



Optimizacija poslovnih in tehnoloških procesov

Aleksander Janeš
Robert Pavlin



Znanstvene monografije
Fakultete za management



Optimizacija poslovnih in tehnoloških procesov

Aleksander Janeš
Robert Pavlin



Optimizacija poslovnih in tehnoloških procesov
Aleksander Janeš in Robert Pavlin

Recenzenta · Tomaž Kern in Maja Meško

Lektoriranje · Davorin Dukič

Tehnična ureditev · Tajda Senica

Prelom · Primož Orešnik

Fotografija na naslovnici · Freepik

Izdala in založila · Založba Univerze na Primorskem

Titov trg 4, 6000 Koper · www.hippocampus.si

Glavni urednik · Jonatan Vinkler

Vodja založbe · Alen Ježovnik

Koper, 2024

© 2024 Aleksander Janeš in Robert Pavlin

<https://www.hippocampus.si/ISBN/978-961-293-388-3.pdf>

<https://www.hippocampus.si/ISBN/978-961-293-389-0/index.html>

<https://doi.org/10.26493/978-961-293-388-3>



Izid monografije je finančno podprla

Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost

Republike Slovenije iz sredstev državnega proračuna

iz naslova razpisa za sofinanciranje znanstvenih monografij

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili
v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 223223299

ISBN 978-961-293-388-3 (PDF)

ISBN 978-961-293-389-0 (HTML)

Vsebina

Seznam slik	• 7
Seznam preglednic	• 8
Krajšave	• 11
Povzetek	• 13
Summary	• 14
1 Uvod	• 15
1.1	Opredelitev področja in opis problematike • 17
1.2	Predmet raziskovanja • 22
1.3	Razvoj hipotez • 26
1.4	Raziskovalne metode • 29
1.5	Predpostavke in omejitve raziskave • 33
1.6	Prispevek k znanosti • 34
2 Pregled stanja obravnavane problematike in osnove uspešnega obvladovanja podjetja	• 37
2.1	Management poslovnih procesov • 37
2.2	Merjenje uspešnosti procesov • 42
2.3	Merjenje razvoja • 52
2.4	Validacija meritev • 53
2.5	Ključni kazalniki poslovanja • 54
3 Management poslovnih procesov	• 57
3.1	Planiranje in vodenje timov • 58
3.2	Management projektov • 60
4 Sistem kazalnikov	• 67
4.1	Teoretični okviri za izdelavo sistemov • 67
4.2	Definiranje tehnološkega procesa • 67
4.3	Nabor orodij za spremljanje tehnoloških procesov • 71
4.4	Analiza primernosti podatkov • 73
4.5	Testiranje in validacija sistema • 73

5	Empirična raziskava	• 77
5.1	Predstavitev podjetja	• 77
5.2	Metode zbiranja podatkov	• 78
5.3	Reprezentativni sistem	• 83
5.4	Metode analize podatkov	• 84
5.5	Preverjanje in način testiranja hipotez	• 146
5.6	Prispevek k znanosti	• 181
6	Sklep	• 183
6.1	Izpolnjevanje ciljev	• 183
6.2	Preverjanje hipotez	• 184
6.3	Ključne ugotovitve	• 184
6.4	Možnosti za nadaljnje raziskovanje	• 185
	Literatura	• 187
	Recenziji	• 201

Seznam slik

- 1.1 Procesna arhitektura podjetja · 17
- 1.2 Splošen proces · 18
- 1.3 Proces merjenja · 23
- 1.4 Konceptualni model raziskave · 24
- 2.1 Shema tehnološkega procesa · 40
- 2.2 Tehnološki proces priprave in montaže · 41
- 5.1 Diagram lastnih vrednosti vijačenje – navor · 99
- 5.2 Strojna zmožnost vijačenje – Navor_oL; Navor_oD; Navor_ooL; Navor_ooD; Navor_1L · 111
- 5.3 Strojna zmožnost vijačenje – Navor_1D; Navor_2L; Navor_2D; Navor_3L; Navor_3D · 113
- 5.4 Grafični prikaz verjetnosti procesa vijačenje – Navor_oL; Navor_oD; Navor_ooL; Navor_ooD; Navor_1L · 114
- 5.5 Grafični prikaz verjetnosti procesa vijačenje – Navor_1D; Navor_2L; Navor_2D; Navor_3L; Navor_3D · 115

Seznam preglednic

- 5.1 Opisna statistika izhodiščnih kazalnikov · 92
- 5.2 Opisna statistika vijačenje – navor · 94
- 5.3 Korelacijska matrika vijačenje – navor · 95
- 5.4 Test KMO in Bartlettov test sferičnosti vijačenje – navor · 96
- 5.5 Antislikovna matrika vijačenje – navor · 97
- 5.6 Komunalitete vijačenje – navor · 98
- 5.7 Skupna pojasnjena varianca vijačenje – navor · 98
- 5.8 Faktorska matrika vijačenje – navor · 99
- 5.9 Test ustreznosti vijačenje – navor · 100
- 5.10 Ponovljene korelacije vijačenje – navor · 100
- 5.11 Matrika transformacije faktorjev vijačenje – navor · 102
- 5.12 Matrika koeficientov faktorskih ocen vijačenje – navor · 103
- 5.13 Komunalitete končnih kazalnikov po tretji optimizaciji – faktorska analiza · 105
- 5.14 Procesni podatki vijačenje – navor · 107
- 5.15 Splošna zmožnost vijačenje – navor · 107
- 5.16 Potencial znotraj zmožnosti vijačenje – navor · 109
- 5.17 Opazovana uspešnost vijačenje – navor · 109
- 5.18 Eksplicitna notranja zmožnost vijačenje – navor · 110
- 5.19 Eksplicitna splošna zmožnost vijačenje – navor · 110
- 5.20 Kritična strojna zmožnost CMK z vsemi optimizirani kazalniki · 116
- 5.21 Kritična procesna zmožnost · 117
- 5.22 Uspešnost poslovnega procesa, merjena s kazalnikom OEE in ROI · 118
- 5.23 Regresijski modeli za odvisnost kritične procesne zmožnosti (funkcija, skladnost z dokumentacijo) – druga optimizacija kritične strojne zmožnosti, OEE in ROI · 120
- 5.24 Regresijski modeli za odvisnost kritične procesne zmožnosti (dimenzijska ustreznost, skladnost z dokumentacijo) – tretja optimizacija za kritično strojno zmožnost, OEE in ROI · 121
- 5.25 Regresijski modeli za odvisnost kritične strojne zmožnosti (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja, končna kontrola časa) – druga optimizacija za kritično procesno zmožnost, OEE in ROI · 122

- 5.26 Regresijski modeli za odvisnost kritične strojne zmožnosti (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja, končna kontrola časa) – tretja optimizacija za kritično procesno zmožnost, OEE in ROI · 124
- 5.26 *Nadaljevanje s prejšnje strani* · 125
- 5.27 Opisna statistika med ROI₃ in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK) · 126
- 5.28 Korelacijski koeficienti med ROI₃ in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK) · 127
- 5.29 Korelacije med ROI₃ in kazalniki kritične procesne zmožnosti (CPK) · 128
- 5.30 Korelacije med OEE L₃ in kazalniki kritične procesne zmožnosti (CPK) L₃ · 129
- 5.31 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke OEE · 130
- 5.32 Korelacije kazalnikov CPK z odvisno spremenljivko OEE · 131
- 5.33 Korelacije med OEE L₃ in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK) L₃ · 133
- 5.34 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke OEE · 134
- 5.35 Korelacije kazalnikov CMK na odvisno spremenljivko OEE · 136
- 5.36 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Navor₃ (CMK) · 138
- 5.37 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Čas vijačenja₃ (CMK) · 139
- 5.38 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Število obratov₃ (CMK) · 140
- 5.39 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Temperatura lepila₃ (CMK) · 140
- 5.40 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Temperatura komponent₃ (CMK) · 141
- 5.41 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Masa lepila₃ (CMK)₁ · 142
- 5.42 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Čas lepljenja₃ (CMK) · 142
- 5.43 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Končna kontrola časa₃ (CMK) · 143
- 5.44 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Funkcije₃ (CPK) · 144
- 5.45 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Dimenzijska ustreznost₃ (CPK) · 146
- 5.46 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Skladnost z dokumentacijo₃ (CPK) · 147

- 5.47 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK
in odvisne spremenljivke ROI₃ · 147
- 5.48 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK
in odvisne spremenljivke ROI₃ · 148
- 5.49 Opisna statistika hipoteza 1 · 150
- 5.50 Opisna statistika hipoteza 2 · 153
- 5.51 Opisna statistika hipoteza 3 – funkcije_{3L} in kazalniki CMK · 158
- 5.52 Opisna statistika, hipoteza 3 – Dimenzijska ustreznost_{3L} in
kazalniki CMK · 160
- 5.53 Opisna statistika, hipoteza 3 – Skladnost z dokumentacijo_{3L} in
kazalniki CMK · 161
- 5.54 Opisna statistika, hipoteza 4 – Navor_{3L} in kazalniki CPK · 163
- 5.55 Korelacijska matrika, hipoteza 4 – Navor_{3L}, optimizacija 3 · 165
- 5.56 Opisna statistika, hipoteza 4 – Čas vijačenja_{3L}
in kazalniki CPK · 165
- 5.57 Korelacijska matrika, hipoteza 4 – Čas vijačenja_{3L},
optimizacija 3 · 166
- 5.58 Opisna statistika, hipoteza 5 – ROI_{3L} in kazalniki CMK · 173
- 5.59 Opisna statistika, hipoteza 6 – ROI_{3L} in kazalniki CPK · 175
- 5.60 Korelacijska matrika, hipoteza 6 – ROI_{3L} in kazalniki CPK,
optimizacija 3 · 177
- 5.61 Povzetek rezultatov optimizacij kritičnih strojnih in procesnih
zmožnosti, OEE in ROI – primerjava optimizacij 1, 2 in 3 · 180

Krajšave

AI	Artificial Intelligence (umetna inteligenca)
ANP	Analytic Network Process (analitični mrežni postopek)
BAM	Business Activity Monitoring (spremljanje poslovne aktivnosti)
BPM	Business Process Management (management poslovnih procesov)
BSC	Balanced Scorecard (uravnoteženi kazalniki)
CMK	Critical Machine Capability (kritična strojna zmožnost)
CP	Process Capability Index (zmožnostni koeficient procesa)
CPK	Critical Process Capability (kritična procesna zmožnost)
CPI	Continuous Process Improvement (stalno izboljševanje procesov)
CSF	Critical Success Factors (ključni dejavniki uspešnosti)
DFMEA	Design Failure Mode and Effects Analysis (analiza možnih napak in njihovih posledic pri načrtovanju)
DRL	Daytime Running Lights (dnevne luči)
DTC	Design-to-Cost (planiranje prihrankov)
EBIT	Earnings before Interest and Taxes (poslovni izid pred obrestmi in davki)
EBITDA	Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (dobičkonosnost pred obrestmi, davki, odpisi in amortizacijo)
HR	Human Resource (človeški viri)
IT	Information Technology
IOT	Internet of Things (internet stvari)
LED	Light Emitting Diode (svetleča dioda)
KPI	Key Performance Indicators (ključni kazalniki poslovanja)
LEAN	vitko proizvodnje; proizvodna praksa, s stalno težnjo po odpravljanju vseh potrat ali izgub v procesu proizvodnje
LSL	Lower Specification Limit (spodnja meja specifikacije)

MANOVA	Multivariate Analysis Of Variance (multivariatna analiza variance)
MSA	Measurement Systems Analysis (analiza merilnih sistemov)
NA	numerical aperture (numerična odprtina)
NQE	Non Quality Expenses (stroški nekakovosti)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (skupna učinkovitost opreme)
PCD	Process Control Diagram (procesni kontrolni diagram)
PFMEA	Process Failure Mode and Effects Analysis (analiza možnih procesnih napak in njihovih posledic)
PPM	Parts per Million (delež v milijonu)
PMM	Performance Management and Measurement (management in merjenje uspešnosti)
PMS	Performance Measurement Systems (sistemi za merjenje uspešnosti)
PM	Project Management (management projektov)
PTP	poslovni in tehnološki procesi
RCA	Root Cause Analysis (vzročna analiza)
R&D	Research and Development (raziskave in razvoj)
ROA	Return on Assets (čista donosnost sredstev)
ROI	Return on Investment (dobičkonosnost vloženega kapitala)
SF	Success Factors (dejavniki uspešnosti)
SME	Small and Medium-sized Enterprises (mala in srednje velika podjetja)
SMT	Senior Management Team (vršni managerski tim)
SOA	Service Oriented Architecture (storitveno usmerjena arhitektura)
SPC	Statistical Process Control (statistični procesni nadzor)
USL	Upper Specification Limit (zgornja meja specifikacije)

Povzetek

Kazalniki poslovanja so izjemno pomembni v poslovnih in tehnoloških procesih, saj pomagajo pri spremljanju uspešnosti in učinkovitosti procesov ter njihovem izboljševanju. Vendar pa izbira pravih kazalnikov zahteva veliko raziskav. S predmetno raziskavo je bilo ugotovljeno, da ni veliko uporabne literature, ki bi povezala tehnološke procese s poslovnimi. V raziskavi je opisan sistem za management ter monitoring poslovnih in tehnoloških procesov, ki omogoča učinkovitejše ter natančnejše merjenje poslovnih in tehnoloških procesov. Raziskava predstavlja vpogled v izbor pravih kazalnikov in njihovo uporabo v proizvodnih procesih. Poudarek je na optimizaciji poslovnih in tehnoloških procesov s pomočjo ustreznih kazalnikov poslovanja.

Ključne besede: management in merjenje poslovanja, sistemi za merjenje poslovanja, ključni kazalniki poslovanja, skupna učinkovitost opreme, dobičkonosnost vloženega kapitala, analiza sposobnosti stroja, analiza sposobnosti procesa

Summary

Optimization of business and technological processes.

Performance indicators are extremely important in business and technology processes, as they help to monitor and improve the efficiency and effectiveness of processes. However, choosing the right indicators requires a lot of research. The present study found that there is not much useful literature linking technological processes with business processes. The study describes a management and monitoring system for business and technology processes that enables more effective and accurate measurement of business and technology processes. The study provides insights into the selection of the right indicators and their use in manufacturing processes. The focus is on the optimisation of business and technological processes through the use of appropriate performance indicators.

Keywords: performance management and measurement, performance measurement systems, key performance indicators, overall equipment effectiveness, return on investment, machine capability index, process capability index.

1 Uvod

Management poslovnih in tehnoloških procesov predstavlja eno od ključnih funkcij v vsakem podjetju (Drucker 1954; 2002; 2008). Osredotoča se na obvladovanje delovnih sredstev in ustvarjanje dodane vrednosti za stranke (André 2019).

Predmet raziskave se je osredotočil na analizo poslovnih in tehnoloških procesov (PTP) ter ključnih kazalnikov poslovanja v kontekstu proizvodnega podjetja. Raziskava je temeljila na relevantni literaturi (Drucker 1954; Kaplan in Norton 1996; Neely 1999; Parmenter 2010 Porter 1985).

V raziskavi smo preučili korelacijo tehnoloških procesov z dobičkonosnostjo proizvodnje. Analizirali smo področja načrtovanja uporabe sredstev, zaporedja tehnoloških procesov in njihove učinkovitosti.

Pridobljeni rezultati so ponudili pomembne informacije o kazalnikih poslovanja, ki so bili ključni za učinkovito obvladovanje tehnoloških procesov v podjetju. Ti rezultati so podjetju omogočili boljše prepoznavanje možnosti za izboljšave učinkovitosti tehnoloških procesov. To pa je bilo v pomoč pri oblikovanju učinkovitih marketinških strategij, prepoznavanju ključnih dejavnikov za poslovanje ter vzpostavljanju naprednih modelov za napovedovanje trendov. Posledično je izboljšanje storitev in izdelkov podjetju omogočilo povečanje zadovoljstva ter zvestobe strank (Sivaev 2013; Sydler, Haefliger in Pruksa 2014).

V okviru raziskave smo razvili integriran sistem za merjenje PTP, prilagojen za uporabo v izbranem podjetju. Sistem je temeljil na analizi znanstvene in strokovne literature ter uporabljal statistične analize za definiranje ključnih kazalnikov poslovanja PTP. Poudarek smo namenili merjenju tehnoloških procesov priprave in montaže, vključno z njihovimi podprocesi, ter merjenju procesne in strojne zmožnosti skladno s standardom ISO 22514-7:2012 (International Organization for Standardization 2012).

Pri vsaki operaciji priprave in montaže smo se posluževali kritičnih procesnih ter strojnih zmožnosti za natančen opis posameznih proce-

sov. Merjenje procesov je trajalo več mesecev, pri čemer smo v nekaterih primerih izvedli večkratne optimizacije procesov in naprav ter ponovno merjenje, da smo dosegli ustrezne rezultate.

Cilj raziskave je bil dokazati, da lahko neustrezno opisovanje tehnoloških procesov korelira s poslovnimi procesi in s tem posledično tudi z uspešnostjo podjetja. Rezultati raziskave so koristni za izboljšanje procesov tehnološke priprave in za učinkovito obvladovanje tehnoloških procesov v podjetju.

Raziskovali smo problematiko sistema kazalnikov za merjenje tehnoloških procesov v podjetju. Teoretični del raziskave je temeljil na preučitvi literature, pri čemer smo analizirali elemente, ki jih mora vsebovati učinkovit sistem kazalnikov. V empiričnem delu smo izvedli raziskavo, v kateri smo samostojno merili tehnološke procese. Med ključnimi projektnimi kazalniki, ki smo jih preučevali, so bili: čas in stroški inštalacije naprav, čas in stroški zagona naprav, delovni cikli, optimizacijski krogi, stroški, maksimalna zmožnost, izmet po komponentah in končni izmet ter analiza robustnosti procesa. Slednja je temeljila na dimenzijskih in funkcionalnih merjenjih, analiza celotnega tehnološkega procesa pa se je izvajala za vsako operacijo z merjenjem na vsaj 50 zaporedno proizvedenih kosih (izdelkih) na vsaki operaciji. Kritična analiza procesne zmožnosti se je izvajala za vsako operacijo posebej. Meritve in postopki merjenja so bili jasno definirani, saj smo ugotovili, da lahko merjenje nepomembnih lastnosti korelira z negativnimi učinki na kakovost, čas in stroške procesa. S tem smo potrdili, da je za nadzor kakovosti, časa in stroškov ter izboljšanje procesov v podjetju ključnega pomena učinkovit sistem kazalnikov za merjenje tehnoloških procesov.

V dosegljivi literaturi smo pregledali obstoječe modele in koncepte merjenja poslovanja. V empiričnem segmentu raziskave smo se osredotočili na analizo trenutnih poslovnih in tehnoloških procesov izbranega podjetja ter na razvoj prilagojenega sistema merjenja poslovanja. Pri oblikovanju tega sistema smo se opirali na izbor ključnih kazalnikov poslovanja, ki so bili skladni s strateškimi cilji in z nameni podjetja. Vključen je bil tudi mehanizem za redno posodabljanje in prilagajanje kazalnikov, da bi zagotovili njihovo stalno ustreznost v dinamičnem poslovnem okolju.

Rezultati naše raziskave so potrdili, da integrirani sistem merjenja poslovanja za podjetje predstavlja učinkovito orodje pri usmerjanju njegovih dejavnosti k doseganju strateških ambicij. Sistem ne le da

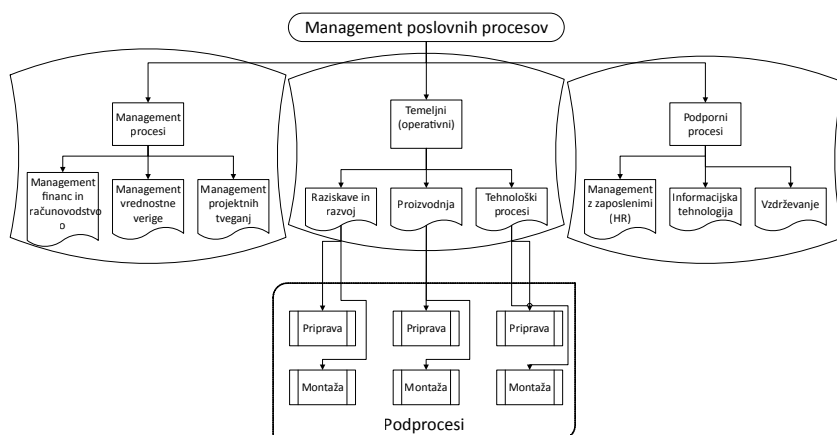
omogoča identifikacijo in odpravo morebitnih neučinkovitosti v procesih, ampak tudi zagotavlja kontinuirano spremljanje in vrednotenje napredka v smeri ciljev. Ta pristop tako podjetjem omogoča, da ostanejo agilna in usklajena s svojimi strateškimi usmeritvami, kar je ključno za njihova dolgoročna uspeh in rast.

1.1 Opredelitev področja in opis problematike

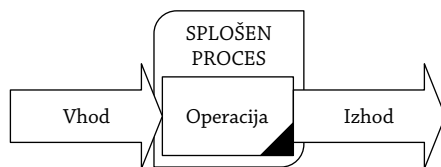
Management PTP predstavlja ključno in občutljivo funkcijo v vsakem podjetju. Njegova glavna naloga je zagotoviti usklajenost operativnih dejavnosti s poslanstvom, smotri, cilji in strategijo podjetja (Porter 2008). Posebna pozornost je namenjena učinkovitemu obvladovanju delovnih sredstev podjetja s ciljem ustvarjanja dodane vrednosti za stranko (Biloslavo, Bagnoli in Rusjan Figelj 2013).

Management PTP igra ključno vlogo pri hitrem odzivanju na spremembe in pripravljenosti na nenehno prilagajanje tržnim razmeram (Verle in Markič 2012; Verle idr. 2014). Učinkovito vodenje poslovnih procesov prispeva k rasti podjetja z izboljšanjem učinkovitosti, s povečanjem produktivnosti ter z doseganjem boljše učinkovitosti zaposlenih, kar posledično vodi do izboljšanih storitev za stranke (Choong 2013; Adamides 2015; Gębczyńska 2016). Vse izboljšave izhajajo iz optimizacije poslovnih procesov, ki neposredno prispeva k doseganju zastavljenih ciljev (Underdahl 2011; Kohlborn idr. 2014).

Poslovne procese lahko razdelimo v tri ključne skupine (slika 1.1): management, temeljni in podporni procesi (Harmon 2007). Med



Slika 1.1 Procesna arhitektura podjetja
Povzeto po Harmon (2007).



Slika 1.2 Splošen proces
Povzeto po Harmon (2007).

temeljne procese sodi tehnološki proces, ki opisuje postopke dela z uporabo sredstev (Johnson in Kaplan 1987). Management in merjenje učinkovitosti sta vzajemno dopolnjujoča procesa (Neely 1999; Thomas 2006a; 2006b). Pomembno vlogo v proizvodnem podjetju igrajo temeljni procesi, še posebej tehnološki proces, ki vključuje pripravo in montažo ter je povezan z ostalimi temeljnimi procesi (Harmon 2007).

Poslovni proces predstavlja niz aktivnosti, s pomočjo katerih načrtujemo enega ali več tipov vhodov (vložkov, t. i. »inputov«) ter ustvarjamo izhod (izide, t. i. »outpute«) (Tbaishat 2017; Laguna in Marklund 2019). Izhod je običajno proizvod (izdelek ali storitev), ki podjetju omogoča ustvarjanje dobička (Hammer in Champy 2003). Slika 1.2 nazorno prikazuje splošen poslovni proces, kjer se vhodne komponente transformirajo v izhodne produkte. Na levi strani so različne vhodne komponente, na desni strani pa izhodni produkti. V sredini so prikazane aktivnosti kot operacije, ki se izvajajo med pretvorbo vhodov v izhode. Namen slike je vizualizirati koncept poslovnega procesa ter prikazati, kako se s pravilnim načrtovanjem aktivnosti vhod učinkovito pretvori v izhod.

Tehnološki proces predstavlja ključni temeljni proces v domeni upravljanja poslovnih procesov (angl. *business process management* – BPM) (Röglinger, Pöppelbuß in Becker 2012; Brocke in Schmiedel 2015). Opredeljujemo ga kot opis postopka dela, ki ga določamo na podlagi virov, ki so na voljo v podjetju (Harmon 2007). Pri načrtovanju tehnološkega procesa upoštevamo uporabo posameznih sredstev za delo in zaporedje tehnoloških postopkov.

Management in merjenje učinkovitosti sta dva ključna procesa, ki ju ni mogoče ločiti, saj sledita drug drugemu. Oba se lahko merita s ključnimi dejavniki uspešnosti (angl. *critical success factors* – CSF) in ključnimi kazalniki poslovanja (angl. *key performance indicators* – KPI). Ti omogočajo hitre korektivne ukrepe in usmerjanje podjetja v skladu

z zastavljenimi cilji (Thomas 2006a; 2006b; Crandall in Crandall 2008; Howell 2010; Waal in Kourtiti 2013; Fritzenschaft 2014).

1.1.1 Širše področje raziskave

Širše področje naše raziskave je predstavljalo preučevanje PTP s poudarkom na ključnih kazalnikih poslovanja. Različni avtorji, kot so Biloslavo (2008), Drucker (2002; 2013), Drucker in Wartzman (2010), Kaplan in Norton (2008), Neely (2002), Parmenter (2010; 2016) in Porter (1985; 2008), so poudarili, da so ustrezni ključni kazalniki poslovanja nujno potrebni za uspešno obvladovanje podjetja. Še posebej Neely (2002) in Parmenter (2010; 2016) sta izpostavila prilagoditev sodobnim tehnologijam ter upoštevanje ključnih dejavnikov uspešnosti in nefinančnih kazalnikov.

Kljub temu se nobeden od omenjenih avtorjev ni posebej posvetil tehnološkim procesom, ki so sestavni del managementa poslovnih procesov in bodo v prihodnosti igrali pomembno vlogo pri uspešnosti podjetja. Naša raziskava je usmerjena tudi v reševanje raziskovalnega izziva, ki se pojavi pri opredelitvi merjenja in spremljanja učinkovitosti ter uspešnosti monitoringa PTP.

Danes so se mnogi raziskovalci in praktiki posvetili managementu in merjenju učinkovitosti (angl. *performance management and measurement* – PMM). Prišli so do spoznanja, da tradicionalni finančni kazalniki merjenja poslovanja managerjem niso zagotavljali dovolj informacij za odločanje (Kaplan in Norton 2001; Neely 2002; Drucker 2012; 2013; Edgeman idr. 2017; Robert, Giuliani in Gurau 2022).

Sodobni poslovni procesi se razlikujejo od tradicionalnih zaradi celovitosti in kritičnosti, kar je managerje spodbudilo k iskanju boljših metod za merjenje uspešnosti podjetja (Hammer in Champy 2003). Ti poslovni procesi so zasnovani z namenom, da vključujejo nefinančne meritve poslovanja, ki dopolnjujejo obstoječe finančne kazalnike in omogočajo zajemanje širše slike, usklajene s cilji podjetja (Neely 2002; Kaplan 2010). Nefinančni kazalniki so ključni za vzpostavitev uporabnega in funkcionalnega sistema, ki zadovolji potrebe podjetja. Pomagajo razumeti, kako uspešni smo pri doseganju zastavljenih ciljev (Waal in Kourtiti 2013), ter managerjem olajšajo sprejemanje korektivnih ukrepov in usmerjanje podjetja v pravo smer (Parmenter 2010), še posebej ob vedno večji konkurenci, kompleksnosti proizvodov in krajših dobavnih rokih (Ravesteyn in Batenburg 2010; Margherita 2014; Laux 2017).

V kontekstu malih in srednjih podjetij (angl. *small and medium-sized enterprises* – SME) je še vedno prevladoval reaktiven pristop (Kerzner 2011), značilen po čustvenem procesu odločanja in pomanjkanju dolgoročne strategije. SME se niso usmerjala v stalno izboljševanje procesov (angl. *continuous process improvement* – CPI) in niso vlagala denarja v gradnjo trdnih odnosov s strankami, ponudbo vrednosti ter povečanje ugleda podjetja (Randles in Laasch 2015; Agostini, Nosella in Soranzo 2017; Janeš, Biloslavo in Faganel 2017).

Sistem za merjenje poslovanja je bil zasnovan tako, da je ob finančnih kazalnikih večji poudarek dajal tudi nefinančnim kazalnikom, znanim kot kazalniki operativne uspešnosti in vodilni kazalniki (Venkatraman in Ramanujam 1986). Vodilni kazalniki (angl. *leading indicators*) so služili kot merila, ki so omogočala napovedovanje prihodnjih dogodkov ali trendov. Uporabljali so se za nadzor in ocenjevanje procesov ter aktivnosti, ki bi lahko imeli korelacijo z bodočimi rezultati. Za razliko od teh so zaostajajoči kazalniki (angl. *lagging indicators*) opredeljevali dogodke, ki so se že zgodili in se uporabljali za merjenje uspešnosti ali učinkovitosti preteklih aktivnosti. Vodilni kazalniki so bili ključni za načrtovanje in izvajanje poslovnih strategij, saj so podjetjem omogočali, da so sprejemala proaktivne odločitve in preprečevala težave. Za merjenje tehnoloških in poslovnih procesov je bil predlagan sistem, ki je vključeval pet integriranih podsistemov: sistem uspešnosti, stroškovni sistem, sistem ocenjevanja učinkovitosti, sistem primerjalnih analiz in sistem načrtovanja (Taticchi in Balachandran 2008; Norton 2012).

Razvoj tega koncepta je zahteval ustvarjanje empiričnega sistema, ki je bil implementiran kot ekonomsko merljivi kazalniki. Manipulacije s podatki in *ad hoc* metode so bile označene kot nezadostne, saj niso zagotavljale jasnega in realnega prikaza stanja (Morrison 1993). Kazalniki so morali biti del sistema merjenja poslovne uspešnosti, ki je vključeval nabor kazalnikov za preoblikovanje strategije v konkretne cilje in za spremljanje uspešnosti posameznih aktivnosti, da bi ocenili njihovo korelacijo z želenimi rezultati (Kaplan in Norton 2001; Parmenter 2010; Peljhan idr. 2010). Glavna naloga kazalnikov je bila zagotoviti, da so zaposleni razumeli svoje vloge v podjetju in prispevali k njegovemu uspehu (Carder in Ragan 2004). Podjetje je moralo imeti jasno opredeljene cilje in strategije, kar je omogočalo sprejemanje ustreznih odločitev na podlagi meritev poslovnih procesov in s tem približevanje izbranim ciljem (Taticchi in Balachandran 2008; Kaplan 2010).

1.1.2 Ožje področje raziskave

Ožje področje naše raziskave je bilo analiziranje obvladovanja tehnoloških procesov s poudarkom na njihovi učinkovitosti in uspešnosti. Merjenje teh parametrov je omogočilo natančen nadzor in prilagoditve procesov glede na določene standarde. Ta pristop je zahteval zajemanje številnih ključnih funkcij, pomembnih za uspešno delovanje, hkrati pa je moral biti prilagodljiv v spreminjajočem se poslovnem okolju, kjer so bile stalne spremembe strategij ključnega pomena za doseganje kakovostnih rezultatov. Kljub temu so bili opaženi primeri, kjer je neustrezen sistem merjenja učinkovitosti in uspešnosti negativno vplival na skupno uspešnost (Melnyk idr. 2014).

V znanstveni in strokovni literaturi je za označevanje učinkovitosti ter uspešnosti poslovnih procesov pogosto uporabljen izraz »produktivnost«. Kljub temu da se v praktičnih situacijah pogosto zamenjujeta, sta učinkovitost in uspešnost konceptualno različni. »Učinkovitost« izvirja iz angleške besede *efficiency* in se nanaša na to, kako učinkovito izvajamo delo. Po drugi strani pa izhaja iz angleške besede *effectiveness* in meri kakovost ter primernost izvedenega dela (Kralj 2003).

Sistemi za merjenje uspešnosti (angl. *performance measurement systems* – PMS) so razviti z namenom pomagati podjetjem pri doseganju ciljev (Barnes in Hinton 2008). Ti sistemi omogočajo stalno spremljanje poslovanja podjetja z opredelitvijo ključnih področij uspešnosti (Star idr. 2016). PMS jasno prikažejo stanje podjetja, hkrati pa služijo kot vodilo za doseganje ciljev. Predstavljajo močno vedenjsko orodje, ki zaposlenim sporoča, kaj je pomembno za doseganje ciljev podjetja (Taticchi idr. 2015).

Večina podjetij se trudi za procesno obvladovanje in izboljšave, pri čemer uporabljajo metode, kot sta vitka proizvodnja (LEAN) (Sayer in Williams 2007) ter šest sigma (6σ, Six Sigma) (Pyzdek 2003). V zadnjem času pa postajajo pomembne nove metode, kot sta metoda spremljanja dejavnosti poslovne aktivnosti (angl. *business activity monitoring* – BAM) (Janiesch, Matzner in Müller 2012) ter metoda storitvenega usmerjanja arhitekture (angl. *service oriented architecture* – SOA) (Malatras idr. 2008; McCann idr. 2021).

Management PTP v podjetju predstavlja akumulacijo kolektivnih izkušenj, razmišljanj in strokovnega razvoja na področju managementa. Vse cilje in strategije usmerja k stalnemu izboljševanju procesov in vzdrževanju ravnotežja med produktivnostjo ter proizvodno zmogljivostjo (Wysocki 2004; Nicholds in Mo 2016).

1.2 Predmet raziskovanja

Managerjem je nepoznavanje tehnoloških procesov otežilo doseganje »popolnega« nadzora nad dogajanjem v podjetju (Fischbacher-Smith 2017). Zato so uspešnost pogosto merili zgolj na podlagi finančnih kazalnikov poslovanja in produktivnosti (Barrows in Neely 2012). Čeprav je bila ta praksa na makro ravni sprejemljiva, pa se je izkazalo, da ni primerna, saj je reakcijski čas za hitro odpravo težav izjemno dolg. Pravilno nadzorovanje in merjenje tehnoloških procesov omogoča, da se vzrok za odstopanje od definirane procesa odpravi že kmalu po zaznavi težave (Crandall in Crandall 2008). V praksi je stalno izboljševanje procesov postajalo vedno pomembnejše, saj to vodi k ustvarjanju dodane vrednosti in odpravljanju nepotrebnih aktivnosti (Sayer in Williams 2007). Spoznanje, da neustrezen opis tehnoloških procesov lahko korelira s poslovnim procesom in posledično z uspešnostjo podjetja, nas je pripeljalo do odločitve, da to preučimo v naši raziskavi.

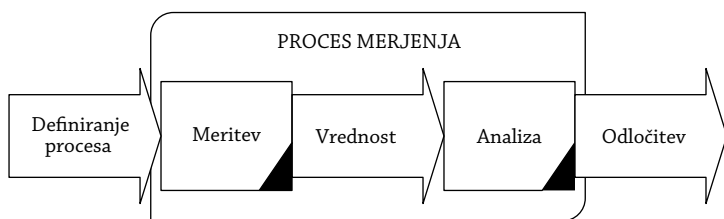
1.2.1 Raziskovalni problem

Razvoj integriranega sistema za merjenje PTP, namenjenega uporabi v izbranem podjetju, je predstavljal jedro našega raziskovalnega problema. Glavna izziva sta bila definiranje kazalnikov učinkovitosti in uspešnosti PTP ter oblikovanje procesov za njihovo merjenje.

Zasnova sistema se je oprla na obsežno analizo znanstvene in strokovne literature, ki obravnava sisteme ključnih kazalnikov poslovanja. Ta pregled nam je omogočil vpogled v različne pristope k merjenju poslovanja, ki so se že izkazali kot učinkoviti v podobnih industrijskih okoljih. Analitični preizkus sistema v izbranem podjetju nam je nato omogočil prilagoditev teoretičnih izhodišč specifičnim potrebam podjetja.

V procesu izdelave sistema smo se zanašali na statistične analize, ki so nam pomagale določiti ustreznost različnih sistemov ključnih kazalnikov poslovanja. Te analize so bile ključnega pomena za identifikacijo in definicijo specifičnih kazalnikov PTP za izbrano podjetje, ki omogočajo učinkovito spremljanje in izboljševanje poslovnih procesov.

Poleg osredotočenja na poslovne procese smo posebno pozornost namenili merjenju tehnoloških procesov. V ta namen smo izbrali dva projekta, ki sta vključevala različne oz. podobne procese priprave in montaže. Na njuni podlagi smo podrobno analizirali tehnološke procese in njihove podprocese, s poudarkom na definiranju meritev, njihovi izvedbi in analizi rezultatov.



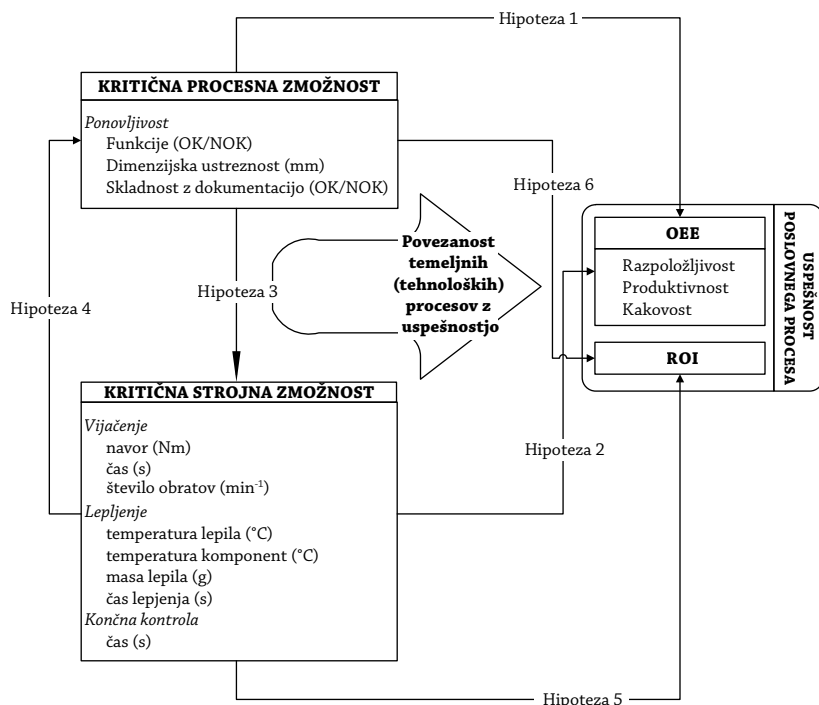
Slika 1.3 Proces merjenja
Povzeto po Down idr. (2010).

V okviru merjenja tehnoloških procesov smo izvedli tudi merjenje procesne in strojne zmožnosti, skladno s standardom ISO 22514–7:2012 (International Organization for Standardization 2012). Ta standard nam je služil kot osnova za zagotavljanje, da so naše merilne metode zanesljive in v skladu z mednarodno priznanimi standardi.

Merjenje procesov smo izvajali po procesu merjenja, kot je prikazano na sliki 1.3. Začetek tega procesa je zahteval jasno določitev ciljev merjenja in izbor ključnih kazalnikov, ki so služili kot osnova za zbiranje podatkov. Po tej pripravljalni fazi smo pristopili k natančnemu zbiranju informacij za posamezne kazalnike. Osrednji del našega prizadevanja je predstavljala analiza zbranih podatkov, ki je bila usmerjena v ugotavljanje uspešnosti procesov in identifikacijo področij, kjer so izboljšave mogoče. Glede na ugotovitve analize smo sprejeli odločitve za nadaljnje ukrepe, ki so prispevali k izboljšanju delovanja procesov in njihovi večji učinkovitosti. Ta proces merjenja nam je tako omogočil temeljito oceno in nadgradnjo obravnavanih procesov.

Med raziskavo smo morali natančno opredeliti tehnološke in merilne procese. Osredotočili smo se na preverjanje kritičnih procesnih in strojnih zmožnosti v vseh fazah priprave ter montaže, kar je prikazano v konceptualnem modelu (glej sliko 1.4). Merjenje kritičnih zmožnosti je trajalo 12 mesecev, kar je običajno za tako kompleksne procese (Pyzdek 2003). Neoptimalni procesi so zahtevali večkratno optimizacijo in ponovna merjenja. Začeli smo z optimizacijo merilnega procesa, nato pa se osredotočili na popravke in, če je bilo treba, prenovo naprav. Izvedli smo več tisoč meritev, ki so bile osnova za analizo procesov priprave in montaže (Pavlin 2018–2019).

Identificirane pomanjkljivosti so zahtevale večkratne optimizacije, zlasti stabilizacijo merilnega procesa. To je vključevalo prilagoditve in popravke na napravah, nekatere pa smo morali celo popolnoma prenoviti. Skupaj smo izvedli obsežno število meritev, kar je zagotovilo za-



Slika 1.4 Konceptualni model raziskave

nesljive rezultate za analizo tehnoloških procesov (Pavlin 2018–2019; Pavlin in Janeš 2024).

Pridobljene informacije o procesni in strojni zmožnosti smo vključili v sistem za merjenje PTP, kar je omogočilo boljše razumevanje in nadaljnje izboljšave. Ta pristop je zagotovil kredibilne in preverljive rezultate za nadaljnjo optimizacijo procesov.

Ključni kazalniki poslovanja za obvladovanje poslovnih procesov proizvodnje so definirani v standardu ISO 22400–2:2014 (International Organization for Standardization 2014; Mourougan 2015). Ti kazalniki vključujejo metrike, ki so tesno povezane s produktivnostjo, pogosto ključnim merilom učinkovitosti procesa. Produktivnost lahko izračunamo z enačbo, podobno tisti, ki se uporablja v tehničnih vedah (Montequín idr. 2013). Ta enačba nam omogoča oceno razmerja med končnim izdelkom proizvodnega procesa in vloženimi viri (Atkinson idr. 2012):

$$\mu = \frac{\text{izhodi}}{\text{vhodi}}. \quad (1.1)$$

Učinkovit sistem KPI mora biti neposredno povezan z vsaj enim ali več ključnimi dejavniki uspeha (angl. *success factors* – SF), večdimenzionalnimi uravnoteženimi merili in s strateškimi cilji podjetja na različnih organizacijskih ravneh (Howell 2010; Parmenter 2010; Fritzenschaft 2014). To zagotavlja, da so celo manj kritični KPI usklajeni s SF, kar omogoča globlje razumevanje uspešnosti na vseh področjih delovanja. SF predstavljajo ključno komponento v teoriji managementa, saj se od podjetij pričakuje, da identificirajo med pet in osem takšnih dejavnikov, ki služijo kot osnova za merjenje uspešnosti pri najpomembnejših KPI (Parmenter 2010). V praksi so nekatera podjetja najprej opredelila SF in nato definirala merila ter KPI, ne da bi v celoti upoštevala, ali so bili ti SF dejansko doseženi (Crandall in Crandall 2008; Kerzner 2011; Kovačič 2007). Široko sprejeta je bila predpostavka (Kaplan in Norton 2006; Kerzner 2011; Parmenter 2016), da bo prihodnost upravljanja poslovnih in tehnoloških procesov (PTP) zasnovana na matrični organizacijski strukturi, ki bo osredotočena predvsem na projektno vodenje. Ne glede na poslovno področje podjetja so SF ključnega pomena za podporo poslovni strategiji, saj omogočajo identifikacijo in spremljanje nefinančnih kazalnikov, ki so sinhronizirani z misijo, vizijo, s strategijami in cilji podjetja ter z metodami za njihovo doseganje. Pogosto se je zgodilo, da so podjetja zanemarila ocenjevanje in izvajanje strategij, ki jih je določil vodilni menedžerski tim (angl. *senior management team* – SMT), kar je privedlo do vprašanj o uspešnosti takšnih strategij glede na zastavljene strateške cilje (Oxelheim in Wihlborg 2008; Micheli in Mura 2017).

Naš raziskovalni problem se osredotoča na definiranje metod za merjenje in spremljanje učinkovitosti ter uspešnosti PTP.

1.2.2 Namen raziskave

Namen raziskave je bil na podlagi teoretičnih izhodišč ter formiranja konceptualnega modela razviti integriran sistem za merjenje PTP v proizvodnem podjetju. Raziskavo smo izvedli z namenom razumevanja korelacij med tehnološkimi kazalniki kritičnih procesnih zmožnosti (angl. *critical process capability* – CPK), kritičnih strojnih zmožnosti (angl. *critical machine capability* – CMK) in splošne učinkovitosti opreme (angl. *overall equipment effectiveness* – OEE) ter finančnim kazalnikom dobičkonosnosti vloženega kapitala (angl. *return on investment* – ROI) in pomembnosti te povezanosti za celovito uspešnost podjetij v tem sektorju.

1.2.3 Raziskovalno vprašanje

Tekom raziskave nas je vodilo raziskovalno vprašanje, ki se je glasilo: »Kakšna je povezanost med tehnološkimi kazalniki CPK, CMK in OEE ter finančnim kazalnikom ROI v kontekstu PTP proizvodnega podjetja?«

1.2.4 Cilji raziskave

Iz namena raziskave sledijo naslednji cilji:

1. na podlagi razpoložljivih baz podatkov bomo opravili sistematičen pregled dosegljive relevantne domače in tuje znanstvene ter strokovne literature s področja merjenja PTP;
2. z uporabo kvantitativne (faktorska analiza, regresijska analiza, MANOVA) in kvalitativne (metoda dnevnika) znanstvenoraziskovalne metodologije bomo analizirali obstoječi sistem za merjenje PTP v izbranem podjetju;
3. razvili bomo integriran sistem za merjenje PTP v izbranem podjetju, ki bo omogočal obvladovanje procesov v realnem času.

1.3 Razvoj hipotez

Sistemi za merjenje kazalnikov PTP so ključnega pomena za upravljanje v sodobnih podjetjih. Raziskave so razkrile, da lahko nepravilna interpretacija ali uporaba teh sistemov vodi do napačnih predstav o uspešnosti podjetja. Zato je razvoj sodobnih, učinkovitih in zanesljivih integriranih sistemov za merjenje PTP ključnega pomena.

V naši raziskavi smo se osredotočili na identifikacijo in obravnavo izzivov pri merjenju PTP. Med glavnimi izzivi smo izpostavili pomanjkanje standardizacije v metodah merjenja in interpretaciji podatkov, vprašljivo kakovost zbranih podatkov ter omejitve posameznih meritev PTP pri pravilnem odražanju dejanske uspešnosti podjetja, če se zanemari širši poslovni kontekst.

Na podlagi teh ugotovitev smo v okviru raziskave razvili prilagojen integriran sistem za merjenje PTP za določeno podjetje, ki temelji na študiji primera. Naš cilj je bil ustvariti sistem, ki ne samo da odraža specifične potrebe podjetja, ampak tudi omogoča zanesljiv in učinkovit monitoring uspešnosti podjetja ob upoštevanju njegovega širšega poslovnega okolja.

Pomen takšnega pristopa je že pred desetletji poudaril Peter F. Drucker (1954, 62–87) s parafrazirano mislijo, da »česar ne moreš me-

riti, ne moreš upravljati«, kar dodatno utrjuje potrebo po zanesljivih sistemih za merjenje.

1.3.1 Razvoj hipotez

Merjenje uspešnosti je v preteklosti predstavljalo ključni proces za managerje v podjetjih, vključno z zbiranjem in analiziranjem podatkov o učinkovitosti različnih komponent v poslovnem procesu (Neely, Gregory in Platts 1995). Management poslovnih procesov je pogosto premalo pozornosti namenjal tehnološkim procesom, kar sta izpostavila Neely (2002) in Kerzner (2011). Čeprav je bila želja po maksimiranju dodane vrednosti z minimalnimi vložki prisotna, je bila spregledana možnost, da bi večja začetna investicija v tehnologijo lahko prinesla občutne prihranke skozi čas. Nekateri tehnološki procesi, ki niso bili neposredno povezani s finančnimi kazalniki, so lahko vodili do manj učinkovitega delovanja podjetja, kar je povzročalo finančne izgube, če niso bili primerno definirani ali izbrani. Pomanjkanje nefinančnih kazalnikov, ki sta jih izpostavila Kaplan in Norton (2008), je predstavljalo izziv, saj so bili ti težje merljivi.

Sčasoma so se trendi spremenili in profitabilnost ni več edini pokazatelj poslovne uspešnosti (Kerzner 2011). Raziskave so razkrile, da se investitorji in analitiki poleg finančnih kazalnikov vse bolj zanašajo na dodatne nefinančne kazalnike. Finančni kazalniki zdaj po nekaterih ocenah predstavljajo zgolj tretjino ocene poslovne uspešnosti podjetij, kar je managerjem posredovalo sporočilo o pomembnosti celostnega pristopa k merjenju uspešnosti (Melcher 2012).

Janeš in Faganel (2013) sta poudarila, kako pomembno je, da podjetje svoje strateške cilje uskladi s kazalniki poslovanja. To celotni organizaciji pomaga delovati usklajeno in z enakimi cilji. Prav tako sta izpostavila, da je za ocenjevanje uspešnosti podjetja treba uporabiti sistem, ki zajema tako finančne kot tudi nefinančne kazalnike. Tak sistem omogoča celovit pregled nad tem, kako podjetje deluje, in služi kot osnova za pomembne strateške odločitve ter načrtovanje za prihodnost.

1.3.2 Hipoteze

V skladu z zastavljenimi nameni in cilji raziskave smo oblikovali šest hipotez. Za preverjanje hipotez smo uporabili metodo multiple regresijske analize po modelu $Y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + \epsilon_i$ (Bryman in Bell 2011). Pred začetkom preverjanja hipotez smo natančno preg-

ledali spodnje in zgornje mejne vrednosti vseh spremenljivk – kazalnikov z uporabo standardne ocene napake. Ta postopek nam je omogočil, da smo se izognili morebitnim napakam pri vnosu podatkov, ki bi lahko vodile do napačnih sklepov analize.

Hipoteza 1 Kritična procesna zmožnost je statistično značilno povezana s skupno učinkovitostjo opreme.

Hipotezo 1 smo preverjali z uporabo multiple regresijske analize, s katero smo raziskovali povezave med ključnimi kazalniki (Hair idr. 2014). Za neodvisne spremenljivke smo izbrali meritve, ki predstavljajo kazalnike tehnoloških procesov priprave in montaže, vključno s CPK. Kot odvisne spremenljivke v regresijskih enačbah smo uporabili kazalnike OEE, med katerimi so bili kazalniki razpoložljivosti, produktivnosti in kakovosti.

Hipoteza 2 Kritična strojna zmožnost je statistično značilno povezana s skupno učinkovitostjo opreme.

Hipotezo 2 smo preverili z multiplo regresijsko analizo, pri čemer smo se osredotočili na kazalnike CMK za vijačenje, lepljenje in končno kontrolo. Ti kazalniki so bili izbrani kot neodvisne spremenljivke zaradi svojega ključnega pomena pri ocenjevanju ponovljivosti tehnoloških procesov. Želeli smo raziskati, kako so izbrani kazalniki CMK povezani s kazalniki OEE, ki zajemajo elemente, kot so razpoložljivost, produktivnost in kakovost.

Hipoteza 3 Kritična procesna zmožnost je neposredno povezana s kritično strojno zmožnostjo.

Hipotezo 3 smo preverjali z namenom ugotoviti korelacijo med kazalniki CPK, upoštevanimi kot neodvisna spremenljivka, in kazalniki CMK, obravnavanimi kot odvisna spremenljivka.

Hipoteza 4 Kritična strojna zmožnost je neposredno povezana s kritično procesno zmožnostjo.

Hipotezo 4 smo preverili z obratnim pristopom kot pri hipotezi 3, pri čemer smo CMK obravnavali kot neodvisno spremenljivko, medtem ko je bila CPK opredeljena kot odvisna spremenljivka.

Hipoteza 5 Dobičkonosnost vloženega kapitala je odvisna od kritičnih strojnih zmožnosti.

Hipotezo 5 smo preverili z multiplo regresijsko analizo, da bi ugotovili odvisnost med ROI in CMK. Pri tem smo CMK obravnavali kot neod-

visno spremenljivko, medtem ko je ROI služila kot odvisna spremenljivka. V naši raziskavi smo ROI opredelili kot razmerje med prodajno ceno projekta, ki zajema stroške razvoja projekta, stroške orodij za pripravo, stroške montažne linije in zagon proizvodnje, ter denarjem, ki je bil vložen v projekt.

Hipoteza 6 Dobičkonosnost vloženega kapitala je odvisna od kritične procesne zmožnosti.

Hipotezo 6 smo preverili z multiplo regresijsko analizo, pri čemer smo raziskovali odvisnost med ROI in CPK. Uporabili smo enako definicijo kazalnika ROI kot pri preverjanju hipoteze 5. Pri analizi smo CPK tehnoloških procesov priprave in montaže obravnavali kot neodvisne spremenljivke, medtem ko je ROI služila kot odvisna spremenljivka.

1.4 Raziskovalne metode

Glede na namen in cilje raziskave smo le-to razdelili na teoretični ter empirični del (Bryman in Bell 2011). V teoretičnem delu smo na podlagi dosegljive literature preučevali, katere elemente mora vsebovati dober sistem kazalnikov, v empiričnem pa je naša dodana vrednost zaradi rezultatov na osnovi meritev največja. Eden izmed najpogostejših načinov ločevanja različnih strategij raziskave je razlikovanje med kvantitativno in kvalitativno paradigmo raziskovanja. Čeprav obe metodologiji predstavljata več načinov pristopa poslovne raziskave, se lahko v neki meri prekrivata (Jensen in Jankowski 1991).

1.4.1 Metode zbiranja podatkov in vzorec meritev tehnološkega procesa

Vse meritve tehnoloških procesov za potrebe naše raziskave smo opravili sami, saj podjetje za obdobje zagona montažnih naprav ni imelo na voljo lastnih meritev. Zavedanje pomembnosti podatkov o zagonu za načrtovanje in izbiro tehnoloških procesov pri bodočih projektih nas je spodbudilo k zbiranju vseh potrebnih informacij na projektni ravni za uspešno izvedbo raziskave.

Pomembni projektni kazalniki PTP, ki smo jih merili, so vključevali čas in stroške inštalacije naprav, čas in stroške zagona naprav, delovne cikle, optimizacijske kroge, stroške, maksimalno zmožnost (tako načrtovano kot dejansko), izmet po komponentah (v EUR in %), skupni izmet (v EUR in %) ter analizo robustnosti procesa. Analiza robustnosti,

vključujoč CPK- in CMK-analize, je temeljila na dimenzijskih in funkcionalnih meritvah. Za natančno analizo smo na vsaki od 14 operacij montažnega procesa analizirali najmanj 50 zaporedno izdelanih kosov, kar je skupno predstavljalo izvedbo vsaj 700 meritev na optimizacijo (Pavlin 2018–2019; Pavlin in Janeš 2024).

Pri pregledu tehnološkega procesa montaže smo ugotovili, da proces v fazi zagona večinoma ni dosegel predpisanih tolerančnih mej. Za zagotavljanje skladnosti proizvedenih izdelkov s tehničnimi zahtevami smo izvedli tri optimizacije. Te so bile ključne za izboljšanje tehnoloških procesov, omogočile so nadzor nad procesnimi parametri ter usklajevanje s tehničnimi specifikacijami in zahtevami izdelka. Po vsaki optimizaciji smo opravili ponovne meritve, da bi preverili stabilnost in zanesljivost procesa, kar je bilo ključno za doseganje kakovosti proizvedenih izdelkov in zmanjšanje količine izmeta.

Meritve so potekale v skladu s standardom ISO 22514–7:2012 (International Organization for Standardization 2012), ki določa minimalno število 50 meritev za zaporedno izdelane kose na posamezno operacijo, kar pomeni, da smo za celoten tehnološki proces opravili meritve na najmanj 700 kosih v eni optimizaciji. Za vsako operacijo smo posebej analizirali CPK in CMK, pri čemer smo posebno pozornost namenili merjenju lastnosti, ki morda niso bile neposredno povezane z osnovnimi zahtevami izdelka, saj lahko njihova prisotnost bistveno korelira s kakovostjo, časom izdelave in stroški.

Za analizo zadnje operacije montaže, kjer smo preverjali funkcionalnost, dimenzijsko ustreznost in kakovost izdelka, smo izvedli 250 meritev (Hubbard 2010; Pavlin 2018–2019). Te meritve so bile ključne za zagotovitev, da izdelki izpolnjujejo vse predpisane tehnične zahteve. Vse meritve so potekale v proizvodnji, ki je imela vgrajeno vso potrebno merilno opremo za monitoring tehnoloških procesov, in v laboratoriju podjetja. V primerih, ko je bilo ugotovljeno, da proces ni bil stabilen, smo po optimizacijah in ponovljenih meritvah dosegli želeno stabilnost procesa ter kakovost izdelka.

1.4.2 Raziskovalne metode za doseganje ciljev

Za doseg ciljev raziskave smo uporabili pristop, ki združuje tako kvalitativno kot kvantitativno raziskovanje. Pri analiziranju podatkov smo se opirali na uporabo statističnih programov, kot sta IBM SPSS Statistics in Minitab, kar je omogočilo temeljito obdelavo zbranih informacij na natančen in zanesljiv način.

Prvi cilj

Za dosego prvega cilja smo analizirali dosegljivo znanstveno literaturo in podatkovne baze podjetja. Z metodo deskripcije (Yin 2009; Bryman in Bell 2011) smo pregledali in analizirali zbrane vire podatkov. Uporabili smo tudi komparativno metodo (Dawson 2009), da smo primerjali in ocenili različne avtorske vire ter sisteme in jih prilagodili sodobnemu poslovnemu okolju podjetja. Na podlagi pregleda literature smo opredelili raziskovalno področje managementa PTP, ki smo ga nato preučili do te mere, da smo v celoti razumeli pomen kazalnikov za merjenje učinkovitosti procesov.

Drugi cilj

Za dosego drugega cilja smo se poslužili faktorske analize, s katero smo določili najpomembnejše kazalnike in multiple regresijske analize. Tako smo preverili povezavo med CPK in CMK. MANOVO smo uporabili za preučitev odvisnosti med več odvisnimi in neodvisnimi spremenljivkami (kazalniki), kot sta kazalnika OEE in ROI. Analizirali smo dobičkonosnost in produktivnost na eni strani ter čas in kakovost izdelave ter količino proizvedenih izdelkov na drugi strani (Hair idr. 2014; Scheer idr. 2006). Velik poudarek smo posvetili merjenju in analizi meritev tehnoloških procesov, ki smo jih izvajali za namen raziskave. Lastne meritve in njihova natančnost predstavljajo jedro integriranega sistema za merjenje PTP, ki smo ga razvili.

V proces merjenja tehnoloških procesov smo bili aktivno vključeni z opazovanjem in lastno udeležbo pri izvajanju meritev, ki smo jih izvajali enajst mesecev. Namen tega pristopa je bila združitev kvalitativnega dela z več kvantitativnimi spremenljivkami, katerih analiza je namenjena interpretaciji rezultatov. V podporo izvedbi raziskave smo se na tem mestu poslužili metode dnevnika, s katero smo beležili sklepe sestankov, razgovore z vpletenimi člani tima, predloge izboljšav, ugotovitve itd. (Easterby-Smith, Thorpe in Lowe 2007; Pavlin 2018–2019; Pavlin in Janeš 2024). Z metodo dnevnika smo definirali, katere meritve tehnoloških procesov smo izvajali, ter beležili dogajanje okoli izbranih tehnoloških procesov in druge aktivnosti, povezane z raziskavo. Izvajali smo tudi faktorsko analizo kazalnikov CPK in analizo CMK, s katero smo minimalizirali meritve kazalnikov glede na smiselnost. S kazalniki torej sklepamo na dejavnike v ozadju, zato smo s faktorsko analizo iskali trend več spremenljivk in njihove skupne faktorje, ki bi lahko korelirali z enim ali več kazalnikov (Hair idr. 2014).

Vse meritve (povezane s tehnološkim procesom in z izdelkom) za potrebe raziskave smo skladno s predlogi zanje izvedli v laboratoriju podjetja.

Z regresijsko analizo smo analizirali odvisnost med kazalniki, ki jih zajema obstoječi sistem, ki ga v izbranem proizvodnem podjetju uporabljajo za merjenje poslovnih procesov. Pri tej analizi smo uporabljali primarne podatke, ki smo jih pridobili v času raziskave z merjenjem tehnoloških procesov, in sekundarne podatke (starost podatkov do 12 mesecev) meritev PTP podjetja.

Tretji cilj

Tretji cilj, ki je osrednji del raziskave (razvoj integriranega sistema za merjenje PTP v izbranem podjetju), smo dosegli z uporabo kvantitativne metodologije. Merili smo različne kazalnike poslovanja PTP, kot so CPK, CMK, OEE in ROI. Ti kazalniki so bili izbrani na podlagi faktorske analize, ki je omogočila preverjanje razmerij med spremenljivkami ter določitev ključnih kazalnikov (Hair idr. 2014). S faktorsko analizo smo določili mnogo manjše število spremenljivk – kazalnikov, ki jih je v procesu merjenja PTP smiselno spremljati. Tako smo definirali, kako so podatki oz. meritve razvrščeni po pomembnosti (Pagano 2013). Poleg tega smo s faktorsko analizo preučili povezavo med različnimi metodami merjenja kazalnikov tehnoloških procesov in preverjali, ali je te meritve mogoče združiti (Hair idr. 2014). V praksi smo to izvedli z analizo skladnosti izvajanja meritev s tehničnimi zahtevami (Pyzdek 2003; Hubbard 2010; Melnyk idr. 2014), pri čemer smo preučili postopek merjenja, pogostost meritev, pogoste napake ter razlike med operativnimi ekipami med proizvodnjo izdelka. Izvedli smo več ponovitev preizkusa sistema merjenja, pri čemer smo ustavili postopek, ko sta dve zaporedni ponovitvi privedli do enakih rezultatov.

V sklepnem delu raziskave smo vzpostavili povezave med konceptualnim sistemom za monitoring PTP in dejanskim sistemom PTP, ki ga je podjetje uporabljalo. Na osnovi tega smo prišli do novih ugotovitev.

Nov integrirani sistem za merjenje procesnega časa izdelave v podjetju je omogočal celovit nadzor nad poslovnimi procesi, saj je zajemal osrednji poslovni proces, v katerem so bile vse ključne tehnološke in sorodne aktivnosti ustrezno dokumentirane ter integrirane v merilni sistem.

1.5 Predpostavke in omejitve raziskave

V raziskavi smo se osredotočili na predpostavko, da je učinkovit sistem za merjenje uspešnosti ključnega pomena za podjetje, saj omogoča sledenje strateškim ciljem in smotrom. Vsa podjetniška prizadevanja naj bi bila usmerjena k podpori teh ciljev, kot jih določajo lastniki in najvišje vodstvo. Poudarili smo specifično usmerjanje v posamezne cilje, kar zahteva agilnost in učinkovitost pri merjenju. Redno posodabljanje merilnih sistemov podjetju omogoča učinkovito reagiranje na strateške spremembe (Janeš in Faganel 2013). Zato smo razvili integriran sistem za merjenje PTP, ki podpira stalno prilagajanje in doseg strateških ciljev podjetja.

Raziskava je temeljila na predpostavki, da je v izbranem podjetju na voljo zadostna količina podatkov za razvoj takega sistema (Denzin in Lincoln 2011).

Omejitve raziskave so bile tako metodološke kot vsebinske. Metodološke omejitve so bile povezane s težavami pri generalizaciji ugotovitev, vsebinske pa so bile vezane na specifičnost izbranega podjetja in odziv udeležencev (Yin 2009).

Za zagotovitev visoke zanesljivosti ugotovitev in za minimizacijo morebitnih pristranskosti ali napak smo v raziskovalnem delu uporabili triangulacijo. Ta pristop je obsegal kombiniranje različnih metod zbiranja in analize podatkov, vključno s faktorsko analizo, z regresijsko analizo, analizo dokumentov ter analizo CPK in CMK. S tem pristopom smo izboljšali konsistentnost in metodološko veljavnost naše raziskave, kar dodatno pripomore k strogi preverljivosti in zanesljivosti znanstvenega dela.

1.5.1 Vsebinske omejitve

V teoretičnem delu raziskave smo se posvetili preučevanju sistemov za merjenje uspešnosti. Pri tem smo naleteli na ovire zaradi pomanjkanja obsežnih podatkovnih zbirk v izbranem podjetju, ki bi nam pomagale pri identifikaciji vzrokov za morebitne napake v merilnih sistemih. Opazili smo tudi pomanjkanje specifičnih raziskav, ki bi obravnavale, kako tehnološki procesi sovpadajo z managementom poslovnih procesov. To nas je spodbudilo k uporabi splošne literature o managementu poslovnih procesov kot teoretične osnove, medtem ko smo za specifične tehnoloških procesov uporabili tehnično literaturo in se zanašali na lastno strokovno znanje.

V empiričnem delu naše raziskave smo opazili omejitve predvsem v smislu usmeritev, ki smo jih prepoznali v relevantni strokovni literaturi, ter pri pridobivanju dejanskih podatkov o PTP iz preteklih projektov, ki so bili arhivirani v bazi podjetja. Bili smo soočeni z možnostjo, da so ti podatki nepopolni. Zaradi časovnih omejitev raziskave nismo mogli izvesti ponovne analize trenutnega stanja PTP ali izvesti projekcij za prihodnja leta.

Fokus naše analize je bil omejen na PTP v okviru dveh sorodnih projektov, z osredotočenjem na tehnološke procese, povezane s pripravo in z montažo.

1.5.2 Metodološke omejitve

Naša raziskava je imela nekaj omejitev, predvsem zaradi osredotočenosti na študijo primera enega podjetja. Kljub temu smo natančno raziskali omejitve, ki so se pojavile pri merjenju ključnih CPK in CMK (Pavlin 2018–2019).

Glavna omejitev našega dela izhaja iz tega, da smo raziskavo opravili samo v izbranem podjetju. To pomeni, da morda naših zaključkov ne moremo enostavno uporabiti za druga podjetja (Flyvbjerg 2006; Ivanko 2007).

1.6 Prispevek k znanosti

Raziskava predstavlja ključen prispevek k razumevanju uporabe metod in orodij za analizo PTP. Sistem, ki smo ga razvili, temelji na sodobnih pristopih in tehnologijah ter izbranemu podjetju omogoča, da bolje razume in optimizira svoje delovanje. Ta novi sistem je bistven za učinkovito obvladovanje in izboljšanje poslovnih rezultatov v dinamičnem okolju.

V teoretičnem delu smo pregledali obstoječo literaturo, da bi identificirali vrzeli in možnosti za izboljšave. Empirični del se je osredotočil na razvoj in testiranje sistema, ki omogoča podrobno merjenje in analizo PTP. S pomočjo definiranih kazalnikov smo podjetju omogočili, da hitro prepozna in odpravi morebitna odstopanja v PTP.

Naša analiza je pokazala, da je pri stabilnih tehnoloških procesih, kjer odstopanja od običajnih vrednosti ostajajo majhna, težave mogoče odkriti hitreje. Za ta namen smo razvili sistem, ki zagotavlja natančno merjenje in sledenje tehnološkim procesom v skladu s tehničnimi standardi. Ta pristop, ki smo ga odkrili, je omogočil lažje prepoznavanje in odpravljanje težav (Star idr. 2016). Sistem je oblikovan tako, da

za svoje delovanje zahteva minimalno količino podatkov, kar pomaga zmanjšati možnost za napake in posledično pospeši proces odkrivanja morebitnih težav.

Naš prispevek je razvoj integriranega sistema za merjenje PTP, ki predstavlja napredek na področju managementa tehnoloških procesov. Raziskava je pokazala pomanjkanje podobnih raziskav, ki bi obravnavale razvoj in primerjavo sistemov za merjenje na kvalitativni ter kvantitativni ravni (Mills idr. 2002; Yen 2009; Edgemen idr. 2017). Sistem omogoča ne le učinkovito merjenje, ampak tudi identifikacijo vzrokov za odstopanja, kar je pomembno izboljšanje v primerjavi s sistemom uravnoteženih kazalnikov (Kaplan in Norton 1996).

2 Pregled stanja obravnavane problematike in osnove uspešnega obvladovanja podjetja

Vsako podjetje si prizadeva optimirati svoje poslovanje za večjo učinkovitost in uspešnost. Pomembno je razumeti, da je doseganje ciljev ključna sestavina vloge managerja (Deming Edwards 2000; Harmon 2007; Sivaev 2013).

2.1 Management poslovnih procesov

Management poslovnih procesov (angl. *business process management* – BPM) je disciplina, ki se osredotoča na izboljšanje poslovnih procesov od začetka do konca (angl. *end to end*). BPM zajema analizo, modeliranje in preverjanje delovanja procesov skozi različne situacije, nato pa izvaja stalne izboljšave, spremlja optimizirane procese in jih nenehno nadgrajuje. Koncept BPM se osredotoča na uskladitev vseh organizacijskih elementov z namenom izboljšanja operativne uspešnosti (Röglinger, Pöppelbuß in Becker 2012; Brocke in Schmiedel 2015).

V znanstveni in strokovni literaturi ni enotnih definicij za BPM, vendar pa avtorji, kot so Rosing, Scheer in Scheel (2015), Brocke in Rosemann (2015) ter Kirchmer (2017), podajajo različne perspektive, ki pa imajo enako sporočilo. Po Harmonu (2007) je BPM preprosto opisan kot disciplina managementa, ki se osredotoča na izboljšanje uspešnosti podjetja z managementom poslovnih procesov.

Strategija BPM običajno uporablja celovite pristope managementa za izboljšanje učinkovitosti poslovanja, kar omogoča usmerjanje podjetja v kreativnejše, fleksibilnejše in bolj tehnološko integrirane sisteme. Poleg izboljšanja lastnih procesov uporaba BPM prinaša tudi nove zmožnosti in povečuje ROI (Yen 2009; Underdahl 2011; Nicholds in Mo 2016). Od druge industrijske revolucije dalje BPM predstavlja celovit sistem za management in preoblikovanje organizacijskih operacij, ki temelji na novih idejah o uspešnosti podjetja (Brocke in Rosemann 2015).

BPM se je v zadnjih desetletjih razvil iz tehnološko usmerjenega v celovito in načelno usmerjeno področje, ki obravnava učinkovitost in uspešnost poslovnih procesov (Aalst, La Rosa in Santoro 2016). To pomeni, da BPM ne temelji samo na tehnoloških rešitvah, temveč tudi na konceptih, kot so procesni pristop, procesna orientacija, procesna analiza in procesni management. Osredotoča se na identifikacijo, analizo, izboljšavo in monitoring poslovnih procesov z namenom povečanja učinkovitosti ter uspešnosti (Harmon 2007; Martin idr. 2008; Welbourn in Ferrante 2008).

BPM se lahko uporablja za različne namene, kot so izboljšanje produktivnosti, zmanjšanje stroškov, povečanje kakovosti, izboljšanje poslovnih procesov in povečanje zadovoljstva strank. Za doseganje teh ciljev se uporabljajo različne metode in tehnike, kot so procesna analiza, procesna optimizacija, procesni nadzor in procesna evalvacija (Brocke in Schmiedel 2015).

Ena od ključnih prednosti BPM je, da podjetjem omogoča hitro prilagajanje spremembam na trgu in s tem zagotavljanje konkurenčnosti. Uporablja se lahko tudi za spremljanje in evalvacijo poslovnih procesov, kar podjetjem omogoča sprejemanje učinkovitih ukrepov za izboljšanje poslovanja (Brocke in Schmiedel 2015; Singh in Vinodh 2017).

V zadnjem času se BPM vse bolj povezuje z digitalizacijo poslovanja (Brocke in Schmiedel 2015), kar podjetjem omogoča izkoristiti prednosti digitalnih tehnologij za izboljšanje poslovnih procesov. To vključuje uporabo digitalnih orodij, kot so procesni modeli, digitalni asistenti in avtomatizacija poslovnih procesov (Melcher 2012; Fargani, Cheung in Hasan 2016).

BPM je ključen element za uspešno poslovanje podjetij, saj omogoča izboljšanje učinkovitosti in uspešnosti poslovnih procesov (Gębczyńska 2016). Pričakuje se, da bo v prihodnosti še pomembnejši za organizacijsko konkurenčnost tako kratko- kot dolgoročno (Sayer in Williams 2007). S hitrimi spremembami v poslovnem okolju postajata fleksibilnost podjetij in njihova sposobnost prilagajanja ključni za konkurenčnost. BPM lahko podjetjem pomaga doseči to prilagodljivost in izboljšati konkurenčnost na trgu (Margherita 2014; Rosing, Scheer in Scheel 2015). Prav tako bo uporaba tehnologij, kot so avtomatizacija, analitika in umetna inteligenca, ključnega pomena za izboljšanje procesov in prilagajanje spremembam (Neely 2002; Schwab 2016).

2.1.1 Začetki managementa poslovnih procesov

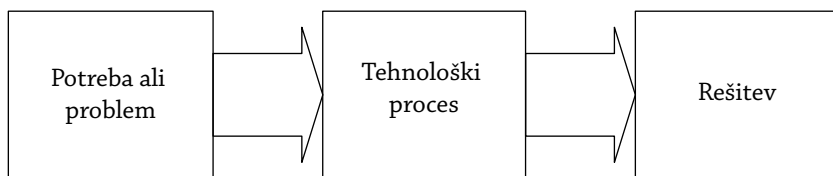
Začetek razvoja managementa poslovnih procesov sega v 18. stoletje, ko so se začeli pojavljati prvi tehnološki napredki in inovacije v proizvodnji. V tem času so se pojavili tudi prvi tehnologi, ki so preučevali, kako izboljšati učinkovitost in produktivnost proizvodnje. Razvili so začetne metode za organizacijo dela in upravljanje proizvodnje, ki so sčasoma prerasle v klasični management (Kerzner 2011; Dobra in Jós-vai 2023; Teplická idr. 2023). V 20. stoletju je bil razvoj managementa poslovnih procesov nenehno v teku, saj se je pojavila večja potreba po produktivnosti in učinkovitosti v podjetjih. Prav tako se je povečala potreba po izboljššanem vodenju in organizaciji dela. V tem obdobju so se pojavili različni modeli managementa poslovnih procesov, kot sta Toyota Production System in Lean Management (Bechtel in Churchman 2002; Neely 2002; Rothbard 2006; Harmon 2007; Möldner idr. 2008; Welbourne in Ferrante 2008; Drucker 2013; Brocke in Rosemann 2015; Hyötyläinen 2015; Rosing, Scheer in Scheel 2015).

V desetletju od leta 2013 do 2023 je bila opazna povečana produktivnost v podjetjih zaradi uvedbe in uporabe informacijske tehnologije oz. digitalizacije (Fargani, Cheung in Hasan 2016; Gröger idr. 2016; Laguna in Marklund 2019; André 2019). Uvedba informacijske tehnologije omogoča boljše in hitrejšo izmenjavo informacij med zaposlenimi, kar vodi do boljšega in hitrejšega odločanja. Prav tako omogoča boljše in hitrejše spremljanje proizvodnje ter upravljanje z zalogami (Deane 1979; Johnson in Kaplan 1987; Drucker in Wartzman 2010; Rifkin 2011; Drucker 2013; Hyötyläinen 2015; Rosing, Scheer in Scheel 2015; Aalst, La Rosa in Santoro 2016; Schwab 2016; Ivaldi, Scaratti in Fregnan 2022).

2.1.2 Poslovni procesi

Poslovni procesi, ki so specifični za področje poslovanja, so definirani kot zaporedja funkcij, ki podjetjem prinašajo dodano vrednost. Ti procesi obsegajo različne naloge in aktivnosti, ki so medsebojno povezane in sistematično urejene, da tvorijo celovit sistem. Takšni procesi se pogosto obravnavajo na višji, abstraktnejši ravni, kar podjetjem omogoča, da bolje razumejo in prikažejo, kako se različni deli njihovega poslovanja medsebojno povezujejo in delujejo (Harmon 2007; Hyötyläinen 2015; Aalst, La Rosa in Santoro 2016; Kirchmer 2017).

Za boljše preglednost in lažjo analizo poslovnih procesov jih je mogoče razčleniti na manjše enote, znane kot podproces. To omogoča



Slika 2.1 Shema tehnološkega procesa

Povzeto po Shimokawa, Jurgens in Fujimoto (1997).

boljše razumevanje povezav med različnimi procesi ter identifikacijo tistih, ki prispevajo k dodani vrednosti, in tistih, ki ne. S tem je mogoče učinkoviteje usmerjati in izboljševati poslovne procese znotraj podjetja, kar prispeva k večji uspešnosti in konkurenčnosti na trgu (Rosing, Scheer in Scheel 2015).

2.1.3 Tehnološki procesi

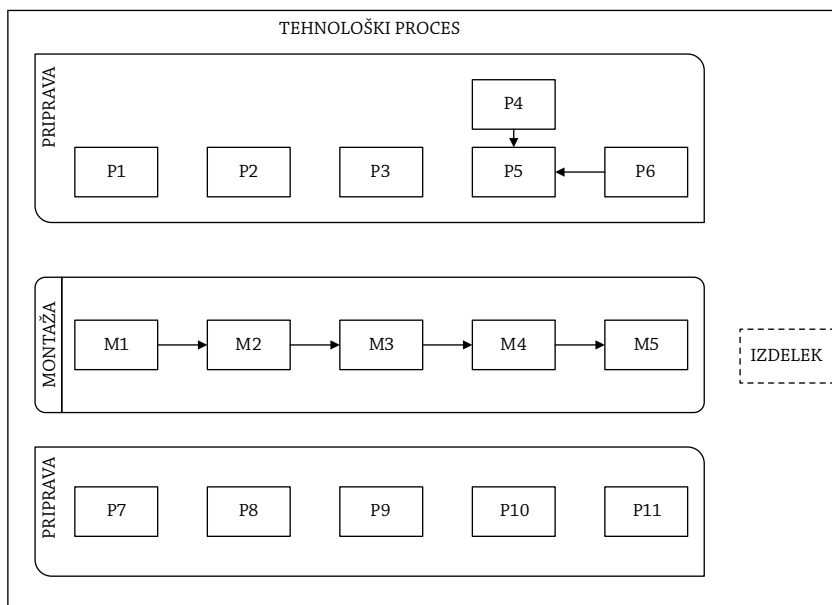
Tehnološki proces spada med temeljne poslovne procese. S tehnološkimi procesi definiramo vrstni red, način, čas in kompleksnost posameznih tehnoloških operacij pri izvajanju procesa za izdelavo izdelkov ali katero drugo pridobitno dejavnost. To pomeni, da vsak tehnološki proces vsebuje popis aktivnosti, ki so potrebne za proizvodnjo nekega izdelka oz. izvedbo določene tehnološke faze (Vries 2016; slika 2.1). Definiranje tehnološkega procesa, ki ga v osnovi sestavljajo tri faze – analiza, sinteza in evalvacija (Vries 2016; Singh in Vinodh 2017) –, tako predstavlja izhodiščno fazo za načrtovanje in organizacijo proizvodnje (Shimokawa, Jurgens in Fujimoto 1997).

V avtomobilski industriji v okvir tehnoloških procesov spadajo številni podprocesi, med katerimi sta priprava in montaža, ki smo ju podrobno preučili in analizirali na primeru proizvodnega projekta.

Priprava

Proces priprave temelji na vitki proizvodnji in postopkih razvoja izdelka. Predstavlja rezultat navzkrižnega sodelovanja razvojne ekipe, ki je definirala optimalen koncept izdelka ter optimalen proizvodni proces, ki zagotavlja lansiranje novorazvitega izdelka na trg (Draheim 2010).

Priprava je proces, ki se v avtomobilski industriji vedno izvaja pred procesom montaže. Proces priprave vključuje proizvodnjo posameznih delov ter sestavo posameznih sklopov (podsestavov), ki so potrebni za montažo. Ima strukturo, podobno ribji kosti, saj priprava podsestavov poteka vzporedno z montažo (slika 2.2). V večini primerov se priprava



Slika 2.2 Tehnološki proces priprave in montaže

izvaja na fiksnih delovnih postajah in ob glavni montažni liniji, kar omogoča dobavo sestavnih delov in sklopov v realnem času. Tako načrtovan proces pripomore k temu, da proizvodnja ostaja vitka in brez nepotrebnih zalog vgradnih delov (Shimokawa, Jurgens in Fujimoto 1997).

Primer tehnološkega procesa (slika 2.2) vsebuje 11 procesov priprave. Pri tem moramo upoštevati, da je v ozadju še potek dela, ki pokriva posamezne procese in ima ustrezno razvejano shemo (Rosling, Scheer in Scheel 2015; Kirchmer 2017). Potek dela posameznega procesa je ključnega pomena za pravilno in ustrezno izvedbo priprave, ki bo omogočala CPI in monitoring procesa. Diagrami poteka dela opisujejo tok izdelka skozi postopek od vhoda do izhoda (Pojasek 2003).

Montaža

Montaža je mnogokrat zadnja faza tehnološkega procesa sestavljanja izdelka, ki vključuje sestavo predhodno izdelanih podsestavov v celoten izdelek (Shimokawa, Jurgens in Fujimoto 1997). Sestavljanje lahko izvajajo ljudje z dobro razvitimi ročnimi spretnostmi in presojo s pomočjo naprav ter raznih orodij. Proces montaže lahko poteka popolnoma ročno, v kombinaciji ročne in strojne montaže ter popolnoma avtomat-

sko. V serijski proizvodnji je proces montaže načrtovan že pri razvoju izdelka, kjer se definira koncept montaže in predvidi uravnoteženost posameznih delovnih mest (Pavlin 2018–2019), kar bo omogočilo tekoč proces, brez ozkih grl na posameznih delovnih mestih. S skrbnim načrtovanjem procesa in naprav za montažo zmanjšamo kompleksnost montaže na najnižjo raven. Kljub temu pa bo pri vzpostavitvi procesa treba sprejeti še nekaj kompromisov glede samega procesa montaže, kakovosti in stroškov montažnega proces s stroški montažnih naprav (Down idr. 2010).

2.2 Merjenje uspešnosti procesov

V zadnjih treh desetletjih je bilo opaziti pomemben napredek v merjenju in učinkovitosti poslovnih procesov, ki so mu strokovnjaki namenili večjo pozornost. Ta razvoj je pripeljal do tega, da je danes uporaba sistemov za merjenje uspešnosti (PMM) postala standard v industrijskih sektorjih (Bititci idr. 2011). Hkrati se je raziskovalna in strokovna literatura osredotočila na analizo razvoja merjenja učinkovitosti znotraj podjetij skozi dve ključni fazi. Začetek prve faze sega v zgodnja 80. leta 20. stoletja, značilna pa je bila za vpeljavo PMM s poudarkom na stroškovnem računovodstvu. Glavni namen te faze je bil podpreti vodstvene delavce pri ocenjevanju in nadzoru stroškov poslovanja. Druga faza razvoja PMM, ki se je začela proti koncu 80. let, je prinesla širitev meril, vključno z dodajanjem finančnih kazalnikov, kot sta dobiček in donosnost naložb. Ta prehod na finančne kazalnike je bil predmet kritik, saj je spodbujal vodstvene delavce k osredotočenju izključno na finančne rezultate, kar lahko vodi v kratkoročno načrtovanje in odločanje (Atkinson idr. 2012). Ta razvoj merjenja uspešnosti je bil ključen za razumevanje in izboljšanje poslovnih procesov v industriji, kar so potrdile tudi različne raziskave (Taticchi idr. 2015).

Argument je bil dodatno utemeljen z opiranjem na tradicionalne finančno usmerjene sisteme, ki niso zajeli vseh ključnih dejavnikov za poslovni uspeh, kot sta opozorila Kaplan in Norton (2006). Pomemben prelom v literaturi se je zgodil sredi 80. let 20. stoletja in je označil začetek nove faze, ki je bila tesno povezana z rastjo globalnih poslovnih aktivnosti in s tem povezanimi spremembami. Johnson in Kaplan sta v svoji knjigi iz leta 1987, *Relevance Lost: Rise and Fall of Management Accounting*, nakazala konec prve in začetek druge faze. Knjiga kritizira tradicionalne pristope k merjenju uspešnosti, ki so se osredotočali

predvsem na zmanjševanje razlik in ne na stalne izboljšave, ter poudarja potrebo po boljši integraciji merjenja uspešnosti. Avtorja sta trdila, da tradicionalni finančni in računovodski merilni sistemi postajajo nepomembni, saj zanemarjajo stranke in njihove potrebe.

Santori in Anderson (1987) sta poudarila pomembnost nefinančnih meril pri spremljanju in spodbujanju razvoja človeškega kapitala v podjetjih. Poudarila sta, da je pri razvoju meril uspešnosti treba upoštevati ključne lastnosti in značilnosti.

Razvoj v merjenju uspešnosti se je močno pospešil po letu 1995, ko je bil predstavljen Neelyjev sistem za merjenje učinkovitosti. Neely, Gregory in Platts (1995) so merjenje uspešnosti opisali kot proces kvantifikacije učinkovitosti in delovanja, kar predstavlja ključen element pri izboljšanju poslovne uspešnosti. Bititci idr. (2011) so proces upravljanja uspešnosti opisali kot uporabo merilnih informacij za podporo odločanju managementa s ciljem povezave strategije podjetja z njegovo operativo.

V spreminjajočem se poslovnem okolju, ki zahteva hitro prilagajanje trgu in upoštevanje kompleksnosti izdelkov, je postala uporaba sistemov PMM nujna v vseh industrijskih sektorjih (Bititci idr. 2011). Edgeman idr. (2017) so izpostavili, da morajo podjetja za podporo procesov odločanja meriti, spremljati in upravljati uspešnost v več dimenzijah s pomočjo uravnoteženih ter dinamičnih nizov meritev. Uravnoteženost v tem kontekstu pomeni potrebo po uporabi različnih vrst meritev (npr. finančnih in nefinančnih, kvantitativnih in kakovostnih, internih in eksternih), ki zagotavljajo celosten pogled na podjetje (Kaplan in Norton 1996). Dinamičnost se nanaša na razvoj sistema, ki stalno spremlja spremembe v notranjem in zunanjem okolju ter prilagaja cilje in prioritete (Bititci idr. 2011; Abdelkafi in Täuscher 2016).

2.2.1 Kritična strojna zmožnost

CMK je merilo za merjenje kritične zmožnosti stroja, ki se uporablja za ocenjevanje in primerjavo zmožnosti različnih strojev. Ta kazalnik se uporablja za določanje, koliko skladnih izdelkov lahko stroj proizvede v primerjavi z obsegom napak. CMK se običajno izračuna s pomočjo statističnih metod, kot sta C_p (angl. *process capability index*) in kritična zmožnosti procesa (CPK), ter se uporablja za določanje, koliko strojev lahko proizvede izdelke skladno s tehnično specifikacijo (Silva idr. 2021). C_p se izračuna kot razlika med specifičnim obsegom in standardnim odklonom, medtem ko se CPK izračuna kot razlika med

specifičnim obsegom in razliko med srednjo vrednostjo ter specifičnim obsegom (Down idr. 2010). CMK se običajno izračuna kot razmerje med povprečnim odstopanjem izdelkov in standardno deviacijo. Pomembno je, da se meritve izvedejo na reprezentativnem vzorcu, ki odraža proizvodnjo v celoti (Bryman in Bell 2011), ter da se zagotovi, da so rezultati CMK zanesljivi in relevantni (Chapman 2005).

Uporaba modelov za merjenje zmožnosti strojev, kot je CMK, je ključna za monitoring in izboljševanje zmožnosti proizvodnje (Barnes in Hinton 2008; Bisogno idr. 2016; Agostini, Nosella in Soranzo 2017). CMK se uporablja tudi za določanje, koliko strojev lahko proizvede izdelke, ki so skladni s tehnično specifikacijo, kar je ključno za zagotavljanje kakovosti izdelkov (Brown in Svenson 1988; Bourne idr. 2000; Ferreira idr. 2012).

Avtorji, kot so Castagliola idr. (2009) ter Chiesa in Christina Masella (1996), so zapisali, da se CMK lahko uporablja tudi za monitoring in izboljševanje zmožnosti proizvodnje v kontekstu trajnostnega razvoja. CMK je lahko koristna tudi za spremljanje in izboljševanje učinkovitosti proizvodnje v kontekstu strategije podjetja (Kennerley in Neely 2002; Carder in Ragan 2004; Cayzer, Griffith in Beghetto 2017), zato lahko rečemo, da je CMK pomemben kazalnik za ocenjevanje in primerjavo zmožnosti strojev, ki se uporabljajo za monitoring in izboljševanje proizvodnje. To je še posebej pomembno v kontekstu strategije podjetja in trajnostnega razvoja, saj omogoča, da lahko določimo, koliko strojev lahko proizvaja izdelke v skladu z okoljskimi in družbenimi standardi ter s cilji podjetja.

CMK se lahko uporablja tudi za spremljanje in izboljševanje proizvodnje v kontekstu standarda ISO 22514-1:2009 (International Organization for Standardization 2009). Ta standard navaja, da je pomembno uporabljati merila zmožnosti stroja za monitoring in izboljševanje proizvodnje. CMK se uporablja za določanje, koliko strojev lahko proizvede izdelke v specifikaciji, kar je ključno za zagotavljanje kakovosti izdelkov in skladnosti s standardom. Ta standard navaja tudi, da je pomembno upoštevati različne dejavnike, ki vplivajo na zmožnost stroja, kot so vzdrževanje, kalibracija in načrtovanje proizvodnje, da se zagotovi najvišja možna zmožnost stroja.

Indeksi zmožnosti procesa so bili uvedeni, da podajo hitro informacijo o zmožnosti proizvodnega procesa. Oblikovani so tako, da kvantificirajo razmerje med želenimi inženirskimi specifikacijami in dejanskim delovanjem procesa (Castagliola idr. 2009). Indeks C_p in

CPK sta ključna pri oceni procesne zmožnosti v proizvodnem sektorju. Uporabljata se za merjenje, kako dobro proizvodni proces ustreza specifikacijam. Vrednost 1,0 pomeni, da proces zadostuje specifikacijam, vendar ne zagotavlja rezerve za napako. Vrednost manj kot 1,0 pomeni, da proces ne zadostuje specifikacijam 100 % časa in vključuje vzorčenje. Idealni vrednosti sta več kot 1,67 za Cp in več kot 1,33 za CPK, pri čemer CPK upošteva tudi položaj procesa med mejami specifikacij. Če proces doseže visoko vrednost Cp in CPK, ni treba opazovati razširjene nedoločenosti pri merjenju (Mundwiller 2018). V raziskavi so zahteve standarda Verband der Automobilindustrie (2011), da sta indeksa CMK in CPK večja od 2. Standard podpira zmožnost proizvodnega procesa, da slednji doseže dovolj visoko vrednost (npr. Cp, CPK $\geq 2,0$), ki je bila določena z ustreznim merilnim procesom. Tako ni treba ločeno opazovati razširjene nenatančnosti merjenja pri mejnih vrednostih specifikacij, saj že vrednotenje procesa vključuje spremenljivost merilnega procesa (Verband der Automobilindustrie 2011).

CMK je ključnega pomena za ocenjevanje in primerjavo zmožnosti strojev. Uporaba programske opreme Minitab ter kazalnika Cp in CPK so najboljši za določanje CMK. Meritve se morajo izvajati na reprezentativnem vzorcu za zagotovitev, da so rezultati CMK zanesljivi in relevantni. Vrednost CMK mora biti med 1,33 in 2, kar pomeni, da je zmožnost stroja med 33 in 200 % od specifičnega obsega. Vrednost CMK pod 1,33 pomeni, da je zmožnost stroja pod specifičnim obsegom, medtem ko vrednost CMK nad 2 kaže, da je zmožnost presežena in da se proizvodnja ne izvaja učinkovito. Spodnja in zgornja meja sta določeni na podlagi podatkov o proizvodnji in sta pomembni za določanje, kdaj proizvodnja poteka v skladu s specifikacijo in kdaj ne. Neustrezna določitev CMK lahko povzroči napačne ocene o zmožnosti stroja, kar lahko vodi v napačne odločitve glede proizvodnje in vzdrževanja (Down idr. 2010).

CMK je kazalnik, ki meri sposobnost stroja, da proizvaja izdelke z notranjo konsistenco, ki se doseže z zmanjšanjem odstopanj med posameznimi izdelki. CMK temelji na konceptu kritičnega procesa (CPK), ki ga je prvič razvil Walter Shewhart leta 1931 (Rosing, Scheer in Scheel 2015). Pri CPK se običajno uporablja kot merilo za uspeh procesa, vendar pa lahko CMK uporabimo tudi za oceno uspešnosti stroja. V našem primeru CMK prikazuje občutljivost stroja na zunanje vplive, kot so temperatura, vlažnost in drugi okoljski dejavniki.

Ker je CMK odličen kazalnik za merjenje stabilnosti procesa, ga lahko uporabimo za merjenje spreminjanja kakovosti proizvoda in opazovanje vplivov sprememb v procesu. Npr., CMK lahko uporabimo za določanje, ali so spremembe, ki jih vnašamo v proces, uspešne ali ne. Neustrezna določitev CMK vodi v previsoke ocene o zmožnosti stroja in napačne odločitve glede proizvodnje ter vzdrževanja, kar lahko vodi v višje stroške in nižjo kakovost izdelkov (Laguna in Marklund 2019).

Avtorji, kot so Carder in Ragan (2004) ter Cayzer, Griffith in Valentina Beghetto (2017), obravnavajo različne vidike merjenja in oblikovanja kazalnikov učinkovitosti, s katerimi nakažejo, da je visoka vrednost Cp in CPK ključna za zagotavljanje visoke kakovosti ter skladnosti proizvodnje s specifikacijo.

Analiza CMK se lahko izvede s programsko opremo Minitab ter z metodo Cp in CPK, ki omogočata določanje CMK. CMK se uporablja za ocenjevanje in primerjavo zmožnosti strojev ter ne za določanje kakovosti proizvodnje in skladnosti s specifikacijo. V tem smislu ni konkretne vrednosti, ki bi bila potrebna za zadovoljevanje zahteve 2 PPM (iz angl. *parts per million*, delež v milijonu). Namesto tega se uporabljajo vrednosti Cp in CPK, ki se uporabljajo za določanje kakovosti proizvodnje in skladnosti s specifikacijo. Pri tem je pomembno, da se meritve izvedejo na reprezentativnem vzorcu, ki odraža proizvodnjo v celoti, in da se zagotovi, da so rezultati CMK zanesljivi in relevantni.

V skladu z zahtevami 2 PPM je potrebno, da je vrednost Cp večja od 1,67 in CPK najmanj 2. Ta vrednost pomeni, da je zmožnost stroja večja od specifičnega obsega za 67 % in da je razlika med srednjo vrednostjo ter specifičnim obsegom manjša od polovice specifičnega obsega. To zagotavlja, da proizvodnja dosega potrebno raven kakovosti in skladnosti s specifikacijo, ki je potrebna za zahtevo 2 PPM. Za zadovoljevanje zahteve 2 PPM potrebujemo visoke vrednosti Cp in CPK, ki zagotavljajo visoko kakovost in skladnost proizvodnje s specifikacijo.

2.2.2 Kritična procesna zmožnost

V sodobnem poslovnem okolju se podjetja osredotočajo na organizacijo poslovnih aktivnosti kot mrežo sodelovanj med različnimi akterji (ljudmi, stroji, podjetji), ki skupaj prispevajo k izkoriščanju poslovnih zmožnosti. Sodelovanje med temi akterji je lahko formalno, kar predstavlja običajne poslovne procese, ali neformalno, kar se izboljšuje s prilagajanjem procesov po modelih managementa (Brocke in Schmi-

edel 2015). Zmožnost procesa (CPK) se zato pojmuje kot rezultat dejanske zmožnosti in variacij, ki izhajajo iz merjenja. Pri tem je ključno upoštevati variabilnost meritev za doseganje ciljev zmožnosti (Down idr. 2010).

Za preverjanje, ali procesi ustrezajo določenim specifikacijam, se uporabljajo indeksi uspešnosti in zmožnosti. Ti so pomembni za ocenjevanje kakovosti in skladnosti izdelkov. Analiza zmožnosti procesa omogoča pridobivanje vpogledov v naravne variacije procesa in potencialno količino neskladnih enot, kar podjetjem pomaga ocenjevati stroške neskladnosti in usmerjati izboljšave v proizvodnih procesih. Določanje minimalnih zahtev za zmožnost procesa je ključno za izbor ustrezne opreme in procesov, ki zagotavljajo kakovostne izdelke, pri čemer se kot referenca uporabljajo standardi, kot je ISO 22514-1:2009 (International Organization for Standardization 2009).

CPK služi kot merilo za oceno variabilnosti procesa v odnosu do specifikacijskih toleranc in pozicioniranje povprečja procesa glede na ciljne specifikacije (Sansone, Hilletofth in Eriksson 2017; Mundwiller 2018). Uporaba CPK v kombinaciji z drugimi metodami, kot sta monitoring procesov s kontrolnimi grafikoni in statistična analiza procesov, podjetjem omogoča natančno oceno sprejemljivosti variacije procesov.

Analiza CPK je ključna analitična metoda v sistemu statističnega obvladovanja procesov (angl. *statistical process control* – SPC), ki podjetjem omogoča ocenjevanje in merjenje uspešnosti njihovih procesov v skladu z zahtevami strank. Ta metoda igra vitalno vlogo pri identifikaciji šibkih točk znotraj procesov, merjenju uspešnosti ter odkrivanju priložnosti za nadaljnje izboljšave. CPK je cenjena zaradi svoje sposobnosti zagotavljanja natančnih in objektivnih meritev, ki podjetjem omogočajo učinkovito obvladovanje in optimizacijo procesov. Kot je opisano v literaturi, analiza CPK ne le da omogoča prepoznavanje, ali proces izpolnjuje zahteve strank, ampak tudi spremljanje uspešnosti procesov čez čas, odkrivanje trendov, razumevanje uspešnosti procesov za prepoznavanje vzorcev in definiranje področij, potrebnih izboljšav (Watson 1998; Pyzdek 2003; Castagliola idr. 2009; Down idr. 2010; Durivage 2014).

Analiza CPK se osredotoča na ugotavljanje, kako učinkovito lahko procesi zadovoljijo zahteve strank preko izračuna indeksa zmožnosti procesa (CPI).

Za izračun uporabimo formulo (2.1) (Durivage 2014):

$$CPI = \frac{USL - LSL}{6 \times \sigma}, \quad (2.1)$$

kjer so:

USL (iz angl. *upper specification limit*) – zgornja meja specifikacije,
LSL (iz angl. *lower specification limit*) – spodnja meja specifikacije,
 σ – standardni odklon.

Indeks CPI je neposredno merilo sposobnosti procesa, da izpolni zahteve strank. Če je CPI enak 1,0, pomeni, da proces ustreza zahtevam. Vrednost CPI, manjša od 1,0, pa nakazuje, da proces ne dosega potrebnih standardov (Down idr. 2010).

CPK lahko izračunamo s formulo (2.2) (Durivage 2014):

$$CPK = \min \frac{USL - X}{3 \times \sigma}, \frac{X - LSL}{3 \times \sigma}, \quad (2.2)$$

kjer so:

USL – zgornja meja specifikacije,
LSL – spodnja meja specifikacije,
 σ – standardni odklon,
X – nominalna vrednost.

Za natančno oceno zmožnosti procesa z analizo CPK je ključnega pomena najprej določiti standardni odklon procesa, ki odraža pričakovano variabilnost ali odstopanja od povprečne vrednosti znotraj nabora podatkov. Standardni odklon izračunamo z uporabo formule (2.3) (Castagliola idr. 2009):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2.3)$$

kjer so:

Σ – vsota,
x – posamezne podatkovne točke,
 $\bar{x}$ – srednja vrednost podatkovnih točk,
n – število podatkovnih točk.

Standardni odklon služi kot mera za razpršenost ali variabilnost podatkov in je temelj za nadaljnje statistične analize, vključno z izračunom intervalov zaupanja in izvedbo statističnih testov.

Nadalje, pri izračunu CPK moramo upoštevati specifične omejitve procesa, kot sta zgornja (USL) in spodnja (LSL) meja specifikacij, ki delujejo kot ključni parametri za oceno kakovosti. Te omejitve so prilagojene specifičnim potrebam in dogovorom med dobaviteljem gdf stranko in ne smejo biti arbitrarno določene. V situacijah, kjer so predlagane omejitve nepraktične, je nujno skleniti prilagojene dogovore, ki upoštevajo posebne zahteve in specifikacije procesa, bodisi za široke bodisi za zelo tesne tolerance. Pri določanju teh omejitev je ključno razumeti celoten kontekst merjenja in upoštevati tako ekonomske kot tehnične vidike. Idealno je, da so omejitve določene tako, da so čim fleksibilnejše, a hkrati dovolj restriktivne, da zagotavljajo želeno kakovost izdelkov ali storitev (Verband der Automobilindustrie 2011).

Mejne vrednosti se določijo na podlagi zahtev strank, specifikacij proizvoda ali storitve ter procesnih parametrov. Uporabljajo se različne metode, kot so statistični procesni nadzor (SPC) (Harmon 2007), procesni kontrolni diagrami (angl. *process control diagram* – PCD) in procesna kapaciteta (PC). Mejne vrednosti se lahko določijo »on-line« s spremljanjem procesa in z analizo odstopanj od zahtevanih vrednosti v realnem času. Druga metoda za določanje mejnih vrednosti je »off-line« določanje mejnih vrednosti, ki se uporablja pred zagonom procesa na podlagi simulacije procesa in analize odstopanj od zahtevanih vrednosti. Pri določanju mejnih vrednosti je ključno upoštevati specifikacije proizvoda ali storitve, zahteve strank in procesne parametre, kot so sestava materiala, temperatura, pritiski idr. Za določanje mejnih vrednosti se uporabljajo statistične metode, kot sta SPC in PCD, ki omogočajo spremljanje procesa in analizo odstopanj od zahtevanih vrednosti (Pyzdek 2003). Pri določanju mejnih vrednosti je treba paziti tudi na odstopanja od zahtevanih vrednosti in odpraviti vzroke za odstopanja.

Metode, ki se uporabljajo za določanje mejnih vrednosti v okviru CPK, vključujejo statistični procesni nadzor (SPC) in procesne kontrolne diagrame (PCD). SPC se uporablja za spremljanje procesa in analizo odstopanj od zahtevanih vrednosti v realnem času, medtem ko se PCD uporablja pred zagonom procesa na podlagi simulacije procesa. Obe metodi se uporabljata za določanje mejnih vrednosti in spremljanje procesa, da se zagotovi, da proces proizvaja izdelke ali storitve, ki ustrezajo specifikacijam in zahtevam strank.

CPK je orodje, ki ga podjetja uporabljajo za ocenjevanje učinkovitosti svojih procesov. S pomočjo meritev, ki zagotavljajo izpolnjevanje zahtev strank, omogoča izboljšanje kakovosti procesov. Uporablja se

lahko v različnih sektorjih, ne le v proizvodnji, temveč tudi v storitvenih panogah (Durivage 2014; Brocke in Rosemann 2015).

Na osnovi izračuna CPK je mogoče izvesti več strategij za izboljšanje procesa. Podjetja se lahko osredotočijo na izboljšanje področij procesa, ki ne izpolnjujejo zahtev strank. Prav tako CPK pripomore k zmanjšanju variabilnosti v procesu, s tem pa povečuje njegovo natančnost. Podjetja lahko dosežejo izboljšanje natančnosti procesa z uporabo postopkov zagotavljanja kakovosti in avtomatiziranih procesov. Poleg tega se lahko osredotočijo na zmanjšanje časa proizvodnega cikla, kar posledično skrajša čas, potreben za dokončanje procesa. Izboljšanje komunikacije med oddelki se izkaže za pomemben dejavnik za uspeh, ki lahko prispeva k izpolnjevanju zahtev strank (Castagliola idr. 2009; Madhani 2015).

Podjetja bi morala slediti najboljšim praksam za zagotavljanje natančnosti in učinkovitosti CPK. To vključuje izvajanje postopkov zagotavljanja kakovosti in uporabo avtomatiziranih postopkov za zagotavljanje točnosti podatkov (Durivage 2014). Za doseglo natančnih in zanesljivih CPK-podatkov je podatke priporočljivo zbirati dosledno v daljšem časovnem obdobju, saj bo to zagotovilo, da bodo odražali uspešnost procesa (Verband der Automobilindustrie 2011). Merjenje pravega kazalnika je pomembno za ocenjevanje uspešnosti procesa, vključno s časom cikla, kakovostjo in z donosom ter zadovoljstvom strank. Pri tem je pomembno opozoriti, da kazalnik CPK ni edini dejavnik, ki lahko vpliva na kakovost izdelkov ali storitev. Poleg tega obstajajo še drugi dejavniki, kot so izbira materialov, usposobljenost zaposlenih in kakovost opreme, ki lahko vplivajo na končni izdelek ali storitev. Zato je pomembno uporabiti celovit pristop k nadzoru kakovosti in izboljševanju procesov. Lahko pa zagotovo trdimo, da je merjenje CPK pomemben dejavnik pri zagotavljanju kakovosti izdelkov ali storitev, vendar ni edini (Durivage 2014). Zato je priporočljivo, da podjetja vzpostavijo sistematičen pristop k nadzoru kakovosti in izboljševanju procesov, ki zajema vse pomembne vidike proizvodnje ali storitvenih procesov. Vključuje lahko uporabo metod, kot so Six Sigma, LEAN management in druge metode kakovostnega managementa. Uporaba teh metod lahko pomaga pri identifikaciji in odpravljanju težav v procesih ter prispeva k izboljšanju učinkovitosti in kakovosti izdelkov ali storitev. To lahko dosežemo z uporabo povratnih informacij strank, analizo njihovih zahtev in izboljševanjem procesov v skladu s temi zahtevami (Pyzdek 2003).

V končni fazi CPK pomaga podjetjem ugotoviti, kako dobro njihova proizvodna linija izdeluje izdelke, ki ustrezajo zahtevanim specifikacijam. To podjetjem omogoča sprejemati ustrezne ukrepe za izboljšanje procesov ter zagotavljanje kakovosti proizvodov in zadovoljstva strank (Pyzdek 2003). Pomembna sta stalno spremljanje in izboljševanje procesne sposobnosti, kar omogoča zagotavljanje visokokakovostnih izdelkov in storitev, ki ustrezajo zahtevam strank. Za doseg tega cilja je treba redno ocenjevati procese in odpravljati vzroke za odstopanja, ki lahko vplivajo na kakovost proizvodnje (Brocke in Schmiedel 2015). CPK podjetju omogoča, da se osredotoča na ključne kazalnike procesa in izvajanje ustrezne optimizacije, ki izboljšuje učinkovitost procesov, vključno s spremljanjem in z ocenjevanjem učinkovitosti v različnih okoljih, kot so proizvodnja, raziskave in razvoj ter logistika (Harmon 2007). Iz navedenega lahko povzamemo naslednje koristi uporabe CPK za spremljanje PTP:

- omogoča določitev kritičnih kazalnikov procesa, ki so ključni za uspešnost procesa in jih je treba spremljati za zagotavljanje zadovoljstva strank ter kakovosti proizvodnje – identifikacija kritičnih kazalnikov procesa omogoča izboljšanje procesa in zmanjšanje odstopanj od zahtevanih vrednosti;
- omogoča spremljanje in ocenjevanje učinkovitosti procesa ter določanje odstopanj od zahtevanih vrednosti – to je ključno za izboljšanje procesa in zmanjšanje odstopanj;
- omogoča identifikacijo vzrokov za odstopanja in njihovo odpravljanje – to je ključno za izboljšanje procesa in zmanjšanje odstopanj od zahtevanih vrednosti;
- omogoča izboljšanje komunikacije med procesi z določanjem kritičnih kazalnikov procesa, ki so pomembni za uspešnost procesa, kar vodi v boljšo usklajenost in komunikacijo med procesi;
- omogoča zmanjšanje stroškov in izboljšanje učinkovitosti procesa z odpravljanjem vzrokov za odstopanja ter izboljšanjem procesa.

Meritve CPK se izvajajo skladno s standardi, ki so določeni v različnih delih standarda ISO 22514–1:2009 (International Organization for Standardization 2009), ki določa terminologijo, koncepte in metode za ocenjevanje zmožnosti procesa. Standard ISO 22514–2:2013 (International Organization for Standardization 2013a) se nanaša na procese, ki se uporabljajo za proizvodnjo enotnih izdelkov, medtem ko se standard ISO 22514–3:2007 (International Organization for Standardizati-

on 2007) nanaša na procese, ki se uporabljajo za proizvodnjo serijskih izdelkov. Standard ISO 22514-6:2013 (International Organization for Standardization 2013b) se nanaša na procese, ki se uporabljajo za proizvodnjo izdelkov iz množice komponent, medtem ko se standard ISO 22514-7:2012 (International Organization for Standardization 2012) nanaša na procese, ki se uporabljajo za proizvodnjo izdelkov iz množice komponent in storitev.

Vsak od standardov določa metode in koncepte za ocenjevanje zmožnosti procesa za določeno vrsto procesa. Standardi podrobno določajo postopke za izvajanje meritev CPK, vključno z izbiro vzorcev, izračunom statističnih parametrov in ocenjevanjem ustreznosti procesa glede na določene zahteve. Poleg tega standardi vključujejo tudi definicije terminologije in pojasnila glede na izračunane rezultate.

Meritve CPK so pomembne za spremljanje in izboljšanje zmožnosti procesa. Skladnost z navedenimi standardi zagotavlja konsistentnost in natančnost pri izvajanju meritev ter primerljivost in zanesljivost rezultatov. Uporaba standardov ISO 22514 (International Organization for Standardization 2007; 2012; 2013a; 2013b) prispeva k izboljšanju kakovosti proizvodov in storitev, ki so rezultat izboljšanja procesov.

2.3 Merjenje razvoja

Merjenje razvoja in povezanih procesov v podjetjih predstavlja kompleksen izziv, kljub temu da je koncept merjenja dobro uveljavljen. Merjenje se tradicionalno razume kot proces dodeljevanja številskih vrednosti materialnim predmetom, kar odraža njihovo medsebojno razmerje na podlagi določenih lastnosti. C. Eisenhart je leta 1963 eden prvih definiral merjenje kot proces, pri katerem dodeljene številke predstavljajo vrednost merjenega (Down idr. 2010).

Številni znanstveniki in inženirji, s katerimi smo sodelovali, izražajo skepso glede možnosti učinkovitega merjenja produktivnosti razvoja. Visoko usposobljeni inženirji samo idejo merjenja pogosto dojema- jo kot oviro za svojo kreativnost in motivacijo. Veliko inženirjev meni, da bi morala uprava preprosto verjeti v koristnost raziskav in razvoja brez potrebe po merjenju koristnosti raziskav.

Obstajajo tudi znanstveniki in inženirji, ki na uspešnost raziskav in razvoja gledajo negativno zaradi strahu, da bi merjenja lahko postavila njihove slabosti in pomanjkanje produktivnosti. Drugi pa imajo utemeljene pomisleke glede uporabe merilnih in ocenjevalnih sistemov za ocenjevanje razvoja, saj so bile nekatere pretekle meritve

neuspešne in nekoristne (Neely, Gregory in Platts 1995), kar je vodilo v napačno prepričanje, da merilni sistemi niso učinkoviti (Brown in Svenson 1988; Chiesa in Masella 1996; García-Valderrama in Mulero-Mendigorri 2005).

Kljub izzivom pri merjenju produktivnosti raziskav in razvoja številna podjetja od svojih znanstvenikov ter inženirjev zahtevajo, da pri razvoju novih postopkov in izdelkov dokazujejo njihovo dodano vrednost za podjetje. Sistemi za merjenje in ocenjevanje razvoja se zato ne uporabljajo več le v nekaterih naprednih podjetjih, temveč postajajo splošna zahteva. To kaže na trend, pri katerem subjektivni ukrepi za prispevek k razvoju ne zadostujejo več potrebam sodobnega trga (Kerzner 2011; Lopes, Sousa in Nunes 2015).

2.4 Validacija meritev

Validacija je dokazovala sposobnost procesov pri doseganju načrtovanih rezultatov. Vendar je obstajala bojazen, da v določenih okoliščinah ni mogoče ustvariti zanesljive ocene o vsebinski veljavnosti validacije (Carder in Ragan 2004). Po standardu ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization 2015) je bilo predpisano, da morajo podjetja validirati vse PTP, za katere skladnosti procesov ni mogoče overiti z naknadnim nadzorovanjem in merjenjem. To je zajemalo procese, pri katerih so se pomanjkljivosti pokazale šele pri uporabi proizvoda ali izvedbi storitve. Po vsakem opravljenem merjenju je bilo treba izvesti validacijo, ki se je lahko opravila na osnovi preteklih analiz, meritev, zadržkov, viharjenja možganov in poznavanja problema. Nezadostno poznavanje problema je lahko vodilo v neustrezno potrditev meritev. Pri razvoju novih izdelkov in tehnoloških procesov se je pogosto zanašalo na omejen nabor meritev, kar je pomenilo, da je izvršni management (SMT) izvedel validacijo brez primerjave s prejšnjimi merjenji (Down idr. 2010). Za zagotavljanje skladnosti meritev z dejanskim stanjem je bilo ključnega pomena, da so bili v proces merjenja in validacije vključeni posamezniki, ki so bili seznanjeni s problematiko. Včasih so se rezultati meritev razlikovali od pričakovanj, kar je analitike lahko spodbudilo k prilagajanju modela z menjavanjem parametrov. Takšno prilagajanje, znano kot »best fit«, je predstavljalo tveganje, saj je lahko ustvarjalo lažno ujemanje, ki ni temeljilo na zanesljivem modelu, ampak na naključju. Prilagoditev parametrov je bila smiselna šele po razumevanju razlogov za odstopanja od pričakovanih rezultatov, kar je preprečevalo zavestno

ali nezavedno prikrivanje pomanjkljivosti v modelu (Brocke in Rosemann 2015).

2.5 Ključni kazalniki poslovanja

Ključni kazalniki poslovanja (KPI) predstavljajo kvantitativne in kvalitativne meritve, ki se uporabljajo za prikaz skladnosti napredka podjetja z njegovimi cilji. KPI predstavljajo nabor ukrepov in se osredotočajo na tiste vidike organizacijske uspešnosti, ki so trenutno najkritičejši ter hkrati pomembni za dolgoročno uspešnost podjetja. KPI je meritev na visoki ravni, ki je vodjem podjetja v veliko pomoč pri sledenju strategiji in doseganju ciljev podjetja (Tracy 2002; Harmon 2007; Parmenter 2010; Kovačič 2007).

Kazalniki poslovanja, ki so manj pomembni, so običajno povezani z dejavniki uspeha (SF). Ključni dejavniki uspešnosti (CSF) so manjkajoča povezava v teoriji managementa in temeljijo na predpostavki, da imajo podjetja v povprečju med pet do osem CSF, ki so vir vseh pomembnih meritev poslovanja KPI (Howell 2010; Parmenter 2010). Razmerje med CSF in KPI je ključnega pomena, saj ustrezno definirani CSF predstavljajo primerno pot pri iskanju pravih KPI (Parmenter 2016).

Vsako podjetje ima svojo definicijo uspeha, ker ima različne tipe strank, različne zahteve in druge interesne skupine. Idealni CSF bi morali biti kompromis med njimi (Parmenter 2010). Nekatera podjetja najprej določijo CSF, nato definirajo meritve in KPI, ne glede na to, ali so CSF izpolnjeni. CSF prepoznajo dejavnike in aktivnosti, ki so potrebni za izpolnitev zelenih rezultatov stranke ter za ohranjanje odnosov z zainteresiranimi stranmi (Crandall in Crandall 2008; Kerzner 2011). Veliko ljudi verjame (Kaplan in Norton 2006; Kerzner 2011; Parmenter 2016), da bo prihodnost obvladovanja tehnoloških in poslovnih procesov temeljila na matrikah, katerih glavni namen bo delo na projektih. Ne glede na dejavnost podjetja so CSF podpora poslovni strategiji, saj omogočajo spremljanje nefinančnih kazalnikov, ki so usklajeni s cilji in strategijo podjetja. Zelo pogosto se zgodi, da zanemarimo vprašanje vrednotenja in izvajanja strategije, ki jo je definirala SMT. Temu sledi še vprašanje, ali sta bila vrednotenje in izvajanje uspešna glede na strateške cilje (Oxelheim in Wihlborg 2008).

Parmenter (2010) ugotavlja, da je zelo malo podjetij, ki pravilno merijo uspešnost procesov. Razlog tiči v tem, da zelo malo podjetij in managerjev ve, kaj točno so KPI.

Poznamo štiri vrste meritev poslovanja (Parmenter 2007):

- Ključni kazalniki rezultatov (angl. *key result indicators* – KRI), ki nam povedo, kako dobro smo nekaj opravili. Lahko bi rekli, da so kot ogledalo preteklosti, ki odseva, kako uspešni smo bili pri določenih kritičnih dejavnostih. Npr., če gledamo število zadovoljnih strank kot KRI, nam to pove, kako uspešni smo bili pri zadovoljevanju strank.
- Kazalniki rezultatov (angl. *result indicators* – RI) nam daje informacije o tem, kaj smo dosegli. So kot števec, ki meri količino nečesa, kar smo opravili. Npr., število prodanih izdelkov je RI, ki pokaže, koliko izdelkov smo prodali v določenem obdobju.
- Kazalniki poslovanja (angl. *performance indicators* – PI) nam nudijo vpogled v to, kaj bi morali storiti. So kot kompas, ki usmerja naše delovanje in pomaga pri odločanju o naslednjih korakih. Npr., če PI pokaže, da je čas odziva na strankine zahteve predolg, nas to usmerja k izboljšanju procesov odzivanja.
- Ključni kazalniki poslovanja (angl. *key performance indicators* – KPI) so ključni za razumevanje, kaj moramo storiti, da bi znatno izboljšali učinkovitost. KPI so kot svetilniki, ki osvetljujejo pot do ciljev, ki jih želimo doseči, in kažejo, na katerih področjih se moramo izboljšati, da bomo učinkovitejši. Npr., če je eden od KPI zmanjšanje stroškov za 10 %, nam to pove, da moramo najti in izvesti ukrepe za zmanjšanje stroškov.

Vsaka od teh meritev ima svoj namen, skupaj pa tvorijo celovit sistem za merjenje in izboljšanje uspešnosti organizacije. Razumevanje razlike med njimi pomaga pri boljšem načrtovanju, spremljanju in optimizaciji poslovanja.

Model za merjenje poslovne uspešnosti je bil zasnovan tako, da obsega kazalnike finančne uspešnosti ter poudarja pomen nefinančnih kazalnikov, imenovanih tudi kazalniki operativne uspešnosti (Venkatraman in Ramanujam 1986). Za doseganje celovitosti in učinkovitosti je bil model opremljen s petimi integriranimi sistemi: sistemom uspešnosti, stroškovnim sistemom, sistemom ocenjevanja učinkovitosti, sistemom primerjalnih analiz in sistemom načrtovanja (Taticchi in Balachandran 2008). Parmenter (2010) poudarja, da je namen merjenja KPI zagotoviti takojšen pregled nad stanjem v podjetju, ki nam omogoča pravočasno ukrepanje. KPI so zasnovani tako, da opozarjajo na potrebo po hitrih reakcijah in podrobnih analizah za odpravo morebitnih težav.

3 Management poslovnih procesov

Izraz proces izhaja iz latinske besede *processus* ali *processio*, kar v prevodu pomeni izvedeno dejanje in kako je to dejanje narejeno. Po definiciji je proces zbir medsebojno povezanih nalog in dejavnosti, ki se aktivirajo kot odziv na določen dogodek z namenom doseči specifičen cilj za lastnika procesa. Procesi so nenehno prisotni, odvijajo se povsod okoli nas in predstavljajo osnovo za vse dejavnosti, ki vključujejo koncepte, kot so čas, prostor in gibanje, ter se skozi čas oblikujejo in spreminjajo (Rosing, Scheer in Scheel 2015).

Management poslovnih procesov (BPM) predstavlja strategijo, ki se osredotoča na izboljšanje procesov znotraj podjetja, s ciljem doseči večjo učinkovitost in inovativnost (Underdahl 2011; Brocke in Schmiedel 2015). Ta pristop služi kot osnova podjetja, ki sistematično ureja pretok poslovnih informacij in podpira celovito razumevanje ter nadzor nad poslovnimi procesi (Kirchmer 2017). BPM se razvija v integrirano disciplino, ki združuje različna prepričanja v skupni cilj neprekinjenega izboljševanja in skladnosti poslovnih procesov. Ta pristop ne le da prispeva k povečanju produktivnosti, ampak tudi spodbuja inovacije in omogoča podjetju, da se nenehno prilagaja in razvija v skladu z medorganizacijsko vrednostno verigo (Broske in Rosemann 2015).

Izzivi, kot so neusklajenost organizacijskih struktur s procesnim vodenjem, pomanjkanje povezave med disciplino BPM in osnovnimi poslovnimi cilji ter strategijami, zanemarjanje podjetniške vizije ali njena popolna odsotnost, neprimerne ali napačne metode za merjenje uspešnosti BPM in neustrezno vedenje vodstva, predstavljajo ključne ovire za podjetje v njegovih prizadevanjih za uspešno implementacijo celostnega pristopa k BPM. Ti izzivi lahko močno ovirajo sposobnost podjetij, da uresničijo svoj polni potencial (Rosing, Scheer in Scheel 2015; Kirchmer 2017; Micheli in Mura 2017). Po drugi strani vodilna podjetja BPM pogosto uporabljajo tako horizontalno kot vertikalno za načrtovanje in koordiniranje svojih procesov, kar omogoča izboljšano sodelovanje med poslovnimi enotami in oddelkom za informacijsko

tehnologijo (angl. *information technology* – IT) ter spodbuja razvoj nove paradigme učinkovitih in logično strukturiranih poslovnih procesov. Ta paradigma procesnega razmišljanja ni novost, ampak temelji na delu zgodnjih ekonomistov, kot sta Adam Smith in Frederick Taylor (Brocke in Rosemann 2015).

Za učinkovit BPM je ključno, da vsak poslovni proces vključuje jasno določene vhode in en izhod. Vhodi so sestavljeni iz vseh faktorjev, ki neposredno ali posredno prispevajo k vrednosti storitve ali izdelka. Ti faktorji so razdeljeni na procese vodenja, osnovne (operativne) procese in podporne procese. Procesi vodenja usmerjajo celotno delovanje podjetja, operativni procesi predstavljajo osrednjo dejavnost, medtem ko podporni procesi, kot sta HR in IT, zagotavljajo potrebno infrastrukturo in storitve (Harmon 2007).

BPM se mora obravnavati kot poslovna praksa, ki obsega uporabo specifičnih tehnik in metod, ne kot tehnologija sama po sebi. Namen BPM je identificirati in preoblikovati obstoječe procese za uskladitev z želenimi ali izboljšanimi prihodnjimi stanji, kar vključuje formalizacijo in institucionalizacijo učinkovitejših načinov dela.

BPM kot metodologija podjetjem pomaga izboljšati njihove procese z namenom, da postanejo učinkovitejša, zmanjšajo stroške in izboljšajo kakovost svojih storitev. To dosežejo s tem, da natančno spremljajo, analizirajo in izboljšujejo svoje delovne procese. Pri tem se opirajo na sodobno tehnologijo, preizkušene metode in dobro vodenje (Harmon 2007; Aalst, La Rosa in Santoro 2016).

3.1 Planiranje in vodenje timov

Prva naloga SMT na projektu je pravilno definiranje zaporedja nalog, ki predstavljajo kritično pot, in njihovo vodenje do konca projekta. Pravilno definiranje zaporedja nalog in pravočasen zaključek vsake posamezne naloge pomenita pravočasno zaključen projekt (Biloslavo 2008; Batochio, Ghezzi in Rangone 2016). Danes se projektno vodenje obravnava kot strateška kompetenca, ki je potrebna za preživetje podjetja. Dobro poznavanje projektnih zmožnosti lahko pomeni razliko med uspehom in izgubo projekta (Gambles 2009; Kerzner 2011). Nadzor v podjetju in izboljšanje procesov lahko dosežemo samo z merjenjem ter s pravilno izbranimi ključnimi kazalniki poslovanja. Odgovornost projektne vodje je ugotoviti, katere meritve v podjetjih so kritične in kako jih je treba identificirati, izmeriti, interpretirati in voditi, da jih lahko zainteresirane strani obravnavajo kot uspešne (Behzadrad in Stenfors 2015).

3.1.1 Planiranje projektov

Planiranje projektov predstavlja osrednji korak v procesu izvedbe projektov, ki obsega definicijo ciljev, določitev ključnih aktivnosti, razporeditev potrebnih virov in časovni načrt za doseganje zastavljenih ciljev. Ta proces se začne s pripravo projektnega predloga, ki podrobno opisuje projekt, vključno z njegovimi cilji, s predvidenimi aktivnostmi, z zahtevanimi viri in s predlaganim časovnim okvirom (Gambles 2009; Pavlin 2018–2019). Zahteva integracijo znanj in veščin iz različnih disciplin, saj omogoča sistematično in strukturirano pristopanje k projektu. Po odobritvi projektnega predloga se začne podrobnejša faza planiranja, ki nadalje razčlenjuje in določa potrebne korake za uspešno izvedbo.

V kontekstu projektnega planiranja sta identifikacija in obvladovanje tveganj ključnega pomena za minimizacijo potencialnih nevarnosti, ki bi lahko negativno vplivale na projekt. To se izvaja z uporabo metod analize tveganj, ki omogočajo predvidevanje in pripravo strategij za morebitne zaplete. Za razčlenjevanje projekta na manjše, obvladljivejše segmente ali naloge in določanje časovnih rokov za njihovo izvedbo se uporabljajo specifične metodologije, kot so WBS (iz angl. *work breakdown structure*) (Kerzner 2011; Newton 2016), PERT (iz angl. *program evaluation and review technique*) in CPM (iz angl. *critical path method*) (Dobson 2015). Te metodologije, dokumentirane v literaturi (Gido in Clements 2015), zagotavljajo okvir za strukturirano in učinkovito načrtovanje projektnih aktivnosti.

Planiranje projektov je tesno vpeto v celoten proces managementa projektov, kjer se poudarja pomen nadzora nad projektnimi viri, kontinuirano spremljanje napredka in sistematično vrednotenje izvedbe projekta. Uspešnost projektnega planiranja ni omejena zgolj na začetno postavitve ciljev, ampak obsega celovito razvojno strategijo, ki skozi integrirane metode (Kerzner 2011; Dobson 2015) zagotavlja realizacijo projektnih ciljev.

3.1.2 Vodenje timov

Vodenje timov je ključno za uspeh v projektnem managementu, saj tesno povezuje učinkovitost tima z rezultati projekta. Za doseganje teh ciljev je ključna uporaba različnih tehnik in metod, ki timom pomagajo delovati bolje in biti bolj osredotočena na cilje (Kerzner 2011; Atkinson idr. 2012). Izjemno pomembno je, da so naloge jasno določene in da se opravijo pravočasno, saj to neposredno vpliva na napredek in končni

uspeh projekta (Gido in Clements 2015; Newton 2016). Poleg tega je ključnega pomena vzpostavitev učinkovitega sistema za komunikacijo in koordinacijo znotraj tima, kar pomaga zmanjšati zamude in napake (Project Management Institute 2021).

Sčasoma se pričakuje nadaljnji razvoj v pristopih k vodenju timov, pri čemer bo poseben poudarek na spodbujanju inovativnosti in kreativnosti. Izboljšanje komunikacije in sodelovanja med člani tima postaja vedno pomembnejše (Meister 2006). Uporaba tehnoloških orodij, kot so digitalne platforme za upravljanje projektov in komunikacijske tehnologije, bo ključna za boljše koordiniranje dela in spremljanje napredka projekta (Turner, Ledwith in Kelly 2010).

Uspeh projekta je odvisen od sposobnosti vodje tima, da izbere in prilagodi vodstvene tehnike glede na specifične potrebe projekta ter tima (Kerzner 2011; Atkinson idr. 2012). Zato je nujno, da vodje timov stalno sledijo novim znanjem in se usposabljaajo na področju vodenja timov ter projektnega managementa (Project Management Institute 2021). To jim omogoča, da najdejo in uporabijo najboljše možne pristope za doseganje ciljev projekta (Newton 2016).

3.2 Management projektov

Management projektov (angl. *project management* – PM) je disciplina, ki se je razvila tekom petih desetletij in danes globalno predstavlja temeljni element za uspešno izvedbo in zaključek projektov. Ta disciplina, ki je bila formalno priznana v zadnjem stoletju, izvira iz potrebe po sistematičnem in strukturiranem pristopu k vodenju projektov, ki brez takega pristopa pogosto niso dosegli zastavljenih ciljev. Project Management Institute (2021) poudarja, da PM vključuje različne dimenzije, kot so znanje o managementu, tehnične kompetence in razumevanje organizacijske dinamike, kar projektnim managerjem omogoča, da projekte vodijo uspešno (Bechtel in Churchman 2002; Abdelkafi in Täuscher 2016).

Učinkovitost PM se v različnih podjetjih močno razlikuje. Nekatera podjetja se v tej disciplini izkažejo kot izjemna, medtem ko druga sledijo le osnovnim načelom (Kerzner 2011). Osrednji namen PM je zagotoviti uspešen zaključek projektov in zadovoljstvo strank, kar zahteva več kot le upravljanje s časom in stroški (Barrows in Neely 2012; Gido in Clements 2015).

V malih in srednje velikih podjetjih (SME) ima PM poseben pomen zaradi prispevka k zaposlovanju, inovacijam in gospodarski rasti. PM potrebuje pristop z manj birokracije, ki se osredotoča na fleksibilnost,

prilagajanje izdelkov strankam in celovito upravljanje podjetja (Turner, Ledwith in Kelly 2010). Kljub pogostemu napačnemu prepričanju, da PM obsega zgolj uporabo Ganttovih diagramov za časovno načrtovanje, se vedno bolj prepoznava pomembnost upoštevanja dobrih praks pri projektih za doseganje boljših rezultatov. Povečanje ozaveščenosti o kompleksnosti in pomenu PM predstavlja izzive za managerje, ki se s tem področjem šele seznanjajo (Meister 2006).

PM je interdisciplinarno področje, ki združuje znanja iz različnih disciplin, metodologij, orodij in tehnik. Raziskave kažejo, da managerji PM pogosto dojemajo kot zahtevno področje, kar je posledica omejenih virov za zaposlovanje specializiranih projektnih managerjev in formiranje stalnih projektnih ekip (Turner, Ledwith in Kelly 2010). Pogosto so lastniki podjetij tisti, ki prevzemajo vodenje projektov, kar lahko oteži standardizacijo pristopov in metod PM.

Projekti se med seboj razlikujejo po tipu, obsegu in zahtevnosti, kar pomeni, da ni univerzalnega pristopa k vodenju, ki bi bil vedno učinkovit. SME običajno izvajajo projekte po načelu najboljšega možnega pristopa, redko pa se zanašajo na formalizirane metodologije PM (Meister 2006).

PM je kompleksen proces, ki vključuje načrtovanje, organizacijo, vodenje in nadzor nad projektom, z osrednjim ciljem uspešnega doseganja zastavljenih ciljev. Spremembe v tem procesu so neizogibne, zato je ključnega pomena prilagodljivost v uporabljenih pristopih. Raznolikost modelov PM podjetjem omogoča izbiro najprimernejših metodologij glede na specifične potrebe, zmožnosti in značilnosti projektov, kar prispeva k boljšemu razumevanju in uporabi najprimernejših praks ter orodij (Wysocki 2004).

Ključna področja PM, kot so opredeljena s strani Project Management Institute (2021), Newtona (2016), Kerznerja (2011), Gidoja in Clementsa (2015), Crandalla in Crandalla (2008), Wysockija (2004), Sarapha, Bensona in Schroederja (1989) ter Wilkinsona idr. (1998), vključujejo:

- management projektnih meja: zagotavljanje, da se projekt izvaja v okviru določenih omejitev, kot so čas, stroški in kakovost;
- management časa: načrtovanje in izvajanje projekta znotraj določenega časovnega okvira;
- management stroškov: zagotavljanje, da se projekt izvaja v okviru določenega proračuna;

- management kakovosti: zagotavljanje, da projekt dosega določene standarde kakovosti;
- management človeških virov: zagotavljanje, da se projekt izvaja z ustreznimi ljudmi, ki so ustrezno motivirani in usposobljeni;
- management komunikacij: vzpostavljanje ustreznih komunikacijskih kanalov in učinkovita komunikacija med vsemi deležniki projekta;
- management tveganja: upravljanje tveganj projekta in učinkovito odpravljanje morebitnih nevarnosti;
- management nabave: zagotavljanje učinkovite nabave potrebnih materialov in storitev za projekt;
- integracijski management: usklajevanje vseh aktivnosti projekta in zagotavljanje izvajanja projekta v skladu z vsemi ključnimi področji PM.

Ključni elementi projektnega managementa omogočajo učinkovito izvajanje projektov ter doseganje ciljev v skladu z zahtevami in s pričakovanji deležnikov (Project Management Institute 2021). S pravilno izbiro modela projektnega vodenja ter prilagoditvijo specifičnim zahtevam projekta in organizacije se zagotovita uspešna izvedba projekta ter doseg ciljev projekta (Kerzner 2011).

Pomembno vlogo v projektnem vodenju imata tudi spremljanje in evalvacija projekta. To omogoča pregled nad napredkom projekta ter sprejemanje odločitev o morebitnih spremembah v njem (Wysocki 2004; Gido in Clements 2015).

Nekatere od teh metod vključujejo:

- vodenje projekta po modelu slapa: uporablja se pri projektih, kjer je izdelek jasno definiran in se projekt razvija po fazah, od zasnove do izvedbe in vzdrževanja (Atkinson idr. 2012);
- agilno vodenje projekta (scrum, kanban itd.): gre za iterativen pristop k razvoju projekta, pogosto uporabljen pri projektih, ki so bolj neznani in se lahko spreminjajo, kar omogoča boljšo prilagodljivost spremembam in komunikacijo med člani tima (Newton 2016);
- vodenje projekta po metodi LEAN: metoda, ki se osredotoča na učinkovito uporabo omejenih virov in izključevanje odvečnih procesov, predvsem v proizvodnji in tehnoloških procesih (Sayer in Williams 2007);
- vodenje projekta po metodi Six Sigma: osredotoča se na izboljšanje kakovosti procesov in zmanjšanje napak (Pyzdek 2003);

- vodenje projekta po metodi PRINCE2: metoda vodenja projektov, ki vključuje procese, potrebne za uspešno vodenje projekta, kot so načrtovanje, obvladovanje in nadzor projekta (Newton 2016).

Uporaba teh metod omogoča učinkovito upravljanje projektov v različnih okoliščinah ter zagotavlja njihovo uspešno izvedbo v skladu z zahtevami in pričakovanji deležnikov.

Vodenje projekta po modelu slapa (Waterfall)

Metoda slapa je kot klasičen recept za vodenje projektov, ki najbolj deluje, ko točno vemo, kaj želimo na koncu ustvariti. Zamislimo si projekt kot vrsto stopnic: na vsaki stopnici imamo določeno nalogo, ki jo moramo opraviti, preden lahko stopimo na naslednjo. Na začetku določimo, kaj želimo doseči, kakšne vire potrebujemo, koliko bo to stalo in kako dolgo bo trajalo (Newton 2016).

Vsak korak na tem potovanju ima svojo vlogo: začnemo z načrtovanjem, kjer zastavimo vse potrebno za projekt. Sledi izdelava, kjer naše načrte uresničimo in ustvarimo nekaj oprijemljivega. Nato produkt preizkusimo, da vidimo, če deluje, kot smo si zamislili, in zagotovimo podporo za vse, ki ga bodo uporabljali (Rosing, Scheer in Scheel 2015).

Glavna prednost metode slapa je v njeni preglednosti. Vendar pa ima metoda tudi slabosti, predvsem, ko pride do sprememb. Če se med projektom pojavi potreba po spremembi, se lahko znajdemo v težavah, saj metoda ne dopušča veliko prostora za prilagoditve. To lahko pripelje do zamud ali dodatnih stroškov (Atkinson idr. 2012).

Agilno vodenje projekta

Agilno vodenje projekta se definira kot prilagodljiv pristop k vodenju projektov, ki se izkaže kot optimalen v okoljih z visoko stopnjo nejasnosti in dinamičnih zahtev. Temelji na iterativnem in inkrementalnem napredovanju, pri čemer projektne faze, imenovane »sprinti«, omogočajo postopno izboljševanje in prilagajanje projektnega dela. Agilna metodologija podpira raznolikost praks, med katerimi sta najpogostejše uporabljeni scrum in kanban (Newton 2016).

Metodologija scrum se osredotoča na tri ključne vloge znotraj projektnega tima: lastnika proizvoda, ki artikulira projektni obseg in prioritete; scrum masterja, ki facilitira procese in odstranjuje ovire, ter scrum ekipo, ki se posveča izvedbi in dostavi končnih izdelkov. Ta pristop poudarja pomen timskih interakcij, transparentnosti in stalne

komunikacije, s čimer zagotavlja visoko stopnjo prilagodljivosti in odzivnosti na spremembe (Turner, Ledwith in Kelly 2012; Newton 2016).

Metodologija kanban prav tako služi kot orodje za agilno vodenje projekta z osredotočenostjo na vizualizacijo dela in procesov. Izvaja se s pomočjo plošč kanban, ki prikazujejo trenutno stanje dela in članom ekipe omogočajo, da identificirajo ozka grla in optimizirajo delovne procese (Parmenter 2016).

Agilno vodenje prinaša številne prednosti, kot so izboljšana sposobnost prilagajanja projektov na spremembe, povečana učinkovitost komunikacije med člani projektnega tima in izboljšano upravljanje sprememb. Vendar pa se kot glavna pomanjkljivost izpostavlja možnost preveč neformalnega upravljanja, kar lahko vodi do težav pri učinkovitem spremljanju in ocenjevanju napredka projekta (Newton 2016).

Vodenje projekta po metodi LEAN

Vodenje projekta po metodi LEAN je strategija, ki teži k optimalni rabi omejenih virov ter izločanju nepotrebnih dejavnosti. Ta pristop je še posebej priljubljen v proizvodnji in tehnološko usmerjenih procesih (Sayer in Williams 2007). Temelji na osnovnih načelih, kot so management z odzivanjem na povratne informacije, procesni management in standardizacija. Management z odzivanjem zagotavlja stalno spremljanje in nadgradnjo procesov, procesni management poudarja učinkovitost in nadzor, standardizacija pa se osredotoča na zagotavljanje visoke ravni kakovosti izdelkov ali storitev (Saraph, Benson in Schroeder 1989; Pyzdek 2003).

Koristi, ki jih prinaša vodenje po metodi LEAN, vključujejo zniževanje stroškov, izboljšanje kakovosti izdelkov ali storitev ter redukcijo nepotrebnih procesov. Kljub temu je pomembno izpostaviti, da lahko prekomerna osredotočenost na zmanjšanje stroškov in optimizacijo procesov ustvari negativno korelacijo s kakovostjo (Brocke in Rosemann 2015). Ta pristop zahteva uravnoteženo upravljanje virov, kjer je ohranjanje kakovosti izdelkov ali storitev ob sočasni izboljšavi operativne učinkovitosti ključnega pomena.

Vodenje projekta po metodi Six Sigma

V kontekstu vodenja projektov predstavlja Six Sigma metodologijo, ki je osredotočena na izboljšanje kakovosti procesov in minimizacijo napak z osnovami, ki izhajajo iz statističnih načel in metodologij. Ta pri-

stop temelji na rigorozni uporabi statistične analize za identifikacijo, analizo in odpravo vzrokov za napake v poslovnih procesih, čemur se sledi preko dveh glavnih metodoloških okvirov: DMAIC (iz angl. *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) in DMADV (iz angl. *Define, Measure, Analyze, Design, Verify*). Ta okvira nudita strukturiran način za obravnavanje problemov in izvajanje izboljšav (Pyzdek 2003).

Znotraj programa Six Sigma so posamezniki kategorizirani po pasovih (beli, zeleni, črni), kar odraža njihovo strokovno znanje in vodstvene sposobnosti v projektih Six Sigma (Pyzdek 2003; Sayer in Williams 2007). Ta sistem pasov omogoča jasno dodelitev odgovornosti in pooblastil znotraj projektov, kar prispeva k večji učinkovitosti in uspešnosti izvedbe.

Prednosti, ki izhajajo iz uporabe metodologije Six Sigma, so večplastne in vključujejo izboljšano kakovost izdelkov ali storitev, zmanjšanje stroškov zaradi učinkovitejših in zanesljivejših procesov ter optimizacijo operativnih postopkov (Crandall in Crandall 2008). Vendar pa je treba biti pri implementaciji metode Six Sigma pozoren na potencialna tveganja, povezana s prekomerno osredotočenostjo na kvantitativne metode, ki lahko vodijo do zanemarjanja človeškega faktorja in drugih nekvantitativnih vidikov, ki so ključni za celovito uspešnost projekta (Brocke in Rosemann 2015).

Six Sigma je metodologija, ki zagotavlja celosten pristop k managementu in optimizaciji poslovnih procesov. Temelji na uravnoteženi kombinaciji statističnih tehnik in poglobljenem razumevanju vseh vidikov projektnega managementa. Pri tem še posebej izpostavlja pomembnost človeških in organizacijskih dejavnikov, kar poudarja njeno vsestranskost in prilagodljivost pri reševanju različnih poslovnih izzivov.

Vodenje projekta PRINCE2

Metodologija PRINCE2 (iz angl. *Projects in Controlled Environments*) je priznana metodologija za vodenje projektov, ki temelji na procesnem pristopu. Vključuje celovit nabor procesov, potrebnih za učinkovito načrtovanje, nadzor in izvajanje projektov. Značilnosti te metodologije sta njena strukturiranost in poudarek na jasno določenih pravilih ter odgovornostih, ki zagotavljajo, da se projekti izvajajo v skladu z načrtom (Barnes in Hinton 2008). Osredotoča se na delitev meja projektov ter jasno določanje odgovornosti, kar jo razlikuje od drugih pristopov k vodenju projektov.

4 Sistem kazalnikov

Čeprav so bili v zadnjem času objavljeni številni pregledi literature o sistemih za merjenje uspešnosti in učinkovitosti (Bourne idr. 2000), še vedno obstajajo nekatere pomanjkljivosti v razpoložljivih metodologijah. Tem sistemom za merjenje pogosto manjka povezava med strateškimi cilji podjetja in ustreznimi kazalniki (Wade in Recardo 2001; Kaplan 2010; Dvořáková in Faltejsková 2016). Poleg tega je na voljo malo literature o razvoju sistematičnega pristopa, ki bi zajel vsako raven poslovnih dejavnosti (tj. strateško, taktično in operativno) (Neely 1999).

4.1 Teoretični okviri za izdelavo sistemov

Pri prepoznavanju procesov se mnogokrat dogaja, da tim prepozna zelo abstraktne in splošne PTP, ki aktivnosti delijo na velike in ciljno usmerjene (Thomson 1998; Parmenter 2010; Rosing, Scheer in Scheel 2015).

PTP lahko opišemo s tem, da odgovorimo na vprašanje, ki je povezano s cilji in strategijo podjetja: kateri so kritični poslovni dejavniki? Na osnovi odgovora na to vprašanje sledi prepoznavanje in preverjanje obstoječih PTP. Pri izdelavi sistema je pomembno tudi prepoznavanje deležnikov, lastnikov in procesnih udeležencev. Vedno pa lahko pričakujemo, da se bo pojavilo vprašanje, ali trenutni PTP predstavljajo težave. Temu vedno sledi analiza in stalna izboljšava procesa (CPI). Analize procesa je mogoče uporabiti za izboljšanje razumevanja delovanja PTP, določitev ciljev podjetja, usklajitev procesa s strateškimi cilji in sledenje CPI (Neely, Gregory in Platty 1995; Pyzdek 2003; Rosing, Scheer in Scheel 2015).

4.2 Definiranje tehnološkega procesa

Tehnološki proces lahko definiramo kot serijo dejavnosti, ki se izvajajo v določenem vrstnem redu, da se doseže cilj, ki lahko vključuje proizvodnjo izdelka ali storitve, razvoj novega izdelka ali storitve, optimizacijo poslovnih procesov itd.

Adamides (2015) preučuje področje, ki povezuje strategijo operacij s procesom korporativne strategije, Lara Agostini, Anna Nosella in Beneditta Soranzo (2017) preučujejo vpliv relacijskega kapitala na delovanje strank v sektorju B2B SME, Batocchio, Ghezzi in Rangone (2016) predstavljajo metodo za ocenjevanje procesa implementacije poslovnih modelov, Stefania Bisogno idr. (2016) se zanimajo za metode, ki kombinirajo pristope modeliranja in simulacije za merjenje delovanja poslovnih procesov, Bititci idr. (2011) opisujejo procese obvladovanja, ki podpirajo delovanje, Brocke in Rosemann (2015) sta predstavila priročnik za obvladovanje poslovnih procesov.

Kaplan (2010) piše o temeljnem konceptu uravnoteženih kazalnikov, ki predstavlja metodo za merjenje uspešnosti poslovnega sistema. Avtor trdi, da klasični finančni kazalniki ne morejo popolnoma oceniti uspešnosti podjetja, zato predlaga uporabo uravnoteženih kazalnikov kot celostnejšega pristopa.

Kennerley in Neely (2002) obravnavata dejavnike, ki vplivajo na razvoj sistemov za merjenje uspešnosti. Avtorja predstavitava okvir, ki opisuje te dejavnike, ki jih lahko podjetja uporabljajo za izboljšanje sistemov merjenja poslovanja.

Kwee Keong Choong (2013) preučuje, ali sistemi za merjenje procesov (PMS) ustrezajo potrebam obvladovanja poslovnih procesov (BPM). Ugotavljajo, da je za uspešno obvladovanje poslovnih procesov ključno zagotoviti učinkovite sisteme za merjenje in da PMS vedno ne zadovoljijo teh potreb.

Das, Maiti in Banerjee (2012) opisujejo strategije za nadzor procesov in odkrivanje napak. Obravnavajo različne pristope k nadzoru procesov in odkrivanju napak, ki jih uporabljajo različna podjetja, in jih primerjajo glede na učinkovitost in zmožnost. Vključujejo tudi pregled tehnologij, ki se uporabljajo za nadzor procesov in odkrivanje napak, ter predstavljajo predloge za njihovo izboljšanje.

Draheim (2010) predstavi celovit pogled na poslovne procese, delovne tokove in aplikacije za podjetja, pri čemer obravnavata tehnologijo poslovnih procesov. Avtor ponuja enoten pogled na poslovne procese, delovne tokove in aplikacije za podjetje.

Durivage (2014) se ukvarja z zanesljivostjo in s statistiko procesov. Obravnava statistične metode in tehnike, ki jih lahko uporabimo pri spremljanju in izboljševanju kakovosti procesov, ter njihovo uporabo pri reševanju praktičnih problemov v inženiringu.

Garza-Reyes (2017) opisuje sistematičen pristop za diagnozo trenutnega stanja sistemov za obvladovanje kakovosti in poslovnih procesov. Predstavlja metodo za oceno in vrednotenje stanja kakovosti, ki temelji na analizi procesov, vodenju kakovosti, vodstvu in kulturi podjetja ter uporabi IT.

Alicja Gębczyńska (2016) preučuje učinkovitost izvajanja strategije na ravni procesov. Trdi, da sta potrebni celovita ocena učinkovitosti poslovnih procesov in implementacija strategij, da bi se lahko izboljšala konkurenčna prednost podjetja. Avtorica opredeljuje pojma »strateška implementacija« in »učinkovitost poslovnih procesov« ter analizira različne modele in pristope, ki jih uporabljajo podjetja za merjenje učinkovitosti. Na podlagi te analize zaključuje, da obstaja potreba po novih raziskavah na tem področju, da bi se v prihodnosti razvili boljši modeli za merjenje učinkovitosti.

Harmon (2007) se ukvarja s spremembami poslovnih procesov. Avtor v knjigi raziskuje in analizira različne pristope ter tehnike za spreminjanje poslovnih procesov, kot so reinženiring, projektni pristopi in uporaba tehnologij za podporo sprememb. Knjiga obravnava tudi vprašanja, povezana z vodenjem sprememb, in kako voditi podjetje skozi proces spreminjanja.

Adriaan Van Horenbeek in Liliane Pintelon (2013) razvijata okvir za merjenje delovanja vzdrževanja z uporabo analitičnega mrežnega procesa (angl. *analytic network process* – ANP) za izbiro indikatorjev učinkovitosti vzdrževanja. Avtorja ANP uporabljata za določitev pomembnosti različnih indikatorjev in s tem zagotavljata objektivni pristop k izbiri najustreznejših indikatorjev za merjenje učinkovitosti vzdrževanja.

Hyötyläinen (2015) predstavlja korake za izboljšanje delovanja podjetja z obvladovanjem poslovnih procesov in pojasni, kako podjetju prinese dodano vrednost. Avtor predstavlja pristop k izboljševanju poslovne učinkovitosti z uporabo obvladovanja poslovnih procesov in sistemov, ki to omogočajo. Obravnava tudi vlogo tehnologije in informacijskih sistemov v procesu managementa ter ponuja praktične nasvete za njihovo uporabo.

Janiesch, Matzner in Müller (2012) pišejo o dokazu koncepta dogodkovno vodenega obvladovanja poslovnih dejavnosti. Avtorji trdijo, da so trenutne metode spremljanja poslovnih procesov omejene in da je potreben nov pristop, imenovan *event-driven business activity management*. Ta pristop temelji na spremljanju dogodkov, ki se pojavljajo v

poslovnem okolju, in obvladovanju teh dogodkov za izboljšanje učinkovitosti poslovnih procesov. Avtorji predstavljajo dokaze, povezane z njihovim konceptom, in poudarjajo, da je treba razmišljati zunaj okvirov klasičnega spremljanja procesov, da bi izboljšali učinkovitost poslovnih dejavnosti.

Bokyoung Kang, Dongsoo Ki in Suk-Ho Kan (2012) obravnavajo problem napovedovanja periodičnega delovanja poslovnega procesa v realnem času. Opisujejo pristop k izboljšanju natančnosti napovedi z uporabo metod za učenje in predvidevanje. Njihovo delo poudarja pomen napovedi za uspešno spremljanje in obvladovanje poslovnega procesa.

Vsi našteti avtorji so prispevali k razvoju teoretičnih in praktičnih pristopov za obvladovanje tehnoloških procesov. Ti pristopi vključujejo analizo in diagnozo poslovnih procesov, izbiro ključnih kazalnikov delovanja, spremljanje in nadzor procesov, odkrivanje in odpravljanje napak, obvladovanje sprememb ter implementacijo strategij. Prav tako se avtorji ukvarjajo z vprašanji, kot so relacijski kapital, absorpcijska zmožnost, zanesljivost procesov, obvladovanje vzdrževanja, analiza dogodkov in napovedovanje delovanja (Sydler, Haefliger in Prukša 2014). Ukvarjajo se še z različnimi pristopi, kot so modeliranje in simulacija, analitični mrežni proces in uravnoteženi kazalniki, ki se uporabljajo za merjenje in spremljanje delovanja tehnoloških procesov.

Laguna in Marklund (2019) predstavljata pristop k oblikovanju, simulaciji in načrtovanju poslovnih procesov, ki se uporabljajo za obvladovanje poslovnih procesov v SME. Opisujeta tehnike za modeliranje poslovnih procesov in simulacijo, da bi podjetjem pomagala pri izboljšanju poslovnih procesov (Wilson idr. 2014; Laguna in Marklund 2019).

Tehnološki procesi, ki jih analiziramo v avtomobilski industriji, vključujejo sestavo in montažo, to pa vključuje vijačenje, lepljenje in končno kontrolo. V procesu vijačenja se uporabljajo različna orodja, kot so vijačni avtomati, s katerimi dosegamo ustrezen navor, čas vijačenja in število obratov. Durivage (2014) predstavlja primer uporabe statističnih metod za ocenjevanje in izboljševanje procesov v industriji.

Proces lepljenja v avtomobilski industriji zahteva natančno merjenje različnih parametrov, kot so temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila ter čas lepljenja, ki je pomemben za uravnoteženje celotnega tehnološkega procesa z ostalimi operacijami. To predstavlja

pomemben korak za uravnoteženje celotnega tehnološkega procesa z ostalimi operacijami v proizvodnji (Agostini, Nosella in Soranzo 2017).

Proces končne kontrole je zadnja operacija v tehnološkem procesu, ki ga obravnavamo. Garza-Reyes (2017) ter Horenbeek in Liliane Pintelon (2013) v raziskavah predstavljajo primer uporabe metod za ocenjevanje in izboljševanje procesa končne kontrole, ki vključuje uporabo analitičnega mrežnega procesa (ANP).

V avtomobilski industriji so montaža, vijačenje, lepljenje in končna kontrola ključni procesi, ki zahtevajo natančno spremljanje parametrov, da bi se zagotovila kakovost in učinkovitost proizvodnje (Horenbeek in Pintelon 2013; Durivage 2014; Agostini, Nosella in Soranzo 2017; Garza-Reyes 2017).

4.3 Nabor orodij za spremljanje tehnoloških procesov

Indeks CPK predstavlja statistično oceno rezultata značilnosti procesa, za katerega je bilo dokazano, da je nadzorovan. Proces je sposoben, ko statistični parametri za varianco in položaj glede na nastavljeno vrednost ter tolerančne vrednosti izpolnjujejo podana merila. Pred tem morajo biti natančno opredeljeni in določeni cilji za vsak specifičen proces (proizvedene količine, matrike kakovosti, stopnje napak, rezultati revizije, pretočni časi, stroški napak in številke učinkovitosti procesa CPK) ISO 21747:2006 (International Organization for Standardization 2006; Down idr. 2010).

4.3.1 Meritve

V skladu s konceptualnim modelom raziskave smo analizirali parametre vijačenja. Merili smo navor in število obratov vijačnika pri vijačenju sklopa s certificirano ter umerjeno napravo za merjenje navora. Posredno smo merili tudi čas vijačenja s pomočjo vijačne naprave, ki je opremljena s senzorjem za merjenje navora, števila obratov in časa. Meritve z eksterno napravo smo izvedli zato, da smo se prepričali, da operiramo s pravimi kazalniki.

Nadaljevali smo s spremljanjem parametrov pri procesu lepljenja. Za merjenje mase lepila smo uporabili lepilno glavo, ki je bila opremljena z merilnikom pretoka, na podlagi katerega smo posredno preračunali maso lepila. Vendar smo maso lepila preverili tudi z uporabo tehtnice, kjer smo najprej stehali posamezne komponente in nato še lepenjec. Temperaturo lepila smo merili na lepilni konici s termometrom, medtem ko smo temperaturo komponent pred pričetkom leplje-

nja izmerili s termometrom, ki smo ga namestili poleg lepilne konice. Za čas lepljenja smo uporabili odčitke z lepilne naprave, saj je bila ta natančnejša od štoparice. Vsa merjenja smo opravili z zunanjo napravo, da bi zagotovili delo z natančnimi kazalniki.

Končno kontrolo smo izvajali tako, da smo vizualno pregledali lepenjec, ki je moral ustrezati specifikaciji. Pri tem je bilo pomembno, da je bil čas končne kontrole enak ali krajši kot časi predhodnih operacij. Čase smo merili s štoparico, zato so tudi deviacije med izmerjenimi časi nekoliko večje.

Pri končni kontroli smo dodatno izvajali tudi merjenje dimenzij izdelka s pomočjo merilnega orodja, ki je bilo integrirano v proizvodno napravo, in preverjali, ali so dimenzije, funkcije in skladnost znotraj specifikacije. Za preverjanje električnih lastnosti izdelka smo uporabili testni sistem, ki je meril električni tok in napetost ter primerjal rezultate z zahtevanimi specifikacijami. Vsi podatki so bili zabeleženi v sami napravi in za namen analiz preneseni na računalnik, s katerim smo kasneje izvajali analize. Vse proizvodne naprave so zaradi tehničnih zahtev strank opremljene z elementi, ki omogočajo 100-odstotni nadzor nad proizvodnjo in sledenje posameznim izdelkom. Stranka za vsak izdelek v skladu z njegovo serijsko številko dobi vse podatke o proizvodnih parametrih in parametrih, ki jih je izdelek dosegel pri preverjanju funkcij, skladnosti in dimenzijske ustreznosti. Za potrebe razvoja sistema merjenja smo izvedli še laboratorijske meritve na posameznih izdelkih, saj so te meritve pogoj za spustitev montažne linije v obratovanje. To pomeni, da smo morali narediti 50 zaporednih meritev, ki so zadostile vsem tehničnim zahtevam, da smo proizvodno linijo lahko sprostili v obratovanje.

4.3.2 Analiza OEE

Med spremljanjem proizvodnje smo se odločili, da analiziramo OEE na podlagi t. i. 50-izmenskega testa. V obdobju meritev smo spremljali razpoložljivost, produktivnost in kakovost, ki sestavljajo OEE. Nominalni cilj je bil proizvesti 1.172 kosov v 7,16 ure na izmeno. Proizvodnjo smo merili tri tedne po drugi optimizaciji, nato pa še po treh optimizacijah nadaljnjih 50 izmen. Kazalnik OEE se spremlja ves čas proizvodnje. Rezultati spremljanja OEE so pomembni, saj nam omogočajo pridobivanje informacij o tem, kako učinkovito deluje proizvodnja in kje so možnosti za izboljšave.

4.3.3 Analiza ROI

V našem primeru smo ROI izračunali na podlagi prodajne cene, stroškov investicije, EBIT (iz angl. *earnings before interest and taxes*) in prometa. Z uporabo analize ROI lahko spremljamo učinkovitost našega tehnološkega procesa, ocenjujemo tveganja in sprejemamo boljše poslovne odločitve. Želeli smo dokazati, da večji začetni vložek (investicija) v času trajanja projekta prispeva k večjemu ROI.

4.4 Analiza primernosti podatkov

V raziskavi smo se podrobno ukvarjali s tem, kako ustrezno analizirati podatke, ki jih potrebujemo za izvedbo analize CPK in CMK. Prav tako smo izvedli analizo merilnih sistemov, s katero smo preverili primernost podatkov. Cilj analize primernosti podatkov je bil zagotoviti ustrezno osnovo za izvedbo analize CPK in CMK, ki bi nam omogočila natančno ovrednotenje poslovnih in tehnoloških procesov. S tem smo zagotovili, da so naše ugotovitve temeljile na kakovostnih podatkih.

4.5 Testiranje in validacija sistema

Testiranje in validacija sistema kazalnikov sta pomembna za zagotavljanje kakovosti in učinkovitosti sistema (Verband der Automobilindustrie 2011). Testiranje zagotavlja, da sistem deluje, kot je zamišljeno (Down idr. 2010), medtem ko validacija potrjuje kakovost kazalnikov in njihovo primerno uporabnost (Carder in Ragan 2004). Zadnja faza procesa vključuje vnovično testiranje in validacijo, da se zagotovi optimalno delovanje sistema in zanesljivost kazalnikov.

V končni fazi se testiranje in validacija ponovita za zagotavljanje optimalnega delovanja sistema ter zanesljivosti kazalnikov za nadzor poslovnih in tehnoloških procesov. Učinkovitost je izračunana s točnostjo in z učinkovitostjo (Crosby 2012).

4.5.1 Splošna učinkovitost opreme

Splošno učinkovitost opreme OEE danes predstavlja standard za merjenje produktivnosti proizvodnje. OEE prikazuje odstotek časa izdelave, ki je dejansko produktiven. V jeziku OEE to pomeni 100-odstotno kakovost (samo dobri deli), 100-odstotno zmožnost (kar se da hitro) in 100-odstotno razpoložljivost (brez časa zaustavitve), kar pa je v realnosti zelo težko dosegljivo. V praksi predstavljajo vrednosti OEE nad 85 % zelo dober rezultat. OEE tako predstavlja eno izmed najboljših praks za zagotavljanje sistematičnega izboljševanja tehnološkega procesa,

saj zelo jasno pokaže na procesne izgube (Harmon 2007; Horenbeek in Pintelon 2013).

OEE se izračuna kot produkt treh komponent: razpoložljivosti (A), produktivnosti (P) in kakovosti (Q), in sicer kot (4.1):

$$OEE = A \times P \times Q. \quad (4.1)$$

Razpoložljivost (angl. *availability*) je kazalnik, ki upošteva vse dogodke, ki načrtovano proizvodnjo zaustavijo dovolj dolgo, da se za to zaustavljanje splača slediti razlogu (navadno nekaj minut, v avtomobilski industriji pa sekund). Izračunava se kot razmerje med časom delovanja in načrtovanim časom proizvodnje: razpoložljivost = čas delovanja/načrtovani čas proizvodnje (Durivage 2014). Čas delovanja je enostavno načrtovani čas proizvodnje minus čas zaustavitve, kjer se čas zaustavitve definira kot čas, ko je bil proizvodni proces namenjen delovanju, vendar ni deloval zaradi nepričakovanih zaustavitev (npr. okvar) ali načrtovanih zaustavitev (npr. preklapov).

Produktivnost (angl. *performance*) upošteva vse, kar povzroči, da proizvodni proces deluje z manj kot največjo možno hitrostjo, ko deluje (vključno s počasnimi cikli in z manjšimi zaustavitvami). Produktivnost je razmerje med časom dejanskega delovanja in časom delovanja. Izračuna se kot: produktivnost = (idealni čas cikla x skupno število)/čas delovanja (Porter 1985; Horenbeek in Pintelon 2013). Idealni čas cikla je najhitrejši čas cikla, ki ga lahko proces doseže v optimalnih pogojih. Ko se to množi s skupnim številom, dobimo čas dejanskega delovanja (najhitrejši možni čas za proizvodnjo delov). Ker je hitrost proizvodnje razmerje med proizvedenimi enotami in časom, se lahko učinkovitost izračuna tudi kot: produktivnost = (skupno število/čas delovanja)/idealna hitrost delovanja (Sayer in Williams 2007). Ta izraz predpostavlja, da je »idealna hitrost proizvodnje« število enot, ki jih lahko idealno proizvedemo v določenem časovnem obdobju. Produktivnost nikoli ne sme biti večja od 100 %. Če je, to običajno kaže, da je idealni čas cikla nastavljen napačno (previsoko).

Kakovost (angl. *quality*) upošteva proizvedene dele, ki ne ustrezajo standardom kakovosti, vključno z deli, ki potrebujejo popravilo. Kakovost OEE je podobna kot »First Pass Yield«, saj kakovostne dele definira kot dele, ki prvič uspešno preidejo skozi proizvodni proces brez potrebe po popravilu. Izračuna se kot: kakovost = število dobrih delov/skupno število delov (Kaplan in Norton 1996). To je enako kot razmerje med popolnoma produktivnim časom (samo dobri deli so proizvedeni tako hit-

ro, kot je mogoče, brez časa zaustavitve) in časom dejanskega delovanja (vsi deli so proizvedeni tako hitro, kot je mogoče, brez časa zaustavitve).

4.5.2 Kritična strojna zmožnost

Kritična strojna zmožnost (CMK) se nanaša na sposobnost stroja, da doseže zahtevane specifikacije izdelka. Testiranje se izvaja za ugotavljanje, ali stroj deluje v skladu z določenimi standardi, medtem ko se validacija uporablja za preverjanje, ali stroj dejansko dosega zahtevane specifikacije.

Pri testiranju CMK se običajno uporabljajo različne tehnike, kot so testiranja sposobnosti procesa, enotnosti in stabilnosti procesa. Pri testiranju sposobnosti procesa se uporablja analiza vzorcev, da se ugotovi, ali stroj izpolnjuje zahtevane specifikacije. Testiranje enotnosti se uporablja za preverjanje, ali so vsi izdelki, ki jih proizvaja stroj, skladni. Testiranje stabilnosti se uporablja za preverjanje, ali je proces proizvodnje stabilen.

Validacija CMK se izvaja za preverjanje resničnega doseganja zahtevanih specifikacij stroja. Ta postopek vključuje primerjavo meritev izdelkov, ki se proizvajajo na stroju z določenimi standardi in tolerancami. Če stroj doseže zahtevane specifikacije, sta njegova zanesljivost in kakovost zagotovljeni.

V skladu s standardom ISO 22514-1:2009 (International Organization for Standardization 2009) proces velja za zmožnega, če doseže zadostno visok indeks sposobnosti ($CPK \geq 2,0$), ki se izmeri s posebnim merilnim postopkom.

Zaključno testiranje in validacija CPK sta ključna procesa za zagotavljanje zanesljivosti ter kakovosti proizvodnje; pri tem se priporoča uporaba standarda ISO 22514-1:2009 (International Organization for Standardization 2009).

4.5.3 Kritična procesna zmožnost

Z osredotočanjem na proces, ki ustvarja vrednost, lahko določimo vrednost katere koli aktivnosti (ali sposobnosti) (Neely 2002; Harmon 2007). Kritična procesna zmožnost (CPK) predstavlja statistično oceno rezultata značilnosti procesa, za katerega je bilo dokazano, da je nadzorovan. CPK imenujemo meritev, čeprav to ni, ker gre za analizo meritev, ki se uporablja za analizo in monitoring zmožnosti procesa ter pove, kako dobro opazovani proces izpolnjuje tehnične zahteve (Neely 2002; Pyzdek 2003).

Pravimo, da je proces zmožen, ko statistični parametri za varianco in položaj glede na nastavljeno vrednost ter tolerančne vrednosti izpolnjujejo podana merila ISO 21747:2006 (International Organization for Standardization 2006; Verband der Automobilindustrie 2016). V primeru, da zmožnost proizvodnega procesa doseže dovolj visoko vrednost ($CPK \geq 2,0$), dodatno opazovanje razširjene merilne negotovosti na specifikacijskih merah ni potrebno, ker postopek vrednotenja že vključuje variacijo merilnega postopka (Verband der Automobilindustrie 2011).

Morda je največja pomanjkljivost uporabe indeksov zmožnosti procesa ta, da analizo odmaknejo korak stran od podatkov. Nevarnost je, da bo analitik izpred oči izgubil namen analize zmožnosti (Pyzdek 2003).

5 Empirična raziskava

V tem poglavju je predstavljeno podjetje, v katerem smo izvajali empirično raziskavo. Raziskava se je osredotočala na preučevanje korelacij kritične strojne (CMK) in kritične procesne zmožnosti (CPK) ter učinkovitosti opreme (OEE) z dobičkonosnostjo vloženega kapitala (ROI).

Metode zbiranja podatkov, ki smo jih uporabili, so vključevale analizo dokumentacije, merjenje, eksperiment in urejanje podatkov. V raziskavi smo uporabili triangulacijo s tremi metodami: analizo dokumentov, opazovanjem in dnevnikom. Uporaba teh treh različnih metod nam je omogočila, da smo pridobili večjo količino podatkov in tako zagotovili zanesljivejše rezultate. Za analizo podatkov smo uporabili različne metode, kot so faktorska analiza, analiza merilnih sistemov in regresijska analiza.

5.1 Predstavitev podjetja

Podjetje, ki že dolgo časa zaseda trdno pozicijo na trgu avtomobilske industrije, predstavlja gonilno silo in inovativno središče v panogi. Specializirano je za proizvodnjo vrhunskih izdelkov ter se ponaša z lastnim razvojem izdelkov, orodij in montažnih linij, ki zagotavljajo celovit proces končne proizvodnje.

Kljub svojemu ugledu se podjetje sooča s ključnim izzivom – razvojem opreme za proizvodnjo, ki predstavlja enakovreden, če ne večji izziv kot sam razvoj izdelkov. Ta zahtevna naloga zahteva nenehno usklajevanje med tehničnimi zahtevami strank in prodajno ceno, kar podjetju uspešno omogoča, da ohranja ravnovesje med kakovostjo in stroški.

Njegovi zavezanost inovativnim rešitvam, prilagajanje dinamičnim razmeram na trgu ter neprestano vlaganje v razvoj proizvodnih naprav odražajo resnično strateško naravnost podjetja. V njem se zavedajo tesne povezanosti med proizvodnjo in razvojem, kar je ključno za ohranjanje konkurenčnosti na trgu. S poudarkom na stalnem izboljševanju proizvodnih procesov in zmanjševanju stroškov, podprtim s

sodobnimi tehnologijami ter avtomatizacijo podjetje sledi najsodobnejšim trendom v avtomobilski industriji.

Podjetje je ves čas dobro zaveda svoje odgovornosti do okolja, zato z uporabo okolju prijaznih materialov in procesov ter dosledno skladnostjo z okoljskimi standardi aktivno zmanjšuje svoj ekološki odtis. Zavezanost k zmanjševanju emisij toplogrednih plinov in učinkoviti rabi energije izpostavlja trajnostno naravnost podjetja.

V raziskavi smo se osredotočili na monitoring in merjenje PTP pri proizvodnji dnevnih luči (angl. *daytime running lights* – DRL) z LED-tehnologijo za nemško stranko. Slednja zahteva visokokakovostne in varne svetlobne sisteme za svoja motorna vozila, pri čemer so DRL ključne za povečanje vidljivosti v prometu.

Posebno pozornost smo namenili analizi LED DRL s svetlobnim vodnikom, ki zagotavlja enakomerno porazdelitev svetlobe, s tem pa izboljšuje vidljivost vozila na cesti. Pri tem smo raziskali, kako dolžina svetlobnega vodnika in število odbojev vplivata na enakomerno homogenizacijo svetlobe, pri čemer sta odvisna od numeričnih odprtin (angl. *numerical aperture* – NA). Prav tako smo analizirali, kako zahteva naročnika korelira z različnimi koraki proizvodnje.

5.2 Metode zbiranja podatkov

V tem delu smo se osredotočili na različne metode zbiranja podatkov, ki smo jih uporabili v raziskavi. Najprej smo se dotaknili analize dokumentov, ki predstavlja uporabo virov podatkov, in načina, kako se ti analizirajo za določanje njihove vloge in pomena v kontekstu raziskave. Predstavili smo tudi metodo merjenja, ki opisuje različne načine merjenja ter kako se ti uporabljajo za pridobivanje podatkov. Koncept triangulacije smo opisali kot način preverjanja verodostojnosti podatkov raziskave, kjer uporabimo različne metode zbiranja podatkov. Poudarili smo tudi pomembnost eksperimentov kot metode za pridobivanje podatkov in kako se uporabljajo za sprejemanje zaključkov o korelacijah med kazalniki. V zadnjem delu smo se dotaknili merjenja in urejanja podatkov, pri čemer smo opisali tehnike za merjenje in urejanje podatkov, ki smo jih uporabili za analizo podatkov.

5.2.1 Analiza dokumentov

Pri analizi dokumentov se analizirajo različni pisni viri, kot so poročila, članki, časopisi idr. Namen analize dokumentov je določiti vlogo in pomen slednjih v kontekstu raziskave. Pri uporabi dokumentov je

pomembno, da se jih analizira kritično in sistematično ter da se pri tem uporabljajo ustrezne tehnike, kot je analiza vsebine. Prav tako je pomembno upoštevati morebitne omejitve in pomanjkljivosti dokumentov, kot sta npr. nezanesljivost avtorjev ali omejenost informacij (Anderson 2003; Greener in Martelli 2018).

Primarni dokumenti (vključujejo tudi podatke in rezultate analiz, ki smo jih izvajali v času raziskave) predstavljajo podatke, ki smo jih pridobili od ljudi za točno definiran namen, medtem ko so sekundarni dokumenti neodvisni (Angelini 2019).

V raziskavi smo se pri analizi dokumentov osredotočili na razumevanje povezav med različnimi spremenljivkami ter njihovim vplivom na rezultate raziskave. V našem primeru so bili to podatki in analize meritev, ki smo jih pretvorili v kazalnike in nato analizirali kot multivariatne podatke (Bartholomew 2010).

V okviru naše analize dokumentov smo se osredotočili tudi na merilna orodja, ki so nujna za učinkovito in natančno analizo podatkov. Poleg tega smo izvedli empirično analizo dejavnikov, ki podpirajo trajnostno proizvodnjo. Ta nam je omogočila, da smo razumeli vlogo dokumentov v raziskavi o trajnostni proizvodnji ter povezave med različnimi spremenljivkami in njihovim vplivom na rezultate raziskave. Vključevali smo tako primarne kot sekundarne podatke, kar nam je omogočilo celostno razumevanje obravnavane problematike. Pri tem smo skrbno upoštevali etična načela in pazili na zaščito osebnih podatkov ter zagotavljanje transparentnosti in preglednosti v procesu analize.

5.2.2 Triangulacija

Triangulacija je način za povečanje veljavnosti raziskave in preverjanje zaključkov ter ugotovitev, ki jih pridobimo s kombinacijo več različnih metod raziskovanja in virov podatkov. To nam omogoča, da v raziskavi zmanjšamo možnost subjektivnosti in napak v (Easterby-Smith, Thorpe in Lowe 2007; Trnavčević 2010; Denzin 2012).

Triangulacija je način, ki nam je pomagal potrjevati in preverjati ugotovitve s pomočjo različnih analitičnih metod. V raziskavi smo uporabili regresijske in faktorske analize, da bi ugotovili povezanost določenih dejavnikov s poslovno uspešnostjo, merjeno s kazalnikoma OEE in ROI. Hkrati smo uporabili metodi CPK in CMK za preučevanje kakovosti procesov ter strojev in njihovega prispevka k poslovni uspešnosti.

Za potrditev pravilnosti meritev kazalnikov, pridobljenih iz proizvodnih naprav na montažni liniji, smo uporabili več metod. Najprej smo uporabili teoretično triangulacijo, in sicer različne teorije za analizo podatkov, ki so se med seboj dopolnjevale in križale. Nato smo izvedli dodatno preverjanje s pomočjo zunanje naprave, ki nam je omogočila primerjavo in preverjanje natančnosti kazalnikov, kljub temu da so vse uporabljene naprave, ki so integrirane v montažno linijo, kalibrirane in umerjene. Ta kombinacija različnih metod in pristopov nam je pomagala potrditi pravilnost meritev ter zagotoviti zanesljivost podatkov. Tako smo se lahko zanesli na pravilnost naših ugotovitev v raziskavi. S kombiniranjem rezultatov iz različnih analitičnih metod in teoretičnih pristopov smo dobili celovitejši vpogled v problem ter potrdili veljavnost zaključkov. Celoten postopek smo lahko opisali kot triangulacijo na več ravneh – z uporabo različnih analitičnih metod in teoretičnih pristopov. Na ta način smo pridobili globlji vpogled v problem in potrdili veljavnost ugotovitev.

5.2.3 Eksperiment

V raziskavi smo se osredotočili na optimizacijo PTP. Ugotovili smo, da so bile meritve neučinkovite in da ni bilo zadoščeno kriterijem podjetja, med katere sodijo kazalniki CMK, CPK, OEE in ROI. Zato smo morali optimizirati posamezne procese. Izvedli smo eksperiment, ki je bil usmerjen v optimizacijo kazalnikov, ki so bili uporabljani pri vodenju in nadzoru PTP.

Eksperiment je znanstveni postopek za preverjanje hipotez in ugotavljanje učinkov dejavnikov na sistem ali proces. Z različnimi spremembami se namerno spreminjajo dejavniki in opazujejo učinki na sistem. Če učinek ustreza pričakovanjem, to potrjuje hipotezo (Sekaran in Bougie 2016).

Cilj našega eksperimenta je bil najti ustrezen PTP, ki bo izpolnjeval tehnične zahteve in kakovost izdelka. V prvem koraku smo morali pregledati vse procese, ki se izvajajo v podjetju, in izbrati prave kazalnike za merjenje. Kazalniki so bili nato uporabljeni za merjenje specifičnega vedenja ali procesa, npr. zadovoljstva strank, časa dostave, števila napak, donosnosti, učinkovitosti idr. To smo storili s preiskovanjem parametrov, kot so masa lepila, hitrost lepljenja, velikost šobe na lepilki, in z odpravo nepotrebnih gibov orodja, pri čemer smo iskali najhitrejšo in najučinkovitejšo pot naprav. Med optimizacijami smo izvajali meritve kakovosti, skladnosti, dimenzijske meritve, meritve funkcio-

nalnosti kot tudi meritve CPK in CMK. Te so bile prikazane kot ključne meritve, na katerih smo gradili našo raziskavo. Cilj optimizacije je bil, da bi imeli uravnotežen celoten proces z zmanjšanimi izdelovalnimi časi na posameznih postajah in uravnoteženimi postajami, kar pomeni enak proizvodni čas na vseh postajah.

V raziskavi, ki smo jo izvedli z namenom optimiziranja tehnološkega procesa pri izdelavi komponent, smo se soočili s težavo, da nismo vedeli, kako optimizirati določene parametre procesa. Zato smo se odločili za eksperiment, kjer smo preiskovali različne možnosti in spreminjali parametre, kot so temperatura lepila, količina lepila in krajšanje vijakov, da bi dosegli krajši čas izdelave in hkrati ohranili zahtevani navor vijačenja. Poleg tega smo izvedli postopek »temperiranja« komponent, preden smo jih lepili. To pomeni, da smo komponente nekaj časa pustili, da dosežejo sobno temperaturo, nato pa smo pričeli z lepljenjem. Ugotovili smo, da imata temperaturi komponent in lepila pomemben vpliv na uspešnost lepljenja ter končno tudi na funkcijo končnega izdelka.

Z eksperimentiranjem smo preverjali različne možnosti in s preiskavami dobili konkretne podatke, ki so nam pomagali pri optimiziranju tehnološkega procesa. Rezultati so bili zadovoljivi in nam omogočajo, da zdaj z manj odpadki, v krajšem času in s konstantno visoko kakovostjo izdelujemo komponente.

5.2.4 Merjenje in urejanje podatkov

Postopke merjenja smo definirali na podlagi tehnične specifikacije in upoštevanja standarda ISO 22514-1:2009 (International Organization for Standardization 2009).

Merjenje

Merjenje je postopek, s katerim pridobimo podatke o fizičnih lastnostih objekta, procesa ali pojava. Pomembno je v različnih panogah, kot so industrija, medicina, znanost, tehnologija, gradbeništvo in mnoge druge (Down idr. 2010).

Merjenje je postopek pridobivanja podatkov s primerjavo z nekim standardom ali referenčno vrednostjo. Namen merjenja je pridobiti objektivne in zanesljive podatke o neki lastnosti objekta, procesa ali pojava. Pri njem se uporabljajo različna orodja in metode, od preprostih orodij, kot so ravnila in tehtnice, do kompleksnih naprav, kot so mikroskopi in laserski interferometri.

V raziskavi smo merili različne kazalnike, ki so bili ključni za našo analizo. Meritve začetnih kazalnikov smo izvajali dvakrat, da bi zagotovili zanesljivost podatkov. Za analizo smo uporabili digitalne in analogne kazalnike. Digitalne kazalnike smo pridobili z izvozom podatkov iz naprav, ki smo jih uporabljali. Analogne kazalnike smo pridobili z merjenjem časov cikla, temperature, mase in nekaterih posrednih meritev, kot sta bili meritvi OEE in ROI.

V raziskavi smo uporabili analogne in digitalne kazalnike, ki smo jih združili v konceptualnem modelu raziskave, ta pa je predstavljal ožji nabor kazalnikov, ki smo jih analizirali. Digitalne kazalnike smo si predstavljali kot kazalnike vijačenja, lepljenja in ponovljivosti, saj smo jih pridobili z izvozom podatkov iz naprav, ki smo jih uporabljali pri merjenju. Končna kontrola je prikazovala analogne kazalnike, saj smo meritve izvajali z merjenjem cikla. Kazalnik delovanja poslovnega procesa smo izračunali z uporabo OEE.

Pri merjenju analognih kazalnikov smo se posluževali merjenja cikla. To pomeni, da smo zabeležili čas, ki je potreben za izvedbo posameznega koraka v procesu. To smo večkrat ponavljali, da smo dobili natančnejše podatke. Na njihovi podlagi smo lahko izračunali, koliko časa traja celoten proces in koliko časa posamezni koraki v njem.

Pri merjenju digitalnih kazalnikov smo se posluževali izvoza podatkov iz naprav, kot sta bila vijačnik znamke Desoutter in lepilna naprava znamke Rampf. Pri vijačenju smo izvozili podatke o navoru, številu obratov in času vijačenja, medtem ko smo pri lepljenju izvozili podatke o temperaturi, masi lepila in času lepljenja. Za zagotovitev točnosti meritev smo se posluževali kontrolnih meritev, kot so tehtanje lepila s tehtnico, merjenje temperature s termometrom in časa s štoparico. Poleg tega smo preverjali točnost meritev z drugimi napravami, npr. z uporabo eksternega merilnika pri vijačenju.

Pri pripravi podatkov smo uporabili tudi tolerance, ki so bile izračunane na osnovi zahtev PTP. Tolerance so bile omejitve za meritve, saj smo želeli uporabiti le podatke, ki so bili relevantni za analizo. Izhodiščne vrednosti kazalnikov smo merili dvakrat, da smo povečali vzorec in zmanjšali možnost napačnih izhodiščnih meritev. Med optimizacijami smo izvedli veliko meritev, saj je bilo pomembno, da smo za analizo uporabili »ustrezne« podatke.

Zbrane podatke smo najprej ustrezno poimenovali in uredili ter jih kodirali, da smo jih lahko kasneje uvozili v orodje za statistične analize znamke Minitab in v SPSS. Pri pripravi podatkov smo uporabili tehnič-

no znanje s področja modeliranja PTP v podjetju, s čimer smo izbrali kazalnike, ki so bili smiselni za analizo, ter maksimalno zmanjšali njihov izbor.

Ko smo pripravili podatke, smo izvedli faktorsko analizo za preverjanje števila faktorjev ter multiplo analizo variance (Manova) kot del analize kritične strojne zmožnosti (CMK) in kritičnih procesnih zmožnosti (CPK). S tem smo preverili, ali so izbrani kazalniki povezani z delovanjem poslovnega procesa in koliko vsak izmed njih prispeva k uspešnosti. Na koncu smo izvedli še regresijsko analizo za preverjanje povezanosti posameznih kazalnikov.

5.3 Reprezentativni sistem

V poslovnem svetu se podjetja zavedajo pomembnosti merjenja in spremljanja poslovnih ter tehnoloških procesov, vendar pogosto ne vedo, kako naj izboljšajo svoj reprezentativni sistem za merjenje (Neely, Gregory in Platts 1995).

Reprezentativni sistem za merjenje poslovnih in tehnoloških procesov (PTP) je ključnega pomena za podjetja, saj omogoča spremljanje trendov in napovedovanje. Sistem za merjenje PTP je pomemben tudi za izpolnjevanje zakonskih in regulativnih zahtev (Neely, Gregory in Platts 1995).

Izboljšanje reprezentativnega sistema za merjenje PTP v podjetjih zahteva nekaj ključnih korakov. Prvi korak je določitev ključnih kazalnikov uspešnosti (KPI), ki so merila za ocenjevanje uspešnosti procesov in so specifični za vsako podjetje. Pomembno je, da so KPI merljivi, pomembni za podjetje in sorazmerni s cilji. Po določitvi KPI podjetje izbere orodja za merjenje in spremljanje teh kazalnikov, pri čemer je treba upoštevati potrebe podjetja. Za nekatere KPI so primerna preprosta orodja, kot so ankete, medtem ko se za druge zahtevajo naprednejše tehnologije, kot so senzorji ali programi za analizo podatkov (Parmenter 2010).

Zaposleni, ki sodelujejo pri spremljanju in analiziranju podatkov, morajo razumeti namen merjenja PTP, kako se merijo KPI in kako se uporabljajo podatki, pridobljeni iz sistema (Neely 1999; Montequín idr. 2013).

Sistem, na katerem smo delali, je bil zasnovan tako, da beleži ključne parametre, kot so kazalniki kritične strojne zmožnosti, ki vključujejo navor, čas, število obratov, temperaturo lepila, temperaturo komponent, maso lepila in čas lepljenja ter čas končne kontrole. Poleg tega sis-

tem spremlja tudi kritično procesno zmožnost, ki vključuje kazalnike funkcionalnosti, dimenzijsko ustreznost in skladnost z dokumentacijo.

5.4 Metode analize podatkov

Pred začetkom analize podatkov sta potrebna zbiranje in priprava podatkov, ki vključuje kodiranje in urejanje podatkov (Davenport in Harris 2017; Chatfield in Xing 2019). Ko so podatki pripravljeni, se uporabljajo statistične metode, kot so faktorska, regresijska in korelacijska analiza ter analiza varianc za ugotavljanje povezav in vzorcev v podatkih (Hair idr. 2014; Davenport in Harris 2017).

Analiza merilnih sistemov (angl. *measurement systems analysis* – MSA) je statistična metoda, ki se uporablja za ocenjevanje kakovosti merilnega sistema. MSA omogoča preučevanje variabilnosti, ki se pojavlja pri različnih kontrolnih, merilnih in testnih napravah, ter preverja, ali te naprave zagotavljajo zanesljive podatke (Down idr. 2010).

MSA je izjemno pomembna pri ocenjevanju kakovosti proizvodnje, saj zagotavlja natančnost in zanesljivost podatkov, ki se uporabljajo v nadaljnjih analizah (Down idr. 2010). Zato smo v našem primeru izvedli MSA za posamezne naprave na montažni liniji.

Izvedli smo MSA za tri naprave na montažni liniji – napravo za sestavo z vijačenjem, napravo za lepljenje in kontrolno napravo. Te naprave so integrirane v proizvodno linijo, ki predstavlja montažno linijo kot celoto. Če bi izvedli MSA za celotno montažno linijo, bi bili podatki o variabilnosti lahko manj natančni, saj bi zajemali vse naprave in procese v liniji. Zato smo se odločili za izvedbo MSA na posameznih napravah, kar je natančnejša metoda za ocenjevanje kakovosti merilnih naprav in vpliva na kasnejše analize CPK in CMK.

Z regresijsko analizo smo analizirali oz. testirali hipoteze ter izvedli vzporedno analizo kritične procesne in kritične strojne zmožnosti (CPK in CMK) (Hair idr. 2014). Uporabili smo jo za preučevanje odvisnosti med različnimi spremenljivkami in predvidevanje vrednosti ene spremenljivke na podlagi vrednosti druge.

Metode analize podatkov nam omogočajo, da iz podatkov izluščimo koristne informacije, ki nam pomagajo pri sprejemanju odločitev in izboljševanju poslovanja.

5.4.1 Priprava podatkov za analizo

V podpoglavju 5.2 smo opisali, kako smo zbirali podatke med potekom raziskave. Priprava podatkov za analizo pa predstavlja ključni korak

naše raziskave, saj smo bili odvisni od kakovostnih podatkov za nadaljnjo analizo. Meritve, ki smo jih izvedli, so bile ključnega pomena za razumevanje procesnih zmožnosti in odvisnosti med spremenljivkami. Zaradi izjemnega pomena podatkov smo se odločili, da meritve izvedemo večkrat. Izhodiščne vrednosti kazalnikov smo zato merili dvakrat, da smo zmanjšali možnost napak pri začetnih merjenjih in tako dobili zanesljive podatke. Poleg tega smo naredili veliko meritev med optimizacijami, da smo zbrali čim več podatkov za analizo.

V sklopu pridobivanja kakovostnih podatkov smo izvedli tudi meritve MSA, da smo se prepričali o pravilnosti podatkov. Pri merjenju tehnoloških procesov se napake množijo, kar lahko privede do velikih odstopanj pri končnih izdelkih.

Kodiranje podatkov je pomemben korak pri pripravi podatkov za statistično analizo (Bartholomew 2010). V našem primeru smo kazalnikom dali imena in jih uredili, da smo jih lahko kasneje uvozili v orodje za statistične analize. Kazalnike za analizo smo izbrali na podlagi našega tehničnega znanja s področja modeliranja poslovnih in tehnoloških procesov (PTP) v podjetju. Izločili smo tiste kazalnike, ki niso bili smiselni za analizo, saj smo želeli zagotoviti monitoring z najmanjšim možnim številom kazalnikov.

Faktorska analiza je bila uporabljena, da bi maksimalno zmanjšali izbor kazalnikov. V raziskavi smo združili analogne in digitalne kazalnike ter jih omejili s tolerancami, ki smo jih izračunali na podlagi zahtev PTP. Dejanske neposredne in posredne meritve smo uporabili za analizo, saj kazalnikov, kot sta »ustreza« in »ne ustreza«, nismo mogli uporabiti v orodjih za statistične analize. Za kazalnike, kjer smo potrebovali le podatek »ustreza« ali »ne ustreza«, smo uporabili dejanske meritve. Tolerančno območje teh meritev je določilo, ali izdelek ustreza ali ne.

V raziskavi smo se osredotočili na konceptualni model raziskave, ki smo ga predstavili na sliki 1.4. Pri analizi smo si digitalne kazalnike predstavljali kot kazalnike vijačenja, lepljenja in ponovljivosti, saj smo jih pridobili z izvozom podatkov iz naprav, ki smo jih uporabljali. Končna kontrola je predstavljala analogne kazalnike, ker smo meritve izvajali z merjenjem cikla. Kazalnik delovanja poslovnega procesa je predstavljal nekakšno posledico kritične strojne in kritične procesne zmožnosti PTP.

Nato smo izvedli analizo MANOVA kot del analize CPK. Preverjali smo še, katere spremembe so lahko najučinkovitejše pri izboljševanju

uspešnosti, in izvedli nekaj optimizacij v realnem okolju, da bi se prepričali, kako so spremembe vplivale na uspešnost poslovnega procesa. Pri tem smo morali upoštevati različne vidike, kot so funkcionalnost, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo. Npr., ko smo premaknili pozicijo sestavnega dela, ki smo ga vijačili, smo morali narediti najmanj 25 meritev ter jih analizirati. Skupaj smo izvedli več tisoč meritev.

V primeru analize kritične procesne in kritične strojne zmožnosti smo na podlagi predhodnih analiz pripravili 4.800 meritev, pri katerih smo na podlagi regresijske in faktorske analize operirali s polovico podatkov. Montažna linija je bila namreč simetrična, zato smo lahko s polovico podatkov zagotovili 100-odstotne zanesljive rezultate. Večina analiz je bila narejenih z vsemi podatki, vendar jih nismo posebej interpretirali prav zaradi simetričnosti montažne linije.

Meritve smo izvajali za vsako operacijo, kar je skladno s standardom ISO 22514–7:2012 (International Organization for Standardization 2012), ki predpisuje minimalno 50 meritev na operacijo. Na primeru projekta, kjer proces montaže v fazi zagona v večini primerov ni bil znotraj predpisanega tolerančnega območja, smo izvedli minimalno 700 meritev za analizo montaže. Za lažje razumevanje smo nakazali, kako poteka merjenje tehnološkega procesa montaže. V primeru, kjer je imela montaža 15 operacij, smo izvedli meritve na najmanj 750 kosih. Za analizo zadnje operacije montaže, kjer smo preverjali funkcijo, dimenzijsko ustreznost in kakovost, smo izvedli 250 meritev.

V primeru, ko se je izkazalo, da proces po optimizaciji ni bil stabilen, smo meritve in optimizacijo večkrat ponavljali. Vse meritve, ki smo jih izvedli, so bile potrebne za analizo kritične procesne in kritične strojne zmožnosti.

5.4.2 Faktorska analiza

Faktorska analiza je statistična metoda, ki omogoča redukcijo podatkov in poenostavitev analize, saj lahko zmanjšamo število spremenljivk (Bartholomew 2010; Hair idr. 2014; Sekaran in Bougie 2016). Uporablja se tudi za podporo procesu sprejemanja odločitev v podjetju, izboljševanje razvoja proizvodov in storitev ter ocenjevanje konkurenčnosti podjetij (Kralj 2003; Barnes in Hinton 2008; Koliza 2008; Adamides 2015; Mainga 2016; Agostini, Nosella in Soranzo 2017).

Vendar pa je treba pri uporabi faktorske analize upoštevati nekatere omejitve, kot je potreba po upoštevanju predpostavk, npr. nor-

malne porazdelitve podatkov. Poleg tega lahko izbira števila faktorjev in njihova interpretacija pogosto temeljita na strokovnem znanju ter izkušnjah analitika (Hox 2010). Kljub tem omejitvam pa faktorska analiza ostaja uporabno orodje za raziskovanje kompleksnih podatkov in lahko prispeva k boljšemu razumevanju različnih pojavov (Lu, Morris in Frechette 2016).

Rezultati faktorske analize se lahko razlikujejo glede na spremenljivke, ki se uporabljajo, in njihova resničnost je včasih težko preverljiva. Zato je ključnega pomena, da analiza poteka previdno in da se pri interpretaciji rezultatov upoštevajo morebitne omejitve, ki lahko vplivajo na zanesljivost rezultatov (Anderson 2003).

Obstajajo različne metode izvajanja faktorske analize, vključno z metodo glavnih komponent, metodo skupnih dejavnikov in metodo analize slikovnih faktorjev. Po prepoznavanju dejavnikov lahko faktorski model uporabimo za napovedovanje opazovanih spremenljivk na podlagi latentnih dejavnikov. Faktorska analiza ima številne uporabe, kot so validacija testov (Sekaran in Bougie 2016), razvoj meril in raziskovanje povezav med spremenljivkami (Field 2018).

Za izvedbo kredibilne in zanesljive faktorske analize je pomembno preveriti primernost podatkov. V ta namen se uporablja test Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), ki meri primernost vzorčenja za vsako spremenljivko v modelu in za celoten model. Statistika KMO meri delež variance med spremenljivkami, kar omogoča interpretacijo primernosti podatkov. Vrednosti KMO med 0,8 in 1 kažejo na ustrezno vzorčenje, medtem ko vrednosti, manjše od 0,6, kažejo na neustreznost in potrebo po popravnihi ukrepih. Nekateri avtorji dopuščajo lastno presojo za vrednosti med 0,5 in 0,6 (Rodman 2010; Hair idr. 2014; Field 2018).

Bartlettov test sferičnosti je statistični test, ki se uporablja za preverjanje primernosti podatkov za faktorsko analizo. Test preverja hipotezo o enotski matriki, kar pomeni, da so spremenljivke med seboj neodvisne in jih ni mogoče povzeti z nekaj faktorji. Če je test statistično pomemben, pomeni, da obstaja redundanca med spremenljivkami in da je faktorska analiza smiselna (Rodman 2010). Če so spremenljivke korelirane med seboj, pomeni, da sferičnost ni prisotna in da obstaja redundanca med spremenljivkami. Pomembno je poudariti, da je Bartlettov test sferičnosti namenjen preverjanju primernosti podatkov za faktorsko analizo (Field 2018).

Faktorska analiza je uporabna metoda za analizo kompleksnih podatkov, kot so kazalniki poslovnih in tehnoloških procesov (PTP). V

raziskavi smo uporabili Kaiser-Meyer-Olkinov in Bartlettov test, da bi ugotovili primernost kazalnikov PTP za izdelavo modela za monitoring PTP. Tako smo zagotovili, da bo model učinkovit in natančen pri spremljanju poslovnih in tehnoloških procesov ter da bo prispeval k izboljšanju delovanja podjetja. Rezultati factorske analize so predstavljeni v pod poglavju 5.4.5.

5.4.3 Analiza merilnih sistemov

Predvsem proizvodna podjetja z monitoringom, meritvami in analizami zbirajo ogromne količine podatkov (Verband der Automobilindustrie 2011), ki jih uporabljajo za odločanje glede PTP. V primeru napak v merilnem sistemu se odločamo na osnovi napačnih podatkov in morda sprejmemo napačne odločitve ter proizvajamo neskladen izdelek. Kadar se meritve uporabljajo za usmerjanje odločitev, temu logično sledi, da večja kot je napaka pri meritvah, večja bo napaka v odločitvah na podlagi teh meritev. Namen analize merilnega sistema je kvalificirati slednjega za uporabo s kvantificiranjem njegove točnosti, natančnosti in stabilnosti (Down idr. 2010; Martz 2013). Pravilno načrtovana in izvedena analiza merilnega sistema (MSA) lahko pomaga zgraditi trdne temelje za vsak proces odločanja, ki temelji na podatkih. V resnici nikoli ne moremo neposredno vedeti, ali naš merilni sistem zagotavlja točne in natančne meritve, ker je vrednost, ki jo zagotovi jo merilni sistem, naravna variacija predmeta in variacija v merilnem sistemu.

MSA predstavlja orodje za analizo variacij, ki so prisotne v vsaki vrsti kontrolne in merilne opreme za testiranje. MSA je torej sistem za ocenjevanje kakovosti merilnega sistema. Zagotavlja nam, da je variacija v naši meritvi minimalna v primerjavi z variacijo v našem procesu, pri čemer ključno vlogo predstavlja merjenje, ki je bistvo 6σ (Pyzdek 2003). MSA je eksperimentalna in matematična metoda za ugotavljanje količine variacije znotraj merilnega procesa, ki prispeva k splošni variabilnosti procesa. MSA se poveže z merilnimi podatki, ki se uporabljajo v skoraj vseh proizvodnih procesih (Verband der Automobilindustrie 2011; 2016).

MSA je uradna statistična raziskava, ki ugotavlja, ali so naši merilni sistemi, ne glede na to, ali gre za merilne naprave ali ljudi, sposobni zagotoviti zanesljive podatke tako, da lahko sprejemamo najboljše možne odločitve na podlagi podatkov. Statistična raziskava, ki se uporablja za neprekinjene podatke, se imenuje raziskava Gage R &

R, orodje, ki se uporablja za diskretne podatke, pa se imenuje analiza dogovora o atributih (Verband der Automobilindustrie 2011). MSA vzpostavlja zaupanje v metode zbiranja podatkov za preverjanje celovitosti zajetih podatkov, uporabljenih v drugih raziskavah kakovosti. Ta proces vključuje ocenjevanje merilnih instrumentov, testnih metod in tehnik zbiranja podatkov. MSA pomaga proizvajalcem pomagati sprejemati informirane odločitve o njihovih proizvodnih procesih in izdelkih.

5.4.4 Regresijska analiza

Regresijska analiza je statistična metoda, ki jo pogosto povezujemo z napovedovanjem (Bartholomew 2010; Sekaran in Bougie 2016; Greener in Martelli 2018). Njena osnovna enačba je (5.1):

$$Y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + \varepsilon_i. \quad (5.1)$$

Pri tem je Y_i odvisna spremenljivka, $x_1, x_2 \dots, x_n$ neodvisne spremenljivke, b_0 je konstantni člen in $b_1, b_2 \dots, b_n$ koeficienti neodvisnih spremenljivk. Parametra b_0 in b_1 imenujemo regresijska koeficienta. To sta presečišče b_0 in naklon premice b_1 , ki povezuje nagnjenost k nakupu (Y) z zaznano kakovostjo (x_1). Naklon je mogoče razlagati kot število enot, za katere bi se povečala nagnjenost k nakupu, če bi se zaznana kakovost povečala za enoto. Izraz napaka označuje napako v napovedi oz. razliko med stimulirano in dejansko nagnjenostjo k nakupu (Sekaran in Bougie 2016).

Regresijska analiza je daleč najbolj razširjena in vsestranska tehnika odvisnosti, ki se lahko uporablja v vseh vidikih poslovnega odločanja (Bartholomew 2010; Hair idr. 2014). Predstavlja močno analitično orodje, ki je zasnovano za raziskovanje vseh vrst odnosov odvisnosti (Harmon 2007; Greener in Martelli 2018). Predpostavke multiple regresije vključujejo linearni odnos med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami ter prav tako manjkajočo korelacijo med neodvisnimi spremenljivkami oz. manjkajočo multikolinearnost. Toda, kot že omenjeno, multikolinearnost, če je prisotna, lahko vpliva na veljavnost koeficientnih ocen in posledično na napovedi, ki jih lahko izvedemo z uporabo tega modela. Zato je pomembno, da se pred uporabo multiple regresije pregledajo in analizirajo korelacije med neodvisnimi spremenljivkami ter da se uporabijo metode za odpravljanje multikolinearnosti, če je treba. Analiza linearnih odnosov med spremenljivkami je lahko izvedena z uporabo multiple regresije, ki omogoča določanje pomembnosti posameznih dejavnikov in napovedovanje vrednosti

odvisne spremenljivke na podlagi vrednosti neodvisnih spremenljivk (Durivage 2014; Sekaran in Bougie 2016).

V tem okviru je multipla regresija posebej koristna za identifikacijo dejavnikov, ki določajo poslovno uspešnost. Pri tem je pomembno razumeti omejitve in predpostavke statističnih metod, kot je multipla regresija, saj lahko njihovo napačno tolmačenje vodi v napačne zaključke in neveljavne napovedi (Kuhn 1970). Zato je ključnega pomena, da se omejene predpostavke pregledajo in analizirajo pred uporabo te metode.

Zaradi kompleksnosti opazovanega PTP smo uporabili regresijsko analizo, katere osnovni namen je bil skladen z namenom osnovne regresijske analize (Hair idr. 2014). Večinoma se regresijska analiza uporablja v poslovnih raziskavah in kot orodje za napredek v oblikovanju sistemov merjenja poslovanja (Neely 1999; 2002; Kumar 2010; Sekaran in Bougie 2016), zato smo se te tehnike poslužili v našem primeru, saj smo analizirali tako poslovne kot tehnološke procese. Izhodišče naše regresijske analize je predstavljala slika 1.4, iz katere smo izpeljali hipoteze.

Multipla regresijska analiza omogoča preučevanje statistične povezave med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami. Običajno se pri regresijski analizi uporablja raven tveganja $p < 0,05$, kar pomeni, da obstaja 5-odstotna možnost, da se bo napačno sprejela hipoteza o povezanosti med spremenljivkami in da torej obstaja 95-odstotna gotovost, da je razmerje med spremenljivkami ustrezno (Harmon 2007; Hair idr. 2014; Angelini 2019). Če se uporablja strožja stopnja gotovosti (npr. $p < 0,01$), se poveča tveganje za napako tipa 2, kar pomeni, da se bo napačno zavrnila hipoteza glede povezanosti med spremenljivkami, čeprav v resnici povezanost obstaja (Greener in Martelli 2018). Uporaba ravni tveganja $p < 0,05$ se šteje za ustrezno stopnjo gotovosti, ki omogoča učinkovito in natančno analizo statistične pomembnosti med spremenljivkami (Hox 2010).

V raziskavi smo uporabili regresijsko analizo kot orodje za objektivno ocenjevanje razmerja med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami. Ta metoda je bila uporabljena za preverjanje hipotez in kot naša izbira za preverjanje analiz, ki smo jih naredili v Minitabu.

Na osnovi tehničnih zahtev za izdelek smo v analizo vključili t. i. tehnološke kazalnike, ki smo jih povezovali s poslovnimi kazalniki. V procesu optimizacije smo sprva uporabili določene kazalnike, ki so nam pomagali izboljševati proces. Vendar ti kazalniki kasneje niso več vplivali na optimizacijo celotnega proizvodnega procesa (PTP), zato smo jih iz analize izločili. Ti kazalniki so bili pogojeni z meritvami di-

menzij posameznih komponent, ki smo jih morali najprej pridobiti za zagotavljanje ustrezne kakovosti izdelka (Teplická idr. 2023). Meritve smo izvedli na zunanji napravi, za določanje smeri optimizacije pa smo uporabili funkcijske meritve izdelka. Slika 1.4 je bila izhodišče za izvedbo analize. Na levi strani imamo tehnološke, na desni strani pa poslovne kazalnike, ki so sestavljeni in pomembni za monitoring PTP.

5.4.5 Faktorska analiza

S faktorsko analizo smo preverjali ustreznost podatkov in zmanjšali njihovo količino na minimalno število kazalnikov za analizo (Biloslavo in Kljajić-Dervić 2016). Vključili smo tudi izhodiščne kazalnike, čeprav smo vedeli, da jih za analizo ne bomo potrebovali, saj so pomembni le za kasnejše optimizacije procesa. V praksi lahko optimizacija procesa povzroči poslabšanje vrednosti kazalnikov, vendar se v našem primeru to ni zgodilo.

S faktorsko analizo smo tako pridobili boljšo sliko o povezavah med spremenljivkami in ključnimi kazalniki, ki jih je treba spremljati in optimizirati. Za konkretno optimizacijo smo si pomagali z opisno statistiko (preglednica 5.1), ki nam je dala podatke o variabilnosti in splošnem trendu spremenljivk.

Pri faktorski analizi smo izhajali iz konceptualnega modela raziskave, ki je prikazan na sliki 1.4. V faktorsko analizo smo vključili kazalnike strojne (CMK) in procesne zmožnosti (CPK) ter jih poimenovali skladno s konceptualnim modelom raziskave. Številka v oznaki (od 0 do 3) pomeni zaporedje optimizacije. Številka 0 pomeni začetne kazalnike, številka 3 pa končne kazalnike po tretji optimizaciji. V analizi smo prikazali 50 meritev izhodiščnega kazalnika (izvedli smo 100 meritev), ki na samo analizo nima vpliva. Procese in naprave smo trikrat optimizirali, kar lahko razumemo kot povečevanje strojne in procesne zmožnosti. V preglednici 5.2 lahko vidimo, da se je standardni odklon zmanjševal z optimizacijo kazalnikov. Manjši standardni odklon pomeni robustnejši proces, kar smo pojasnili v nadaljevanju.

Procese smo izboljšali z optimizacijo procesa vijačenja, lepljenja, končne kontrole in ponovljivosti. Proces vijačenja smo optimizirali tako, da smo testirali različne vijačne parametre, ki vključujejo predpisani navor, število vrtljajev in čas vijačenja, ki je bil čim krajši, medtem ko smo vzdrževali visoko kakovost vijačenja. Cilj procesa je bil tako proces brez ozkih grl, ki zagotavlja visoko kakovost vijačenja in kratek čas procesa.

Preglednica 5.1 Opisna statistika izhodiščnih kazalnikov

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Navor_oL	1,1866	0,05798	50
Čas vijačenja_oL	25,1848	1,50683	50
Število obratov_oL	4,9916	0,19536	50
Temperatura lepila_oL	55,6054	3,01102	50
Temperatura komponent_oL	23,5598	0,86165	50
Masa lepila_oL	12,4536	2,08830	50
Čas lepljenja_oL	27,2676	1,51584	50
Končna kontrola časa_oL	29,8870	2,81858	50

OPOMBE Številka o v oznaki predstavlja začetne kazalnike, črka L pa levo stran montažne linije. SD – standardna deviacija. N – velikost vzorca.

S faktorsko analizo in optimizacijo procesov smo tako lahko izboljšali procesne in strojne zmožnosti, kar je bilo potrebno za izboljšanje končnega izdelka in povečanje učinkovitosti procesa. V analizi smo upoštevali tudi podatke o izhodiščnih kazalnikih, ki nam omogočajo spremljanje napredka procesa in kasnejšo optimizacijo.

V prvi faktorski analizi smo analizirali izhodiščne podatke, t. i. ničte kazalnike, ki na koncu nimajo nobenega pomena, ampak so pomembni samo za spremljanje napredka pri optimizaciji PTP. Številke od 0 do 3 označujejo zaporedje optimizacije kazalnikov, pri čemer indeks 0 predstavlja ničte kazalnike. Preglednica 5.1 prikazuje razpon vrednosti, standardni odklon in število analiziranih kazalnikov. Prikazuje, koliko se povprečne vrednosti kazalnikov razlikujejo med seboj (razpon vrednosti), koliko se vrednosti posameznega kazalnika razlikujejo od povprečja (standardna deviacija) in koliko vzorcev smo analizirali za posamezni kazalnik. Pri tej analizi smo operirali samo s polovico podatkov. Njeni rezultati so bili uporabljeni za identifikacijo glavnih dejavnikov, povezanih s kazalniki.

Vrednosti korelacij so v glavnem manjše od 0,5, kar pomeni, da bodo z optimizacijo kazalnikov še manjše. To ugotovitev lahko interpretiramo tako, da se posamezni kazalniki med seboj ne povezujejo, kar jih naredi primerne za analizo. Kazalniki, ki niso povezani, namreč omogočajo, da jih obravnavamo kot neodvisne spremenljivke v analizah, ki temeljijo na statističnih modelih. To pomeni, da lahko ocenimo učinek vsakega kazalnika posebej in ne bomo pristranski zaradi korelacij drugih kazalnikov. Zato so takšni kazalniki pomembni pri izvajanju

različnih analiz, saj nam omogočajo, da bolje razumemo njihov učinek na izbrano ciljno spremenljivko (Hox 2010).

Med drugim smo opravili test KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy) in Bartlettov test sferičnosti (Bartlett's Test of Sphericity) z izhodiščnimi kazalniki, da bi preverili primernost podatkov za faktorsko analizo. Test KMO nam da informacijo o primernosti podatkov za analizo, kjer je ocena primernosti med 0 in 1 (Field 2018). V našem primeru smo dobili vrednost 0,513, kar kaže na zadostno primernost podatkov za nadaljnjo analizo (Hair idr. 2014). Bartlettov test sferičnosti pa smo uporabili za preverjanje homogenosti variance med kazalniki.

Vrednost Bartlettovega testa sferičnosti se uporablja za preverjanje homogenosti variance med kazalniki. Visoka vrednost testa nakazuje, da so kazalniki homogeni, kar pomeni, da so primerni za faktorsko analizo (Field 2018). V našem primeru smo dobili vrednost približno 32,152, ki je statistično značilna (signifikanca $< 0,05$), kar kaže na homogenost variance med kazalniki in primernost za faktorsko analizo.

Preglednica 5.2 prikazuje informativne koeficiente, ki predstavljajo nabor podatkov celotnega vzorca. Preglednica je razdeljena na osrednje tendence in variabilne kazalnike. Med osrednje tendence vključujemo povprečje, mediano in modus, medtem ko kazalniki vključujejo standardni odklon, varianco, najmanjše in največje spremenljivke, kurtozo in asimetrijo.

Preglednica 5.2 prikazuje kazalnike strojne (CMK) in procesne zmožnosti (CPK) za vijačenje v različnih fazah optimizacije. Prikazuje povprečje, standardni odklon in število analiziranih kazalnikov za vsako spremenljivko navora v štirih fazah meritev. Začetna meritev (oznaka o) ima največji standardni odklon med vsemi fazami, kar kaže na večjo variabilnost vrednosti v primerjavi z optimiranimi meritvami. Standardni odklon se zmanjšuje skozi faze optimizacije, kar kaže na izboljšanje procesa in strojne zmožnosti. Z optimizacijo smo uspeli povečati robustnost procesa vijačenja. Prav tako lahko opazimo, da se je povprečna vrednost kazalnika navora med optimizacijami nekoliko spremenjala, vendar ta sprememba ni bila statistično značilna.

Korelacijska matrika v preglednici 5.3 prikazuje, kako so med seboj povezani posamezni kazalniki navora v različnih fazah optimizacije. Korelacije med kazalniki navora v ničti in prvi fazi so višje, kot so korelacije med kazalniki v tretji fazi. To pomeni, da so kazalniki v zadnji

Preglednica 5.2 Opisna statistika vijačenje – navor

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Navor_oL	1,1866	0,05798	50
Navor_oD	1,2124	0,06083	50
Navor_1L	1,2028	0,03233	50
Navor_1D	1,2010	0,02978	50
Navor_2L	1,1990	0,01502	50
Navor_2D	1,1972	0,01325	50
Navor_3L	1,1995	0,00351	50
Navor_3D	1,2006	0,00291	50

OPOMBE Začetna meritev je označena s številko 0. Navor je vijačenje. SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

fazi optimizacije neodvisnejši med seboj. Signifikanca, večja od 0,05, pomeni, da statistično ne moremo dokazati povezanosti med kazalniki. Vrednost KMO 0,513 pomeni, da so podatki primerni za nadaljnjo obdelavo. Bartlettov test sferičnosti nam pove, da ima vzorec homogenost variance. Vidi se, da so korelacije med levo in desno stranjo enake, zato smo na podlagi te analize zmanjšali količino podatkov v analizi za polovico. V kasnejših analizah smo nato operirali samo z levo stranjo, ker je desna stran statistično enaka levi.

Raziskali smo, kako se različni kazalniki navora med seboj povezujejo v različnih fazah optimizacije. Želeli smo ugotoviti, ali obstaja povezava med kazalniki navora in ali se ta povezava spreminja glede na optimizacijo.

Preglednica 5.3 predstavlja korelacijsko matriko, ki se uporablja za določanje medsebojnih odnosov med različnimi spremenljivkami. V tem primeru so spremenljivke navori (Navor_oL, Navor_oD, Navor_1L itd.). V prvem stolpcu in vrstici so označene spremenljivke, v ostalih celicah pa so korelacijski koeficienti med posameznimi spremenljivkami. V drugem delu preglednice so prikazane verjetnosti (označene kot Sig. (1-tailed)), ki kažejo, kolikšna je verjetnost, da se določen korelacijski koeficient pojavi naključno (Field 2018). Determinanta matrike pa je vrednost, ki označuje, koliko se spremeni matrika, ko se premakne. V tem primeru je determinanta enaka 0,532. To pomeni, da so spremenljivke v matriki med seboj nekoliko povezane. Za nas je bilo pomembno, da spremenljivke v korelacijski matriki niso močno povezane, saj obravnavamo navor, ki bi moral biti vedno enak, ne glede na optimizacijo. Če bi bile spremenljivke močno povezane, bi to lahko

Preglednica 5.3 Korelacijska matrika vijačenje – navor

		Korelacijska matrika ^a							
		Navor_oL	Navor_oD	Navor_1L	Navor_1D	Navor_2L	Navor_2D	Navor_3L	Navor_3D
Korelacija	Navor_oL	1,000	0,101	0,112	0,039	-0,177	,242	0,131	0,052
	Navor_oD	0,101	1,000	0,065	0,116	-0,042	0,079	0,036	-0,147
	Navor_1L	0,112	0,065	1,000	-0,230	-0,091	0,219	0,228	0,052
	Navor_1D	0,039	0,116	-0,230	1,000	0,189	-0,065	-0,190	0,171
	Navor_2L	-0,177	-0,042	-0,091	0,189	1,000	-0,045	-0,224	-0,195
	Navor_2D	0,242	0,079	0,219	-0,065	-0,045	1,000	0,195	0,227
	Navor_3L	0,131	0,036	0,228	-0,190	-0,224	0,195	1,000	-0,033
	Navor_3D	0,052	-0,147	0,052	0,171	-0,195	0,227	-0,033	1,000
Sig. (1-stranski)	Navor_oL		0,242	0,220	0,395	0,109	0,045	0,182	0,360
	Navor_oD		0,242		0,327	0,212	0,386	0,292	0,402
	Navor_1L			0,327		0,054	0,265	0,064	0,056
	Navor_1D			0,395	0,212	0,054		0,094	0,327
	Navor_2L				0,109	0,386	0,265	0,094	
	Navor_2D				0,045	0,292	0,064	0,327	0,378
	Navor_3L					0,182	0,402	0,056	0,093
	Navor_3D						0,182	0,402	0,056

OPOMBE ^a Determinanta = 0,532. Začetna meritev je označena s številko 0. Navor je vijačenje. Sig. je signifikanca.

pomenilo, da obstaja spremenljivka ali dejavnik, ki vpliva na navor in bi ga naredil manj stabilnega ter nepredvidljivega.

Vendar vemo, da pri postavljanju tehnoloških procesov nismo mogli zagotoviti enakega in ponovljivega navora. Težavo smo odpravili s postopnimi optimizacijami in z optimizacijo 3 zagotovili, da navor ustreza vsem tehničnim zahtevam.

Lahko ugotovimo, od katerih navorov je odvisen proces. Pomembno je opozoriti, da je ta odvisnost statistična, saj navori po tretji optimizaciji ne morejo imeti korelacije s predhodnimi aktivnostmi.

Preglednica 5.4 prikazuje rezultate testa KMO in Bartlettovega testa, ki sta bila uporabljena za preverjanje primernosti podatkov za faktorsko analizo. Podatki niso idealni za faktorsko analizo (KMO 0,487 in signifikanca 0,426), čeprav je bilo mogoče izvesti korelacijsko analizo (Hair idr. 2014). Zato je pri interpretaciji rezultatov potrebna previdnost. Pri analizi kazalnikov posamezne optimizacije je bil test KMO 0,5, kar ustreza minimalni primernosti podatkov za nadaljnjo analizo.

Preglednica 5.5 prikazuje antislikovno matriko vijačenja navora. Matrika vsebuje kovariančno in korelacijsko matriko za osem različ-

Preglednica 5.4 Test KMO in Bartlettov test sferičnosti vijačenje – navor

KMO in Bartlettov test			
Kaiser-Meyer-Olkinova mera ustreznosti vzorčenja			0,487
Bartlettov test sferičnosti	Pribl. hi-kvadrat		28,731
	df		28
	Sig.		0,426

OPOMBE df je stopnja prostosti. Sig. je signifikanca.

nih vrednosti navora (Navor_oL, Navor_oD, Navor_1L, Navor_1D, Navor_2L, Navor_2D, Navor_3L in Navor_3D). Kovariančna matrika prikazuje, kako močno so posamezne vrednosti navora med seboj povezane, korelacijska matrika pa, kako močna je ta povezanost med vrednostmi navora v odnosu na splošno. Za vsako vrednost v matrikah so navedene tudi vrednosti za ustreznost vzorčenja (MSA).

Glede na kontekst, v katerem so bili podatki zbrani, lahko sklepamo, da so spremenljivke navora med seboj povezane in da so naši rezultati verjetno zanesljivi. Za ugotavljanje povezanosti med spremenljivkami navora ter oceno vzorčne ustreznosti smo uporabili antislikovno matriko. Ta nam je omogočila, da smo ocenili, kako tesno so spremenljivke povezane in kakšen vzorec smo uporabili pri zbiranju podatkov.

Faktorska analiza (preglednica 5.6) je bila izvedena kot testni preizkus z namenom spremljanja sprememb kazalnikov navora. Želeli smo ugotoviti, ali so se vrednosti kazalnikov izboljševale skozi faze optimizacije. V izhodiščni fazi smo imeli kazalnika Navor_oL in Navor_oD, ki predstavljata začetno stanje, nato smo vmesno optimizacijo izvedli na kazalnikih Navor_1L in Navor_1D ter nadaljevali z optimizacijo na kazalnikih Navor_2L in Navor_2D. Končna optimizacija je bila izvedena na kazalnikih Navor_3L in Navor_3D.

Rezultati analize kažejo, da se je skupna komunaliteta (angl. *communalities*) kazalnikov izboljševala skozi faze optimizacije. To lahko vidimo po povečanju komunalitete vrednosti od začetnih (Navor_oL in Navor_oD) do končnih kazalnikov (Navor_3L in Navor_3D).

Vrednosti komunalitet so izračunane z metodo največje verjetnosti (angl. *maximum likelihood* – ML), ki temelji na največji verjetnosti, da so podatki generirani iz danega modela. V preglednici je tudi opozorilo, da so bile vrednosti komunalitet večje od 1, kar je lahko posledica neustreznega modeliranja, in zato naj bi se rezultati te analize interpretirali s previdnostjo.

To analizo smo izvedli kot test, da bi preverili, ali lahko z njo pojasnimo, da se kazalniki izboljšujejo skozi proces optimizacije. Vendar pa

Preglednica 5.5 Antislikovna matrika vijačenje – navor

		Antislikovna matrika							
		Navor_oL	Navor_oD	Navor_1L	Navor_1D	Navor_2L	Navor_2D	Navor_3L	Navor_3D
Antislikovna kovarianca	Navor_oL	0,893	-0,046	-0,052	-0,093	0,149	-0,185	-0,045	0,039
	Navor_oD	-0,046	0,919	-0,074	-0,163	0,087	-0,091	0,004	0,189
	Navor_1L	-0,052	-0,074	0,870	0,180	-0,017	-0,113	-0,135	-0,062
	Navor_1D	-0,093	-0,163	0,180	0,818	-0,187	0,076	0,074	-0,214
	Navor_2L	0,149	0,087	-0,017	-0,187	0,834	-0,093	0,164	0,221
	Navor_2D	-0,185	-0,091	-0,113	0,076	-0,093	0,822	-0,130	-0,216
	Navor_3L	-0,045	0,004	-0,135	0,074	0,164	-0,130	0,863	0,084
	Navor_3D	0,039	0,189	-0,062	-0,214	0,221	-0,216	0,084	0,809
Antislikovna korelacija	Navor_oL	0,576a	-0,051	-0,059	-0,108	0,173	-0,216	-0,051	0,045
	Navor_oD	-0,051	0,341a	-0,082	-0,188	0,100	-0,105	0,005	0,220
	Navor_1L	-0,059	-0,082	0,636a	0,213	-0,020	-0,133	-0,155	-0,074
	Navor_1D	-0,108	-0,188	0,213	0,430a	-0,227	0,093	0,088	-0,263
	Navor_2L	0,173	0,100	-0,020	-0,227	0,439a	-0,112	0,194	0,269
	Navor_2D	-0,216	-0,105	-0,133	0,093	-0,112	0,523a	-0,155	-0,265
	Navor_3L	-0,051	0,005	-0,155	0,088	0,194	-0,155	0,649a	0,100
	Navor_3D	0,045	0,220	-0,074	-0,263	0,269	-0,265	0,100	0,347a

OPOMBA ^a Mere ustreznosti vzorčenja (MSA).

je treba upoštevati, da je bila ta analiza izvedena zgolj za testne name-
ne in ne predstavlja končnega rezultata raziskave.

V preglednici 5.7 vidimo, da prvi faktor razloži 22,663 % variance
podatkov, drugi faktor 16,267 %, tretji faktor 14,614 % in tako naprej.
Skupaj prvi trije faktorji razložijo 53,545 % variance podatkov. To po-
meni, da se večina variance podatkov razloži s prvimi tremi faktorji, ki
smo jih identificirali s faktorsko analizo (Hair idr. 2014).

Za nadaljnjo analizo smo uporabili diagram lastnih vrednosti (angl.
scree plot) (slika 5.1) in ugotovili, da lahko pri nadaljnji analizi operira-
mo z enim faktorjem, saj ima največjo lastno vrednost.

Graf prikazuje odstotek kumulativne variance, ki jo povzroča vsak
faktor (Field 2018). To nam omogoča, da vidimo, kateri faktorji naj-
več prispevajo k varianci podatkov in kateri so manj pomembni. Ena
od metod za odločanje o številu faktorjev, ki jih je treba izločiti, je ta,
da se na grafu išče prelomno točko (lastne vrednosti > 1), ki razkri-
va, kje se odstotek kumulativne variance začne zniževati (Hair idr.
2014).

Preglednica 5.6 Komunalitete vijačenje – navor

Komunalitete ^a		
	Začetna	Ekstrahirana
Navor_oL	0,107	0,196
Navor_oD	0,081	0,107
Navor_1L	0,130	0,189
Navor_1D	0,182	0,999
Navor_2L	0,166	0,143
Navor_2D	0,178	0,260
Navor_3L	0,137	0,211
Navor_3D	0,191	1,000

OPOMBI Metoda ekstrakcije: največja verjetnost. ^a Med ponovitvami je ena ali več ocen komunalitet, večjih od 1. Rezultat je treba razlagati previdno.

Preglednica 5.7 Skupna pojasnjena varianca vijačenje – navor

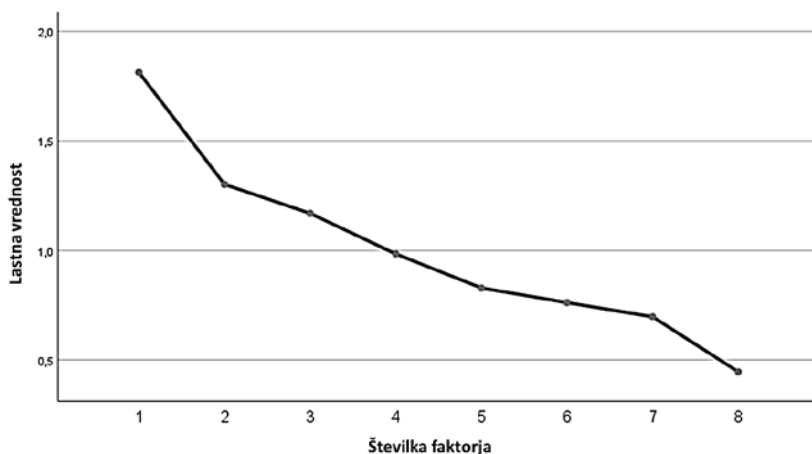
Skupna pojasnjena varianca

Faktor	Začetne lastne vrednosti			Število ohranjenih faktorjev				Distribucija variance po rotaciji			
	Skupaj	% Variance	Kumulativni %	Skupaj	% Variance	Kumulativni %		Skupaj	Kumulativni %	Kumulativni %	
1	1,813	22,663	22,663	1,147	14,341	14,341		1,083	13,543	13,543	
2	1,301	16,267	38,931	1,147	14,339	28,680		1,074	13,429	26,972	
3	1,169	14,614	53,545	0,810	10,120	38,800		0,946	11,827	38,800	
4	0,984	12,299	65,844								
5	0,828	10,354	76,198								
6	0,762	9,519	85,717								
7	0,697	8,712	94,429								
8	0,446	5,571	100,000								

OPOMBA Metoda ekstrakcije: največja verjetnost.

Preglednica 5.8 prikazuje faktorsko matriko, ki predstavlja, kako so se posamezne spremenljivke (v tem primeru Navor_oL, Navor_oD, Navor_1L, Navor_1D, Navor_2L, Navor_2D, Navor_3L in Navor_3D) povezale z izbranimi faktorji (v tem primeru 1, 2, 3). Vrednosti v matriki so korelacijski koeficienti med posameznimi spremenljivkami in faktorji.

Iz preglednice 5.8 lahko razberemo, katere spremenljivke se najbolj povezujejo z določenimi faktorji. Opazimo npr. zelo visoko korelacijo med spremenljivko Navor_3D in faktorjem 1 (vrednost 1,000), kar po-



Slika 5.1 Diagram lastnih vrednosti vijačenje – navor

meni, da ta spremenljivka zelo dobro sledi temu faktorju. Nasprotno je korelacija med spremenljivko Navor_3D in faktorjem 2 zelo nizka (vrednost $-0,001$).

Matrika nam pomaga razumeti, katere lastnosti ali dejavniki v naših podatkih so najpomembnejši in kako se ti dejavniki med seboj povezujejo. Pri tem izračunu so bili uporabljeni trije faktorji, ki smo jih pridobili po devetih ponovitvah.

Faktorjev nismo poimenovali. Tak pristop je pogosto uporabljen, ko se želi odkriti skupne vzorce in strukture v podatkih, ki jih še ne poznamo. Faktorji so v tem primeru označeni zgolj s števkami od 1 do 3.

Preglednica 5.8 Faktorska matrika vijačenje – navor

	Faktorska matrika ^a		
	Faktor		
	1	2	3
Navor_3D	1,000	-0,001	0,000
Navor_1D	0,172	0,984	0,000
Navor_2D	0,227	-0,106	0,444
Navor_oL	0,052	0,030	0,439
Navor_3L	-0,034	-0,188	0,418
Navor_1L	0,052	-0,243	0,357
Navor_oD	-0,147	0,143	0,253
Navor_2L	-0,195	0,227	-0,231

OPOMBI Metoda ekstrakcije: največja verjetnost. ^aIzločeni so trije faktorji. Potrebni je bilo devet ponovitev.

Preglednica 5.9 Test ustreznosti vijačenje – navor

Test ustreznosti		
hi-kvadrat	df	Sig.
3,140	7	0,872

OPOMBE df je stopnja prostosti. Sig. je signifikanca.

Preglednica 5.10 Ponovljene korelacije vijačenje – navor

		Ponovljene korelacije							
		Navor_ oL	Navor_ oD	Navor_ 1L	Navor_ 1D	Navor_ 2L	Navor_ 2D	Navor_ 3L	Navor_ 3D
Ponovljene korelacije	Navor_ oL	0,196 ^a	0,108	0,152	0,039	-0,105	0,203	0,176	0,052
	Navor_ oD	0,108	0,106a	0,048	0,116	0,003	0,064	0,084	-0,147
	Navor_ 1L	0,152	0,048	0,189a	-0,230	-0,148	0,196	0,193	0,052
	Navor_ 1D	0,039	0,116	-0,230	0,999a	0,189	-0,065	-0,190	0,171
	Navor_ 2L	-0,105	0,003	-0,148	0,189	0,143a	-0,171	-0,133	-0,195
	Navor_ 2D	0,203	0,064	0,196	-0,065	-0,171	0,260a	0,198	0,227
	Navor_ 3L	0,176	0,084	0,193	-0,190	-0,133	0,198	0,211a	-0,033
	Navor_ 3D	0,052	-0,147	0,052	0,171	-0,195	0,227	-0,033	1,000a
Ostane ^b	Navor_ oL		-0,006	-0,040	4,234E-6	-0,073	0,039	-0,045	-1,655E-7
	Navor_ oD	-0,006		0,017	1,040E-5	-0,045	0,015	-0,048	-1,063E-7
	Navor_ 1L	-0,040	0,017		-6,163E-6	0,057	0,023	0,035	7,655E-8
	Navor_ 1D	4,234E-6	1,040E-5	-6,163E-6		3,078E-5	-4,135E-5	5,769E-5	1,388E-10
	Navor_ 2L	-0,073	-0,045	0,057	3,078E-5		0,126	-0,091	-2,969E-7
	Navor_ 2D	0,039	0,015	0,023	-4,135E-5	0,126		-0,003	1,827E-7
	Navor_ 3L	-0,045	-0,048	0,035	5,769E-5	-0,091	-0,003		-1,945E-7
	Navor_ 3D	-1,655E-7	-1,063E-7	7,655E-8	1,388E-10	-2,969E-7	1,827E-7	-1,945E-7	

OPOMBE Metoda ekstrakcije: največja verjetnost. ^a Ponovljene komunalitete. ^b Ostanki se izračunajo med opazovanimi in ponovljenimi korelacijami. Obstajajo štirje (14,0 %) neredundantni ostanki z absolutnimi vrednostmi nad 0,05.

Ta oznaka nima posebnega pomena in se uporablja le za razlikovanje med posameznimi faktorji. Namen takšne označitve je olajšati identifikacijo, kateri podatki so povezani z določenim faktorjem, še posebej v primerih, ko se analiza izvaja z večjim številom faktorjev, saj lahko poimenovanje faktorjev privede do pristranskosti pri interpretaciji. Zato je včasih smiselneje ostati pri preprosti označitvi faktorjev z zaporednimi števkami (Hair idr. 2014).

Izvedli smo tudi test ustreznosti (angl. *goodness-of-fit*), ki se uporablja za preverjanje, ali predlagani statistični model ustreza podatkom, ki jih imamo. Rezultat tega testa nam pove, koliko podatkov se ujema z našim modelom (Hair idr. 2014).

V našem primeru v preglednici 5.9 vidimo, da je vrednost signifikance večja od 0,05, kar pomeni, da naš model ustreza podatkom. Rezultat testa ustreznosti pravi, da je statistična vrednost hi-kvadrat-testa 3,140, število prostostnih stopenj je 7 in signifikanca 0,872. To pomeni, da ne moremo zavreči hipoteze, da se model dobro prilega našim podatkom. Zato lahko rečemo, da se model, ki smo ga izdelali s faktorsko analizo, dobro prilega našim podatkom (Hair idr. 2014).

Preglednica 5.10 prikazuje rezultate ponovljenih korelacij vijačnje – navor. Ponovljene korelacije so korelacije med faktorjem in vsako od izvirnih spremenljivk. S faktorsko analizo smo poskušali razložiti varianco med spremenljivkami s pomočjo skupine latentnih spremenljivk, ki jih imenujemo faktorji. Ta preglednica kaže, kako dobro so faktorji korelirani z vsako od izvirnih spremenljivk.

V prvi vrstici so navedena imena izvirnih spremenljivk, ki jih analiziramo, ponovljena korelacija (angl. *reproduced correlation*) prikazuje ponovljene korelacije med faktorjem in vsako spremenljivko, ostanek (angl. *residual*) pa ponovljene korelacije med faktorjem in vsako spremenljivko.

Npr., v vrstici Navor_oL ponovljena korelacija med faktorjem in spremenljivko Navor_oL znaša 0,196, kar pomeni, da obstaja nekaj korelacije med faktorjem in spremenljivko Navor_oL.

V preglednici 5.10 so prikazana tudi odstopanja med dejanskimi in ponovljenimi korelacijami, ki so navedena v obliki eksponentov. Vrednosti odstopanj so majhne, saj so le štiri od njih (14 % od celotnih) z absolutno vrednostjo, ki je večja od 0,05. To kaže na visoko stopnjo ponovljivosti korelacij med spremenljivkami, kar pomeni, da je nekaj razlike med dejanskimi korelacijami in tistimi, ki jih razloži faktorska analiza (Hox 2010).

Preglednica 5.11 Matrika transformacije faktorjev vijačenje – navor

Matrika transformacije faktorjev			
Faktor	1	2	3
1	0,122	0,982	0,143
2	0,976	-0,092	-0,199
3	0,182	-0,164	0,970

OPOMBI Metoda ekstrakcije: največja verjetnost. Metoda rotacije: Varimax s Kaiserjevo normalizacijo.

Preglednica 5.11 prikazuje matriko transformacije faktorjev, ki je bila uporabljena za pretvorbo originalnih kazalnikov v faktorske spremenljivke (Hair idr. 2014).

Npr., v prvi vrstici lahko vidimo, da originalna spremenljivka 1 (vijačenje) daje največji prispevek k faktorju 2 (0,982), nekaj manj k faktorju 3 (0,143), in še manj k faktorju 1 (0,122).

Opazimo lahko, da matrika transformacije faktorjev vsebuje različne koeficiente za vsako originalno spremenljivko, ki prispeva k vsakemu faktorju, kar kaže, da originalne spremenljivke niso enako pomembne za vsak faktor. Matrika transformacije faktorjev daje informacijo o tem, kako vsaka originalna spremenljivka prispeva k vsakemu faktorju. To lahko služi kot osnova za interpretacijo faktorjev in njihovega pomena za raziskavo (Hox 2010). V našem primeru so faktorji dobro razmejeni in bodo lahko uporabljeni za nadaljnjo analizo podatkov.

Na podlagi splošnega načela pri analizi faktorjev se v znanstvenih poročilih in člankih faktorjev pogosto ne poimenuje, ampak se jih opredeli z opisom njihovih značilnosti. Ta pristop omogoča objektivnejše razumevanje in ocenjevanje faktorjev brez pristranskosti, ki bi lahko izhajala iz njihovih poimenovanj (Field 2018). V raziskavi smo sledili temu načelu in izpustili poimenovanje faktorjev, da bi zagotovili objektivnejše razumevanje njihovih značilnosti.

Preglednica 5.12 prikazuje matriko koeficientov faktorskih ocen vijačenja in navora. Prikazuje, kako vsak od treh faktorjev vpliva na vsako od osmih spremenljivk navora (Navor_oL, Navor_oD, Navor_1L itd.). Koeficienti v tej matriki so korelacijski koeficienti med dejavniki in spremenljivkami.

Nadalje v tej matriki lahko opazimo, da ima dejavnik 1 zmerno pozitivno korelacijo z Navorom_oL, Navorom_1L in Navorom_3L. Dejavnika 2 in 3 sta negativneje korelirana z vsemi spremenljivkami. Npr., korelacijski koeficient med dejavnikom 1 in spremenljivko Navor_oL

je 0,097, kar pomeni, da obstaja pozitivna korelacija. Koeficient korelacije med dejavnikom 2 in spremenljivko Navor_oL pa je -0,088, kar pomeni, da obstaja negativna korelacija.

Korelacije med dejavniki in spremenljivkami so pomembne za razumevanje, kako se navor spreminja v odvisnosti od vijačnih dejavnikov. Rezultati te matrike nam pomagajo razumeti, kako pomembni so posamezni dejavniki za spreminjanje navora, kar je pomembno za razvoj učinkovitejših orodij in strojev.

Metode, ki so bile uporabljene pri izdelavi te matrike, so ekstrakcija z največjo verjetnostjo, rotacija z Varimaxom in normalizacija Kaiser. To pomeni, da so bili dejavniki izbrani glede na verjetnost, da so povezani s spremenljivkami, rotacija pa je bila izvedena za zagotovitev jasnosti in boljše razlage faktorskih ocen. Na podlagi tega lahko napovemo, kako se bo navor spremenil v odvisnosti od sprememb vijačnih dejavnikov.

Na kazalnikih smo po tretji optimizaciji izvedli faktorsko analizo, ki smo jo na kratko povzeli v nadaljevanju. Iz rezultatov je razvidno, da je prva komponenta najbolj povezana s končno kontrolo časa, številom obratov in maso lepila, druga komponenta s temperaturo komponent in lepila, tretja komponenta z navorom in s lepljenja, četrta pa s časom vijačenja.

Faktorska analiza je izluščila štiri komponente, ki skupaj pojasnijo 68,66 % variabilnosti izhodiščnih kazalnikov.

Npr., koeficienti za prvi faktor komponenta 1 (angl. *Component 1*) so najvišji za Končno kontrolo čas_oL in Maso lepila_oL, kar nakazuje,

Preglednica 5.12 Matrika koeficientov faktorskih ocen vijačenje – navor

	Matrika koeficientov faktorskih ocen		
	Faktor		
	1	2	3
Navor_oL	0,097	-0,088	0,519
Navor_oD	0,051	-0,046	0,269
Navor_1L	0,078	-0,071	0,418
Navor_1D	1,040	-0,138	0,063
Navor_2L	-0,048	0,043	-0,257
Navor_2D	0,107	-0,097	0,572
Navor_3L	0,094	-0,085	0,505
Navor_3D	-0,089	1,035	-0,040

OPOMBE Metoda ekstrakcije: največja verjetnost. Metoda rotacije: Varimax s Kaiserjevo normalizacijo. Metoda faktorskih ocen: Bartlett.

da sta ti dve spremenljivki močno povezani s tem faktorjem. Koeficienti za drugi faktor komponenta 2 (angl. *Component 2*) so najvišji za Čas vijačenja_oL in Temperaturo lepila_oL, kar kaže na močno povezavo med temi spremenljivkami in drugim faktorjem.

Po tretji optimizaciji smo znova preverili vse izbrane faktorje in njihove komunalitete. Želeli smo preveriti, ali se je kaj spremenilo med procesom optimizacije. Pričakovali smo, da so kazalniki pravilno izbrani, kar lahko potrdimo na podlagi preglednice 5.13.

Komunalitete v preglednici 5.13 kažejo, koliko variabilnosti v podatkih posamezen kazalnik zajema v sklopu tretje faktorske analize. Visoke vrednosti v stolpcu ekstrakcija (angl. *Extraction*) kažejo, da je določen kazalnik povezan z enim ali več faktorji, medtem ko nizke vrednosti pomenijo, da kazalnik ne prispeva veliko k razlagi faktorjev (Field 2018).

Npr., za Navor_3L je komunaliteta pri izhodišču 1,0, kar kaže, da v prvotnih podatkih ta kazalnik zajema vso variabilnost. Po ekstrakciji faktorjev pa ima ta kazalnik komunaliteto 0,420, kar pomeni, da se nekoliko slabše ujema z izbranimi faktorji. Na drugi strani pa ima Skladnost z dokumentacijo_3D komunaliteto 0,952, kar kaže na močno povezanost z izbranimi faktorji.

Kljub opravljeni faktorski analizi smo morali v našem primeru upoštevati tudi predpisane kazalnike, ki so bili vsi kazalniki CPK in nekatere kazalniki CMK, kot so navor, temperatura lepila, masa lepila in čas lepljenja. Ti kazalniki so ključni pri izpolnjevanju predpisanih standardov kakovosti in varnosti ter pomembni za proces.

5.4.6 Analiza kritične strojne zmožnosti

2Preglednica 5.14 je analiza kritične strojne zmožnosti procesa vijačenja, ki smo jo izvedli s programsko opremo Minitab. Multivariantna analiza kritične strojne zmožnosti (CMK) vključuje vse meritve kazalnikov, ki so bili spremljani med optimizacijo procesa vijačenja.

Za lažje razumevanje naj pojasnimo, da v preglednici 5.14 spremenljivka (angl. *variable*) predstavlja kazalnik navor. LSL predstavlja spodnjo mejo specifikacije, ki jo določa stranka ali konstruktor. Target predstavlja cilj specifikacije, ki ga določa stranka ali konstruktor. USL predstavlja zgornjo mejo specifikacije, ki jo določa stranka ali konstruktor. Sample Mean predstavlja povprečno vrednost izmerjenih podatkov (Povp.N). Sample N predstavlja število izmerjenih podatkov (N). StDev (Within) predstavlja standardni odklon vzorca

Preglednica 5.13 Komunalitete končnih kazalnikov po tretji optimizaciji – faktorska analiza

Komunalitete	Začetna	Ekstrahirana
Navor_3L	1,000	0,420
Navor_3D	1,000	0,742
Čas vijačenja_3L	1,000	0,633
Čas vijačenja_3D	1,000	0,780
Število obratov_3L	1,000	0,543
Število obratov_3D	1,000	0,793
Temperatura lepila_3L	1,000	0,713
Temperatura lepila_3D	1,000	0,666
Temperatura komponent_3L	1,000	0,664
Temperatura komponent_3D	1,000	0,617
Masa lepila_3L	1,000	0,827
Masa lepila_3D	1,000	0,798
Čas lepljenja_3L	1,000	0,750
Čas lepljenja_3D	1,000	0,692
Končna kontrola časa_3L	1,000	0,690
Končna kontrola časa_3D	1,000	0,756
Funkcije_3L	1,000	0,879
Funkcije_3D	1,000	0,881
Dimenzijska ustreznost_3L	1,000	0,782
Dimenzijska ustreznost_3D	1,000	0,811
Skladnost z dokumentacijo_3L	1,000	0,963
Skladnost z dokumentacijo_3D	1,000	0,952

OPOMBA Metoda ekstrakcije: analiza glavnih komponent.

(SDV). StDev (Overall) predstavlja standardni odklon celotnega procesa (SDP).

Pred optimizacijo smo imeli standardni odklon navora 0,059 za levo in 0,065 za desno stran izdelka. Podatki prikazujejo, da so bili procesni kazalniki navora pred optimizacijo vijačenja (Navor_oL, Navor_oD) že relativno stabilni, saj imajo standardni odklon 0,0596431 in 0,0648521. Vendar pa se po izvedeni optimizaciji procesa vijačenja (Navor_1L, Navor_1D) standardni odklon zmanjša za več kot polovico (na 0,0324928 in 0,0299304). Ta trend se nadaljuje tudi po drugi fazi optimizacije (Navor_2L, Navor_2D), kjer standardni odklon znaša le še 0,0150938 in 0,0133220. S procesom optimizacije smo proces stabilizirali in zmanjšali standardni odklon na 0,003 za levo in desno stran. Ta rezultat kaže, da smo uspeli doseči naš cilj in proces vijačenja naredili

zmogljivejši. Vendar pa je treba opozoriti, da mora biti optimizacija procesa skladna tudi s tehničnimi zahtevami.

Preglednica 5.15 prikazuje analizo CMK za proces vijačenja. Ta analiza se uporablja za oceno sposobnosti stroja in je podobna kot analiza CPK, vendar se uporabljajo drugi vhodni parametri (kazalniki), ki se nanašajo na stroj. V preglednici lahko vidimo vrednosti za različne kazalnike, kot so Pp, PPL, PPU, Ppk in Cpm, ki nam razkrivajo sposobnosti stroja in njegovo stabilnost.

Kazalnik Pp označuje razliko med največjo in najmanjšo vrednostjo procesa v odstotkih. Ta kazalnik nam pove, koliko proces variira od specifikacij. Kazalnik PPL označuje, koliko proces variira od spodnje specifikacije v odstotkih. Kazalnik PPU označuje, koliko proces variira od zgornje specifikacije v odstotkih. Kazalnik Ppk označuje, koliko proces variira od ciljne vrednosti v odstotkih. Kazalnik Cpm (iz angl. *capability process mean*) označuje, koliko proces variira od srednje vrednosti.

Iz preglednice 5.15 je razvidno, da so imeli izhodiščni kazalniki Navor_oL in Navor_oD nižje vrednosti Pp, PPL in PPU, kar pomeni, da je proces vijačenja pred optimizacijo odstopal od specifikacij. Po optimizaciji procesa vijačenja so imeli kazalniki Navor_3L in Navor_3D najvišje vrednosti Pp, PPL in PPU, kar pomeni, da je proces po optimizaciji manj odstopal od specifikacij. Tudi kazalnik Ppk kaže, da je proces po optimizaciji manj odstopal od ciljne vrednosti. Lahko trdimo, da je proces vijačenja po optimizaciji postal stabilnejši in da se bolje ujema s specifikacijami.

Preglednica 5.16 prikazuje analizo potenciala znotraj zmožnosti (Cp) za proces vijačenja. Ta analiza se uporablja za oceno razpona med največjo in najmanjšo pričakovano vrednostjo procesa ter njegovega potenciala za izboljšave. V preglednici so navedeni kazalniki Cp, CPL, CPU in CPK, ki se uporabljajo za oceno zmožnosti procesa. Cp predstavlja razmerje med standardnim odklonom procesa in tolerančnim razponom. CPL in CPU predstavljata razpon med najmanjšo in največjo pričakovano vrednostjo procesa. CPK pa predstavlja odstotek procesa, ki je v tolerančnem razponu. V preglednici 5.16 lahko vidimo, da se vrednost CPK povečuje z optimizacijo procesa, kar kaže na izboljšanje zmožnosti procesa. Tretja optimizacija je dosegla najvišjo vrednost CPK, kar pomeni, da je proces v tem stanju najstabilnejši in zmožen zadovoljiti zahteve tolerančnega razpona. Kazalniki v preglednici so prikazani v parih (Navor_oL in Navor_oD, Navor_ooL in Navor_ooD itd.), saj se spremljata obe strani procesa.

Preglednica 5.14 Procesni podatki vijačenje – navor

Spremenljivka	LSL	Cilj	USL	Povp.N	N	SDV	SDP
Navor_oL	1,176	*	1,224	1,19820	50	0,0596431	0,0593396
Navor_oD	1,176	*	1,224	1,19960	50	0,0648521	0,0645221
Navor_ooL	1,176	*	1,224	1,18660	50	0,0582765	0,0579799
Navor_ooD	1,176	*	1,224	1,21240	50	0,0611408	0,0608296
Navor_1L	1,176	*	1,224	1,20280	50	0,0324928	0,0323274
Navor_1D	1,176	*	1,224	1,20100	50	0,0299304	0,0297781
Navor_2L	1,176	*	1,224	1,19900	50	0,0150938	0,0150170
Navor_2D	1,176	*	1,224	1,19720	50	0,0133220	0,0132542
Navor_3L	1,176	*	1,224	1,19946	50	0,0035243	0,0035063
Navor_3D	1,176	*	1,224	1,20064	50	0,0029269	0,0029120

Preglednica 5.15 Splošna zmožnost vijačenje – navor

Spremenljivka	Pp	PPL	PPU	Ppk	Cpm
Navor_oL	0,135	0,125	0,145	0,125	*
Navor_oD	0,124	0,122	0,126	0,122	*
Navor_ooL	0,138	0,061	0,215	0,061	*
Navor_ooD	0,132	0,199	0,064	0,064	*
Navor_1L	0,247	0,276	0,219	0,219	*
Navor_1D	0,269	0,280	0,257	0,257	*
Navor_2L	0,533	0,511	0,555	0,511	*
Navor_2D	0,604	0,533	0,674	0,533	*
Navor_3L	2,282	2,230	2,333	2,230	*
Navor_3D	2,747	2,820	2,674	2,674	*

OPOMBE Cpm (iz angl. *process capability*) – sposobnosti proizvodnega procesa, da proizvaja izdelke znotraj določenih specifikacijskih meja. * predstavlja manjkajočo vrednost.

Pp (iz angl. *process performance*) se izračuna kot razmerje med razponom procesa (USL–LSL) in šestkratno standardno deviacijo. Višja vrednost PP pomeni boljše procesno zmožnost.

PPL (iz angl. *process performance lower*) se izračuna kot razmerje med razliko med spodnjo specifikacijo (LSL) in povprečno vrednostjo procesa ter trikratno standardno deviacijo. Višja vrednost PPL pomeni manjšo verjetnost, da bo proces proizvedel napako pod spodnjo mejo specifikacije.

PPU (iz angl. *process performance upper*) se izračuna kot razmerje med razliko med zgornjo specifikacijo (USL) in povprečno vrednostjo procesa ter trikratno standardno deviacijo. Višja vrednost PPU pomeni manjšo verjetnost, da bo proces proizvedel napako nad zgornjo mejo specifikacije.

PPK (iz angl. *process performance index*) se izračuna kot minimum izračunanih vrednosti PPL in PPU. Višja vrednost PPK pomeni, da je proces sposobnejši izpolnjevati zahteve specifikacije. PPK mora biti vsaj enak 1,33, da bi se lahko reklo, da je proces sposoben izpolnjevati zahteve specifikacije (Down idr. 2010; Durivage 2014).

Kot smo že pojasnili, CPK predstavlja kriterij za doseg predpisanih tehničnih zahtev, saj mora biti njegova vrednost enaka ali večja od 2, kot je določeno s standardom 2 PPM. To pomeni, da sta dopustni največ dve napaki na milijon izdelkov. Ponovljivost vijačenja pri nas je dosegla zahtevano natančnost, kar pomeni, da je navor v tem primeru

vedno nominalen, in sicer 1,2 Nm. Čeprav se navor nahaja v predpisanim tolerančnem območju med 1,176 in 1,224 Nm, je čim bližje nominalni vrednosti 1,2 Nm. To lahko potrdimo z analizo meritev, kjer so vrednosti CPK od tretje optimizacije procesa vijčenja večje od 2, kar pomeni, da proces vijčenja dosega zahtevano kakovost.

Preglednica 5.17 prikazuje opazovano uspešnost procesa vijčenja glede na navor. Vrednosti so prikazane v PPM in so razdeljene na PPM pod LSL, PPM nad USL in PPM skupaj. Pri ničti stopnji optimizacije (Navor_oL in Navor_oD) je bila opazovana uspešnost procesa nižja kot spodnja meja specifikacije, kar pomeni, da so bili izdelki pod standardom. Pri prvi stopnji optimizacije (Navor_1L in Navor_1D) se je opazovana uspešnost procesa izboljšala, vendar še vedno ni dosegla zgornje meje specifikacije. Pri tretji optimizaciji (Navor_3L in Navor_3D) se je opazovana uspešnost procesa izboljšala in dosegla nič PPM pod spodnjo mejo specifikacije ter nič PPM nad zgornjo mejo specifikacije, kar pomeni, da je proces dosegel optimalno uspešnost. Za primerjavo je treba vedeti, da industrijski standard podjetja zahteva, da se procesi izvajajo z manj kot 2 PPM nad spodnjo mejo specifikacije in manj kot 2 PPM pod zgornjo mejo specifikacije, kar pomeni, da proces dosega 2 PPM (HN110066–2012 in HN67025–2014).

Preglednica 5.18 prikazuje analizo eksplicitne notranje zmožnosti procesa vijčenja (angl. *explicit internal capability*), ki ocenjuje število komponent, proizvedenih zunaj sprejemljivih meja ($PPM < LSL$ spodnja meja in $PPM > USL$ zgornja meja). V tem primeru smo merili navor in uporabljali kazalnike Navor_oL, Navor_oD, Navor_ooL, Navor_ooD, Navor_1L, Navor_1D, Navor_2L, Navor_2D, Navor_3L in Navor_3D. Vidimo, da je bila eksplicitna notranja zmožnost procesa vijčenja najboljša pri kazalnikih Navor_3L in Navor_3D, kjer je bilo 0 komponent proizvedenih zunaj sprejemljivih meja. To kaže, da je bil proces vijčenja pri tretji optimizaciji stabilen in da ni bilo komponent, proizvedenih zunaj sprejemljivih meja.

Preglednica 5.19 prikazuje analizo eksplicitne splošne zmožnosti procesa vijčenja glede na navor. Ta analiza se uporablja za oceno, koliko proizvodov je bilo izdelanih znotraj sprejetih meja LSL in USL ter koliko izven teh meja. V našem primeru lahko vidimo, da je bila večina proizvodov izdelanih znotraj meja LSL in USL, kar pomeni, da proces vijčenja deluje uspešno. Vrednosti $PPM < LSL$ predstavljajo število proizvodov, ki so bili izdelani z manjšim navorom, kot zahteva LSL, medtem ko vrednosti $PPM > USL$ predstavljajo število proizvodov, ki

Preglednica 5.16 Potencial znotraj zmoglosti vijačenje – navor

Spremenljivka	Cp	CPL	CPU	CPK
Navor_oL	0,134	0,124	0,144	0,124
Navor_oD	0,123	0,121	0,125	0,121
Navor_ooL	0,137	0,061	0,214	0,061
Navor_ooD	0,131	0,198	0,063	0,063
Navor_1L	0,246	0,275	0,217	0,217
Navor_1D	0,267	0,278	0,256	0,256
Navor_2L	0,530	0,508	0,552	0,508
Navor_2D	0,601	0,530	0,671	0,530
Navor_3L	2,270	2,219	2,321	2,219
Navor_3D	2,733	2,806	2,660	2,660

Preglednica 5.17 Opazovana uspešnost vijačenje – navor

Spremenljivka	PPM < LSL	PPM > USL	PPM Skupaj
Navor_oL	380000,00	280000,00	660000,00
Navor_oD	400000,00	420000,00	820000,00
Navor_ooL	460000,00	240000,00	700000,00
Navor_ooD	320000,00	440000,00	760000,00
Navor_1L	300000,00	240000,00	540000,00
Navor_1D	240000,00	200000,00	440000,00
Navor_2L	0,00	0,00	0,00
Navor_2D	0,00	0,00	0,00
Navor_3L	0,00	0,00	0,00
Navor_3D	0,00	0,00	0,00

OPOMBE PPM < LSL (iz angl. *parts per million below lower specification limit*) označuje število izdelkov v milijonih, ki so pod spodnjo mejo specifikacij. To kaže, koliko napak se pojavi v proizvodnem procesu, ki so manjše od spodnje meje specifikacij.

PPM > USL (iz angl. *parts per million above upper specification limit*) označuje število izdelkov v milijonih, ki presegajo zgornjo mejo specifikacij. To kaže, koliko napak, ki so večje od zgornje meje specifikacij, se pojavi v proizvodnem procesu.

PPM Total (iz angl. *parts per million total*).

so bili izdelani z večjim navorom, kot zahteva USL. Skupna vrednost PPM Total pa predstavlja skupno število proizvodov, ki so bili izdelani znotraj in izven meja LSL in USL. Za primer tretje optimizacije ta preglednica pokaže, da je bilo o proizvodov izdelanih izven meja LSL in USL, kar pomeni, da proces vijačenja deluje zelo uspešno in dosega visoko stopnjo kontrole proizvodnje.

Kazalnike analize CMK smo prikazali tudi grafično, saj ta način predstavlja hitrejše prepoznavanje lastnosti tehnološkega procesa. Sliki 5.2 in 5.3 tako predstavljata podatke o sposobnosti procesa za doseganje zahtevanih specifikacij. Za vsako spremenljivko, kot je Na-

Preglednica 5.18 Eksplicitna notranja zmožnost vijačenje – navor

Spremenljivka	PPM < LSL	PPM > USL	PPM Skupaj
Navor_oL	354866,67	332662,39	687529,05
Navor_oD	357964,53	353369,02	711333,55
Navor_ooL	427833,93	260511,84	688345,77
Navor_ooD	275805,61	424761,88	700567,49
Navor_1L	204742,77	257054,43	461797,20
Navor_1D	201782,51	221110,08	422892,59
Navor_2L	63778,84	48829,66	112608,51
Navor_2D	55764,83	22125,09	77889,91
Navor_3L	0,00	0,00	0,00
Navor_3D	0,00	0,00	0,00

Preglednica 5.19 Eksplicitna splošna zmožnost vijačenje – navor

Spremenljivka	PPM < LSL	PPM > USL	PPM Total
Navor_oL	354158,25	331858,95	686017,21
Navor_oD	357269,80	352654,02	709923,82
Navor_ooL	427468,90	259447,17	686916,07
Navor_ooD	274789,03	424381,68	699170,72
Navor_1L	203547,13	255979,53	459526,66
Navor_1D	200582,22	219944,72	420526,94
Navor_2L	62810,86	47978,30	110789,16
Navor_2D	54855,38	21588,04	76443,42
Navor_3L	0,00	0,00	0,00
Navor_3D	0,00	0,00	0,00

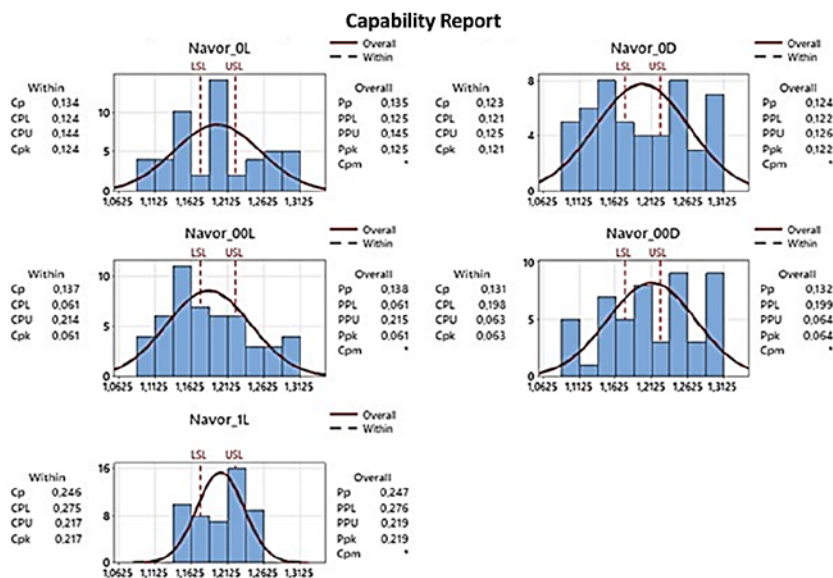
vor_oL, ki predstavlja vijačenje, so navedeni ključni kazalniki sposobnosti procesa, kot so Cp, CPL, CPU in CPK. Cp označuje razmerje med standardnim odklonom procesa in toleranco (razliko med zgornjo in spodnjo mejo specifikacije), CPL in CPU označujeta odstotek vrednosti, ki so manjše od spodnje meje specifikacije oz. večje od zgornje meje specifikacije, CPK pa označuje kazalnik kapacitete procesa v primerjavi s sredino toleranc. Prav tako so jasno vidne PPM < LSL in PPM > USL, ki označujejo število vzorcev, ki so manjši od spodnje meje specifikacije oz. večji od zgornje meje specifikacije. PPM Total označuje skupno število vzorcev, ki niso v tolerančnem območju.

Na sliki 5.3 se vidi, kako smo z optimizacijami uspeli izboljšati proces vijačenja – navor (Navor_2L, Navor_2D, Navor_3L in Navor_3D). Vidimo, da so kazalniki sposobnosti procesa, kot so Cp, CPL, CPU in CPK, za te spremenljivke izboljšani. Cp označuje razmerje med standardnim odklonom procesa in toleranco, kar pomeni, da se proces

bolj drži specifikacij. CPL in CPU označujeta odstotek vrednosti, ki so manjše od spodnje meje specifikacije oz. večje od zgornje meje specifikacije, kar pomeni, da se manj vrednosti nahaja izven tolerančnih meja. CPK pa označuje kazalnik kapacitete procesa v primerjavi s sredino toleranc, kar pomeni, da se proces bolj drži sredine tolerančnih meja.

Sliki 5.2 in 5.3 prikazujeta kazalnike PPM < LSL in PPM > USL, ki kažejo, koliko vzorcev je manjših od spodnje meje specifikacije oz. večjih od zgornje meje specifikacije. Te številke se zmanjšujejo po optimizacijah, kar kaže, da se proces bolj drži tolerančnih meja in da je manj vzorcev izven tolerančnih meja. Skupno število vzorcev, ki niso v toleranci, se tudi zmanjšuje, kar pomeni, da je proces bolj kontroliran in zanesljivejši.

Za boljšo predstavitev meritev smo rezultate meritev prikazali na verjetnostnem diagramu. Verjetnostni diagrami (angl. *probability plots*) so grafični prikazi razmerja med opaženo kumulativno in teoretično porazdelitvijo. Navor je vektorska količina, ki opisuje vpliv sile na vrtenje telesa okoli določene osi. V našem primeru smo merili navor vijaknika na levi in desni strani montažne linije.



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Slika 5.2 Strojna zmožnost vijachenje – Navor_oL; Navor_oD; Navor_oOL; Navor_oOD; Navor_iL

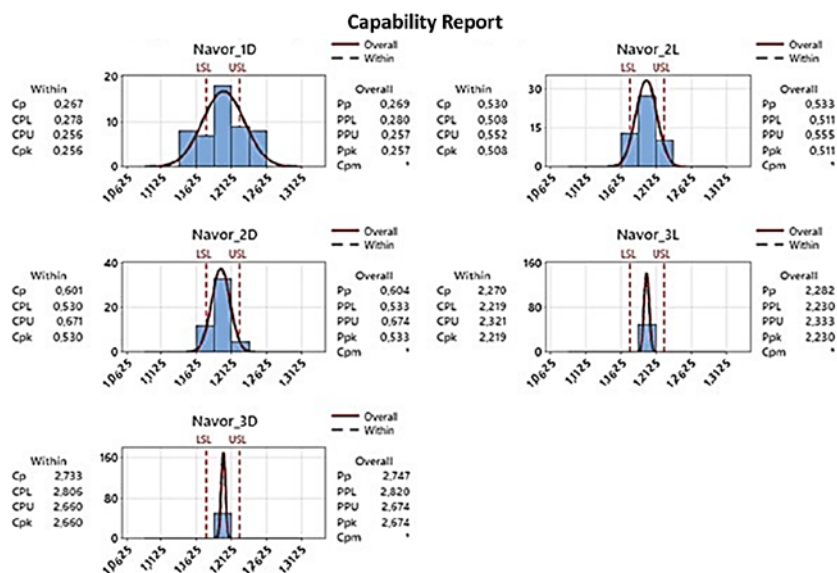
Na sliki 5.4 so prikazani Navor_oL do Navor_1L. Pri Navor_oL gre za prvi navor porazdelitve, ki predstavlja povprečno vrednost podatkov. Za Navor_oL je porazdelitev normalna, kar se potrди tudi z verjetnostnim diagramom. Navor_oD predstavlja variabilnost podatkov, pri čemer se priporoča, da ne presega vrednosti 1,33, da bi lahko trdili, da so podatki normalno porazdeljeni. Iz verjetnostnih diagramov na sliki 5.4 za Navor_oD in Navor_1D vidimo, da podatki ne sledijo normalni porazdelitvi. Navor_1L predstavlja drugi navor, ki pa v tem primeru nima posebne interpretacije. Pri Navor_1L je videti, da so podatki relativno normalno porazdeljeni. Navpična os v diagramu predstavlja vrednosti, izražene v odstotkih, medtem ko vodoravna os predstavlja vrednosti, merjene v Newtonovih metrih (Nm).

Npr., začetni kazalniki navora pri vijačenju se prilegajo normalni porazdelitvi s 95-odstotnim intervalom zaupanja (CI) in koeficientom asimetrije (AD) 0,626. Po analizi podatkov smo ugotovili, da se podatki razporejajo po normalni porazdelitvi s 95-odstotnim intervalom zaupanja (CI) in koeficientom asimetrije (AD) 0,626. Verjetnost, da bo navor pri vijačenju manjši ali enak določeni vrednosti, je enaka 0,097. Te ugotovitve lahko uporabimo za načrtovanje in nadzor proizvodnje vijakov.

Na sliki 5.5 se nahajajo Navor_2L, Navor_2D, Navor_3L in Navor_3D, ki predstavljajo tretji navor porazdelitve, ta pa ponazarja asimetrijo porazdelitve. Pri Navor_2L se iz verjetnostnega diagrama vidi, da so podatki nekoliko levostransko asimetrični. Navor_2D predstavlja kurtosis¹ porazdelitve, ki ponazarja stopnjo, do katere so repi porazdelitve priostreni. Iz verjetnostnega diagrama je videti, da so podatki platikurtični,² kar pomeni, da so repi porazdelitve manj priostreni od normalne porazdelitve. Navor_3L predstavlja četrti navor porazdelitve, ki vključuje stopnjo levostranske ali desnostranske asimetrije. Iz verjetnostnega diagrama je razvidno, da so podatki zelo levostransko asimetrični. Navor_3D predstavlja navor, ki ima pri normalni porazdelitvi vrednost 1,2 Nm. Iz verjetnostnega diagrama na sliki 5.5 lahko razberemo, da so podatki platikurtični in nekoliko levostransko asimetrični.

¹ Kurtosis je statistična mera, ki se nanaša na obliko porazdelitve podatkov. Meri, kako visok je vrh porazdelitve in kako strmi so njeni repi v primerjavi z normalno porazdelitvijo (tj. kako visoka je koncentracija podatkov okoli povprečne vrednosti) (Durivage 2014).

² Izraz platikurtičen se nanaša na porazdelitve, ki imajo manjšo kurtozo od normalne porazdelitve. To pomeni, da so te bolj ploščate od normalne porazdelitve. Na grafu imajo platikurtične porazdelitve višino vrha, ki je nižja od normalne porazdelitve, ter širša »ramena« (Hair idr. 2014).



The actual process spread is represented by 6 sigma.

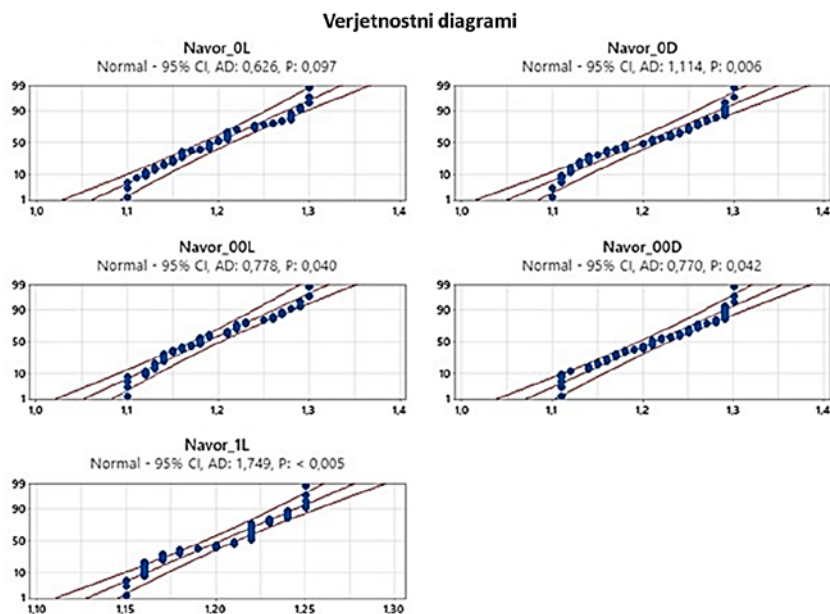
Slika 5.3 Strojna zmogljivost vijačenje – Navor_1D; Navor_2L; Navor_2D; Navor_3L; Navor_3D

V diagramih na sliki 5.5 navpična os v diagramu predstavlja vrednosti, izražene v odstotkih, medtem ko vodoravna os predstavlja vrednosti, merjene v Newtonovih metrih (Nm).

Iz diagramov lahko razpoznamo, da so po tretji optimizaciji trije kazalniki navora (Navor_3L) pri vijačenju prilegajoči normalni porazdelitvi s 95-odstotnim intervalom zaupanja (CI) in koeficientom asimetrije (AD) 1,508. Verjetnost dogodka (P), da bo navor pri vijačenju manjši od določene vrednosti, je manjša od 0,005. To kaže na izboljšanje procesa vijačenja in povečanje natančnosti izdelave.

V našem primeru imajo porazdelitve navora za Navor_3L in Navor_3D visok kurtosis, kar pomeni, da so podatki bolj koncentrirani okoli povprečne vrednosti in imajo strmejšše repke kot normalna porazdelitev. To nakazuje, da so bili modeli po optimizaciji sposobni doseči visoko natančnost in zmanjšati variabilnost napovedi.

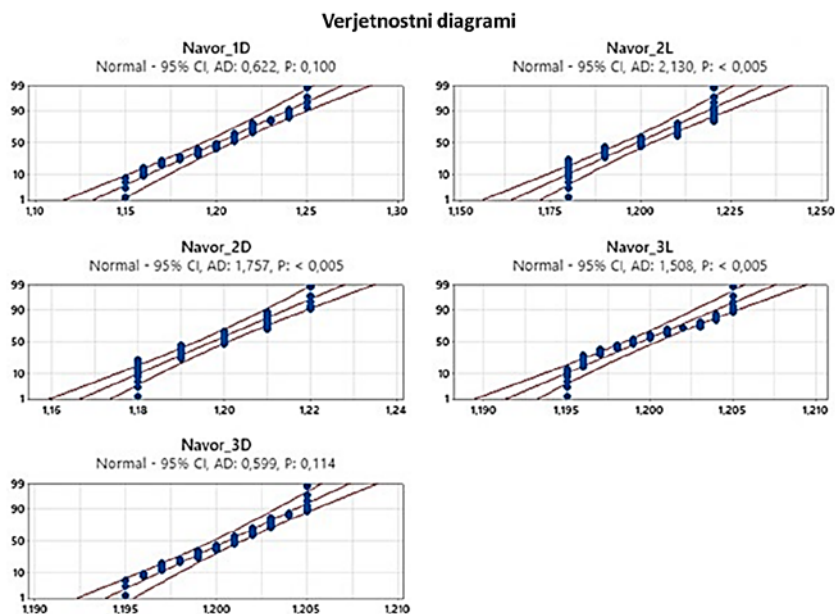
Preglednica 5.20 prikazuje rezultate analize kritične strojne zmogljivosti (CMK) za tri različne optimizacije, ki smo jih izvedli. Razlikuje se od analize CPK, saj se pri CMK uporabljajo drugi vhodni parametri, ki so specifični za stroj in proizvodnjo. V našem primeru smo analizirali kazalnike navora, časa, števila obratov, temperature lepila, tempera-



Slika 5.4 Grafični prikaz verjetnosti procesa vijačenje – Navor_oL; Navor_oD; Navor_o0L; Navor_o0D; Navor_1L

ture komponent, mase lepila, časa lepljenja in časa, ki je bil potreben za končno kontrolo.

V tretji optimizaciji smo uspeli doseči želeno vrednost CMK za vse kazalnike, ki znaša 1,67 ali več. Vrednost CMK 1,67 se pogosto uporablja kot mejna vrednost za sprejemljivo procesno zmožnost. To pomeni, da če je vrednost CPK manjša od 1,67, proces ni dovolj zanesljiv in ni sposoben zagotoviti predpisane kakovosti izdelka. Če je vrednost CMK enaka ali večja od 1,67, potem proces zagotavlja visoko zmožnost in nizko variabilnost, kar pomeni, da lahko proizvajamo izdelke visoke kakovosti. Tako smo dosegli visoko zmožnost in nizko variabilnost v procesu, kar zagotavlja visoko kakovost izdelka. Največji napredek smo opazili pri temperaturi lepila in komponent, kjer smo dosegli vrednosti 3,678141 in 1,634894. To pomeni, da smo z uspešno stabilizacijo teh parametrov uspeli zmanjšati variabilnost v procesu in s tem zagotoviti boljšo kakovost lepljenja. Prav tako lahko vidimo, da smo uspeli zmanjšati negativne vrednosti CMK za čas, ki smo ga imeli v prvi optimizaciji. Skupaj to kaže na izjemno uspešno optimizacijo procesa in zagotavlja visoko zmožnost proizvodnje ter kakovost izdelka.



Slika 5.5 Grafični prikaz verjetnosti procesa vijačenje – Navor_1D; Navor_2L; Navor_2D; Navor_3L; Navor_3D

Med procesom optimizacije smo se osredotočili na CMK kot kazalnik kakovosti procesa. Sprejemljiva raven CMK mora biti vsaj 2, kar pomeni, da je proces sposoben zagotoviti skladnost z zahtevanimi specifikacijami izdelka in da je zmoغلjiv za proizvodnjo izdelkov visoke kakovosti (Pyzdek 2003).

S tretjo optimizacijo pa smo dosegli želeno raven CMK za vse kazalnike (preglednica 5.20). To je dokaz, da smo dosegli visoko zmožnost procesa in zagotavljamo izdelke visoke kakovosti. Poleg tega smo se osredotočili na pomembne kazalnike, ki vplivajo na funkcije, dimenzije in skladnost izdelka. Za te kazalnike je mejna vrednost 2, kar pomeni, da mora naš proces doseči vrednost 2 ali več, da zagotovimo visoko kakovost izdelka.

5.4.7 Analiza kritične procesne zmožnosti

Analiza kritične procesne zmožnosti (CPK) je metoda za ocenjevanje zmožnosti procesa in sposobnosti proizvodnje, da dosega specifikacije proizvoda. Ta analiza se uporablja za identifikacijo in odpravljanje procesnih težav, ki vplivajo na kakovost izdelkov. Za izvedbo analize CPK se uporabljajo kazalniki, kot so funkcije, dimenzije in skladnost.

Preglednica 5.20 Kritična strojna zmožnost CMK z vsemi optimizirani kazalniki

	Optimizacija 1	Optimizacija 2	Optimizacija 3
Navor	0,092311	0,519193	2,439627
Čas	-0,64263	-0,16844	2,497823
Število obratov	0,338943	1,313959	2,616443
Temperatura lepila	-0,18963	1,096092	3,678141
Temperatura komponent	0,05562	0,437503	1,634894
Masa lepila	-0,09105	0,381809	1,827
Čas lepljenja	-0,98848	0,065563	3,167192
Čas	-1,04662	-0,25858	1,189466

OPOMBE Vrednost 2 za kazalnik CMK v našem podjetju omogoča ocenjevanje, kako dobro proces ustreza zahtevam specifikacij produkta, kar je ključni pogoj za doseg stopnje šest sigma. Za doseg te stopnje je treba imeti CMK vsaj 2, kar pomeni, da je standardna deviacija procesa dvojno manjša od širine specifikacije. Vrednost 1,67 za CMK pomeni, da je standardna deviacija procesa približno 1,67-krat manjša od širine specifikacije in kaže na zadovoljivo stopnjo procesne zmožnosti (Pyzdek 2003), vendar se lahko v procesu še vedno pojavljajo določene napake. Stopnja procesne zmožnosti šest sigma označuje, da proces izpolnjuje zahteve specifikacij s stopnjo napak, manjšo od 0,00034 % (Aized 2012) (3,4 napake na milijon priložnosti). Procesna zmožnost vsaj 2 pomeni, da mora biti standardna deviacija procesa dvakrat manjša od širine specifikacij.

V naši raziskavi smo izvedli analizo CPK za drugo in tretjo optimizacijo. Preglednica 5.21 prikazuje rezultate analize CPK za obe optimizaciji. Rezultati kažejo, da smo v drugi optimizaciji dosegli vrednosti 1,314627 za funkcije, 0,521797 za dimenzije in 1,155447 za skladnost z dokumentacijo. Tretja optimizacija pa je pokazala izboljšanje vrednosti z 2,609501 za funkcije, s 3,032089 za dimenzije in 3,9573 za skladnost.

Z analizo CPK smo potrdili, da je proces po tretji optimizaciji skladen s tehnološkimi zahtevami.

5.4.8 Splošna učinkovitost opreme in dobičkonosnost vloženega kapitala

Splošna učinkovitost opreme (OEE) je kazalnik, ki meri stopnjo učinkovitosti vse opreme v proizvodnji in podpira oceno donosnosti vloženega kapitala (ROI).

V praksi se OEE uporablja za spremljanje in izboljševanje učinkovitosti opreme (Sayer in Williams 2007), identifikacijo problemov, ki ovirajo proizvodnjo, in oceno donosnosti vloženega kapitala (ROI) (Johnson in Kaplan 1987).

ROI se uporablja za oceno učinkovitosti investicije in se običajno izračuna kot odstotek (Kerzner 2011).

Formula za izračun ROI je (5.2):

Preglednica 5.21 Kritična procesna zmožnost

	Optimizacija 2	Optimizacija 3
Funkcije	1,314627	2,609501
Dimenzije	0,521797	3,032089
Skladnost	1,155447	3,9573

OPOMBE Vrednost 2 za kazalnik CPK v našem podjetju omogoča ocenjevanje, kako dobro proces ustreza zahtevam specifikacij izdelka, kar je ključni pogoj za dosego stopnje šest sigma. Za dosego te stopnje je treba imeti CPK vsaj 2, kar pomeni, da je standardna deviacija procesa dvojno manjša od širine specifikacije. Vrednost 1,67 za CPK pomeni, da je standardna deviacija procesa približno 1,67-krat manjša od širine specifikacije in kaže na zadovoljivo stopnjo procesne zmožnosti (Pyzdek 2003).

$$ROI = \frac{\text{končni dobiček} - \text{začetni vložek}}{\text{začetni vložek}} \times 100. \quad (5.2)$$

Končni dobiček je razlika med zaslužkom in stroški. Začetni vložek pa je znesek, ki se je vložil v projekt (Neely 2002; Brocke in Schmiedel 2015). OEE in ROI smo izračunali le za drugo in tretjo optimizacijo tehnološkega procesa, saj se je po prvi optimizaciji ugotovilo, da tehnološki proces ni bil donosen zaradi neizpolnjevanja tehničnih zahtev.

Preglednica 5.22 prikazuje uspešnost poslovnega procesa z uporabo kazalnikov OEE in ROI. Pri drugi optimizaciji so bili kazalniki boljši, zato smo naredili analizo od vključno druge optimizacije naprej. V preglednici 5.22 se vidijo podatki za drugo in tretjo optimizacijo. OEE se je z 78,361 % povečala na 85,411 %, razpoložljivost se je z 89,658 povečala na 91,980, produktivnost se je z 0,898 povečala na 0,921, kakovost se je z 0,971 povečala na 0,986 in ROI se je z 2.915.182 EUR povečala na 7.978.259 EUR.

Analiza je pokazala, da so se kazalniki OEE in ROI po tretji optimizaciji izrazito izboljšali. OEE se je povečala za 7,05 %, kar kaže na večjo razpoložljivost, produktivnost in kakovost. Razpoložljivost se je povečala za 2,32 %, produktivnost pa za 2,23 %. Kakovost se je povečala za 1,15 %. ROI se je povečala za 175,04 %, kar kaže na večji dobiček.

5.4.9 Regresijska analiza

Regresijska analiza je metoda, ki nam pomaga ugotoviti odvisnosti med posameznimi spremenljivkami v procesu (Hair idr. 2014). Izbrali smo regresijsko analizo (metoda enter) za preverjanje kritičnih procesnih zmožnosti (CPK), kritičnih strojnih zmožnosti (CMK), učinkovitosti proizvodnega procesa (OEE) in donosnosti naložbe (ROI).

Preglednica 5.22 Uspešnost poslovnega procesa, merjena s kazalnikom OEE in ROI

	Optimizacija 2	Optimizacija 3
OEE	78,361	85,411
Razpoložljivost	89,658	91,980
Produktivnost	0,898	0,921
Kakovost	0,971	0,986
ROI	2915182	7978259

OPOMBE OEE je ključni kazalnik uspešnosti proizvodne linije ali naprave, ki vključuje razpoložljivost, produktivnost in kakovost v odstotkih. ROI je kazalnik, ki izraža donosnost naložbe in je v evrih.

Z regresijsko analizo smo nameravali ugotoviti, kakšna je korelacija med kazalniki vijačenja, lepljenja in končne kontrole ter kazalniki kritične strojne zmožnosti, OEE in ROI.

Pri interpretaciji rezultatov regresijske analize smo upoštevali tudi statistično pomembnost posameznih neodvisnih spremenljivk in njihov prispevek k pojasnjevanju variabilnosti odvisne spremenljivke. Na podlagi tega smo lahko ugotovili, katere neodvisne spremenljivke so najpomembnejše za proces in katerim je treba nameniti posebno pozornost pri izboljšavah.

V nadaljevanju smo okvirno predstavili rezultate regresijskih modelov, ki smo jih uporabili za optimizacijo 2 in 3. Prav tako smo izvedli analizo za izhodiščne kazalnike in optimizacijo 1, ki jih ne bomo posebej predstavljali, saj so rezultati podobni tistim, ki so predstavljeni v analizah. Podrobne rezultate predstavljamo skupaj s preverjanjem hipotez (regresijska enačba 5.5).

Regresijski modeli so bili izdelani za preverjanje odvisnosti kritične procesne zmožnosti (funkcije in skladnosti z dokumentacijo) – druge optimizacije s kritično strojno zmožnostjo (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa), z analizo OEE (razpoložljivost, produktivnost in kakovost) in ROI.

Preglednica 5.23 vsebuje 12 modelov, kjer vsak model prikazuje odvisnost ene od neodvisnih spremenljivk (razpoložljivost, produktivnost, kakovost, ROI, navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja, končna kontrola časa) od funkcije in skladnosti z dokumentacijo, pri čemer so navedene signifikance za preverjanje statistične pomembnosti.

Rezultati regresijskih modelov v preglednici kažejo, da so spremenljivke funkcija na kakovost, funkcija na maso lepila in funkcija na končno kontrolo časa statistično značilno povezane z odvisnimi spremenljivkami (Sig. < 0,05). Vse ostale spremenljivke nimajo statistično značilne povezanosti z odvisnimi spremenljivkami (Sig. > 0,05), s kritično strojno zmožnostjo, z OEE in ROI.

Ugotavljamo, da imata funkcija in skladnost z dokumentacijo pomembno povezanost s kritično strojno zmožnostjo, z OEE in ROI, zato je pomembno, da se ta procesna zmožnost stalno spremlja in optimizira.

Preglednica 5.24 prikazuje rezultate 12 regresijskih modelov, ki so bili uporabljeni za preverjanje odvisnosti kritične procesne zmožnosti (dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo) od tretje optimizacije za kritično strojno zmožnost (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa), OEE (razpoložljivost, produktivnost in kakovost) in ROI. V vsakem modelu so bile določene odvisne in neodvisne spremenljivke kot tudi statistična signifikanca (Sig.).

Rezultati kažejo, da v vseh 12 modelih obstaja statistično značilna povezanost spremenljivke skladnosti z dokumentacijo tretje optimizacije, medtem ko dimenzijska ustreznost tretje optimizacije ni imela statistično značilne povezanosti s kritično strojno zmožnostjo, z OEE in ROI. To pomeni, da lahko z optimizacijo skladnosti z dokumentacijo v procesu dosežemo boljše rezultate kritične strojne zmožnosti, OEE in ROI.

Preglednica 5.25 prikazuje rezultate sedmih regresijskih modelov, ki so bili uporabljeni za preverjanje povezanosti kritične strojne zmožnosti s kritično procesno zmožnostjo, z OEE (razpoložljivost, produktivnost in kakovost) in ROI. Regresijski modeli so bili izdelani za preverjanje odvisnosti spremenljivk, kot so navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa. Rezultati prikazujejo, da sta spremenljivki število obratov in končna kontrola časa statistično značilno povezani z odvisnimi spremenljivkami. Spremenljivke število obratov so povezane z razpoložljivostjo, s produktivnostjo in z ROI, medtem ko je spremenljivka končna kontrola časa povezana s funkcijami. Vse ostale spremenljivke nimajo statistično značilne povezanosti z odvisnimi spremenljivkami. To pomeni, da spremenljivki število obratov in končna kontrola časa predstavljata ključne kazalnike za optimizacijo procesa in izboljšanje kritične procesne zmožnosti, OEE in ROI.

Preglednica 5.23 Regresijski modeli za odvisnost kritične procesne zmožnosti (funkcija, skladnost z dokumentacijo) – druga optimizacija kritične strojne zmožnosti, OEE in ROI

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
1.	Razpoložljivost – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
2.	Produktivnost – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
3.	Kakovost – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	< 0,05 > 0,05
4.	ROI – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
5.	Navor – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
6.	Čas vijačenja – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
7.	Število obratov – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
8.	Temperatura lepila – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
9.	Temperatura komponent – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
10.	Masa lepila – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	< 0,05 > 0,05
11.	Čas lepljenja – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	> 0,05 > 0,05
12.	Končna kontrola časa – 2. optimizacija	Funkcija – 2. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	< 0,05 > 0,05

OPOMBE Vsak model prikazuje odvisnost ene od neodvisnih spremenljivk (kot so razpoložljivost, produktivnost, kakovost itd.) od funkcije in skladnosti z dokumentacijo, pri čemer so navedene signifikance za preverjanje statistične značilnosti. Sig. je signifikanca.

Preglednica 5.26 prikazuje rezultate sedmih regresijskih modelov, ki so bili izdelani za preverjanje povezanosti kritične strojne zmožnosti s kritično procesno zmožnostjo, OEE in ROI. Regresijski modeli so bili izdelani za preverjanje odvisnosti spremenljivk, kot so navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa, od odvisnih spremenljivk, kot so dimenzijska ustreznost, funkcije in skladnost z dokumentacijo, razpoložljivost, produktivnost in kakovost. Rezultati modelov kažejo, da ima spremenljivka število obratov statistično značilno povezanost s skladnostjo z dokumentacijo (Sig. < 0,05), končna

Preglednica 5.24 Regresijski modeli za odvisnost kritične procesne zmožnosti (dimenzijska ustreznost, skladnost z dokumentacijo) – tretja optimizacija za kritično strojno zmožnost, OEE in ROI

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
1.	Razpoložljivost – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 < 0,05
2.	Produktivnost – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 < 0,05
3.	Kakovost – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
4.	ROI – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
5.	Navor – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
6.	Čas vijačenja – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
7.	Število obratov – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
8.	Temperatura lepila – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
9.	Temperatura komponent – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
10.	Masa lepila – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
11.	Čas lepljenja – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05
12.	Končna kontrola časa – 3. optimizacija	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	> 0,05 > 0,05

OPOMBE Vsak model prikazuje odvisnost ene od neodvisnih spremenljivk (razpoložljivost, produktivnost, kakovost itd.) od funkcije in skladnosti z dokumentacijo, pri čemer so navedene signifikance. Sig. je signifikanca.

kontrola časa pa ima statistično značilno povezanost z razpoložljivostjo in s produktivnostjo (Sig. < 0,05).

Preglednica 5.27 prikazuje povprečno vrednost (angl. *mean*), standardno deviacijo (angl. *std. deviation*) in število vzorcev (N) za spremenljivko ROI₃ ter kazalnike kritične strojne zmožnosti (Navor₃, Čas vijačenja₃, Število obratov₃, Temperatura lepila₃, Temperatura komponent₃, Masa lepila₃, Čas lepljenja₃, Končna kontrola časa₃). Izvedli smo regresijsko analizo povezanosti med spremenljivko ROI₃ in kazalniki kritične strojne zmožnosti ter ugotovili medsebojno odvisnost (Hair idr. 2014).

Preglednica 5.25 Regresijski modeli za odvisnost kritične strojne zmožnosti (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja, končna kontrola časa) – druga optimizacija za kritično procesno zmožnost, OEE in ROI

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
1.	Dimenzijska ustreznost – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05
2.	Funkcije – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	< 0,05
3.	Skladnost z dokumentacijo – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05
4.	Razpoložljivost – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	< 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05
5.	Produktivnost – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	< 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05

Nadaljevanje na naslednji strani

Preglednica 5.25 Nadaljevanje s prejšnje strani

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
6.	Kakovost – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05
7.	ROI – 2. optimizacija	Navor – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 2. optimizacija	< 0,05
		Temperatura lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 2. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 2. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 2. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 2. optimizacija	> 0,05

OPOMBE Preglednica predstavlja regresijske modele, ki so bili testirani za odvisnost kritične procesne zmožnosti (funkcija in skladnost z dokumentacijo) pri drugi optimizaciji za kritično strojno zmožnost, OEE in ROI. Za vsak model je prikazana odvisnost ene od neodvisnih spremenljivk od funkcije in skladnosti z dokumentacijo, skupaj s signifikanco.

Iz preglednice 5.27 lahko razberemo, da so vrednosti spremenljivke ROI₃ bolj razpršene (standardna odklonska vrednost 78,47062) kot vrednosti kazalnikov kritične strojne zmožnosti. Povprečna vrednost ROI₃ je 1634,5196. Preglednica nam tako omogoča, da primerjamo spremenljivke in ugotovimo, katera ima največjo variabilnost. V našem primeru ima spremenljivka Temperatura lepila₃ največji standardni odklon (0,27295), medtem ko ima spremenljivka Navor₃ najmanjšega (0,00291). Ugotovljene so torej razlike v variabilnosti med spremenljivkami, kar omogoča, da se osredotočimo na spremenljivke z višjo variabilnostjo.

V preglednici 5.28 prikazujemo korelacijske koeficiente med odvisno spremenljivko ROI₃ in vsemi neodvisnimi spremenljivkami. Glede na korelacijske koeficiente lahko vidimo, da je največja pozitivna korelacija med odvisno spremenljivko ROI₃ in neodvisno spremenljivko Navor₃, kar pomeni, da se vrednost ROI₃ povečuje, ko se povečuje vrednost Navor₃. Največja negativna korelacija je med odvisno spremenljivko ROI₃ in neodvisno spremenljivko Število obratov₃, kar pomeni, da se vrednost ROI₃ zmanjšuje, ko se povečuje vrednost Število obratov₃.

V delu preglednice se prikazujejo kovariance med spremenljivkami, ki ponazarjajo, kako močna je povezava med spremenljivkama. Ta ma-

Preglednica 5.26 Regresijski modeli za odvisnost kritične strojne zmožnosti (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja, končna kontrola časa) – tretja optimizacija za kritično procesno zmožnost, OEE in ROI

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
1.	Dimenzijska ustreznost – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	> 0,05
2.	Funkcije – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	> 0,05
3.	Skladnost z dokumentacijo – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	< 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	> 0,05
4.	Razpoložljivost – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	< 0,05
5.	Produktivnost – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	< 0,05

Nadaljevanje na naslednji strani

Preglednica 5.26 *Nadaljevanje s prejšnje strani*

Model	Odvisna spremenljivka	Neodvisne spremenljivke	Sig.
6.	Kakovost – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	> 0,05
7.	ROI – 3. optimizacija	Navor – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas vijačenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Število obratov – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Temperatura komponent – 3. optimizacija	> 0,05
		Masa lepila – 3. optimizacija	> 0,05
		Čas lepljenja – 3. optimizacija	> 0,05
		Končna kontrola časa – 3. optimizacija	> 0,05

OPOMBE Preglednica predstavlja regresijske modele, ki so bili testirani za odvisnost kritične procesne zmožnosti (funkcija in skladnost z dokumentacijo) pri drugi optimizaciji za kritično strojno zmožnost, OEE in ROI. Za vsak model je prikazana odvisnost ene od neodvisnih spremenljivk od funkcije in skladnosti z dokumentacijo, skupaj s signifikanco.

trika se uporablja za prepoznavanje morebitnih povezav med spremenljivkami in za razumevanje, kakšna je korelacija spremenljivk z ROI₃.

V regresijski analizi ROI₃ je odvisna spremenljivka ROI₃, medtem ko so neodvisne spremenljivke standardni residuumi, napovedane vrednosti in residuumi. Standardni residuumi so odstopanja od napovedanih vrednosti, ki so izračunana kot razlika med dejanskimi in napovedanimi vrednostmi. Napovedane vrednosti so izračunane na osnovi matematičnega modela, ki temelji na podatkih o neodvisnih spremenljivkah, medtem ko so residuumi razlike med dejanskimi in napovedanimi vrednostmi (Hair idr. 2014). Uporaba standardnih residuumov, napovedanih vrednosti in residuumov omogoča oceno, kako dobro se matematični model prilega podatkom. Če so residuumi majhni in naključni, to pomeni, da model dobro opiše povezavo med odvisno in neodvisnimi spremenljivkami.

V preglednici 5.29 so prikazane korelacije med spremenljivko ROI₃ in drugimi spremenljivkami (funkcije₃, dimenzijska ustreznost₃, skladnost z dokumentacijo₃). V prvi vrstici so imena spremenljivk, v drugi vrstici pa so vrednosti korelacije med ROI₃ in določeno spre-

Preglednica 5.27 Opisna statistika med ROI₃ in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK)

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
ROI ₃	1634,5196	78,47062	50
Navor ₃	1,2006	0,00291	50
Čas vijačenja ₃	21,9094	0,05762	50
Število obratov ₃	5,0032	0,03178	50
Temperatura lepila ₃	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent ₃	22,6196	0,21216	50
Masa lepila ₃	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja ₃	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa ₃	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

menljivko. V tretji vrstici je signifikanca, ki pove, ali je korelacija statistično značilna. Iz preglednice je razvidno, da je korelacija med ROI₃ in Funkcijami₃ zelo šibka (0,072) in ni statistično značilna ($p = 0,311$). Korelacija med ROI₃ in Dimenzijsko ustreznostjo₃ je negativna in tudi ni statistično značilna ($p = 0,427$). Korelacija med ROI₃ in Skladnostjo z dokumentacijo pa je nekoliko boljša (0,040) in ni statistično značilna ($p = 0,393$).

Skupna učinkovitost opreme OEE

Preglednica 5.30 prikazuje rezultate regresijske analize med kazalnikom OEE L₃ in ostalimi kazalniki kritične procesne zmožnosti (CPK) L₃ (Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L).

OEE_L₃ ima negativno korelacijo s Funkcijami_3L (−0.327) in z Dimenzijsko ustreznostjo_3L (−0.012) in negativno korelacijo s Skladnostjo z dokumentacijo_3L (−0.267), kar pomeni, da se OEE_L₃ znižuje, ko se Funkcije_3L in Dimenzijska ustreznost_3L znižujejo in ko se Skladnost z dokumentacijo_3L zvišuje. Signifikance za te korelacije so manjše od 0,05.

Kazalnik Funkcije_3L ima pozitivno korelacijo z Dimenzijsko ustreznostjo_3L (0.760) in s Skladnostjo z dokumentacijo_3L (0.609), kar pomeni, da se kazalnik Funkcije_3L zvišuje, ko se Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L zvišujeta. Signifikance za te korelacije so manjše od 0,05. V preglednici so tudi podatki o velikosti vzorca (N).

Na podlagi rezultatov iz preglednice 5.30 lahko sklepamo, da je kazalnik OEE L₃ negativno povezan s Funkcijami_3L, z Dimenzijsko

Preglednica 5.28 Korelacijski koeficienti med RO13 in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK)

Model	Korelacije koeficientov ^a								
	Končna kontrola čas3	Navor3	Temperatura komponent3	Temperatura lepila3	Masa lepila3	Čas vijčenja3	Čas lepljenja3	Število obratov3	
1	Končna kontrola čas3	1,000	0,035	-0,122	-0,140	-0,098	0,131	0,100	0,109
	Navor3	0,035	1,000	-0,063	-0,021	-0,248	0,216	0,038	-0,340
	Temperatura komponent3	-0,122	-0,063	1,000	0,042	0,071	0,072	-0,229	-0,040
	Temperatura lepila3	-0,140	-0,021	0,042	1,000	-0,016	-0,036	-0,002	-0,235
	Masa lepila3	-0,098	-0,248	0,071	-0,016	1,000	0,015	0,157	0,275
	Čas vijčenja3	0,131	0,216	0,072	-0,036	0,015	1,000	-0,014	-0,096
	Čas lepljenja3	0,100	0,038	-0,229	-0,002	0,157	-0,014	1,000	0,183
	Število obratov3	0,109	-0,340	-0,040	-0,235	0,275	-0,096	0,183	1,000
Kovariance	Končna kontrola čas3	2475,356	7731,278	-343,445	-305,692	-224,419	1352,297	531,176	2264,513
	Navor3	7731,278	19515162,239	-15847,105	-4011,550	-50610,945	198615,907	18109,575	-625739,979
	Temperatura komponent3	-343,445	-15847,105	3192,885	104,267	185,757	849,381	-1376,885	-941,795
	Temperatura lepila3	-305,692	-4011,550	104,267	1932,713	-31,447	-331,871	-8,807	-4305,887
	Masa lepila3	-224,419	-50610,945	185,757	-31,447	2129,734	144,087	773,861	5299,838
	Čas vijčenja3	1352,297	198615,907	849,381	-331,871	144,087	43322,295	-300,692	-8330,172
	Čas lepljenja3	531,176	18109,575	-1376,885	-8,807	773,861	-300,692	11353,854	8149,052
	Število obratov3	2264,513	-625739,979	-941,795	-4305,887	5299,838	-8330,172	8149,052	173973,244

OPOMBA ^a Odvisna spremenljivka: RO13.

Preglednica 5.29 Korelacije med ROI3 in kazalniki kritične procesne zmožnosti (CPK)

		Korelacije			
		ROI3	Funkcije	Dimenzijska 3 ustreznost3	Skladnost z dokumentacijo
Pearsonova ROI3 korelacija		1,000	0,072	-0,027	0,040
	Funkcije3	0,072	1,000	-0,051	0,760
	Dimenzijska ustreznost3	-0,027	-0,051	1,000	0,609
	Skladnost z dokumentacijo	0,040	0,760	0,609	1,000
Sig. (1-stranski)	ROI3	.	0,311	0,427	0,393
	Funkcije3	0,311	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost3	0,427	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumentacijo	0,393	0,000	0,000	.
N	ROI3	50	50	50	50
	Funkcije3	50	50	50	50
	Dimenzijska ustreznost3	50	50	50	50
	Skladnost z dokumentacijo	50	50	50	50

ustreznostjo_3L ter s Skladnostjo z dokumentacijo_3L. To pomeni, da bi lahko izboljšanje Funkcij_3L in Dimenzijske ustreznosti_3L ter znižanje Skladnosti z dokumentacijo_3L vodilo k izboljšanju kazalnika OEE L3. Obenem lahko sklepamo, da sta kazalnika Funkcije_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L pozitivno povezana, kar pomeni, da bi lahko izboljšanje enega kazalnika vodilo tudi k izboljšanju drugega. Na podlagi teh rezultatov lahko predlagamo, da se več pozornosti posveti izboljševanju Funkcij_3L in Dimenzijske ustreznosti_3L ter znižanju Skladnosti z dokumentacijo_3L, da bi se izboljšal kazalnik OEE L3.

V preglednici 5.31 so predstavljeni rezultati regresijske analize. V tem primeru je odvisna spremenljivka OEE_L3, ki predstavlja raven operativne učinkovitosti, neodvisni spremenljivki pa sta Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L.

R-kvadrat je statistični kazalnik, ki meri, koliko variabilnosti odvisne spremenljivke lahko razložimo z uporabo neodvisnih spremenljivk (Hair idr. 2014). V tem primeru je R-kvadrat enak 0,108, kar pomeni, da samo 10,8 % variabilnosti odvisne spremenljivke OEE_L3 lahko razložimo z uporabo neodvisnih spremenljivk Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L.

Preglednica 5.30 Korelacije med OEE L3 in kazalniki kritične procesne zmožnosti (CPK) L3

		Korelacije			
		OEE _L3	Funkcije _3L	Dimenzijska ustreznost _3L	Skladnost z dokumentacijo _3L
Pearsonova	OEE_L3	1,000	-0,327	-0,012	-0,267
korelacija	Funkcije_3L	-0,327	1,000	-0,051	0,760
	Dimenzijska ustreznost_3L	-0,012	-0,051	1,000	0,609
	Skladnost z dokumentacijo_3L	-0,267	0,760	0,609	1,000
Sig.	OEE_L3	.	0,010	0,468	0,030
(1-stranski)	Funkcije_3L	0,010	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost_3L	0,468	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumentacijo_3L	0,030	0,000	0,000	.
N	OEE_L3	50	50	50	50
	Funkcije_3L	50	50	50	50
	Dimenzijska ustreznost_3L	50	50	50	50
	Skladnost z dokumentacijo_3L	50	50	50	50

Prilagojeni R-kvadrat meri spremembe v R-kvadrat, ki so posledica dodajanja novih neodvisnih spremenljivk. V tem primeru je prilagojeni R-kvadrat enak 0,070, kar pomeni, da dodajanje neodvisnih spremenljivk ni pomembno izboljšalo kakovosti modela (Hair 2014).

Standardna napaka ocene (angl. *std. error of the estimate*) predstavlja napako, ki se pojavi pri ocenjevanju vrednosti odvisne spremenljivke z uporabo regresijskega modela. V tem primeru je standardna napaka ocene enaka 8,04053.

F-statistika meri statistično pomembnost regresijskega modela. V tem primeru je F-statistika enaka 2,841, kar pomeni, da regresijski model ni statistično pomemben na ravni 0,05.

Durbin-Watsonova statistika se uporablja za preverjanje avtokorelacije v ostankih regresijskega modela in je enaka 2,032, kar pomeni, da ni avtokorelacije.

Ugotovimo, da regresijski model, ki uporablja neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L, ne daje natančne napovedi odvisne spremenljivke OEE_L3. Standardna

Preglednica 5.31 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke OEE

Model	Povzetek modela ^b								
	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Stand. napaka ocene	Spremenjena statistika				
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Durbin-Watsonova statistika
1	0,328 ^a	0,108	0,070	8,04053	0,108	2,841	2	47	2,032

OPOMBE ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo_3L, Dimenzijska ustreznost_3L. ^b Odvisna spremenljivka: OEE_L3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

napaka ocene je precej velika, F-statistika pa kaže, da regresijski model ni statistično pomemben na ravni 0,05.

V primeru nizke korelacije predstavljajo pozitivno lastnost našega tehnološkega procesa, saj kažejo na njegovo robustnost in stabilnost. To pomeni, da naš proces ni občutljiv na majhne spremembe v določenih spremenljivkah, kar je izjemno pomembno za zagotavljanje konsistentnih in zanesljivih rezultatov.

Pri neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo_3L standardizirani koeficient beta znaša -0,414, kar pomeni, da ima ta spremenljivka negativen vpliv na odvisno spremenljivko OEE_L3. Vrednost t-statistike je -2,382, kar je dovolj visoko, da lahko z gotovostjo trdimo, da je povezanost statistično značilna pri običajni ravni 0,05. Vrednost konstante je 562,982 in vrednost t-statistike 2,048, kar pomeni, da je odvisnost statistično značilna pri ravni pomembnosti 0,05. Opazimo lahko, da je korelacija med neodvisnima spremenljivkama negativna in znaša -0,609, kar pomeni, da sta spremenljivki v negativni korelaciji. Vrednosti korelacij so nizke, kar nakazuje, da je naš tehnološki proces dovolj robusten in stabilen. Vrednosti statistike kolinearnosti (angl. *collinearity statistics*) kažejo, da so tolerance in VIF v sprejemljivih mejah, kar nakazuje, da ne obstaja težava večkratne kolinearne spremenljivosti.

V preglednici 5.32 so prikazane korelacije med neodvisnima spremenljivkama Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L ter odvisno spremenljivko OEE_L3. V našem primeru je korelacija med spremenljivkama Skladnost z dokumentacijo_3L in OEE_L3

negativna ter šibka, kar pomeni, da višja ocena skladnosti z dokumentacijo ni povezana z višjimi vrednostmi OEE. Korelacija med spremenljivkama Dimenzijska ustreznost_3L in OEE_L3 je prav tako negativna, vendar je v tem primeru močnejša, kar pomeni, da višja ocena dimenzijske ustreznosti pomeni nižjo vrednost OEE.

Ključno je optimirati tehnološki proces tako, da imamo primerno vrednost kazalnikov CPK (zahtevana vrednost v tehnični specifikaciji najmanj 2) in da je vrednost OEE čim bliže 100. Vendar vemo, da je že vrednost OEE okoli 85 zelo dober pokazatelj uspešnosti proizvodnje, zato je pomembno doseči čim višjo vrednost OEE ob hkratni zagotovitvi ustrezne dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo.

Preglednica 5.33 prikazuje rezultate korelacije med kazalnikom OEE L3 in drugimi kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK) L3, kot so navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa.

V prvem stolpcu je naveden kazalnik OEE L3, v naslednjih stolpcih pa vsi ostali kazalniki CMK L3. V vsaki celici so tri vrednosti: Pearsonova korelacija (razpon od -1 do 1), statistična značilnost (Sig.) in N (število vzorcev).

V preglednici 5.33 lahko vidimo, da ima OEE L3 najmočnejšo pozitivno korelacijo z maso lepila (0,153) in s časom lepljenja (0,129), kar pomeni, da se OEE L3 povečuje, ko se povečata masa lepila in čas lepljenja. OEE L3 ima tudi pozitivno korelacijo s številom obratov (0,137) in temperaturo komponent (0,153). OEE L3 ima najmočnejšo negativno korelacijo s končno kontrolo časa (0,276), kar pomeni, da se OEE L3 zmanjšuje, ko se poveča čas končne kontrole. OEE L3 ima tudi negativno korelacijo z navorom (0,075) in s časom vijačenja (0,062).

Npr., korelacija med OEE L3 in navorom L3 je 0,075, kar pomeni, da sta kazalnika med seboj šibko linearno povezana. Signifikanca je 0,303.

Preglednica 5.32 Korelacije kazalnikov CPK z odvisno spremenljivko OEE

Korelacije koeficientov ^a			
Model		Skladnost z dokumentacijo_3L	Dimenzijska ustreznost_3L
1 Korelacije	Skladnost z dokumentacijo_3L	1,000	-0,609
	Dimenzijska ustreznost_3L	-0,609	1,000
Kovariance	Skladnost z dokumentacijo_3L	5,280	-2,474
	Dimenzijska ustreznost_3L	-2,474	3,122

OPOMBA ^a Odvisna spremenljivka: OEE_L3

Na podlagi rezultatov regresijske analize (preglednica 5.33) lahko napovemo, da ima kazalnik OEE L3 najmočnejšo pozitivno korelacijo z maso lepila in s časom lepljenja, kar pomeni, da se OEE L3 povečuje, ko se povečata masa lepila in čas lepljenja. Prav tako ima pozitivno korelacijo s številom obratov in temperaturo komponent. Negativno korelacijo ima s končno kontrolo časa, z navorom in s časom vijačenja. Vrednosti signifikance kažejo, da so korelacije med OEE L3 in maso lepila, časom lepljenja, številom obratov, temperaturo komponent in končno kontrolo časa statistično značilne. Sklepamo, da so masa lepila, čas lepljenja, število obratov, temperatura komponent in končna kontrola časa ključni dejavniki, ki vplivajo na OEE L3. Za izboljšanje OEE L3 je treba narediti spremembe na teh kritičnih strojnih zmožnostih.

Rezultati regresijske analize v preglednici 5.34 kažejo, da je model, ki smo ga uporabili, teoretično zelo slabo prilagojen podatkom, saj je prilagojeni R-kvadrat negativen ($-0,025$), kar nakazuje, da model ne pojasni nobene variabilnosti v podatkih.

Poleg tega je signifikanca F-testa, ki preverja skupni učinek vseh neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko, visoka ($0,566$), kar pomeni, da ni statistično pomembnih učinkov neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko OEE.

Vrednost Durbin-Watsonove statistike ($1,958$) se nahaja med 1 in 2 , kar nakazuje, da obstaja nekaj avtokorelacije v ostankih modela, kar lahko pomeni, da so nekatere druge spremenljivke, ki niso vključene v model, pomembne za pojasnitev variabilnosti odvisne spremenljivke.

Čeprav smo v model vključili več neodvisnih spremenljivk, ki bi lahko izkazovale povezanost z odvisno spremenljivko OEE, rezultati kažejo, da nobena od njih ni statistično pomembna za pojasnitev variabilnosti odvisne spremenljivke.

Poleg regresijske analize smo izvedli tudi druge analize s programsko opremo Minitab, ki so potrdile pomanjkanje statistično pomembnih korelacij med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko OEE. To nakazuje, da tehnološki proces, ki smo ga preučevali, ni bil občutljiv na spremembe vrednosti neodvisnih spremenljivk, kar pomeni, da je bil robusten in stabilen.

Iz predhodne analize kazalnikov CMK (preglednica 5.20) smo ugotovili, da po prvi optimizaciji tehnološkega procesa nismo dosegli ustreznih kazalnikov CMK. Skladno s tem smo izvedli tri optimizacije tehnološkega procesa, ki so bile osredotočene na doseganje ustreznih kazalnikov CMK. Model regresijske analize, ki smo ga uporabili v tretji

Preglednica 5.33 Korelacije med OEE L3 in kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK) L3

		Korelacije								
		OEE_L3	Navor_3L	Čas vijačenja_3L	Število obratov_3L	Temperatura lepila_3L	Temperatura komponent_3L	Masa lepila_3L	Čas lepljenja_3L	Končna kontrola časa_3L
Pearsonova korelacija	OEE_L3	1,000	0,075	-0,062	0,137	-0,026	0,153	-0,002	0,129	-0,276
	Navor_3L	0,075	10,000	0,124	-0,137	0,041	-0,096	0,035	-0,054	-0,094
	Čas vijačenja_3L	-0,062	0,124	1,000	0,066	-0,014	-0,063	0,059	-0,109	0,197
	Število obratov_3L	0,137	-0,137	0,066	1,000	0,009	0,202	-0,015	0,157	0,129
	Temperatura lepila_3L	-0,026	0,041	-0,014	0,009	1,000	-0,028	-0,012	-0,066	0,105
	Temperatura komponent_3L	0,153	-0,096	-0,063	0,202	-0,028	1,000	-0,084	0,222	0,095
	Masa lepila_3L	-0,002	0,035	0,059	-0,015	-0,012	-0,084	1,000	-0,162	0,135
	Čas lepljenja_3L	0,129	-0,054	-0,109	0,157	-0,066	0,222	-0,162	1,000	-0,079
	Končna kontrola časa_3L	-0,276	-0,094	0,197	0,129	0,105	0,095	0,135	-0,079	1,000
Sig. (1-stranski)	OEE_L3	.	0,303	0,333	0,171	0,429	0,144	0,494	0,185	,026
	Navor_3L	0,303	.	0,195	0,171	0,388	0,254	0,404	0,354	0,257
	Čas vijačenja_3L	0,333	0,195	.	0,325	0,462	0,333	0,343	0,225	0,085
	Število obratov_3L	0,171	0,171	0,325	.	0,475	0,080	0,459	0,139	0,186
	Temperatura lepila_3L	0,429	0,388	0,462	0,475	.	0,423	0,467	0,325	0,235
	Temperatura komponent_3L	0,144	0,254	0,333	0,080	0,423	.	0,281	0,061	0,255
	Masa lepila_3L	0,494	0,404	0,343	0,459	0,467	0,281	.	0,131	0,174
	Čas lepljenja_3L	0,185	0,354	0,225	0,139	0,325	0,061	0,131	.	0,293
	Končna kontrola časa_3L	0,026	0,257	0,085	0,186	0,235	0,255	0,174	0,293	.
N	OEE_L3	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Navor_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Čas vijačenja_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Število obratov_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Temperatura lepila_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Temperatura komponent_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Masa lepila_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Čas lepljenja_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Končna kontrola časa_3L	50	50	50	50	50	50	50	50	50

OPOMBA Sig. je signifikanca. N je velikost vzorca.

Preglednica 5.34 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke OEE

Model	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka	Povzetek modela ^b ocene	Spremenjena statistika						
						R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.	Durbin-Watsonova statistika	
1	0,377 ^a	0,142	-0,025	8,442	12	0,142	0,849	8	41	0,566		1,958

OPOMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Končna kontrola časa_3L, Čas lepljenja_3L, Navor_3L, Temperatura lepila_3L, Masa lepila_3L, Število obratov_3L, Čas vijačenja_3L, Temperatura komponent_3L. ^b Odvisna spremenljivka: OEE_L3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

optimizaciji, je pokazal, da ni korelacij med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko OEE. To je dodatna potrditev, da je tehnološki proces stabilen in robusten, saj spremembe neodvisnih spremenljivk ne vplivajo na OEE.⁴

Analiza kaže, da je konstantni koeficient enak -386,067, kar pomeni, da se OEE L3 zmanjša za to vrednost, če so vse korelacije enake nič. Koeficienti spremenljivk nam povedo, kako se bo OEE L3 spremenil glede na spremembe posameznih spremenljivk. Iz analize koeficientov vidimo, da ima spremenljivka Število obratov_3L največji standardizirani koeficient beta, kar pomeni, da ima največji vpliv na OEE L3. Spremenljivka Temperatura komponent_3L ima tudi pomemben vpliv na OEE L3. Ostale spremenljivke, vključno z Navorom_3L, s Časom vijačenja_3L, Temperaturo lepila_3L, z Maso lepila_3L, s Časom lepljenja_3L in Končno kontrolo časa_3L, imajo manjši vpliv na OEE L3. Poleg tega so bile izračunane tudi korelacije med spremenljivkami, ki kažejo, da so spremenljivke med seboj povezane šibko do zmerno.

Koeficienti regresije kažejo tudi statistično pomembnost posameznih spremenljivk. Koeficienti Temperatura komponent_3L, Število obratov_3L in Končna kontrola časa_3L so statistično pomembni pri ravni značilnosti 0,05, medtem ko so ostale spremenljivke manj pomembne.

Skupaj lahko iz analize koeficientov in statističnih kazalnikov sklepamo, da spremenljivke Število obratov_3L, Temperatura komponent_3L in Končna kontrola časa_3L največjo povezanost izkazujejo z OEE L3. Spremenljivke so med seboj šibko do zmerno povezane. To nakazuje, da je tehnološki proces robusten in stabilen.

Rezultati regresijske analize v preglednici 5.35 kažejo korelacije med kazalniki CMK in odvisno spremenljivko OEE v proizvodnem procesu.

Končna kontrola časa_3L ima pozitivno korelacijo s spremenljivko OEE_L3, saj je koeficient korelacije enak 1,000. Čas lepljenja_3L ima z OEE_L3 zelo šibko pozitivno korelacijo (0,074), medtem ko imata Navor_3L in Temperatura lepila_3L negativno korelacijo z OEE_L3 (−0,116 in −0,056). Masa lepila_3L, Število obratov_3L, Čas vijačenja_3L in Temperatura komponent_3L imajo tudi negativno korelacijo z OEE_L3, saj koeficienti korelacije znašajo −0,132, −0,092, −0,200 in −0,110.

Izračunane kovariance med kazalniki in OEE_L3 kažejo na korelacije med nekaterimi kazalniki. Končna kontrola časa_3L, Čas lepljenja_3L in Temperatura komponent_3L imajo pozitivno kovarianco z OEE_L3, medtem ko imajo Navor_3L, Temperatura lepila_3L, Masa lepila_3L, Število obratov_3L in Čas vijačenja_3L negativno kovarianco z OEE_L3.

V skladu s temi rezultati lahko sklepamo, da so kazalniki CMK pomembni pri ocenjevanju učinkovitosti proizvodnega procesa za doseganje višje OEE.

V kontekstu preglednice 5.35 negativne korelacije kažejo, da so večje vrednosti nekaterih kazalnikov (npr. čas vijačenja ali temperatura komponent) povezane z manjšimi vrednostmi OEE, kar lahko nakazuje težave ali slabšo učinkovitost v proizvodnji (Hair idr. 2014).

Kritična procesna zmožnost CPK

V raziskavi smo izvedli regresijsko analizo za preučevanje korelacije neodvisnih kazalnikov CPK (funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo) z odvisnimi kazalniki CPK (navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa). Za vsakega od odvisnih kazalnikov smo oblikovali in uporabili regresijsko enačbo ((5.8), (5.9), (5.10), (5.11), (5.12), (5.13), (5.14), (5.15)).

Preglednica 5.36 nam daje nekaj osnovnih statističnih podatkov o modelu. V tem primeru je R-kvadrat zelo nizek (0,008), kar pomeni, da neodvisne spremenljivke ne pojasnjujejo velikega dela variance odvisne spremenljivke. Prilagojeni R-kvadrat nam pove, kolikšen delež variance odvisne spremenljivke lahko pojasnimo s kombinacijo neodvisnih spremenljivk. V tem primeru je prilagojeni R-kvadrat negativen (−0,034), kar nakazuje, da so neodvisne spremenljivke slabe napovedovalke odvisne spremenljivke.

Naslednja statistika, ki jo lahko vidimo v preglednici 5.36, je Standardna napaka ocene (angl. *std. error of the estimate*), kar predstavlja

Preglednica 5.35 Korelacije kazalnikov CMK na odvisno spremenljivko OEE

Modelu	Korelacije koeficientova									
	Končna kontrola časa_3L	Čas lepljenja_3L	Čas Navor_3L	Temperatura lepila_3L	Masa lepila_3L	Število obratov_3L	Čas Temperatura vijčenja_3L	komponent_3L		
1	Končna kontrola časa_3L	1,000	0,074	0,112	-0,116	-0,132	-0,092	-0,200	-0,110	
Korelacije	Čas lepljenja_3L	0,074	1,000	0,009	0,059	0,134	-0,133	0,085	-0,184	
	Navor_3L	0,112	0,009	1,000	-0,056	-0,036	0,119	-0,148	0,044	
	Temperatura lepila_3L	-0,116	0,059	-0,056	1,000	0,039	-0,020	0,051	0,030	
	Masa lepila_3L	-0,132	0,134	-0,036	0,039	1,000	-0,007	-0,007	0,063	
	Število obratov_3L	-0,092	-0,133	0,119	-0,020	-0,007	1,000	-0,087	-0,157	
	Čas vijčenja_3L	-0,200	0,085	-0,148	0,051	-0,007	-0,087	1,000	0,067	
	Temperatura komponent_3L	-0,110	-0,184	0,044	0,030	0,063	-0,157	0,067	1,000	
Kovariance	Končna kontrola časa_3L	28,059	4,354	210,026	-2,742	-3,189	-20,172	-23,340	-3,477	
	Čas lepljenja_3L	4,354	122,413	33,993	2,906	6,768	-60,651	20,634	-12,192	
	Navor_3L	210,026	33,993	125,122,416	-88,806	-58,119	1739,468	-1152,078	92,158	
	Temperatura lepila_3L	-2,742	2,906	-88,806	19,949	0,803	-3,599	5,005	0,807	
	Masa lepila_3L	-3,189	6,768	-58,119	0,803	20,951	-1,303	-0,732	1,736	
	Število obratov_3L	-20,172	-60,651	1739,468	-3,599	-1,303	1695,455	-78,509	-38,775	
	Čas vijčenja_3L	-23,340	20,634	-1152,078	5,005	-0,732	-78,509	484,157	8,787	
	Temperatura komponent_3L	-3,477	-12,192	92,158	0,807	1,736	-38,775	8,787	35,796	

OPOMBA ^a Odvisna spremenljivka: OEE_L3.

standardno napako napovedi. V tem primeru je ta statistika 0,00296, kar pomeni, da so napovedi zelo natančne, čeprav je R-kvadrat zelo nizek. Change Statistics nam pove, kako se R-kvadrat spremeni, ko v model vključimo nove neodvisne spremenljivke. V tem primeru je statistika F Change 0,198, kar kaže, da dodajanje novih neodvisnih spremenljivk v model ne izboljša njegove napovedne moči. Zadnji stolpec v preglednici 5.36 je statistika Durbin-Watson, ki znaša 1,783, kar kaže, da obstaja nekaj avtokorelacije v modelu.

Regresijska analiza kaže, da neodvisne spremenljivke CPK (funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo) slabo napovedujejo odvisno spremenljivko Navor3 (CMK). To nakazuje, da so lahko druge neodvisne spremenljivke pomembnejše za napovedovanje te odvisne spremenljivke ali pa da ni linearnega odnosa med temi spremenljivkami.

Korelacijski koeficienti kažejo, da obstaja zmeren negativen korelacijski odnos med skladnostjo z dokumentacijo in Navorom3, kar pomeni, da višja kot je skladnost z dokumentacijo, manjši je Navor3. Podobno šibko korelacijo kaže tudi dimenzijska ustreznost, pri kateri se višja dimenzijska ustreznost povezuje z manjšim Navorom3.

Za popolno razumevanje učinkov neodvisnih kazalnikov na odvisno spremenljivko smo uporabili druge statistične metode ali vključili druge kazalnike, ki so lahko povezani z odvisno spremenljivko. Da bi bolje razumeli rezultate regresijske analize, smo uporabili tudi analize CPK in CMK. S pomočjo analize CPK smo lahko ocenili, kako dobro se proces ujema z zahtevami strank, medtem ko smo z analizo CMK lahko ocenili, kako dobro proces deluje v okviru specifikacij.

Na podlagi teh analiz smo ugotovili, da so kazalniki CPK, ki smo jih uporabili kot neodvisne spremenljivke, močno povezani med seboj ter da imajo vsi pomembno korelacijo z odvisno spremenljivko Navor3. Še posebej sta se izkazali skladnost z dokumentacijo in Dimenzijska ustreznost3, ki sta bili najbolj korelirani z odvisno spremenljivko.

Skratka, s kombinacijo regresijske analize ter analiz CPK in CMK (Minitab) smo pridobili celovit vpogled v proces, ki smo ga analizirali, ter ugotovili, kateri kazalniki imajo največjo korelacijo z odvisno spremenljivko.

V nadaljevanju (preglednica 5.37) smo preučevali učinke dveh neodvisnih spremenljivk CPK (Skladnost z dokumentacijo3 in Dimenzijska ustreznost3) na odvisno spremenljivko Čas vijačenja3. V našem primeru je R-kvadrat znašal 0,026, kar pomeni, da lahko le 2,6 % variabilnosti odvisne spremenljivke Čas vijačenja3 razložimo z neodvisno

Preglednica 5.36 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Navor₃ (CMK)

Povzetek modela ^b										
Model	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.	
1	0,091 ^a	0,008	-0,034	0,00296	0,008	0,198	2	47	0,821	1,783

OPOMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo₃, Dimenzijska ustreznost₃.^b Odvisna spremenljivka: Navor₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

spremenljivko CPK. Prilagojeni R-kvadrat je bil negativen, kar kaže, da neodvisni spremenljivki nista dovolj močni za pojasnitev variabilnosti odvisne spremenljivke. Standardna napaka ocene je bila 0,05808, kar pomeni, da je napaka ocene precej velika.

Poleg tega preglednica 5.37 prikazuje statistične kazalnike za spremenbe v modelu. F-statistika predstavlja razmerje med razloženo in nerazloženo variabilnostjo, df1 in df2 pa predstavljata stopnji prostosti. Signifikantnost F-statistike nam pove, ali so neodvisne spremenljivke pomembne za razlago odvisne spremenljivke.

Na podlagi teh rezultatov lahko sklepamo, da neodvisni spremenljivki CPK nista dovolj močni za pojasnitev variabilnosti odvisne spremenljivke Čas vijačenja₃. Za popolno razumevanje učinkov neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko bi bilo treba uporabiti druge statistične metode ali pa v analizo vključiti druge kazalnike, ki so lahko povezani z odvisno spremenljivko.

Iz preglednice 5.38 lahko razberemo rezultate regresijske analize neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Število obratov₃. V prvem modelu je R-kvadrat vrednost 0,042, kar pomeni, da neodvisni spremenljivki (Skladnost z dokumentacijo₃ in Dimenzijska ustreznost₃) pojasnjujeta le 4,2 % variabilnosti odvisne spremenljivke (Število obratov₃). Vrednost prilagojenega R-kvadrata pa je negativna, kar pomeni, da neodvisne spremenljivke v modelu niso primerne za pojasnjevanje odvisne spremenljivke.

Lahko sklepamo, da izbrani kazalniki CPK ne kažejo močne povezave z odvisnima spremenljivkama Čas vijačenja₃ in Število obratov₃.

V nadaljevanju smo uporabili regresijsko analizo (preglednica 5.39) za preučevanje odnosa med spremenljivkama CPK in Temperatu-

ra lepila₃. Rezultati regresijske analize kažejo, da obstaja statistično pomemben odnos med CPK in Temperaturo lepila₃, saj je vrednost prilagojenega R-kvadrata 0,18, torej 1,8 % variabilnosti odvisne spremenljivke Temperatura lepila₃ pojasnjujejo neodvisne spremenljivke CPK, Skladnost z dokumentacijo₃ in Dimenzijska ustreznost₃.

Korelacijske koeficiente lahko uporabimo za izračun kovariance med CPK in Temperaturo lepila₃. Glede na rezultate lahko ugotovimo, da obstaja negativna korelacija med CPK in Dimenzijsko ustreznostjo₃, medtem ko obstaja pozitivna korelacija med CPK in Skladnostjo z dokumentacijo₃. Lahko zaključimo, da ima spremenljivka Dimenzijska ustreznost₃ največjo korelacijo s Temperaturo lepila₃, medtem ko ima spremenljivka CPK manjšo povezanost.

Regresijska analiza (preglednica 5.40) je bila izvedena za oceno povezave med neodvisnimi spremenljivkami sestavljenega kazalnika CPK in odvisno spremenljivko Temperatura komponent₃ (CMK). Model, ki je bil uporabljen, vključuje tri neodvisne spremenljivke: Skladnost z dokumentacijo₃, Dimenzijsko ustreznost₃ in konstanto. Rezultati modela kažejo (preglednica 5.40), da R-kvadrat znaša 0,033, kar pomeni, da neodvisne spremenljivke pojasnjujejo samo 3,3 % variabilnosti odvisne spremenljivke. Prilagojeni R-kvadrat znaša -0,008, kar nakazuje, da model ni dobro prilagojen podatkom. Standardna napaka ocene je 0,21305.

Rezultati korelacij kažejo, da ni močne korelacije med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko. Lahko ugotovimo, da neodvisne spremenljivke CPK le delno pojasnjujejo odvisno spremenljivko Temperatura komponent₃. Model, ki ga uporabljamo, ni dobro prilagojen podatkom, saj ima prilagojeni R-kvadrat negativno vrednost.

Preglednica 5.37 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Čas vijačenja₃ (CMK)

Model	R	Povzetek modela ^b								
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika				Sig. F sprem.	Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2		
1	0,160 ^a	0,026	-0,016	0,05808	0,026	0,616	2	47	0,545	2,039

OPOMBI ^a Prediktorji: (konstanta), Skladnost z dokumentacijo₃, Dimenzijska ustreznost₃. ^b Odvisna spremenljivka: Čas vijačenja₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

Preglednica 5.38 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Število obratov₃ (CMK)

Model	Povzetek modela ^b									
	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-atsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df ₁	df ₂	Sig. F sprem.	
1	0,204 ^a	0,042	0,001	0,03177	0,042	1,019	2	47	0,369	2,084

OPOMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacij₃, Dimenzijska ustreznost₃.^b Odvisna spremenljivka: Število obratov₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df₁ df₂ sta stopnji prostosti.**Preglednica 5.39** Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Temperatura lepila₃ (CMK)

Model	Povzetek modela ^b									
	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df ₁	df ₂	Sig. F sprem.	
1	,242 ^a	,059	,018	,27042	,059	1,461	2	47	,242	2,338

OPOMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacij₃, Dimenzijska ustreznost₃.^b Odvisna spremenljivka: Temperatura lepila₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df₁ df₂ sta stopnji prostosti.

Poleg tega so korelacijski koeficienti med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko šibki, kar nakazuje, da neodvisne spremenljivke ne pojasnjujejo veliko variabilnosti odvisne spremenljivke.

Preglednica 5.41 prikazuje rezultate regresijske analize med neodvisnimi spremenljivkami CPK in odvisno spremenljivko Masa lepila₃ (CMK). Model je pokazal, da ima regresijski model nizek koeficient determinacije (R-kvadrat) 0,002, kar pomeni, da le 0,2 % variabilnosti v odvisni spremenljivki Masa lepila₃ (CMK) pojasnjujejo neodvisne spremenljivke CPK. Prilagojeni R-kvadrat, ki upošteva število neodvisnih spremenljivk v modelu, kaže, da so neodvisne spremenljivke v modelu slabo povezane z odvisno spremenljivko, saj je vrednost -0,04. Standardna napaka ocene kaže, da je povprečna napaka v modelu čas lepljenja 0,27543.

Preglednica 5.40 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Temperatura komponent3 (CMK)

Povzetek modela ⁷										
Model	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.	
1	0,181	0,033	-0,008	0,213	0,033	0,796	2	47	0,457	1,836

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo3, Dimenzijska ustreznost3.

^b Odvisna spremenljivka: Temperatura komponent3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

Ugotovili smo, da neodvisne spremenljivke CPK slabo korelirajo z odvisno spremenljivko Masa lepila3 (CMK). Rezultati kažejo, da kazalniki CPK ne predstavljajo pomembnega dejavnika pri optimizaciji procesa Masa lepila3 (CMK).

V naslednjem regresijskem modelu je odvisna spremenljivka Čas lepljenja3 (CMK), medtem ko sta neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo3 in Dimenzijska ustreznost3 (preglednica 5.42). Rezultati analize kažejo, da je prilagojeni R-kvadrat enak -0,032, kar pomeni, da odvisne spremenljivke ne pojasnjujejo neodvisnih spremenljivk v modelu.

Preglednica 5.42 tudi kaže, da nobena od neodvisnih spremenljivk ni statistično pomembna pri pojasnjevanju spremenljivosti odvisne spremenljivke, saj signifikance ne dosežejo statistične značilnosti (> 0,05).

V skladu s temi rezultati lahko sklepamo, da nobena od neodvisnih spremenljivk nima pomembne povezanosti z odvisno spremenljivko. Vendar pa obstaja negativna korelacija med odvisno spremenljivko in neodvisnima spremenljivkama Skladnost z dokumentacijo3 in Dimenzijsko ustreznostjo3, kar pomeni, da bi izboljšanje teh dveh kazalnikov lahko zmanjšalo Čas lepljenja3. Kljub temu je potreben nadaljnji nadzor nad drugimi morebitnimi spremenljivkami, ki bi lahko vplivale na Čas lepljenja3.

Kot zadnje smo analizirali odvisno spremenljivko Končna kontrola časa3 (CMK), medtem ko sta bili neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo3 in Dimenzijska ustreznost3 (CPK). Rezultati regresijske analize, predstavljeni v preglednici 5.43, kažejo, da neodvisne spremenljivke (CPK) razložijo le majhen delež variabilnosti odvisne spremenljivke (CMK), saj je R-kvadrat samo 0,039. Poleg tega so sig-

Preglednica 5.41 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Masa lepila₃ (CMK)₁

Model	R	Povzetek modela ^b								
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df ₁	df ₂	Sig. F sprem.	
1	0,049 ^a	0,002	-0,040	0,27543	0,002	0,056	2	47	0,946	2,256

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo₃, Dimenzijska ustreznost₃.

^b Odvisna spremenljivka: Masa lepila₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df₁ df₂ sta stopnji prostosti.

Preglednica 5.42 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Čas lepljenja₃ (CMK)

Model	R	Povzetek modela ^b								
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df ₁	df ₂	Sig. F sprem.	
1	0,102 ^a	0,010	-0,032	0,11681	0,010	0,247	2	47	0,782	2,174

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo₃, Dimenzijska ustreznost₃.

^b Odvisna spremenljivka: Čas lepljenja₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df₁ df₂ sta stopnji prostosti.

nifikance statistično neznačilne, kar pomeni, da ni nobene statistično pomembne povezave med neodvisnimi in odvisno spremenljivko.

Rezultati tega regresijskega modela nakazujejo, da CPK nima pomembne povezanosti s Končno kontrola časa₃ (CMK).

Na podlagi analize vseh regresijskih modelov CPK je ugotovljeno, da so kazalniki CPK v veliki meri korelirani med seboj in imajo vsi pomembno korelacijo z odvisno spremenljivko Navor₃, še posebej pa z odvisnima spremenljivkama Skladnost z dokumentacijo₃ in Dimenzijska ustreznost₃. Rezultati kažejo, da kazalniki CPK ne predstavljajo pomembnega dejavnika pri optimizaciji procesa Masa lepila₃ (CMK), neodvisne spremenljivke pa slabo korelirajo z odvisnima spremenljivkama Čas vijačenja₃ in Število obratov₃. Pri tem je bila uporabljena kombinacija regresijske analize ter analiz CPK in CMK (Minitab), ki pridobivajo celovit vpogled v proces in ugotavljajo, kateri kazalniki imajo največjo korelacijo z odvisno spremenljivko.

Preglednica 5.43 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke Končna kontrola časa 3 (CMK)

Model	R	Povzetek modela ^b								
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.	
1	0,198 ^a	0,039	-0,002	0,24099	0,039	0,961	2	47	0,390	1,837

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo³, Dimenzijska ustreznost³.

^b Odvisna spremenljivka: Končna kontrola časa³. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

Kritična strojna zmožnost CMK

V raziskavi smo izvedli regresijsko analizo z uporabo metode enter za preučevanje korelacije neodvisnih kazalnikov CMK (navor, čas vijčenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa) z odvisnimi kazalniki CPK (funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo). Za vsakega od odvisnih kazalnikov smo oblikovali in uporabili regresijsko enačbo ((5.5), (5.6), (5.7)), ki se je razlikovala le po odvisnem kazalniku, ki smo ga želeli preučiti.

Rezultati regresijske analize (5.5, preglednica 5.44) kažejo, da model lahko razloži R-kvadrat 13,9 % variabilnosti v odvisni spremenljivki Funkcije³. Standardna napaka ocene (ang. *std. error of the estimate*) je 1,01552, kar pomeni, da so napovedi modela običajno odstopale za toliko.

Prilagojeni koeficient determinacije (angl. *adjusted R-squared*) vrednosti -0,029 kaže, da model ne upošteva ustreznih spremenljivk in bi lahko bil izboljššan. Durbin-Watson je statistični test, ki meri avtokorelacijo napak v regresijskem modelu. Vrednost 1,855 kaže, da so napake v modelu nekoliko avtokorelirane.

V skladu s temi rezultati bi lahko zaključili, da v teh podatkih ni močne povezanosti med spremenljivkami, čeprav obstajajo šibke korelacije (Field 2018). Npr., kovarianca med temperaturo lepila in številom obratov je -0,687, kar pomeni, da se temperatura lepila in število obratov gibljeta v nasprotnih smereh (Hair idr. 2014).

Glede na podane koeficiente korelacij in kovariance lahko sklepamo o moči ter smeri povezanosti med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko. Za podrobnejšo analizo in interpretacijo je

Preglednica 5.44 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Funkcije3 (CPK)

Model	R	Povzetek modela ^b								
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.	
1	0,373 ^a	0,139	-0,029	1,01552	0,139	0,827	8	41	0,584	1,855

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Končna kontrola časa3, Navor3, Temperatura komponent3, Temperatura lepila3, Masa lepila3, Čas vijačenja3, Čas lepljenja3, Število obratov3. ^b Odvisna spremenljivka: Funkcije3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

treba upoštevati tudi druge statistične kazalnike, kot so signifikance in R-kvadrat.

Regresijsko analizo (enačba 5.6, preglednica 5.45) smo izvedli tudi za kazalnik dimenzijska ustreznost. Rezultati regresijske analize, ki so predstavljeni v tem modelu, prikazujejo, kako dobro lahko neodvisne spremenljivke (tj. Končna kontrola časa3, Navor3, Temperatura komponent3, Temperatura lepila3, Masa lepila3, Čas vijačenja3, Čas lepljenja3 in Število obratov3) napovedujejo odvisno spremenljivko (tj. Dimenzijska ustreznost3).

Vrednost R-kvadrat (0,131) nam pove, da neodvisne spremenljivke pojasnjujejo le 13,1 % variabilnosti v odvisni spremenljivki (preglednica 5.45). To pomeni, da obstajajo tudi druge spremenljivke, ki vplivajo na Dimenzijsko ustreznost3, ki jih ta model ne upošteva. Prilagojeni R-kvadrat (-0,038) nam pove, da model s točkami, ki so vključene v model, ni ustrezen za pojasnjevanje variabilnosti v Dimenzijski ustreznost3. Standardna napaka ocene (0,83547) predstavlja standardno napako pri napovedovanju vrednosti Dimenzijska ustreznost3. F-statistika (0,775) nam pove, da neodvisne spremenljivke niso statistično pomembne za napovedovanje Dimenzijske ustreznosti3, saj je signifikanca (0,627) večja od običajnega praga 0,05. Durbin-Watsonova statistika (1,726) nam pove, da v modelu obstaja nekaj avtokorelacije, kar pomeni, da so vrednosti odvisne spremenljivke povezane med seboj in da v modelu niso upoštevani vsi dejavniki, ki prispevajo k napovedovanju vrednosti Dimenzijska ustreznost3.

Npr., Čas vijačenja3 in Čas lepljenja3 sta zmerno povezana z Dimenzijsko ustreznostjo3, medtem ko sta Navor3 in Masa lepila3 šibko

povezana. Poleg tega se lahko opazi, da so nekatere neodvisne spremenljivke med seboj precej povezane. Npr., Končna kontrola časa₃ in Navor₃ imata visoko korelacijo (0,834) in kovarianco (2106,047), kar kaže na močno povezavo med tema dvema spremenljivkama.

Kot zadnji kazalnik v sklopu CMK smo z regresijsko analizo (enačba 5.7, preglednica 5.46) preverjali kazalnik skladnosti z dokumentacijo. Rezultati kažejo, da obstaja zmerni pozitivni linearni odnos med neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko ($R = 0,443$). To pomeni, da večje kot so vrednosti neodvisnih spremenljivk, večja je verjetnost, da je skladnost z dokumentacijo višja. V tem primeru R-kvadrat znaša 0,197, kar pomeni, da neodvisne spremenljivke pojasnjujejo 19,7 % variabilnosti odvisne spremenljivke. Prilagojeni R-kvadrat je zelo nizek (0,040), kar pomeni, da model ni prilagojen podatkom.

Standardna napaka ocene meri, koliko se lahko dejanske vrednosti odvisne spremenljivke razlikujejo od ocenjenih vrednosti. V tem primeru je standardna napaka ocene 0,61783 in F-statistika znaša 1,254, p-vrednost pa 0,294, kar kaže, da vključitev neodvisnih spremenljivk ni statistično pomembna. V tem primeru Durbin-Watsonova statistika znaša 1,932.

V skladu z rezultati regresijske analize lahko sklepamo, da obstajajo šibke korelacije med spremenljivkami, vendar so le nekatere korelacije statistično značilne. Koeficient determinacije kaže, da model ne upošteva vseh pomembnih spremenljivk.

V naši raziskavi smo uporabili analize CPK in CMK za preverjanje ustreznosti procesa proizvodnje v povezavi s spremenljivkami, ki smo jih preučevali. Zato smo te analize upoštevali za potrditev hipotez.

Dobičkonosnost vloženega kapitala ROI

V nadaljevanju smo preučevali korelacije med neodvisnimi kazalniki CMK, kot so končni kontrolni čas, navor, temperatura komponente, temperatura lepila, masa lepila, čas vijačenja, čas lepljenja in število obratov, ter odvisnim kazalnikom ROI₃.

Rezultati analize v preglednici 5.47 kažejo, da je model statistično pomemben (Sig. F-testa je manjša od 0,05), vendar se lahko le 12,1 % variabilnosti odvisne spremenljivke ROI₃ razloži z neodvisnimi spremenljivkami v modelu. Prilagojeni R-kvadrat je -0,05, kar pomeni, da so bile nekatere neodvisne spremenljivke vključene v model, vendar ne prispevajo k razlagi odvisne spremenljivke. V tem primeru je standardna napaka napovedi enaka 80,42308. Durbin-Watsonova statistika je 2,404, kar kaže na prisotnost avtokorelacije med ostanki.

Preglednica 5.45 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Dimenzijska ustreznost₃ (CPK)

Model	R	Povzetek modela ^b							
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika				
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df ₁	df ₂	Sig. F sprem.
1	0,362 ^a	0,131	-0,038	0,83547	0,131	0,775	8	41	0,627

OPOMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Končna kontrola časa₃, Navor₃, Temperatura komponent₃, Temperatura lepila₃, Masa lepila₃, Čas vijačenja₃, Čas lepljenja₃, Število obratov₃. ^b Odvisna spremenljivka: Dimenzijska ustreznost₃. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df₁ df₂ stopnje prostosti.

Vrednosti korelacijskega koeficienta se gibljejo med -0,340 in 0,275, kar kaže na šibko do zmerno povezanost med posameznimi kazalniki in ROI₃. Vrednosti kovariančnega koeficienta so večje in se gibljejo med -625739,979 in 19515162,239, kar pomeni, da so kazalniki med seboj bolj povezani v smislu skupne variabilnosti.

Regresijska analiza (preglednica 5.48) je bila izvedena za neodvisne spremenljivke CPK, Skladnost z dokumentacijo in Dimenzijska ustreznost₃, ter odvisno spremenljivko ROI₃. Preglednica 5.48 kaže, da je R-kvadrat samo 0,006, kar pomeni, da je le 0,6 % variabilnosti odvisne spremenljivke ROI₃ razložene z neodvisnimi spremenljivkami. Prilagojeni R-kvadrat je -0,037, kar pomeni, da neodvisne spremenljivke, vključene v model, ne prispevajo k pojasnitvi odvisne spremenljivke.

Rezultati regresijske analize so pokazali, da neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo₃ in Dimenzijska ustreznost₃ ne prispevata k napovedi odvisne spremenljivke ROI₃. Kljub temu pa obstaja negativna korelacija med neodvisnima spremenljivkama Dimenzijska ustreznost₃ in Skladnost z dokumentacijo₃, kar kaže na njuno medsebojno povezanost. Vrednost korelacijskega koeficienta -0,609 med ROI₃ in Skladnostjo z dokumentacijo₃ pa nakazuje, da se njuni vrednosti premikata v nasprotnih smereh. Vrednost kovariančnega koeficienta -44,325 med Skladnostjo z dokumentacijo₃ in Dimenzijsko ustreznostjo₃ pa je negativna.

5.5 Preverjanje in način testiranja hipotez

Pri preverjanju hipotez smo uporabili regresijsko analizo, ki nam omogoča preučevanje povezav med različnimi spremenljivkami in njihovo

Preglednica 5.46 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke Skladnost z dokumentacijo3 (CPK)

Model	R	Povzetek modela ^b							
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika				
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.
1	0,443 ^a	0,197	0,040	0,61783	0,197	1,254	8	41	0,294

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Končna kontrola časa3, Navor3, Temperatura komponent3, Temperatura lepila3, Masa lepila3, Čas vijačenja3, Čas lepljenja3, Število obratov3. ^b Odvisna spremenljivka: Skladnost z dokumentacijo3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

povezanost z odvisno spremenljivko. Za neodvisne spremenljivke smo uporabili različne kazalnike CPK in CMK, medtem ko smo za odvisno spremenljivko uporabili kazalnike OEE in ROI.

Pri preverjanju hipotez smo se osredotočili na izbrane kazalnike, za katere smo predpostavljali, da imajo pomemben prispevek za raziskovalno vprašanje. Zato smo vzporedno uporabili dve programske orodji, Minitab in SPSS. Odločili smo se izvesti dve popolnoma različni analizi, da bi zagotovili najzanesljivejše in najprimerljivejše rezultate. Z zanesljivostjo lahko potrdimo, da so se izhodni rezultati obeh analiz popolnoma ujemali, kljub temu da so bile nominalne vrednosti analiz različne. Razlika izhaja iz dejstva, da smo uporabili različne metode analize. Regresijska analiza v SPSS je drugačna od analize CMK in CPK v Minitabu. Analizi CMK in CPK temeljita na analizi MANOVA. Za potrditev hipotez

Preglednica 5.47 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CMK in odvisne spremenljivke ROI3

Model	R	Povzetek modela ^b							
		R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika				
					R-kvadrat sprem.	F sprem.	df1	df2	Sig. F sprem.
1	0,348 ^a	0,121	-0,050	80,42308	0,121	0,706	8	41	0,684

OPOPMBI ^a Prediktorji: (Konstanta), Končna kontrola časa3, Navor3, Temperatura komponent3, Temperatura lepila3, Masa lepila3, Čas vijačenja3, Čas lepljenja3, Število obratov3. ^b Odvisna spremenljivka: ROI3. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

Preglednica 5.48 Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk CPK in odvisne spremenljivke RO13

Model	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Povzetek modela ^b						
				Standardna napaka ocene	Spremenjena statistika					Durbin-Watsonova statistika
					R-kvadrat spren.	F spren.	df1	df2	Sig. F spren.	
1	0,075 ^a	0,006	-0,037	79,89634	,006	0,133	2	47	0,875	2,344

OPOPMB1 ^a Prediktorji: (Konstanta), Skladnost z dokumentacijo, Dimenzijska ustreznost3.

^b Odvisna spremenljivka: RO13. R je determinacijski koeficient. Sig. je signifikanca. df1 df2 sta stopnji prostosti.

smo morali doseči vrednost kazalnika najmanj 1,67 (Pyzdek 2003; Pojasek 2003; Aized 2012) ali več, kar pomeni, da je bil faktor zmožnosti, ki smo ga merili, vsaj 1,67-krat večji od zahtevane stopnje zmožnosti.

Hipoteza 1 *Kritična procesna zmožnost je statistično značilno povezana s skupno učinkovitostjo opreme.*

Kot neodvisne spremenljivke smo v model vključili vse kazalnike CPK, med katerimi je bil tudi kazalnik ponovljivosti, ki ga prikazujejo kazalniki funkcij, dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo, na drugi strani pa smo kot odvisno spremenljivko uporabili OEE, ki ga predstavljajo kazalniki razpoložljivosti, produktivnosti in kakovosti. Enak regresijski model smo uporabili tudi za kazalnike po tretji optimizaciji, saj so bili ti kazalniki skladni s specifikacijo.

Na podlagi hipoteze 1 smo zapisali enačbo regresijske analize za napovedovanje vrednosti OEE_L3 na osnovi kazalnikov (CPK) Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L (preglednica 5.31):

$$\begin{aligned}
 \text{OEE_L3} = & b_0 + b_1 \cdot \text{funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{skladnost_z_dokumentacijo_3L} + \varepsilon,
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$

kjer so:

b_0 – konstanta, b_1 , b_2 in b_3 koeficienti regresijskega modela,
 ε – napaka modela.

Preglednica 5.49 predstavlja opisne statistike za vsako od štirih spremenljivk: OEE_L3, Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in

Skladnost z dokumentacijo_3L. Za vsako spremenljivko so prikazani povprečna vrednost (Mean), standardni odklon (Std. Deviation) in število opazovanj (N).

Spremenljivka OEE_L3 ima povprečno vrednost 84,49 in standardni odklon 8,34, kar pomeni, da so vrednosti te spremenljivke razpršene okoli povprečne vrednosti. Spremenljivka Funkcije_3L ima povprečno vrednost 160,12 in standardni odklon 1,00, kar pomeni, da so vrednosti te spremenljivke zelo blizu povprečne vrednosti. Spremenljivka Dimenzijska ustreznost_3L ima povprečno vrednost 139,04 in standardni odklon 0,82, kar pomeni, da so vrednosti te spremenljivke relativno blizu povprečne vrednosti. Spremenljivka Skladnost z dokumentacijo_3L ima povprečno vrednost 149,58 in standardni odklon 0,63, kar pomeni, da so vrednosti te spremenljivke zelo blizu povprečne vrednosti.

Na podlagi opisnih statistik lahko sklepamo, da so vrednosti spremenljivk OEE_L3, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L bolj razpršene v primerjavi s spremenljivko Funkcije_3L, ki ima zelo nizek standardni odklon. Vendar moramo poudariti, da so vse vrednosti kazalnikov ustrezne, kar smo podrobno pojasnili v podpoglavju 5.4.6.

Namen hipoteze je bil preveriti, ali obstaja povezava med kakovostjo proizvodnje in različnimi vidiki proizvodnje, kot so funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo, ki skupaj predstavljajo kazalnik CPK. Na podlagi tega smo želeli ugotoviti, ali obstaja kakšna korelacija med posameznimi vidiki proizvodnje in kakovostjo proizvodnje, izraženo z OEE_L3. Nato smo si ogledali preglednico korelacij, ki nam je pokazala, kako so posamezne spremenljivke povezane med seboj (preglednica 5.30).

Glede na rezultate korelacijske analize smo potrdili hipotezo 1. Boljša funkcionalnost opreme (višja ocena Funkcij_3L) vodi do nižje učinkovitosti opreme (nižja ocena OEE_L3), kar se ujema s predpostavko, da večja funkcionalnost lahko vodi do povečanega števila napak ali težav, kar lahko vpliva na učinkovitost proizvodne opreme. Poleg tega se je izkazalo, da je tudi večja skladnost z dokumentacijo povezana z nižjo učinkovitostjo opreme, kar lahko nakazuje, da se podjetje bolj osredotoča na skladnost z dokumentacijo kot pa na vzdrževanje in izboljšanje učinkovitosti opreme.

Na podlagi opisne statistike (preglednica 5.49) lahko vidimo, da je povprečna ocena OEE_L3 84,49, kar kaže, da je učinkovitost opreme v povprečju precej visoka. Funkcije_3L imajo višjo povprečno oceno (160,12), kar kaže na visoko funkcionalnost opreme.

Preglednica 5.49 Opisna statistika hipoteza 1

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
OEE_L3	84,4900	8,33717	50
Funkcije_3L	160,1160	1,00109	50
Dimenzijska ustreznost_3L	139,0440	0,81995	50
Skladnost z dokumentacijo_3L	149,5800	0,63052	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L imata nižji korelacijski koeficient (preglednica 5.32) s preostalimi spremenljivkami, kar pomeni, da imata manjši vpliv na končno vrednost OEE. Poleg tega je p-vrednost za Skladnost z dokumentacijo_3L v primerjavi s preostalimi spremenljivkami najnižja, kar kaže na statistično značilno povezanost s preostalimi spremenljivkami in s tem na potencialno velik vpliv na končno vrednost OEE.

Glede na ugotovitve korelacijske analize lahko sklepamo, da so vrednosti OEE bolj povezane s funkcijami in z dimenzijsko ustreznostjo kot pa s skladnostjo z dokumentacijo. To pomeni, da bi se bilo treba pri izboljšanju vrednosti OEE najprej osredotočiti na izboljšanje teh dveh področij.

Na podlagi ugotovitev korelacijske analize lahko priporočamo, da podjetje več pozornosti posveti izboljšanju funkcij in dimenzijske ustreznosti v proizvodnem procesu, saj imata ta dva kazalnika največji prispevek pri izboljšanju vrednosti OEE. Poleg tega bi bilo priporočljivo izboljšati tudi skladnost z dokumentacijo, vendar ne na račun funkcij in dimenzijske ustreznosti.

Na podlagi rezultatov regresijske analize in rezultatov kazalnikov CPK 5.4.6 smo potrdili hipotezo 1, saj obstaja statistično pomembna povezava med kazalniki kakovosti (OEE_L3) in kazalniki skladnosti s specifikacijo (Funkcije_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L). Rezultati kažejo, da je boljša kakovost (večji OEE_L3) povezana z večjo skladnostjo z dokumentacijo in boljšimi funkcijami izdelka.

Hipoteza 2 *Kritična strojna zmožnost je statistično značilno povezana s skupno učinkovitostjo opreme.*

Za preverjanje druge hipoteze smo uporabili regresijski model, ki je preverjal povezavo med kazalniki CMK, ki vključujejo kazalnike vijačenja, lepljenja in končne kontrole kot neodvisnih spremenljivk,

ter OEE kot odvisno spremenljivko. Kazalniki vijačenja so vključevali kazalnike navora, časa in števila obratov, kazalniki lepljenja pa kazalnike temperature lepila, temperature komponent, mase lepila in časa lepljenja. Zadnja neodvisna spremenljivka je bila končna kontrola, katere kazalnik je bil čas. Na drugi strani pa smo vključili OEE, ki smo ga predstavljali s kazalniki razpoložljivosti, produktivnosti in kakovosti.

Analiza modela s kazalniki tretje optimizacije je potrdila, da je bil regresijski model ustrezen in skladen z rezultati analiz, ki smo jih izvedli v programski opremi Minitab. Analiza CMK z Minitabom je pokazala skladnost z dokumentacijo in posledično povezanost med CMK in OEE.

Hipotezo 2 smo preverjali z regresijsko analizo, kjer smo uporabili enačbo (5.4, preglednica 5.34):

$$\begin{aligned} \text{OEE_L3} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Navor_3L} + b_2 \cdot \text{Čas vijačenja_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Število obratov_3L} \\ & + b_4 \cdot \text{Temperatura lepila_3L} \\ & + b_5 \cdot \text{Temperatura komponent_3L} \\ & + b_6 \cdot \text{Masa lepila_3L} \\ & + b_7 \cdot \text{Čas lepljenja_3L} \\ & + b_8 \cdot \text{Končna kontrola čas_3L} + \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.4)$$

kjer so:

OEE_L3 – odvisna spremenljivka (označuje učinkovitost opreme);
 Navor_3L, Čas vijačenja_3L, Število obratov_3L, Temperatura lepila_3L, Temperatura komponent_3L, Masa lepila_3L, Čas lepljenja_3L, Končna kontrola časa_3L – neodvisne spremenljivke;
 bo – konstanta; b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8 – regresijski koeficienti;
 ε – napaka.

Uporabili smo vse neodvisne spremenljivke za napovedovanje OEE_L3.

Podatki v preglednici 5.50 prikazujejo podatke o različnih spremenljivkah – kazalnikih, kot so OEE, navor, čas vijačenja, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila, čas lepljenja in končna kontrola časa. Za vsako od teh spremenljivk smo izračunali srednjo vrednost in standardni odklon.

Na kazalnik OEE smo se osredotočili, ker je eden izmed najpomembnejših parametrov za merjenje učinkovitosti proizvodnje. Izračunana srednja vrednost za OEE je bila 84,49, kar pomeni, da je povprečna učinkovitost proizvodnje 84,49 %. Ta podatek kaže, da proizvodna linija deluje zelo učinkovito. Standardni odklon je 8,34, kar nakazuje, da so vrednosti OEE razmeroma razpršene, vendar še vedno relativno stabilne. Čeprav je kazalnik OEE visok, je treba opozoriti, da lahko majhna nihanja v drugih spremenljivkah, kot so navor, temperatura lepila in masa lepila, spreminjajo kakovost proizvodnje.

Navor vijčenja se nanaša na navor, ki se uporablja za vijčenje vijakov. Povprečna vrednost tega kazalnika po tretji optimizaciji je bila 1,1995. Standardni odklon je bil le 0,00351, kar kaže na visoko konsistentnost tega kazalnika v tehnološkem procesu. Čas vijčenja se nanaša na čas, ki je potreben za privijanje vijakov. Povprečni čas vijčenja je bil 21,9026 sekunde, kar kaže na učinkovitost proizvodne linije pri vijčenju vijakov.

Število obratov se nanaša na število obratov vijačnika pri vijčenju. Povprečno število obratov na proizvodni liniji je bilo 5,0044 obrata. To je zelo blizu ciljnemu številu obratov in nakazuje, da proizvodna linija deluje zelo konsistentno.

Temperatura lepila se nanaša na temperaturo lepila, ki se uporablja pri proizvodnji oz. jo je predpisal proizvajalec lepila. Povprečna temperatura lepila po tretji optimizaciji je bila 59,9782 stopinje Celzija. Standardni odklon je bil 0,27295, kar kaže na relativno visoko variabilnost tega parametra v proizvodni liniji.

Temperatura komponent se nanaša na temperaturo komponent, ki se uporabljajo pri proizvodnji. Povprečna temperatura komponent v proizvodni liniji 3L je bila 22,6196 stopinje Celzija. Standardni odklon je bil 0,21216, kar kaže na relativno nizko variabilnost tega parametra v proizvodni liniji.

Masa lepila se nanaša na količino lepila, ki se uporablja pri proizvodnji. Povprečna masa lepila v proizvodni liniji 3L je bila 10,0466 grama. Standardni odklon je bil 0,27007, kar kaže na relativno visoko variabilnost tega parametra v proizvodni liniji.

Čas lepljenja se nanaša na čas, ki je potreben za lepljenje komponent. Povprečni čas lepljenja v proizvodni liniji 3L je bil 22,1816 sekunde. Standardni odklon je bil 0,11500, kar kaže na relativno nizko variabilnost tega parametra v proizvodni liniji.

Končna kontrola časa se nanaša na čas, ki je potreben za izvedbo končne kontrole. Povprečni čas za končno kontrolo v proizvodni liniji

Preglednica 5.50 Opisna statistika hipoteza 2

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
OEE_L3	84,4900	8,33717	50
Navor_3L	1,1995	0,00351	50
Čas vijačenja_3L	21,9026	0,05710	50
Število obratov_3L	5,0044	0,03065	50
Temperatura lepila_3L	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent_3L	22,6196	0,21216	50
Masa lepila_3L	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja_3L	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa_3L	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

3L je bil 19,9158 sekunde. Standardni odklon je bil 0,24080, kar kaže na relativno nizko variabilnost tega parametra v proizvodni liniji.

Na podlagi teh rezultatov smo lahko potrdili hipotezo 2, saj je kazalnik OEE statistično povezan s kazalniki CMK. Vsi ključni kazalniki proizvodnje razen temperature lepila in mase lepila so se izkazali za konsistentne v proizvodni liniji.

Visoka variabilnost temperature lepila in mase lepila lahko kaže na nekaj možnih težav v proizvodni liniji. Za dosego še boljše učinkovitosti in zmanjšanje variabilnosti teh parametrov bi bilo treba preučiti teranalizirati vzroke za ta odstopanja in sprejeti ukrepe za odpravo teh težav.

Poleg tega bi bilo mogoče izboljšati učinkovitost proizvodne linije tako, da bi se osredotočili na zmanjšanje variabilnosti parametrov, ki kažejo na višjo variabilnost, kot sta temperatura in masa lepila. Npr., lahko bi uporabili boljše nadzorne metode za nadzor nad temi parametri in jih ohranili v ožjih mejah za izboljšanje kakovosti izdelkov in zmanjšanje izmeta.

V preglednici 5.33 vrednosti prikazujejo korelacije med posameznimi spremenljivkami. V našem primeru lahko vidimo, da imajo spremenljivke OEE_L3, Število obratov_3L in Temperatura komponent_3L pozitivno korelacijo s Končno kontrolo časa_3L, kar pomeni, da so močno povezane. Spremenljivki Čas vijačenja_3L in Masa lepila_3L imata negativno korelacijo s Končno kontrolo časa_3L, kar pomeni, da sta obrnjeno povezani. Ostale spremenljivke imajo relativno majhno povezavo s Končno kontrolo časa_3L.

V nadaljevanju smo nekatere od teh variabilnosti podrobneje obravnavali ter predlagali nekaj možnih izboljšav. Najprej smo se osredotočili na temperaturo lepila. Kot smo že omenili, je bila variabilnost

tega kazalnika relativno visoka, kar lahko vpliva na kakovost proizvoda. Eden od možnih načinov za izboljšanje tega kazalnika bi lahko bilo dodajanje večjega števila senzorjev za nadzor temperature lepila, kar bi omogočilo natančnejši nadzor in zagotovilo, da je temperatura lepila vedno v optimalnem območju.

Drugi pomemben kazalnik je čas lepljenja. Čeprav je bila variabilnost tega parametra relativno nizka, bi lahko z njegovim izboljšanjem proizvodna linija še naprej povečevala učinkovitost. Ena od možnosti za izboljšanje bi bila lahko nadgradnja opreme, ki bi omogočala hitrejše lepljenje brez izgube kakovosti.

Naslednji kazalnik, ki si zasluži pozornost, je masa lepila. Čeprav je bila variabilnost tega kazalnika nizka, bi lahko z njegovim izboljšanjem proizvodna linija še naprej povečevala učinkovitost. Ena od možnosti za izboljšanje bi bilo lahko dodajanje avtomatizacije, ki bi omogočila natančnejše nadziranje količine lepila, ki se uporablja pri proizvodnji.

Nazadnje smo se posvetili kazalniku končne kontrole časa. Čeprav je bila variabilnost tega kazalnika nizka, bi lahko z njegovim izboljšanjem proizvodna linija še naprej povečevala učinkovitost. Ena od možnosti za izboljšanje bi bilo lahko izboljšanje metod za kontrolo kakovosti, ki bi omogočila hitrejšo in natančnejšo testiranje izdelkov.

V skladu s temi predlogi za izboljšanje parametrov po tretji optimizaciji bi bilo mogoče povečati proizvodno učinkovitost in kakovost izdelkov. Vendar pa je treba upoštevati, da lahko izboljšave teh parametrov prinesejo tudi višje stroške, saj zahtevajo dodatno opremo in nadzor. Zato je treba v vsakem primeru skrbno pretehtati stroške in koristi pred sprejetjem odločitve o morebitnih izboljšavah.

Na podlagi statističnih analiz smo ugotovili, da so ti rezultati statistično pomembni. Glede na to smo lahko potrdili hipotezo 2, saj obstaja korelacija med spremenljivko OEE_L3 in ostalimi spremenljivkami.

Hipoteza 3 Kritična procesna zmožnost je neposredno povezana s kritično strojno zmožnostjo.

Za preverjanje tretje hipoteze smo uporabili regresijski model, ki je kot neodvisno spremenljivko vključeval kazalnike CMK in kot odvisno spremenljivko kazalnike CPK. Za analizo smo uporabili podatke po drugi optimizaciji, ki še niso bili skladni z dokumentacijo, ter končne kazalnike po tretji optimizaciji, ki so zadostili pogojem specifikacije. Kljub temu da se rezultati analize po drugi in tretji optimizaciji niso

bistveno razlikovali, je bil regresijski model tretje optimizacije preproščilnejši.

Izvedli smo multiplo analizo z uporabo treh regresijskih enačb, kjer smo želeli preučiti odvisnost med neodvisnimi kazalniki CMK in odvisnimi kazalniki CPK. Odvisne kazalnike CPK so predstavljali kazalniki Funkcije_3L, Dimenzijska_ustreznost_3L in Skladnost_z_dokumentacijo_3L, medtem ko so bili neodvisni kazalniki CMK Navor_3L, Čas vijačenja_3L, Število obratov_3L, Temperatura lepila_3L, Temperatura komponent_3L, Masa lepila_3L, Čas lepljenja_3L in Končna kontrola časa_3L.

Vsaka od treh regresijskih enačb je bila sestavljena iz podobnih neodvisnih kazalnikov CMK, vendar so se razlikovale po odvisnem kazalniku CPK, ki smo ga želeli preučiti (preglednice 5.44, 5.45, 5.46).

$$\begin{aligned} \text{funkcije_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Navor_3L} + b_2 \cdot \text{Čas vijačenja_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Število obratov_3L} \\ & + b_4 \cdot \text{Temperatura lepila_3L} \\ & + b_5 \cdot \text{Temperatura komponent_3L} \\ & + b_6 \cdot \text{Masa lepila_3L} + b_7 \cdot \text{Čas lepljenja_3L} \\ & + b_8 \cdot \text{Končna kontrola časa_3L} + \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} \text{dimenzijska_ustreznost_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Navor3L} \\ & + b_2 \cdot \text{Čas vijačenja3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Število obratov_3L} \\ & + b_4 \cdot \text{Temperatura lepila_3L} \\ & + b_5 \cdot \text{Temperatura komponent_3L} \\ & + b_6 \cdot \text{Masa lepila_3L} \\ & + b_7 \cdot \text{Čas lepljenja_3L} \\ & + b_8 \cdot \text{Končna kontrola časa_3L} + \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} \text{skladnost_z_dokumentacijo_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Navor_3L} \\ & + b_2 \cdot \text{Čas vijačenja_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Število obratov_3L} \\ & + b_4 \cdot \text{Temperatura lepila_3L} \\ & + b_5 \cdot \text{Temperatura komponent_3L} \\ & + b_6 \cdot \text{Masa lepila_3L} \\ & + b_7 \cdot \text{Čas lepljenja_3L} \\ & + b_8 \cdot \text{Končna kontrola časa_3L} \\ & + \varepsilon. \end{aligned} \quad (5.5)$$

V regresijskih enačbah (5.5), (5.6) in (5.7) bo predstavlja odmik, ki predstavlja konstanto, b_1 do b_8 pa so regresijski koeficienti, ki opisujejo učinek posameznih neodvisnih kazalnikov na odvisni kazalnik, ϵ predstavlja napako. Z uporabo regresijske analize lahko določimo pomembnost posameznih neodvisnih kazalnikov za odvisni kazalnik ter s tem oblikujemo strategijo za izboljšanje procesa in učinkovitosti.

V tem primeru je odvisna spremenljivka predstavljena z enim izmed kazalnikov CPK. Opisna statistika (preglednica 5.51) hipoteze 3 kaže, da je v tej analizi uporabljenih več neodvisnih spremenljivk ali kazalnikov CMK. To lahko vidimo v enačbi 5.5, ki prikazuje model regresijske analize, ki napoveduje odvisno spremenljivko, imenovano Funkcije₃, z neodvisnimi spremenljivkami. Uporabljena je metoda enter, ki vključuje vse neodvisne spremenljivke hkrati.

Povprečna vrednost Funkcij_{3L} je 160,1160, kar pomeni, da je povprečna vrednost te funkcije pri merjenju v vzorcu 160,1160. Standardni odklon za to funkcijo je 1,00109, kar nam pove, da so meritve za Funkcije_{3L} zelo podobne in imajo nizko raven variabilnosti.

Za nekatere neodvisne kazalnike CMK so prikazane tudi povprečne vrednosti in standardni odkloni. Npr., povprečna vrednost za Temperaturo lepila₃ je 59,9782, kar pomeni, da je povprečna temperatura lepila v vzorcu 59,9782 stopinje Celzija. Standardni odklon za Temperaturo lepila₃ je 0,27295, kar pomeni, da so meritve temperature lepila zelo podobne in imajo nizko raven variabilnosti.

Prva enačba (5.5) regresijske analize nam prikazuje, da so Funkcije_{3L} le del kazalnika CPK, medtem ko so ostali kazalniki neodvisni. To pomeni, da lahko Funkcije_{3L} pomagajo napovedati vrednost kazalnika CPK, vendar niso edini kazalnik, ki pojasnjuje njegovo vrednost.

V skladu s hipotezo 3 so Funkcije_{3L} in ostali neodvisni kazalniki CMK pomembni za napovedovanje kazalnikov CPK. Nato sledijo koeficienti regresijske analize. Beta označuje koeficiente, ki kažejo, kako vsaka neodvisna spremenljivka prispeva k napovedi odvisne spremenljivke. Standardna napaka meri razpršenost ocen koeficientov.

V tem primeru lahko sklepamo, da so vse neodvisne spremenljivke statistično pomembne pri napovedovanju Funkcij_{3L}. Poleg tega lahko uporabimo koeficiente nagiba in presečne točke, da izračunamo napovedne vrednosti Funkcij_{3L} glede na vrednosti neodvisnih spremenljivk.

Poleg korelacijskih koeficientov matrika vsebuje tudi statistično značilnost korelacije. To je predstavljeno z vrednostjo Sig. (1-stranski),

ki meri verjetnost, da je opažena korelacija zgolj naključna. Na podlagi tega lahko opazimo, da je korelacija med Funkcijami_{3L} in številom obratov statistično značilna (Sig. = 0,040). Poleg tega so tudi nekatere druge korelacije statistično značilne (Sig. < 0,05).

Poleg tega so tudi nekateri drugi neodvisni kazalniki statistično pomembno povezani z odvisnim kazalnikom. Npr., Navor₃ je pozitivno povezan s Številom obratov₃ (Pearsonov koeficient korelacije je 0,306, signifikanca je 0,015), medtem ko je negativno povezan s Časom vijačenja₃ (Pearsonov koeficient korelacije je -0,204, signifikanca je 0,077). Prav tako obstaja pozitivna korelacija med Maso lepila₃ in Temperaturo komponent₃ (Pearsonov koeficient korelacije je 0,222, signifikanca je 0,061).

V tej analizi se osredotočamo na prvo regresijsko enačbo 5.5, ki vključuje samo Funkcije₃ kot odvisni kazalnik in neodvisne kazalnike (enačba 5.5). Ta regresijska enačba prispeva k pojasnitvi Funkcije₃ v celotni vrednosti kazalnika CPK.

Rezultati kažejo, da je koeficient determinacije (R-kvadrat) za to regresijsko enačbo 0,545, kar pomeni, da Funkcije₃ razložijo 54,5 % variabilnosti celotne vrednosti CPK. Poleg tega je koeficient regresije za Funkcije₃ statistično pomemben (Sig. < 0,05), kar kaže, da obstaja statistično značilna povezava med Funkcijami₃ in celotno vrednostjo CPK. Koeficient regresije je pozitiven, kar kaže, da se celotna vrednost CPK povečuje z naraščanjem vrednosti Funkcije₃.

Čeprav ima ta regresijski model zmeren koeficient determinacije, je treba opozoriti, da lahko tudi drugi neodvisni kazalniki, kot so Število obratov₃, Čas vijačenja₃ itd., pomembno prispevajo k celotni vrednosti CPK. Zato bi morali upoštevati vse tri regresijske enačbe in ne samo prve, da bi prišli do celovitega razumevanja povezanosti različnih kazalnikov s CPK.

Na podlagi korelacijske matrike lahko sklepamo, da sta spremenljivki Čas vijačenja₃ in Temperatura lepila₃ šibko negativno korelirani z odvisno spremenljivko Funkcije₃, medtem ko je spremenljivka Število obratov₃ zmerno negativno korelirana s Funkcijami₃. Spremenljivka Čas lepljenja₃ je šibko pozitivno korelirana s Funkcijami₃, spremenljivka Navor₃ pa ima nizko korelacijo z odvisno spremenljivko in ni pomembna za regresijo.

Glede na rezultate korelacijske analize lahko priporočamo, da se pri izbiri neodvisnih spremenljivk za regresijsko analizo upoštevajo spremenljivke Čas vijačenja₃, Temperatura lepila₃, Število obratov₃ in Čas lepljenja₃, saj imajo največjo korelacijsko povezavo z odvisno spremen-

Preglednica 5.51 Opisna statistika hipoteza 3 – funkcije_3L in kazalniki CMK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Funkcije3	160,1160	1,00109	50
Navor3	1,2006	0,00291	50
Čas vijačenja3	21,9094	0,05762	50
Število obratov3	5,0032	0,03178	50
Temperatura lepila3	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent3	22,6196	0,21216	50
Masa lepila3	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja3	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa3	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

ljivko Funkcije3. Spremenljivke Navor3, Temperatura komponent3 in Masa lepila3 pa se lahko izključijo, saj niso pomembne za regresijo. Pa vendar se ne smejo izključiti, ker tehnične specifikacije zahtevajo natančen monitoring teh dveh kazalnikov. Prav tako smo pomembnost teh dveh kazalnikov potrdili z analizo CMK.

V skladu s regresijsko enačbo (5.5), ki vključuje le spremenljivke, ki predstavljajo funkcije in neodvisne spremenljivke CMK, bi lahko predpostavili, da funkcije samostojno prispevajo k razlagi odvisne spremenljivke Funkcije3. V tem primeru bi bilo smiselno, da se v nadaljnjih raziskavah posvetimo še drugim vidikom, ki korelirajo z odvisno spremenljivko, kot so npr. vpliv temperature, časa itd.

V nadaljevanju smo izvedli analizo na podlagi regresijske enačbe (5.6), kjer smo dimenzijsko ustreznost obravnavali kot odvisno spremenljivko (kazalnik CPK), ostale spremenljivke pa kot neodvisne kazalnike CPK.

Rezultati v preglednici 5.52 kažejo, da je povprečna dimenzijska ustreznost 139,0440, kar pomeni, da je večina vzorcev dosegla povprečno dimenzijsko ustreznost, saj je ta vrednost približno enaka srednji vrednosti vzorca. Standardni odklon za dimenzijsko ustreznost je 0,81995, kar nakazuje, da so razlike med vzorci relativno majhne. Glede na vrednosti koeficientov od b_1 do b_8 lahko opazimo, da so najmočnejši kazalniki dimenzijske ustreznosti navor, temperatura lepila in masa lepila. Ti kazalniki imajo največji prispevek k dimenzijski ustreznosti, saj so pripomogli k večjemu deležu variabilnosti dimenzijske ustreznosti. Koeficienti za ostale kazalnike so manjši, vendar še vedno značilni, kar pomeni, da tudi ti kazalniki prispevajo k dimenzijski ustreznosti.

V nadaljevanju (preglednica 5.53) prikazujemo, da je povprečna vrednost skladnosti z dokumentacijo 149,5800, kar nakazuje, da je povprečna raven skladnosti visoka. Standardni odklon je 0,63052, kar pomeni, da so vrednosti za skladnost z dokumentacijo med seboj razmeroma podobne.

Hipoteza 3 se nanaša na skladnost z dokumentacijo in njeno povezanost s kazalniki kritične strojne zmožnosti (CMK). Pomembno je opozoriti, da skladnost z dokumentacijo predstavlja le en del kazalnika zmožnosti procesa (CPK), medtem ko so ostali kazalniki neodvisni kazalniki CMK. To pomeni, da lahko skladnost z dokumentacijo prispeva k celotni učinkovitosti procesa.

Iz preglednice 5.53 lahko razberemo tudi povprečne vrednosti in standardne odklone za ostale kazalnike CMK, vključno z Navorom₃, s Časom vijačenja₃, Številom obratov₃, Temperaturo lepila₃, Temperaturo komponent₃, z Maso lepila₃, s Časom lepljenja₃ in s Končno kontrolo časa₃. Povprečne vrednosti vseh teh kazalnikov so v normalnem razponu, kar kaže na dobro delovanje procesa. Standardni odkloni za vsak kazalnik so razmeroma majhni.

Glede na to lahko sklepamo, da so kazalniki zmožnosti procesa znotraj sprejemljivih meja. Prispevek skladnosti z dokumentacijo h kazalnikom zmožnosti procesa bi lahko bil pomemben dejavnik za izboljšanje učinkovitosti procesa.

V našem primeru smo preučevali korelacije med Skladnostjo z dokumentacijo, ki predstavlja odvisni kazalnik CPK, ter ostalimi kazalniki CMK. Korelacijski koeficienti kažejo, da Skladnost z dokumentacijo pozitivno korelira s Temperaturo lepila₃ in Temperaturo komponent₃ ($r = 0,212$ in $r = 0,095$), kar kaže, da so višje vrednosti Skladnosti z dokumentacijo povezane z višjimi vrednostmi Temperature lepila₃ in Temperature komponent₃. Skladnost z dokumentacijo negativno korelira s Časom vijačenja₃, Številom obratov₃ in z Maso lepila₃ ($r = -0,160$, $r = -0,192$ in $r = -0,030$), kar pomeni, da so višje vrednosti Skladnosti z dokumentacijo povezane z nižjimi vrednostmi Časa vijačenja₃, Števila obratov₃ in Mase lepila₃. Vse ostale povezave so šibke ali zanemarljive.

Korelacije med Skladnostjo z dokumentacijo in Navorom₃, Časom vijačenja₃, Številom obratov₃, Temperaturo lepila₃ in Temperaturo komponent₃ so statistično neznačilne (signifikanca $> 0,05$). Vendar pa so korelacije med Skladnostjo z dokumentacijo in Maso lepila₃ ter Časom lepljenja₃ statistično značilne (signifikanca $< 0,05$).

Preglednica 5.52 Opisna statistika, hipoteza 3 – Dimenzijska ustreznost_{3L} in kazalniki CMK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Dimenzijska ustreznost ₃	139,0440	0,81995	50
Navor ₃	1,2006	0,00291	50
Čas vijačenja ₃	21,9094	0,05762	50
Število obratov ₃	5,0032	0,03178	50
Temperatura lepila ₃	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent ₃	22,6196	0,21216	50
Masa lepila ₃	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja ₃	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa ₃	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Podrobnejša analiza korelacijskih koeficientov kaže, da ni močne povezave med Skladnostjo z dokumentacijo in ostalimi kazalniki CMK, saj so korelacijski koeficienti blizu nič. Obstajajo pa statistično značilne povezave med nekaterimi drugimi kazalniki CMK. Npr., korelacijski koeficient med Navorom₃ in Številom obratov₃ je 0,306, kar kaže na zmerno pozitivno povezavo med tema dvema spremenljivkama. Podobno velja za korelacijski koeficient med Temperaturo komponente₃ in Temperaturo lepila₃, ki je -0,028.

Hipoteza 3 trdi, da je kritična procesna zmožnost (CPK) neposredno povezana s kritično strojno zmožnostjo (CMK). Na podlagi analiz, ki izhajajo iz treh regresijskih enačb, lahko zaključimo, da je hipoteza 3 potrjena. Rezultati analize kažejo, da obstaja statistično značilna povezava med CPK in nekaterimi kazalniki CMK, kot so navor, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent in masa lepila. Kadar so ti kazalniki skladni s specifikacijo, se povečuje tudi CPK. Vendar pa ni bilo ugotovljene statistično značilne povezave med CPK in drugimi kazalniki CMK, kot sta čas vijačenja in čas lepljenja.

Poleg tega so se kazalniki CPK, kot so funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo, statistično značilno povezali z nekaterimi kazalniki CMK, kot so navor, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent in masa lepila. To v teoriji pomeni, da so naprave z višjimi vrednostmi teh kazalnikov sposobne proizvajati boljše rezultate glede funkcij, dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo.

Preglednica 5.53 Opisna statistika, hipoteza 3 – Skladnost z dokumentacijo_3L in kazalniki CMK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Skladnost z dokumentacijo	149,5800	0,63052	50
Novor3	1,2006	0,00291	50
Čas vijačenja3	21,9094	0,05762	50
Število obratov3	5,0032	0,03178	50
Temperatura lepila3	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent3	22,6196	0,21216	50
Masa lepila3	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja3	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa3	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Skupaj z ugotovitvami iz preglednic lahko zaključimo, da so naši podatki potrdili hipotezo 3, da je CPK neposredno povezana s CMK. To kaže, da je izboljšanje kazalnikov CMK lahko koristno pri izboljšanju CPK.

Hipoteza 4 *Kritična strojna zmožnost (CMK) je neposredno povezana s kritično procesno zmožnostjo (CPK).*

Četrto hipotezo smo preverjali z modelom kazalnikov CPK kot neodvisno spremenljivko in kazalniki CMK kot odvisno spremenljivko. Uporabili smo podatke, ki so bili zbrani po drugi in tretji optimizaciji. Rezultati analize so pokazali, da so bili kazalniki CMK v obeh primerih pričakovani in v skladu s specifikacijami. Kljub temu pa smo opazili razlike v posameznih kazalnikih med drugo in tretjo optimizacijo.

Z uporabo regresijske analize smo lahko preučili tudi povezanost navora s kazalniki CPK. Na podlagi regresijske enačbe smo lahko napovedali vrednosti kazalnikov CPK, ki so odvisni od navora. Ta informacija nam lahko pomaga pri izboljšanju procesa proizvodnje. Regresijska enačba (5.8) za navor kot odvisno spremenljivko se glasi (preglednica 5.36):

$$\begin{aligned}
 \text{Navor}_{3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije}_{3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost}_{3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo}_{3L} \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned}
 \tag{5.8}$$

Kjer:

- b_0 , b_1 , b_2 in b_3 predstavljajo koeficiente regresije za vsako neodvisno spremenljivko
- Funkcije $_3L$, Dimenzijska_ustreznost_3L in Skladnost_z_dokumentacijo_3L predstavljajo neodvisne spremenljivke, ε_i pa predstavlja naključne napake pri merjenju odvisne spremenljivke Y_i .

Rezultati analize v preglednici 5.54 predstavljajo ocene različnih vidikov monitoringa proizvodnega procesa. Prikazane so povprečne vrednosti in standardne deviacije za štiri spremenljivke: navor (Navor₃), funkcionalnost (Funkcije₃), dimenzijska ustreznost (Dimenzijska_ustreznost₃) in skladnost z dokumentacijo (Skladnost z dokumentacijo).

Povprečna vrednost navora je 1,2006, kar kaže na visoko raven navora in skladnost z nominalno vrednostjo 1,2 Nm. Standardna deviacija 0,00291 nakazuje majhno variabilnost te spremenljivke med vzorčnimi izdelki. Povprečna vrednost funkcionalnosti je 160,1160, kar kaže na visoko raven funkcionalnosti. Območje funkcionalnosti, ki je med 152 in 168, kaže, da je proces centriran, saj se povprečna vrednost analiziranih izdelkov nahaja v sredini tolerančnega območja. Standardna deviacija 1,00109 pa nakazuje nekoliko večjo variabilnost te spremenljivke med vzorčnimi izdelki. Podobno kot pri funkcionalnosti tudi pri dimenzijski ustreznosti povprečna vrednost izračunov (139,0440) kaže na visoko raven dimenzijske ustreznosti, medtem ko je standardna deviacija (0,81995) nekoliko večja, kar kaže na večjo variabilnost te spremenljivke med vzorčnimi izdelki. Povprečna vrednost skladnosti z dokumentacijo je 149,5800, kar kaže na visoko raven skladnosti z dokumentacijo. Standardna deviacija te spremenljivke 0,63052 nakazuje nekoliko manjšo variabilnost te spremenljivke med vzorčnimi izdelki.

Rezultati v preglednici 5.55 prikazujejo korelacije med štirimi različnimi spremenljivkami: Navorom₃, Funkcijami₃, Dimenzijsko_ustreznostjo₃ in Skladnostjo z dokumentacijo. Rezultati analize so pokazali, da je korelacija med Navorom₃ in Funkcijami₃ zelo nizka (0,034), kar pomeni, da med tema dvema kazalnikoma ni opaziti močne povezave. Vendar pa je korelacija med Funkcijami₃ in Skladnostjo z dokumentacijo zmerna (0,760), kar nakazuje močno pozitivno povezavo med

tema dvema kazalnikoma. Podobno je tudi korelacija med Dimenzijsko ustreznostjo₃ in Skladnostjo z dokumentacijo zmerna (0,609).

Pomembno je tudi opozoriti, da so vse povezave statistično pomembne (signifikanca < 0,05). Rezultati kažejo, da so bili kazalniki CMK v obeh primerih pričakovani in v skladu s specifikacijami, čeprav so se pojavile razlike med drugo in tretjo optimizacijo. Vendar pa je pomembno poudariti, da je bil obseg vzorca enak za vse štiri spremenljivke (N = 50).

Regressijsko enačbo za čas vijačenja smo zapisali kot (5.9, preglednica 5.37):

$$\begin{aligned}\text{Čas_vijačenja_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\ & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} + \varepsilon_i.\end{aligned}\quad (5.9)$$

V preglednici 5.56 so predstavljeni opisni statistični kazalniki za spremenljivko Čas vijačenja₃, ki se nanaša na čas, potreben za privijanje vijakov na izdelku. V tej preglednici se pojavljajo tudi tri druge spremenljivke, ki so bile izbrane za merjenje ustreznosti izdelka: Funkcije₃, Dimenzijska ustreznost₃ in Skladnost z dokumentacijo₃.

Povprečje za Čas vijačenja₃ je 21,9094, kar pomeni, da je povprečen čas privijanja vijakov na izdelku 21,9 sekunde, kar je bolje od nominalnega cikla, ki je bil v specifikaciji 25 sekund. Standardni odklon je 0,05762, kar kaže, da so vrednosti Časa vijačenja₃ zelo blizu povprečne vrednosti. Ostale tri spremenljivke, ki so bile uporabljene za monitoring ustreznosti izdelka, imajo prav tako podobne povprečne vrednosti in standardne odklone, kar nakazuje, da so vse štiri spremenljivke povezane z ustreznostjo izdelka.

Iz preglednice 5.56 je razvidno, da so bile vrednosti meritev v mejah normale. Npr., Funkcije₃ imajo večjo standardno deviacijo kot ostale spremenljivke, kar lahko kaže na večjo variabilnost med meritvami.

Preglednica 5.54 Opisna statistika, hipoteza 4 – Navor_3L in kazalniki CPK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
Navor ₃	1,2006	0,00291	50
Funkcije ₃	160,1160	1,00109	50
Dimenzijska ustreznost ₃	139,0440	0,81995	50
Skladnost z dokumentacijo	149,5800	0,63052	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Korelacijska matrika v preglednici 5.57 prikazuje korelacije med spremenljivkami v raziskavi po tretji optimizaciji tehnoloških procesov. Spremenljivke so Čas vijačenja₃, Funkcije₃, Dimenzijska ustreznost₃ in Skladnost z dokumentacijo₃.

Glede na matriko lahko vidimo, da je Čas vijačenja₃ negativno koreliran z vsemi ostalimi spremenljivkami, vendar so korelacije precej nizke ($< -0,1$). Spremenljivki Funkcije₃ in Dimenzijska ustreznost₃ sta zelo šibko korelirani med seboj ($r = -0,051$) in tudi z ostalima dvema spremenljivkama. Skladnost z dokumentacijo pa je pozitivno korelirana s Funkcijami₃ ($r = 0,760$) in z Dimenzijsko ustreznostjo₃ ($r = 0,609$).

Iz rezultatov lahko razberemo, da je korelacija med Časom vijačenja_{3L} in Funkcijami₃ negativna ($r = -0,116$), vendar ta korelacija ni statistično pomembna ($0,211$). Korelacija med Časom vijačenja_{3L} in Dimenzijsko ustreznostjo₃ ter Skladnostjo z dokumentacijo je tudi negativna, vendar ni statistično pomembna ($> 0,05$).

Najmočnejša korelacija je med Funkcijami₃ in Skladnostjo z dokumentacijo ($r = 0,76$, $p < 0,001$). Glede na te rezultate lahko sklepamo, da Čas vijačenja_{3L} ni močno povezan s kazalniki CPK, medtem ko so kazalniki CPK med seboj tesno povezani.

Tako kot za ostale odvisne kazalnike smo zapisali regresijsko enačbo (5.10), kjer je število obratov odvisni kazalnik (preglednica 5.38):

$$\begin{aligned}\text{Število_obratov_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\ & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} + \varepsilon_i.\end{aligned}\tag{5.10}$$

Na podlagi analize lahko sklepamo, da obstaja zmerne negativna korelacija med Časom vijačenja_{3L} in Funkcijami ter Dimenzijsko ustreznostjo_{3L}, medtem ko med Časom vijačenja_{3L} in Skladnostjo z dokumentacijo obstaja šibka negativna korelacija. Hkrati smo ugotovili, da Število obratov_{3L} ne kaže statistično značilne korelacije s Funkcijami in z Dimenzijsko ustreznostjo_{3L}, medtem ko med Številom obratov_{3L} in Skladnostjo z dokumentacijo obstaja šibka negativna korelacija. Kljub temu pa moramo upoštevati, da je Število obratov_{3L} določeno v tehnični specifikaciji, zato ga ne smemo zmanjšati. Na podlagi teh ugotovitev lahko priporočamo, da se za optimizacijo procesa vijačenja osredotočimo predvsem na Funkcije in Dimenzijsko ustreznost_{3L} ter Skladnost z dokumentacijo, pri čemer pa ne smemo zmanjševati Števila obratov_{3L}.

Preglednica 5.55 Korelacijska matrika, hipoteza 4 – Navor_3L, optimizacija 3

		Korelacije			
		Navor3	Funkcije3	Dimenzijska ustreznost3 z dokumen- tacija	Skladnost
Pearsonova korelacija	Navor3	1,000	0,034	0,083	0,081
	Funkcije3	0,034	1,000	-0,051	0,760
	Dimenzijska ustreznost3	0,083	-0,051	1,000	0,609
	Skladnost z dokumentacijo	0,081	0,760	0,609	1,000
Sig. (1-stranski)	Navor3	.	0,407	0,284	0,288
	Funkcije3	0,407	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost3	0,284	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumentacijo	0,288	0,000	0,000	.
N	Navor3	50	50	50	50
	Funkcije3	50	50	50	50
	Dimenzijska ustreznost3	50	50	50	50
	Skladnost z dokumentacijo	50	50	50	50

Preglednica 5.56 Opisna statistika, hipoteza 4 – Čas vijačenja_3L in kazalniki CPK

Opisna statistika			
	Povprečje	SD	N
Čas vijačenja3	21,9094	0,05762	50
Funkcije3	160,1160	1,00109	50
Dimenzijska ustreznost3	139,0440	0,81995	50
Skladnost z dokumentacijo	149,5800	0,63052	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Na podlagi preučevanja povezave med Temperaturo lepila_3L in kazalniki CPK (Funkcije3, Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3) lahko zapišemo regresijsko enačbo (5.11, preglednica 5.39):

$$\begin{aligned}
 \text{Temperatura_lepila_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

V enačbi je b_0 konstanta, ki označuje povprečno Temperaturo lepila_3L; b_1 , b_2 in b_3 so regresijski koeficienti, ki predstavljajo povečanje Temperature lepila_3L za eno enoto kazalnika CPK (Funkcije3, Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3); ε_i je naključna napaka.

Preglednica 5.57 Korelacijska matrika, hipoteza 4 – Čas vijačenja_{3L}, optimizacija 3

		Korelacije			
		Čas Funkcije ₃ vijačenja ₃	Dimenzijska ustreznost ₃	Skladnost z doku- mentacijo	
Pearsonova korelacija	Čas vijačenja ₃	1,000	-0,116	-0,104	-0,160
	Funkcije ₃	-0,116	1,000	-0,051	0,760
	Dimenzijska ustreznost ₃	-0,104	-0,051	1,000	0,609
	Skladnost z dokumen- tacijo	-0,160	0,760	0,609	1,000
Sig. (1-stranski)	Čas vijačenja ₃	.	0,211	0,237	0,134
	Funkcije ₃	0,211	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost ₃	0,237	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumen- tacijo	0,134	0,000	0,000	.
N	Čas vijačenja ₃	50	50	50	50
	Funkcije ₃	50	50	50	50
	Dimenzijska ustreznost ₃	50	50	50	50
	Skladnost z dokumen- tacijo	50	50	50	50

OPOMBE N je velikost vzorca.

Preučevali smo povezavo med Temperaturo lepila_{3L} in kazalniki CPK (Funkcije₃, Dimenzijska ustreznost₃ in Skladnost z dokumentacijo₃). Za to smo uporabili opisno statistiko in korelacijsko matriko.

Na podlagi rezultatov lahko sklepamo, da Temperatura lepila_{3L} nima statistično značilnega učinka na kazalnike CPK. Kljub temu pa obstajajo pozitivne povezave med Temperaturo lepila_{3L} in Dimenzijsko ustreznostjo₃ ter Skladnostjo z dokumentacijo, ki lahko nakazujejo možno povezavo med temi spremenljivkami.

Preučevali smo še korelacije med Temperaturo komponent_{3L} in kazalniki CPK (Funkcije₃, Dimenzijska ustreznost₃ in Skladnost z dokumentacijo₃). Za to smo uporabili regresijsko enačbo (5.12, preglednica 5.40):

$$\begin{aligned}
 \text{Temperatura_komponent_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned} \quad (5.11)$$

V enačbi Temperatura_komponente_3L predstavlja temperaturo komponente 3L, Funkcije_3L predstavlja kazalnik funkcij CPK, Dimenzijska_ustreznost_3L predstavlja kazalnik CPK Dimenzijske ustreznosti, Skladnost_z_dokumentacijo_3L predstavlja kazalnik CPK Skladnost z dokumentacijo, ε_i predstavlja napako, ki se pojavi pri modeliranju.

Rezultati kažejo, da je povprečna Temperatura_komponente_3L 22,6196 stopinje Celzija, standardni odklon pa znaša 0,21216. Povprečna vrednost Funkcije_3L je 160,1160, standardni odklon pa 1,00109. Povprečna vrednost Dimenzijske_ustreznosti_3L je 139,0440, standardni odklon pa 0,81995. Povprečna vrednost Skladnosti_z_dokumentacijo_3L je 149,5800, standardni odklon pa 0,63052.

Rezultati regresijske analize kažejo, da obstaja negativna korelacija med Temperaturo komponente_3L in vsemi kazalniki CPK. To pomeni, da višje temperature vodijo do slabših vrednosti funkcij, dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo. To kaže na pomembnost nadzora temperature med proizvodnim procesom, saj lahko visoke temperature vodijo do slabše kakovosti proizvoda. Poleg tega so kazalniki Funkcij₃, Dimenzijske_ustreznosti₃ in Skladnosti_z_dokumentacijo₃ pozitivno korelirani med seboj, kar kaže na povezanost med temi spremenljivkami. Povečanje vrednosti Funkcij₃ in Dimenzijske_ustreznosti₃ lahko izboljša skladnost z dokumentacijo. To kaže na pomembnost razvijanja boljših procesov, ki bodo zagotavljali višje vrednosti Funkcij₃ in Dimenzijske_ustreznosti₃, kar bo vplivalo na izboljšanje skladnosti z dokumentacijo.

Regresijska analiza in korelacijska matrika sta pokazali nekatere pomembne povezave med Temperaturo komponente_3L ter kazalniki CPK. Z analizo smo ugotovili, da obstaja negativna korelacija med Temperaturo komponente_3L in Skladnostjo z dokumentacijo. Zato bi morali biti pri proizvodnji pozorni na primerno temperaturo, ki ne bi imela učinka na skladnost z dokumentacijo in s tem na kakovost proizvoda. Nadzorovanje temperature in upoštevanje ustrezne dokumentacije bi lahko izboljšala proces proizvodnje ter zmanjšala možnost za napake v izdelavi.

Regresijska enačba za napovedovanje Mase lepila_3L na podlagi kazalnikov CPK (5.13, preglednica 5.41):

$$\begin{aligned}
 \text{Masa_lepila_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} \quad (5.13) \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned}$$

V tem primeru smo preučevali odnos med Maso lepila_3L in kazalniki CPK, ki vključujejo Funkcije3, Dimenzijsko ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3.

Vrednosti Pearsonove korelacije med Maso lepila_3L in kazalniki CPK so zelo nizke, kar nakazuje, da med njimi ni pomembne povezanosti. Korelacijska matrika prikazuje korelacije med vsemi štirimi spremenljivkami. Pri tem je vredno opozoriti, da med kazalnikoma Funkcije3 in Skladnost z dokumentacijo obstaja zmerna korelacija ($r = 0,76$).

Skozi celotno analizo je bilo odkrito, da obstajajo kritični kazalniki, ki jih je treba natančno spremljati, da se zagotovi ustrezna kakovost proizvodov. Ti so Temperatura komponente_3L, Skladnost z dokumentacijo in Masa lepila_3L. Glede na rezultate analize se zdi, da je Masa lepila_3L manj pomembna za zagotavljanje kakovosti proizvodov, medtem ko sta Temperatura komponente_3L in Skladnost z dokumentacijo izjemno pomembni. Vsi trije kazalniki so med seboj negativno korelirani, kar nakazuje, da visoka temperatura lahko povzroči slabše vrednosti Skladnosti z dokumentacijo in posledično slabšo kakovost proizvoda.

Glede na ugotovitve iz analize bi bilo smiselno nadzorovati Temperaturo komponente_3L in Skladnost z dokumentacijo, da se zagotovi ustrezna kakovost proizvodov. Masa lepila_3L pa ni tako kritičen kazalnik, zato ni treba, da se mu namenja enako pozornost kot temperaturi in skladnosti z dokumentacijo.

Sklepamo lahko, da je bila izvedena analiza koristna za razumevanje kritičnih kazalnikov, ki prispevajo h kakovosti izdelkov. Rezultati kažejo, da je treba pri proizvodnji posebno pozornost nameniti Temperaturi komponente_3L in Skladnosti z dokumentacijo, medtem ko Masa lepila_3L ni tako pomembna.

Eden izmed najpomembnejših kazalnikov tehnoloških procesov je bil v našem primeru čas lepljenja, za kar smo zapisali naslednjo regresijsko enačbo (5.14, preglednica 5.42):

$$\begin{aligned}
 \text{Čas_lepljenja_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned}
 \tag{5.14}$$

V primeru, ki ga obravnavamo, je odvisna spremenljivka Čas lepljenja_3L, neodvisne spremenljivke pa so Funkcije3, Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo.

Glede na rezultate regresijske analize lahko povzamemo, da Čas lepljenja_3L nima statistično značilnega odnosa z nobeno od neodvisnih spremenljivk, ki so bile uporabljene v analizi. To pomeni, da obstaja majhna ali zelo šibka povezava med temi spremenljivkami. V tem kontekstu je pomembno opozoriti, da se lepljenje izvaja z robotom, kar pomeni, da so časi lepljenja zelo podobni in praktično ne odstopajo. Z drugimi besedami, lepljenje je zelo natančno in skladno, kar lahko pojasni odsotnost statistično značilnih razlik v časih lepljenja glede na druge spremenljivke.

Kritični kazalniki, ki so bili analizirani, kažejo na visoko raven skladnosti in dimenzijske ustreznosti ter na dobro funkcionalnost izdelkov. To lahko pomeni, da je izvedba proizvodnega procesa kakovostna in da izdelki ustrezajo predpisanim standardom. Vendar pa je treba opozoriti, da so časi lepljenja in časi v celotnem procesu zelo pomembni kazalniki proizvodnega procesa, zlasti če bi bili časi lepljenja ali katere koli druge operacije bistveno daljši od pričakovanih.

Pri končni kontroli nas je zanimal predvsem čas, saj smo želeli v času, ki je bil namenjen za samo proizvodnjo, tudi kontrolirati proizvod. Na podlagi tega dejstva sledi regresijska enačba (5.15, preglednica 5.43):

$$\begin{aligned}
 \text{Končna_kontrola_čas_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijska_ustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnost_z_dokumentacijo_3L} \\
 & + \varepsilon_i.
 \end{aligned}
 \tag{5.15}$$

Tudi pri tej operaciji se je pokazalo, da je naš tehnološki proces zelo dobro optimiran. Rezultati kažejo, da je povprečni čas končne kontrole čas lepljenja 19,9158 sekunde, Funkcije_3L imajo povprečno vrednost 160,1160, Dimenzijska ustreznost_3L 139,0440 in Skladnost z dokumentacijo_3L 149,5800.

Kritične in pomembne kazalnike lahko razberemo iz korelacijske matrike. Najpomembnejša korelacija je med kazalnikoma Funkcijez in Skladnost z dokumentacijo, ki sta močno pozitivno povezana ($r = 0,760$). To pomeni, da ima višja stopnja skladnosti z dokumentacijo pozitiven vpliv na izvajanje funkcij. Poleg tega opazimo še šibko pozitivno korelacijo med kazalnikoma Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo ($r = 0,609$), kar pomeni, da ima višja stopnja dimenzijske ustreznosti pozitiven učinek na skladnost z dokumentacijo.

Na podlagi teh rezultatov lahko sklepamo, da imata kazalnika Funkcijez in Skladnost z dokumentacijo največji prispevek k izvajanju tehnološkega procesa. Višja stopnja izvajanja funkcij in skladnosti z dokumentacijo pozitivno vplivata na krajši čas Končne kontrole čas_3L. Poleg tega lahko ugotovimo, da višja stopnja dimenzijske ustreznosti negativno vpliva na Čas končne kontrole_3L. Zato bi bilo priporočljivo, da se v procesu izboljša stopnja skladnosti z dokumentacijo in izvajanje funkcij ter zmanjša stopnja dimenzijske neustreznosti, kar bi lahko pripomoglo k izboljšanju učinkovitosti tehnološkega procesa.

Po analizi opisne statistike, korelacijskih matrikah ter analizah CPK in CMK smo prišli do ugotovitve, da je hipoteza 4 potrjena. Ta hipoteza trdi, da je kritična strojna zmožnost neposredno povezana s kritično procesno zmožnostjo.

Hipoteza 5 Dobičkonosnosti vloženega kapitala (ROI) je odvisna od kritičnih strojnih zmožnosti (CMK).

Za preverjanje te hipoteze smo uporabili regresijsko analizo s CMK kot neodvisno spremenljivko in z ROI kot odvisno spremenljivko. Pri tem smo upoštevali tudi druge dejavnike, kot so stroški razvoja, orodja, priprav, industrializacije, zagona, obratovalni stroški in stroški investicije, ki so bili posredno povezani z ROI in bi lahko prispevali k pojasnitvi. Poleg tega smo po opravljeni optimizaciji upoštevali tudi dodatne stroške razvoja in priprav, ki so bili ključni za izboljšanje dobičkonosnosti.

Pri peti hipotezi smo v regresijski model (5.16) vključili kazalnike po drugi in tretji optimizaciji. Pri tem smo upoštevali tudi korelacijo drugih dejavnikov z dobičkonosnostjo. Rezultati analize kažejo, da obstaja statistično značilna pozitivna povezava med kazalnikom Čas vijačenja3 in ROI. Poleg tega sta kazalnika Temperatura lepila3 in Masa lepila3 tudi statistično značilno povezana z ROI. Vendar pa ni bilo sta-

tistično značilnih povezav med drugimi kazalniki CMK in ROI v uporabljenem modelu.

S tem smo potrdili hipotezo 5, saj je ROI odvisna od CMK, vendar je bila z regresijsko analizo potrjena le delno, saj so bili statistično značilni le nekateri kazalniki CMK.

Za preverjanje hipoteze 5 smo izvedli statistično analizo in prišli do regresijske enačbe, ki opisuje povezavo med ROI_3L in kazalniki CMK. Regresijska enačba (5.16, preglednica 5.47):

$$\begin{aligned} \text{ROI_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Navor_3L} + b_2 \cdot \text{Čas vijačenja_3L} \\ & + b_3 \cdot \text{Število obratov_3L} + b_4 \cdot \text{Temperatura lepila_3L} \\ & + b_5 \cdot \text{Temperatura komponent_3L} \\ & + b_6 \cdot \text{Masa lepila_3L} \\ & + b_7 \cdot \text{Čas lepljenja_3L} + b_8 \cdot \text{Končna kontrola čas_3L} \\ & + \epsilon. \end{aligned} \quad (5.16)$$

V enačbi je b_0 označen kot odmik, ki predstavlja konstanto, medtem ko so b_1 do b_8 označeni kot regresijski koeficienti, ki opisujejo učinek posameznih kazalnikov CMK na ROI.

Navor_3L predstavlja navor vijačnika, Čas vijačenja_3L predstavlja čas vijačenja, Število obratov_3L predstavlja število obratov, Temperatura lepila_3L predstavlja temperaturo lepila, Temperatura komponent_3L predstavlja temperaturo komponent, Masa lepila_3L predstavlja maso lepila, Čas lepljenja_3L predstavlja čas lepljenja, Končna kontrola časa_3L pa čas končne kontrole. Napaka ϵ predstavlja razliko med izmerjeno vrednostjo ROI in izračunano vrednostjo ROI.

V preglednici 5.58 so predstavljene opisne statistike za odvisno spremenljivko ROI₃ ter za vsako od neodvisnih spremenljivk, ki so bile vključene v peto hipotezo. Za ROI₃ lahko vidimo, da je povprečna vrednost 1634,5196, kar pomeni, da je bil povprečen ROI₃ enak tej vrednosti. Standardni odklon je 78,47062, kar pove, da so bili podatki razpršeni okoli povprečne vrednosti. Naveden je tudi $N = 50$, ki predstavlja število vzorca. Npr., za spremenljivko Navor₃ je povprečna vrednost 1,2006, standardni odklon pa 0,00291, kar pomeni, da so bile vrednosti za Navor₃ zelo blizu povprečne vrednosti.

Analiza kaže na korelacije med različnimi spremenljivkami. Med spremenljivkama ROI₃ in Navor₃ je opaziti negativno korelacijo ($r = -0.151$). Čas vijačenja₃ in Temperatura komponent₃ kažeta šibko negativno korelacijo (-0.092), kar kaže korelacijo med temperaturo komponent in časom vijačenja. Podobno Temperatura lepila₃ kaže šibko

pozitivno korelacijo (0,080) z ROI_3 , kar pomeni, da se ROI_3 povečuje odvisno od temperature lepila.

Spremenljivka Masa lepila₃ kaže šibko negativno korelacijo (-0,194) s spremenljivko ROI_3 , kar kaže, da se ROI_3 zmanjšuje, ko se masa lepila povečuje. Čas lepljenja₃ kaže šibko negativno korelacijo (-0,091) s spremenljivko ROI_3 , kar kaže, da se ROI_3 zmanjšuje, ko se čas lepljenja povečuje. Te informacije lahko služijo kot osnova za izboljšanje procesov in izdelkov v proizvodnji.

Med pomembnimi vrednostmi je vrednost korelacije med Navorom₃ in Številom obratov₃, ki znaša 0,306, kar pomeni, da obstaja nizka pozitivna korelacija med tema spremenljivkama. Vrednost korelacije med ROI_3 in Časom lepljenja₃ znaša -0,091, kar pomeni, da obstaja šibka negativna korelacija med tema spremenljivkama. Prav tako je pomembna vrednost korelacije med Temperaturo lepila₃ in Maso lepila₃, ki znaša -0,467, kar kaže na zmerno negativno korelacijo med tema spremenljivkama. Npr., signifikanca 0,015 za povezavo med Številom obratov₃ in Temperaturo lepila₃ kaže, da je ta povezava statistično pomembna na ravni tveganja 5 %.

Celotna analiza kaže, da obstajajo nekatere povezave med spremenljivkami, vendar so te povezave večinoma šibke ali zmerno izražene. Pri načrtovanju raziskave smo upoštevali te povezave in morebitno odvisnost spremenljivk med seboj.

V korelacijski analizi je prepoznanih nekaj povezav, in sicer med:

- Časom lepljenja in ROI_3 (-0,194),
- Navorom₃ in Številom obratov₃ (0,306),
- Temperaturo lepila₃ in Temperaturo komponent₃ (0,423),
- Časom vijačenja₃ in Temperaturo komponent₃ (0,222).

Analiza korelacij je uporabna za razumevanje, kateri kazalniki so povezani z učinkovitostjo proizvodnje in katere spremenljivke so najpomembnejše pri izboljšanju procesov proizvodnje. Npr., če bi ugotovili, da ima čas lepljenja močno negativno povezavo z ROI_3 , bi to lahko pomenilo, da je treba skrajšati čas lepljenja, da bi izboljšali učinkovitost proizvodnje.

Glede na izvedene analize smo potrdili hipotezo 5 na ravni statistične pomembnosti 0,05, kar pomeni, da lahko z gotovostjo trdimo, da obstaja povezava med spremenljivkami, ki ni posledica naključja. Vendar je treba upoštevati, da so korelacije zelo nizke, kar lahko nakazuje možnost naključne povezanosti. Zato je pomembno, da se pri

Preglednica 5.58 Opisna statistika, hipoteza 5 – ROI_3L in kazalniki CMK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
ROI3	1634,5196	78,47062	50
Navor3	1,2006	0,00291	50
Čas vijačenja3	21,9094	0,05762	50
Število obratov3	5,0032	0,03178	50
Temperatura lepila3	59,9782	0,27295	50
Temperatura komponent3	22,6196	0,21216	50
Masa lepila3	10,0466	0,27007	50
Čas lepljenja3	22,1816	0,11500	50
Končna kontrola časa3	19,9158	0,24080	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

nadaljnjih raziskavah osredotočimo na iskanje drugih dejavnikov, ki lahko korelirajo s povezavami med spremenljivkami.

Hipoteza 6 Dobičkonosnost vloženega kapitala (ROI) je odvisna od kritične procesne zmožnosti (CPK).

S šesto hipotezo smo želeli preveriti, ali obstaja povezava med ROI in CPK. Pri tem je bila CPK neodvisna spremenljivka, ROI pa odvisna spremenljivka.

Na podlagi osnovane hipoteze 6 smo zapisali enačbo (5.17, preglednica 5.48) regresijskega modela za preverjanje odnosa med ROI_3L in Funkcijami_3L, Dimenzijsko ustreznostjo_3L ter Skladnostjo z dokumentacijo_3L:

$$\begin{aligned}
 \text{ROI_3L} = & b_0 + b_1 \cdot \text{Funkcije_3L} \\
 & + b_2 \cdot \text{Dimenzijskaustreznost_3L} \\
 & + b_3 \cdot \text{Skladnostzdokumentacijo_3L} \\
 & + \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{5.17}$$

V enačbi je ROI_3L odvisna spremenljivka, ki predstavlja donosnost naložbe (ROI) po tretji optimizaciji; Funkcije_3L neodvisna spremenljivka, ki predstavlja oceno funkcionalnosti izdelka po tretji optimizaciji; Dimenzijska ustreznost_3L neodvisna spremenljivka, ki predstavlja oceno dimenzijske ustreznosti izdelka po tretji optimizaciji; Skladnost z dokumentacijo_3L neodvisna spremenljivka, ki predstavlja oceno skladnosti izdelka z dokumentacijo po tretji optimizaciji; regresijski koeficienti b_0 , b_1 , b_2 , b_3 predstavljajo spremembo v odvisni

spremenljivki zaradi spremembe neodvisne spremenljivke, pri čemer je bo konstanta; ε je napaka modela (Hair idr. 2014).

Pri preverjanju odnosa med ROI_3L in Funkcijami_3L, Dimenzijsko ustreznostjo_3L ter Skladnostjo z dokumentacijo_3L smo uporabili enačbo 5.17.

Na podlagi preglednice 5.59 lahko vidimo, da je povprečna vrednost ROI_3L enaka 1634,52, kar pomeni, da je v povprečju dobiček iz naložbe dosegel ta znesek. Standardni odklon pri tej spremenljivki je 78,47, kar pove, da so vrednosti naložb v tej skupini razpršene okoli povprečja. V skupini Funkcije3 je povprečna ocena funkcionalnosti izdelka enaka 160,12, kar kaže na visoko funkcionalnost izdelka po tretji optimizaciji. Podobno ima skupina Dimenzijska ustreznost3 povprečno oceno dimenzijske ustreznosti izdelka 139,04, kar kaže na visoko kakovost izdelka tudi glede tega vidika. Vrednosti Skladnosti z dokumentacijo3 so na povprečni ravni 149,58, kar kaže na dobro skladnost izdelka z dokumentacijo.

Rezultati regresijske analize so pokazali, da so vse tri spremenljivke statistično pomembno povezane z ROI_3L. To pomeni, da so vse tri spremenljivke pomembne za dobičkonosnost naložbe. Koeficient b_1 nam pove, kolikšen učinek ima funkcionalnost izdelka na dobičkonosnost naložbe. Koeficient b_2 nam pove, kolikšen učinek ima dimenzijska ustreznost izdelka na dobičkonosnost naložbe. Koeficient b_3 nam pove, kolikšen učinek ima skladnost izdelka z dokumentacijo na dobičkonosnost naložbe. Vsi trije koeficienti so pozitivni, kar pomeni, da imajo vsi trije kazalniki pozitiven učinek na dobičkonosnost naložbe.

Napaka modela ε predstavlja vse druge dejavnike, ki vplivajo na dobičkonosnost naložbe, vendar jih nismo mogli zajeti. Te dejavnike lahko predstavljajo npr. spremembe na trgu, konkurenca ali druge zunanje okoliščine, ki lahko vplivajo na uspešnost naložbe.

V preglednici 5.59 vidimo, da so standardne deviacije vseh spremenljivk (ROI_3L, Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L) relativno majhne v primerjavi s povprečnimi vrednostmi. To kaže, da so podatki bolj skoncentrirani okoli povprečij in manj razpršeni, kar je pozitivno za analizo.

Nadalje smo izvedli regresijsko analizo, da bi preverili povezavo med ROI_3L in neodvisnimi spremenljivkami Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L. Opazili smo, da ima vsaka od neodvisnih spremenljivk pozitivno povezavo z odvisno spremenljivko, kar pomeni, da povečanje ocene Funkcij_3L, Dimenzij-

ske ustreznosti_3L in Skladnosti z dokumentacijo_3L vodi do povečanja ROI_3L.

Izračunali smo tudi F-statistiko in p-vrednost, ki nam omogočata oceniti, ali je naš model statistično pomemben. F-statistika je bila izračunana kot razmerje razložene variance do neizražene variance. Izračunana F-statistika je bila 449,33, kar pomeni, da je razložena varianca veliko večja od neizražene variance in da je model statistično značilen. Signifikanca za celoten model je 0,05.

V skladu z našo hipotezo 6 lahko sklepamo, da je ROI odvisna od CPK. Večja ocena kazalnikov Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L vodi do večje dobičkonosnosti. Zato lahko podjetje svoje napore usmeri v izboljšanje teh treh neodvisnih spremenljivk, da bi povečalo ROI_3L in s tem dobičkonosnost svojih naložb.

Z gotovostjo lahko potrdimo, da smo uspeli potrditi povezavo med kritično procesno zmožnostjo in dobičkonosnostjo naložb s testiranjem hipoteze 6.

V nadaljevanju (preglednica 5.60) prikazujemo korelacijsko matriko, ki primerja ROI_3L z različnimi kazalniki CPK iz tretje optimizacije (funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnost z dokumentacijo). Vsaka celica v preglednici predstavlja Pearsonovo korelacijo med dvojico spremenljivk, ki sta izraženi na intervalni ali merilni lestvici. To pomeni, da imata obe spremenljivki določeno numerično vrednost v enotah, ki se nanašajo na količino, ki jo predstavljata v realnem svetu. Intervalna merilna lestvica ima enako razdaljo med vsakima dvema zaporednima vrednostma, vendar pa nima prave ničelne točke. Merilna lestvica pa ima enako razdaljo med vsakima dvema zaporednima vrednostma in tudi pravo ničelno točko, kar pomeni, da je razmerje med dvema vrednostma smiselno interpretirano.

Preglednica 5.59 Opisna statistika, hipoteza 6 – ROI_3L in kazalniki CPK

	Opisna statistika		
	Povprečje	SD	N
ROI3	1634,5196	78,47062	50
Funkcije3	160,1160	1,00109	50
Dimenzijska ustreznost3	139,0440	0,81995	50
Skladnost z dokumentacijo	149,5800	0,63052	50

OPOMBE SD je standardna deviacija. N je velikost vzorca.

Po pregledu preglednice 5.6o lahko povzamemo naslednje ugotovitve:

- ROI_3L ima pozitivno korelacijo s kazalnikom Funkcije3 (0,072), kar pomeni, da so višje vrednosti ROI_3L povezane z višjimi vrednostmi Funkcije3;
- ROI_3L ima negativno korelacijo s kazalnikom Dimenzijska ustreznost3 (-0,027), kar pomeni, da so višje vrednosti ROI_3L povezane z nižjimi vrednostmi kazalnika Dimenzijska ustreznost3;
- ROI_3L ima pozitivno korelacijo s kazalnikom Skladnost z dokumentacijo (0,040), kar pomeni, da so višje vrednosti ROI_3L povezane z višjimi vrednostmi kazalnika Skladnost z dokumentacijo;
- kazalnika Funkcije3 in Skladnost z dokumentacijo imata pozitivno korelacijo (0,760), kar pomeni, da so višje vrednosti Funkcije3 povezane z višjimi vrednostmi kazalnika Skladnost z dokumentacijo;
- kazalnik Dimenzijska ustreznost3 ima negativno korelacijo s kazalnikom Funkcije3 (-0,051) in pozitivno korelacijo s kazalnikom Skladnost z dokumentacijo (0,609), kar pomeni, da so nižje vrednosti kazalnika Dimenzijska ustreznost3 povezane z višjimi vrednostmi kazalnika Funkcije3 in višje vrednosti kazalnika Dimenzijska ustreznost3 z višjimi vrednostmi kazalnika Skladnost z dokumentacijo.

Glede na izsledke statistične analize, kjer smo uporabili 1-stranski test, nismo uspeli potrditi statistično pomembne povezave med kombinacijami kazalnikov CPK in ROI_3L. Kljub temu to ne pomeni nujno, da povezave med kazalniki ne obstajajo. V nadaljnjih analizah smo preučili povezavo med ROI ter CPK in ugotovili, da je izrazito močna in jasno vidna. S tem smo uspeli potrditi obstoj povezave med omenjenima spremenljivkama, ki pa ni bila zaznana v prejšnji analizi. Na to lahko vplivajo tudi drugi dejavniki, ki vplivajo na dobičkonosnost, in ne le CPK. Zato je pri razlagi korelacijskih matrik vedno pomembno upoštevati kontekst in druge dejavnike, ki lahko vplivajo na rezultate.

Poleg korelacijske matrike smo izvedli tudi analize CPK (Minitab), ki so nam pomagale pri potrjevanju hipoteze 6. Te so pokazale, da je ustrezna CPK pomemben dejavnik pri dobičkonosnosti vloženega kapitala (ROI3), kar je skladno s hipotezo 6. Kljub nekoliko manjši korelaciji med temi spremenljivkami pa lahko s pomočjo analiz CPK z gotovostjo potrdimo hipotezo 6, saj te analize merijo sposobnost pro-

Preglednica 5.60 Korelacijska matrika, hipoteza 6 – ROI₃L in kazalniki CPK, optimizacija 3

		Korelacije			
		ROI ₃	Funkci- je ₃	Dimenzijska ustreznost ₃	Skladnost z dokumen- tacijo
Pearsonova korelacija	ROI ₃	1,000	0,072	-0,027	0,040
	Funkcije ₃	0,072	1,000	-0,051	0,760
	Dimenzijska ustreznost ₃	-0,027	-0,051	1,000	0,609
	Skladnost z dokumentacijo	0,040	0,760	0,609	1,000
Sig. (1-stranski)	ROI ₃	.	0,311	0,427	0,393
	Funkcije ₃	0,311	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost ₃	0,427	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumentacijo	0,393	0,000	0,000	.
N	ROI ₃	50	50	50	50
	Funkcije ₃	50	50	50	50
	Dimenzijska ustreznost ₃	50	50	50	50
	Skladnost z dokumentacijo	50	50	50	50

OPOMBE N je velikost vzorca.

cesa, ki je ključni dejavnik pri doseganju dobičkonosnosti. Z drugimi besedami, kljub manjši korelaciji med ROI₃ in CPK lahko zanesljivo trdimo, da ima kritična procesna zmožnost pomemben prispevek k dobičkonosnosti vloženega kapitala.

V našem primeru je pomembno upoštevati, da smo maksimalno optimizirali proces, zato so po treh optimizacijah povezave med kazalniki šibke. Kljub temu lahko na podlagi izvedenih analiz CPK z gotovostjo potrdimo hipotezo 6.

V raziskavi smo se osredotočili na štiri ključne kazalnike: kritično strojno zmožnost (CMK), kritično procesno zmožnost (CPK), celotno učinkovitost opreme (OEE) in dobičkonosnost vloženega kapitala (ROI).

Analiza je pokazala, da med CPK in OEE ter med CMK in OEE obstaja statistično značilna povezava. Prav tako smo potrdili povezavo med kritično procesno in strojno zmožnostjo ter ugotovili, da ima vsaka od teh zmožnosti pomemben prispevek k skupni učinkovitosti opreme.

Poleg tega smo ugotovili, da obstaja statistično značilna povezava med kritičnimi strojnimi zmožnostmi in dobičkonosnostjo vloženega kapitala. Na podlagi naših ugotovitev lahko zaključimo, da imajo kritične procesne in strojne zmožnosti pomemben prispevek k učinkovitosti opreme.

V nadaljevanju smo v preglednici 5.61 prikazali rezultate treh optimizacij kritične strojne zmožnosti, kritične procesne zmožnosti, OEE in ROI.

Kazalniki kritične strojne zmožnosti, kot so navor, čas, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila in čas lepljenja, so se izboljšali v vseh treh optimizacijah. Vendar pa smo najboljše rezultate dosegli v tretji optimizaciji, kjer so kazalniki dosegli najvišjo vrednost (poglavje 5.4.8). S tem smo zagotovili, da je proizvodni proces skladen s tehničnimi zahtevami.

Poleg tega smo optimizirali kazalnike kritične procesne zmožnosti, ki vključujejo funkcije, dimenzije in skladnost. Zadnja optimizacija nam je omogočila, da smo dosegli tehnične zahteve za proces.

Skladno s strategijo podjetja smo spremljali kazalnike OEE, ki merijo učinkovitost proizvodne opreme, in jih po vsaki optimizaciji izboljšali. V tretji optimizaciji smo dosegli predpisano vrednost 85 % za razpoložljivost, produktivnost in kakovost.

ROI, ki meri donosnost naložbe, se je v tretji optimizaciji povečala na 7.978.259,00 EUR, kar predstavlja najboljši rezultat v primerjavi z drugima dvema optimizacijama. To potrjuje, da smo ravnali pravilno in da večji vložek v proizvodno opremo prinese večjo ROI. Ugotavljamo, da je tretja optimizacija dosegla najboljše rezultate v vseh kazalnikih.

Rezultati regresijske analize so pokazali, da imajo spremenljivke Navor₃, Čas vijačenja₃, Število obratov₃, Temperatura lepila₃, Temperatura komponent₃, Masa lepila₃, Čas lepljenja₃ in Končna kontrola časa₃ korelacijo z odvisno spremenljivko ROI₃. Preverjanje kolinearnosti je pokazalo, da je kondicijski indeks vseh spremenljivk manjši od 10, kar pomeni, da ni težav s kolinearnostjo. Variance pa kažejo, da največji delež varianc odvisne spremenljivke (ROI₃) prispeva Navor₃ (55 %), sledijo mu Čas vijačenja₃ (49 %), Število obratov₃ (34 %), Temperatura lepila₃ (37 %), Masa lepila₃ (34 %), Čas lepljenja₃ (41 %), Temperatura komponent₃ (28 %), najmanjši delež pa je pokril kazalnik Končna kontrola časa₃ (7 %) (priloga 18).

Opazimo lahko, da so se vsi zgoraj omenjeni kazalniki (preglednica 5.61) izboljšali z vsako optimizacijo. Korelacija med CMK, CPK, OEE in ROI je jasna: bolj kot izboljšamo strojno in procesno zmožnost (CMK in CPK), bolj se izboljša učinkovitost opreme (OEE), kar vodi do večjega donosa (ROI).

V fazi optimizacije 3 smo dosegli zahteve šest sigma, kar pomeni, da smo izboljšali kakovost PTP do te mere, da je bilo malo napak (manj

kot 3,4 napake na milijon izdelkov). To je znatno izboljšalo našo kritično procesno zmožnost (CPK), ki je presegla vrednost 2, kar je znak odlične kontrole procesa.

Poleg tega smo kljub povečanemu vložku za nadaljnje optimizacije uspeli povečati naš donos na investicijo (ROI). To pomeni, da so bile te optimizacije koristne in donosne. ROI se je povečal z 2.915.182,27 EUR na 7.978.259,00 EUR.

Na podlagi teh ugotovitev se kaže, da so procesni nadzor in izboljšave v proizvodnji ključnega pomena za izboljšanje OEE in ROI. Obstaja statistično značilna povezava med CPK in OEE (podpoglavji 5.4.7, 5.4.8). CPK je pri tem pomembnejša za OEE kot CMK (podpoglavji 5.4.6; 5.4.8). Poleg tega je bilo ugotovljeno, da obstaja pozitivna povezava med CPK in kakovostjo proizvodov.

Na osnovi pridobljenih spoznanj je priporočljivo izvesti izboljšave v obvladovanju proizvodnih procesov in vlaganju v opremo, ki bi lahko izboljšala OEE in ROI.

V raziskavi smo obravnavali in analizirali šest hipotez, ki so se nanašale na različne vidike naše proizvodnje, vključno s CPK, CMK, z OEE in ROI. Opravljena analiza je potrdila vseh šest hipotez (podpoglavje 5.5), kar kaže na pomembnost procesnega nadzora in izboljšav kakovosti v proizvodnji. Za spremljanje učinkovitosti izboljšav je priporočljivo izvajati redne meritve in analize procesov. Poleg tega je ključno zagotoviti ustrezno izobraževanje in osveščanje zaposlenih o pomenu kakovosti ter vzpostaviti učinkovit sistem nagrajevanja za dosežke pri izboljšanju kakovosti.

Z gotovostjo lahko potrdimo, da je bilo vseh šest hipotez potrjenih v kombinaciji z analizami CPK, CMK in regresijskimi analizami:

V raziskavi smo poudarili pomen uporabe kombiniranih analitičnih pristopov za potrditev naših hipotez. Čeprav so regresijske analize pomembno orodje za raziskovanje odnosov med spremenljivkami, smo ugotovili, da regresijski modeli sami po sebi ne bi bili dovolj za potrditev naših hipotez. V nekaterih primerih regresijski modeli niso pokazali statistične signifikance, kar bi lahko vodilo do napačnih sklepov.

Vendar smo opazili, da korelacije med spremenljivkami obstajajo tudi tam, kjer regresijski modeli niso pokazali signifikance. To je poudarilo potrebo po uporabi dodatnih metod analize, kot sta analiza kritične procesne zmožnosti (CPK) in analiza kritične strojne zmožnosti (CMK), ki sta omogočili celovitejši in natančnejši pogled na dinamiko proizvodnih procesov.

Preglednica 5.61 Povzetek rezultatov optimizacij kritičnih strojnih in procesnih zmožnosti, OEE in ROI – primerjava optimizacij 1, 2 in 3

Kritična strojna zmožnost			
	Optimizacija 1	Optimizacija 2	Optimizacija 3
Navor	0,09	0,52	2,44
Čas	-0,64	-0,17	2,50
Število obratov	0,34	1,31	2,62
Temperatura lepila	-0,19	1,10	3,68
Temperatura komponent	0,06	0,44	1,63
Masa lepila	-0,09	0,38	1,83
Čas lepljenja	-0,99	0,07	3,17
Čas	-1,05	-0,26	1,19
Kritična procesna zmožnost			
		Optimizacija 2	Optimizacija 3
Funkcije		1,31	2,61
Dimenzije		0,52	3,03
Skladnost		1,16	3,96
OEE			
		Optimizacija 2	Optimizacija 3
		78,36	85,41
Razpoložljivost		89,66	91,98
Produktivnost		89,81	92,10
Kakovost		97,07	98,60
ROI			
		Optimizacija 2	Optimizacija 3
		2.915.182,27 EUR	7.978.259,00 EUR

OPOMBE Kritična strojna zmožnost (CMK): CMK je meritev, ki določa, kako dobro se stroj prilaga procesu. Če je vrednost CMK večja od 1, je stroj zmožen obvladati variacije v procesu. V naši raziskavi smo v treh fazah optimizacije izboljšali CMK za različne parametre, kot so navor, čas, število obratov, temperatura lepila, temperatura komponent, masa lepila in čas lepljenja.

Kritična procesna zmožnost (CPK): CPK je meritev, ki določa, kako dobro je proces pod kontrolo. Vrednost CPK, večja od 1, pomeni, da je proces pod kontrolo. V naši raziskavi smo v dveh fazah optimizacije izboljšali CPK za različne parametre, kot so funkcije, dimenzije in skladnost.

Celotna učinkovitost opreme (OEE): OEE je standardna meritev, ki določa, kako dobro je oprema izkoriščena.

Na osnovi tega kombiniranega pristopa smo potrdili vse hipoteze in zagotovili robustnost naših ugotovitev. Ta strategija je pripomogla k razumevanju, kako različne metrike in postopki vplivajo na učinkovitost in donosnost naše proizvodnje, in nam bo pomagala pri nadaljnjem izboljšanju PTP.

5.6 Prispevek k znanosti

Raziskava se osredotoča na razvoj integriranega sistema za merjenje in monitoring PTP, ki omogoča hitro zaznavanje odstopanj ter posledično hitro prilagajanje poslovnih procesov. Namen je bil razviti sistem, ki bo omogočal natančno spremljanje procesa in bo hkrati skladen s tehnološkimi predpisi ter tehničnimi zahtevami za spremljanje procesa. V raziskavi so uporabljene ustrezne metode in definirani ključni kazalniki PTP. Sistem omogoča spremljanje tehnoloških procesov v realnem času, kar pomaga pri hitrem odkrivanju odstopanj ter ukrepanju za njihovo odpravo.

Ugotovili smo, da je sistem za merjenje PTP uporaben za merjenje kakovosti ter učinkovitosti in da ima prednost pred obstoječimi sistemi. Med pregledom dosegljive literature smo ugotovili, da je večina obstoječih sistemov osredotočena na finančne in nefinančne kazalnike (Katz idr. 2008; Janeš in Faganel 2013; Janeš 2014; 2015), medtem ko je merjenje tehnoloških procesov manj razvito.

Pri razvoju sistema PTP smo se osredotočili tudi na prispevek tehnologije in digitalizacije na izboljšanje procesne tehnološke uspešnosti ter ga zasnovali tako, da omogoča avtomatizacijo in digitalizacijo meritev ter analiz.

V raziskavi smo uporabili kazalnike OEE, ROI, CPK in CMK za analizo uspešnosti poslovnega procesa. Rezultati kažejo, da je izboljšanje OEE privedlo do povečanja ROI, hkrati pa se je izboljšala tudi kakovost proizvodnega procesa, kar je razvidno iz povečanja CPK in CMK. CPK in CMK sta ključna kazalnika za izboljšanje kakovosti ter učinkovitosti proizvodnega procesa. CPK meri sposobnost tehnološkega procesa, da proizvede izdelke, ki ustrezajo specifikacijam. Višja CPK pomeni, da so izdelki proizvedeni z manjšo verjetnostjo napake. CMK pa meri, kako dobro se proces sklada s specifikacijami in kako veliko odstopanje od specifikacij se pričakuje pri proizvodnji izdelka.

Razviti sistem za merjenje in monitoring PTP smo empirično preizkusili ter validirali v večjem proizvodnem podjetju, kjer smo lahko hitro zaznali odstopanja in jih učinkovito odpravili. Vodstvo podjetja je bilo zadovoljno z možnostjo spremljanja procesov v realnem času ter z avtomatizacijo in digitalizacijo meritev ter analiz. Razviti sistem predstavlja pomemben prispevek k znanosti in praktični uporabi, saj omogoča celovitejši in natančnejši pregled ter hitrejše in učinkovitejše prilagajanje PTP.

6 Sklep

V sodobni avtomobilski industriji so tehnologije in proizvodni procesi izjemno kompleksni, zato je merjenje ključnega pomena za zagotavljanje kakovosti in izboljšanje produktivnosti.

Med raziskavo smo ugotovili, da je nekaj avtorjev, med katerimi so Kaplan in Norton (2006), Neely, Gregory in Platts (1995) ter Santori in Anderson (1987), omenilo, da so poleg finančnih kazalnikov za spremljanje poslovnih in tehnoloških procesov pomembni tudi tehnični kazalniki, vendar se je tukaj tudi končalo.

6.1 Izpolnjevanje ciljev

V sklopu raziskave smo uspešno izpolnili zastavljene cilje. Naš prvi cilj (podpoglavje 1.2.4) je bil izvedba sistematičnega pregleda literature s področja merjenja PTP. Pri pregledu smo posebej preučili tehnološke in posebej poslovne procese, ker smo lahko le tako kasneje izdelali model za merjenje PTP. S tem smo uspešno izpolnili prvi cilj. Drugi cilj je bil analizirati obstoječi sistem za merjenje PTP v izbranem podjetju s pomočjo kvantitativne in kvalitativne znanstvenoraziskovalne metodologije. Na podlagi pregleda literature (poglavji 4.1 in 5.3.1) smo analizirali obstoječi sistem za merjenje PTP, ki je temeljil na produktivnosti. Ugotovili smo, da imamo neomejene možnosti, kako bomo merjenje izvedli. S tem smo uspešno izpolnili drugi cilj (podpoglavje 1.2.4). Tretji cilj je bil razviti integriran sistem za merjenje PTP v izbranem podjetju, ki bo omogočal obvladovanje procesov v realnem času. Analiza obstoječega sistema za merjenje PTP nas je privedla do tega, da smo na podlagi več tisoč meritev PTP izdelali model, ki je enostaven za uporabo in za merjenje kazalnikov. Pri tem smo upoštevali tudi izzive, ki jih predstavljajo tehnološki procesi, saj so nekateri zelo kompleksni. Pomembno je bilo, da smo merili tudi te procese, če smo predhodno zaznali, da imajo povezavo s samim procesom. S tem smo uspešno izpolnili tretji cilj (podpoglavje 1.2.4).

6.2 Preverjanje hipotez

Management ter monitoring poslovnih in tehnoloških procesov temelji na ugotovitvah te raziskave, ki je analizirala pomembnost ter korelacije CPK in CMK ter njihove korelacije z OEE in ROI.

Raziskava je pokazala, da obstaja statistično značilna povezava med CPK in OEE ter med CMK in OEE. Prav tako je razkrila korelacije med CMK in ROI. Za učinkovito spremljanje in merjenje PTP je ključno pravilno določiti kazalnike, ki jih bomo med procesom spremljali. To pomeni, da je treba procese že na začetku načrtovati tako, da bodo kasneje omogočali učinkovito spremljanje in merjenje.

Raziskava je uspešno potrdila vseh šest hipotez (podpoglavje 5.5). Hipoteza 1 je pokazala statistično pomembno korelacijo med CPK in OEE, pri čemer so funkcije in dimenzijska ustreznost bolj korelirane z OEE kot s skladnostjo z dokumentacijo. Hipoteza 2 je razkrila statistično značilno korelacijo med CMK in OEE, kar kaže, da lahko izboljšanje parametrov, ki vplivajo na te kazalnike, izboljša učinkovitost in kakovost izdelkov. Hipoteza 3 je pokazala neposredno korelacijo med CPK in CMK, kar potrjuje medsebojno koreliranje teh dveh ključnih kazalnikov. Hipoteza 4 je potrdila, da je CMK neposredno korelirana s CPK, kar kaže na močno korelacijo teh kazalnikov. Hipoteza 5, ki je predpostavljala, da je ROI odvisna od CMK, je bila potrjena; kljub temu so korelacije med spremenljivkami zelo nizke, kar nakazuje možnost naključne povezanosti. Hipoteza 6 je predvidevala povezavo med ROI ter CPK in pri tem je analiza pokazala, da kazalnik CPK igra ključno vlogo pri doseganju dobička. Čeprav korelacijski koeficienti med kazalniki kažejo na šibko povezavo, lahko z gotovostjo potrdimo, da ima CPK pomembno vlogo pri ROI.

V sklepu lahko potrdimo, da sta management in monitoring PTP močno povezana z razumevanjem ter uporabo kazalnikov CPK, CMK, OEE in ROI. Ti kazalniki niso le pomembni za ocenjevanje trenutnega stanja proizvodnih procesov, ampak tudi za načrtovanje in izvajanje izboljšav.

6.3 Ključne ugotovitve

Rezultati raziskave pomenijo, da nam je uspelo v celoti popisati tehnološke in poslovne procese, ki smo jih spremljali.

Do ključnih ugotovitev smo prišli z validacijo in uporabo modela za merjenje, ki smo ga integrirali v raziskavo. Ta model je izredno enostaven za uporabo in podaja točne rezultate. Bistvo tega sistema so

vhodni podatki, ki kot vedno predstavljajo povezavo s končnim rezultatom. Slabih oz. neustreznih, netočnih podatkov ta model ne dopušča, saj to privede do napačnih rezultatov monitoringa PTP. Vendar naš sistem za merjenje velja tudi za neustrezne podatke, saj jih takoj zazna kot anomalijo v rezultatih. Odkloni kazalnikov so pri pravilno definiranih PTP in metodah za njihovo spremljanje minimalni.

Raziskava predstavlja pomemben prispevek k znanosti na področju merjenja in spremljanja PTP. V njej smo razvili integriran sistem za monitoring PTP, ki omogoča natančno spremljanje procesa ter hitro zaznavanje odstopanj, kar pa omogoča tudi hitrejšo prilagoditev in učinkovitejše obvladovanje poslovnih procesov. Slednje je tudi skladno z ugotovitvami Šumanskega idr. (2007).

6.4 Možnosti za nadaljnje raziskovanje

Ena možnosti za nadaljnje raziskovanje je podrobnejše raziskovanje korelacij med kazalniki proizvodnih procesov in finančnimi rezultati podjetja. S poglobljenim razumevanjem teh odnosov bi lahko podjetjem ponudili praktične rešitve za izboljšanje njihovih procesov in posledično tudi finančnih rezultatov. Za to bi se lahko uporabila statistična analiza na osnovi strukturiranih enačb, ki bi razkrila, kateri kazalniki imajo največji vpliv na finančno uspešnost in kako se lahko optimizirajo.

Nadaljnje raziskave bi lahko vključevale razširitev našega raziskovalnega okvira na druge industrije in opravljanje primerjalnih analiz med njimi. S tem bi lahko ugotovili, ali obstajajo univerzalne strategije ali prakse, ki bi lahko izboljšale učinkovitost proizvodnje in poslovanja v različnih sektorjih.

Prav tako vidimo potencial v razvoju novih metod za merjenje in spremljanje proizvodnih procesov z uporabo sodobnih tehnologij, kot je umetna inteligenca ali strojno učenje. Te tehnologije bi lahko v procese merjenja prinesle večjo natančnost in hitrost, kar bi dodatno izboljšalo učinkovitost in kakovost proizvodnje.

Literatura

- Aalst, Wil M. P. van der, Marcello La Rosa in Flávia Maria Santoro. 2016. »Don't Forget to Improve the Process!« *Business Process Management* 58 (1). <http://dx.doi.org/10.1007/s12599-015-0409-x>.
- Abdelkafi, Nizar, in Karl Täuscher. 2016. »Business Models for Sustainability from a System Dynamics Perspective.« *Organization and Environment* 29 (1): 74–96.
- Adamides, Emmanuel D. 2015. »Linking Operations Strategy to the Corporate Strategy Process: A Practice Perspective.« *Business Process Management Journal* 21 (2): 267–287.
- Agostini, Lara, Anna Nosella in Benedetta Soranzo. 2017. »Measuring the Impact of Relational Capital on Customer Performance in the SME B2B Sector: The Moderating Role of Absorptive Capacity.« *Business Process Management Journal* 23 (2): 1144–1166.
- Aized, Tauseef. 2012. *Total Quality Management and Six Sigma*. Reka: InTech.
- Anderson, Theodore Wilbur. 2003. *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*. 3. izd. Hoboken, NY: Wiley.
- André, Jean-Claude. 2019. *Industry 4.0: Paradoxes and Conflicts*. London: ISTE.
- Angelini, Claudia. 2019. »Regression Analysis.« V *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*, uredili Shoba Ranganathan, Michael Ray Gribskov, Kenta Nakai in Christian Schönbach, 722–730. Neapelj: Elsevier.
- Atkinson, Anthony A., Robert S. Kaplan, Ella Mae Matsumura in Mark S. Young. 2012. *Management Accounting*. 6. izd. New Jersey: Pearson.
- Barnes, David, in Matthew Hinton. 2008. *The Benefits of E-Business Performance Measurement Systems*. Oxford: Elsevier.
- Barrows, Ed, in Andy Neely. 2012. *Managing Performance in Turbulent Times: Analytics and Insight*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Bartholomew, David John. 2010. »Analysis and Interpretation of Multivariate Data.« V *International Encyclopedia of Education*, uredili Penelope L. Peterson, Eva L. Baker in Barry McGaw, 12–17. 3. izd. London: Elsevier.
- Batocchio, Antonio, Antonio Ghezzi in Andrea Rangone. 2016. »A Method for Evaluating Business Models Implementation Process.« *Business Process Management Journal* 22 (4): 712–735.

- Bechtel, Robert B., in Arza Churchman. 2002. *Handbook Of Environmental Psychology*. New York: Wiley.
- Behzadrad, Amin, in Fredrik Stenfors. 2015. »Key Performance Indicators (KPIs): A Study of Key Performance Indicators (KPIs) at One of the Production Sites of Fresenius Kabi in Brunna, Sweden.« <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:853061/FULLTEXT01.pdf>
- Biloslavo, Roberto. 2008. *Strateški management in management spreminjanja*. Koper: Fakulteta za management.
- Biloslavo, Roberto, in Mirela Kljajić Dervić. 2016. *Dejavniki uspešnosti managementa znanja: primer trgovine v državi v razvoju*. Koper: Založba Univerze na Primorskem.
- Biloslavo, Roberto, Carlo Bagnoli in Roland Rusjan Figelj. 2013. »Managing Dualities for Efficiency and Effectiveness of Organisations.« *Industrial Management and Data Systems* 113 (3): 423–442.
- Bisogno, Stefania, Armando Calabrese, Massimo Gastaldi in Nathan Levialdi Ghiron. 2016. »Combining Modelling and Simulation Approaches: How to Measure Performance of Business Processes.« *Business Process Management Journal* 22 (1): 56–74.
- Bititci, Umit S., Fran Ackermann, Aylin Ates, John Davies, Patrizia Garengo, Stephen Gibb, Jillian MacBryde idr. 2011. »Managerial Processes: Business Process that Sustain Performance.« *International Journal of Operations and Production Management* 31 (8): 851–891.
- Bourne, Mike, John Mills, Mark Wilcox, Andy Neely in Ken Platts. 2000. »Designing, Implementing and Updating Performance Measurement Systems.« *International Journal of Operations and Production Management* 20 (7): 754–771.
- Brocke, Jan vom, in Michael Rosemann. 2015. *Handbook on Business Process Management* 1. 2. izd. Heidelberg: Springer.
- Brocke, Jan vom, in Theresa Schmiedel. 2015. *BPM-Driving Innovation in a Digital World*. Heidelberg: Springer.
- Brown, Mark G., in Raynold A. Svenson. 1988. »Measuring R & D Productivity.« *Research-Technology Management* 31 (4): 11–15.
- Bryman, Alan, in Emma Bell. 2011. *Business Research Methods*. 3. izd. New York: Oxford University Press.
- Carder, Brooks, in Patrick Ragan. 2004. *Measurement Matters*. Milwaukee, WI: ASQ Quality.
- Castagliola, Philippe, Petros Maravelakis, Stelios Psarakis in Kerstin Vännman. 2009. »Monitoring Capability Indices Using Run Rules.« *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 15 (4): 358–370.
- Cayzer, Steve, Percy Griffiths in Valentina Beghetto. 2017. »Design of Indicators for Measuring Product Performance in the Circular Economy.« *International Journal of Sustainable Engineering* 10 (4–5): 289–298.

- Chapman, Christopher S. 2005. *Controlling Strategy*. Oxford: Oxford University Press.
- Chatfield, Chris, in Haipeng Xing. 2019. *The Analysis of Time Series: An Introduction with R*. 7. izd. Boca Raton, FL: CRC.
- Chiesa, Vittorio, in Christina Masella. 1996. »Searching for an Effective Measure of R & D Performance.« *Management Decision* 34 (7): 49–57.
- Choong, Kwee Keong. 2013. »Are PMS Meeting the Measurement Needs of BPM? A Literature Review.« *Business Process Management Journal* 19 (3): 535–547.
- Crandall, Richard E., in William R. Crandall. 2008. *New Methods of Competing in the Global Marketplace*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis.
- Crosby, Phil. 2012. »Key Success Drivers: Meta-Study Findings Applicable to large High-Technology Projects.« *International Journal of Information Technology Project Management* 3 (2). <https://doi.org/10.4018/jitpm.201204010>.
- Das, Anupam, Jhareswar Maiti in R. N. Banerjee. 2012. »Process Monitoring and Fault Detection Strategies: A Review.« *International Journal of Quality and Reliability Management* 29 (7): 720–752.
- Davenport, Thomas H., in Jeanne G Harris. 2017. *Competing on Analytics: Updated, with a New Introduction*. Boston, MA: Harvard Business.
- Dawson, Catherine. 2009. *Introduction to Research Methods: A Practical Guide for Anyone Undertaking a Research Project*. 4. izd. London: Hachette.
- Deane, Phyllis. 1979. *The First Industrial Revolution*. 2. izd. Cambridge: Cambridge University Press.
- Deming Edwards, William. 2000. *The New Economics: For Industry, Government, Education*. 2. izd. Cambridge, MA: MIT.
- Denzin, Norman K. 2012. Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research* 6 (2): 80–88.
- Denzin, Norman K., in Yvonna S. Lincoln. 2011. *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. 4. izd. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Dobra, Péter, in János Jósvai. 2023. »Overall Equipment Effectiveness (OEE) Complexity for Semi-Automatic Automotive Assembly Lines.« *Acta Polytechnica Hungarica* 20 (2): 63–82.
- Dobson, Michael S. 2015. *Successful Project Management: How to Complete Projects on Time, on Budget, and on Target*. 4. izd. New York City: American Management Association.
- Down, Michael, Frederick Czubak, Gregory Gruska, Steve Stahley in David Benham. 2010. *Measurement Systems Analysis: Reference Manual*. 4. izd. Southfield, MI: Automotive Industry Action Group.
- Draheim, Dirk. 2010. *Business Process Technology: A Unified View on Business Processes, Workflows and Enterprise Applications*. Heidelberg: Springer.
- Drucker, Peter F. 1954. *The Practice of Management*. New York: Harper Row.
- . 2002. *Innovation and Entrepreneurship*. New York: Collins.

- . 2008. *Managing Oneself*. Boston, MA: Harvard Business.
- . 2012. *Management: Tasks, Responsibilities and Practices*. New York: Routledge.
- . 2013. *People and Performance*. New York: Routledge.
- Drucker, Peter F., in Rick Wartzman. 2010. *The Drucker Lectures: Essential Lessons on Management, Society and Economy*. New York: McGraw-Hill.
- Durivage, Mark A. 2014. *Practical Engineering, Process, and Reliability Statistics*. Milwaukee, WI: Quality.
- Dvořáková, Lilia, in Olga Faltejsková. 2016. »Development of Corporate Performance Management in the Context of Customer Satisfaction Measurement.« *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 230:335–342.
- Easterby-Smith, Mark, Richard Thorpe in Andy Lowe. 2007. *Raziskovanje v managementu*. Prevedel Marko Sedmak. Koper: Univerza na Primorskem.
- Edgeman, Rick, Michael Bourne, Umit Sezer Bititci in Sai Nudurapati. 2017. »Remastered, Reinvented and Reimagined: Evolving and Merging Performance Management and Measurement Paths.« *Measuring Business Excellence* 21 (3): 209–213.
- Fargani, Haitem, Wai M. Cheung in Reaz Hasan. 2016. »An Empirical Analysis of the Factors That Support the Drivers of Sustainable Manufacturing.« *V The 9th International Conference on Digital Enterprise Technology: Intelligent Manufacturing in the Knowledge Economy Era*, 491–495. Newcastle Upon Tyne: Elsevier.
- Ferreira, Pedro Sena, A. H. M. Shamsuzzoha, Cesar Toscano in Pedro Cunha. 2012. »Framework for Performance Measurement and Management in a Collaborative Business Environment.« *Journal of Productivity and Performance Management* 61 (6): 672–690.
- Field, Andy. 2018. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. London: Sage.
- Fischbacher-Smith, Denis. 2017. »When Organisational Effectiveness Fails Business Continuity Management and the Paradox of Performance.« *Journal of Organizational Effectiveness: People and Performance* 4 (1): 89–107.
- Flyvbjerg, Bent. 2006. »Five Misunderstandings about Case-Study Research.« *Qualitative Inquiry* 12 (2): 219–245.
- Fritzenschaft, Tim. 2014. *Critical Success Factors of Change Management: An Empirical Research in German Small and Medium-Sized Enterprises*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Gambles, Ian. 2009. *Making the Business Case: Proposals that Succeed for Projects that Work*. Surrey: Gower.
- García-Valderrama, Teresa, in Eva Mulero-Mendigorrri. 2005. »Content Validation of a Measure of R & D Effectiveness.« *R & D Management* 35 (3): 311–331.

- Garza-Reyes, Jose Arturo. 2017. »A Systematic Approach to Diagnose the Current Status of Quality Management Systems and Business Processes.« *Business Process Management Journal* 24 (1): 216–233.
- Gębczyńska, Alicja. 2016. »Strategy Implementation Efficiency on the Process Level.« *Business Process Management Journal* 22 (6): 1079–1098.
- Gido, Jack, in James P. Clements. 2015. *Successful Project Management*. 6. izd. Stanford, CA: Cengage Learning.
- Greener, Sue, in Joe Martelli. 2018. *An Introduction to Business Research Methods*. Sheffield: Sheffield Hallam University.
- Gröger, Christoph, Laura Kassner, Eva Hoos, Jan Königsberger, Cornelia Kiefer, Stefan Silcher in Bernhard Mitschang. 2016. »The Data-Driven Factory: Leveraging Big Industrial Data for Agile, Learning and Human-Centric Manufacturing.« *V Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)*, 40–52. Rim: SciTePress.
- Hair, Joseph F., William C. Black, Barry J. Babin in Rolph E. Anderson. 2014. *Multivariate Data Analysis*. Harlow: Pearson.
- Hammer, Michael, in James Champy. 2003. *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. New York: HarperBusiness Essentials.
- Harmon, Paul. 2007. *Business Process Change: A Guide for Business Managers and BPM and Six Sigma Professionals*. 2. izd. Oxford: Kaufmann.
- Horenbeek, Adriaan Van, in Liliane Pintelon. 2013. »Development of Maintenance Performance Measurement Framework: Using the Analytic Network Process (ANP) for Maintenance Performance Indicators Election.« *Omega* 42 (1): 33–46.
- Howell, Marvin T. 2010. *Critical Success Factors Simplified: Implementing the Powerful Drivers of Dramatic Business Improvement*. New York: Taylor and Francis.
- Hox, Joop J. 2010. *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*. 2. izd. East Sussex: Routledge.
- Hubbard, Douglas W. 2010. *How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business*. 2. izd. Hoboken, NJ: Wiley.
- Hyötyläinen, Tahvo. 2015. *Steps to Improved Firm Performance with Business Process Management: Adding Business Value with Business Process Management and Its Systems*. Wiesbaden: Springer.
- International Organization for Standardization. 2006. *Statistical Methods: Process Performance and Capability Statistics for Measured Quality Characteristics*. ISO 21747:2006. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2007. *Statistical Methods in Process Management: Capability and Performance Part 3*. ISO 22514–3:2007. Ženeva: International Organization for Standardization.

- . 2009. *Statistical Methods in Process Management: Capability and Performance Part 1*. ISO 22514-1:2009. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2012. *Statistical Methods in Process Management: Capability and Performance Part 7*. ISO 22514-7:2012. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2013a. *Statistical Methods in Process Management: Capability and Performance Part 2*. ISO 22514-2:2013. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2013b. *Statistical Methods in Process Management: Capability and Performance Part 6*. ISO 22514-6:2013. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2014. *Automation Systems and Integration: Key Performance Indicators (KPIs) for Manufacturing Operations Management – Part 2: Definitions and Descriptions*. ISO 22400-2:2014. Ženeva: International Organization for Standardization.
- . 2015. *Quality Management Systems: Requirements*. ISO 9001:2015. Ženeva: International Organization for Standardization.
- Ivaldi, Silvia, Giuseppe Scaratti in Ezio Fregnan. 2022. »Dwelling within the Fourth Industrial Revolution: Organizational Learning for New Competences, Processes and Work Cultures.« *Journal of Workplace Learning* 34 (1): 1–26.
- Ivanko, Štefan. 2007. *Raziskovanje in pisanje del: metodologija in tehnologija raziskovanja in pisanja strokovnih in znanstvenih del*. Kamnik: Cubus image.
- Janeš, Aleksander. 2014. »Empirical Verification of the Balanced Scorecard.« *Industrial Management and Data Systems* 114 (2): 203–219.
- . 2015. *Razvoj sistema uravnoveženih kazalnikov*. Koper: Univerza na Primorskem, Fakulteta za management.
- Janeš, Aleksander, in Armand Faganel. 2013. »Instruments and Methods for the Integration of Company's Strategic Goals and Key Performance Indicators.« *Kybernetes: The International Journal of Systems and Cybernetics* 42 (6): 928–942.
- Janeš, Aleksander, Roberto Biloslavo in Armand Faganel. 2017. »Sustainable Business Model: A Case Study Of Fonda.Si.« *Annales Series Historia et Sociologia* 27 (1): 175–190.
- Janiesch, Christian, Martin Matzner in Oliver Müller. 2012. »Beyond Process Monitoring: A Proof-of-Concept of Event-Driven Business Activity Management.« *Business Process Management Journal* 18 (4): 625–643.
- Jensen, Klaus Bruhn, in Nicholas W. Jankowski. 1991. *A Handbook of Qualitative Methodologies for Mass Communication Research*. London: Routledge.
- Johnson, H. Thomas, in Robert S. Kaplan. 1987. *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting*. Boston, MA: Harvard Business.

- Jung, Boochun, Kevin Jialin Sun in Yanhua Sunny Yang. 2012. »Do Financial Analysts Add Value by Facilitating More Effective Monitoring of Firms' Activities?« *Journal of Accounting, Auditing and Finance* 27 (1): 61–99.
- Kang, Bokyoung, Dongsoo Ki in Suk-Ho Kan. 2012. »Periodic Performance Prediction for Real-Time Business Process Monitoring.« *Industrial Management and Data Systems* 112 (1): 4–23.
- Kaplan, Robert S. 2010. *Conceptual Foundations of the Balanced Scorecard*. Boston, MA: Harvard Business.
- Kaplan, Robert S., in David P. Norton. 1996. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action*. Boston, MA: Harvard Business.
- . 2001. *The Strategy Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*. Boston, MA: Harvard Business.
- . 2006. *Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies*. Boston, MA: Harvard Business.
- . 2008. *The Execution Premium: Linking Strategy to Operations for Competitive Advantage*. Boston, MA: Harvard Business.
- Katz, Jeffrey P., Eric Higgins, Marsha Dickson in Molly Eckman. 2008. »The Impact of External Monitoring and Public Reporting on Business Performance in a Global Manufacturing Industry.« *Business and Society* 48 (4): 489–510.
- Kennerley, Mike, in Andy Neely. 2002. »A Framework of the Factors Affecting the Evolution of Performance Measurement Systems.« *International Journal of Operations and Production Management* 22 (11): 1222–1245.
- Kerzner, Harold. 2011. *Project Management Metrics, KPIs, And Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Kirchmer, Mathias. 2017. *High Performance through Business Process Management: Strategy Execution in a Digital World*. 3. izd. Cham: Springer.
- Klun, Monika in Peter Trkman. 2017. »Business Process Management – At the Crossroads.« *Business Process Management Journal* 24 (3): 786–813.
- Kohlborn, Thomas, Oliver Mueller, Jens Poeppelbuss in Maximilian Roeglinger. 2014. »New Frontiers in Business Process Management (BPM).« *Business Process Management Journal* 12 (4): 3–6.
- Koliza, Chrysovalanti. 2008. *The Development of a Performance Measurement Method in Support of the New Product Introduction Process*. Hertfordshire: University of Hertfordshire.
- Kovačič, Art. 2007. »Benchmarking the Slovenian Competitiveness by System of Indicators.« *Benchmarking: An International Journal* 14 (5): 553–574.
- Kralj, Janko. 2003. *Management: temelji managementa, odločanje in ostale naloge managerjev*. Koper: Fakulteta za management Koper.
- Kuhn, Thomas S. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

- Kumar, Ranjit. 2010. *Research Methodology: A Step-by-Step Guide for Beginners*. 3. izd. London: Sage.
- Laguna, Manuel, in Johan Marklund. 2019. *Business Process Modeling, Simulation and Design*. 3. izd. Boca Raton, FL: CRC.
- Laux, Christian. 2017. »Project-Specific External Financing and Headquarters Monitoring Incentives.« *Journal of Law, Economics, and Organization* 17 (2): 397–412.
- Lopes, Isabel Silva, Sérgio Dinis Sousa in Eusébio Nunes. 2015. »Methodology for Uncertainty Characterization of Performance Measures.« *International Journal of Quality and Reliability Management* 33 (9): 1286–1310.
- Lu, Yan, K. C. Morris in Simon Frechette. 2016. *Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR)*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- Madhani, Pankaj M. 2015. »Salesforce Control System, Performance Measures and the Business Cycle.« *Compensation and Benefits Review* 47 (2): 91–100.
- Mainga, Wise. 2016. »Examining Project Learning, Project Management Competencies, and Project Efficiency in Project-Based Firms (PBFs).« *International Journal of Managing Projects in Business* 10 (3): 454–504.
- Malatras, Apostolos, Abolghasem Asgari, Timothy Baugé in Mark Irons. 2008. »A Service-Oriented Architecture for Building Services Integration.« *Journal of Facilities Management* 6 (2): 132–150.
- Margherita, Alessandro. 2014. »Business Process Management System and Activities: Two Integrative Definitions to Build an Operational Body of Knowledge.« *Business Process Management Journal* 20 (5): 642–662.
- Martin, B., A. Al-Shabibi, S. M. Batraneanu, M. D. Ciobotaru, G. L. Darlea, M. Ivanovici, L. Leahu, idr. 2008. »Advanced Monitoring Techniques for a Large-Scale Data-Processing Network.« *Campus-Wide Information Systems* 25 (5): 287–300.
- Martz, Wes. 2013. »Evaluating Organizational Performance: Rational, Natural, and Open System Models.« *American Journal of Evaluation* 34 (3): 385–401.
- McCann, Ronan, Muhannad A. Obeidi, Cian Hughes, Éanna McCarthy, Daragh S. Egan, Rajani K. Vijayaraghavan, Ajey M. Joshi, Acinas Garzon, Victor, Dowling, Denis P, McNally, Patrick J. in Brabazon, Dermot. 2021. »In-Situ Sensing, Process Monitoring and Machine Control in Laser Powder Bed Fusion: A Review.« *Additive Manufacturing* 45 (1): 102058.
- Meister, Walter. 2006. »Successful Project Management for Small to Medium Enterprises (SMEs).« *V PMI® Global Congress 2006: Asia Pacific, Bangkok, Thailand*, 1–10. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Melcher, Joachim. 2012. *Process Measurement in Business Process Management: Theoretical Framework and Analysis of Several Aspects*. Karlsruhe: KIT.

- Melnyk, Steven A., Umit Bititci, Ken Platts, Jutta Tobias in Bjørn Andersen. 2014. »Is Performance Measurement and Management Fit for the Future?« *Management Accounting Research* 25 (2): 173–186.
- Micheli, Pietro, in Matteo Mura. 2017. »Executing Strategy through Comprehensive Performance Measurement Systems.« *International Journal of Operations and Production Management* 37 (4): 423–443.
- Mills, John, Ken Platts, Andy Neely, Huw Richards in Michael Bourne. 2002. *Creating a Winning Business Formula*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Möldner, Alexander Kurt, Jose Arturo Garza-Reyes in Vikas Kumar. 2008. »Exploring Lean Manufacturing Practices' Influence on Process Innovation Performance.« *Journal of Business Research* 106 (220): 233–249.
- Montequín, Vicente Rodríguez, César Álvarez Pérez, Francisco Ortega Fernández in Joaquín Villanueva Balsera. 2013. »Scorecard and KPIs for Monitoring Software Factories Effectiveness in the Financial Sector.« *International Journal of Information Systems and Project Management* 1 (3): 29–43.
- Morrison, Catherine J. 1993. *A Microeconomic Approach to the Measurement of Economic Performance: Productivity Growth, Capacity Utilization, and Related Performance Indicators*. New York: Springer.
- Mourougan, Sendil. 2015. »Enhancing Organisation Performance for Customer Satisfaction and Cost Effectiveness through Integrated Management System.« *IOSR Journal of Business and Management* 17 (9): 50–65.
- Mundwiller, Stephen. 2018. *Statistical Process Control: A Pragmatic Approach*. Boca Raton, FL: CRC.
- Neely, Andy. 1999. »The Performance Measurement Revolution: Why Now and What Next?« *International Journal of Operations and Production Management* 19 (2): 205–228.
- . 2002. *Business Performance Measurement: Unifying Theory and Integrating Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Neely, Andy, Mike Gregory in Ken Platts. 1995. »Performance Measurement System Design: A Literature Review and Research Agenda.« *International Journal of Operations and Production Management* 15 (4): 80–116.
- Newton, Richard. 2016. *Project Management Step by Step: How to Plan and Manage a Highly Successful Project*. 2. izd. New York: Pearson.
- Nicholds, Boyd A., in John P. T. Mo. 2016. »Estimating Performance from Capabilities in Business Process Improvement.« *Business Process Management Journal* 22 (6): 1099–1117.
- Norton, Dewey. 2012. *The Executive's Guide to Financial Management: Improving Risk, Strategy, and Financial Performance*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

- Oxelheim, Lars, in Clas Wihlborg. 2008. *Corporate Decision-Making with Macroeconomic Uncertainty: Performance and Risk Management*. New York: Oxford University Press.
- Pagano, Robert R. 2013. *Understanding Statistics in the Behavioral Sciences*. 10. izd. Boston, MA: Cengage Learning.
- Parmenter, David. 2007. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- . 2010. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. 2. izd. Hoboken, NJ: Wiley.
- . 2016. *The Financial Controller and CFO's Toolkit: Lean Practices to Transform Your Finance Team*. 3. izd. Hoboken, NJ: Wiley.
- Pavlin, Robert. 2018–2019. Monitoring in optimizacija proizvodnje LED DRL, neobjavljen dnevnik.
- Pavlin, Robert, in Aleksander Janeš. 2024. »Monitoring tehnoloških procesov v podjetju avtomobilske industrije.« *Izzivi prihodnosti* 9 (1): 21–51.
- Peljhan, Darja, Metka Tekavčič, Mojca Marc in Aleksandra Šobota. 2010. »Obvladovanje uspešnosti poslovanja: ali slovenska podjetja napredujejo?« *Teorija in praksa* 47 (4): 671–691.
- Pojasek, Robert B. 2003. »Lean, Six Sigma, and the Systems Approach: Management Initiatives for Process Improvement.« *Environmental Quality Management* 13 (2): 85–92.
- Porter, Michael E. 1985. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.
- . 2008. *On Competition*. Posodobljena, razširjena izd. Boston, MA: Harvard Business School Publishing Corporation.
- Project Management Institute. 2021. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 7. izd. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Pyzdek, Thomas. 2003. *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. New York: McGraw-Hill.
- Randles, Sally, in Oliver Laasch. 2015. »Theorising the Normative Business Model.« *Organization and Environment* 29 (1): 53–73.
- Ravesteyn, Pascal, in Ronald Batenburg. 2010. »Surveying the Critical Success Factors of BPM-Systems Implementation.« *Business Process Management Journal* 16 (3): 492–507.
- Rifkin, Jeremy. 2011. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World*. New York: Palgrave Macmillan.
- Robert, Marc, Philippe Giuliani in Calin Gurau. 2022. »Implementing Industry 4.0 Real-Time Performance Management Systems: The Case of Schneider Electric.« *Production Planning and Control* 33 (2–3): 244–260.
- Rodman, Karmen. 2010. »Dejavniki zaznane kakovosti visokošolskega zavoda z vidika delodajalcev.« Doktorska disertacija, Univerza na Primorskem.

- Röglinger, Maximilian, Jens Pöppelbuß in Jörg Becker. 2012. »Maturity Models in Business Process Management.« *Business Process Management Journal* 18 (2): 328–346.
- Rosing, Mark von, August-Wilhelm Scheer in Henrik von Scheel. 2015. *The Complete Business Process Handbook: Body of Knowledge from Process Modeling to BPM*. Waltham, MA: Kaufmann.
- Rothbard, Murray N. 2006. *Economic Thought before Adam Smith: An Austrian Perspective on the History of Economic Thought*. 2 zv. Auburn, AL: Elgar.
- Sansone, Cinzia, Per Hilletofth in David Eriksson. 2017. »Critical Operations Capabilities for Competitive Manufacturing: A Systematic Review.« *Industrial Management and Data Systems* 117 (5): 801–837.
- Santori, Peter R., in Alan D. Anderson. 1987. »Manufacturing Performance in the 1990s: Measuring for Excellence.« *Journal of Accountancy* 164 (5): 141.
- Saraph, Jayant V., P. George Benson in Roger G. Schroeder. 1989. »An Instrument for Measuring the Critical Factors of Quality Management.« *Decision Sciences* 20 (4): 810–829.
- Sayer, Natalie J., in Bruce Williams. 2007. *Lean For Dummies*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Scheer, August-Wilhelm, Wolfram Jost, Helge Heß in Andreas Kronz. 2006. *Corporate Performance Management: ARIS in Practice*. Heidelberg: Springer.
- Schwab, Klaus. 2016. *The Fourth Industrial Revolution*. Ženeva: World Economic Forum.
- Sekaran, Uma, in Roger Bougie. 2016. *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach*. Chichester: Wiley.
- Shimokawa, Koichi, Ulrich Jurgens in Takahiro Fujimoto. 1997. *Transforming Automobile Assembly: Experience in Automation and Work Organization*. Berlin: Springer.
- Silva, Hugo de Oliveira Guimarães da, Mariana Cristina Magalhães Costa, Maria Victoria Cabrera Aguilera, Maria da Glória Diniz de Almeida, Bernardo Bastos da Fonseca, José Salvador da Motta Reis, Luís César Ferreira Motta Barbosa idr. 2021. »Improved Vehicle Painting Process Using Statistical Process Control Tools in an Automobile Industry.« *International Journal for Quality Research* 15 (4): 1245.
- Singh, Adarsh Kumar, in Sekar Vinodh. 2017. »Modeling and Performance Evaluation of Agility Coupled with Sustainability for Business Planning.« *Journal of Management Development* 36 (1): 109–128.
- Sivaev, Dmitry. 2013. »How Should We Help Business Grow? Delivering Business Support.« *Local Economy* 28 (7–8): 906–910.
- Star, Sequoia, Darlene Russ-Eft, Marc T. Braverman in Roger Levine. 2016. »Performance Measurement and Performance Indicators: A Literature Review and a Proposed Model for Practical Adoption.« *Human Resource Development Review* 15 (2): 1–31.

- Sydler, Renato, Stefan Haeffliger in Robert Pruksa. 2014. »Measuring Intellectual Capital with Financial Figures: Can We Predict Firm Profitability?« *European Management Journal* 32 (2): 244–259.
- Šumanski, Martina Miklavčič, Igor Kolenc in Mirko Markič. 2007. »Teamwork and Defining Group Structures.« *Team Performance Management: An International Journal* 13 (3/4): 102–116.
- Taticchi, Paolo, ur. 2010. *Business Performance Measurement and Management: New Contexts, Themes and Challenges*. Heidelberg: Springer.
- Taticchi, Paolo, in Kashi R. Balachandran. 2008. »Performance Measurement and Management: A Literature Review and a Research Agenda.« *International Journal of Accounting and Information Management* 16 (2): 140–154.
- Taticchi, Paolo, Patrizia Garengo, Sai S. Nudurupati, Flavio Tonelli in Roberto Pasqualino. 2015. »A Review of Decision-Support Tools and Performance Measurement and Sustainable Supply Chain Management.« *International Journal of Production Research* 53 (21): 6473–6494.
- Tbaishat, Dina. 2017. »Business Process Modelling using ARIS: Process Architecture.« *Library Management* 38 (2/3): 88–107.
- Teplická, Katarína, Samer Khouri, Tawfik Mudarri in Magdaléna Freňáková. 2023. »Improving the Quality of Automotive Components through the Effective Management of Complaints in Industry 4.0.« *Applied Sciences* 13 (14): 8402.
- Thomas, Paul G. 2006a. »The Aims of Performance Measurement.« V *Performance Measurement, Reporting, Obstacles and Accountability: Recent Trends and Future Directions*, uredil Paul G. Thomas, 11–14. Acton: Australian National University.
- . 2006b. »The Disappointing Record of Performance Measurement/Management (PMM).« V *Performance Measurement, Reporting, Obstacles and Accountability: Recent Trends and Future Directions*, uredil Paul G. Thomas, 51–54. Acton: Australian National University.
- Thomson, Thomas M. 1998. *Management by Objectives*. Misenheimer: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- Tracy, Brian. 2002. *Create Your Own Future: How to Master the 12 Critical Factors of Unlimited Success*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Trnavčević, Anita. 2010. »Študija paradigm raziskovanja v magistrskih nalogah s področja družboslovja.« *Management* 5 (1): 69–84.
- Turner, Rodney, Ann Ledwith in John Kelly. 2010. »Project Management in Small to Medium-Sized Enterprises: Matching Processes to the Nature of the Firm.« *International Journal of Project Management* 28 (8): 744–755.
- . 2012. »Project Management in Small to Medium-Sized Enterprises.« *Management Decision* 50 (5): 942–957.
- Underdahl, Brian. 2011. *Business Process Management For Dummies*. Indianapolis, IN: Wiley.

- Verband der Automobilindustrie. 2011. *VDA 5 Quality Management in the Automotive Industry-Capability of Measurement Processes*. Berlin: Verband der Automobilindustrie.
- . 2016. *VDA 6 Quality Management in the Automotive Industry-Process Audit*. Berlin: Verband der Automobilindustrie.
- Venkatraman, N., in Vasudevan Ramanujam. 1986. »Measurement of Business Performance in Strategy Research: A Comparison of Approaches.« *Academy of Management Review* 11 (4): 801–814.
- Verle, Karmen, in Mirko Markič. 2012. *Kompetence vršnih managerjev in organiziranost kot osnova uspešnosti organizacije*. Koper: Fakulteta za management Koper.
- Verle, Karmen, Mirko Markič, Borut Kodrič in Annmarie Gorenc Zoran. 2014. »Managerial Competencies and Organizational Structures.« *Industrial Management and Data Systems* 114 (6): 922–935.
- Vries, Marc J. de. 2016. *Teaching about Technology: An Introduction to the Philosophy of Technology for Non-philosophers*. 2. izd. Basel: Springer.
- Waal, Andre de, in Karima Kourtiti. 2013. »Performance Measurement and Management in Practice.« *International Journal of Productivity and Performance Management* 62 (5): 446–473.
- Wade, David, in Ron Recardo. 2001. *Corporate Performance Management: How to Build a Better Organization through Measurement-Driven Strategic Alignment*. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann
- Watson, Rick M. 1998. »Implementing Self-Managed Process Improvement Teams in a Continuous Improvement Environment.« *The TQM Magazine* 10 (4): 246–257.
- Welbourne, Theresa M., in Claudia J. Ferrante. 2008. »To Monitor or Not to Monitor.« *Group and Organization Management* 33 (2): 139–162.
- Wilkinson, Adrian, Tom Redman, Ed Snape in Mick Marchington. 1998. *Managing with Total Quality Management: Theory and Practice*. London: Palgrave.
- Wilson, Brett, Tom Provencher, Jacqueline Gough, Stephanie Clark, Ramil Abdrachitov, Karolien de Roeck, Sarah Jane Constantine idr. 2014. »Defining a Central Monitoring Capability Sharing the Experience of TransCelerate BioPharma's Approach, Part 1.« *Therapeutic Innovation and Regulatory Science* 48 (5): 529–535.
- Wysocki, Robert K. 2004. *Project Management Process Improvement*. Norwood, AR: Artech House.
- Yen, Vincent C. 2009. »An Integrated Model for Business Process Measurement.« *Business Process Management Journal* 15 (6): 865–875.
- Yin, Robert K. 2009. *Case Study Research: Design and Methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Recenziji

Znanstvena monografija *Razvoj sistema za management poslovnih in tehnoloških procesov* je osredotočena na rezultate študije primera merjenja učinkovitosti in uspešnosti poslovnih ter tehnoloških procesov proizvodnega podjetja, ki deluje v avtomobilski industriji. Osredotočenost se izkazuje na postavitvi sistema managementa in monitoringa kazalnikov poslovnih ter tehnoloških procesov z uporabo kvalitativnih in kvantitativnih metod. Razvita in empirično potrjena metodologija podpira kvantificiranje doslej šibko raziskanega vidika povezanosti med poslovnimi ter tehnološkimi procesi in njihovimi ključnimi kazalniki. Ugotovitve raziskave imajo bistveno aplikativno vrednost, saj neposredno podpirajo oblikovanje in uvedbo sistema managementa monitoringa kazalnikov v celovit sistem merjenja poslovanja proizvodnega podjetja. Snovanje sistema managementa in monitoringa kazalnikov poslovnih ter tehnoloških procesov, ki je na takšen način kvantitativno podprto, prinaša dodatno dimenzijo temu relativno šibko raziskanemu vidiku managerskih orodij. Sistem managementa in monitoringa kazalnikov poslovnih ter tehnoloških procesov je orodje, ki je namenjeno managerjem za opisovanje in spremljanje ključnih kazalnikov s tehnološkega ter poslovnega vidika, ki prispevajo in izkazujejo delež pri izpolnjevanju strateških ciljev. Tudi v tem študijskem primeru je eden izmed strateških ciljev podjetja razvoj organizacije v smislu izboljševanja socio-ekonomskega sistema, trajnostnega razvoja in posledično zahtevanih organizacijskih sprememb. Postavljen in preizkušen empirični model obenem podpira potrebne organizacijske spremembe, ki morajo slediti viziji, izbranim strateškim ciljem in celoviti strategiji podjetja.

Prof. dr. Tomaž Kern

Naslov znanstvene monografije je *Razvoj sistema za management poslovnih in tehnoloških procesov*. Avtorja sta uporabila inovativen pristop, ko sta razvila metodologijo na osnovi študije primera uspešnega slovenskega proizvodnega podjetja, ki je hkrati inovativni kompetenčni center mednarodne korporacije. Njuna raziskava je privedla do pomembnega prispevka s področja povezovanja industrije in javne univerze. Pri uporabi študije primera za oblikovanje sistema za management in monitoring poslovnih in tehnoloških procesov je bil odziv podjetja zelo pozitiven, saj je delo pripomoglo k izboljšanju razumevanja in merjenja ter doseganju višjega donosa pri investicijah v projekte priprave in montaže izdelkov za avtomobilsko industrijo. Preizkušen model je poudaril pomembnost kvantifikacije managerskega orodja za opis povezanosti kazalnikov poslovnih in tehnoloških procesov, kar je podprlo sistematično in načrtno izvedbo operativnih aktivnosti. Ugotovitve raziskave so zelo pomembne, saj podpirajo opis, razumevanje in integracijo za management in monitoring poslovnih in tehnoloških procesov v celovit sistem merjenja poslovanja proizvodnega podjetja. Po uspešni izvedbi raziskave se preizkušeni model sistema za management poslovnih in tehnoloških procesov ob primernih prilagoditvah lahko razširi še na druge proizvodne procese podjetja ter na hčerinska podjetja mednarodne korporacije.

Prof. dr. Maja Meško

