

Monitoring tehnoloških procesov v avtomobilski industriji

Robert Pavlin*

Univerza na Primorskem, Fakulteta za management, Izolska vrata 2, 6000 Koper -
Capodistria, Slovenija
Robert.Pavlin@outlook.com

Aleksander Janeš

Univerza na Primorskem, Fakulteta za management, Izolska vrata 2, 6000 Koper -
Capodistria, Slovenija
Aleksander.Janes@fm-kp.si

Povzetek:

Raziskovalno vprašanje: Kakšna je povezanost med tehnološkimi kazalniki Cpk in OEE ter finančnim kazalnikom ROI?

Namen: Namen raziskave je bil izboljšati razumevanje in obvladovanje ključnih kazalnikov uspešnosti (Cpk, OEE in ROI) v avtomobilski industriji. Cilj raziskave je razviti orodje za natančno nadzorovanje sistema PTP v avtomobilski industriji, vključno z analizo procesov priprave in montaže ter določitvijo merljivih kazalnikov uspešnosti.

Metoda: Raziskava je temeljila na študiji primera, ki je vključevala analizo podatkov, uporabo sistema za merjenje Cpk ter vodenje dnevnika za sledenje dogodkom. Teoretični okvir se opira na merjenje procesne tehnološke uspešnosti in njeno povezanost s finančnimi rezultati.

Rezultati: V tretji fazi optimizacije so bili zabeleženi znatno izboljšani kazalniki, vključno z višjimi vrednostmi Cpk, OEE in ROI. Ti izboljšani kazalniki so privedli do skladnosti z zahtevami specifikacij končnih izdelkov in hkrati povečali operativno učinkovitost proizvodnje. Avtomatizacija meritev je omogočila hitro zaznavo odstopanja v procesih in prilagajanje meritev v realnem času.

Organizacija: Raziskava predstavlja pomemben prispevek k razumevanju kompleksnih povezav med tehnološkimi kazalniki, finančno uspešnostjo ter OEE v avtomobilski industriji.

Družba: Preliminarni rezultati raziskave že dajejo pomemben prispevek za avtomobilsko industrijo, saj poudarjajo ključno vlogo sistema za merjenje poslovnih in tehnoloških uspešnosti ter avtomatizacije pri izboljšanju operativne učinkovitosti. S tem lahko podprejo izboljšano obvladovanje procesov ter dodajo vrednost družbeni odgovornosti in varstvu okolja.

Originalnost: Izvirnost raziskave izvira iz poudarka na procesni tehnološki uspešnosti in avtomatizaciji meritev, ki sta ključna za današnjo industrijo.

Omejitve/nadaljnje raziskovanje: Omejitve raziskave se navezujejo na pristop uporabe študije primera ter na časovne in finančne omejitve. Za nadaljnje raziskave se priporoča poglobljanje v korelacije med kazalniki procesne tehnološke uspešnosti in finančnimi rezultati ter razširitev raziskave na druge industrije.

Ključne besede: merjenje, poslovni procesi, tehnološki procesi, kazalniki uspešnosti, Cpk (procesna zmožnost), OEE (skupna učinkovitost opreme), ROI (donosnost naložb), sistem za monitoring, avtomobilska industrija.

1 Uvod

Avtomobilska industrija se sooča z izzivom izboljšanja kakovosti svojih izdelkov ob hkratnem zmanjševanju stroškov proizvodnje. Za obvladovanje tega izziva je ključnega pomena razvoj novih metod za spremljanje in analizo ključnih kazalnikov uspešnosti. V ta namen smo razvili integriran sistem za merjenje poslovnih in tehnoloških procesov (PTP), ki omogoča učinkovito spremljanje in nadzor tehnoloških procesov ter s tem izboljšanje učinkovitosti in kakovosti proizvodnje. Cilj pričujoče raziskave je organizaciji zagotoviti orodje za natančen monitoring PTP, ki vključuje tehnološke procese in omogoča analizo procesov priprave in montaže z njihovimi podprocesii. Pri razvoju sistema PTP smo posebno pozornost definiranju merljivih in preverljivih kazalnikov uspešnosti, ki omogočajo učinkovit nadzor nad tehnološkimi procesi v organizaciji.

V tem prispevku bomo predstavili preliminarne ugotovitve in rezultate raziskave.

2 Teoretična izhodišča

Merjenje uspešnosti in učinkovitosti PTP je ključnega pomena za proizvodne organizacije. Vendar obstajajo pomanjkljivosti pri trenutnih sistemih merjenja, kateri nimajo ustrezno integriranih tehnoloških procesov (Neely, Gregory, & Platts, 1995).

V teoretičnih izhodiščih problema smo se osredotočili na obvladovanje tehnoloških procesov z merjenjem njihove učinkovitosti in uspešnosti. Merjenje učinkovitosti in uspešnosti zagotavlja učinkovit nadzor in omogoča korekcije (Melnik, Bititci, Platts, Tobias, & Andersen, 2014, str. 175). Dinamično poslovno okolje zahteva, da morajo sistemi za merjenje uspešnosti slediti stalnim spremembam strategij in načinov merjenja. Poleg tradicionalnih metod se pojavljajo tudi nove metode, kot je metoda spremljanja dejavnosti poslovne aktivnosti (Business Activity Monitoring-BAM) (Janiesch, Matzner, & Müller, 2012, str. 626) in metoda storitvenega usmerjanja arhitekture (Service Oriented Architecture-SOA; Malatras, Asgari, Baugé, & Irons, 2008, str. 133). Prav tako se razvijajo nove metode umetne inteligence za spremljanje tehnoloških procesov. Tehnološki proces lahko definiramo kot serijo dejavnosti, ki se izvajajo v določenem vrstnem redu, da se doseže določen cilj. Za učinkovito upravljanje tehnološkega procesa je pomembno uporabljati ustrezne metode in orodja za nadzor in spremljanje procesa ter odkrivanje in odpravljanje napak.

Tabela 1. Pomembni avtorji in njihove raziskovalne teme na področju merjenja uspešnosti tehnoloških in poslovnih procesov

Raziskovalna tema	Avtor in leto
Oblikovanje sistema za merjenje uspešnosti: pregled literature in raziskovalni program	Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995)
Dejavniki, ki vplivajo na razvoj sistemov za merjenje uspešnosti	Kennerley & Neely (2002)
Temeljni koncept Balanced Scorecard (uravnoveženi kazalniki), ki predstavlja proces strateškega načrtovanja	Kaplan (2010)
Strategije za nadzor procesov in odkrivanje napak	Das, Maiti, & Banerjee (2012)
Dokaz koncepta dogodkovno vodenega upravljanja poslovnih dejavnosti	Janiesch, Matzner, & Müller (2012)
Problem napovedovanja periodičnega delovanja poslovnega procesa v realnem času	Kang, Ki, & Kan (2012)
Upravljanje kakovosti v avtomobilski industriji - Zmožnost merilnih procesov	Verband der Automobilindustrie (VDA) (2011)
Ali sistemi za merjenje procesov (PMS) ustrezajo potrebam upravljanja poslovnih procesov (BPM)	Choong, Kwee Keong (2013)
Okvir za merjenje delovanja vzdrževanja z uporabo analitičnega mrežnega procesa (ANP) za izbiro indikatorjev učinkovitosti vzdrževanja	Horenbeek & Pintelon (2013)
Zanesljivost in statistika procesov	Durivage (2014)
Koraki za izboljšanje delovanja organizacije z upravljanjem poslovnih procesov in dodano vrednostjo	Hyötyläinen (2015)
Sistematičen pristop za diagnozo trenutnega stanja sistemov za upravljanje kakovosti in poslovnih procesov	Garza-Reyes (2017)

Vsi naštetni avtorji v Tabeli 1 so prispevali k razvoju teoretičnih in praktičnih pristopov za upravljanje tehnoloških procesov, ki lahko organizacijam pomagajo izboljšati svoje poslovanje in doseči konkurenčno prednost. Ti pristopi vključujejo analizo in diagnozo poslovnih procesov (Horenbeek & Pintelon 2013, str. 34), izbiro ključnih kazalnikov delovanja (Neely, Gregory & Platts, 1995, str. 108), spremljanje in nadzor procesov (Das, Maiti, & Banerjee 2012, str. 721), odkrivanje in odpravljanje napak ter upravljanje sprememb (Hyötyläinen 2015, str. 3; Janiesch, Matzner, & Müller, 2012, str. 627). Avtorji Hyötyläinen, 2015 (str. 163); vom Brocke in Schmiedel (2015, str. 194) se ukvarjajo tudi z vprašanji, kot so relacijski kapital, absorpcijska zmožnost, zanesljivost procesov in upravljanje vzdrževanja. Njihove ugotovitve kažejo na pomembnost merjenja uspešnosti tehnoloških procesov za doseganje konkurenčne prednosti.

Avtorji Durivage (2014, str. 143) ter Horenbeek in Pintelon (2013, str. 36) se ukvarjajo 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.

Tehnološki procesi, ki jih analiziramo v avtomobilski industriji, vključujejo sestavo in montažo, le ti pa vključujeta 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, str. 115) se ukvarja s procesi, ki so primarnega pomena v avtomobilski industriji in 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 in 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, & Soranzo, 2017, str. 1151).

Proces končne kontrole je zadnja operacija v tehnološkem procesu, ki ga obravnavamo v raziskavi. Ta proces je ključen za zagotavljanje kakovosti izdelka. Za izvedbo tega procesa se uporabljajo različne metode in orodja za pregled in testiranje izdelka. Ti pristopi vključujejo uporabo analitičnega mrežnega procesa (analytic network process-ANP) za izbiro kazalnikov učinkovitosti in sistemski pristop za diagnozo trenutnega stanja sistemov za upravljanje kakovosti in poslovnih procesov (Garza-Reyes, 2017, str. 22; Horenbeek & Pintelon, 2013, str. 34).

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. Avtorji, kot so Durivage (2014, str. 93), Agostini, Nosella, in Soranzo (2017, str. 1147), Garza-Reyes (2017, str. 4), Horenbeek in Pintelon (2013, str. 45) ter še nekateri drugi so predstavili različne pristope in metode, ki vključujejo statistične metode, merjenje parametrov (navor, čas, število obratov, temperatura, masa in čas) in uporabo orodij za pregled in testiranje izdelka.

Iz pregleda literature smo prepoznali priložnost za znanstveni prispevek na področju razvoja integriranega sistema za merjenje poslovnih in tehnoloških procesov (PTP) v avtomobilski industriji, ki bi omogočil boljšo usklajenost tehnoloških procesov, merjenje ključnih kazalnikov uspešnosti ter izboljšanje kakovosti in učinkovitosti proizvodnje. Raziskava temelji na študiji primera.

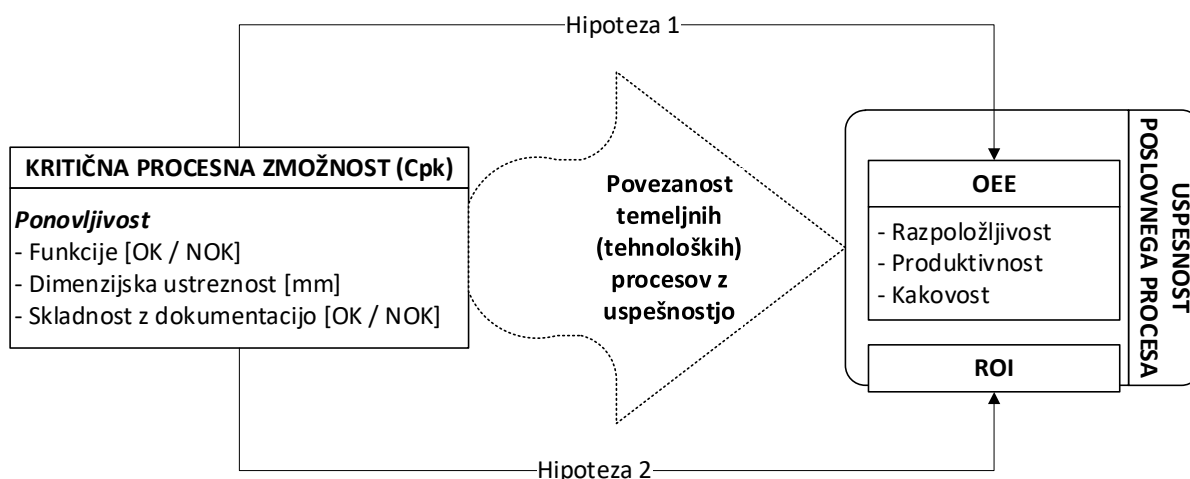
Raziskavo smo izvedli z namenom, da bi razumeli korelacije med tehnološkimi kazalniki kritičnih procesnih zmožnosti (*ang.* Critical Process Capability v nadaljevanju Cpk), splošno učinkovitost opreme (*ang.* Overall Equipment Effectiveness v nadaljevanju OEE) in finančnim kazalnikom dobičkonosnost vložnega kapitala (*ang.* Return on Investment v nadaljevanju ROI) ter pomembnost te korelacije za celovito uspešnost organizacij v tem sektorju.

V okviru konceptualnega modela raziskave (Slika 1) smo postavili Cpk na levo stran, kjer smo preučevali, kako je povezan z uspešnostjo poslovnega procesa, ki vključuje OEE in ROI na desni strani. Ta model smo razvijali med izvajanjem raziskave.

Raziskovalno vprašanje, ki nas je vodilo tekom raziskave se glasi: »Kakšna je povezanost med tehnološkimi kazalniki Cpk in OEE ter finančnim kazalnikom ROI?«, zato smo med izvajanjem preliminarne raziskave preverjali naslednji hipotezi:

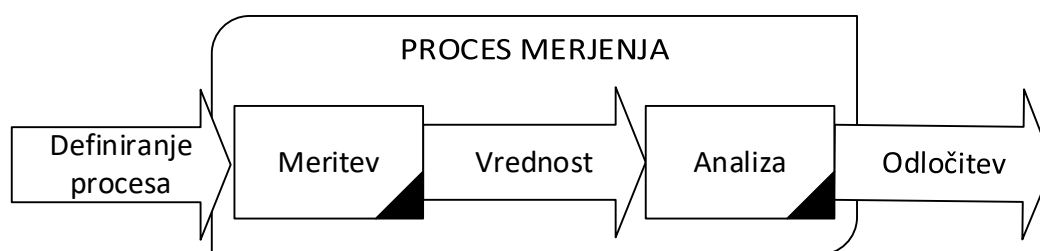
H1: Cpk je statistično značilno povezana z vrednostjo OEE.

H2: ROI je statistično značilno povezana s Cpk.



Slika 1. Konceptualni model raziskave

Merjenje procesov smo izvajali v skladu s procesom merjenja, kot je prikazano na sliki 2. Ta proces vključuje definiranje metode merjenja ter pridobivanje in analizo podatkov o kazalnikih za preverjanje uspešnosti procesa. Na podlagi analize smo sprejeli odločitve o izboljšavah in nadaljnjih ukrepih za doseganje določenih ciljev procesa.



Slika 2. Proces merjenja

Ta raziskava predstavlja pomemben korak v razumevanju kompleksnih povezav med tehnološkimi kazalniki Cpk in OEE ter finančno uspešnostjo v avtomobilski industriji.

3 Metoda

Za namen raziskave smo zbirali podatke o tehnoloških procesih s postopkom merjenja, ki nam je omogočil pridobivanje objektivnih in zanesljivih podatkov za analize. Uporabljali smo različna orodja in metode, ki so segale od preprostih, kot so merila in tehtnice, do kompleksnih naprav, kot je koordinatni merilni stroj in fotometer.

Pri izvajanju meritev smo natančno sledili standardu ISO 22514-7:2012 (ISO 2012), ki določa minimalno število meritev za vsako operacijo. Naš pristop k merjenju je vključeval številne premisleke in natančno načrtovanje (Kaplan, 2010, str. 28).

Za operacije kjer je proces montaže v fazi zagona odstopal od predpisanega tolerančnega območja smo izvedli obsežno analizo montaže, ki je vključevala vsaj 700 meritev. Za merjenje tehnološkega procesa montaže s 15 operacijami smo opravili meritve na vsaj 750 kosih. Za analizo zadnje operacije montaže, kjer smo preverjali funkcijo, dimenzijsko ustreznost in kakovost, smo izvedli 250 meritev. Za merjenje smo uporabili specializirane naprave, kot sta vijačnik in lepilna naprava, ki so omogočile avtomatizirano beleženje ključnih podatkov, vključno z navorom, številom obratov, temperaturo, maso lepila ter časom vijačenja oz. lepljenja. Natančnost meritev smo zagotovili z uporabo kontrolnih orodij, kot so tehtnica, termometer in štoparica. Analogne kazalnike smo merili s preprostim postopkom merjenja cikla, pri čemer smo zabeležili čas, potreben za izvedbo posameznega koraka v procesu. Vsako merjenje smo večkrat ponovili, da bi dobili natančne podatke.

Merjenje procesnih zmožnosti smo izvedli v skladu s standardom ISO 22514-7:2012 (ISO 2012), kar nam je omogočilo oceno Cpk ter učinkovitost in kakovost procesa. Ta zahteven postopek merjenja je trajal eno leto in vključeval več tisoč meritev. V primerih, ko se je po optimizaciji pokazalo, da proces ni bil stabilen, smo meritve in optimizacijo večkrat ponovili.

Vse izvedene meritve so bile ključne za analizo Cpk, ki so v našem primeru zajemale tri ključne kazalnike: funkcijo, dimenzijsko ustreznost in skladnost z dokumentacijo (slika 1). Ta obsežen pristop je zagotovil najvišjo možno kakovost proizvodnega procesa in izdelka.

Za namen raziskave smo izdelali konceptualni model (slika 1), ki je vključeval ožji nabor kazalnikov za analizo. Za izračun uspešnosti poslovnega procesa smo uporabili OEE, ki je sestavljen iz treh kazalnikov: razpoložljivost, produktivnost in kakovost. Poleg tega smo uporabili tudi kazalnik ROI, ki je skupaj z OEE predstavljal uspešnost poslovnega procesa.

V raziskavi smo za statistično analizo uporabili dve različni programska orodja, in sicer Minitab in SPSS. Pri preverjanju hipotez smo se osredotočili na kazalnike Cpk, ki smo jih določili s programsko opremo Minitab. Za potrditev hipotez smo morali doseči vrednost kazalnika Cpk najmanj 1,67, kar izhaja iz metodologije Six Sigma. Ta vrednost je bila ključna za potrditev

hipotez, kot so navedene v virih Pyzdek (2003, str. 475), Aized (2012, str. 251) in Pojasek (2003, str. 4).

Cpk je kazalnik skladnosti procesa s specifikacijami in meri, kako dobro obvladujemo proces glede na zahteve specifikacij izdelka ali storitve. Metodologija Six Sigma si prizadeva za zmanjšanje variabilnosti procesov in zagotavljanje visoke kakovosti izdelkov Pyzdek (2003). Uporaba Cpk v naši analizi nam je omogočila natančno in kredibilno preverjanje naših hipotez.

V besedilu uporabljamo oznake, kot na primer »_L3«, ki so ključne za razumevanje določenih lastnosti v našem analitičnem postopku. Vsaka oznaka sestoji iz črke (npr. L za levo stran in D za desno stran montažne linije) ter številke, ki označuje zaporedno številko optimizacije tehnološkega procesa, na primer »_L3« za levo stran in tretjo optimizacijo.

Za preverjanje H1 smo uporabili regresijsko analizo, pri čemer smo v model vključili kazalnike, ki smo jih izmerili po drugi optimizaciji. Ničtih in prvih kazalnikov nismo testirali, saj se je izkazalo, da Cpk po drugi optimizaciji tehnoloških procesov še vedno ni bil skladen s specifikacijo. 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 (glej sliko 1). Enak regresijski model smo uporabili tudi za kazalnike po tretji optimizaciji, saj so bili ti kazalniki skladni s specifikacijo. Zato smo s 100 % gotovostjo izvedli še eno analizo, ki je vključevala kazalnike, ki so ustrezali specifikaciji, to so bili kazalniki po tretji optimizaciji.

Na podlagi H1 smo zapisali enačbo regresijskega modela za napovedovanje vrednosti OEE_L3 na osnovi kazalnikov (Cpk) Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L (preglednica 31):

$$\begin{aligned} OEE_{L3} = & b_0 + b_1 \text{funkcije_3L} + b_2 \text{dimenzijska_ustreznost_3L} \\ & + b_3 \text{skladnost_z_dokumentacijo_3L} + \varepsilon \end{aligned} \quad 3.1$$

Kjer je:

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

Na podlagi osnovane H2 smo zapisali enačbo regresijskega modela za preverjanje odnosa med ROI_3L in Funkcijami_3L, Dimenzijsko ustreznostjo_3L ter Skladnostjo z dokumentacijo_3L. Enačbo (3.2) smo zapisali:

$$\begin{aligned} ROI_{3L} = & b_0 + b_1 * \text{Funkcije_3L} + b_2 * \text{Dimenzijskaustreznost_3L} \\ & + b_3 * \text{Skladnostzdokumentacijo_3L} + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.2)$$

Kjer 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 b_0 konstanta;

ε – napaka modela, ki predstavlja vse druge dejavnike, ki vplivajo na ROI in jih ni mogoče meriti z vključenimi neodvisnimi spremenljivkami.

S H2 smo preverjali, če obstaja povezava med ROI in Cpk. Za preverjanje hipoteze smo uporabili statistično testiranje z regresijsko analizo, ki temelji na analizi podatkov in ugotavljanju verjetnosti, ali so opaženi rezultati naključni ali resnični. Za preverjanje hipoteze 2 smo primerjali ROI med skupinami z različnimi Cpk. Primerjali smo statistične kazalnike in izračunali p-vrednost, ki nam pove, kolikšna je verjetnost, da so razlike med kazalniki naključne. Če je p-vrednost manjša od ravni pomembnosti (0,05), zavrnilo ničto hipotezo in sklepamo, da obstaja statistično pomembna razlika med kazalniki.

Validacija je ključnega pomena, saj nam omogoča dokazovanje zmožnosti procesov za doseganje načrtovanih rezultatov. Kljub temu pa se včasih znajdemo v situacijah, kjer dvomimo v zmožnost ustvarjanja zanesljive ocene, ki bi nas prepričala o vsebinski veljavnosti validacije, kot sta jo opisala Carder in Ragan (2004, str. 129).

Skladno s standardom ISO 9001:2015 (ISO 2015) mora vsaka organizacija validirati svoje procese PTP, kadar se skladnost procesov ne da zagotoviti s poznejšim nadzorom in merjenjem. To vključuje vse procese, pri katerih se pomanjkljivosti razkrijejo šele v fazi uporabe izdelka ali storitve. Po vsakem opravljenem merjenju je potrebno izvesti validacijo meritev. Validacijo oz. preverjanje celovitosti meritev lahko izvedemo na podlagi prejšnjih analiz, meritev, razmisleka o problemu in našega poznavanja okoliščin.

4 Rezultati

Za potrditev hipotez smo uporabili Cpk analizo v programu Minitab. Hkrati smo izvedli regresijsko analizo, kar predstavlja temelj za potrditev znanstvenih predpostavk v našem raziskovalnem delu.

4.1 Analiza kazalnikov z Minitabom

Analiza podatkov prikazuje rezultate merjenja funkcije gradienta DRL (dnevni luči - Daytime Running Lights) - obvezne opreme avtomobilov. Namen analize, izvedene s programsko opremo Minitab, je bil preveriti funkcionalnost dnevnih luči.

V nadaljevanju so predstavljene funkcije, označene kot Funkcija_2L, Funkcija_2D, Funkcija_3L in Funkcija_3D. Oznaki "2L" in "2D" predstavljata meritve po drugi optimizaciji za levo in desno DRL. Številka "3" pa se nanaša na tretjo optimizacijo. Kazalnik funkcije predstavlja gradient, matematični koncept, ki omogoča razumevanje sprememb funkcije DRL v različnih kontekstih. Gradient predstavlja stopnjo spremembe te funkcije v odvisnosti od različnih dejavnikov.

Analiza podatkov za Funkcijo_L3 in Funkcijo_3D kaže, da so bile ciljne vrednosti za ta kazalnik tudi postavljene na sredino med spodnjo (*ang.* lower specification limit-LSL) in zgornjo (*ang.* upper specification limit-USL) specifikacijo. Povprečna vrednost za Funkcijo_L3 je bila izmerjena na 160,116 z nizko standardno deviacijo znotraj vzorca (1,00621) in splošno standardno deviacijo 1,00109. Povprečna vrednost za Funkcijo_3D je bila izmerjena na 160,194 z zelo nizko standardno deviacijo znotraj vzorca (0,99799) in splošno standardno deviacijo 0,99292. Rezultati analize kažejo, da so bile ciljne vrednosti za Funkcijo_2 dosežene, vendar so bile standardne deviacije pri Funkciji_2D višje kot pri Funkciji_2L. Funkcija_L3 in Funkcija_3D sta pokazali zelo nizko standardno deviacijo, kar kaže na visoko natančnost meritev (Tabela 2).

Tabela 2. Procesni podatki za kazalnik funkcij

Kazalnik	LSL	Target	USL	Sample Mean	Sample N	StDev(Within)	StDev(Overall)
Funkcija_2L	152	*	168	160,090	50	1,96692	1,95691
Funkcija_2D	152	*	168	159,888	50	2,04022	2,02984
Funkcija_3L	152	*	168	160,116	50	1,00621	1,00109
Funkcija_3D	152	*	168	160,194	50	0,99799	0,99292

Opomba. LSL (Lower Specification Limit) predstavlja spodnjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Target označuje ciljno vrednost, ki jo kupec ali konstruktor želi doseči. Pogosto se nahaja med LSL in USL ter ni nujno enaka srednji vrednosti. USL (Upper Specification Limit) predstavlja zgornjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Sample Mean predstavlja povprečno vrednost izmerjenih podatkov. Sample N predstavlja število izmerjenih podatkov. StDev (Within) predstavlja standardni odklon vzorca. StDev (Overall) predstavlja standardni odklon celotnega procesa. Specifikacija kupca določa vrednost gradienta kjerkoli LSL in USL. Kljub temu, da so dovoljene vrednosti gradienta kjerkoli v tem območju, je zaradi centričnosti tehnološkega procesa najprimerneje, da se vrednost gradienta nahaja sredi med LSL in USL.

Tabela 3 prikazuje izračun potencialne zmogljivosti (*ang.* potential capability) in zmogljivosti znotraj območja (*ang.* within capability) za vsako spremenljivko, ki se nanaša na funkcije (Funkcija_2L, Funkcija_2D, Funkcija_L3 in Funkcija_3D). Potencialna zmogljivost odraža popolno usklajenost procesa s specifikacijami izdelka, medtem ko zmogljivost znotraj območja ocenjuje dejansko zmogljivost procesa glede na spremenljivost podatkov znotraj območja specifikacij.

Vsaka spremenljivka ima dve vrednosti za zmogljivost znotraj območja: CPL za spodnjo mejo specifikacije in CPU za zgornjo mejo specifikacije. Zmogljivost znotraj območja se izračuna kot razmerje med razdaljo med mejo specifikacije in standardnim odklonom znotraj območja.

Poleg tega tabela 3 prikazuje še Cpk, ki je pokazatelj skladnosti procesa s specifikacijami. Vrednost Cpk, ki je manjša od 1,33, kaže, da proces ni skladen s specifikacijami, medtem ko vrednost nad 1,67 kaže, da je proces skladen s specifikacijami.

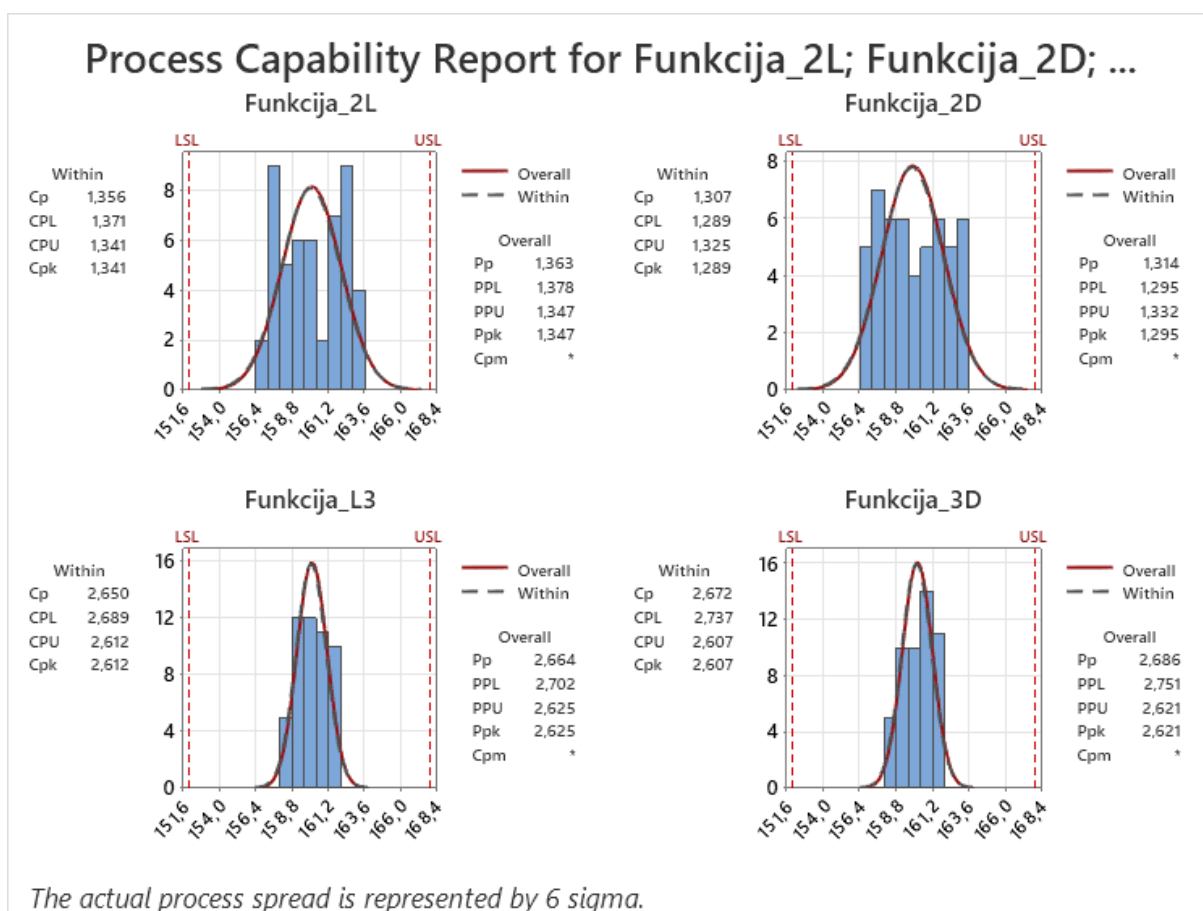
Glede na podatke v tabeli 3 lahko vidimo, da so vrednosti potencialne zmogljivosti in zmogljivosti znotraj območja za funkcije po optimizaciji 3 višje kot po optimizaciji 2. Poleg tega so vrednosti Cpk za funkcije po optimizaciji 3 višje kot 1,33, kar kaže, da so vrednosti funkcij po optimizaciji 3 skladne s tehnično specifikacijo.

Tabela 3: Potencialne zmogljivosti in zmogljivosti znotraj območja za kazalnik funkcij

Kazalnik	Cp	CPL	CPU	Cpk
Funkcija_2L	1,356	1,371	1,341	1,341
Funkcija_2D	1,307	1,289	1,325	1,289
Funkcija_3L	2,650	2,689	2,612	2,612
Funkcija_3D	2,672	2,737	2,607	2,607

Opomba. 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 oziroma večje od zgornje meje specifikacije, Cpk pa označuje kazalnik kritične procesne zmožnosti v primerjavi s sredino toleranc. Specifikacija zahteva, da je Cpk večji od 1,67 (6 Sigma).

Slika 3 nazorno prikazuje izboljšane kazalnike Cpk Funkcija_L3 in Funkcija_3D v primerjavi s Funkcija_2L in Funkcija_2D. Po tretji optimizaciji smo dosegli Cpk vrednosti, ki so izpolnjevale zahteve specifikacij, pri čemer smo to dosegli tako na levi kot desni strani. Ta slika ponuja pregledno vizualno primerjavo in olajša razumevanje rezultatov analize.



Slika 3. Poročilo Cpk za funkcije

Rezultati (Tabela 4) kažejo, da je pri optimizaciji 2 na levi strani (Dimenzijska_ustreznost_2L) standardni odklon znotraj vzorca 4,27897, kar presega zahtevano specifikacijo. To pomeni, da optimizacija 2 ni zadostila tehničnim zahtevam za dimenzijsko ustreznost. Podobno je rezultat tudi na desni strani (Dimenzijska_ustreznost_2D), kjer standardni odklon znotraj vzorca znaša 3,99365.

Po drugi strani pa je pri optimizaciji 3 dosežena zadostna dimenzijska ustreznost, saj so standardni odkloni znotraj vzorca za Dimenzijska_ustreznost_3L in Dimenzijska_ustreznost_3D le 0,82414 in 0,70193. Poleg tega so vrednosti za obe strani skladne s tehnično specifikacijo.

Vrednosti standardnega odklona znotraj vzorca merijo, kako dobro so vzorci razporejeni okoli povprečne vrednosti. Manjši kot je standardni odklon, boljše so dimenzijske ustreznosti. Prikazan je tudi standardni odklon za vse vzorce (*ang.* StDev(Overall)), ki meri splošno variabilnost procesa in je podoben standardnim odklonom znotraj vzorca.

Skupaj gledano, rezultati kažejo, da je bila optimizacija 2 neuspešna pri doseganju zadostne dimenzijske ustreznosti, medtem ko je optimizacija 3 dosegla zahtevane standarde.

Tabela 4. Procesni podatki za kazalnik dimenzijske ustreznosti

Kazalnik	Sample				Sample N	StDev(Within)	StDev(Overall)
	LSL	Target	USL	Mean			
Dimenzijska_ustreznost_2L	132,05	*	145,95	138,300	50	4,27897	4,25719
Dimenzijska_ustreznost_2D	132,05	*	145,95	138,720	50	3,99365	3,97333
Dimenzijska_ustreznost_3L	132,05	*	145,95	139,044	50	0,82414	0,81995
Dimenzijska_ustreznost_3D	132,05	*	145,95	139,062	50	0,70193	0,69836

Opomba. LSL (Lower Specification Limit) predstavlja spodnjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Target označuje ciljno vrednost, ki jo kupec ali konstruktor želi doseči. Pogosto se nahaja med LSL in USL ter ni nujno enaka srednji vrednosti. USL (Upper Specification Limit) predstavlja zgornjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Sample Mean predstavlja povprečno vrednost izmerjenih podatkov. Sample N predstavlja število izmerjenih podatkov. StDev (Within) predstavlja standardni odklon vzorca. StDev (Overall) predstavlja standardni odklon celotnega procesa. Višja standardna deviacija pomeni, da so podatki bolj razpršeni okoli srednje vrednosti, kar kaže na večjo variabilnost procesa. Nižja standardna deviacija pa pomeni manjšo razpršenost podatkov in boljše nadzorovan proces. Standardna deviacija prispeva k izračunu Cpk in oceni sposobnosti procesa za proizvodnjo izdelkov znotraj določenih specifikacijskih zahtev.

Iz tabele 5 lahko razberemo, da je procesni kazalnik dimenzijske ustreznosti za optimizacijo 2L in 2D (leva in desna stran) prenizek. Vrednosti kazalnikov Cp, CPL, CPU in Cpk so pod 1 kar kaže na to, da proces ne izpolnjuje tehničnih zahtev. Na drugi strani pa so vrednosti kazalnikov za optimizacijo 3L in 3D zelo visoke in presegajo 2. To kaže na to, da so dimenzije proizvoda v skladu s tehnično specifikacijo in da proces dobro izpolnjuje zahteve.

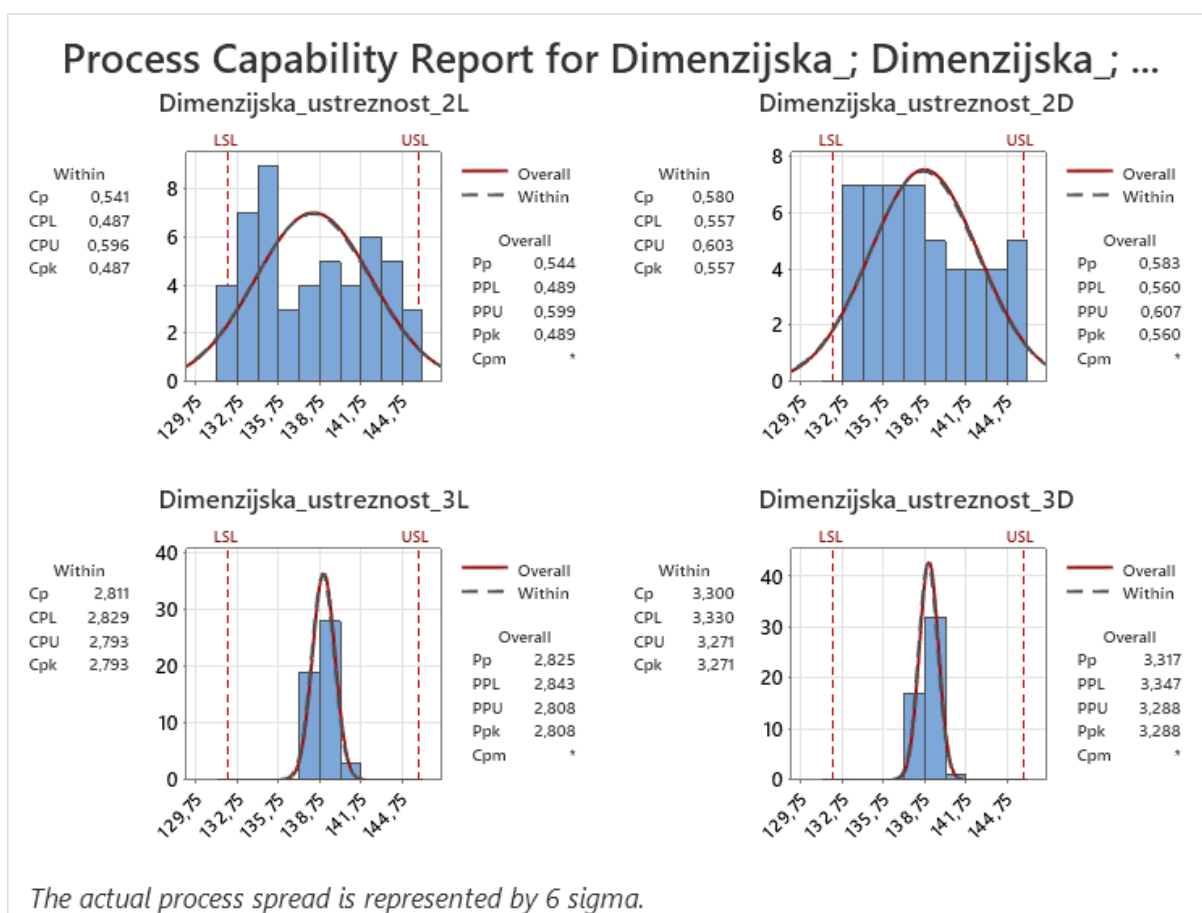
Poleg tega lahko opazimo, da je vrednost standardnega odklona celotnega procesa (StDev(Overall)) manjša pri optimizaciji 3L in 3D kot pri optimizaciji 2L in 2D, kar pomeni, da je proces manj variabilen in bolj stabilen pri optimalnih nastavitvah 3.

Tabela 5. Potencialne zmogljivosti in zmogljivosti znotraj območja za kazalnik dimenzijske ustreznosti

Kazalnik	Cp	CPL	CPU	Cpk
Dimenzijska_ustreznost_2L	0,541	0,487	0,596	0,487
Dimenzijska_ustreznost_2D	0,580	0,557	0,603	0,557
Dimenzijska_ustreznost_3L	2,811	2,829	2,793	2,793
Dimenzijska_ustreznost_3D	3,300	3,330	3,271	3,271

Opomba. Vrednost Cp predstavlja razmerje med tolerančnim intervalom in standardnim odklonom procesa, medtem ko kazalnika CPL in CPU prikazujeta, kako dobro proces izpolnjuje specifikacijo v spodnjem in zgornjem delu tolerance. Vrednost Cpk predstavlja manjšo vrednost med kazalnikoma CPL in CPU, kar kaže na to, da je proces omejen z manjšim od obeh tolerančnih intervalov. Specifikacija zahteva, da je Cpk večji od 1,67 (6 Sigma).

Slika 4 prikazuje vrednosti kazalnikov Cp, CPL, CPU in Cpk za vsako od štirih spremenljivk. Ti kazalniki so grafično predstavljeni na sliki, kar omogoča boljše razumevanje njihovih vrednosti. Iz slike 4 je jasno razvidno, da so vrednosti Cp, CPL, CPU, in Cpk za optimizacija 3L in 3D veliko višje v primerjavi z optimizacija 2L in 2D, kar pomeni, da je optimizacija 3 boljše izpolnila tehnične specifikacije.



Slika 4. Poročilo Cpk za dimenzijska ustreznost

Manjša standardna deviacija znotraj vzorca pomeni, da so izdelki v skladu z ozkimi tolerancami in ustrezajo tehničnim zahtevam.

Kazalnik skladnosti ocenjuje, kako dobro izdelki ustrezajo predpisanim specifikacijam po UN/ECE R87 (UN/ECE 2010). Ta kazalnik pomaga razumeti, kako pogosto se pojavijo razlike med dejanskimi izdelki in njihovimi specifikacijami. Za naše raziskovalne namene ni pomembna regulativa UN/ECE R87 (UN/ECE 2010), saj določa le, katere specifikacije morajo izdelki izpolnjevati, da veljajo za skladne.

Iz tabele 6 je razvidno, da optimizacija 2 ni skladna z tehničnimi zahtevami, saj so vsi kazalniki skladnosti (Skladnost_2L in Skladnost_2D) presegli zgornjo mejo tehnične specifikacije (USL). Standardne deviacije znotraj vzorca so relativno visoke za obe funkciji, kar kaže na visoko variabilnost izdelkov. Na drugi strani pa so funkciji Skladnost_3L in Skladnost_3D dosegle veliko višje vrednosti kazalnikov skladnosti, kar kaže na to, da sta optimizaciji 3 skladni s tehničnimi zahtevami, ki jih predpisuje UN/ECE R87. (UN/ECE 2010). Standardne deviacije znotraj vzorca za funkciji Skladnost_3L in Skladnost_3D so precej nizke, kar kaže na bolj skladne izdelke.

Tabela 6. Procesni podatki za kazalnik skladnosti

Kazalnik	LSL	Target	USL	Sample			
				Mean	Sample N	StDev(Within)	StDev(Overall)
Skladnost_2L	142,12	*	157,08	149,314	50	1,93578	1,92593
Skladnost_2D	142,12	*	157,08	149,102	50	2,17079	2,15974
Skladnost_3L	142,12	*	157,08	149,580	50	0,63374	0,63052
Skladnost_3D	142,12	*	157,08	149,628	50	0,62243	0,61926

Opomba. LSL (Lower Specification Limit) predstavlja spodnjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Target označuje ciljno vrednost, ki jo kupec ali konstruktor želi doseči. Pogosto se nahaja med LSL in USL ter ni nujno enaka srednji vrednosti. USL (Upper Specification Limit) predstavlja zgornjo mejo specifikacije, ki jo določa kupec ali konstruktor. Sample Mean predstavlja povprečno vrednost izmerjenih podatkov. Sample N predstavlja število izmerjenih podatkov. StDev (Within) predstavlja standardni odklon vzorca. StDev (Overall) predstavlja standardni odklon celotnega procesa. Višja standardna deviacija pomeni, da so podatki bolj razpršeni okoli srednje vrednosti, kar kaže na večjo variabilnost procesa. Nižja standardna deviacija pa pomeni manjšo razpršenost podatkov in boljše nadzorovan proces. Standardna deviacija prispeva k izračunu Cpk in oceni sposobnosti procesa za proizvodnjo izdelkov znotraj določenih specifikacijskih zahtev.

V Tabeli 7 so rezultati kazalnika skladnosti za štiri spremenljivke (Skladnost_2L, Skladnost_2D, Skladnost_3L in Skladnost_3D). Vrednost Cpk se osredotoča na skladnost procesa glede na specifikacije. Za proces, da velja za skladen mora biti Cpk vsaj 1,67. Če je vrednost manjša to kaže na večje variacije.

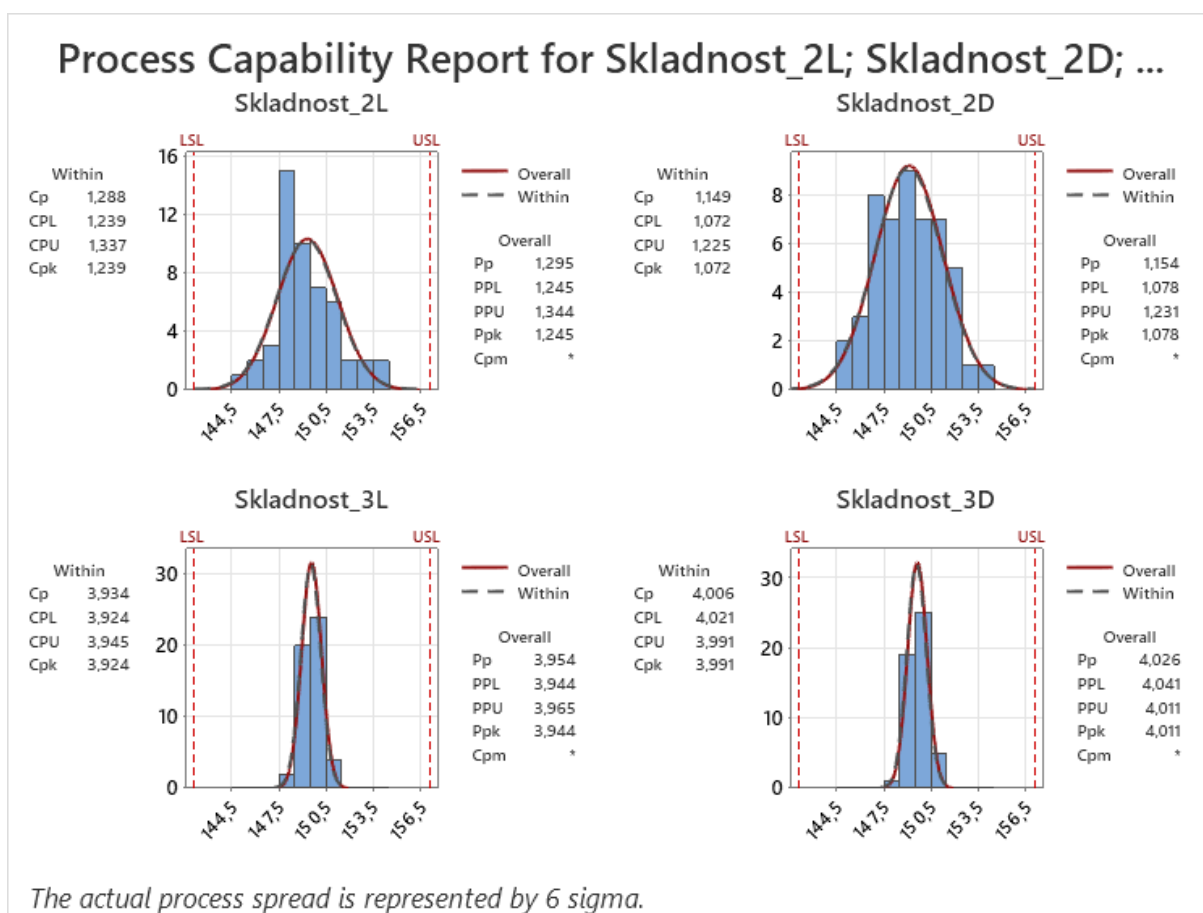
Iz Tabele 7 lahko vidimo, da za Skladnost_2L in Skladnost_2D Cpk ne dosega 1,67, kar pomeni, da proces ni skladen in obstajajo večje variacije. To je zahtevalo izboljšave v tehnološkem procesu. Po tretji optimizaciji je Cpk za Skladnost_3L in Skladnost_3D presegel 1,67, kar kaže na skladnost procesa in manj kot 0,6% izdelkov, ki ne ustrezajo specifikacijam po UN/ECE R87 (UN/ECE 2010).

Tabela 7. Potencialne zmogljivosti in zmogljivosti znotraj območja za kazalnik skladnost

Variable	Cp	CPL	CPU	Cpk
Skladnost_2L	1,288	1,239	1,337	1,239
Skladnost_2D	1,149	1,072	1,225	1,072
Skladnost_3L	3,934	3,924	3,945	3,924
Skladnost_3D	4,006	4,021	3,991	3,991

Opomba. 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 oziroma večje od zgornje meje specifikacije, Cpk pa označuje kazalnik kapacitete procesa v primerjavi s sredino toleranc. Specifikacija zahteva, da je Cpk večji od 1,67 (6 Sigma).

Slika 5 prikazuje vrednosti kazalnikov Cp, CPL, CPU, in Cpk za vsako od štirih spremenljivk. Ti kazalniki so grafično predstavljeni na sliki, kar omogoča boljše razumevanje njihovih vrednosti. Iz slike 5 je jasno razvidno, da so vrednosti Cp, CPL, CPU, in Cpk za Skladnost_3L in Skladnost_3D veliko višje v primerjavi s Skladnost_2L in Skladnost_2D, kar pomeni, da je optimizacija 3 izpolnila tehnične specifikacije.



Slika 5. Poročilo Cpk za skladnost

V primerjavi med optimizacijama 2 in 3 smo primerjali Cpk, OEE in ROI kar prikazuje tabela 8. Rezultati kažejo, da optimizacija 2 ni zadostila tehničnim zahtevam, saj so bile njene vrednosti Cpk, OEE in ROI nižje v primerjavi z optimizacijo 3. Pri optimizaciji 3 smo dosegli bistveno višje vrednosti Cpk in OEE, kar je prineslo tudi večji ROI v primerjavi z optimizacijo 2.

Kazalniki Cpk, ki se nanašajo na funkcije, dimenzije in skladnost so se po optimizaciji 3 občutno izboljšale, kar je ključnega pomena za zagotavljanje kakovosti izdelka.

Kazalnik OEE je prav tako pokazal izboljšanje, kar kaže na večjo učinkovitosti proizvodnje. Optimizacija 3 je izboljšala vse tri komponente OEE, kar pomeni večjo razpoložljivost opreme, večjo produktivnost in višjo kakovost izdelkov. Prav tako se je znatno povečal ROI, kar kaže na uspešno naložbo z večjimi koristmi od začetnih stroškov.

Tabela 8. Povzetek rezultatov optimizacij Cpk , OEE in ROI

	Optimizacija 2	Optimizacija 3
Cpk	<2	>2
Funkcije	1,31	2,61
Dimenzije	0,52	3,03
Skladnost	1,16	3,96
OEE		
OEE	78,36	85,41
Razpoložljivost	89,66	91,98
Produktivnost	89,81	92,10
Kakovost	97,07	98,60
ROI	2.915.182,27 €	7.978.259,00 €

Opomba. Pri izračunu ROI smo upoštevali različne stroške, vključno z razvojem, izdelavo orodij, pripravi, industrializacijo, zagonskimi, obratovalnimi in stroški nekakovosti. Po optimizaciji2 smo porabili še 1,5 k€ za izboljšave.. To je zmanjšalo stroške obratovanja in stroške nekakovosti izdelkov, kar je upravičilo večjo investicijo.

Optimizacija 3 je stala nekaj več kot 1,5 milijona evrov, vključno z nadgradnjo in izboljšavami proizvodnih naprav z testiranjem. Kljub začetnim stroškom se je naložba izplačala zaradi povečane učinkovitosti in izboljšane kakovosti. To je privedlo do večjih prihodkov in manjših operativnih stroškov. Naša analiza kaže visok ROI po tretji optimizaciji v primerjavi z drugo, kar potrjuje, da so bili začetni stroški upravičeni.

4.2 Rezultati preverjanja H1

Na podlagi rezultatov linearne regresijske analize smo ugotovili, da obstaja statistično značilna povezava med Cpk in OEE. Višji Cpk pomeni boljši OEE, kar je ključno za avtomobilsko industrijo, saj redno spremljanje Cpk izboljšuje OEE (Baciarello & Schiraldi, 2015, str. 3). Poleg tega so tudi drugi dejavniki, kot je izobraževanje zaposlenih (Neely, Gregory, & Platts, 1995, str. 84), vplivali na OEE v tej industriji. Prav tako so pomembni upravljanje kakovosti, pristop k vzdrževanju ter uporaba tehnologije (Scagliarini, 2018, str. 2).

Rezultati preverjanja H1 kažejo, da so vrednosti spremenljivke OEE_L3 razpršene okoli povprečne vrednosti, medtem ko so vrednosti spremenljivk Funkcije_3L, Dimenzijska ustreznost_3L in Skladnost z dokumentacijo_3L relativno blizu povprečne vrednosti. Te ugotovitve nakazujejo na močnejšo povezanost kazalnikov OEE s kazalniki Cpk kot s spremembami v drugih fazah tehnološkega procesa.

H1 predpostavlja statistično značilno povezavo med Cpk in OEE. Za preverjanje te hipoteze smo uporabili kazalnike po drugi in tretji optimizaciji. V našem regresijskem modelu smo vključili vse kazalnike Cpk, vključno z merjenjem ponovljivosti, prikazanim s kazalniki funkcij, dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo. Odvisna spremenljivka je bila

OEE, ki smo jo predstavili z razpoložljivostjo, produktivnostjo in kakovostjo. Enak regresijski model smo uporabili tudi za kazalnike po tretji optimizaciji, saj so bili ti kazalniki skladni s specifikacijo (Enačba 3.1).

V analizi povezav med spremenljivkami smo se zanašali na uporabo Pearsonove korelacije (Tabela 9). Ta statistična metoda nam je omogočila, da smo kvantitativno ovrednotili linearno povezanost med numeričnimi spremenljivkami ter ocenili stopnjo te povezanosti (Hair et al., 2014, str. 379).

Opazili smo, da med OEE_L3 in Funkcijami_3L (Tabela 9) obstaja negativna korelacija (-0,327), kar pomeni, da višja ocena Funkcij_3L običajno sovпада z nižjo oceno OEE_L3. Prav tako smo ugotovili nizko negativno korelacijo med OEE_L3 in Dimenzijsko ustreznostjo_3L (-0,012), kar kaže na povezavo med dimenzijsko ustreznostjo in kakovostjo proizvodnje, vendar je ta povezava šibkejša. Poleg tega smo zaznali negativno korelacijo med OEE_L3 in Skladnostjo z dokumentacijo_3L (-0,267), kar pomeni, da boljša skladnost z dokumentacijo običajno sovпада z nižjo oceno OEE_L3.

Korelacija med Funkcijami_3L in Dimenzijsko ustreznostjo_3L je zelo nizka (-0,051) in ni statistično značilna (p-vrednost = 0,362). To kaže na nekaj povezanosti med tema dvema spremenljivkama, vendar statistično ni potrjena. Kljub temu, ker smo že potrdili zadostitev zahtev specifikacije s Cpk v Minitabu, ta korelacija lahko služi kot začetna točka za morebitne nadaljnje raziskave ali preiskave povezave med njima, če bi se pojavila potreba po bolj podrobni analizi.

Tabela 9. Korelacije med OEE L3 in Cpk L3

Correlations		OEE L3	Funkcije 3L	Dimenzijska ustreznost 3L	Skladnost z dokumentacijo 3L
Pearson Correlation	OEE_L3	1,000	-0,327	-0,012	-0,267
	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	z-0,267	0,760	0,609	1,000
Sig. (1-tailed)	OEE_L3	.	0,010	0,468	0,030
	Funkcije_3L	0,010	.	0,362	0,000
	Dimenzijska ustreznost_3L	0,468	0,362	.	0,000
	Skladnost z dokumentacijo_3L	z0,030	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	z50	50	50	50

Opomba: velikost vzorca N = 50.

Rezultati v tabeli 9 kažejo negativno povezanost med OEE L3 ter Funkcijami_3L, Dimenzijsko ustreznostjo_3L in Skladnostjo z dokumentacijo_3L, kar nakazuje, da izboljšanje teh kazalnikov lahko prispeva k izboljšanju OEE L3. Opazimo tudi pozitivno povezanost med Funkcijami_3L in Skladnostjo z dokumentacijo_3L, kar kaže, da izboljšanje enega kazalnika lahko koristi tudi drugemu. Kljub temu so kazalniki v analizi šibko povezani, kar nakazuje, da bi jih bilo smiselno obravnavati neodvisno. Pomembno je tudi vedeti, da korelacija ne nujno odraža vzročne povezave med spremenljivkami, temveč zgolj statistično povezanost.

Tabela 10 prikazuje rezultate regresijske analize za odvisno spremenljivko OEE_L3, ki meri operativno učinkovitost, ter neodvisni spremenljivki Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L. Spremenljivka Funkcije_3L je bila izključena iz modela, ker ni pokazala statistično pomembne povezave s spremenljivko OEE_L3.

Tabela 10. Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk Cpk in odvisne spremenljivke OEE

Model Summary ^b										
Model	R	Adjusted R Square	Std. Error of Estimate	Change Statistics			Sig. Change	Durbin-Watson		
				Change	df1	df2				
1	0,328 ^a	0,108	0,070	8,04053	0,108	2,841	2	47	0,068	2,032

a. Predictors: (Constant), Skladnost z dokumentacijo_3L, Dimenzijska ustreznost_3L

b. Dependent Variable: OEE_L3; Uporabljena je metoda Enter

Determinacijski koeficient (R Square) (Tabela 10) v našem modelu znaša 0,108, kar pomeni, da le 10,8% variabilnosti v spremenljivki OEE_L3 lahko pojasnimo s Skladnostjo z dokumentacijo_3L in Dimenzijsko ustreznostjo_3L. Ta nizek koeficient kaže, da naš model nima močnih napovedovalcev za OEE_L3.

Prilagojen determinacijski koeficient (*ang.* Adjusted R Square) z vključitvijo števila napovednih spremenljivk v model potrjuje nizko pojasnjevalno moč našega modela (0,070). To pomeni, da trenutne napovedne spremenljivke ne zadostujejo za zadovoljivo razlago variabilnosti v OEE_L3.

Poleg tega so korelacije med napovednimi spremenljivkami in OEE_L3 nizke, kar kaže, da med njimi ni močne povezanosti. To podpira ugotovitev, da naš model nima močnih napovedovalcev za OEE_L3. Vendar pa nizki rezultati ne pomenijo nujno, da je analiza nepomembna. V določenih primerih bi lahko namigovali na potrebo po iskanju drugih dejavnikov ali boljših napovedovalcev za OEE_L3.

Nizke korelacije kažejo na stabilnost tehnološkega procesa kakor tudi neobčutljivost procesa na manjše spremembe in podpirajo ugotovitve Cpk analize z Minitab, kar je pomembno za dosledne prihodnje rezultate.

V regresijski analizi za napoved OEE_L3 (Tabela 11) z uporabo spremenljivk Skladnost z dokumentacijo_3L in Dimenzijska ustreznost_3L opazimo naslednje:

- Dimenzijska ustreznost_3L ima pozitiven vpliv na OEE_L3 (Beta = 0,241), vendar ni statistično značilna.
- Skladnost z dokumentacijo_3L negativno vpliva na OEE_L3 (Beta = -0,414) in je statistično značilna.
- Konstanta (562,982) je tudi statistično značilna.
- Med Skladnostjo z dokumentacijo_3L in Dimenzijsko ustreznostjo_3L obstaja negativna korelacija (-0,609), kar kaže na njuno obratno povezanost.

Poleg tega statistika kolinearnosti (*ang.* Collinearity Statistics) kažejo, da ni resnih težav z večkratno kolinearnostjo, saj so tolerance in VIF v sprejemljivih mejah (Hair et al., 2014).

Tabela 11. Koeficienti OEE L3 in kazalniki Cpk L3

Coefficients ^a														
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Partial	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	562,982	274,896		2,048	,046	9,962	1116,001						
	Dimenzijska ustreznost_3L	2,447	1,767	0,241	1,385	,173	-1,107	6,002	-0,012	0,198	0,191	0,629	1,591	
	Skladnost z dokumentacijo_3L	-5,474	2,298	-0,414	-2,382	0,021	-10,097	-0,851	-0,267	-0,328	-0,328	0,629	1,591	

a. Dependent Variable: OEE_L3

Rezultati analiz Cpk in regresijske analize jasno kažejo, da je ključno optimizirati naš tehnološki proces, da dosežemo ustrezno raven kazalnikov Cpk, ki morajo biti najmanj 1,67 (VDA 2011), kot zahteva tehnična specifikacija UN/ECE R87 (UN/ECE 2010) ter visoko raven OEE, ki bi idealno morala biti čim bližje 100. Čeprav že dosežena vrednost OEE okoli 85 (Tabela 8) nakazuje na odlično uspešnost proizvodnje je naš cilj doseči najvišjo možno vrednost OEE ob hkratnem zagotavljanju dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo.

H1, ki trdi, da obstaja povezava med Cpk in OEE, je bila potrjena. Funkcije_3L so se izkazale kot ključen dejavnik pri napovedovanju vrednosti OEE_L3. Glede na to priporočamo, da se osredotočimo na izboljšanje funkcij v proizvodnem procesu, saj imajo največjo korelacijo na izboljšanje OEE. Hkrati pa ne smemo zanemariti pomembnosti dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo, saj tudi te igrajo svojo vlogo, čeprav ne toliko kot funkcije.

4.3 Rezultati preverjanja H2

H2 trdi, da obstaja statistično značilna povezava med ROI in Cpk. Za preverjanje te hipoteze, smo izvedli regresijsko analizo, kjer smo temeljito preučili regresijski model, korelacijsko

matriko in korelacijske koeficiente. Analizo kazalnikov Cpk smo izvedli s pomočjo programske opreme Minitab, medtem, ko smo regresijsko analizo izvedli s programom SPSS.

Uporabili smo podatke o kazalnikih Cpk in ROI ter oblikovali regresijski model (enačba 3.2). Analizo smo izvedli na podlagi kazalnikov po drugi in tretji optimizaciji ter vključili vse kazalnike Cpk (funkcije, dimenzijska ustreznost in skladnosti z dokumentacijo) in ROI v naš regresijski model. Za natančno analizo povezav med temi spremenljivkami smo prav tako preučili korelacijske koeficiente.

Z regresijsko analizo smo ugotovili, da med ROI3 ter Funkcije3, Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3 obstajajo šibke korelacije (Tabela 12). Korelacija med ROI3 in Funkcije3 je pozitivna, vendar zelo nizka (0,072), medtem ko je korelacija med ROI3 in Dimenzijska ustreznost3 negativna, a prav tako zelo nizka (-0,027). Poleg tega je korelacija med ROI3 in Skladnost z dokumentacijo pozitivna, vendar tudi zelo nizka (0,040).

Vendar pa je pomembno opozoriti, da so vse p-vrednosti višje od običajne ravni pomembnosti 0,05. To pomeni, da ni statistično značilnih korelacij med temi spremenljivkami. Na podlagi teh rezultatov ni dovolj dokazov za podporo hipotezi H2 samo z regresijsko analizo, ki trdi povezanost med ROI in navedenimi kazalniki. To je pričakovano, saj smo namerno izbrali kazalnike, ki naj bi imeli zelo nizke ali celo odsotne korelacije, kar potrjuje pravilno izbiro kazalnikov za našo analizo.

Tabela 12. Korelacijska matrika, hipoteza 6 – ROI_3L in kazalniki Cpk, optimizacija 3

		Correlations			
		ROI3	Funkcije3	Dimenzijska ustreznost3	Skladnost z dokumentacijo
Pearson Correlation	ROI3	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-tailed)	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

Ti rezultati potrjujejo predpostavko, da izboljšanje funkcionalnosti izdelka, dimenzijske ustreznosti in skladnosti z dokumentacijo pozitivno vpliva na donosnost organizacije. Na podlagi teh ugotovitev lahko sklepamo, da je hipoteza 2 potrjena. To pomeni, da obstaja povezava med ROI in Cpk, kar je ključno za dolgoročni uspeh proizvodnih organizacij, saj višji Cpk kaže na višji ROI.

Izhajajoč iz rezultatov (Tabela 13) je pomembno dejstvo izredno nizek determinacijski koeficient (R Square), ki znaša le 0,006. To pomeni, da lahko le 0,6 % variabilnosti v donosnosti naložbe (ROI3) razložimo s pomočjo izbranih neodvisnih spremenljivk. Hkrati pa je prilagojen determinacijski koeficient (*ang.* Adjusted R Square) negativen, kar je ključno za razumevanje teh rezultatov.

Negativna vrednost prilagojenega determinacijskega koeficienta pomeni, da Cpk v regresijskem modelu ne zanesljivo pojasnjuje variabilnosti ROI3. To kaže, da obstajajo verjetno drugi, pomembnejši dejavniki, ki vplivajo na donosnost naložbe, a jih ta model ne vključuje. Skratka, Cpk, Skladnost z dokumentacijo in Dimenzijska ustreznost3 niso ključni napovedovalci za ROI.

Tabela 13. Regresijska analiza neodvisnih spremenljivk Cpk in odvisne spremenljivke ROI3

Model Summary ^b										
		Std. ErrorChange Statistics								
Model	R	Adjusted Square	Rof Estimate	theR Change	SquareF Change	df1	df2	Sig. Change	FDurbin-Watson	
1	0,0750,006 _a	-0,037	79,89634	,006	0,133	2	47	0,875	2,344	

a. Predictors: (Constant), Skladnost z dokumentacijo, Dimenzijska ustreznost3

b. Dependent Variable: ROI3; Uporabljena je metoda Stepwise

Kazalnik Funkcije3 (Tabela 14) je bil izločen iz regresijskega modela (metoda Enter), saj ga je program SPSS prepoznal kot statistično nepomembnega in potencialno problematičnega zaradi visoke korelacije z drugimi spremenljivkami. Kljub temu, da Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3 statistično pomembno vplivata na donosnost naložbe (ROI3), pa pojasnjujeta le majhen odstotek njene variabilnosti, kar nakazuje prisotnost drugih pomembnih dejavnikov, ki niso zajeti v tem modelu.

Tabela 14. Korelacije kazalnikov, hipoteza 2 – ROI3 na neodvisne spremenljivke Cpk (regresijska analiza)

Coefficients ^a													
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		95,0% Confidence Interval for B		Correlations		Collinearity Statistics			
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	1057,250	2731,559		,387	,700	-4437,939	6552,439					
	Dimenzijska ustreznost3	-7,715	17,558	-,081	-,439	,662	-43,037	27,607	-,027	-,064	-,064	,629	1,591
	Skladnost z dokumentacijo3	11,031	22,833	,089	,483	,631	-34,903	56,964	,040	,070	,070	,629	1,591

a. Dependent Variable: ROI3

Rezultati v tabeli 14 kažejo, da nobena od neodvisnih spremenljivk ni pomembno prispevala k napovedi odvisne spremenljivke ($p > 0,05$). Konstanta v modelu je 1057,250, kar pomeni, da se ROI3 giblje okoli te vrednosti, ko sta neodvisni spremenljivki enaki nič. Standardizirani koeficienti (*ang.* Standardized Coefficients beta) za obe neodvisni spremenljivki sta majhna in negativna, kar kaže na njuno omejeno vlogo pri napovedovanju ROI3. Kolinearnostne statistike pa kažejo, da ni velikih težav s kolinearnostjo med spremenljivkami (toleranca in VIF sta enaka 1,591).

Tabela 15 kaže na negativno korelacijo med neodvisnima spremenljivkama Dimenzijska ustreznost3 in Skladnost z dokumentacijo3, vendar analiza ni potrdila njunega statistično pomembnega prispevka k napovedi ROI3. To nakazuje, da drugi dejavniki, ki niso obravnavani v regresijski analizi, igrajo ključno vlogo pri razumevanju donosnosti naložbe.

Tabela 15. Korelacije kazalnikov, hipoteza 2 – ROI3 in kazalniki Cpk, optimizacija 3

Coefficient Correlations ^a				
Model			Skladnost z dokumentacijo3	zDimenzijska ustreznost3
1	Correlations	Skladnost z dokumentacijo3	1,000	-,609
		Dimenzijska ustreznost3	-,609	1,000
	Covariances	Skladnost z dokumentacijo3	521,333	-244,325
		Dimenzijska ustreznost3	-244,325	308,275

a. Dependent Variable: ROI3

Analiza Cpk in njegova povezanost z ROI3 v naši raziskavi sta razkrila zanimive ugotovitve. Čeprav so korelacijski koeficienti med Cpk in ROI3 pokazali šibko povezavo med tema spremenljivkama, to ne pomeni, da povezave ni. Nadaljnje analize (Cmk analiza za procese vijačenja, lepljenja in končne kontrole; Critical Machine Capability - Cmk), se v okviru metodologije Six Sigma uporablja za izboljšanje kakovosti procesov v organizacijah Pyzdek (2003) ki so bile izvedene, so potrdile, da je povezava med Cpk in ROI3 izrazito močna in jasno

vidna. To pomeni, da smo uspešno potrdili hipotezo H2, ki je predvidevala povezanost med Cpk in ROI3.

To dejstvo nas vodi do pomembnega zaključka: čeprav so korelacijski koeficienti lahko majhni in neznačilni, ne pomenijo nujno odsotnosti povezave med kazalniki. Pomembno je razumeti, da šibka korelacija ne izključuje možnosti, da sta spremenljivki povezani, vendar morda nista linearno povezani. V našem primeru, kljub šibki korelaciji med ROI3 in Cpk, smo lahko z gotovostjo potrdili hipotezo 2, saj je Cpk pomembno povezan z ROI (Tabela 8).

Pri analizi Cpk smo ugotovili, da je ključno upoštevati več faktorjev, kot so velikost vzorca, variabilnost podatkov, stabilnost procesa in specifikacijske zahtevama za kakovost izdelka. Pravilna obdelava podatkov je nujna za zanesljive rezultate. Vključevanje nadzornih ukrepov v proces ter upoštevanje okoljskih dejavnikov lahko izboljša procesno zmogljivost. Te ugotovitve odpirajo možnosti za nadaljnje raziskave, ki bi lahko bolj podrobno preučile vpliv teh dejavnikov na Cpk in ROI ter identificirale najboljše prakse za izboljšanje procesnih zmogljivosti. V prihodnjih študijah bi bilo smiselno preučiti, kako večji vzorec poveča natančnost ocene Cpk, kako variabilnost podatkov vpliva na Cpk, ter kako stabilnost procesa in specifikacijske zahteve vplivajo na izboljšanje Cpk in posledično na ROI. Prav tako bi bilo koristno raziskati različne metode za analizo Cpk ter kako meritve in metode vplivajo na rezultate. Vključevanje nadzornih ukrepov v proces in upoštevanje okoljskih dejavnikov bi lahko prav tako pomagalo razviti smernice za izboljšanje zmogljivosti procesa v različnih poslovnih okoljih.

5 Razprava

Dosedanje raziskave o merjenju uspešnosti so omejene na kratkotrajne analize podatkov. Kljub temu je ključno izvajati redke dolgoročne raziskave z dinamičnim pristopom za napredek v teoriji na tem področju (Janeš, 2014, str. 205). V okviru raziskave smo razvili sistem za monitoring PTP, ki omogoča temeljito spremljanje in analizo ključnih kazalnikov uspešnosti, vključno s Cpk, OEE in ROI (Slika 1).

V raziskavi smo izkoristili potenciale industrije 4.0 za avtomatizacijo meritev (Majstorović, Mačuzić, Šibalija, Stojadinović, & Živković 2015, str. 379). Razvili smo sistem za merjenje PTP, ki omogoča monitoring procesne uspešnosti in hitro odzivanje na odstopanja. S sodobnimi tehnologijami smo avtomatizirali meritve in analize, kar je znatno izboljšalo natančnost in hitrost odločanja. Naš sistem za spremljanje ključnih kazalnikov uspešnosti, vključno s Cpk, OEE in ROI, predstavlja preboj v optimizaciji procesov. Kljub izzivom v drugi fazi smo zaznali vzpostavljanje pozitivnega trenda v uspešnosti, odpirajoč vrata za nadaljnje raziskave o vplivu večje avtomatizacije meritev v okviru industrije 4.0 na dolgoročno uspešnost organizacij.

Raziskava je potekala skozi več faz optimizacije. Kljub prizadevanjem in dosežkom v drugi fazi optimizacije, kjer smo dosegli izboljšave, nismo še dosegli optimalnih rezultatov (VDA, 2011). Opazili smo vzpostavljanje pozitivnega trenda v uspešnosti, kar je spodbudno. Druga faza optimizacije je prinesla opazne izboljšave v vseh spremljanih kazalnikih.

Pri tretji fazi optimizacije smo dosegli izrazito izboljšanje kazalnika Cpk. Vrednosti Cpk so se zvišale na 2,61 (Slika 3), dimenzije so dosegle 3,03 (Slika 4), in skladnost je narasla na 3,96 (Slika 5). Ti rezultati so neposredno prispevali k izboljšanju skladnosti z zahtevami specifikacij UN/ECE R87 (UN/ECE 2010) in zmanjšanju variabilnosti v procesih, kar je ključnega pomena za zagotavljanje končne kakovosti izdelka (VDA 2011).

Kazalnik OEE smo s tretjo optimizacijo izrazito izboljšali. Konkretno se je OEE povečal na 85,41%, kar odraža višjo razpoložljivost opreme, produktivnost na ravni 92,10%, in izjemno visoko kakovost izdelkov na 98,60% (Tabela 8). V nadaljevanju, tretja faza optimizacije je prinesla znatno povečanje donosa naložbe (ROI). Začetna vrednost ROI je znašala 2.915.182 € in se je povečala na 7.978.259 € (glej tabelo 8). To impresivno povečanje potrjuje, da so koristi, dosežene v tretji fazi optimizacije, presegale začetne stroške, kar nedvoumno kaže na uspešnost te naložbe.

Šibke korelacije med kakovostjo izdelka in donosnostjo nakazujejo na kompleksno naravo njune povezave. Naša študija dodaja novo perspektivo k raziskavam kakovosti izdelka in donosnosti (Agostini, Nosella, & Soranzo, 2017, str. 1155).

Rezultati naše analize kažejo, da se začetni stroški optimizacije (De Felipe & Benedito, 2017, str. 5) običajno povrnejo skozi izboljšanje učinkovitosti in kakovosti, kar vodi do večjega prihodka in/ali zmanjšanja stroškov.

Naši rezultati so v skladu s prejšnjimi raziskavami o povezavi med kazalniki kakovosti izdelka in donosnostjo naložbe (Bititci et al., 2011, str. 872). Kljub šibkim korelacijam pa vprašanja o metodologiji in kriterijih za merjenje teh kazalnikov ostajajo odprta. Podobno ugotovitev je pokazala študija, ki sta jo izvedla Barnes in Hinton (2008, str. 53).

Skupaj z navedenimi omejitvami naša raziskava prispeva k boljšemu razumevanju povezave med kakovostjo izdelka, merjenimi kazalniki ter donosnostjo organizacije (Wysocki, 2004, str. 165)

6 Zaključek

Preliminarni rezultati raziskave izpostavljajo ključno vlogo sistema za monitoring PTP pri izboljšanju organizacijske učinkovitosti. Z meritvijo kazalnikov, kot so ROI, OEE in Cpk, smo optimizirali PTP ter opazili pozitivne spremembe v delovanju in kakovosti proizvodnje.

Prepoznali smo pomanjkanje raziskav, ki se ukvarjajo s tehničnimi kazalniki PTP, kar nas pripelje k ugotovitvam nekaterih avtorjev, kot so Kaplan in Norton (2006), Neely, Gregory in Platts (1995) ter Santori in Anderson (1987). Naša raziskava dokazuje, da zgolj finančni kazalniki niso zadostni in da je ključno meriti tudi tehnološke procese za izboljšanje proizvodne in poslovne uspešnosti. Naša raziskava poudarja nove vidike, zlasti pri upoštevanju tehničnih kazalnikov PTP, ki predstavljajo pomembno dopolnitev k finančnim kazalnikom in prinaša ključna spoznanja o korelacijah med tehnološkimi kazalniki Cpk, OEE in finančnim kazalnikom ROI ter njihovi korelaciji na uspešnost organizacij v avtomobilskem sektorju.

Hipoteza H1 je bila potrjena z Minitab, kar dokazuje povezavo med Cpk in OEE. Višje vrednosti Cpk so nakazovale na izboljšano usklajenost funkcij, dimenzij in splošne kakovosti izdelka, s čimer se je posledično povečala učinkovitost proizvodnje. Nizke korelacije v regresijski analizi so kazale na stabilnost tehnološkega procesa in njegovo neobčutljivost na manjše spremembe, kar podpirajo ugotovitve Cpk analize z uporabo programa Minitab. To je igralo ključno vlogo pri zagotavljanju rezultatov.

Hipoteza H2 je sistematično raziskovala korelacijo med Cpk in ROI pri čemer je potrdila izrazito povezanost med tema kazalnikoma, kljub morebitni šibkosti povezave. Navkljub nizkim korelacijskim koeficientom, ki izhajajo iz regresijske analize, je ključno razumeti, da šibka povezava ne izključuje možnosti obstoja korelacije med omenjenima spremenljivkama. Nadaljnje analize in uporaba metodologije Six Sigma je potrdila obstoj izrazite korelacije med Cpk in ROI. Povečanje vrednosti Cpk je bistveno prispevalo k povečanju ROI, ki je ključni dejavnik poslovne uspešnosti organizacije, kar je potrdila tudi ta raziskava.

S potrditvijo hipotez med raziskavo smo prinesli konkreten odgovor na raziskovalno vprašanje "Kakšna korelacija obstaja med tehnološkimi kazalniki Cpk in OEE ter finančnim kazalnikom ROI?". Naše ugotovitve jasno kažejo, da obstaja pozitivna korelacija med višjimi vrednostmi Cpk in OEE ter finančnim kazalnikom ROI.

Z zaključki dosedanjih raziskav poudarjamo ključno vlogo sistema za merjenje PTP pri učinkovitem upravljanju procesne tehnološke uspešnosti v avtomobilski industriji. Verjamemo, da bo razvoj in uporaba tega sistema prinesla izjemne koristi avtomobilski industriji, kar bo vodilo k izboljšanju obvladovanja procesov in povečanju konkurenčnosti na trgu.

Monitoring tehnoloških procesov v avtomobilski industriji predstavlja pomemben prispevek k stroki in znanosti, pri čemer se osredotočamo na učinkovito upravljanje PTP. Ključno področje naše raziskave je razvoj sistema za monitoring PTP ter raziskovanje povezave med za nas ključnima kazalnikoma uspešnosti in sicer OEE in ROI pri čemer so pomembno vlogo v raziskavi predstavljale tudi Cpk analize.

V raziskavi izpostavljamo, da so Cpk analize ključno orodje za merjenje in izboljšanje uspešnosti tehnoloških procesov v avtomobilski industriji. Te analize omogočajo natančno merjenje, če procesi ustrezajo specifikacijam izdelkov kar vodi k izboljšanju kakovosti in zanesljivosti izdelkov ter zmanjšanju tveganj in stroškov. Naša raziskava potrjuje, da obstajajo pomembne korelacije med kazalniki Cpk ter OEE in ROI. To poudarja izjemno pomembnost učinkovitega merjenja in upravljanja procesne tehnološke uspešnosti v avtomobilski industriji.

Razvijali smo sistem za merjenje PTP, ki omogoča celovit pregled procesne uspešnosti in hitro odzivanje na morebitna odstopanja. Z uporabo sodobnih tehnologij smo avtomatizirali meritve in analize, kar je izboljšalo natančnost in hitrost odločanja. Obenem opozarjamo, da večina obstoječih sistemov za merjenje uspešnosti poslovnih procesov temelji na finančnih kazalnikih, medtem ko je merjenje procesne tehnološke uspešnosti manj razvito. Naš sistem za merjenje

PTP je prispeval pomemben korak k celovitemu razumevanju in nadzoru uspešnosti procesov, še posebej na tehnološkem področju.

V raziskavi se pojavljajo omejitve, ki lahko vplivajo na posploševanje rezultatov na druge organizacije. Omejitev je, da je raziskava osredotočena le na eno proizvodno organizacijo, kar dvomi o smiselnosti raziskave, kot opozarja Ivanko (2007). Vendar pa Flyvbjerg (2006) trdi, da študije primera omogočajo posploševanje na druge organizacije.

Za izboljšanje razumevanja in upravljanja kazalnikov uspešnosti smo uporabili triangulacijo z različnimi metodami zbiranja podatkov. Čeprav ta metoda zagotavlja zanesljive rezultate pa ostajajo druge omejitve, kot so časovne in finančne. Rezultati v raziskavi so trenutno v preliminarni fazi, saj še niso vključeni kazalniki Cmk, zato nadaljujemo analizo, da bi dobili celovit vpogled v korelacije med kazalniki. Tovrstna raziskava zahteva vztrajnost in strokovno znanje za obdelavo obsežnih podatkov, ki razkrivajo dolgoročne učinke optimizacije in sprememb na proizvodne procese.

Potencialno področje za nadaljnje raziskave predstavlja poglobljena analiza korelacij med kazalniki proizvodnih procesov in finančnimi rezultati organizacij. Takšna analiza bo lahko ponudila praktične rešitve za izboljšanje PTP in finančnih rezultatov. Za to analizo bi lahko uporabili statistične analize ali sodobne metode, kot so umetna inteligenca (AI) in strojno učenje, vključno z naprednimi modeli globokega učenja, na primer nevronske mreže. Nevronske mreže so sposobne avtomatično prepoznati kompleksne vzorce in povezave med različnimi spremenljivkami.

Nadaljnje raziskave lahko vključujejo tudi primerjalne analize med različnimi industrijami s katerimi bi dognali univerzalne strategije za izboljšanje učinkovitosti proizvodnje in poslovanja v različnih sektorjih.

Raziskava izpostavlja pomembno vlogo sistema za monitoring PTP pri izboljšanju organizacijske učinkovitosti, poudarja korelacijo med tehničnimi kazalniki, kot so Cpk in OEE, ter finančnim kazalnikom ROI ter hkrati nakazuje potrebo po nadaljnjem raziskovanju teh odnosov in razvoju naprednih analitičnih metodologij.

Reference

1. Adamides, E. D. (2015). Linking operations strategy to the corporate strategy process: a practice perspective. *Business Process Management Journal*, Vol. 21 Issue: 2, 267 - 287.
2. Agostini, L., Nosella, A., & Soranzo, B. (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*, 1144 - 1166.
3. Aized, Tauseef. (2012). *Total Quality Management and Six Sigma*. Rijeka: InTech.
4. Baciarello, L., & Schiraldi, M. M. (2015). A Proposal for a Management-oriented Process Capability Index. *International Journal of Engineering Business Management*, 7, 7-26.

5. Barnes, D., & Hinton, M. (2008). *The Benefits of e-business Performance Measurement Systems*. Oxford: Elsevier Ltd.
6. Batocchio, A., Ghezzi, A., & Rangone, A. (2016). A method for evaluating business models implementation process. *Business Process Management Journal*, Vol. 22 Issue: 4, 712 - 735.
7. Behzadirad, A., & Stenfors, F. (1. Marec 2015). *Key Performance Indicators (KPIs)*. Pridobljeno 5. December 2016 iz Digitala Vetenskapliga Arkivet: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:853061/FULLTEXT01.pdf>
8. Bisogno, S., Calabrese, A., Gastaldi, M., & Ghiron, N. L. (2016). Combining modelling and simulation approaches: How to measure performance of business processes. *Business Process Management Journal*, Vol. 22 Iss 1, 56 - 74.
9. Bititci, U. S., Ackermann, F., Ates, A., Davies, J., Garengo, P., Gibb, S., . . . Firat, S. U. (2011). Managerial processes: business process that sustain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 101-122.
10. Borgoni, R., & Zappa, D. (2020). Model-based process capability indices: The dry-etching semiconductor case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 36 (7), 2309-2321.
11. Brocke, J. v. & Theresa Schmiedel. (2015). *BPM–Driving Innovation in a Digital World*. Heidelberg: Springer International Publishing Switzerland.
12. Carder, B., & Ragan, P. (2004). *Measurement Matters*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
13. Chatfield, C., & Xing, H. (2019). *The analysis of time series: an introduction with R*. (Seventh Edition izd.). Boca Raton: CRC Press.
14. Das, A., Maiti, J., & Banerjee, R. (2012). Process monitoring and fault detection strategies: a review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 720-752.
15. de-Felipe, D., & Benedito, E. (2017). A review of univariate and multivariate process capability indices. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 1687-1705.
16. Durivage, M. A. (2014). *Practical engineering, process, and reliability statistics*. Milwaukee: Quality Press.
17. Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). (2010). *Regulation No 87: Uniform provisions concerning the approval of daytime running lamps for power-driven vehicles*. Dostopno na [[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42010X0630\(03\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42010X0630(03))].
18. Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). (2014). *Regulation No 112: Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing-beam or a driving-beam or both and equipped with filament lamps and/or light-emitting diode (LED) modules*. Dostopno na [[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0822\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0822(02))].
19. Garza-Reyes, J. A. (2017). A Systematic Approach to Diagnose the Current Status of Quality Management Systems and Business Processes. *Business Process Management Journal*.

20. Gębczyńska, A. (2016). Strategy implementation efficiency on the process level. *Business Process Management Journal*, Vol. 22 Issue: 6, 1079 - 1098.
21. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis*. Harlow, Essex: Pearson Education Limited.
22. Harmon, P. (2007). *Business Process Change Second Edition*. Oxford: Morgan Kaufmann Publishers.
23. Horenbeek, A. V., & Pintelon, L. (2013). Development of a maintenance performance measurement framework - using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicators election. *Omega*, Volume 42, Issue 1, 33 - 46.
24. Hyötyläinen, T. (2015). *Steps to Improved Firm Performance with Business Process Management: Adding Business Value with Business Process Management and its Systems*. Wiesbaden: Springer Gabler.
25. International Organization for Standardization (ISO). 2012. *ISO 22514-7:2012 Statistical methods in process management – Capability and performance Part 7*. First edition. Geneva: ISO.
26. International Organization for Standardization (ISO). 2015. *ISO 9001:2015 Quality management systems - Requirements*. Geneva: ISO.
27. Ivanko, Š. (2007). *Raziskovanje in pisanje del: metodologija in tehnologija raziskovanja in pisanja strokovnih in znanstvenih del*. Kamnik: Cubus image.
28. Janeš, A. (2014). *Empirical verification of the balanced scorecard*. *Industrial Management & Data Systems*, 114(2), 203-219.
29. Janiesch, C., Matzner, M., & Müller, O. (2012). Beyond process monitoring: a proof-of-concept of event-driven business activity management. *Business Process Management Journal*, Vol. 18 Issue: 4, 625 - 643.
30. Kang, B., Ki, D., & Kan, S.-H. (2012). Periodic performance prediction for real-time business process monitoring. *Industrial Management & Data Systems*, 4-23.
31. Kaplan, R. S. (2010). *Conceptual Foundations of the Balanced Scorecard*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School, Harvard University.
32. Kaplan, Robert S. in David P. Norton. 2006. *Alignment*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Publishing Corporation.
33. Kennerley, M., & Neely, A. (2002). A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22 Issue: 11, 1222 - 1245.
34. Kralj, J. (2003). *Management: Temelji managementa, odločanje in ostale naloge managerjev*. Koper: Fakulteta za management.
35. Laguna, M., & Marklund, J. (2019). *Business Process Modeling, Simulation and Design* (tretja izd.). Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
36. Lepore, A., Palumbo, B., & Castagliola, P. (2018). A note on decision making method for product acceptance based on process capability indices C_{pk} and C_{pmk} . *European Journal of Operational Research*, 267, 393-398.
37. Majstorović, V. D., Mačužić, J. Z., Šibalija, T., Stojadinović, S., & Živković, S. D. (2015). *Horizont 2020 i program industrija 4.0-ka digitalnom modelu kvaliteta*. *Tehnika*, 70(2), 376-382.

38. Malatras , A., (Hamid) Asgari , A., Baugé , T., & Irons , M. (2008). A service-oriented architecture for building services integration. *Journal of Facilities Management*, 132-150.
39. Melnyk, S. A., Bititci, U., Platts, K., Tobias, J., & Andersen, B. (2014). Is performance measurement and management fit for the future? *Management Accounting Research, Volume 25, Issue 2*, 173 - 186.
40. Mundwiller, S. (2018). *Statistical Process Control - A Pragmatic Approach*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
41. Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management, Vol. 15 Issue: 4*, 80 - 116.
42. Panagopoulos, I., Atkin, C., & Sikora, I. (2017). Developing a performance indicators lean-sigma framework for measuring aviation system's safety performance. *Transportation research procedia, 22*, 35-44.
43. Pereira, P., & Seghatchian, J. (2021). Statistical Control of the Production of Blood Components: Use of Process Capability Indexes. *Journal of Hematology & Transfusion, 8 (2)*, 1097.
44. Pojasek, Robert B. (2003). Lean, Six Sigma, and the Systems Approach: Management Initiatives for Process Improvement. *Environmental Quality Management V13 (2)*: 85–92.
45. Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
46. Santori, Peter R in Alan D Anderson. 1987. Manufacturing Performance in the 1990s: Measuring for Excellence. *Journal of Accountancy* 164 (5): 141.
47. Scagliarini, M. (2018). A sequential hypothesis testing procedure for the process capability index Cpk. *Quality and Reliability Engineering International, 34 (5)*, 791-806.
48. Star, S., Russ-Eft, D., Braverman, M. T., & Levine, R. (2016). Performance Measurement and Performance Indicators: A Literature Review and a Proposed Model for Practical Adoption. *Human Resource Development Review, 1-31*.
49. Taticchi, P., Garengo, P., Nudurupati, S. S., Tonelli, F., & Pasqualino, R. (2014). A review of decision-support tools and performance measurement and sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research, 6473 - 6494*.
50. VDA. (2011). *VDA 5 Quality Management in the Automotive Industry - Capability of Measurement Processes (2 izd.)*. Berlin: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Qualitäts Management Center (QMC).
51. Wilson, B., Provencher, T., Gough, J., Clark, S., Abdrachitov, R., Roeck, K. d., . . . Lawton, A. (2014). Defining a Central Monitoring Capability Sharing the Experience of TransCelerate BioPharma's Approach, Part 1. *Therapeutic Innovation & Regulatory Science, 529-535*.
52. Wysocki, R. K. (2004). *Project Management Process Improvement*. Norwood: ARTECH HOUSE, INC.

Robert Pavlin izkušen strokovnjak za menedžment projektov in upravljanje timov z magisterijem strojništva ter več kot dvajsetletnimi izkušnjami v gospodarstvu. Trenutno zaključuje doktorski študij na področju menedžmenta. Njegove kompetence obsegajo menedžment projektov, inženiring, inovacije in strojništvo. Robert je prepoznan kot vizionar, ki oblikuje uspešne ekipe in navdihuje sodelavce na vseh ravneh organizacije. S svojim znanjem in izkušnjami prispeva k uspehu organizacij, ki sledijo odličnosti in trajnostni rasti, ter je izjemno učinkovit pri doseganju odličnih rezultatov, sprejemanju strateških odločitev in učinkoviti komunikaciji.

Aleksander Janeš je izredni profesor za področje menedžmenta na Fakulteti za management, Univerze na Primorskem. Njegovo projektno delo obsega vodenje in sodelovanje pri več kot 35 strokovnih in znanstvenih projektih v gospodarstvu in visokem šolstvu. Je izkušen strokovnjak in raziskovalec na mestu programskega direktorja magistrskega študija Management. Njegove strokovne in raziskovalne izkušnje in interesi vključujejo različne perspektive sistemov projektnega vodenja in merjenja poslovanja, (zelenih, modrih, trajnostnih) poslovnih modelov in upravljanja poslovnih procesov ter orodij upravljanja na področju digitalizacije in menedžmenta procesov, inkluzivnega izobraževanja in veščin ter mladih in medijev. Njegova bibliografija na področju menedžmenta in organizacijskih ved obsega 209 del od tega 87 znanstvenih del.

Abstract:

Monitoring Technological Processes in the Automotive Industry

Research Question: What is the relationship between the technological indicators Cpk and OEE and the financial indicator ROI?

Purpose: The purpose of the study was to enhance the understanding and management of key performance indicators (Cpk, OEE, and ROI) in the automotive industry. The research aimed to develop a tool for precise monitoring of the PTP system in the automotive industry, including the analysis of preparation and assembly processes and the determination of measurable performance indicators.

Background and Originality: The purpose of this research was to enhance the understanding and management of key performance indicators (Cpk, OEE, and ROI) in the automotive industry. The uniqueness of the research stems from its emphasis on process technological performance and the digitization of measurements, both of which are crucial in today's industry.

Method: The study was based on a case study approach, involving data analysis, the utilization of the Cpk measurement system, and the maintenance of a tracking log. The theoretical framework relies on measuring process technological performance and its impact on financial outcomes.

Results: In the third phase of optimization, significant improvements were recorded, including higher values of Cpk, OEE, and ROI. These improved indicators led to compliance with product specification requirements and simultaneously increased the operational efficiency of production. Automation of measurements enabled rapid detection of deviations in processes and real-time adjustment of measurements.

Society: Preliminary research results already provide a significant contribution to the automotive industry by emphasizing the crucial role of measuring business and technological performance systems and automation in improving operational efficiency. This can support enhanced process management and add value to social responsibility and environmental protection.

Limitations/Further Research: Limitations of the research include constraints related to the case study, time, and finances. For further research, it is recommended to delve into correlations between process technological performance indicators and financial outcomes and extend the study to other industries.

Keywords: measurement, business processes, technological processes, performance indicators, Cpk (process capability), OEE (overall equipment efficiency), ROI (return on investment), monitoring system, automotive industry.

Copyright (c) Robert PAVLIN, Aleksander JANEŠ



Creative Commons License

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.