



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Logistično inženirstvo
Modul: Distribucijska logistika

VPLIV VZDRŽEVANJA NA DELOVNE PROCESE V PROIZVODNEM PROCESU

Mentor: spec. Jošt Šmajdek, dipl. inž. tehnol.
prom.
Lektorica: Maja Horvat, univ. dipl. slov.

Kandidat: Damir Muratović

Kranj, oktober 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju g. spec. Joštu Šmajdku, dipl. inž. tehnol. prom. za vso pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela

Zahvaljujem se tudi lektorici ge. Maji Horvat, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Damir Muratović izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom spec. Jošta Šmajdka, dipl. inž. tehnol. prom.

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

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava vpliv vzdrževanja na delovne procese v proizvodnji ter povezanost vzdrževalnih aktivnosti z logističnimi procesi. V uvodnem delu sta predstavljena pomen in razvoj skozi čas. Analizirane so različne vrste vzdrževanja: korektivno, preventivno, napovedano in produktivno, ter njihove prednosti in slabosti. Posebna pozornost je namenjena preventivnemu in napovedanemu vzdrževanju, ki bistveno prispevata k zmanjševanju izpadov, podaljševanju življenjske dobe opreme in optimizaciji stroškov. Diplomsko delo predstavi tudi tveganja, ki nastanejo zaradi neustreznega vzdrževanja, med katerimi izstopajo tehnična, finančna, varnostna, strateška in organizacijska tveganja. Poudarjen je pomen standardov in protokolov ter postopkov, ki zagotavljajo varnost zaposlenih. Predstavljeni so kazalniki učinkovitosti, ki omogočajo spremljanje uspešnosti vzdrževalnih strategij. Poleg vzdrževanja so predstavljeni tudi logistični procesi v podjetju. Učinkovita logistična podpora je nujna za nemoteno izvedbo vzdrževalnih aktivnosti. Zavedamo se, da dobro načrtovano in izvajano vzdrževanje v kombinaciji z optimiziranimi logističnimi procesi pomembno prispeva k večji zanesljivosti, produktivnosti in konkurenčnosti podjetij v sodobnem industrijskem okolju.

KLJUČNE BESEDE

- delovni procesi
- proizvodnja
- vzdrževanje
- logistični procesi
- tveganja

SUMMARY

This diploma thesis addresses the impact of maintenance on work processes in production and the connection between maintenance activities and logistics processes. The introductory part presents the importance and development of maintenance over time. Various types of maintenance are analysed, including corrective, preventive, predictive and productive maintenance, together with their advantages and disadvantages. Special attention is devoted to preventive and predictive maintenance, which significantly contribute to reducing downtime, extending the service life of equipment and optimising costs. The diploma thesis also presents the risks arising from inadequate maintenance, among which technical, financial, safety, strategic and organisational risks are the most prominent. The importance of standards, protocols and procedures ensuring employee safety is emphasised. Performance indicators are introduced, enabling the monitoring of the effectiveness of maintenance strategies. In addition to maintenance, the logistics processes within the company are also presented. Effective logistical support is essential for the smooth implementation of maintenance activities. It is recognised that well-planned and executed maintenance, combined with optimised logistics processes, significantly contributes to greater reliability, productivity and competitiveness of companies in the modern industrial environment.

KEYWORDS

- work processes
- production
- maintenance
- logistics processes
- risks

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilji dela.....	1
1.3	Predpostavke in omejitve.....	1
1.4	Metode dela.....	2
2	OPREDELITEV VZDRŽEVANJA	3
2.1	Vrste vzdrževanja glede na področje	4
2.1.1	Strojno vzdrževanje	4
2.1.2	Elektro vzdrževanje	5
2.1.3	IT-vzdrževanje	6
2.1.4	Korektivno vzdrževanje.....	7
2.1.5	Varnostna tveganja pri korektivnem vzdrževanju	7
2.1.6	Preventivno vzdrževanje.....	8
2.1.7	Napovedano vzdrževanje (Predictive Maintenance – PdM)	8
2.1.8	Produktivno vzdrževanje (Total Productive Maintenance – TMP)	9
2.2	Pomembnost komprimiranega zraka za proizvodni proces	9
2.3	Dobava in skladiščenje rezervnih delov za potrebe vzdrževanja.....	12
2.4	Kazalniki učinkovitosti vzdrževanja (Key Performance Indicators – KPIs).....	13
2.4.1	Pregled kazalnikov.....	14
2.4.2	Napredni kazalniki	15
2.5	Tveganja pri neustreznem vzdrževanju	15
2.5.1	Tehnična tveganja	15
2.5.2	Finančna tveganja	16
2.6	Varnostna tveganja.....	17
2.6.1	Mehanska tveganja.....	17
2.6.2	Električna tveganja	18
2.6.3	Zaklepanje in označevanje (LOTO – Lockout-Tagout)	18
2.6.4	Delo na višini in v zaprtih prostorih	18
2.6.5	Strateška tveganja	19
2.6.6	Organizacijska tveganja.....	19
3	LOGISTIČNI PROCESI V PROIZVODNJI.....	20
3.1	Komponente logističnih procesov	21
3.1.1	Notranja logistika	21
3.1.2	Nabavna logistika	21
3.1.3	Proizvodna logistika.....	21
3.1.4	Distribucijska logistika.....	21
4	NOVE TEHNOLOGIJE IN VPLIV UMETNE INTELIGENCE NA VZDRŽEVANJE	23
4.1	Razvoj umetne inteligence in brezpilotnih letalnikov (dronov)	23
4.1.1	Avtonomni droni kot podpora vzdrževanju in logistiki v podjetju IKEA.....	25
5	ZAKLJUČEK.....	28
6	LITERATURA IN VIRI	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Razvoj vzdrževalnih dejavnosti in metod	4
Slika 2: Strojno vzdrževanje	5
Slika 3: Elektro vzdrževanje	6
Slika 4: IT-vzdrževanje	7
Slika 5: Ročni lokator Vir: Jorc, 2021	10
Slika 6: Metpoint cid portable air leak detector	11
Slika 7: Stopnje puščanja	11
Slika 8: Ocena puščanja zraka	12
Slika 9: Skladišče rezervnih delov	13
Slika 10: Matrika vzdrževanja	14
Slika 11: Povezanost logistike v trženjskem spletu	20
Slika 12: Materialni pretok v proizvodnem podjetju	22
Slika 13: Uporaba dronov za pregled infrastrukture	24
Slika 14: Dron Verity v podjetju IKEA	26
Slika 15: Skladišče IKEA Slovenija	26

POJMOVNIK

ISO 31000 (mednarodni standard)
KPI (Key Performance Indicators)
LOTO (Lockout-Tagout)
MTBF (Mean Time Between Failures)
MTTR (Mean Time to Repair)
OEE (Overall Equipment Effectiveness)
PMP (Planned Maintenance Percentage)
PdM (Predictive Maintenance)
RUL (Remaining Useful Life)
TPM (Total Productive Maintenance)
Industrija 4.0 (Označuje sodobno industrijsko revolucijo)
IEC (International Electrotechnical Commission)
HSE (Health, Safety and Environment)
NEPA (National Electrical Protection Association)

KRATICE IN AKRONIMI

OEE – Overall Equipment Effectiveness
MTBF – Mean Time Between Failures
MTTR – Mean Time to Repair
PMP – Planned Maintenance Percentage
PdM – Predictive Maintenance
TPM – Total Productive Maintenance
RUL – Remaining Useful Life
KPI – Key Performance Indicators
LOTO – Lockout-Tagout
ISO – International Organization for Standardization
IEC – International Electrotechnical Commission
HSE – (Health, Safety and Environment)
NEPA – (National Electrical Protection Association)

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Vzdrževanje delovnih procesov predstavlja ključen element pri zagotavljanju učinkovitega in nemotenega delovanja proizvodnje. Vzdrževanje prispeva k zmanjšanju stroškov, povečani produktivnosti ter zmanjšanju tveganja za nepredvidene izpade sistema. Brez ustrezno logistično načrtovanega in izvedenega vzdrževanja lahko okvare povzročijo resne motnje v delovnem procesu, kar vodi do zamud in finančnih izgub. Pomemben vidik sodobnega vzdrževanja je tudi varnost in zanesljivost delovnega okolja. Ustrezno vzdrževanje zmanjšuje možnosti tehničnih okvar, ki bi lahko povzročile poškodbe zaposlenih ali materialno škodo. Zato mora biti vzdrževalna dejavnost načrtovane, organizirana in izvedena v skladu z veljavnimi standardi ter zakonodajnimi zahtevami.

Z diplomskim delom želimo prikazati vpliv različnih logističnih strategij vzdrževanja na potek delovnih procesov v proizvodnji ter pogosto uporabljene pristope vzdrževanja. Vsak pristop ima jasno določene prednosti in izzive, kar bomo natančno predstavili.

1.2 Cilji dela

Namen dela je analizirati vpliv različnih strategij vzdrževanja na učinkovitost delovnih in logističnih procesov ter predlagati izboljšave.

Cilji diplomskega dela:

- prikazati preventivno vzdrževanje ter pomen logističnih procesov pri skladiščenju in dobavi rezervnih delov ter varnostnih zalog v skladiščih,
- na osnovi literature analizirati učinkovitost obstoječih praks vzdrževanja v proizvodnih podjetjih,
- prikazati pomembnost medfaznih zalog v delovnih procesih.

1.3 Predpostavke in omejitve

Problem, ki ga bomo obravnavali, je učinkovitost obstoječih praks vzdrževanja in njihov vpliv na tekoče delovne procese. Obstoječe metode vzdrževanja imajo merljiv vpliv na produktivnost in stroške. Z uvedbo naprednih strategij vzdrževanja lahko izboljšamo delovanje procesov.

Raziskava bo temeljila na analizi dostopne literature. Osredotočili se bomo na splošno prakso in ne na specifično podjetje. Analiza bo usmerjena na določene vrste vzdrževanja in ne na vse možne pristope.

1.4 Metode dela

Pri izdelavi diplomskega dela bomo uporabili različne raziskovalne metode:

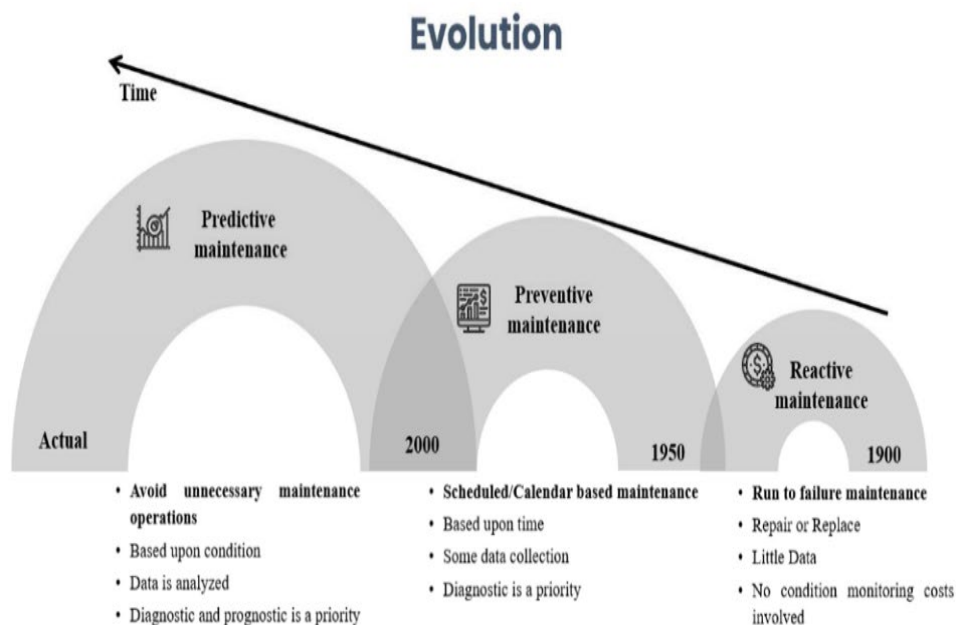
- metodo komparacije, ki vključuje primerjanje dejstev in procesov,
- metodo klasifikacije, ki vključuje primerjavo konceptov,
- metodo kompilacije, ki temelji na spoznanjih in pogledih drugih avtorjev,
- metodo sinteze, ki omogoča združevanje opažanj v celoto,
- metodo deskripcije, ki se osredotoča na opisovanje dejstev in procesov.

Za pripravo diplomskega dela bomo uporabili domačo in tujo literaturo ter spletne vire.

2 OPREDELITEV VZDRŽEVANJA

Vzdrževanje je pred nekaj desetletji veljalo za nekaj, kar je bilo težko upravljati in nadzirati. Pomen vzdrževanja presega zgolj nadzor nad stroji v proizvodnji, saj neposredno vpliva na logistične procese in zagotavlja varnost na delovnem mestu. V sodobnih proizvodnih podjetjih brez sistematičnega in učinkovitega vzdrževanja ni mogoče dosegati pričakovane kakovosti izdelkov, niti zagotoviti optimalnega razvoja tehnologije (Jasiulewicz-Kaczmarek et al., 2023). Prvi pisni dokazi o organiziranem vzdrževanju segajo v obdobje starega Egipta. V nekaterih zapisih iz 600 pr. n. št. omenjajo pomanjkanje cedrovega lesa, ki so ga nujno potrebovali za popravilo svetega čolna Amona Ra. Z leti so se metode in pristopi vzdrževanja nenehno posodabljali in prilagajali glede na trenutne tehnične zahteve ter razpoložljive vire (Poór et al., 2019).

Vzdrževanje je dejavnost, s katero skrbimo, da naprave, stroji, vozila, zgradbe ali drugi sistemi ostanejo v dobrem stanju in delujejo tako, kot morajo. Gre za skupek ukrepov, s katerimi preprečujemo okvare ali odpravljamo težave, ko se te pojavijo. Brez vzdrževanja bi se vsaka oprema sčasoma pokvarila, kar bi povzročilo motnje v delovanju, dodatne stroške in včasih celo nevarnost za ljudi. Zato je danes vzdrževanje v proizvodnih podjetjih obravnavano kot strateška funkcija; podjetja vlagajo načrtno, z uporabo sodobnih metod, kot so digitalizacija, senzorji in pametni sistemi. Po standardu EN 13306:2017 je vzdrževanje opredeljeno kot kombinacija vseh tehničnih, administrativnih in vodstvenih dejavnosti, katerih namen je ohraniti ali povrniti stanje, v katerem sredstvo lahko opravlja zahtevano funkcijo. To pomeni, da vzdrževanje ni le popraviljanje strojev, ampak vključuje tudi načrtovanje, spremljanje stanja in optimizacijo delovanja (EN 13306:2017). Vpliv vzdrževanja na proizvodni proces je bistveno večji, kot se pogosto predvideva. Brez kakovostnega in sistematičnega vzdrževanja podjetja težko ohranjajo konkurenčnost na trgu. Stroji, naprave in infrastruktura predstavljajo temelj uspešnega poslovanja, zato je skrb za njihovo zanesljivost nujna.



Slika 1: Razvoj vzdrževalnih dejavnosti in metod

(Vir: Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges, 2022)

2.1 Vrste vzdrževanja glede na področje

Vzdrževanje lahko razdelimo tudi na področja, kjer se izvaja. Najpogostejša so strojno vzdrževanje, elektro vzdrževanje in IT-vzdrževanje.

2.1.1 Strojno vzdrževanje

Strojno vzdrževanje je usmerjeno v delovno opremo in infrastrukturo. Vključuje redno skrb za proizvodne stroje, proizvodno zgradbo ter vse pripadajoče sisteme. Sem sodijo dvžna vrata, nakladalne rampe, prezračevalni in hladilni sistemi, klimatske naprave, sistemi za pitno vodo, cevne inštalacije ter odtoki za odpadne in meteorne vode. Posebna pozornost je namenjena ravnanju z odpadki, zlasti nevarnimi, saj zakonodaja v Sloveniji in EU natančno določa postopke zbiranja, ločevanja in odvoza odpadkov. Zaposleni, ki ravnaajo z nevarnimi odpadki, morajo zato opraviti dodatna usposabljanja za ravnanje z nevarnimi snovmi. Nevarni odpadki, ki nastanejo v proizvodnem podjetju pri strojnem vzdrževanju, so najpogostejše odpadno motorno olje iz strojne opreme, tekočina iz hladilnih sistemov, ki varuje sistem proti zmrzovanju, odpadna embalaža nevarnih snovi, ki se uporabljajo v delovnem procesu. Poleg naštetega strojno vzdrževanje obsega redne preglede in popravila dvigal, skladiščnih regalov, ognjevarnih omar ter požarnih vrat, kar neposredno vpliva na varnost in nemoteno delovanje proizvodnega procesa.



*Slika 2: Strojno vzdrževanje
(Lastni vir)*

2.1.2 Elektro vzdrževanje

Elektro vzdrževanje obsega vse aktivnosti, s katerimi podjetje zagotavlja zanesljivo in varno delovanje električnih naprav, sistemov in inštalacij. V proizvodnem podjetju ima nalogo, da skrbi za vse električne komponente v proizvodnji, vključno s programiranjem in servisiranjem krmilnih sistemov, vzdrževanjem električnih motorjev na delovnih strojih, motorjev dvigalnih vrat ter motorjev prezračevalnih naprav. Redno elektro vzdrževanje zajema preventivne, korektivne in razvojne aktivnosti.

Preventivno vzdrževanje vključuje redne preglede električnih omaric, merjenje napetosti in tokov, preverjanje ozemljitve, testiranje varnostnih stikal, ter pregled izolacije kablov. Namen teh pregledov je pravočasno zaznavanje obrabe ali poškodb, ki bi lahko povzročile okvaro ali nevarnost za zaposlene. Korektivno vzdrževanje se izvaja ob zaznanih okvarah, napakah ali prekinitvah ob delovanju. To vključuje zamenjavo poškodovanih kablov, varovalk, senzorjev ali motorjev, ter odpravljanje napak v avtomatiziranih sistemih. Pri tem je pomembno, da se popravila izvajajo v skladu z veljavnimi varnostnimi standardi (SIS EN 60204-1) in da so naprave po posegu ustrezno preizkušene. Razvojno vzdrževanje zajema nadgradnje električnih in krmilnih sistemov z novejšimi tehnologijami, kot so frekvenčni pretvorniki, pametni senzorji in krmilniki, ki omogočajo učinkovitejše in varnejše delovanje proizvodnih linij. Pomemben del elektro vzdrževanja je tudi energetska upravljanje. Z rednimi spremljanjem porabe električne energije, optimizacijo obratovalnih režimov motorjev

in pravilnim nastavljanjem frekvenčnih pretvornikov lahko podjetje doseže občutne prihranke energije in s tem prispeva k trajnostnem poslovanju.



Slika 3: Elektro vzdrževanje
(Vir: Shutterstock portal, 2025)

2.1.3 IT-vzdrževanje

IT-vzdrževanje zajema vse aktivnosti za nemoteno delovanje informacijsko-komunikacijskih sistemov, kot so strojna oprema (strežniki, računalniki, omrežja), programska oprema (aplikacije, baze podatkov, operacijski sistemi) in varnostne rešitve. Cilj je ohranjati zanesljivost, razpoložljivost in varnost informacijskih sistemov. Sodobna podjetja so v celoti odvisna od informacijske podpore, zato IT vzdrževanje postaja eden izmed ključnih elementov poslovne kontinuitete. Redno posodabljanje programske in strojne oprem, spremljanje delovanja sistemov, ter pravočasno odpravljanje napak, zmanjšuje možnosti zastojev in izgube podatkov.

Pomemben del IT vzdrževanja je ključno sistematično spremljanje kazalnikov uspešnosti (KPI), kot so odzivni časi, razpoložljivost sistemov in uspešno rešenih zahtevkov uporabnikov. V zadnjih letih so v IT oddelkih uveljavlja tudi napovedano vzdrževanje, ki temelji na analitiki in umetni inteligenci.



Slika 4: IT-vzdrževanje
(Vir: Jskstelecom portal, 2025)

2.1.4 Korektivno vzdrževanje

Korektivno vzdrževanje se izvaja po tem, ko je oprema že doživela okvaro. Gre za osnovni pristop, kjer se vzdrževalna dela opravijo šele, ko pride do prekinitve delovanja ali fizične poškodbe sistema. V industriji se ta pristop pogosto uporablja v manjših podjetjih z omejenimi sredstvi ali kadar so stroški izpada nižji od stroškov rednega preventivnega vzdrževanja. Prednosti korektivnega vzdrževanja so nizki začetni stroški ter preprosto upravljanje. Slabosti pa so povečani izpadi, višji stroški popravil ter nezadovoljstvo uporabnikov (Drstvenšek et al., 2020).

2.1.5 Varnostna tveganja pri korektivnem vzdrževanju

Okvara opreme se lahko zgodi nepričakovano, kar pomeni tveganje za zdravje in življenje zaposlenih v delovnem procesu. Največja tveganja se pojavljajo pri delovni opremi, kot so ventilatorji v prezračevalnih sistemih, dvigala, transportna sredstva in delovni stroji. Pri korektivnem vzdrževanju se povečajo tveganja za poškodbe zaposlenih v vzdrževanju ter zaposlenih v delovnem procesu.

Okvare delovne opreme med procesom spadajo med najvišja tveganja; v praksi se pogosto dogajajo okvare delovnih sredstev med transportom bremena, kar je nevarno, če breme ni dodatno zavarovano, ter okvare dvigal med dvigovanjem bremen na višino (npr. v stolpnice). V tem primeru lahko pride do kolapsa, če zaposleni niso usposobljeni, kako ravnati v takšni situaciji. Okvara v delovnem

procesu lahko povzroči tudi električni udar, če pride do premika mehanskih komponent delovnega sredstva.

Korektivna popravila v praksi največkrat pomenijo dodaten pritisk na zaposlene v timu vzdrževanja, bodisi zaradi pomanjkanja orodja bodisi zaradi pomanjkanja komunikacije med vzdrževalci in zaposlenimi v delovnem procesu. Zato je zelo pomembno, da se upoštevajo pravila in protokoli, določeni pri oceni tveganja v delovnem procesu. To pomeni, da je pri popravilih na delovnih strojih treba upoštevati pravilo »zakleni/označi«, kar pomeni, da se pred začetkom popravila glavna stikala izklopijo in zaklenejo s ključavnico, namenjeno za zaklep električnih stikal. Na ta način se prepreči situacija, da bi kdo od zaposlenih med popravilom vklopil električno napajanje in s tem ogrozil sodelavce.

Pri korektivnem vzdrževanju je največje tveganje za poškodbe zaposlenih, ki so neposredno vključeni v sam proces popravila, predvsem zaradi pritiska in napačnih odločitev, ki jih lahko sprejmejo med izvajanjem vzdrževanja.

2.1.6 Preventivno vzdrževanje

Zgodovinsko gledano je preventivno vzdrževanje začelo pridobivati pomen v času druge industrijske revolucije, predvsem po drugi svetovni vojni, ko so podjetja začela uvajati načrtovane vzdrževalne sisteme za zagotavljanje zanesljivosti in razpoložljivosti proizvodne opreme. Podjetniki in inženirji so spoznali, da redno vzdrževanje, temelječe na standardnih postopkih in časovnih načrtih, bistveno zmanjšuje tveganja za kritične okvare, hkrati pa povečuje produktivnost in življenjsko dobo strojev (Thomas et al., 2022).

Preventivno vzdrževanje vključuje redno in načrtovano izvajanje aktivnosti, kot so pregledovanje, čiščenje, mazanje in menjava obrabljenih komponent z namenom preprečevanja napak. Aktivnosti temeljijo na urnikih ali proizvajalčevih priporočilih, kar zmanjšuje pogostost okvar ter povečuje življenjsko dobo opreme (Shipley et al., 2022).

Preventivno vzdrževanje temelji na kombinaciji statistične analize, poznavanja materialov, pogostosti delovanja in projektiranja obremenitev. Ti dejavniki omogočajo izračun predvidene življenjske dobe posameznih komponent. Proizvajalčeva navodila, tehnične specifikacije in zgodovinski podatki o odpovedih so ključni viri za oblikovanje načrtov preventivnega vzdrževanja (Garcia et al., 2025).

2.1.7 Napovedano vzdrževanje (Predictive Maintenance – PdM)

Gre za sodoben pristop, ki temelji na dejanskem stanju opreme in ne na vnaprej določenih intervalih kot pri preventivnem vzdrževanju. Vzdrževalna dejavnost zahteva

strategije in načrtovanje za zadovoljevanje potreb po kakovosti, varnosti in produktivnosti ter uvaja stalno analizo vzrokov, vpeljuje statistični nadzor in spodbuja odločitve na osnovi podatkov (Zonta et al., 2020).

Zonta et al. (2020) poudarjajo, da je PdM eden ključnih dejavnikov pametnih podjetij, saj omogoča prilagodljivo, odzivno in stroškovno učinkovito proizvodnjo. Poleg zmanjšanja stroškov za popravila in rezervne dele PdM prispeva tudi k zmanjšanju izmeta, višji kakovosti izdelkov in večji razpoložljivosti opreme.

2.1.8 Produktivno vzdrževanje (Total Productive Maintenance – TMP)

Tradicionalna tehnična oprema in delovna sredstva pogosto niso bili zasnovani z vidika preprostega, racionalnega in učinkovitega vzdrževanja. Pomanjkljivost v dostopnosti do komponent ter potreba po zaustavitvah opreme zaradi vzdrževalnih posegov sta privedli do iskanja rešitev, ki omogočajo optimizacijo vzdrževalnih procesov že v fazi razvoja tehnologije (Lee et al., 2023).

Produktivno vzdrževanje vključuje celovit pristop, ki se integrira v vse faze življenjskega cikla tehnološke opreme, in sicer:

- načrtovanje proizvodnega sistema,
- postavitve proizvodnje,
- izvajanje proizvodnje in montaže,
- poprodajne aktivnosti vzdrževanja,
- uvajanje novih proizvodnih celic (UpKeep, 2024).

2.2 Pomembnost komprimiranega zraka za proizvodni proces

Komprimiran zrak je v večini sodobnih proizvodnih procesov enako ključen kot elektrika, voda ali para. V proizvodni proces se vključuje kot medij za pogon, prenos in nadzor. Komprimiran zrak v proizvodnem procesu ni samo rezerva za pihanje prahu, temveč predstavlja glavno pogonsko silo za stroje, transport in avtomatske sisteme. Proizvodnja komprimiranega zraka poteka tako, da se navaden zrak stisne s pomočjo kompresorjev, hrani pa se v tlačnih posodah ali jeklenkah. Proizvodnja komprimiranega zraka poteka tako, da se navaden atmosferski zrak s pomočjo kompresorjev stisne in očisti nečistoč. Kakovost in tlak komprimiranega zraka morata biti stabilna, saj vsak padec tlaka ali nečistoča lahko povzroči napako na delovanju opreme.

Odkrivanje puščanja komprimiranega zraka v delovnem procesu je pogosto spregledana težava, ki lahko povzroča velike izgube ter motnje delovanja proizvodnih procesov, kar v končni fazi vpliva na poslovne rezultate proizvodnega podjetja. Pravočasno odkrivanje in odprava puščanja sistema komprimiranega zraka v praksi

pomeni pravilno delovanje kompresorjev (kompresor dodaja zrak), ko ga začne zmanjkovati v sistemu oziroma ko se tlak zniža zaradi odvzema v delovni proces. V primeru, da je puščanje v sistemu, kar se v praksi zelo pogosto dogaja, kompresorji stalno delujejo, s tem pa se poveča poraba elektrike za proizvodnjo komprimiranega zraka.

Posledično nastanejo dodatni stroški, podjetje ima slabše poslovne rezultate zaradi višjih stroškov proizvodnje in tvega, da izgubi konkurenčnost na trgu. Če se tlak v sistemu ob nedelovanju procesa hitro zmanjšuje, je zagotovo prisotno puščanje. V tem primeru je treba odkriti mesto puščanja in v najkrajšem možnem času odpraviti težavo. V tiem okolju mesta puščanja ni težko odkriti, saj se zvok zraka pod tlakom sliši kot pisk. V proizvodnih procesih, kjer med obratovanjem deluje več strojev, pa ni preprosto odkriti mesta puščanja, zato se v hrupnih pogojih uporabljajo ročni detektorji puščanj. Taka naprava locira puščanje, ki ga človeško uho v delovnem okolju ne more zaznati.



Slika 5: Ročni lokator
(Vir: Jorc, 2021)

Novejše naprave imajo celo vizualno akustično slikanje, so zelo zmogljive in uporabljajo več mikrofonov, da določijo mesto puščanja, signali pa se prikažejo na zaslonu. Najsodobnejša oprema poleg določanja mesta puščanja omogoča tudi oceno količine uhajajočega zraka in natis slike mesta puščanja.



Slika 6: METPOINT CID Portable Air Leak Detector
(Vir: BEKO Technologies, 2023)

Tudi najbolj napredna oprema ima omejitve, kar v praksi pomeni, da ne obstaja oprema, ki bi nadomestila kakovostno vzdrževanje. Za nekatera podjetja je pravilno vzdrževanje postalo konkurenčna prednost, saj pri večjih proizvodnih procesih izdelava komprimiranega zraka lahko znaša 200.000 €, v takem primeru pa obstaja velika možnost prihrankov ali izgub zaradi puščanja.

Nekatera podjetja se trudijo osveščati zaposlene o previdni uporabi komprimiranega zraka, na primer da na delovnih postajah, kjer zaradi delovnega procesa ni potreben konstanten dovod zraka, ta zaprejo na glavnih ventilih, saj so najpogostejša puščanja na hitrih spojkah ali gibljivih PVC-ceveh.

Povprečna poraba na minuto		Stopnja puščanja			
		10%	20%	30%	40%
m ³	kW	€	€	€	€
10	55	10.500	21.000	31.500	42.000
20	110	21.000	42.000	63.000	84.000
30	160	31.500	63.000	94.500	126.000
50	250	52.500	105.000	157.500	210.000
75	350	78.800	157.500	236.250	315.000
100	500	105.000	210.000	315.000	420.000

*cena stisnjenega zraka 0,02€/m³, pri 7 bar, 24 ur, 365 dni/leto

Slika 7: Stopnje puščanja
(Vir: Calms, 2006)

	€1 kovanec (referenca velikosti)	Ocena (letni stroški puščanja)
	1 mm (0,07m ³ /min)	293 €
	2 mm (0,29m ³ /min)	1.978 €
	3 mm (0,66m ³ /min)	2.480 €
	5mm (1,87m ³ /min)	7.200 €
	10 mm (7,31m ³ /min)	25.200

Slika 8: Ocena puščanja zraka
(Vir: Calms, 2006)

Če je možno, se podjetja odločajo tudi za vgradnjo elektromagnetnih ventilov, ki v času nedelovanja stroja avtomatsko zaprejo sistem. Taki ventili ponujajo možnost časovne nastavitve, kar v praksi pomeni, da se lahko določi čas za odjem zraka; po tem času ventil avtomatsko zapre sistem do naslednjega cikla.

2.3 Dobava in skladiščenje rezervnih delov za potrebe vzdrževanja

Pomemben del učinkovitega vzdrževanja predstavljata dobava in skladiščenje rezervnih delov, saj neposredno vplivata na nemoteno delovanje proizvodnje. V skladišču je nujno vzdrževati varnostne zaloge, ki zagotavljajo, da so ključni rezervni deli vedno na voljo. Pri načrtovanju in nadziranju zalog pomembno vlogo igra programska oprema SAP ali podobni informacijski sistemi. Ti omogočajo stalen pregled nad zalogami in samodejno sprožijo naročilo, ko količina določenega dela doseže minimalno varnostno zalogo. Takšen pristop zmanjša tveganje, da bi proizvodnja ostala brez kritičnih rezervnih delov, katerih dobavni roki so lahko več mesecev.

Sklepanje pogodb z dobavitelji rezervnih delov je pri tem ključno, saj podjetjem zagotavlja predvidljive dobavne roke, ugodnejše pogoje in zanesljivost dobave kritičnih komponent. Z vidika konkurenčnosti je pomembno, da so varnostne zaloge čim manjše, saj s tem podjetje zmanjšuje stroške skladiščenja in povečuje kapitalsko učinkovitost. Za učinkovito delovanje skladišča je treba dosledno upoštevati delovna navodila, izvajati redne inventure ter vse manipulacije izvajati po navodilih vodje skladišča. To vključuje pravilno odpisovanje materiala oziroma rezervnih delov. Ko se material odpiše iz skladišča, programska oprema (SAP) samodejno posodobi stanje zaloge in sproži naročilo nadomestnih delov pri izbranem dobavitelju.

Ključno vlogo pri točnosti zalog ima popis rezervnih delov (inventura). V primeru odkritih neskladnosti se zaloga v sistemu popravi, po potrebi se lahko izvede odpis manjkajočega materiala, nato programska oprema ponovno sproži naročilo novih rezervnih delov. Tak način dela bistveno zmanjšuje tveganja za proizvodni proces, saj preprečuje, da bi ob morebitnih okvarah manjkali nujno potrebni rezervni deli.



*Slika 9: Skladišče rezervnih delov
(Vir: Brinox 2021)*

2.4 Kazalniki učinkovitosti vzdrževanja (Key Performance Indicators – KPIs)

Sodobna merila za ocenjevanje učinkovitosti vzdrževanja vključujejo klasične KPI-je (OEE, MTBF, MTTR, PMP, Schedule Compliance) in nove, specifične kazalce, prilagojene sodobnim proizvodnim sistemom. Integrativni, večstopenjski diagnostični okvir omogoča boljši vpogled v celovitost vzdrževalnih procesov. Sledenje ustreznim ključnim kazalnikom uspešnosti vzdrževanja ni zgolj dobra praksa, temveč nuja za podjetja, ki želijo ostati konkurenčna v sodobnem, spreminjajočem se industrijskem okolju. Ključni kazalniki uspešnosti KPIs predstavljajo merljive parametre, s katerimi podjetja spremljajo učinkovitost vzdrževalnih aktivnosti.

Glavni cilji uvedbe KPI-jev so spremljanje zanesljivosti in razpoložljivosti opreme, zmanjšanje nenačrtovanih zastojev, izboljšanje produktivnosti vzdrževalcev,

optimizacija stroškov in porabe rezervnih delov, ter nenehno izboljševanje procesov. KPI-ji omogočajo transparentnost in objektivno oceno rezultatov.



Slika 10: Matrika vzdrževanja
(Vir: Gofmx portal, 2025)

2.4.1 Pregled kazalnikov

Razmerje med preventivnim in korektivnim vzdrževanjem omogoča podjetjem, da pravočasno zaznajo odstopanja, optimizirajo razpoložljivost opreme ter učinkovito razporejajo vire (Oxmaint, 2025). Z uporabo matrik organizacije dobijo vpogled v uspešnost svojih vzdrževalnih strategij ter podlago za odločanje o izboljšavah. V kontekstu Industrije 4.0 se vse pogostejše uporabljajo tudi napredni kazalniki, ki vključujejo obdelavo podatkov v realnem času, integracijo s proizvodnimi sistemi in uporabo umetne inteligence za napovedno analitiko (Berrabah et al., 2022).

Tovrstni pristopi ne izboljšujejo le operativne učinkovitosti, temveč tudi zmanjšujejo stroške, povečujejo zanesljivost proizvodnje in prispevajo k trajnostnemu delovanju podjetja.

- OEE (Overall Equipment Effectiveness) – združuje razpoložljivost, zmogljivost in kakovost.
- MTBF (Mean Time Between Failures) – povprečni čas med okvarami.

- MTTR (Mean Time To Repair) – povprečni čas popravila.
- PMP (Planned Maintenance Percentage) – delež vzdrževalnih ur, predvidenih v načrtu.
- Schedule compliance KPI – povezava načrtovanega vzdrževanja s procesom proizvodnje in učinkovitostjo.

2.4.2 Napredni kazalniki

- RUL – Remaining Useful Life (napoved preostale življenjske dobe komponente) (Janssens et al., 2018).
- Anomalijska frekvenca (število zaznanih odstopanj v delovanju opreme v določenem časovnem obdobju) (Berrabah et al., 2022).
- Maintenance cost per RAV (primerjava stroškov vzdrževanja glede na nadomestitveno vrednost opreme).
- Work Order Completion Rate (delež uspešno zaključenih vzdrževalnih nalog glede na načrt).
- Reactive Maintenance Percentage (delež nepričakovanih popravil v primerjavi s celotnim vzdrževanjem) (Fabrigo, 2024).

2.5 Tveganja pri neustreznem vzdrževanju

Neustrezno vzdrževanje predstavlja enega izmed ključnih virov tveganja v sodobnem proizvodnem okolju. Poleg neposrednega vpliva na razpoložljivost opreme, kakovost izdelkov in varnost zaposlenih lahko povzroči tudi resne finančne, operativne ter strateške posledice za podjetje. Takšna tveganja so še posebej izrazita v visoko avtomatiziranih proizvodnih sistemih, pri kompleksnih tehnoloških postopkih ali v okoljih z ozkimi časovnimi roki in majhno toleranco do izpadov (Parida et al., 2022).

V praksi se posledice neustreznega vzdrževanja najpogosteje kažejo kot pogosti in nepredvideni izpadi opreme, zmanjšana kakovost izdelkov, višji stroški popravil in povečana nevarnost nesreč pri delu. Hkrati dolgoročno vplivajo tudi na konkurenčnost podjetja, saj zmanjšujejo zaupanje kupcev, povečujejo tveganje izgube poslov in negativno vplivajo na zanesljivost dobav. Razumevanje teh tveganj je ključno za utemeljitev strateške vloge vzdrževanja kot dejavnosti, ki neposredno vpliva na uspešnost celotnega proizvodnega sistema.

2.5.1 Tehnična tveganja

Tehnična tveganja so povezana z delovanjem in zanesljivostjo strojev, opreme in tehnologije. Pojavijo se lahko kot napake v delovanju, okvare opreme, zastarela tehnologija, slabo načrtovano vzdrževanje ali nepričakovani izpadi, kar vodi v zmanjšano učinkovitost, varnostne incidente ter višje stroške. Standard ISO 31000

Risk Management – Guidelines določa smernice za sistematično upravljanje tveganj v organizacijah. Navaja, da se tehnična tveganja v proizvodnji obravnavajo skozi naslednje ključne korake (ISO, 2018):

- Ugotavljanje konteksta – razumevanje notranjih in zunanjih dejavnikov, ki vplivajo na tveganja.
- Identifikacija tveganj – sistematično iskanje možnih okvar ali napak.
- Ocena tveganja – analiza verjetnosti in posledic posameznih tehničnih tveganj.
- Obvladovanje tveganj – uporaba ukrepov za zmanjšanje verjetnosti ali vpliva.
- Spremljanje in pregled – nenehno spremljanje učinkovitosti sprejetih ukrepov in posodabljanje strategij.

Integracija pristopov iz ISO 31000 v proizvodne in vzdrževalne procese omogoča boljšo predvidljivost, zmanjšanje zastojev ter izboljšano odločanje glede vzdrževalnih strategij (IEC, 2019).

2.5.2 Finančna tveganja

2.5.2.1 Vzdrževanje proizvodne opreme

Vzdrževanje proizvodne opreme pomembno vpliva na učinkovitost, zanesljivost in strateško uspešnost proizvodnega sistema. Slabo in neustrezno upravljanje vzdrževalnih aktivnosti ne pomeni le težav, temveč tudi pomembno finančno tveganje.

Zipdo (2024) navaja, da kljub velikim naložbam in tehnološkemu razvoju proizvodnje predvsem zaradi staranja opreme, napak pri vzdrževanju ter nepredvidenih okvar senzorjev še naprej predstavlja grožnjo za produktivnost.

2.5.2.2 Nepričakovani izpadi in zaustavitev proizvodnje

Nepričakovane okvare proizvodne opreme povzročajo nenačrtovane zaustavitve, kar vodi v izgubo prihodka, dodatne stroške za intervencijska popravila ter zamude v dobavi posameznih izdelkov. Tovrstni izpadi ne vplivajo le na trenutni prihodek, temveč povzročajo verižne zamude v logistični verigi, izgubo kupcev in pogodbenih bonitet.

2.5.2.3 Višji stroški reaktivnega (korektivnega) vzdrževanja

Reaktivno vzdrževanje, ki se izvaja šele ob nastopu okvare, pogosto povzroča višje stroške kot preventivno ali prediktivno vzdrževanje. Tak pristop je dražji zaradi nujnih intervencij zunanjih serviserjev, ekspresne dobave rezervnih delov ter večje izgube proizvodnega časa.

2.5.2.4 Zmanjšana energetska učinkovitost in poraba materiala

Neustrezno vzdrževana oprema pogosto deluje s slabšo energetsko učinkovitostjo, povzroča več odpadkov in zmanjšuje kakovost izdelkov. Dodatno se povečuje okoljski odtis proizvodnje, kar lahko pomeni posredne stroške zaradi prekoračitve emisij.

2.5.2.5 Povečani stroški dela

Okvare pogosto zahtevajo dodatno nadurno delo zaposlenih, kar vodi do višjih stroškov dela. V primeru nujnih del se vključujejo tudi zunanji izvajalci, katerih storitve so bistveno dražje (Zipdo, 2024).

2.5.2.6 Pogodbene kazni in izguba zaupanja strank

Zaradi neizpolnjevanja pogodbenih obveznosti lahko podjetje utрпи finančne kazni in izgubi dolgoročne kupce. V določenih primerih pride tudi do izgube strateških partnerjev, kar pomeni dolgoročne finančne posledice in slabšanje konkurenčnega položaja podjetja.

2.5.2.7 Pomanjkanje digitalizacije vzdrževanje

Številna podjetja še vedno uporabljajo ročne ali nepovezane sisteme za načrtovanje in spremljanje vzdrževalnih aktivnosti. Brez ustrezne digitalne podpore ni mogoče izvajati učinkovite analize stroškov, napovedovanja napak ali strateškega načrtovanja.

2.6 Varnostna tveganja

Vzdrževanje proizvodne opreme ne vpliva zgolj na zanesljivost in učinkovitost proizvodnje, temveč tudi na varnost zaposlenih in celotnega delovnega okolja. Varnostna tveganja, ki izhajajo iz neustreznega ali nepravilno načrtovanega vzdrževanja, lahko vodijo do resnih poškodb, materialne škode ali celo do smrtnih nesreč. Čeprav je sodobna industrija vse bolj avtomatizirana, človeški dejavniki pri vzdrževanju še vedno igrajo ključno vlogo. Vsak poseg v delovanje strojev ali naprav predstavlja potencialno nevarnost, zlasti če ni podprt z ustreznimi postopki, zaščitno opremo in izobraževanjem zaposlenih (HSE, 2022).

2.6.1 Mehanska tveganja

Vzdrževalci so pogosto izpostavljeni nevarnim gibljivim delom, kot so zobniki, verige, valji in jermenski pogoni. Nepravilno zaustavljeni stroji ali nenadni zagoni med delom lahko povzročijo resne poškodbe, kot so ureznine, zlomi, amputacije, ali celo smrtne

nesreče. Vzroki za mehanska tveganja so pomanjkanje zaščitnih pregrad, neizveden postopek izklopa električne energije ter nepravilno shranjena ali poškodovana varovalna oprema. Pomembno vlogo pri preprečevanju mehanskih tveganj ima redno usposabljanje vzdrževalnega osebja. Vzdrževalci morajo poznati nevarna območja strojev, postopke varnega izklopa, pravilno uporabo orodij, ter protokole za delo v bližini gibljivih delov. Poleg tega mora podjetje zagotoviti redne varnostne preglede strojev in zaščitnih elementov.

Z vidika organizacijske varnosti je priporočljivo, da podjetje uporablja sistem dovolilnic za delo, s katerimi se nadzira izvajanje posegov na strojih. Takšen sistem določa, da se vzdrževalna dela lahko začnejo šele, ko so vsi varnostni pogoji izpolnjeni in so odgovorne osebe podpisale dovoljenje.

2.6.2 Električna tveganja

Vzdrževalna dela na električni opremi prinašajo tveganja električnega udara, kratkega stika, preobremenitve vodnikov in celo eksplozije. Pri delu pod napetostjo ali pri preverjanju komponent je nevarnost še posebej velika. Vzroki, zaradi katerih pride do delovnih nesreč, so neizklopljena napetost, poškodovana izolacija kablov, uporaba neustreznega orodja in pomanjkanje osebne varovalne opreme. Po podatkih NEPA (2023) so električni udari med tremi najpogostejšimi vzroki smrti pri vzdrževalnih delih v industriji.

2.6.3 Zaklepanje in označevanje (LOTO – Lockout-Tagout)

Gre za standardiziran postopek, ki zagotavlja, da je oprema med vzdrževanjem fizično odklopljena od vseh virov energije. Neuporaba ali nepopolna uporaba postopka LOTO je glavni razlog za hude poškodbe. Vzroki tveganj so pomanjkanje usposobljenih zaposlenih, pomanjkanje nadzora pri izvajanju postopkov ter časovni pritiski pri popravilih. Standard LOTO določa odgovornost delodajalca za zaščito delavcev pred nevarno energijo. Delodajalci morajo usposobiti vsakega delavca ter zagotoviti, da zaposleni poznajo, razumejo in so sposobni upoštevati veljavne določbe postopkov za nadzor nevarne energije (OSHA, 2021).

2.6.4 Delo na višini in v zaprtih prostorih

Vzdrževalna dela pogosto vključujejo plezanje na visokih konstrukcijah, delo na mostovih, dvigalih, rezervoarjih in jaških. Ti prostori imajo omejen dostop, slabo prezračevanje ali vsebujejo nevarne pline. Pogosti vzroki tveganj so padci z višine, zdrsi, izguba ravnotežja, zadušitve zaradi pomanjkanja kisika, izpostavljenost strupenim plinom ter nevarnost eksplozij.

2.6.5 Strateška tveganja

Za doseganje dolgoročnih ciljev je strateško tveganje eno izmed najpomembnejših kategorij tveganj. Strategija podjetja predstavlja možnost, da podjetje zaradi napačnih odločitev ali sprememb zunanjih in notranjih dejavnikov ne doseže dolgoročnih ciljev. Zunanja tveganja vključujejo spremembe v okolju, na katere podjetje nima vpliva, notranja tveganja pa se nanašajo na sposobnosti podjetja. Niz propadov podjetij, svetovna finančna kriza in drugi javni incidenti v zadnjih desetletjih so opozorili vodstvene delavce in oblikovalce politik na pomembnost obvladovanja tveganj ter nenadnih sprememb v okolju.

Podjetje, ki se hitreje odzove na spremembe in se zna spopasti z nestabilnimi, potencialno motečimi poslovnimi razmerami, ima večjo možnost za ohranjanje konkurenčnosti. Pomemben je sistematičen pristop k identificiranju, analiziranju, ocenjevanju, obravnavanju, spremljanju in poročanju o večjih izpostavljenostih, ki bi lahko ogrozile doseganje strateških ciljev (Anderson et al., 2022).

2.6.6 Organizacijska tveganja

Organizacijska tveganja so tveganja, na katera vplivajo notranji dejavniki, kot so struktura, proces dela, kadri in tehnologija. Ta tveganja lahko vplivajo na učinkovitost, uspešnost in dolgoročno stabilnost podjetja. V veliki meri se sicer nadzirajo, vendar lahko povzročijo velike težave, če niso ustrezno obvladana. Organizacijska struktura z nejasno hierarhijo, pomanjkanjem odgovornosti in slabo komunikacijo povzroča zmedo in napake, kar zmanjšuje učinkovitost podjetja. Neustrezna in zastarela tehnološka infrastruktura omejuje konkurenčnost in sposobnost podjetja za prilagajanje novim trendom.

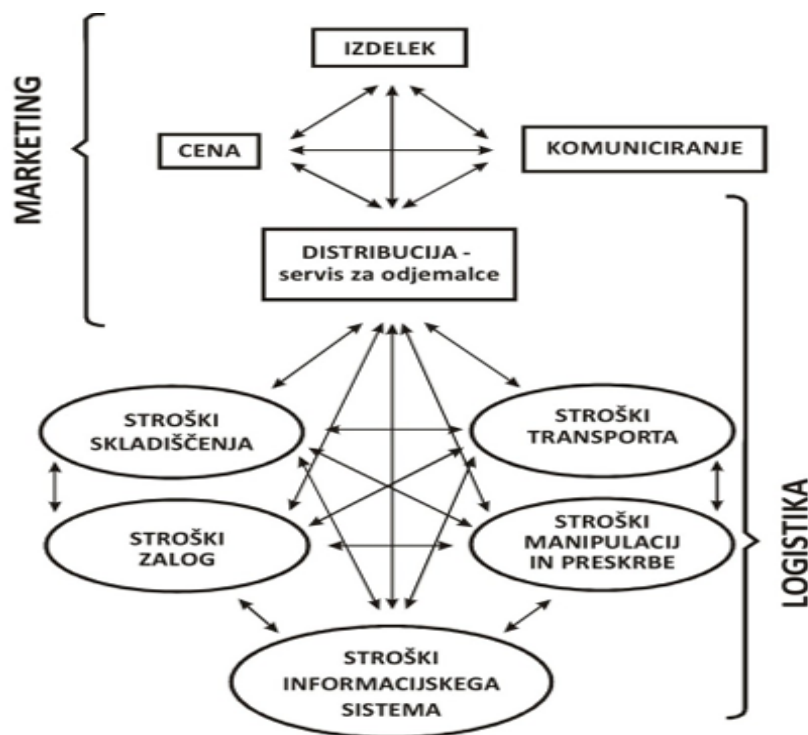
Poslovni procesi, ki so neučinkoviti in slabo zasnovani, vodijo do napak, zamud in povečanja stroškov. Učinkovito obvladovanje organizacijskih tveganj omogoča izboljšanje učinkovitosti ter povečuje prilagodljivost podjetja. Preprečevanje napak in optimizacija virov prispevata k finančni stabilnosti podjetja (Boštjančič & Ismagilova, 2017).

3 LOGISTIČNI PROCESI V PROIZVODNJI

Logistični proces je skupek vseh aktivnosti, ki omogočajo, da materiali, polizdelki in končni izdelki pravočasno, v ustrezni količini, kakovosti in z optimalnimi stroški prispejo od dobavitelja do končnega uporabnika. Predstavlja celovit sistem aktivnosti, ki vključujejo pridobivanje, premikanje, skladiščenje in distribucijo materialov, polizdelkov in končnih izdelkov v podjetju.

Namen logistike je zagotavljanje materialov in izdelkov ob pravem času in obsegu, kar omogoča nemoteno delovanje proizvodnih procesov. Vzdrževanje proizvodne opreme ima neposreden vpliv na logistični proces, saj izpadi, okvare ali neustrezno vzdrževanje povzročajo motnje v proizvodnji. Te motnje se lahko kažejo v zamudah pri dobavi surovin ali polizdelkov, kopičenju zalog, povečanju stroškov transporta in skladiščenja zaradi nepredvidenih zamud ter zmanjšanju produktivnosti (Christopher, 2016).

Cilj logistike je optimizacija celotnega toka materialov in informacij, da je sistem učinkovit, stroškovno ugoden in zanesljiv.



Slika 11: Povezanost logistike v trženjskem spletu
(Vir: Poslovna logistika, 2010)

3.1 Komponente logističnih procesov

3.1.1 Notranja logistika

Ukvarja se s pretokom materialov znotraj podjetja. To vključuje transport materialov od skladišča do proizvodnih linij, medfazno skladiščenje polizdelkov in organizacijo delovnih mest. Učinkovita notranja logistika zmanjšuje nepotrebne premike, čakanja in zaloge ter omogoča večjo pretočnost in preglednost procesov. Transport materialov v notranji logistiki se najpogosteje izvaja s pomočjo viličarjev, transportnih vozičkov, tekočih trakov ali avtonomnih vodljivih vozil (AGV- Automated Guided Vehicles). Pri sodobnih podjetjih se pogosto uporabljajo AGV sistemi, ki so opremljeni z lidar-senzorji in vgrajenimi računalniki, ki jim omogočajo samostojno navigacijo po proizvodni hali. Takšni sistemi zmanjšujejo odvisnost od ročnega dela, povečujejo varnost in omogočajo natančno sledenje premikom materiala v realnem času.

3.1.2 Nabavna logistika

Zagotavlja pravočasno oskrbo proizvodnje z vsemi potrebnimi materiali in komponentami. Ključni elementi so izbira in upravljanje dobaviteljev, načrtovanje in izvajanje naročil, nadzor zalog surovin ter obvladovanje transporta in dobavnih rokov. Optimizirana nabavna logistika zmanjšuje stroške nabave, preprečuje motnje v proizvodnji ter krepi zanesljivost oskrbovalne verige. V praksi nabavna logistika deluje, kot povezovalni člen med trgov in proizvodnjo. Na eni strani mora upoštevati zahteve proizvodnih planov, na drugi strani pa možnosti in pogoje dobaviteljev. Njena učinkovitost se meri s kazalniki, kot so čas dobave, natančnost naročil, zanesljivost dobaviteljev in stroški oskrbe.

3.1.3 Proizvodna logistika

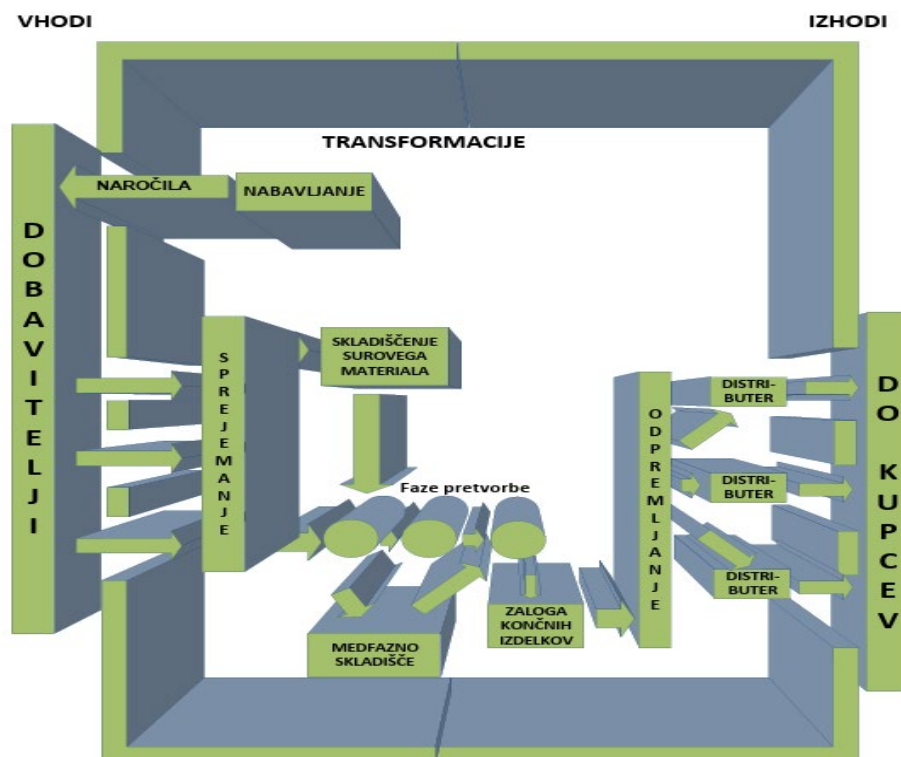
Proizvodna logistika je osredotočena na usklajevanje proizvodnih procesov z razpoložljivimi zmogljivostmi in naročili kupcev. Njeni cilji so učinkovito načrtovanje in razporejanje proizvodnje, skrajševanje pretočnih časov ter uravnoteženje obremenitev med linijami. Sodobni pristopi, kot sta vitka proizvodnja (Lean) in Just-in-Time (JIT), omogočajo zmanjševanje zalog, boljšo pretočnost in hitrejšo odzivanje na spremembe povpraševanja (Nyhuis & Wiendahl, 2009).

3.1.4 Distribucijska logistika

Distribucijska logistika obsega vse aktivnosti, povezane z odpravo končnih izdelkov do odjemalcev. Vključuje skladiščenje končnih izdelkov, pakiranje, označevanje, organizacijo transporta ter izbor transportnih kanalov. Cilj distribucijske logistike je zagotavljanje pravočasnih in zanesljivih dobav, hkrati pa optimizacija stroškov transporta in skladiščenja. Distribucijska logistika ima v sodobnem gospodarstvu

ključno vlogo pri povezovanju proizvodnje s trgov. V proizvodnih podjetjih predstavlja zadnji člen logistične verige, kjer se proizvod preoblikuje iz notranjega materialnega toka v zunanji tok blaga, namenjen končnim kupcem. Učinkovito upravljanje distribucijske logistike neposredno vpliva na zadovoljstvo kupcev, znižanje stroškov in izboljšanje konkurenčne prednosti podjetja. Pomembna naloga distribucijske logistike je tudi optimizacija transportnih poti in izbor najustreznejših prevozov sredstev. Podjetja danes uporabljajo programske rešitve, ki omogočajo izračun najkrajših poti, spremljanje vozil v realnem času (GPS sledenje) ter oceno stroškov goriva in čas dostave.

Z uvedbo digitalnih orodij, avtomatizacijo in umetne inteligence postaja distribucijska logistika vse bolj prilagodljiva in učinkovita. Podjetja, ki razumejo pomen distribucijske logistike kot strateške funkcije, lahko dosežejo večjo konkurenčnost, zmanjšajo stroške in hkrati izboljšajo zadovoljstvo svojih kupcev.



Slika 12: Materialni pretok v proizvodnem podjetju

(Vir: Poslovna logistika, 2010)

4 NOVE TEHNOLOGIJE IN VPLIV UMETNE INTELOGENCE NA VZDRŽEVANJE

Hitro napredovanje digitalnih tehnologij v zadnjem desetletju je bistveno spremenilo način, kako podjetja izvajajo in načrtujejo vzdrževalne procese. Koncept Industrije 4.0, ki združuje internet stvari (IoT), napredno analitiko podatkov, avtomatizacijo in umetno inteligenco, uvaja novo obdobje v proizvodnjo. Stroji in oprema so danes opremljeni s številnimi senzorji, ki v realnem času zbirajo podatke o temperaturi, vibracijah, porabi energije in ključnih parametrih delovanja. Takšna digitalizacija omogoča prehod od tradicionalnega preventivnega vzdrževanja, ki temelji na vnaprej določenih časovnih intervalih, k prediktivnemu vzdrževanju, kjer se odločitve sprejemajo na osnovi dejanskih podatkov in napovedi algoritmov.

S pomočjo strojnega učenja in analize velikih količin podatkov lahko umetna inteligenca prepozna skrite vzorce ter napove morebitne okvare, še preden pride do izpada proizvodnje. Omogoča samodejno optimizacijo razporejanja vzdrževalnih ekip, načrtovanje nabave rezervnih delov in celo sprotno prilagajanje proizvodnih parametrov, s čimer prepreči nastanek kritičnih okvar.

Vpeljava takšnih tehnologij prinaša številne prednosti, zmanjšuje nenačrtovane zastoje, podaljšuje življenjsko dobo strojev, znižuje stroške proizvodnje in zagotavlja večjo varnost delovnega okolja. Zahteva pa tudi prilagoditev organizacijske kulture, dodatno usposabljanje zaposlenih ter premišljeno upravljanje s podatki zaradi vprašanj kibernetске varnosti.

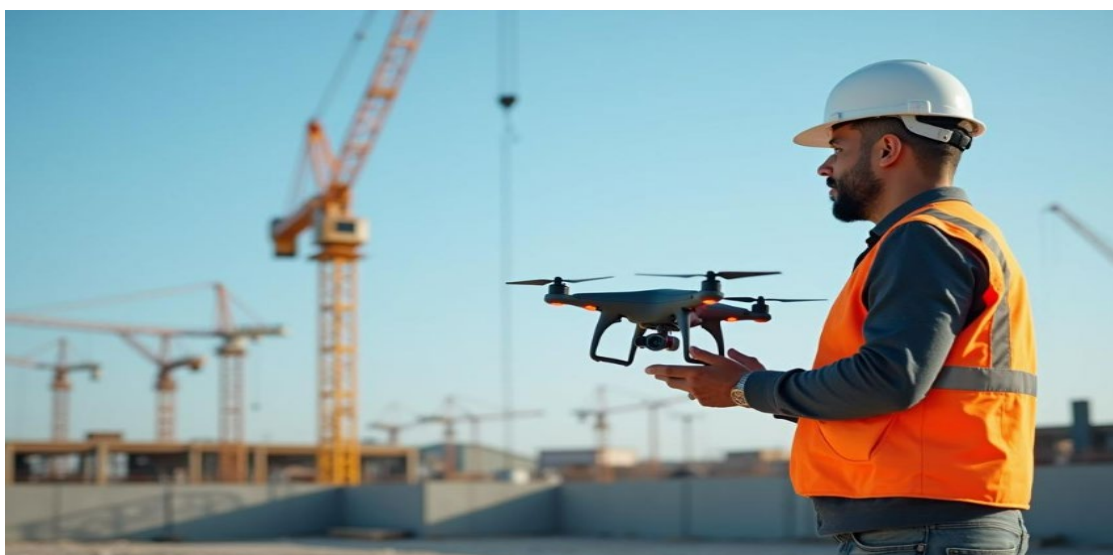
4.1 Razvoj umetne inteligence in brezpilotnih letalnikov (dronov)

Vzdrževalni procesi, ki so nekoč temeljili na ročnih pregledih in zamudnem načrtovanju, postajajo avtonomni, natančni in preventivni. Kombinacija umetne inteligence in dronov omogoča samodejno zaznavanje okvar in tveganj na težko dostopnih ali nevarnih lokacijah, kar je ključnega pomena za proizvodna podjetja in logistične centre. Senzorika in IoT-naprave spremljajo temperaturo, vibracije, porabo energije ter druge parametre. Obdelava podatkov z umetno inteligenco in algoritmi omogoča analizo pridobljenih podatkov v realnem času ter prepoznavanje vzorcev, ki nakazujejo obrabo ali napake (npr. povečane vibracije ležajev). Integracija z droni z visoko ločljivimi kamerami in toplotnimi senzorji posreduje podatke neposredno v analitične sisteme, kjer jih umetna inteligenca takoj obdeli. Povezava dronov in umetne inteligence se uveljavlja v številnih industrijskih in logističnih scenarijih, kot so:

- **Visokoregalna skladišča:** avtonomni droni izvajajo redne inventure, zaznavajo poškodbe regalov in stanje zaloga.
- **Transportne tirnice:** umetna inteligenca prepozna mikro razpoke in druge napake na tirnicah ter sproži pravočasno sanacijo.

- **Naftne in plinske ploščadi:** droni varno preverjajo cevovode, ventile in konstrukcije, kar zmanjšuje tveganje nesreč.
- **Energetska infrastruktura:** pregledi daljnovodov, sončnih in vetrnih elektrarn s termičnimi posnetki za zgodnje zaznavanje napak.
- **Proizvodni obrati:** kontrola strešnih konstrukcij, prezračevalnih sistemov in cevovodov brez zaustavitve proizvodnje.
- **Cestna in mostovna infrastruktura:** sistematičen pregled mostov, viaduktov in tunelov, zaznavanje razpok in posedanja.
- **Okoljska in varnostna kontrola:** nadzor emisij, uhajanja plinov ali prisotnosti nevarnih snovi v zraku in vodi.

Uporaba brezpilotnih letalnikov zahteva tudi upoštevanje zakonodaje in varnostnih protokolov. V Evropski uniji veljajo enotna pravila (EU 2019/947), ki določajo, kako in kje se droni lahko uporabljajo, posebej v industrijskih in zaprtih območjih. Podjetja morajo poskrbeti za ustrezno usposobljenost operaterjev, tehnično brezhibnost opreme ter varstvo podatkov, ki jih droni zajemajo. Poleg tega se pojavljajo etična vprašanja glede obdelave vizualnih in termičnih podatkov. Zato je pomembno, da podjetja upoštevajo varnostne protokole in omejitve dostopa ter uporabljajo šifriranje komunikacijskih kanalov med droni in podatkovnimi strežniki.



Slika 13: Uporaba dronov za pregled infrastrukture
(Vir: Geo-informatika portal, 2025)

4.1.1 Avtonomni droni kot podpora vzdrževanju in logistiki v podjetju IKEA

Za sodobna proizvodna in logistična podjetja je značilna stalna težnja po večji natančnosti, varnosti in učinkovitosti. Ena najzanimivejših inovacij, ki združuje umetno inteligenco in avtomatizacijo, je uporaba avtonomnih dronov za inventuro skladišč. Trgovina IKEA Slovenija je vzoren primer, kako takšna rešitev neposredno vpliva na vzdrževanje in logistične procese.

Tehnološka rešitev:

Strojna oprema: štirje droni švicarskega podjetja Verity, nameščeni na posebnih lokacijah, kjer se polnijo in shranjujejo.

Način delovanja: ponoči, od 22.00 do 3.00, vsak dan pregledajo približno 800 skladiščnih lokacij, enkrat tedensko pa vseh 7.000.

Navigacija: kombinacija notranjih oddajnikov in vizualne orientacije; umetna inteligenca prepozna skladiščne regale, črtne kode ter zazna odstopanja.

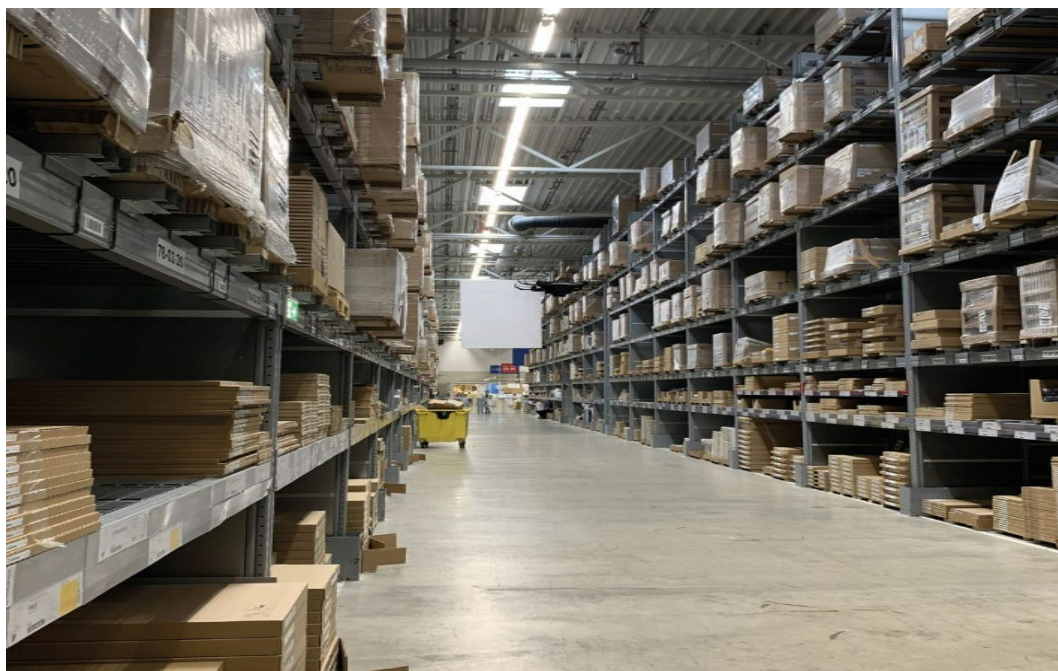
Integracija z logistiko: podatki o zalogah se sproti prenašajo v informacijski sistem, kar omogoča takojšnje ukrepanje v primeru pomanjkljivosti.

Pri večini skladiščnih mest dron prebere črtno kodo na sprednji strani palete, in če vidi, da je paleta še cela, jo šteje kot celoto in odleti naprej. Če zazna, da na paleti ni več vseh izdelkov, jih tudi prešteje, kar zanj ni velika težava, saj so škatle lepo zložene na paletah in oblepljene s kodami, tako da jih preprosto odčita. Če ugotovi kakšno nejasnost, takšno paleto označi in fotografira, zaposleni, ki zjutraj pride v službo, pa dobi natančno poročilo o opravljeni inventuri, vključno z vsemi skladiščnimi mesti, ki so označena za dodatno preverjanje.

Trenutno so droni sposobni štetja po regalih, kjer je vse urejeno (v škatlah) in torej preprosto za štetje. V podjetju načrtujejo naprej in razvijajo rešitev, ki bo znala šteti tudi posamezne artikle, zložene na policah ali v košarah po trgovini.



*Slika 14: Dron Verity v podjetju IKEA
(Vir: Verity portal, 2025)*



*Slika 15: Skladišče IKEA Slovenija.
(Vir: IKEA Slovenija, 2025)*

Prednosti

Uvedba dronov v inventurni proces prinaša številne prednosti, ki pomembno izboljšujejo učinkovitost in varnost dela. Ena ključnih prednosti je večja varnost zaposlenih, saj se ti pri delu ne vzpenjajo več na visoke regale, kar bistveno zmanjšuje tveganje za poškodbe. Prav tako se je čas izvedbe inventure skrajšal – namesto treh mesecev se celoten postopek lahko zaključi v enem tednu. Dodatno stalno posodabljanje podatkov med nočno inventuro omogoča sprotno spremljanje zalog, hkrati pa umetna inteligenca ob zaznavanju poškodb palet omogoča prediktivno načrtovanje vzdrževanja regalov. Pomembno je tudi, da uvedba dronov ni zmanjšala števila delovnih mest, temveč so bili zaposleni prerazporejeni.

Slabosti

Uporaba dronov prinaša izzive, ki jih je treba upoštevati pri njihovi uvedbi. Med ključne omejitve spada avtonomija baterije, saj je čas letenja omejen na 20 minut, kar lahko vpliva na obseg opravljenega dela. Poleg tega so začetni stroški nakupa in implementacije dronov relativno visoki, k čemur je treba dodati še stroške usposabljanja zaposlenih za varno in učinkovito uporabo tehnologije. Prisotno je tudi tveganje tehničnih okvar, kot so razbitja ali okvare posameznih komponent, kar lahko povzroči dodatne stroške in zamude. Primer podjetja IKEA Slovenija dokazuje, da kombinacija umetne inteligence in avtonomnih dronov ni zgolj orodje za hitrejšo inventuro, temveč strateški element vzdrževanja in logistike. Redno spremljanje zalog ter stanja regalov prispeva k boljšemu načrtovanju dobav in preventivnega vzdrževanja, zmanjšanju zastojev v oskrbovalni verigi, večji varnosti zaposlenih in nižji stopnji napak.

5 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo prikazali učinkovitost obstoječih praks vzdrževanja. Kot izhaja iz literature, je mogoče ugotoviti precejšnjo raznolikost pristopov, ki jih podjetja dejansko uporabljajo. Tradicionalne metode, temelječe na reaktivnem modelu, posegi ob okvari, so še vedno prisotne, vendar se sodobni trendi vedno bolj nagibajo v korist preventivnega vzdrževanja.

Številne raziskave potrjujejo, da prav preventivni ukrepi bistveno prispevajo k zmanjševanju okvar, povečanju zanesljivosti opreme in izboljšanju delovnih procesov. Dodatno se dolgoročno zmanjšujejo tako neposredni kot posredni stroški, povezani z vzdrževalnimi posegi, hkrati pa se preprečuje nenadna zaustavitev proizvodnje. Poleg tega literatura jasno poudarja pomen optimiziranih logističnih procesov za pravočasno dobavo in ustrezno skladiščenje rezervnih delov.

Sistemi varnostnih zalog v skladiščih igrajo ključno vlogo pri zagotavljanju nemotene izvedbe vzdrževalnih del, saj bistveno zmanjšujejo tveganje zamud zaradi neustrezne materialne podpore. Skrbno načrtovani in izvedeni logistični postopki tako omogočajo učinkovitejše vzdrževanje, zmanjšanje časovnih izgub ter izboljšanje operativne pripravljenosti ključnih sredstev podjetja. Zaključek diplomskega dela poudarja ključno vlogo vzdrževanja.

Pomemben del raziskave je bil tudi pomen komprimiranega zraka v proizvodnih procesih. Pokazalo se je, da gre za enega najdražjih in hkrati najbolj spregledanih energijskih virov v industriji. Že majhna puščanja lahko povzročijo velike energetske in finančne izgube. Redno spremljanje tlaka, pravočasno odkrivanje puščanj ter ozavešanje zaposlenih o racionalni rabi komprimiranega zraka so ključni dejavniki energetske učinkovitosti in trajnosti poslovanja.

Analiza različnih strategij vzdrževanja, korektivnega, preventivnega, napovedanega in produktivnega je pokazala, da so zmanjšanje izpadov, optimizacija stroškov in povečanje produktivnosti bistvena kombinacija vzdrževalnih aktivnosti. Uporaba ustreznih kazalnikov uspešnosti omogoča natančno spremljanje učinkovitosti vzdrževanja, pravočasno ukrepanje ter podporo strateškemu odločanju podjetja, hkrati pa je vzdrževanje tesno povezano z logističnimi procesi.

Nova tehnologija in umetna inteligenca vse bolj spreminjata način izvajanja vzdrževalnih procesov ter oblikujeta pametnejša, varnejša in učinkovitejša delovna okolja. Prihodnost vzdrževanja temelji na povezovanju človeškega znanja in digitalnih tehnologij, kjer umetna inteligenca deluje kot ključni pospeševalec inovacij in dolgoročne trajnostne rasti.

6 LITERATURA IN VIRI

Anderson, T. J., Sax, J. in Giannozzi, A. (2022). Conjoint effects of interacting strategy-making processes and lines of defense practices in strategic Risk Management: *An empirical study*. Long Range Planning, 55(6). Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2021.102164>

Berrbah, M., Ezzine, L. in Cherkaoui, M. (2022). Essential and New Maintenance KPIs Explained. *International Journal of Education and Management Engineering (IJEME)*, 12(6), 12-25. Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova <https://doi.org/10.5815/ijeme.2022.06.02>

Christopher, M. (2016). Logistics and supply management: *Logistics & supply chain management*. London: Pearson UK.

Drstvenšek, I. ., & Leber , M. (2020). *Upravljanje vzdrževanja*. Univerzitetna založba Univerze v Mariboru. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/459>

Fabrico. (2024). Optimizing maintenance operations: *A comprehensive guide to KPIs*. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://fabrico.io/blog>

Garcia, J., Rios-Colque, L., Peña, A., & Rojas, L. (2025). Condition Monitoring and Predictive Maintenance in Industrial Equipment: *An NLP-Assisted Review of Signal Processing, Hybrid Models, and Implementation Challenges*. Applied Sciences, 15(10), 5465. Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova <https://doi.org/10.3390/app15105465>

Health and Safety Executive (HSE). (2022). *Safe maintenance- Guidelines for employers*. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://www.hse.gov.uk>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2019). IEC 31010:2019 – Risk management – *Risk assessment techniques*. Ženeva: IEC.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 31000:2018 – Risk management — *Guidelines*. Ženeva: ISO.

Jasiulewicz-Kaczmarek, M. in Antosz, K. (2023). Industry 4.0 technologies for maintenance management – *An overview*. *Advances in manufacturing, production management and process control* (str. 77–94). Cham: Springer. Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova https://doi.org/10.1007/978-3-031-09382-1_7

Krupitzer, C., Wagenhals, T., Züfle, M., Lesch, V., Schäfer, D., Mozaffarin, A., Edinger, J., Becker, C. in Kounev, S. (2020). *A survey on predictive maintenance for Industry 4.0*. *arXiv*. Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.08224>

Lee, J., Ni, J., Singh, J., Jiang, B., Azamfar, M. in Feng, J. (2020). Intelligent maintenance systems and predictive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(1), 1–40. Pridobljeno 17. 8. 2025 z naslova <https://doi.org/10.1115/1.4047856>

Molęda, M., Małysiak-Mrozek, B., Ding, W., Sunderam, V. in Mrozek, D. (2023). From corrective to predictive maintenance — A review of maintenance approaches for the power industry. *Sensors*, 23(13), 5970. Pridobljeno 17. 8. 2025 z naslova <https://doi.org/10.3390/s23135970>

Nyhuis, P. in Wiendahl, H. P. (2009). *Fundamentals of production logistics: Theory, tools and applications*. Berlin: Springer.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2021). *Control of hazardous energy (Lockout/Tagout)*. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://www.osha.gov>

Oxmaint. (2025). *Key maintenance KPIs to monitor for optimal performance in 2025*. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://oxmaint.com/blog>

Peter Poór, Ženíšek, D. in Bas, J. (2019). Historical overview of maintenance management strategies: Development from breakdown maintenance to predictive maintenance in accordance with four industrial revolutions. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Plzeň, Češka republika.

Shiple, R. J., Miller, B. A. in Parrington, R. J. (2022). *Introduction to failure analysis and prevention*. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22, 9–41. Pridobljeno 17. 8. 2025 z naslova <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01324-2>

Thomas, J., Patidar, P., Vedi, K. V. in Gupta, S. (2022). An analysis of predictive maintenance strategies in supply chain management. *International Journal of Science and Research Archive*, 6(1), 308–317. Pridobljeno 6. 6. 2025 z naslova <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2022.6.1.0144>

UpKeep. (2024). *Productive maintenance: Enhancing equipment reliability through integrated design*. Pridobljeno 15. 10. 2025 z naslova <https://upkeep.com/learning/productive-maintenance>

Zipdo. (2024). *Manufacturing downtime statistics*. Pridobljeno 15. 10. 2025 z naslova <https://zipdo.co/manufacturing-downtime-statistics>

Zonta, T., da Costa, C. A., Righi, R. da R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S. in Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: *A systematic literature review*. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106889. Pridobljeno 6. 6. 2025 z naslova <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>