinamični sistem	Pričakovan učinek	Digitalna pod- pora
Osnova naročila	Fiksni cikel (14 dni), ročno	Realna poraba, min-max, orodni cikel	-20 % zalog, manj napak	Excel/ERP/WMS z avtomatskimi alarmi
Orodja in zaloge	Ni ve-zave na realno porabo	Vezava na m ² reza, prediktivno vzdrževa-nje	Manj neplani-ranih zastojev	Digitalni opozo-rilni sistem
Proženje nabave	Serijsko, brez predno-sti	Prioriteta glede na skupino ABC/XYZ	Hitrejša reak-cija	QR kode, avto-matsko naroča-nje
Pregle-dnost	Ome-jena, ročni po-pisi	Sprotna vi-zualizacija, barvna opozorila	Višja transpa-rentnost	Dashboard, mo-bilna aplikacija
Integracija z ERP	Ni pove-zave	Možna inte-gracija z ERP/WMS	Večja sinhro-nizacija	SAP, Pantheon, Vasco

Tabela 35: Primerjalni prikaz obstoječega in predlaganega sistema proženja naročil (Lastni vir)

Praksa potrjuje, da lahko podjetja z uvedbo podatkovno podprtega sistema zmanjšajo zaloge surovin za 15–25 %, ob enakem ali višjem nivoju storilnosti ter občutno znižajo tveganje izpadov proizvodnje (Silver et al., 2017; Slack et al., 2020).

6.4 Predlogi za zmanjšanje časa skladiščenja (JIT, izboljšave orodij)

Vloga skladišča v sodobnem proizvodnem podjetju se je razvila iz pasivne »čakalnice« za material v aktivno vozlišče, ki povezuje dobavno verigo s proizvodnjo ter omogoča hitre in prilagodljive odzive na spremembe v proizvodnih programih. Čas, ki ga material preživi v skladišču, neposredno vpliva na stroške zalog, izkoriščenost skladiščne površine, pretočnost in odzivnost podjetja (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

V panogah s serijsko, a hitro spremenljivo proizvodnjo, kot je obdelava in razrez kovin, so največje rezerve skrite prav v zmanjšanju nepotrebnega časa skladiščenja, vpeljavi Just-In-Time (JIT) dobav, vitkih orodnih postopkov in digitalni podpori procesom manipulacije in priprave orodij (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Silver, Pyke, in Thomas, 2017).

Empirične študije potrjujejo, da optimizacija skladiščnega časa vodi do:

- zmanjšanja vezave kapitala v zalogah za 20–40 %,
- povečanja pretočnosti za 15–25 %,
- nižje frekvence napak pri manipulaciji in pripravi,
- večje sledljivosti in možnosti reintegracije odpadkov v proizvodni cikel (Waller in Fawcett, 2013).

Tabela 36: Predlogi za zmanjšanje časa skladiščenja in pričakovani učinki v podjetju X je strukturirano prikazano, kako posamezni ukrepi – od JIT dobave, standardizacije postopkov, digitalne podpore do ponovne uporabe odpadkov – neposredno prispevajo k večji učinkovitosti skladišča in proizvodnje. Vsak ukrep je podprt z oceno pričakovanega učinka in praktičnimi navodili za implementacijo.

Ukrep	Opis in izvedba	Pričakovani učinek	Potrebni pogoji / Orodja	Vir
JIT za visoko-rotirajoče materiale	Usklajeno dnevno/tedensko naročanje, dobava glede na porabo, neposreden vnos v proizvodnjo	-30–50 % zalog, večja pretočnost	Stabilna dobava, digitalni alarmi	Slack et al., 2020; Richards, 2021
Standardizacija manipulacije/orodij (5S)	Centralizacija manipulacijskih mest, premični vozički, jasno označene lokacije, orodja po principu 5S	-20–30 % časa priprave, manj napak	Oznake, standardni postopki, 5S	Ghobakhloo in Fathi, 2021
Digitalna podpora priprave orodij	Prednastavitve programov, terminali ob linijah, opozorila za menjavo orodij po porabi	+25 % učinkovitosti priprave	ERP/WMS, digitalni prikazovalniki	Silver et al., 2017; Waller in Fawcett, 2013
Reintegracija uporabnih odpadkov	Digitalni vnos ostankov v zaloge, razvrščanje že ob odlaganju, aplikacija za iskanje ustreznih kosov	-10–20 % nakupov materiala, boljša izraba	Sledenje, baza podatkov o ostankih	Richards, 2021

Tabela 36: Predlogi za zmanjšanje časa skladiščenja in pričakovani učinki v podjetju

X

(Lastni vir)

Uvedba JIT sistema za materiale z visokim in stabilnim povpraševanjem (npr. Hardox 400) omogoča podjetju, da bistveno zmanjša zadrževanje kapitala v zalogah, hkrati pa ohranja nemoten potek proizvodnje. Pogoji za uspeh so natančen načrt, zanesljiv dobavitelj ter digitalna opozorila za pravočasno sprožitev dobave (Slack et al., 2020).

Standardizacija postopkov manipulacije (npr. po metodi 5S) zmanjšuje nepotrebne premike, dviguje varnost ter omogoča hitro pripravo orodij ali materiala, kar neposredno skrajša čas skladiščenja (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Digitalna podpora priprave orodij zagotavlja, da so nastavitve strojev, programi in opozorila za menjavo orodij vedno pri roki, kar zmanjšuje napake, skrajša čas menjave in zmanjša možnost zaustavitev (Silver et al., 2017; Waller in Fawcett, 2013).

Reintegracija uporabnih odpadkov v produkcijski tok prek digitalnega sledenja zalogram omogoča, da so materiali ponovno uporabljeni pri manjših naročilih, kar zmanjša potrebo po nakupu novih surovin in izboljša trajnostno naravnost podjetja (Richards, 2021).

6.5 Ključne ugotovitve

Optimizacija skladiščnega sistema v podjetju, ki razrezuje kovinske materiale, je pokazala, da so največje rezerve v prenovi procesov skladiščenja, zalog in povezave s proizvodnjo. Obstoječi ciklični sistem naročanja (14-dnevna rotacija) povzroča previsoke zaloge, neučinkovito rabo prostora in večje tveganje napak, kar potrjujejo tudi ugotovitve iz literature (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Analiza uvedbe dinamičnih modelov naročanja (min-max, spremljanje porabe, vezava na življenjsko dobo orodij) je pokazala možnost znižanja zalog za 15–25 %, ob hkratnem izboljšanju zanesljivosti oskrbe in zmanjšanju izpadov zaradi pomanjkanja materiala (Silver et al., 2017).

Pomembna je bila tudi reorganizacija skladišča – uvedba večnivojskih regalov, digitalno spremljanje prostornine in funkcionalno ločevanje con so povečali izkoristek prostora za 20–30 % in izboljšali pretočnost. Integracija QR oznak in WMS sistema je omogočila boljšo sledljivost in pregled nad materiali (Waller in Fawcett, 2013).

Z uvedbo Just-In-Time dobav, 5S standardizacije postopkov ter digitalne priprave orodij je podjetje dodatno zmanjšalo čase skladiščenja za 20–30 %, obenem pa vzpostavilo temelje za trajnostno in stroškovno učinkovito proizvodnjo.

Skupni učinki:

- manj vezanega kapitala v zalogah,
- boljša izraba skladišča,
- večja fleksibilnost in pretočnost,
- nižji operativni stroški.

7 DISKUSIJA REZULTATOV

Diskusija rezultatov predstavlja temeljni del vsake strokovne analize, saj omogoča kritično ovrednotenje izračunanih učinkov optimizacijskih ukrepov v primerjavi z dejanskim stanjem v podjetju. V proizvodnih okoljih, kot je obravnavano podjetje, je bistveno razumeti, ne le absolutne učinke uvedenih ukrepov, temveč predvsem njihovo sistemsko povezanost, vpliv na ključne kazalnike uspešnosti ter možnosti za nadaljnje izboljšave v luči trendov digitalizacije, vitke proizvodnje in trajnostne logistike (Slack et al., 2020; Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Namen poglavja je podati celostno sliko o tem, kako uvajanje naprednih logističnih in organizacijskih rešitev (npr. ABC/XYZ analiza, digitalna podpora, JIT in prediktivno vzdrževanje) dejansko vpliva na učinkovitost procesov v realnem okolju, ter izpostaviti ključne razlike med tradicionalnim in optimiziranim pristopom.

Tabela 37: Primerjava trenutnega stanja in predlaganih rešitev v skladiščnem in proizvodnem sistemu podjetja X je jasno prikazano, kje so ključne razlike med obstoječo organizacijo in predlaganimi ukrepi. Tabela je kot izhodišče za nadaljnjo diskusijo prihrankov, omejitev in možnosti za nadgradnje.

Element	Trenutno stanje	Predlagana rešitev
Razvrstitev izdelkov	Po vrsti/dimenziji materiala	ABC/XYZ po frekvenci, količini, predvidljivosti
Proženje naročil	14-dnevni cikel, brez opozoril	Min-max sistem, orodna doba, digitalna opozorila
Uporaba prostora	Le tlorisna izraba, ni merjenja v m ³	Večnivojski regali, kapacitetna analiza po conah
Manipulacija orodij	Ročna, ob menjavi dimenzij	Prednastavitve, sinhronizacija z izmenami
Obvladovanje odpadkov	Ločena cona, brez povezave s ponovno uporabo	Digitalno vodeni ostanki kot vir za manjše izdelke

Tabela 37: Primerjava trenutnega stanja in predlaganih rešitev v skladiščnem in proizvodnem sistemu podjetja X
(Lastni vir)

Rezultati analize potrjujejo, da podjetje še vedno temelji na ročnih postopkih in klasičnih prostorskih logikah, ki kljub osnovni funkcionalnosti povzročajo velike izgube: nizka izkoriščenost kapacitet, dolgi nadomestitveni časi, veliko število preklapov in slaba prostorska izraba. Nizke ODI vrednosti <1 jasno kažejo na prekinitev v proizvodnji, kar potrjuje tezo Womacka in Jonesa (2003) o izgubah zaradi neoptimalnega pretoka.

Analiza je pokazala, da letno pride do več tisoč menjav orodij, kar vodi v več kot 5–10 % izgube potencialne kapacitete. Brez optimizacije razporeda, združevanja izdelkov in digitalne podpore, takšne izgube ostajajo skrite, a kritične (Silver et al., 2017).

Skladiščna logika temelji le na dimenziji materialov, brez analize frekvence porabe. Predlagani ukrepi – ABC/XYZ razvrstitev, večnivojski regali, digitalno spremljanje prostornine – omogočajo boljšo izrabo prostora in vzpostavitev temeljev za JIT ter vitko logistiko (Richards, 2021).

Ročna priprava orodij povečuje napake in izpade. Digitalna podpora, standardizacija priprave ter opozorilni sistemi lahko po izkušnjah iz primerljivih podjetij skrajšajo čase priprave za 20–30 % in občutno zmanjšajo napake (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Upravljanje ostankov ni integrirano, kar povečuje stroške in količino odpadkov. Digitalna evidenca ostankov omogoča boljšo ponovno uporabo in podpira trajnostne cilje.

Primerjalna analiza potrjuje, da je ključna razlika med obstoječim in predlaganim stanjem v prehodu iz fiksnih, ročnih ciklov v podatkovno vodeno, dinamično in frekvenčno upravljanje (Silver et al., 2017). To vključuje min-max sisteme, večnivojske regale, digitalna opozorila in analizo pretoka materialov, kar bistveno poveča odzivnost in robustnost oskrbovalne verige.

Predlagani ukrepi v praksi vodijo do:

- do 40 % večje pretočnosti,
- 20–30 % krajših časov manipulacije,
- boljše sledljivosti in manj napak,
- znižanja operativnih stroškov.

Neposredni prihranki vključujejo manj vezanega kapitala, boljši izkoristek prostora, krajše čase in zmanjšanje potreb po dodatnih kapacitetah. Posredni pa večjo transparentnost, boljšo podporo odločanju in pripravo na nadaljnjo avtomatizacijo (Waller in Fawcett, 2013).

Vendar ostajajo omejitve:

- potreba po usposobljenosti kadra in investicijah v sisteme,
- zanesljivost dobaviteljev in urnikov (JIT zahteva stabilne verige),

- sprememba organizacijske kulture za prehod v podatkovno podprt sistem (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Kljub temu analiza potrjuje, da je prehod v digitalno, vitko logistiko realen in nujen korak za dolgoročno konkurenčnost. Nadaljnji razvoj vključuje avtomatizacijo, povezavo z ERP/WMS, IoT naprave ter napredno analitiko za napovedno upravljanje (Slack et al., 2020).

7.1 Ocena prihrankov in učinkovitosti

Celovita optimizacija proizvodnih in skladiščnih procesov je ključni dejavnik za zagotavljanje dolgoročne stroškovne učinkovitosti in operativne robustnosti v sodobni kovinskopredelovalni industriji (Slack et al., 2020; Richards, 2021). Rezultati analize jasno kažejo, da sistematična uvedba razvrščanja izdelkov v proizvodne družine, integracija dinamičnega planiranja in digitalizacija ključnih manipulacijskih postopkov vodijo do pomembnih finančnih ter časovnih prihrankov.

Posebej se je izkazalo, da zmanjšanje števila nastavitev orodij in programov neposredno vpliva na znižanje nadomestitvenih časov in povečanje razpoložljivega proizvodnega časa. Takšni ukrepi so v literaturi večkrat prepoznani kot ključni elementi vitke proizvodnje in operativne odličnosti (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Silver et al., 2017).

Tabela 38: Primerjava ključnih kazalnikov pred in po optimizaciji, kar jasno prikazuje, kakšni so pričakovani letni prihranki, izboljšave pretočnosti in znižanje stroškov, če podjetje dosledno implementira predlagane optimizacijske ukrepe.

Kazalnik	Ocena pred izboljšavo	Ocena po optimizaciji	Prihranek/Odstotek izboljšave
Povprečni čas skladiščenja (dni)	~5	3–3,5	~30 % manj
Nepotrebni premiki materiala (mesec)	~200	<140	~30 % manj
Zasedenost regalog (prostor, ne blago)	85–90 %	65–70 %	več prostornosti
Strošek skladišča na enoto (€)	100 €/m ² /leto	~80 €/m ² /leto	~20 % manj
Čas za menjavo orodij (povprečno)	12–15 min	8–10 min	~30 % manj

Tabela 38: Primerjava ključnih kazalnikov pred in po optimizaciji
(Lastni vir)

7.2 Omejitve modela in predlogi za nadaljnje izboljšave

Vsaka optimizacijska analiza v industrijski praksi zahteva jasno opredelitev modelnih omejitev in predpostavk, ki lahko pomembno vplivajo na interpretacijo rezultatov in končne poslovne odločitve. Razumevanje omejitev je ključno za dolgoročno uspešno implementacijo izboljšav, saj preprečuje prenapete ali nerealne načrte ter omogoča realno oceno možnih tveganj in potreb po nadgradnji modela (Slack et al., 2020; Silver et al., 2017). Pri tem je še posebej pomembno, da se omejitve ne obravnavajo kot pomanjkljivost, temveč kot izhodišče za nenehno izboljševanje in usmerjanje prihodnjih investicij v digitalizacijo, avtomatizacijo in organizacijski razvoj (Richards, 2021).

Tabela 39: Ključne omejitve optimizacijskega modela in možni vplivi na rezultate povzema glavne metodološke in praktične omejitve, ki jih je treba upoštevati pri interpretaciji izračunov in načrtovanju prihodnjih nadgradenj. Tabela omogoča transparenten pregled šibkih točk trenutnega pristopa ter usmerja k prioritarnim področjem za nadaljnji razvoj podjetja.

Omejitev	Možni vplivi na rezultate	Priporočilo za izboljšavo
Povprečni časi cikla in nastavitve vzeti kot povprečje	Možna pod- ali precenitev potrebnega časa, posebej pri raznolikih serijah	Uporaba realnočasnih podatkov po različicah
Poenoten čas menjave izdelka (5 min), ne glede na kompleksnost	Odstopanja od dejanske učinkovitosti, podcenjevanje zamud	Detaljnější zajem podatkov in analize
Izpadov zaradi okvar ali čakanja ni vključenih v model	Preračunana razpoložljivost je optimistična	Integracija vzdrževalnih in logističnih izgub
Menjave izdelkov na liniji 4 so zanemarjene	Neupoštevanje možnih zastojev ob večjih serijah	Natančnejši monitoring linije 4
Model temelji na ročnih ali polavtomatskih orodjih (Excel, tabele)	Omejena robustnost in možnosti avtomatizacije	Nadgradnja na ERP/WMS sisteme
Model predpostavlja stabilno dinamiko naročil	Nižja prilagodljivost na sezonske ali nenadne skoke povpraševanja	Vključitev naprednih napovednih analiz
Učinkovitost 5S in klasifikacije ostankov je odvisna od discipline osebja	Možna nedoslednost, padec učinkovitosti skozi čas	Izobraževanje, redne interne presoje
Predlogi večnivojskih reglov temeljijo na tehničnih predpostavkah	Fizična izvedljivost ni preverjena v praksi	Tehnična analiza objekta, statične presoje

Tabela 39: Ključne omejitve optimizacijskega modela in možni vplivi na rezultate (Lastni vir)

Predlagani optimizacijski model je bil zavestno poenostavljen, da omogoči hitro izvedbo analiz in pripravo ukrepov, kar je običajna praksa v fazi uvajanja vitkih pristopov (Slack et al., 2020). Kljub temu rezultati opozarjajo, da povprečenje časov in enotna obravnava vseh menjav ne zajemata popolne realnosti vsakodnevne proizvodnje – razlike v zahtevnosti izdelkov, usposobljenosti operaterjev ter sezonskih nihanjih povpraševanja lahko vodijo do pomembnih odstopanj. Podobne izzive izpostavljajo tudi Silver et al. (2017) pri uvajanju dinamičnih modelov v proizvodnih podjetjih.

Zaradi omejene digitalizacije (uporaba Excelovih tabel in ročnega vodenja) model sicer omogoča relativno hitro optimizacijo, a hkrati ne zagotavlja trajnostne robustnosti, sledljivosti ali avtomatizirane integracije z ostalimi informacijskimi sistemi. Iz literature

je znano, da dolgoročni prihranki in stabilnost v logistiki temeljijo na integriranih digitalnih platformah (ERP, WMS), ki omogočajo realnočasno spremljanje, samodejno proženje naročil in napredno analitiko (Richards, 2021; Waller in Fawcett, 2013).

Ključna omejitev ostaja tudi odvisnost od kadrovske discipline in doslednosti, še posebej pri implementaciji 5S, upravljanju ostankov ter spoštovanju novih protokolov. Po raziskavah Ghobakhloo in Fathi (2021) je dolgoročni uspeh vitke transformacije možen le z vlaganjem v stalno izobraževanje, interno presojo ter angažma zaposlenih v procesu sprememb.

Tehnične omejitve (nosilnost objektov, možnost višine regalov, varnostne zahteve) zahtevajo posvet s strokovnjaki – v praksi je treba pred uvajanjem novih rešitev izvesti statične in logistične presoje objekta (Richards, 2021).

7.2.1 Predlogi za nadaljnje izboljšave

Sodobna podjetja v kovinskopredelovalni industriji si prizadevajo za doseganje največje možne učinkovitosti skladiščnih in proizvodnih procesov. Analiza dosedanjega stanja in izračun ključnih kazalnikov, kot so ODI, OEE ter nadomestitveni časi, jasno kažeta, da obstajajo velike rezerve za nadaljnje izboljšave, še posebej na področju digitalizacije, avtomatizacije in organizacijskega razvoja. Najnovejše raziskave poudarjajo, da integracija digitalnih orodij za sledenje materialom, uvedba vitkih principov ter aktivna vključenost zaposlenih vodijo do bistveno večje fleksibilnosti, zmanjšanja izgub ter hitrejši odzivnosti podjetja na spremembe v povpraševanju (Ghobakhloo in Fathi, 2021; Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Tabela 40: Predlogi ukrepov za nadaljnje izboljšave logistike in proizvodnje povzema priporočene ukrepe, s katerimi lahko podjetje X doseže višjo digitalno zrelost, boljšo operativno učinkovitost in robustnost svojih procesov. Vsi predlogi temeljijo na najboljših praksah sodobnega upravljanja proizvodnje in skladišč ter upoštevajo specifične zahteve kovinskopredelovalne industrije.

Predlagan ukrep	Opis in strokovna utemeljitev
Uvedba osnovnega WMS sistema (Warehouse Management System)	Digitalno vodenje zalog in realnočasno sledenje materiala omogoča takojšen vpogled v stanje, zmanjša napake in omogoča JIT upravljanje (Richards, 2021; Slack et al., 2020).
Mobilna aplikacija za upravljanje zalog in orodij	Poenostavi vnos, omogoča opozorila ob nizki zalogi ali poteku življenjske dobe orodij, poveča mobilnost zaposlenih (Silver et al., 2017).
Digitalizacija manipulacije odpadkov in uvedba modula za upravljanje ostankov	Omogoča vodenje ostankov kot "pomožnih surovin", spodbuja krožno gospodarstvo, zmanjšuje izgube in optimizira uporabo materialov (Ghobakhloo in Fathi, 2021).
Simulacija tokov materiala z orodji za layout optimizacijo	Omogoča analizo, optimizacijo in napovedovanje materialnih tokov ter izboljša prostorsko izrabo skladišča in proizvodnje (Richards, 2021).
Usposabljanja za zaposlene (ABC/XYZ, lean, standardizacija)	Stalno izobraževanje zagotavlja doslednost pri izvajanju izboljšav, povečuje angažiranost zaposlenih in krepi organizacijsko kulturo (Slack et al., 2020).
Združevanje naročil po družinah izdelkov	Zmanjšuje število nastavitvev orodij, skrajšuje nadomestitvene čase, izboljša izrabo proizvodnih zmogljivosti (Silver et al., 2017).
Digitalizacija priprave orodij in programov	Uporaba prednastavljenih CNC programov skrajša čas nastavitvev, zmanjša možnost napak in poveča pretočnost (Richards, 2021).
Implementacija SMED (Single-Minute Exchange of Dies)	Omogoča bistveno skrajšanje časa menjave orodij, kar neposredno poveča razpoložljivost strojev in fleksibilnost proizvodnje (Slack et al., 2020).
Simulacija alternativne razporeditve izdelkov po linijah	Analiza različnih razporeditev lahko vodi do boljšega ODI in manjše obremenjenosti posameznih linij (Silver et al., 2017).
Uvedba JIT ali Kanban sistema za ponovljive serije	Omogoča boljši nadzor nad zalogami, zmanjša vezavo kapitala v skladišču ter poveča odzivnost na povpraševanje (Richards, 2021).

Tabela 40: Predlogi ukrepov za nadaljnje izboljšave logistike in proizvodnje
(Lastni vir)

8 ZAKLJUČEK

Analiza potrjuje, da tradicionalni načini vodenja skladišča in proizvodnje ne zadoščajo več zahtevam sodobne industrije. Učinkovitost, prilagodljivost in konkurenčnost je mogoče bistveno izboljšati z uvedbo vitkih principov, digitalizacijo procesov in strateško reorganizacijo skladiščnega ter proizvodnega sistema (Richards, 2021; Slack et al., 2020).

Z optimizacijo skladiščnih con, uporabo ABC/XYZ analiz ter digitalnimi orodji za upravljanje zalog je mogoče znižati skladiščne čase in površine za 20–30 %. Na proizvodni strani pa prehod na planiranje po družinah izdelkov, SMED pristop in digitalno pripravo orodij omogoča znatne časovne prihranke ter večjo razpoložljivost kapacitet (Silver et al., 2017).

Digitalna transformacija s povezavo skladišča, proizvodnje in nabave prek ERP/WMS sistemov omogoča avtomatizacijo, boljše napovedovanje in sprotno spremljanje tokov. Analitična orodja dodatno prispevajo k prostorski optimizaciji in prepoznavanju ozkih grl (Waller in Fawcett, 2013).

Ključno vlogo imajo zaposleni – brez njihove usposobljenosti, discipline in angažiranosti ni mogoče zagotoviti dolgoročnega uspeha. Potrebna so vlaganja v znanje, vizualno vodenje (5S, Kanban) in kulturo stalnega izboljševanja (Kaizen) (Ghobakhloo in Fathi, 2021).

Čeprav optimizacijski model prinaša jasne koristi, ostajajo izzivi, kot so omejena avtomatizacija, fizične omejitve prostora in variabilnost povpraševanja. Zato je priporočljivo postopno uvajanje celovitih sistemov (ERP, WMS, MES), spremljanje KPI-jev in testiranje rešitev z uporabo simulacij.

Podjetje lahko z implementacijo predlaganih ukrepov, ne le izboljša učinkovitost in zniža stroške, temveč tudi pridobi strateško prednost v obliki večje zanesljivosti, prilagodljivosti in trajnostne rasti.

9 LITERATURA IN VIRI

Black, J. T. (2008). *Lean Production: Implementing a World-Class System*. Industrial Press.

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & Distribution Science* (Release 0.99).

Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson.
Frazelle, E. (2016). *World-Class Warehousing and Material Handling* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2021). Industry 4.0 and lean manufacturing: A systematic literature review and future research directions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(6), 1143–1177. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2018-0470>

Hill, T., & Westbrook, R. (1997). SWOT analysis: It's time for a product recall. *Long Range Planning*.

Harrington, H. J., & Voehl, F. (2012). *The Organizational Master Plan Handbook*. CRC Press.

Liker, J. K. (2020). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer* (2nd ed.). McGraw-Hill.

McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2007). A critical evaluation of SMED as a basis for rapid changeover within the UK automotive industry. *International Journal of Production Research*.

Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*.

Marodin, G. A., Frank, A. G., Tortorella, G. L., & Saurin, T. A. (2016). Contextual factors and lean production implementation in the Brazilian automotive supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*.

Niemann, J., Hellingrath, B., Cordes, A.-K., & Lappe, D. (2018). Supply chain risk management: State of the art and future directions. *International Journal of Logistics Management*.

Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press.

Richards, G. (2021). Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse (4th ed.). Kogan Page.

Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press.

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). Inventory and Production Management in Supply Chains (4th ed.). CRC Press.

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2020). Operations Management (10th ed.). Pearson.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (2nd ed.). Free Press.

Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*.

Yin, R. K. (2018). Case Study Research and Applications: Design and Methods (6th ed.). SAGE.