

# Model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti

---

**Cukor Kirinić, Ivana**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:825006>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Ivana Cukor Kirinić

**MODEL UTJECAJA VITKIH ALATA U  
RAZVOJU PROIZVODA NA ASPEKTE  
ODRŽIVOSTI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.





Sveučilište u Zagrebu  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Ivana Cukor Kirinić

# **MODEL UTJECAJA VITKIH ALATA U RAZVOJU PROIZVODA NA ASPEKTE ODRŽIVOSTI**

DOKTORSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Miro Hegedić

Zagreb, 2024.





University of Zagreb  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
AND NAVAL ARCHITECTURE

Ivana Cukor Kirinić

**A MODEL OF THE IMPACT OF LEAN  
PRODUCT DEVELOPMENT TOOLS ON  
SUSTAINABILITY ASPECTS**

DOCTORAL THESIS

Mentor: Assist. Prof. Miro Hegedić, PhD

Zagreb, 2024.

---

---

---

## PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

**UDK:**

**Ključne riječi:** vitki razvoj proizvoda, vitki alati razvoja proizvoda, aspekti održivosti, održivi razvoj proizvoda, model utjecaja vitkih alata, analitički hijerarhijski proces

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Strojarsvo

**Institucija u kojoj je rad izrađen:** Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

**Mentor rada:** doc. dr. sc. Miro Hegedić

**Broj stranica:** 223

**Broj slika:** 81

**Broj tablica:** 58

**Broj bibliografskih jedinica:** 149

**Datum obrane:** 01.08.2024.

**Povjerenstvo:** izv. prof. dr. sc. Stanko Škec (FSB Zagreb), predsjednik povjerenstva  
doc. dr. sc. Miro Hegedić (FSB Zagreb), mentor  
izv. prof. dr. sc. Nikola Gjeldum (FESB Split), član

**Institucija u kojoj je rad pohranjen:** Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje



---

---

---

## ZAHVALA

Na samom početku želim zahvaliti mentoru, doc. dr. sc. Miri Hegediću, osobito na iskazanom povjerenju, a zatim na dragocjenim savjetima, usmjeravanju, pomoći i mentorskim satima uložanima u izradu ovoga doktorskog rada.

Zahvaljujem članovima povjerenstva, izv. prof. dr. sc. Stanku Škecu i izv. prof. dr. sc. Nikoli Gjeldumu na vremenu uloženom u čitanje i ocjenu doktorskog rada te na korisnim savjetima i sugestijama pri konačnom oblikovanju rada.

Najtoplije zahvaljujem svojim strojarkama: Andreji, Aniti, Ireni, Ivani, Jasni i Maji, koje su me svojom nepokolebljivom vjerom u mene hrabrile, dizale i gurale naprijed. Hvala vam na prijateljstvu i podršci.

Posebno zahvaljujem mojoj majci i bratu, koji su me uvijek oraspoložili, hrabрили, podržavali te pronašli način da me dodatno motiviraju. Hvala vam na velikom razumijevanju, bezrezervnom strpljenju, toplim savjetima i neprekidnoj potpori koju sam imala svih ovih godina.

Najviše hvala mojim dečkima, suprugu Goranu i sinu Josipu, koji su stoički podnosili sva mamina raspoloženja u usponima i padovima tijekom izrade ovog rada.

---

## Sadržaj

<b>Sadržaj</b> .....	<b>V</b>
<b>Popis oznaka</b> .....	<b>IX</b>
<b>Popis kratica</b> .....	<b>X</b>
<b>Popis slika</b> .....	<b>XI</b>
<b>Popis tablica</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Sažetak</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Summary</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Uvodni pregled dosadašnjih istraživanja.....	2
1.2. Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja.....	7
1.3. Cilj i hipoteza istraživanja.....	9
1.4. Očekivani znanstveni doprinos.....	10
1.5. Struktura rada.....	10
<b>2. ODRŽIVOST I ALATI VITKOG RAZVOJA PROIZVODA</b> .....	<b>12</b>
2.1. Sustavni pregled literature.....	14
2.2. Uvodna razmatranja o održivosti i vitkosti u razvoju proizvoda.....	15
2.3. Alati vitkog razvoja proizvoda .....	17
2.4. Aspekti održivosti u razvoju proizvoda .....	19
2.5. Višekriterijalne metode odlučivanja .....	21
2.6. Nedostaci prethodnih studija .....	24
<b>3. ISTRAŽIVANJE STUDIJOM SLUČAJA</b> .....	<b>26</b>
3.1. Višestruka studija slučaja .....	27
3.2. Odabir kompanija za studiju slučaja .....	31
3.3. Prikupljanje podataka.....	33
3.4. Strukturirani intervju.....	33
3.5. Analiza prikupljenih podataka.....	36
3.6. Rezultati studije slučaja.....	37
3.6.1. Zasebna analiza pojedine studije slučaja .....	37
3.6.2. Unakrsna analiza studija slučaja .....	42
3.7. Zaključci studije slučaja .....	48
<b>4. ANKETNO ISTRAŽIVANJE</b> .....	<b>50</b>
4.1. Struktura upitnika.....	51
4.2. Odabir vitkih alata za upitnik .....	53
4.2.1. Standardizirani rad .....	55
4.2.2. Kaizen.....	56
4.2.3. FMEA.....	56
4.2.4. Šest sigma .....	57

4.2.5. Naučene lekcije .....	58
4.2.6. Analiza temeljnih uzroka.....	59
4.2.7. Vizualni menadžment.....	59
4.2.8. 5 zašto .....	60
4.3. Odabir aspekata održivosti .....	61
4.4. Analiza rezultata anketnog istraživanja.....	64
4.4.1. Deskriptivna statistička analiza.....	65
4.4.2. Test normalnosti podataka.....	80
4.4.3. Friedmanov test i Wilcoxonov test rangova s predznakom za usporedbu odgovora prema dimenzijama održivosti.....	81
4.4.4. Mann-Whitneyjev U-test razlika prema sektoru zaposlenja.....	85
4.4.5. Spearmanov test korelacija .....	90
4.4.6. Izračun rangova alata prema okolišnim, društvenim i ekonomskim aspektima ....	94
4.4.6.1. Friedmanov test utjecaja vitkih alata na okolišne aspekte .....	94
4.4.6.2. Friedmanov test utjecaja vitkih alata na društvene aspekte .....	96
4.4.6.3. Friedmanov test utjecaja vitkih alata na ekonomske aspekte .....	98
4.4.6.4. Friedmanov utjecaja vitkih alata na sve aspekte ukupno.....	100
<b>5. MODEL UTJECAJA VITKIH ALATA U RAZVOJU PROIZVODA NA ASPEKTE ODRŽIVOSTI .....</b>	<b>106</b>
5.1. Analitički hijerarhijski proces.....	106
5.1.1. Osnove/pojam .....	106
5.1.2. Metodološki temelj AHP metode.....	107
5.1.3. Matematički temelj AHP metode [136] .....	110
5.1.4. Konzistentnost donositelja odluke .....	112
5.1.5. Prednosti i nedostaci AHP metode.....	114
5.2. Izrada modela pomoću AHP metode .....	117
5.2.1. Međusobna usporedba i izračun prioriteta kriterija – dimenzija održivosti .....	118
5.2.2. Međusobna usporedba i izračun prioriteta potkriterija - aspekata .....	119
5.2.3. Izračun rangova i prioriteta alternativa - alata .....	120
5.3. Verifikacija modela utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti.....	121
5.3.1. Testiranje rada modela sa simuliranim podacima.....	122
5.3.1.1. Prva testna simulacija .....	122
5.3.1.2. Druga testna simulacija.....	124
5.3.1.3. Treća testna simulacija .....	127
5.3.1.4. Četvrta testna simulacija.....	129
5.3.1.5. Zaključak o provedenom testiranju rada modela sa simuliranim podacima.....	131
5.3.2. Testiranje rada modela u realnim uvjetima s podacima iz kompanije .....	134
<b>6. DISKUSIJA.....</b>	<b>148</b>
6.1. Implikacije na istraživanje.....	148
6.2. Implikacije na praktičnu primjenu .....	151
6.3. Ograničenja istraživanja .....	153
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>155</b>

7.1. Ostvareni ciljevi doktorskog rada .....	155
7.2. Potvrda hipoteze doktorskoga rada .....	157
7.3. Ostvareni znanstveni doprinos doktorskoga rada .....	158
7.4. Buduća istraživanja .....	159

## **Ključne riječi**

vitki razvoj proizvoda, vitki alati razvoja proizvoda, aspekti održivosti, održivi razvoj proizvoda, model utjecaja vitkih alata, analitički hijerarhijski proces

## **Keywords**

lean product development, lean product development tools, sustainability aspects, sustainable product development, model of the impact of lean product development tools, analytic hierarchy process

## Popis oznaka

**A** – matrica relativnih važnosti u analitičkom hijerarhijskom procesu

$a_{ij}$  – omjer relativnih važnosti u analitičkom hijerarhijskom procesu

CI – indeks konzistentnosti

CR – omjer konzistentnosti

$n$  – broj redaka matrice

$p$  – vrijednost vjerojatnosti testa

RI – indeks slučajne konzistentnosti

$\alpha$  – značajnost testa

$w_i$  – težine (prioriteti)

$\lambda$  – svojstvena vrijednost matrice A

$\lambda_{\max}$  – najveća svojstvena vrijednost matrice A

## Popis kratica

AHP – Analitički hijerarhijski proces

DfS – Dizajn za održivost (engl. *Design for sustainability*)

DOE – Dizajn eksperimenta (engl. *Design of experiments*)

FMEA – (engl. *Failure modes & effects analysis*)

JIT - Točno na vrijeme (engl. *just in time*)

LPD – Vitki razvoj proizvoda (engl. *Lean Product Development – LPD*)

PDCA – Planiraj, učini, provjeri, djeluj (engl. *Plan, Do, Check, Act*)

RCA – analiza temeljnih uzroka (engl. *Root Cause Analysis*)

QFD – Implementacija funkcije kvalitete (engl. *Quality function deployment*)

VSM – mapiranje toka vrijednosti (engl. *Value stream mapping*)



## Popis slika

Slika 1 Dijagram plana istraživanja .....	9
Slika 2 Tko ima najveći utjecaj na ukupne troškove proizvoda? [38] .....	12
Slika 3 Udio akademskog i realnog sektora u ekspertnom panelu .....	51
Slika 4 Struktura upitnika anketnog istraživanja .....	52
Slika 5 Primjer anketnog pitanja za ekspertni panel i korištene skale procjene .....	64
Slika 6 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Materijal“ .....	66
Slika 7 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Potrošnja energije“ .....	67
Slika 8 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Usklađenost s okolišnim propisima“ .....	68
Slika 9 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa“ .....	69
Slika 10 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Dobrobit zaposlenika“ .....	70
Slika 11 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Dobrobit kupaca“ .....	71
Slika 12 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Sigurnost“ .....	72
Slika 13 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Istek životnog vijeka“ .....	73
Slika 14 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Rast“ .....	74
Slika 15 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Inovacijski potencijal“ .....	75
Slika 16 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Troškovi“ .....	76
Slika 17 Histogram i <i>boxplot</i> prikaz rezultata upitnika za aspekt „Produktivnost“ .....	77
Slika 18 Prosječne ocjene alata prema aspektima .....	78
Slika 19 Rangovi alata prema okolišnim aspektima .....	96
Slika 20 Rangovi alata prema društvenim aspektima .....	98
Slika 21 Rangovi alata prema ekonomskim aspektima .....	100
Slika 22 Rang lista vitkih alata prema okolišnim aspektima .....	102
Slika 23 Rang lista vitkih alata prema društvenim aspektima .....	103
Slika 24 Rang lista vitkih alata prema ekonomskim aspektima .....	103
Slika 25 Rang lista vitkih alata prema okolišnim, društvenim i ekonomskim aspektima .....	104
Slika 26 Hijerarhijski model – AHP struktura .....	108
Slika 27 Klasteriranje pri uspoređivanju nehomogenih elemenata [136] .....	117
Slika 28 Hijerarhijska struktura modela utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti .....	118
Slika 29 Usporedba kriterija – dimenzija održivosti .....	119
Slika 30 Usporedba potkriterija – aspekata prema društvenoj dimenziji .....	119
Slika 31 Usporedba potkriterija – aspekata prema okolišnoj dimenziji .....	119
Slika 32 Usporedba potkriterija – aspekata prema okolišnoj dimenziji .....	119
Slika 33 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 1. simulacija .....	122
Slika 34 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 1. simulacija .....	123
Slika 35 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 1. simulacija .....	123

---

Slika 36 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 1. simulacija.....	123
Slika 37 Težinski koeficijenti aspekata u 1. testnoj simulaciji.....	123
Slika 38 Ukupni rezultat 1. simulacije –lista prioriteta vitkih alata.....	124
Slika 39 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 2. simulacija .....	125
Slika 40 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 2. simulacija .....	125
Slika 41 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 2. simulacija .....	125
Slika 42 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 2. simulacija.....	125
Slika 43 Težinski koeficijenti aspekata u 2. testnoj simulaciji.....	126
Slika 44 Ukupni rezultat 2. simulacije –lista prioriteta vitkih alata.....	126
Slika 45 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 3. simulacija .....	127
Slika 46 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 3. simulacija .....	127
Slika 47 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 3. simulacija .....	128
Slika 48 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 3. simulacija.....	128
Slika 49 Težinski koeficijenti aspekata u 3. testnoj simulaciji.....	128
Slika 50 Ukupni rezultat 3. simulacije –lista prioriteta vitkih alata.....	129
Slika 51 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 4. simulacija .....	130
Slika 52 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 4. simulacija .....	130
Slika 53 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 4. simulacija .....	130
Slika 54 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 4. simulacija.....	130
Slika 55 Težinski koeficijenti aspekata u 4. testnoj simulaciji.....	131
Slika 56 Ukupni rezultat 4. simulacije –lista prioriteta vitkih alata.....	131
Slika 57 Usporedba težinskih koeficijenata dimenzija u svim četirima simuliranim scenarijima.....	132
Slika 58 Usporedba težinskih koeficijenata aspekata u svim četirima simuliranim scenarijima.....	133
Slika 59 Usporedba prioriteta vitkih alata u svim četirima simuliranim scenarijima .....	134
Slika 60 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – realni podaci.....	135
Slika 61 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – realni podaci.....	135
Slika 62 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – realni podaci.....	136
Slika 63 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – realni podaci.....	136
Slika 64 Težinski koeficijenti aspekata s realnim podacima.....	137
Slika 65 Ukupni rezultat s realnim podacima – lista prioriteta vitkih alata.....	137
Slika 66 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije .....	138
Slika 67 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – okolišna dimenzija.....	138
Slika 68 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – društvena dimenzija.....	139
Slika 69 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – ekonomska dimenzija ..	139
Slika 70 Dinamički prikaz osjetljivosti modela.....	140
Slika 71 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni okolišnog kriterija za + 5 % .....	141
Slika 72 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni društvenog kriterija za + 5 % .....	141
Slika 73 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni ekonomskog kriterija za + 5 %.....	142
Slika 74 Gradijent analiza osjetljivosti za okolišni kriterij .....	143
Slika 75 Gradijent analiza osjetljivosti za društveni kriterij.....	143

---

Slika 76	Gradijent analiza osjetljivosti za ekonomski kriterij .....	144
Slika 77	Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij usklađenosti s okolišnim propisima .....	145
Slika 78	Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij odabira netoksičnih i bezopasnih resursa .....	145
Slika 79	Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij inovacijskog potencijala.....	146
Slika 80	<i>Head to head</i> analiza osjetljivosti za alate kaizen i naučene lekcije .....	146
Slika 81	2D analiza osjetljivosti za okolišni i ekonomski kriterij .....	147

## Popis tablica

Tablica 1 Vitki alati razvoja proizvoda i referencije spominjanja .....	17
Tablica 2 Aspekti održivosti grupirani prema dimenzijama održivosti i autorima.....	19
Tablica 3 Usporedba višekriterijskih metoda odlučivanja .....	22
Tablica 4 Predloženi i primijenjeni kriteriji za postizanje kvalitete istraživanja studijom slučaja .....	28
Tablica 5 Pregled karakteristika kompanija koje su uključene u studiju slučaja.....	32
Tablica 6 Pitanja postavljena u studiji slučaja.....	35
Tablica 7 Aspekti održivosti koje kompanije razmatraju.....	42
Tablica 8 Vitki alati razvoja proizvoda koji se koriste u kompanijama .....	44
Tablica 9 Utjecaj vitkog alata na aspekt održivosti prema studijama slučaja .....	45
Tablica 10 Prikaz ekspertnog panela .....	50
Tablica 11 Vitki alati razvoja proizvoda koji ulaze u anketni upitnik .....	53
Tablica 12 Okolišni aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik.....	61
Tablica 13 Društveni aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik.....	62
Tablica 14 Ekonomski aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik.....	62
Tablica 15 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Materijal“ .....	65
Tablica 16 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Potrošnja energije“ .....	66
Tablica 17 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Usklađenost s okolišnim propisima“ .....	67
Tablica 18 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa“ .....	69
Tablica 19 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Dobrobit zaposlenika“ .....	70
Tablica 20 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Dobrobit kupaca“ .....	71
Tablica 21 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Sigurnost“ .....	72
Tablica 22 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Istek životnog vijeka“.....	73
Tablica 23 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Rast“ .....	74
Tablica 24 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Inovacijski potencijal“ .....	75
Tablica 25 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Troškovi“ .....	76
Tablica 26 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Produktivnost“ .....	77
Tablica 27 Vitki alati i aspekti na koje pozitivno utječu prema literaturi .....	79
Tablica 28 Rezultati <i>Shapiro-Wilkovog</i> testa na normalnost s $p > 0,05$ .....	80
Tablica 29 Zbrojevi rangova dimenzija održivosti prema ocjenama utjecaja .....	82
Tablica 30 Rezultati <i>Wilcoxonovog</i> testa usporedbe odgovora prema dimenzijama održivosti .....	83
Tablica 31 Rezultati testa znakova s predznakom .....	84
Tablica 32 <i>Mann-Whitneyjev</i> U-test razlika odgovora sektora za sve aspekte ukupno .....	86
Tablica 33 <i>Mann-Whitneyjev</i> U-test razlika odgovora sektora za okolišne aspekte.....	87
Tablica 34 <i>Mann-Whitneyjev</i> U-test razlika odgovora sektora za društvene aspekte .....	88
Tablica 35 <i>Mann-Whitneyjev</i> U-test razlika odgovora sektora za ekonomske aspekte.....	89
Tablica 36 Spearmanov koeficijent korelacije .....	91
Tablica 37 Rezultati Spearmanovog testa korelacija .....	93

---

Tablica 38 Zbrojevi rangova vitkih alata prema okolišnim aspektima .....	94
Tablica 39 Zbrojevi rangova vitkih alata prema društvenim aspektima .....	97
Tablica 40 Zbrojevi rangova vitkih alata prema ekonomskim aspektima.....	98
Tablica 41 Zbrojevi rangova vitkih alata prema grupama aspekata .....	101
Tablica 42 Saatyjeva skala relativne važnosti [2].....	109
Tablica 43 Vrijednosti RI slučajnih indeksa .....	112
Tablica 44 Matrica usporedbe kriterija .....	113
Tablica 45 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K1 .....	113
Tablica 46 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K2 .....	113
Tablica 47 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K3 .....	113
Tablica 48 Indeksi konzistentnosti .....	114
Tablica 49 Ukupni rezultat .....	114
Tablica 50 Ponderi vitkih alata prema okolišnim aspektima.....	120
Tablica 51 Ponderi vitkih alata prema društvenim aspektima.....	120
Tablica 52 Ponderi vitkih alata prema ekonomskim aspektima .....	121
Tablica 53 Usporedba rezultata rang-liste po Friedmanovom testu i AHP-u.....	124
Tablica 54 Težinski koeficijenti dimenzija u svim četirima simuliranim scenarijima.....	132
Tablica 55 Težinski koeficijenti aspekata u svim četirima simuliranim scenarijima .....	132
Tablica 56 Lista prioriteta vitkih alata u svim četirima simuliranim scenarijima.....	133
Tablica 57 Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka.....	188
Tablica 58 p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija .....	197

## Sažetak

Zbog trenutnih obrazaca potrošnje i proizvodnje koji nisu održivi, pritiska na već ograničene prirodne resurse, povećanja globalne populacije, povećanja koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i smanjenog pristupa čistoj vodi na globalnoj razini, proučavanje uključivanja aspekata održivosti u razvoj proizvoda proizvodnih tvrtki postaje iznimno važno. Pojmovi vitkosti i održivosti sve se više koriste u tvrtkama zajedno, jedinstveno ili kao međusobna dopuna u svrhu smanjenja gubitaka. Studije pokazuju da među njima postoje kompatibilnost i sinergija; ponajprije jer će uklanjanje gubitaka imati koristi i za tvrtke i za okoliš. Iako je istraživanje međudnosa vitkosti i održivosti možda jedna od najviše proučavanih tema u novije vrijeme, većina istraživačkih napora ne daje odgovarajući odgovor na pitanje: „Na koje to aspekte održivosti mogu utjecati vitki alati razvoja proizvoda?“

U ovom doktorskom radu prikazana su aktualna znanstvena razmatranja o održivosti i vitkosti u razvoju proizvoda. Navedeni su aspekti održivosti na koje se prema znanstvenoj literaturi može utjecati tijekom razvoja proizvoda te alati i prakse vitkog razvoja proizvoda koji tomu mogu pridonijeti. Važno je napomenuti da se u ovom doktorskom radu uzimaju u obzir sve tri dimenzije održivosti (okolišna, društvena i ekonomska) jer je sama održivost ravnoteža tih triju dimenzija i zanemarivanjem jedne od njih, cijeli sustav postaje neodrživ. Nadalje, provedeno je istraživanje studijom slučaja koje je pridonijelo prikupljanju podataka o aspektima održivosti koji se sagledavaju u razvoju proizvoda u realnim uvjetima u kompanijama. Intervjui su dali i odgovor na pitanje koje to vitke alate inženjeri najčešće koriste te uključuju li oni aspekte održivosti. Navedene informacije o učestalosti aspekata i alata prikupljene pregledom znanstvene literature i studijom slučaja koristile su se za izradu anketnog upitnika.

Anketnim istraživanjem u kojem su sudjelovali eksperti iz akademskog i industrijskog sektora dobiveni su podaci o utjecaju najčešćih vitkih alata razvoja proizvoda na najčešće aspekte održivosti. Na temelju pregleda literature, studije slučaja i ankete u kojoj su eksperti procijenili utjecaj vitkih alata na aspekte održivosti, izrađen je model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti. Verifikacija modela provedena je s pomoću testiranja sa simuliranim podacima i testiranja s realnim podacima.

Model ocjenjuje utjecaj pojedinih vitkih alata koje konstruktori već koriste u svojem radu na određene aspekte održivosti. Inženjeri time postaju svjesniji vlastitog utjecaja na održivost proizvoda kroz alate koje koriste i odluke koje donose dok svakodnevno koriste te alate.

## Summary

With current patterns of product consumption and production, pressure on already limited natural resources, a growing global population, an increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere and reduced access to clean water around the world, it is important to examine how manufacturing companies are incorporating sustainability issues into their product development. The concepts of lean and sustainability are increasingly used in companies as a means to reduce waste, either alone or as a complementary tool. Studies indicate that there is compatibility and synergy between them, mainly because eliminating waste benefits both companies and the environment. Despite the extensive research on the relationship between lean and sustainability, most studies do not adequately address the question of what aspects of sustainability can be impacted by lean product development tools.

This dissertation presents current scientific considerations on sustainability and lean in product development. It identifies aspects of sustainability that can be influenced during product development according to the literature. It also identifies tools and practices of lean product development that can contribute to these aspects. It is worth noting that all three dimensions of sustainability are considered in this thesis, because sustainability itself is the balance of these three dimensions, and if one of them is neglected, the whole system becomes unsustainable. Additionally, a case study was conducted to gather data on aspects of sustainability that companies consider during product development under real-life conditions. The interviews provided information on which lean tools engineers use most frequently and whether they incorporate sustainability aspects. The information on the occurrence of aspects and tools, gathered through a review of the scientific literature and a case study, was used to create a survey questionnaire.

Survey research with experts from academia and the industry provided data on the impact of the most common lean product development tools on the most common sustainability aspects. Based on a literature review, a case study and a survey in which experts assessed the impact of lean tools on sustainability aspects, a model of the impact of lean tools in product development on sustainability aspects was created. The model was verified through testing with simulated and real data.

The model measures the impact of specific lean tools that designers already use in their work on selected aspects of sustainability. This enhances engineers' recognition of their own contribution to product sustainability via the tools they use and the choices they make when using these tools on a daily basis.

## 1. UVOD

Prema Ujedinjenim narodima [1], trenutni obrasci potrošnje i proizvodnje nisu održivi i moraju se promijeniti jer će u protivnom doći do nepovratne štete po okoliš zbog toga što globalno stanovništvo i životni standard rastu, što zahtijeva više „već ograničenih prirodnih resursa“. Kompanije koje su odgovorne za procese razvoja proizvoda i proizvodnju mogu igrati važnu ulogu u pružanju podrške društvu u okretanju prema održivosti. Uključivanje dimenzija održivosti u proces razvoja proizvoda od strane kompanija poprima sve veću važnost te je stoga nužno proučiti kako kompanije mogu uključiti dimenzije održivosti u razvoj svojih proizvoda i pružiti optimalnu podršku dizajnerima i inženjerima tijekom tog postupka integracije.

Istraživanja pokazuju da je bitno koliko je jasna uzročno–posljedična veza između konstrukcije i bilo koje dimenzije održivosti zbog toga što i konstruktor sam želi razmotriti i razumjeti cjelokupnu sliku. Također, inženjerima je potrebno jasno razumijevanje što su dimenzije i aspekti održivosti i što oni znače u konkretnim zadacima u njihovim svakodnevnim aktivnostima. U ovom doktorskom radu održivost je ravnoteža između ekonomske, ekološke i društvene dimenzije te se razmatraju sve tri što je prema autorima [2], [3] i [4] potrebno kako bi se postigli rezultati održivosti. Aspekti održivosti podrazumijevaju zahtjev, izjavu, informaciju, potrebu ili ograničenje koji utječu na mogućnost postizanja održivosti. Ekološka, društvena i ekonomska dimenzija održivosti ovdje se smatraju trima grupama aspekata održivosti (po uzoru na [2]). Uključivanje aspekata održivosti u razvoj proizvoda znači da aspekte održivosti, primjerice potrebu za korištenjem recikliranih materijala, razmatraju osobe koji sudjeluju u radu na razvoju proizvoda. Metoda i alata ne nedostaje, nego njihove uporabe s jasnom orijentacijom prema uključivanju svih triju dimenzija održivosti. Malobrojni su alati koji pokrivaju sve tri dimenzije održivosti zajedno, te je potreban sustavni pristup koji će sistematizirati vitke alate razvoja proizvoda koji mogu utjecati na aspekte održivosti s razmišljanjem o tome kako ti vitki alati mogu pridonijeti aspektima održivosti iz svake pojedine dimenzije. Slijedom toga potrebno je sistematizirati i aspekte održivosti na koje se može utjecati u razvoju proizvoda.

Inženjeri i konstruktori obično nisu obučeni prepoznati utjecaj proizvoda na okolišne, društvene i ekonomske aspekte. Zbog toga je potreban model koji će odrediti alate prema željenim aspektima i omogućiti prepoznavanje i uzimanje u obzir tih utjecaja. Razmatranje društvenih, okolišnih i ekonomskih dimenzija održivosti od samog početka procesa razvoja



proizvoda i njihovo uključivanje u proizvod su najučinkovitiji pristup održivom razvoju proizvoda, a time i korak prema održivom društvu.

## **1.1. Uvodni pregled dosadašnjih istraživanja**

Uspjeh kompanija ovisi o broju uspješnih proizvoda koje plasiraju na tržište [5]. Stalni pritisak na razvoj proizvoda zbog brzih promjena zahtjeva kupaca prisiljava tvrtke na traženje isplativijih i vremenski učinkovitijih poboljšanja proizvoda. Filozofija vitkog razmišljanja potencijalni je način koji se treba slijediti kako bi se poboljšala učinkovitost procesa razvoja proizvoda [6].

Vitki razvoj proizvoda (engl. *Lean Product Development – LPD*) je primjena vitkih principa u procesu razvoja proizvoda, s ciljem razvoja novih ili poboljšanih proizvoda koji su uspješni na tržištu. On se bavi cjelovitim procesom – od prikupljanja i generiranja ideja, preko procjene potencijalnog uspjeha, do razvijanja koncepata, ocjenjivanjem kako bi se stvorio najbolji koncept, detaljnim opisom proizvoda, konstrukcijom proizvoda, ispitivanjem proizvoda i predajom u proizvodnju [7]. Vitki razvoj proizvoda koristi načela vitkog menadžmenta (alati, tehnike i vještine) za smanjenje gubitaka i povećanje vrijednosti u razvoju proizvoda i kontinuirano poboljšavanje procesa razvoja proizvoda, smanjenje vremena potrebnoga za razvoj i niže troškove, smanjenje dorada i prerada, te također za poboljšanje kvalitete pravovremenom identifikacijom i uklanjanjem problema koji bi se mogli pojaviti tijekom proizvodnih procesa [8], [9].

Područje s velikim potencijalom za ostvarivanje koristi načela vitkog menadžmenta je područje razvoja proizvoda koje igra ključnu ulogu u definiranju vrijednosti za kupca. Određuje fizički izgled proizvoda, definira materijale koji će se koristiti i, prema tome, umnogome ograničava skup proizvodnih procesa koji se mogu koristiti za proizvodnju. Utjecaj na troškove, kvalitetu i vrijeme izrade obično je mnogo veći u fazi razvoja nego tijekom proizvodnje [10], [11], [12]. 75 % troškova životnog ciklusa proizvoda već je određeno konstrukcijom, ali samo 10 % troškova javlja se u ovoj fazi životnog ciklusa proizvoda [13]. Prema [14] vitki razvoj proizvoda ima tri cilja. Prvi cilj je izrada „pravih“ proizvoda koje je kupac zatražio, tj. stvaranje proizvoda koji povećavaju vrijednost za sudionike. Drugi cilj je učinkovita integracija između poduzeća i životnog ciklusa proizvoda, tj. primjena vitkog razvoja radi stvaranja vrijednosti u cijelom životnom ciklusu proizvoda i u cijeloj tvrtki. Treći cilj su učinkoviti procesi razvoja

---

proizvoda, tj. korištenje koncepta vitkosti kako bi se uklonio gubitak i kako bi se poboljšali vrijeme ciklusa i kvaliteta rada u inženjerstvu.

Sve veće prihvaćanje vitkog razvoja proizvoda od strane tvrtki nudi mogućnost da tvrtke uključe i održivost u svoje procese, metode i alate; to će omogućiti novim proizvodima ekonomsku isplativost, ekološku ispravnost, operativnu sigurnost, socijalno poštenje i kulturnu prihvaćenost [15]. Alati povezani s vitkim razmišljanjem mogu olakšati identificiranje ekonomskih, okolišnih i društvenih gubitaka. Tijekom proizvodnje može se eliminirati samo 20 % ukupnih gubitaka, a ostalih 80 % u fazi razvoja novog proizvoda [15]. Sustavni pregled literature [15] napravljen je s ciljem pronalaska postojećih metoda i alata vitkog razvoja proizvoda koji pridonose održivosti. Zaključak je: (1) ne nedostaje metoda i alata, nego njihove uporabe i jasne orijentacije s obzirom na održivost; (2) da bi se unaprijedili razvoj i uporaba odgovarajućih vitkih metoda i alata za održivost, potrebno je proširiti trenutne koncepte vitkog razvoja proizvoda, alternativno, treba stvoriti novi procesni model koji se bavi održivosti u razvoju proizvoda; (3) iz cjelovite perspektive održivosti, samo nekoliko alata pokriva socijalnu dimenziju ili tri dimenzije zajedno te je stoga potreban holistički sustavni pristup koji donosi integraciju i sinergiju uporabe metoda i alata za održivi razvoj proizvoda, s više razmišljanja o tome kako oni mogu pridonijeti svakoj dimenziji održivosti; (4) trenutno znanje o potencijalnim sukobima, sinergijama ili preklapanjima između vitkog razvoja proizvoda i održivosti slabo je istraženo u literaturi i praksi.

Zbog trenutne potrošnje i proizvodnih obrazaca proizvoda, pritiska na već ograničene prirodne resurse, sve većega svjetskog stanovništva, sve veće koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i smanjenog pristupa čistoj vodi na globalnoj razini, postaje važno uključiti dimenzije održivosti u razvoj proizvoda od strane proizvodnih tvrtki [16], [17], [11], [18]. Kompanije koje su odgovorne za procese razvoja proizvoda i proizvodnju mogu igrati važnu ulogu u pružanju podrške društvu u postizanju održivosti i mogu ostvariti poslovne ekonomske koristi [19].

Koncepti vitkosti i održivosti sve se više koriste u tvrtkama zajedno, jedinstveno ili kao dopunski alat za smanjenje gubitaka. Studije pokazuju da među njima postoje kompatibilnost i sinergija; ponajprije zato što će uklanjanje gubitaka biti korisno i za kompanije i za okoliš [20]. Prema [21], vitki alati i prakse održivosti dijele niz vrijednosti i načela te ih je prirodno proučavati u istom kontekstu. Iako se vitkost i održivost primjenjuju u mnogim organizacijama, njihova integracija u procese razvoja novih proizvoda i dalje predstavlja izazov [11], [22].

---

Proces razvoja proizvoda mora ugraditi dimenzije održivosti: okolišne, ekonomske i društvene u održivi proizvod koji je potreban industriji [23], [24], [25]. Društvene perspektive uključuju zadovoljavanje potreba ljudi djelomice radi zadovoljenja zainteresiranih strana razvoja proizvoda. Ekonomske perspektive upućuju na zahtjeve za ekonomski rast industrije, a ekološka perspektiva zahtijeva da se uzme u obzir ugrožena kvaliteta života ljudi [23]. Bocken i suradnici [26] smatraju da elemente održivosti treba uključiti u rane faze procesa razvoja proizvoda jer se tako mogu postići najveće koristi i poboljšanja. Ključno je, međutim, pružiti optimalnu podršku dizajnerima i inženjerima tijekom tog postupka.

Dok se vitki proces razvoja proizvoda usredotočuje na nepotrebne aktivnosti bez dodavanja vrijednosti, metode održivosti i zelenog razvoja zelenih proizvoda nastoje smanjiti i sačuvati prirodne resurse smanjenjem uporabe materijala i negativnog utjecaja na okoliš i društvo. No razmatranje ovih dviju vrsta gubitaka tijekom razvoja novog proizvoda može povećati mogućnost daljnjeg smanjenja gubitaka [27]. Vitki alati i prakse mogu olakšati fokus na održivost na operativnoj razini, što je bitno za integriranje vitkih i održivih nastojanja. Fokusiranje na fazu razvoja proizvoda ne samo da može omogućiti integraciju vitkosti i održivosti nego može i povećati performanse održivosti [28]. Industrija može na dva načina profitirati od vitkog razvoja proizvoda: smanjenjem troškova, povećanjem produktivnosti i smanjenjem gubitaka, te posjedovanjem spremnijih i motiviranijih ljudi za zauzimanje stavova na razini sustava, etičnosti, održivosti i poduzetništva [29].

Veze između vitkih gubitaka i održivosti opisani su u [3]. Ako se poznaju vitki alati s pomoću kojih utječemo na gubitke, može se utjecati i na povezane gubitke održivosti. Iako autori [3] nisu direktno opisali odnos između vitkih alata i aspekata održivosti, njihov rad ukazuje da je moguće definirati taj odnos. Cianella i suradnici [30] i de Souza i Dekkers [15] u svojim su radovima povezali vitke alate s okolišnim, društvenim i ekonomskim dimenzijama održivosti uzimajući u obzir trenutnu literaturu. Naveli su alate koji ispunjavaju sve tri dimenzije održivosti. U radu [18] je opisan razvoj kontrolne liste za održivi razvoja proizvoda (engl. CSPD - *Checklist for Sustainable Product Development*), koju opisuje kao kvalitativni alat za podršku odlučivanju za korištenje tijekom ranih faza razvoja proizvoda. Svako pitanje iz liste ima ponuđene odgovore da ili ne i tako zbraja da li je određeni aspekt uzet u obzir ili ispunjen. Nakon što su odgovorena sva pitanja, kreira se automatski popis zadataka i opis potrebnih aktivnosti. Ocjenjivački list se također automatski popunjava. Ovo pruža pregled koliko je aspekata uzeto u obzir (u postocima, zelena pozadina) i koliko ih još treba razmotriti po fazi životnog ciklusa (u postocima, crvena pozadina). Ovaj pristup uključuje aspekte iz svih triju dimenzija održivosti i kreira listu zadataka, no ne nudi odgovor kojim vitkim alatima se

moгу ti zadaci izvršiti. Nasuprot pristupu [18] su autori [31] koji opisuju okvir za razvoj proizvoda zajedno s vitkim razmišljanjem navodeći koji se to vitki alati mogu koristiti tijekom faza razvoja proizvoda i doprinijeti povećanju ekonomskih koristi i smanjenju utjecaja na okoliš. Postupak [32] hijerarhizira 16 učinkovitih i zelenih pokretača razvoja proizvoda korisnih za uspostavljanje budućeg programa poboljšanja. Predlažu model koji rangira učestalost alata i praksi navedenih pokretača koristeći dvije metode višekriterijalnog odlučivanja (engl. MCDM - *Multiple-criteria Decision-making*): AHP i TOPSIS (engl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Pokušavaju dati odgovor na pitanje: Koje su to sve prakse i alati, grupirani kao pokretači, u kontekstu malih i srednjih poduzeća, koje promoviraju vitku i zelenu integraciju u razvoj proizvoda? Nedostatak pristupa [31] i [32] je što ne opisuju na koje se to točno aspekte održivosti može utjecati.

Osim [33], nijedan drugi rad ne navodi na koje se aspekte održivosti (naziva ih pokazateljima) može utjecati određenim vitkim alatima. Odnos i utjecaj alata na dimenzije održivosti analiziran je kao pozitivan, negativan, djelomičan ili bez utjecaja. Utvrđeno je da primjena vitkih alata pozitivno utječe na 83% ekonomskih pokazatelja, na 78% ekoloških pokazatelja i na 70% društvenih pokazatelja. Međutim, rezultati također pokazuju da alati ne utječu na 30% socijalnih pokazatelja. Iako su naveli aspekte na koje se može utjecati i analizirali odnos vitkih alata prema dimenzijama održivosti, [33] nisu izravno povezali vitke alate s aspektima održivosti.

Iako navedeni radovi ([3], [15], [18], [30], [31], [32], [33]) doprinose sistematizaciji vitkih alata i aspekata održivosti koji se koriste u razvoju proizvoda što su i prva dva cilja autoričinog istraživanja, njihov nedostatak je što nije moguće opisati direktan odnos vitki alat – aspekti održivosti. Stoga je još jedan od ciljeva definirati odnos vitkih alata prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima.

Paulson [16] se u svojem doktorskom radu fokusira na razumijevanje načina na koji proizvodna poduzeća rade, izazova s kojima se suočavaju i uzroka tih izazova pri uključivanju aspekata održivosti u proces razvoja proizvoda u proizvodnim tvrtkama. Nalazi iz studije slučaja snažno pokazuju da je važno koliko je jasna uzročno - posljedična veza između konstruiranja i aspekta jer konstruktoru će biti relevantno razmotriti aspekt. Kako je već spomenuto, važnost pružanja optimalne podrške dizajnerima i inženjerima tijekom postupka integracije održivosti u procesu razvoja proizvoda naglasili su i autori [26] u svojem radu. Također, studija [34] upućuje i na važnost fokusiranja na znanje i razumijevanje menadžera o međusobnim vezama između vitkog i održivog razvoja u primjeni vitkih principa kako bi se

iskoristio puni potencijal vitkog razmišljanja za postizanje održivosti. Veza postoji ako vitki i održivi koncept pridonose ostvarenju istog aspekta. Mesquita [19], [35] u svojim studijama opisuje uključivanje društvenih aspekata u razvoj proizvoda u proizvodnom poduzeću. Također navodi potrebu podrške jer među ispitanicima nije bilo jasnog razumijevanja što su društveni aspekti održivosti i što ti aspekti znače u konkretnim zadacima u njihovim svakodnevnim aktivnostima.

Schöggel i suradnici [18] u svojem radu spominju da su inženjerima i dizajnerima potrebni alati koji im omogućuju da uzmu u obzir utjecaj na okoliš i društvo. Alati moraju ispuniti dva zahtjeva kako bi inženjeri i konstruktori bili spremni razmotriti ekološke i društvene teme i kako bi se povećala stopa prihvaćanja alata. Prvo, inženjeri i dizajneri trebaju alate koje mogu jednostavno koristiti za procjenu utjecaja na održivost u određenom kontekstu, i drugo, ti alati moraju biti jednostavni za uporabu i učinkoviti, ne zanemarujući pritom složenu prirodu tema održivosti.

Na temelju uvodnog pregleda dosadašnjih istraživanja može se uočiti da još uvijek postoje otvorena i neriješena pitanja na području vitkog i održivog razvoja proizvoda, a vezano uz integraciju tih dvaju pristupa u razvoju proizvoda. U uvodnom pregledu istraživanja uočena je važnost fokusiranja na fazu razvoja proizvoda jer se u njoj postavljaju temelji za ostatak životnog vijeka te se uključivanjem održivosti u razvoj proizvoda mogu postići najveće koristi i poboljšanja. Prihvaćanje vitkog razvoja proizvoda od strane kompanija nudi mogućnost uključivanja i održivosti u razvoj proizvoda. Studije pokazuju da vitki alati i prakse održivosti dijele niz vrijednosti i načela te ih je prirodno proučavati u istom kontekstu.

Područje razvoja proizvoda još uvijek je nedovoljno istraženo prema potencijalnoj vezi između vitkih alata i održivosti. Također, uporaba vitkih alata nema jasnu orijentaciju o njihovoj uporabi s obzirom na dimenzije i aspekte održivosti. Proučeni radovi spominju vitke alate koji doprinose održivosti i aspekte održivosti na koje se može utjecati u razvoju proizvoda no ne postoji njihova sistematizacija na jednom mjestu stoga su to prva dva cilja autoričinog istraživanja. Nedostatak radova je i to što nije moguće opisati direktan odnos vitki alat – aspekti održivosti što je odredilo potrebu definirati odnos vitkih alata prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima što je treći cilj.

Zaključci radova pokazuju da je važno opisati vezu između konstruiranja i aspekta i tako pružiti optimalnu podršku inženjerima tijekom uključivanja aspekata održivosti u razvoj proizvoda. Tako bi se povećalo i njihovo razumijevanje što su to aspekti održivosti i što ti aspekti znače u konkretnim zadacima u njihovim svakodnevnim aktivnostima te koji vitki alati

im omogućuju da uzmu u obzir željeni utjecaj na okolišne, društvene i ekonomske aspekte. Time je postavljen i zadnji četvrti cilj istraživanja, a to je razviti model koji će predložiti i rangirati vitke alate prema utjecaju na aspekte održivosti uzimajući u obzir važnost koju inženjer pridodaje kojem aspektu. Model će pridonijeti integraciju održivosti u postojeće vitke alate razvoja proizvoda, uz više promišljanja o tome kako oni utječu na svaku od triju dimenzija održivosti i kako im pridonose.

## **1.2. Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja**

Plan istraživanja doktorskog rada sastoji se od više faza.

U prvoj fazi istraživanja pretraženi su dostupna literatura, znanstveni i stručni radovi u bazama znanstvenih publikacija te doktorske disertacije kako bi se steklo znanje i kako bi se istražilo trenutne spoznaje, trendove i praznine na području vitkog razvoja proizvoda te području koje obuhvaća aspekte održivosti koji se sagledavaju u procesu razvoja proizvoda. U toj fazi istraživanja identificirat će se vitki alati razvoja proizvoda koji mogu pridonijeti svim trima dimenzijama održivosti (ekološkim, društvenim i ekonomskim) te pripadajuća lista aspekata održivosti na koje se može usredotočiti u fazi razvoja proizvoda. Aspekti održivosti grupirani su prema pripadnosti određenoj dimenziji održivosti. Pregled literature pomogao je u utvrđivanju stanja na području istraživanja, u definiranju svrhe istraživanja te identificiranju podataka potrebnih za istraživanje.

U drugoj fazi istraživanja napraviti će se pregled i usporedba vitkih alata i praksi i pregled aspekata održivosti te će se provesti sinteza i redukcija broja alata i aspekata koji su dobiveni u fazi istraživanja literature. Koristit će se dvostruki pristup. Prvi će se temeljiti na kvantitativnoj analizi spominjanja alata i praksi te aspekata održivosti u bazama znanstvenih publikacija; oni koji su češće obrađivani i korišteni imat će prednost i bit će uvršteni u daljnje analize. Drugi pristup koristit će studiju slučaja za rješavanje problema izbora vitkih alata i praksi koji se najčešće koriste u razvoju proizvoda i u koje se mogu uključiti aspekti održivosti. Cilj drugog pristupa je izraditi listu trenutno najviše korištenih alata vitkog razvoja proizvoda u industrijskom sektoru, a na temelju iskustava i načina rada zaposlenika (razvojnih inženjera) u stvarnom radnom okruženju. Također želi se ispitati razmatraju li, kako i koje aspekte održivosti inženjeri tijekom razvoja proizvoda i za koje smatraju da se mogu uključiti u postojeće vitke alate koji se aktivno koriste u njihovu radu. Metodologija studije slučaja prikladna je kada su istraživačka pitanja tipa "zašto" ili "kako" usredotočena na suvremene događaje i ne zahtijevaju kontrolu ponašanja događaja. Fokus ovog istraživanja je na

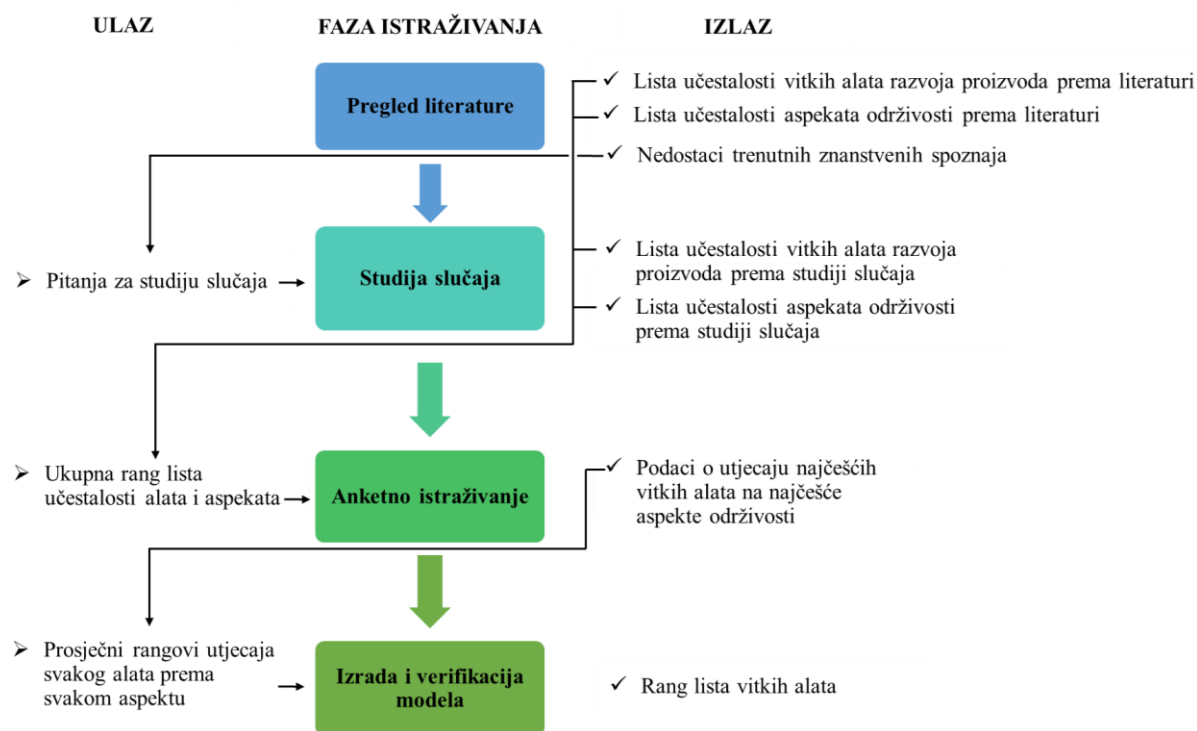
---

suvremenim događajima, a ideja je uhvatiti odgovore na istraživačka pitanja bez kontrole nad bilo kojim drugim događajem u tvrtkama. Ideja koja je pridonijela odabiru metodologije studije slučaja je opisati primjere iz stvarnog života o tome kako rade inženjeri, kojim vitkim alatima se služe i uključuju li, kako i kada u razvoj svojih proizvoda koje aspekte održivosti. Pristup studije slučaja stoga se može koristiti za pružanje modela, te je već korišten u istraživanju održivosti u razvoju proizvoda [10]. Cilj druge faze istraživanja je izraditi skraćenu listu trenutno najviše korištenih alata vitkog razvoja proizvoda i aspekata održivosti. Vitki alati i aspekti održivosti ekstrahirani s pomoću tih dvaju pristupa (analiza spominjanja i studija slučaja) koristit će se u sljedećoj, trećoj fazi za izradu ankete. Pregledom znanstvene literature u prvom koraku određeni su vitki alati i prakse koji će biti validirani i sažeti u toj drugoj fazi, u studiji slučaja iz trenutne industrijske perspektive.

Unutar treće faze plan je razviti model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti koji obuhvaća vitke alate i prakse iz trenutne industrijske okoline razvoja proizvoda, a čija uporaba može pridonijeti određenim aspektima održivosti. Model će se temeljiti na rezultatima ispitivanja anketnim upitnikom s pomoću kojega će ekspertna skupina ocjenjivati utjecaj vitkih alata na aspekte održivosti te međusobni odnos aspekata održivosti prema trima dimenzijama održivosti. Ekspertnu skupinu činit će eksperti iz realnog sektora i akademske zajednice. Kriteriji odabira ispitanika iz realnog sektora bit će radno iskustvo u razvoju proizvoda, iskustvo korištenja vitkih alata, uvid u cijeli proces razvoja proizvoda te upoznatost s dimenzijama i aspektima održivosti. Kriterij odabira ispitanika iz akademske zajednice bit će njihovo znanstveno područje povezano s vitkim alatima ili načelima održivosti. Anketni upitnik će biti strukturiran tako da njegov rezultat budu rangovi alata prema aspektima održivosti te odnosna veza alat – aspekt održivosti. Za obradu prikupljenih podataka koristit će se i deskriptivna statistika i statistički testovi. Rezultati će dati i odgovore na pitanja koji su alati najutjecajni za uključivanje održivosti, koja je važnost pojedinog aspekta održivosti, postoji li povezanost utjecaja alata i aspekta održivosti te koji je, prema stručnjacima, najutjecajni alat ili aspekt održivosti. Provest će se i analiza osjetljivosti dobivenog modela. Model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti omogućit će ocjenjivanje vitkih alata i praksi koji mogu pridonijeti svim trima dimenzijama održivosti, procijeniti njihov utjecaj na aspekte održivosti te odrediti važnost aspekata održivosti koji nadalje mogu služiti kao kriteriji u odabiru odgovarajućih vitkih alata i praksi koji podržavaju uključivanje aspekata održivosti u proces razvoja proizvoda. Modelom će se proširiti trenutno znanje o vitkim alatima i praksama razvoja proizvoda koji se koriste u tvrtkama te potencijal uključivanja aspekata održivosti u postojeće vitke alate.

U četvrtoj fazi istraživanja model će se verificirati simulacijom, a praktična primjenjivost testirat će se s pomoću realnih podataka koji će se prikupiti od zaposlenika iz industrije. Njima će model služiti za donošenje odluke koji alat koristiti za postizanje određenog aspekta održivosti, a na temelju važnosti koju će pridodati određenom aspektu.

Plan istraživanja prikazuje Slika 1.



Slika 1 Dijagram plana istraživanja

### 1.3. Cilj i hipoteza istraživanja

Cilj ovog rada je proširiti trenutno znanje o uključivanju aspekata održivosti u vitke alate i prakse razvoja proizvoda koji se koriste u tvrtkama te ocijeniti utjecaj i odrediti ulogu vitkih alata i praksi u uključivanju aspekata održivosti u razvoj proizvoda.

Ciljevi doktorskog rada su:

1. Na temelju akademske i industrijske perspektive odrediti i sistematizirati vitke alate i prakse koji se mogu primijeniti za uključivanje/integraciju svih triju dimenzija održivosti u procesu razvoja proizvoda.
2. Sistematizirati društvene, okolišne i ekonomske aspekte održivosti na koje se može usredotočiti u procesu razvoja proizvoda.



3. Uzimajući u obzir trenutne prakse u tvrtki u vezi s vitkim alatima i praksama, uspostaviti odnos tih alata i praksi prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima; ocijeniti važnost aspekata te važnost metoda i alata pri odlučivanju.

4. Izraditi model koji rangira vitke alate i prakse prema dimenzijama i aspektima održivosti što je korisno za utvrđivanje budućeg plana poboljšanja te njegova verifikacija u praksi.

Postavlja se sljedeća hipoteza:

Moguće je izraditi model koji će omogućiti procjenu utjecaja vitkih alata i praksi razvoja proizvoda na aspekte održivosti i pomoći kod donošenja odluka u korištenju pojedinih alata i praksi.

#### **1.4. Očekivani znanstveni doprinos**

Očekivani znanstveni doprinosi ovog doktorskog rada su:

1. Sistematizacija vitkih alata i praksi u procesima razvoja proizvoda koji se mogu primijeniti za uključivanje svih triju dimenzija održivosti i njihovih aspekata u procesu razvoja proizvoda.
2. Sistematizacija društvenih, okolišnih i ekonomskih aspekata održivosti na koje se može utjecati u procesu razvoja proizvoda.
3. Definirani odnos vitkih alata i praksi prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima.
4. Model koji rangira vitke alate i prakse razvoja proizvoda prema aspektima održivosti te omogućuje procjenu njihovih utjecaja na aspekte pri korištenju navedenih alata i praksi.

#### **1.5. Struktura rada**

Doktorski rad sastoji se od šest poglavlja.

Prvo poglavlje započinje iznesenom motivacijom za rad te pregledom dosadašnjih istraživanja na ovom području. Nastavlja s opisom korištene metodologije i plana istraživanja. U ovom poglavlju također su predstavljeni ciljevi rada, hipoteza istraživanja i očekivani znanstveni doprinos.

U drugom poglavlju sustavnim pregledom literature prikazana su aktualna znanstvena razmatranja o održivosti i vitkosti u razvoju proizvoda. Navedeni su aspekti održivosti na koje se prema znanstvenoj i stručnoj literaturi može utjecati tijekom razvoja proizvoda te alati i prakse vitkog razvoja proizvoda koji tomu mogu pridonijeti.

U trećem poglavlju detaljno je opisana metodologija istraživanja višestrukom studijom slučaja i strukturiranim intervjuom. Prikazani su rezultati i zaključci istraživanja u pet hrvatskih kompanija.

Struktura provedenoga anketnog istraživanja s pomoću ekspertnog panela prikazana je u četvrtom poglavlju, u sklopu kojega je napravljena i opisana i analiza rezultata utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti.

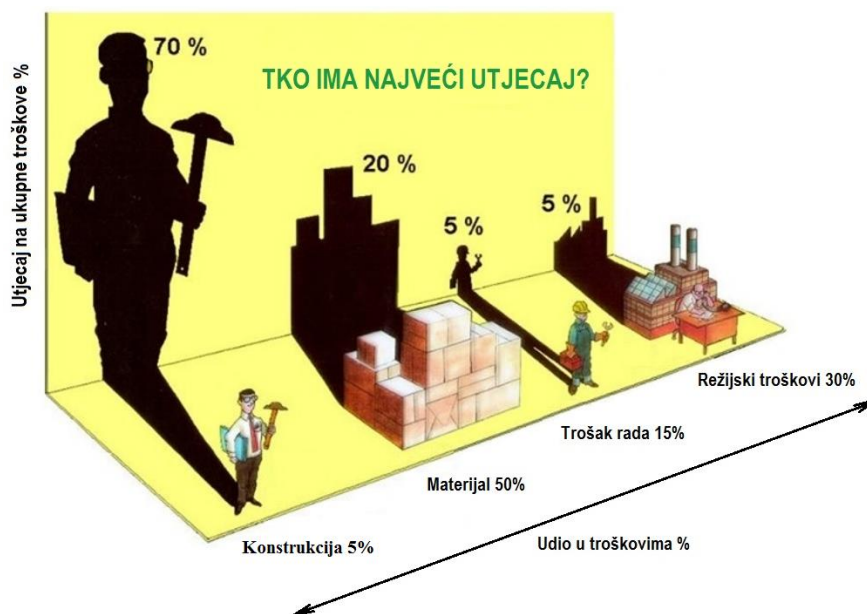
U petom poglavlju razvijen je novi model utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti. Verificiran je simuliranim podacima, kao i realnim podacima iz industrije.

U šestom poglavlju predstavljeni su zaključak ovog rada, ostvareni znanstveni doprinos te smjernice za buduća istraživanja.

## 2. ODRŽIVOST I ALATI VITKOG RAZVOJA PROIZVODA

Godine 1987. Svjetska komisija za okoliš i razvoj definirala je održivost kao: "razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja sposobnosti budućih generacija da zadovolje svoje vlastite potrebe" [36]. Godine 1969. Agencija za zaštitu okoliša SAD-a (EPA) objavila je vlastitu definiciju održivosti: „Održivost stvara i održava uvjete pod kojima ljudi i priroda mogu postojati u produktivnom skladu koji omogućuje ispunjavanje društvenih, ekonomskih i drugih zahtjeva sadašnjih i budućih generacija” [37]. Utjecaj na održivost može se pojaviti u različitim fazama životnog ciklusa proizvoda – od vađenja i nabave sirovina, proizvodnje, distribucije, uporabe i održavanja, do ponovne uporabe na kraju životnog vijeka, recikliranja, obrade ili odlaganja, a poznato je da je u velikoj mjeri definiran odlukama poduzetima tijekom ranih faza života proizvoda, odnosno tijekom razvoja proizvoda [12].

Izrazito veći utjecaj konstrukcije proizvoda, u usporedbi s drugim fazama, prikazuje Slika 2 [38]. Iako se konstrukcija proizvoda događa ranije u lancu vrijednosti i predstavlja manji dio ukupnih troškova poslovanja, ima daleko najveći utjecaj na ukupne troškove. Stoga, ako se tijekom razvoja proizvoda donesu ispravne odluke u vezi s konstrukcijom, a koje utječu na buduće procese i održivost, te se proslijede ispravni rezultati, izbjeci će se znatni gubici u kasnijim fazama, čineći cijeli proces učinkovitijim.



Slika 2 Tko ima najveći utjecaj na ukupne troškove proizvoda? [38]

Prema [39], održivi razvoj proizvoda opisan je kao razvoj proizvoda u kojem su ekonomski, društveni i ekološki aspekti uravnoteženi, tj. pri razvoju proizvoda i usluga uzima se u obzir krajnja vrijednost u okolišnom, društvenom i ekonomskom pogledu. Studije [40],

[41], [42], [43] opisuju načine kako proizvodne kompanije uključuju aspekte održivosti u svoj razvoj proizvoda. Prema [40] koji su proučavali velikog švedskog proizvođača vozila, održivost je uključena u proizvodne strategije kompanije te se ekološki aspekti sustavno uključuju u pripremu i evaluaciju projektnih ideja. Ekološki učinak jedan je od tehničkih parametara koji se koriste pri ocjenjivanju projektnih ideja. Voditelj projekta je središnji akter za uključivanje aspekata zaštite okoliša u finalnu specifikaciju proizvoda. Poulidikidou i suradnici su opisali u svojoj studiji o četiri kompanije [41] da se u stručnjaci za zaštitu okoliša sustavno dodjeljuju tijekom različitih faza razvoja proizvoda, a zahtjevi za zaštitu okoliša uključeni su u iste dokumente s drugim zahtjevima za dizajn. Tvrtke tijekom razvoja proizvoda primjenjuju metode koje podržavaju smanjenje utjecaja njihovih proizvoda na okoliš. Neke od metoda sustavno se primjenjuju u sve četiri tvrtke, neke u nekoliko tvrtki. Nadalje, autori [42] opisuju da kompanija primjenjuje obvezne i prilagođene kontrolne liste pri razvoju svojih proizvoda. Kontrolne liste koriste se sustavno i pokrivaju aspekte kao što su: sadržaj konfliktnih minerala u proizvodu; poboljšanje energetske učinkovitosti u cijelom lancu vrijednosti; te zdravstveni i sigurnosni aspekti povezani s proizvodom. Proizvođač zrakoplovnih motora u Švedskoj, kojeg su proučavali [43], primjenjuje metode koje podržavaju razmatranje aspekata održivosti u razvoju proizvoda. Najčešće primjenjivane metode su: „Procjena utjecaja na okoliš (engl. EIA - *Environmental Impact Assessment*), popisi materijala sa zabranjenim i ograničenim tvarima i zahtjevi za dobavljače. Osim toga, kompanija koristi metodu za procjenu dobavljača iz ekološke perspektive.

Održivost vođena načelima vitkosti može biti učinkovita strategija za transformaciju tvrtki u financijski sigurne, ekološki osviještene i društveno napredne strukture. Neki istraživači ističu da kompanije koje su usvojile jednu od ovih strategija također mogu biti spremne slijediti drugu strategiju [3]. Vitki razvoj proizvoda koristi načela vitkog menadžmenta (alati, tehnike i vještine) za smanjenje gubitaka i povećanje vrijednosti u razvoju proizvoda i kontinuirano poboljšavanje procesa razvoja proizvoda [8], [9], [44]. Naziv vitki razvoj proizvoda uveden je početkom 1990-ih na temelju Toyotinog sustava razvoja proizvoda, što je Toyoti omogućilo da postane vodeći svjetski proizvođač automobila [45]. Od tada se sve više istraživačkih napora ulaže u izgradnju vitkog razvoja proizvoda kao opće paradigme razvoja proizvoda [46]. Elementi Toyotinog sustava razvoja proizvoda predstavljeni su u utjecajnoj knjizi "Stroj koji je promijenio svijet" (engl. *The Machine That Changed the World*) [45]. Toyotin razvoj proizvoda fokusira se na tri elementa: vrijednost, znanje i poboljšanje. To je omogućilo kompaniji da zadovolji kupce putem optimalnog dizajna, omogućujući im da minimiziraju broj prerada tijekom konstrukcije i postignu visoke razine profita [10].

U nastavku ovog poglavlja opisat će se metoda sustavnog pregleda literature koja je pomogla da se identificiraju trenutni znanstveni pogledi o održivosti i vitkosti u razvoju proizvoda. Detaljno će se prikazati znanstvena perspektiva o društvenim, okolišnim i ekonomskim aspektima održivosti na koje se može utjecati u procesu razvoja proizvoda. Predstaviti će se i vitki alati i prakse koji mogu pridonijeti uključivanju svih triju dimenzija održivosti u procesu razvoja proizvoda.

## 2.1. Sustavni pregled literature

U ovoj fazi istraživanja cilj je bio identificirati vitke alate razvoja proizvoda koji mogu pridonijeti svim trima dimenzijama održivosti (ekološkim, društvenim i ekonomskim) te aspekte održivosti na koje se može usredotočiti u razvoju proizvoda. Time se želi ostvariti ispunjenje prvog i drugog znanstvenog doprinosa.

Pregled literature je metoda koja pomaže istraživaču identificirati postojeće znanje o području interesa istraživanja [47]. Stoga je provedeno istraživanje literature kako bi se otkrili izazovi i trendovi unutar vitkog razvoja proizvoda te održivosti u razvoju proizvoda. Kvaliteta proučavanja literature postignuta je odabirom sustavnog pregleda literature (engl. *systematic literature review – SLR*) kao metode istraživanja. Pregledi literature imaju važnu ulogu kao temelj za istraživanja [47]. Oni mogu poslužiti kao osnova za razvoj znanja, stvoriti smjernice za strategije i prakse, pružiti dokaze o učinku i, ako su dobro provedeni, imaju sposobnost iznjedrili nove ideje i pravce za određeno područje. Takvi pregledi literature služe kao osnova za buduća istraživanja i teorije [48].

Kao prvi korak, izrađen je protokol sustavnog pregleda literature s ciljem utvrđivanja opsega istraživanja, definiranja strategije istraživanja i postavljanja kriterija za odabir, klasifikaciju i izuzimanje publikacija. Kako bi se identificirala relevantna literatura s jasnom vezom samo na vitki razvoj proizvoda, pretraga je bila ograničena na radove u kojima se ključne riječi vitki razvoj proizvoda (engl. *Lean product development*) i/ili održivost (engl. *Sustainability*) i/ili alat pojavljuju u naslovu rada, sažetku ili ključnoj riječi. Korištena su pretraživanja ključnih riječi u bazi podataka, uključujući Web of Science, Scopus i Science Direct. To je u skladu s preporukama za korištenje najmanje dviju baza podataka [49]. Pretraživanje je rezultiralo člancima koji su zatim filtrirani prema sljedećim kriterijima:

1. Literatura objavljena na engleskom jeziku u zadnjih deset godina;

2. Rezultati pretraživanja uključivali su recenzirane članke, objavljene u akademskim časopisima i zbornicima međunarodnih konferencija. Prema Saundersu i sur. [50], takvi su izvori najkorisniji i najpouzdaniji za pregled literature;
3. Samo je domena inženjerstva postavljena kao relevantna (primjerice radovi s područja umjetnosti i humanističkih znanosti, astronomije i medicine su isključeni).

Druga tehnika koja je korištena jest tehnika snježne kugle (engl. *snowball technique*) tako da su proučavani popisi referencija odabranih radova, a i radovi koji su citirali odabrane radove, a sve kako bi se pronašli radovi koji su možda propušteni u pretraživanjima baza podataka. Sljedeći korak sastojao se od filtriranja početne liste publikacija kako bi se utvrdilo koji su radovi stvarno relevantni. Tijekom pregleda literature cilj je bio pronaći koji su to alati vitkog razvoja proizvoda kojima se može utjecati na održivost te na koje se to aspekte održivosti može utjecati u fazi razvoja proizvoda. Djelo se smatralo relevantnim ako je sadržavalo jasnu poveznicu s vitkim razmišljanjem i održivošću u razvoju proizvoda te s vitkim alatima i aspektima održivosti u razvoju proizvoda. Pod jasnom poveznicom smatra se da su glavna tema i zanimanje članka usmjereni na vitki i održivi razvoj proizvoda i da to nije usputno spomenuto u članku u sklopu neke druge teme. Je li djelo relevantno ili ne, odlučivalo se na temelju naslova publikacije, odnosno teksta navedenoga u sažetku rada, a ako to nije bilo dovoljno za isključenje, sljedeći korak bilo je čitanje uvoda i zaključka, a ako ni to nije bilo dovoljno za odluku, pročitani je cijeli rad.

## **2.2. Uvodna razmatranja o održivosti i vitkosti u razvoju proizvoda**

Globalni utjecaji, uključujući povećanu globalizaciju, zabrinutost zbog klimatskih promjena, nedostatak resursa, veću svijest sudionika o društvenim i ekološkim obvezama, kao i pojačanu konkurenciju i smanjeni profit u svim industrijskim sektorima, zahtijevaju od kompanija da poduzmu radnje kako bi očuvale, povratile ili održale svoje konkurentske prednosti za dugoročni opstanak [3]. Konkurentna priroda globalnog tržišta i naglasak na visokoj kvaliteti proizvoda doveli su do promjena u proizvodnim procesima. Od posebne je važnosti sve veća pozornost posvećena održivosti [30]. Jedna od najčešće proučavanih tema u literaturi o zelenoj proizvodnji u posljednjih 20 godina bila je studija odnosa između vitkih praksi i održivosti [28]. Načela vitkosti i održivosti mogu se koristiti zajedno i pridonijeti financijskim, ekološkim i društvenim poboljšanjima iako postoje neke razlike u njihovoj prirodi [21], [51], [52]. Filozofija vitkosti mogla bi se koristiti kao katalizator za poboljšanje učinka na području održivosti [27], [53], [54].

Tako primjerice [27] navodi da iako je definicija vrijednosti različita u te dvije strategije, one nisu u sukobu. Kod vitkog razvoja proizvoda kupac je taj koji odlučuje je li u procesu razvoja proizvedena vrijednost. Proširenje definicije vrijednosti kupca kod vitkog razvoja proizvoda na širu definiciju u kojoj su uključeni i korisnici koji odlučuju kupiti gotove proizvode i potencijalne prednosti za društvo moglo bi potaknuti implementaciju održivosti.

Nadalje, [53] zaključuju da je moguće povezati gubitke koje opisuje vitka filozofija s onima koje razmatraju i definiraju zelene inicijative iako gubitak ima različita značenja u te dvije strategije. U vitkom razmišljanju gubitak se odnosi na svaku aktivnost koja ne dodaje vrijednost proizvodu, dok se za zeleni koncept gubitak odnosi na rasipnu potrošnju vode, energije ili bilo kojeg prirodnog resursa. Unatoč njihovoj različitosti, aktivnosti bez dodane vrijednosti također se mogu smatrati dijelom rasipanja energije i prirodnih resursa. Primjerice, nepotreban ili pretjeran transport proizvoda i/ili sirovina nije samo jedan od sedam gubitaka po vitkosti, već i rasipanje neobnovljivih prirodnih resursa. Dakle, obje prakse imaju za cilj manje prijevoza radi uštede na troškovima (vitkost) i smanjenja potrošnje prirodnih resursa i emisije ugljikovog dioksida (zeleno). Ovo ukazuje na to da vitkost može poslužiti kao katalizator za zeleno, olakšavajući kompanijama primjenu politika i praksi zaštite okoliša.

Autori [54] su proučavali prepreke u uvođenju vitkosti i održivosti i zaključili da prepreke nisu neovisne i da među njima postoji veza. Zaključuju da taj međuodnos treba iskoristiti za bolju provedbu obje strategije.

Održivost budućeg proizvoda utvrđuje se tijekom procesa razvoja proizvoda [55]. U ranim fazama razvoja proizvoda, ključno je minimizirati troškove i poboljšati održivu izvedbu proizvoda [56]. Na temelju sve većeg priznanja istraživača da je većina ekoloških i društvenih utjecaja životnog ciklusa proizvoda određena početnim odlukama donesenima u procesu razvoja proizvoda, mnogi su akademski radovi pridonijeli području održivog konstruiranja predstavljanjem pristupa, strategija, metoda i alata za podršku održivom razvoju proizvoda [57]. Uključivanje vitkog razmišljanja u razvoj proizvoda u kompanijama predstavlja obećavajuću priliku za uzimanje u obzir i aspekata održivosti u razvoju proizvoda [58].

Iako je istraživanje međuodnosa vitkosti i održivosti možda jedna od najviše proučavanih tema u novije vrijeme [20], [28], većina istraživačkih napora ne daje odgovarajući sistematizirani odgovor na pitanja:

1. Kojim se alatima vitkog razvoja proizvoda može utjecati na održivost?
2. Na koje se aspekte održivosti može utjecati tijekom razvoja proizvoda?

U uvodnom pregledu istraživanja radova (potpoglavlje 1.1) uočen je nedostatak mogućnosti opisivanja odnosa vitki alat – aspekti održivosti. Kako bi se ispunio treći cilj istraživanja ovog doktorskog rada i opisao odnos vitkih alata prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima, što je i preduvjet za razvoj modela, potrebno je pronaći u literaturi vitke alate koji doprinose održivosti (primjerice [3], [15], [30], [31], [32]) i aspekte održivosti (primjerice [18], [28], [59], [33]) na koje se može utjecati u razvoju proizvoda no ne postoji njihova sistematizacija na jednom mjestu. Iz tog razloga je bilo potrebno napraviti sustavni pregled literature i odgovoriti na navedena pitanja, a rezultati su predstavljeni u potpoglavljima koja slijede.

### 2.3. Alati vitkog razvoja proizvoda

Koji se vitki alati za razvoj proizvoda mogu koristiti za utjecaj na aspekte održivosti prema literaturi, navodi Tablica 1, u kojoj su u prvom stupcu navedeni alati i prakse vitkog razvoja proizvoda koji se mogu koristiti za poboljšanje aspekata održivosti. U drugom stupcu navedeni su svi autori koji su naveli da određeni alat ima utjecaja na održivost. Ukupni broj pronađenih radova je 16.

Tablica 1 Vitki alati razvoja proizvoda i referencije spominjanja

LPD alat	Referencije
A3 menadžment	[31], [32], [11]
AHP-Analitički hijerarhijski proces (engl. AHP - <i>The Analytic Hierarchy Process</i> )	[60], [61]
Dizajn od kolijevke do kolijevke (engl. <i>Cradle to cradle</i> )	[62]
Dizajn za održivost (engl. <i>Design for sustainability</i> - DfS)	[11], [63], [64], [4]
Dizajn eksperimenta (engl. <i>Design of experiments</i> - DOE)	[31], [61]
Funkcionalno modeliranje (engl. <i>Functional modelling</i> )	[31]
Uključivanje zaposlenika	[30], [33], [65]
Povlačenje i Točno na vrijeme (JIT) (engl. <i>Just in time</i> )	[66], [3], [30], [33], [65], [4]
Kaizen (Kontinuirano poboljšanje)	[31], [3], [66], [30], [33], [65], [4]
Planiraj, učini, provjeri, djeluj (PDCA) (engl. <i>Plan, Do, Check, Act</i> )	[66], [3]
Poka Yoke	[66], [3], [4]



LPD alat	Referencije
Preference set – based design (PSD) ( engl. Set based concurrent engineering)	[58], [67], [63]
Mapiranje toka vrijednosti u razvoju proizvoda	[66], [3], [30], [31], [63], [61]
Šest sigma	[30], [65], [4], [61], [63],
Implementacija funkcije kvalitete (engl. <i>Quality function deployment</i> – QFD)	[31]
Standardizirani rad	[66], [3], [32], [4]
Krivulje kompromisa (engl. <i>Trade – off curves</i> )	[31], [32]
Vizualni menadžment	[66], [3], [4]
5S	[30], [3], [66], [65], [4], [61]
FMEA (engl. <i>Failure modes &amp; effects analysis</i> )	[61], [31]

Načela vitkog upravljanja i održivosti imaju više sličnosti nego razlika. Čini se da održivost, vođena vitkim načelima, još uvijek ima znatnu količinu neistraženog potencijala [3]. Razina implementacije metoda i alata za održavanje razmatranja održivosti u razvoju proizvoda općenito je niska, vjerojatno zbog neadekvatne praktične primjenjivosti i nepotpune pokrivenosti održivosti. Alternativno rješenje je ugraditi aspekte održivosti u postojeće metode i alate koji se obično koriste u kompanijama [58]. Kako bi se učinkovito uhvatili ukoštac s izazovima održivosti i dizajnirali proizvode za ekološki prihvatljiviju budućnost, početni zahtjev je osposobiti zaposlenike s novom perspektivom, koja ne uključuje samo ekonomska razmatranja nego i okolišne i društvene aspekte u njihov svakodnevni rad [11].

Korištenje vitkih alata može pomoći u prepoznavanju ekonomskih, okolišnih i društvenih gubitaka. Potraga za potpuno novim metodama možda nije najbolje rješenje za povećanje održivosti proizvoda. Primarni problem nije nedostatak metoda i alata, nego njihova primjena, a potrebno je dodatno razmišljanje o tome kako oni mogu pomoći aspektu održivosti [15]. Studija koju su proveli K. F. Barcia i sur. [33] identificira često korištene *lean 6 sigma* pristupe koji se primjenjuju kako bi se poboljšala održivost. Osim [33], nijedan drugi rad ne navodi na koje se aspekte održivosti može utjecati određenim vitkim alatima.

Kombiniranjem vitkog razvoja proizvoda sa svojim pristupom vitkom menadžmentu, kompanije imaju bolje šanse uzeti u obzir održivost u svojim procesima razvoja proizvoda. Moguće prilike za integraciju pogleda na održivost u razvoj proizvoda pojavljuju se kada se aspekti održivosti ugrade u vitke metode i alate koje tvrtke već redovito koriste. Nedostaje

analiza utjecaja svakoga pojedinačnog vitkog alata razvoja proizvoda na pojedinačne aspekte održivosti. Također bi bilo potrebno ispitati mogu li se određeni aspekti ugraditi u vitke alate kako bi se izbjeglo stvaranje novih metoda i alata.

## 2.4. Aspekti održivosti u razvoju proizvoda

Pregled literature uključivao je pronalaženje slučajeva u ranijim studijama koje objašnjavaju značenje aspekta održivosti, tj. koji se to ekološki, društveni i ekonomski aspekti sagledavaju u razvoju proizvoda. Održivost je ravnoteža između ekonomske, ekološke i društvene dimenzije [3]. Održivost počiva na trima stupovima - dimenzijama. Ako je jedan stup slab, cijeli je sustav neodrživ [4]. Aspekte održivosti na koje se, prema literaturi, može utjecati u fazi razvoja proizvoda navodi Tablica 2., tako da su grupirani prema dimenzijama: ekološki, društveni ili ekonomski, što je naznačeno u trećem stupcu. Drugi stupac prikazuje autore koji u svojim studijama navode određene aspekte. Ukupni broj pronađenih radova je 17.

Tablica 2 Aspekti održivosti grupirani prema dimenzijama održivosti i autorima

Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Referencija	Dimenzija održivosti
Emisija onečišćujućih tvari u zrak	[59], [33], [18], [28], [17], [68]	Okolišni
Onečišćenje	[59], [33], [18], [28], [69], [68]	
Očuvanje prirodnih staništa	[59], [33], [17]	
Potrošnja vode	[16], [70], [33], [18], [71], [28], [72], [68]	
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/ smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	[16], [70], [33], [71], [18], [28], [17], [69], [72], [68]	
Potrošnja energije	[41], [70], [33], [71], [18], [28], [17], [69], [72]	
Uporaba zemljišta	[16]	
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	[73], [70], [33], [17], [68]	
Strategija za kraj životnog vijeka proizvoda (primjerice, odlaganje i recikliranje)	[73], [70], [33], [18]	
Energetska učinkovitost tijekom faze korištenja/dizajn za transport	[74], [70], [33], [71], [18], [28], [17], [69], [16]	

Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Referencija	Dimenzija održivosti
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema uporabe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	[74], [33], [71], [18], [28], [69], [41], [16], [42], [17], [68]	
Promicanje mogućnosti popravka, nadogradnje i servisiranja	[71], [18], [69]	
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	[59], [33], [71], [28], [69], [42], [16], [17],[70] , [68]	Društveni
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	[59], [33], [71], [28], [16], [68]	
Dobrobit zajednice (pokriva, primjerice, angažman u razvojnim programima za zajednicu, ljudska prava, pravednost i korupciju)	[59], [33], [71], [72], [68]	
Nema prisilnog rada, nema dječjeg rada, nema korupcije	[75], [35]	
Pristup kvalitetnijoj pitkoj vodi, sloboda udruživanja, ravnopravnost spolova i pristup osnovnom znanju	[35]	
Kvaliteta i trajnost proizvoda	[73], [69],	
Funkcionalna izvedba	[73]	
Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje	[73], [33], [18], [28], [42], [16], [17], [70]	
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	[73], [70]	
Organizirano učenje	[33], [28]	
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	[59], [33], [18], [71], [28], [69], [16], [73], [17]	Ekonomski
Inovacijski potencijal	[17], [33], [28]	
Povećana konkurentnost, konkurentna prednost, stvaranje ekonomskih prilika	[17], [33], [28], [41]	
Poticanje i stimulacija motiviranosti zaposlenika	[17], [33], [28]	
Troškovi istraživanja i razvoja (R&D)	[73], [18]	
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	[73], [18], [72], [69]	
Prednosti u vrijednostima na tržištu i u kvaliteti proizvoda	[73], [33], [72]	
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (engl. <i>Design for manufacturing – DfM</i> )	[33], [18]	

Struktura Tablica 2 preuzeta je iz radova [18] i [33]. Autori [33] su u svom radu prikazali aspekte (nazivaju ih indikatori) koje su pronašli u 50 pregledanih članaka i pridodali ih određenoj dimenziji održivosti. J. P. Schöggel i sur. [18] naveli su aspekte održivosti na koje se može utjecati u željenoj fazi životnog ciklusa i povezali ih s odgovarajućim dimenzijama održivosti.

Inženjeri i dizajneri nisu obučeni za prepoznavanje okolišnih i društvenih posljedica proizvoda koje dizajniraju. Kako bi se riješio taj problem, potrebni su jednostavni i učinkoviti alati koji će dizajnerima i inženjerima omogućiti da razmotre okolišne i društvene implikacije svojeg rada, i da pritom uzmu u obzir složenu prirodu pitanja održivosti [18]. J. P. Schöggel i sur. [18] uveli su kontrolnu listu za podršku odlučivanju za procjenu okolišnih, ekonomskih i društvenih aspekata tijekom početnih faza razvoja proizvoda. R. Gould i sur. [35] osmislili su podršku za korištenje društvenih načela za analizu koncepata proizvoda. Podrška predstavlja numeričku analizu i koristi postojeće baze podataka i pokazatelje koji su odabrani zbog svoje važnosti za društvenu održivost.

Tablica 2 kreirana je na temelju pregleda literature i predstavlja odgovor na pitanje na koje se aspekte održivosti može utjecati tijekom razvoja proizvoda? Aspekti su sistematizirani prema dimenzijama održivosti što je jedan od ciljeva ovog rada. Ti aspekti će se nadalje koristiti u analizi učestalosti kojom će se odrediti najčešći prema literaturi i industriji. Zatim će se u smanjenom broju u anketnom upitniku koristiti za procjenu utjecaja alata.

## 2.5. Višekriterijalne metode odlučivanja

Donošenje odluka je odabir jedne alternative između više alternativa na temelju određenih kriterija [76]. Odluka se može donositi uzimajući u obzir više kriterija istovremeno, što zahtijeva procjenu različitih kriterija i vrednovanje alternativa prema tim kriterijima te zatim spajanje svih vrednovanja, kako bi se dobio rang svih alternativa s obzirom na problem koji se želi riješiti. Odlučivanje postaje zahtjevnije ako je u obzir potrebno uzeti mišljenja više ocjenjivača. Kako bi se riješio problem odlučivanja, razvijene su različite metode višekriterijalnog odlučivanja (engl. *Multiple-criteria Decision-making* (MCDM)) koje se primjenjuju u raznim područjima inženjeringa i održivosti i ta su područja prikladna za korištenje metoda odlučivanja [77].

Neke od metoda višekriterijalnog odlučivanja su: TOPSIS (engl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), PROMETHEE (engl. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), AHP (Analitički Hijerarhijski Proces),

ELECTRE (engl. *ELimination Et Choice Translating Reality*) i VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje). Tablica 3 prikazuje opise, prednosti i mane navedenih metoda.

Tablica 3 Usporedba višekriterijskih metoda odlučivanja

Metoda višekriterijskog odlučivanja	Opis	Prednosti	Mane
TOPSIS (engl. <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> )	Temelji se na udaljenosti alternative od idealnog rješenja. Najkraća geometrijska udaljenost od pozitivnog idealnog rješenja i najduža geometrijska udaljenost od negativnog idealnog rješenja.	Jednostavnost, geometrijska udaljenost kao vrijednost težine alternativa. Radi s temeljnim rangiranjem i u potpunosti koristi dodijeljene informacije.	Ne postoji mogućnost usporedbe u paru, kao niti detaljna evaluacija međusobnog odnosa kriterija i alternativa. Budući da koristi euklidske udaljenosti, ne pravi razliku između negativnih i pozitivnih vrijednosti.
PROMETHEE (engl. <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i> )	Odabir najbolje alternative za svaki pojedini cilj, odnosno omogućuje razumijevanje problema, što je u ovoj metodi veći prioritet od odabira jednog konačnog rješenja.	Koristan u situacijama kada je teško kvantificirati utjecajne elemente na odluku. Mogućnost grupnog odlučivanja. Bavi se kvalitativnim i kvantitativnim informacijama. Može uključiti nesigurne i nejasne informacije.	Problemi s velikim utjecajem ljudske percepcije i procjene – utjecaj subjektivnosti. Ne strukturira kriterije ispravno. Poteškoće u dodjeljivanju težina i složenost procesa. Dugotrajan je i ovisi o prisutnosti stručnjaka. Nedostatak razmatranja interakcija među kriterijima.
AHP (Analitički Hijerarhijski Proces)	Razbija složeni problem u sustav hijerarhija.	Može se koristiti za jednodimenzionalne ili višedimenzionalne probleme donošenja odluka. Prilagodljiv je, intuitivan i može se provjeriti nedosljednost odlučivanja. Računski nezahtjevan. Najprikladnija i najdosljednija metoda za definiranje težine kriterija. Bavi se i kvantitativnim i kvalitativnim kriterijima.	Promjene rangova (engl. <i>rank reversal</i> ). Složenost dodjele pondera kada je uključeno više donositelja odluka. Poteškoće u tumačenju nesigurnosti povezanih s prosudbom.
ELECTRE (engl. <i>ELimination Et Choice</i> )	Metoda koja koristi usporedbe u paru za procjenu stupnja preferencija između	Kriteriji se mogu definirati uz pomoć dvije karakteristike –	Unatoč tome što ima 4 revizije, još uvijek nije savršen i ponekad ne može identificirati

Metoda višekriterijskog odlučivanja	Opis	Prednosti	Mane
<i>Translating Reality</i> )	dostupnih alternativa. Odabire alternative koje su favorizirane u odnosu na većinu kriterija i nemaju neprihvatljivu izvedbu ni u jednom drugom kriteriju.	koeficijentom važnosti i ograničenjima. Bavi se i kvantitativnim i kvalitativnim kriterijima. Konačni rezultati potvrđuju se razlozima. Bavi se heterogenim ljestvicama.	optimalnu alternativu. Omogućuje samo bolji pogled na dostupne alternative odbacivanjem nepovoljnijih. Oduzima puno vremena. Ograničen set alternativa.
VIKOR (Višekriterijska Optimizacija i Kompromisno Resenje)	On rangira alternative na temelju njihove udaljenosti od idealnog rješenja. Može generirati više rješenja umjesto jednog; što se događa kada se nijedna od alternativa ne ističe, a postoji nekoliko alternativa toliko blizu idealnom rješenju koliko i ona koja je najbliža.	Ažurirana verzija TOPSIS-a. Postao je interaktivniji i omogućuje donositelju odluka da prilagodi ponderu putem informacija generiranih analizom kompromisa. Djelotvoran je u situacijama kada donositelj odluke nema preferencije na početku dizajna.	Potrebne su mu neke izmjene jer je ponekad teško modelirati model u stvarnom vremenu. Poteškoće u suočavanju s konfliktnim situacijama. Nedostatak razmatranja interakcija među kriterijima.

AHP je najpoznatija, najlakše razumljiva i najviše korištena višekriterijska metoda za rješavanje problema odlučivanja u realnim situacijama [78], [79]. AHP je možda najjednostavnija metoda za postavljanje prioriteta. To uključuje množenje svakog prioriteta alternative s prioritetom odgovarajućeg kriterija i zbrajanje svih kriterija kako bi se dobio opći prioritet tog kriterija [80]. Iako postoje kritike AHP-a u smislu njegova ograničenja kada se broj kriterija povećava, različiti primjeri u literaturi i svakodnevno poslovanje brojnih vladinih agencija, korporacija i konzultantskih tvrtki pokazuju kako je AHP sposobna i korisna strategija donošenja odluka [81].

AHP ima širu primjenu od bilo koje MCDM metode što pokazuje svestranost i sposobnost AHP-a u modeliranju raznih situacija u kojima se donose odluke [82], [83]. Vjerojatni razlozi široke primjene su ti što ga praktičari i akademici mogu lako razumjeti i koristiti ga za odluke u realnim situacijama. Drugi razlog za širu primjenu AHP-a može se pripisati dostupnosti komercijalno dostupnog programskog paketa pod nazivom Expert Choice. Iako i druge MCDM metode imaju namjenske komercijalne softverske pakete (na primjer, Decision Lab 2000 za PROMETHEE), algoritam AHP-a dopušta donositeljima odluka razvoj vlastitog programa ili korištenje Microsoft Excel za modeliranje i provedbu potrebnih proračuna. Ostali MCDM metode zahtijevaju namjenske softverske pakete za modeliranje i izvođenje izračuna. Nadalje, programiranje korištenjem tih uobičajenih paketa je teško, zamorno i dugotrajno. ELECTRE

nije široko primijenjen do sada u industriji, nije jednostavan i ne postoji komercijalni softver za široko korištenje iste. Matematičku je proceduru tako potrebno programirati i kalkulirati u softveru kao što je primjerice Matlab, što znači da nije moguće jednostavno provesti analizu osjetljivosti te definirati promjene u modelu.

Konačno, AHP bi bio prikladan kad god je cilj jasno naveden i dostupan je skup relevantnih kriterija i alternativa. To je jedna od rijetkih MCDM metoda koja može obraditi mnogo kriterija i potkriterija, čak i ako su neki od njih kvalitativni. Problem odabira vitkih alata koji utječu na željene aspekte održivosti koji se proučava u ovom radu se može lako modelirati korištenjem AHP-a.

Prema [80] prednost AHP-a u rješavanju složenog problema odlučivanja je što razlaže problem na cilj, kriterije, potkriterije i alternative i raspoređuje ih u hijerarhijsku strukturu. Takav koncept pomaže donositeljima odluka u boljem razumijevanju odnosa između faktora odlučivanja i u odabiru odgovarajuće alternative koja najviše pridonosi željenom hijerarhijskom faktoru. Nadalje, usporedbe u paru su prirodan način usporedbe. Usporedba dva elementa (alternative) u isto vrijeme prema omjernoj skali je prednost jer omogućuje razdvajanje važnosti dvaju elemenata koji imaju bliske razine važnosti. Tako se postiže jasnije rangiranje čimbenika nego pri ocjenjivanju velikog broja faktora.

Na temelju analize radova i problema koji se rješavaju MCDM metodama autori [77] su zaključili da AHP metoda ima najširu primjenu i kada je u pitanju inženjering i održivost. AHP je metoda već korištena u radovima na temu vitkosti [84], [85], [86] i održivosti [68], [87].

## **2.6. Nedostaci prethodnih studija**

Prema dostupnoj literaturi, postoji ograničen broj industrijskih slučajeva koji pružaju uvid u konkretne praktične primjene načela vitkosti i održivosti u razvoju proizvoda unutar industrijskih okruženja. Među brojnim metodama, alatima i pristupima koji su kreirani kako bi se pomoglo u pomaku industrije prema održivom dizajnu i razvoju proizvoda, samo se nekoliko praktično koristi [57], [88]. Uvriježene kritike alata za podršku održivosti prilikom konstruiranja su njihova dugotrajnost i neadekvatna lakoća korištenja [89], [57].

Ciljevi razvoja održivog proizvoda su zadovoljiti kupce, postići održivost u poslovanju i zadovoljiti zahtjeve svih sudionika u industriji. Ipak, usvajanje kriterija održivosti u razvoju proizvoda u industriji je rijetko, posebice u automobilskoj industriji [23]. Uključivanje vitkog

razvoja proizvoda u cjelokupno vitko razmišljanje organizacija predstavlja obećavajuću priliku za uzimanje u obzir i aspekata održivosti tijekom razvoja proizvoda [58].

Iako je istraživanje odnosa vitkosti i održivosti možda jedna od najzastupljenijih tema u novije vrijeme, većina istraživačkih napora ne daje odgovarajući odgovor na pitanje: Na koje aspekte održivosti mogu utjecati vitki alati? Ograničena gledišta prethodnih istraživanja rezultirala su rascjepkanim razumijevanjem odnosa između vitkih alata razvoja proizvoda i različitih vrsta aspekata održivosti. Također nije sistematizirano koje to aspekte održivosti inženjeri u industriji uzimaju u obzir pri razvoju proizvoda.

Zaključak je da ne manjka radova koji navode aspekte održivosti, ali su ti aspekti uglavnom uključeni u različite modele procjene održivosti. Navedenim modelima nedostaje komponenta koja bi evaluirala utjecaj pojedinih vitkih alata koje dizajneri već koriste u svojem radu na navedene aspekte održivosti. Inženjeri bi tako postali svjesniji vlastitog utjecaja na održivost proizvoda kroz alate koje koriste i odluke koje donose dok koriste te alate.

Spajanje vitkog razvoja proizvoda s praksama vitkog upravljanja omogućuje kompanijama da učinkovitije integriraju održivost u svoje procese razvoja proizvoda. Ova integracija je izvediva kada su elementi održivosti ugrađeni u vitke metode i alate koje tvrtke redovito koriste. Međutim, postoji nedostatak analiza o specifičnom utjecaju svakoga vitkog alata razvoja proizvoda na različite aspekte održivosti. Nadalje, ključno je utvrditi mogu li se specifični aspekti održivosti integrirati u dobro uspostavljene vitke alate, čime se izbjegava potreba za razvojem novih metoda i alata.

Uzimajući u obzir navedene zaključke, prema kojima nedostaje realnih industrijskih pogleda o aspektima održivosti koje inženjeri u industriji uzimaju u obzir pri razvoju proizvoda i informacija o vitkim alatima koje pritom koriste, sljedeći korak u istraživanju služi se metodom studije slučaja. Navedena metoda usredotočuje se na suvremene događaje te je prikladna za pronalaženje odgovora na pitanja koji nedostaju u znanstvenoj literaturi. Poglavlje koje slijedi daje uvid u provedeno istraživanje studijom slučaja i nudi odgovore na otvorena pitanja o tome koji se vitki alati koriste u industriji i koji se aspekti održivosti razmatraju.



### 3. ISTRAŽIVANJE STUDIJOM SLUČAJA

U ovom poglavlju predstavljen je uvid iz industrijske perspektive o vitkim metodama i alatima u razvoju proizvoda koji mogu pridonijeti u integraciji i promicanju održivosti. Navedeno je uočeno kao nedostatak prilikom pregleda literature. Industrijska perspektiva istražena je u studiji slučaja. Studija slučaja odabrana je kao prikladna strategija za provođenje tog istraživanja jer uključuje empirijsko istraživanje određenog suvremenog događaja unutar stvarnih životnih okolnosti koristeći više izvora dokaza i odgovarajući na pitanja „kako?“ [90]. Suvremeni događaj predstavlja razvoj proizvoda, a stvarne životne okolnosti su industrijsko okruženje.

Studiji slučaja trebaju prethoditi izjave o svrsi istraživanja (ciljevi), o tome što će se istražiti (istraživačka pitanja) i kriteriji prema kojima će se istraživanje ocijeniti uspješnim [90]. Cilj autorice bio je istražiti kako i koje aspekte održivosti inženjeri u industriji razmatraju tijekom razvoja proizvoda, identificirati najčešće korištene vitke alate i metode te istražiti opcije za uključivanje održivosti u vitke alate koje koriste. Informacije o učestalosti aspekata održivosti i korištenja vitkih alata u industriji koristit će pri odabiru vitkih alata i aspekata koji će ući u sljedeći korak istraživanja – anketu. Kako bi se odgovorilo na nedostatke proizašle iz pregleda literature i postigli ciljevi istraživanja, postavila su se sljedeća istraživačka pitanja:

**P1: Kako se vitkim alatima koji se već koriste u razvoju proizvoda kompanije može utjecati na aspekte održivosti?**

**P2: Kako se aspekti održivosti mogu integrirati u alate vitkog razvoja proizvoda koji se već koriste u razvoju proizvoda kompanije?**

Kriteriji prema kojima će se istraživanje ocijeniti uspješnim (ili ne):

- prikupiti podatke i odrediti aspekte održivosti koji se sagledavaju u razvoju proizvoda te vitkim metodama/praksama/alatima koji se pritom primjenjuju,
- prikupiti podatke o korištenju vitkih alata, te uključivanju aspekata održivosti u njih,
- prikupiti praktične prijedloge o uključivanju održivosti u razvoj proizvoda.

U nastavku poglavlja opisani su razlozi odabira višestruke studije slučaja, kompanije u kojima su provedene studije, način izrade intervjua, rezultati i zaključci.

### 3.1. Višestruka studija slučaja

Primijenjena je metodologija višestruke studije slučaja prema Yinu [90] kako bi se temi utjecaja vitkih alata na održivost u razvoju proizvoda pristupilo s istraživačke točke gledišta. Prema Yinu [90], metodologija studije slučaja prikladna je kada su istraživačka pitanja tipa „zašto“ ili „kako“ usredotočena na suvremene događaje za razliku od povijesnih događaja i ne zahtijevaju kontrolu ponašanja događaja. Smisao kontrole ponašanja događaja je da ne postoji kontrola nad okruženjem prikupljanja podataka kao što postoji primjerice pri korištenju eksperimenta gdje se u laboratorijskom okruženju kontroliraju ulazne postavke i izlazne varijable. Odabrana je višestruka studija slučaja jer ona, za razliku od jednostruke, nudi mogućnost opisa svakog (pojedinačnog) slučaja i istovremeno omogućuje usporedbu između slučajeva. Dokazi iz više slučajeva često se smatraju uvjerljivijima, pa se cjelokupna studija stoga smatra snažnijom [90].

U ovom doktorskom radu studija višestrukog slučaja obuhvaća pet slučajeva današnjeg stvarnog razvoja proizvoda u hrvatskim kompanijama. Fokus tijekom intervjua bio je na samom procesu razvoja proizvoda bez pokušaja da se na njega utječe i bez ulaska u druge događaje i procese u kompanijama. Važna ideja u istraživanju u ovom radu bila je kroz intervju razumjeti i opisati razloge (“zašto?”) i načine (“kako?”) sagledavanja aspekata održivosti u razvoju proizvoda i pritom korištenih vitkih alata. Metodologija višestruke studije slučaja je odabrana jer je prikladna za odgovaranje na postavljena istraživačka pitanja. Popis pitanja studije slučaja i tema obrađenih tijekom intervjua te razlozi za pitanja prikazani su kasnije u poglavlju 3.4 u Tablica 6.

Višestruka studija slučaja pruža mogućnost opisa svakog (pojedinačnog) slučaja i istovremeno omogućuje usporedbu između slučajeva [47]. To su razlozi za njezin odabir. Ideja koju je autorica imala i koja je pridonijela odabiru metodologije višestruke studije slučaja bila je opisati primjere iz stvarnog života o tome kako rade inženjeri, kojim vitkim alatima se služe i uključuju li, kako i kada u razvoj svojih proizvoda koje aspekte održivosti. Prema Flyvbjergu [91], studije slučaja – primjeri iz stvarnog života mogu pružiti kontekstualno znanje za predstavljanje opće teorije i preskriptivna istraživanja.

U studiji slučaja važno je osigurati da su dobiveni podaci povezani sa svrhom studije. Jedan od načina da se to postigne je da se nakon provedene višestruke studije slučaja međusobno usporede pojedini slučajevi te da se međusobno spoje zaključci iz usporedbi [90]. Budući da je svrha ove studije bila proširiti postojeće znanje o vitkim alatima i uključivanju aspekata održivosti u razvoj proizvoda u kompanijama, svih pet slučajeva je međusobno

uspoređeno, kao i s prethodnim istraživanjima drugih istraživača. Rezultati su opisani u poglavlju 3.6.

Konstruktivna valjanost, unutarnja valjanost, vanjska valjanost i pouzdanost kriteriji su koji se mogu koristiti za procjenu kvalitete istraživanja [90]. Konstruktivna valjanost brine se da mjere koje se koriste (izvori i lanac dokaza, ispitanici) budu relevantne za studiju. Interna valjanost odnosi se na uspostavljanje snažnoga uzročnog odnosa između varijabli. Vanjska valjanost odnosi se na opisivanje okruženja u kojima se nalazi iz studije mogu generalizirati. Pouzdanost se odnosi na jasno opisivanje načina na koji je studija provedena. Nekoliko strategija može se primijeniti za postizanje visoke konstruktivne valjanosti, unutarnje valjanosti, vanjske valjanosti i pouzdanosti [90]. Tablica 4 prikazuje strategije na kojima su uspostavljene konstruktivna valjanost, unutarnja valjanost, vanjska valjanost i pouzdanost u ovom doktoratu.

**Tablica 4 Predloženi i primijenjeni kriteriji za postizanje kvalitete istraživanja studijom slučaja**

<b>Kriteriji kojima treba težiti [90]</b>	<b>Predložena strategija za primjenu [90]</b>	<b>Strategija koja će se primijeniti u ovoj studiji slučaja</b>
<b>Izgraditi konstruktivnu valjanost</b> (Jesu li dobiveni podaci relevantni za studiju?)	Koristiti višestruke izvore dokaza (kod prikupljanja podataka)	Intervju, mapa procesa, izvještaji potekli iz korištenih alata, izvještaj održivosti kao izvori podataka. Visoka valjanost može se uspostaviti odabirom pouzdanih izvora podataka [92]. Stoga je potrebno pažljivo odabrati ispitanike za intervju.
	Uspostaviti lanac dokaza (pri sakupljanju podataka)	Uglavnom se postiže opisivanjem odnosa između istraživačkih pitanja i pitanja i odgovora iz intervjuja te odnosa svih prikupljenih podataka i donesenih zaključaka.
	Neka ključne osobe koje su izvori informacija pregledaju skicu izvješća o studiji slučaja	Svaki ispitanik će pregledati, prilagoditi i verificirati zapis svog intervjuja. Nijedna analiza ni nalaz neće/ne smiju biti verificirani od strane ispitanika. Ispitanici će verificirati samo odgovore, tj. prikupljene empirijske podatke.
<b>Unutarnja valjanost</b> (uspostaviti uzročne veze)	Uskladiti uzorke (engl. <i>pattern matching</i> )	Analizirati koji alati i aspekti su najčešći u industriji te ih usporediti s podacima iz pregleda literature. Biti transparentan u interpretaciji podataka.
	Izraditi objašnjenje	Nastojati uspostaviti uzročne veze, pri čemu obratiti pozornost na to da određeni uvjeti dovode do drugih stanja, za razliku od lažnih veza. Istražitelj će zaključiti o vezama alata i aspekata i njihovom korištenju, na temelju intervjuja i dokumentiranih dokaza prikupljenih u sklopu studije slučaja.

Kriteriji kojima treba težiti [90]	Predložena strategija za primjenu [90]	Strategija koja će se primijeniti u ovoj studiji slučaja
	Referirati suprotna objašnjenja	Raspraviti i usporediti s prijašnjim nalazima i zaključcima iz literature. Pronalazak vitkih alata i aspekata u znanstvenoj literaturi.
<b>Vanjska valjanost</b> (generalizacija)	Koristiti replikacijsku logiku u višestrukim studijama slučaja	Odabrati slučajeve koji su reprezentativni za skupinu, ali se očekuje da će imati nekoliko razlika (teorijska replikacija) – kompanije različite veličina i iz različite industrije. Dodatno, primijeniti analitičku generalizaciju koja se uglavnom provodi usporedbom empirijskih podataka u studiji višestrukih slučajeva s opisima u studijama drugih istraživača [90]o tome kako proizvodne tvrtke uključuju aspekte održivosti u razvoj proizvoda te koje alate pritom koriste.
<b>Pouzdanost</b> (opis kako je studija provedena)	Koristiti protokol studije slučaja	Izraditi, koristiti i pohraniti u računalnim datotekama istraživačka pitanja, imena i uloge kontakt osoba, detaljne prakse prikupljanja podataka i veze između (1) pitanja za intervju, (2) pitanja na koja se želi odgovoriti u istraživanju studijom slučaja i (3) odgovora na pitanja iz određene tvrtke.
	Dokumentirati procedure praćene u studiji slučaja	Pohraniti podatke iz protokola.
	Izgraditi bazu podataka studije slučaja	Neobrađene podatke i radne verzije studije slučaja pohraniti u računalne datoteke.
	Sačuvati lanac dokaza	Opise utvrđenog lanca dokaza sačuvati u računalnim datotekama

Konstruktivna valjanost postiže se korištenjem višestrukih izvora podataka u svakoj proizvodnoj tvrtki; opisivanjem veza između istraživačkih pitanja, pitanja intervjua, prikupljenih podataka i zaključaka čime se uspostavlja lanac dokaza; te dopuštajući ispitanicima da provjere i prilagode opise slučajeva. Uz strategije za postizanje konstruktivne valjanosti koje predlaže [90], valjanost se može uspostaviti odabirom pouzdanih izvora podataka [92]. Stoga su ispitanici za intervju pažljivo odabrani.

U ovom doktorskom radu unutarnja valjanost odnosi se na valjanost veza između vitkih alata kojima se kompanije koriste i aspekata koje žele ostvariti. Unutarnja valjanost uglavnom se postiže analizom koji alati i aspekti su najčešći u kompanijama te usporedbom tih rezultata sa zaključcima navedenima u literaturi (prikazano poslije u Tablica 7 i Tablica 8). Yin [90] to opisuje kao "usklađivanje uzorka" i "obraćanje suparničkim objašnjenjima". Također se težilo transparentnosti u tome kako su podaci interpretirani s pomoću uspostavljanja veza između odgovora i zaključaka.

Vanjska valjanost postiže se analitičkom generalizacijom i teorijskim ponavljanjem (replikacijom). Analitička generalizacija znači da se testiraju teorija ili hipoteza (koja se primjenjuje na višoj razini od jednog slučaja). Test može rezultirati "...potvrđivanjem, modificiranjem, odbacivanjem ili na neki drugi način unaprjeđenjem teorijskih koncepata [teorija ili hipoteza]...", ili razvojem novih teorija ili hipoteza [90]. Analitička generalizacija uglavnom je provedena usporedbom empirijskih podataka u studiji višestrukih slučajeva s opisima u studijama drugih istraživača. Literatura je pretražena prije i tijekom višestruke studije slučaja. Opisi u prethodnim istraživanjima služe kao trenutna baza znanja, tj. teorije. Dio pregleda literature prikazan je u 2. poglavlju, a dio zaključaka drugih istraživača navodi se tijekom diskusije u poglavlju 3.6. Studije slučaja mogu se koristiti i za generiranje i za testiranje teorije [47]. U ovom radu usporedba je sredstvo provjere i razvijanja teorije. Provjerava se koji se to vitki alati koriste u razvoju proizvoda za postizanje održivosti i razvija se teorija kako se s njima može utjecati i na koje to aspekte održivosti. Za višestruku studiju slučaja, teorijska replikacija znači odabrati slučajeve za koje se očekuje da će pridonijeti kontrastnim rezultatima [90]. Teorijska replikacija provedena je odabirom tvrtki istog tipa (razvojnih kompanija reprezentativnih za grupu), ali koje su ipak imale razlika prema veličini kompanije, broju zaposlenika, osobinama proizvoda koje razvijaju, zahtjevima proizvoda koje moraju zadovoljiti te se očekivalo da daju kontrastne rezultate. Replikacijski pristup studijama višestrukih slučajeva pokazuje se odabirom kompanija i definiranjem pitanja koji su važni koraci u procesu dizajna i prikupljanja podataka. Svaka pojedinačna kompanija predstavlja zasebnu studiju slučaja, tj. sastoji se od "cjelovite" studije u kojoj se traže odgovori i zaključci. Zaključci svakog slučaja tada se smatraju informacijama koje trebaju replikaciju drugih pojedinačnih slučajeva. Pojedinačni slučajevi i rezultati svih slučajeva zajedno su u središtu završnog izvješća. Prvo su analizirani odgovori za svaki pojedinačni slučaj i izvješće navodi kako i zašto je određena tvrdnja prikazana (poglavlje 3.6.1). Zatim su međusobno uspoređeni odgovori iz svih kompanija (poglavlje 3.6.2) i izvješće navodi gdje su se pojavili isti rezultati, a gdje suprotni.

Jedna od strategija za postizanje visoke pouzdanosti je stvaranje i korištenje protokola studije slučaja. Protokol studije slučaja kratak je i jasan opis najvažnijih informacija koje su potrebne za provedbu istraživanja, a namijenjen je usmjeravanju istraživača u provođenju prikupljanja podataka iz pojedine studije slučaja [90]. U istraživanju za ovu tezu, informacije o slučaju koje se smatraju najrelevantnijima uključivale su istraživačka pitanja, imena i uloge kontakt osoba i vezu između pitanja za intervju i istraživačkih pitanja. Podaci o ovoj studiji slučaja pohranjeni su u računalnim datotekama. Odnos između pitanja za intervju i istraživačkih

pitanja koji prikazuje Tablica 6 smatra se važnim dijelom protokola slučaja jer je izrada protokola podržala stvaranje relevantnog skupa pitanja za intervju.

Maxwell [92] tvrdi da bi istraživač trebao identificirati "najozbiljnije i najvjerojatnije" prijetnje valjanosti i prikladne strategije za suočavanje s tim prijetnjama. U ovom istraživanju najvažnijom prijetnjom valjanosti smatra se pristranost autorice pri tumačenju odgovora u intervjuima i opisu slučajeva. Tom je prijetnjom upravljano dopuštanjem ispitanicima da provjere opise slučajeva i opisivanjem kako je autorica interpretirala i izvela podatke iz opisa slučajeva. Nakon odrađenog intervjua, autorica je zabilježene odgovore na pitanja poslala ispitaniku na pregled koji ih je po potrebi uskladio i ispravio te vratio autorici uz konačnu potvrdu točnosti.

### **3.2. Odabir kompanija za studiju slučaja**

Važno je identificirati generalizirane teme, obrasce i razlike koje proizlaze iz studija slučaja, kako unutar pojedinačnih kompanija tako i među kompanijama različitih veličina i industrija [93]. Kada se radi s raznolikim uzorkom, očekuje se da će se pojaviti suprotni rezultati i da će biti moguće identificirati prijedloge za uzročne veze [94]. Za odabir kompanija i sudionika intervjua korištena je strategija svrhovitog uzorkovanja kako bi se osigurala vanjska valjanost rezultata, što je preduvjet za generalizaciju. Logika i snaga svrhovitog uzorkovanja leže u odabiru slučajeva koji su bogati informacijama. Informacijama bogati slučajevi su oni iz kojih se može mnogo naučiti o važnim pitanjima za svrhu istraživanja [95]. Pristup svrhovitog uzorkovanja primijenjen kako bi se poboljšala usporedivost uzoraka slučajeva, a time i vanjska valjanost rezultata [92]. Sve su kompanije poznate istraživaču te dostupne. Stoga, kompanije koje su kontaktirane i pozvane da sudjeluju u ovoj studiji dijele sljedeće karakteristike: nalaze se u Hrvatskoj, na području Zagreba, djeluju u globalnim poslovno-poslovnim okruženjima, imaju razvoj proizvoda i proizvodnju. Kompanije u studiji slučaja razlikuju se i po veličini, sektoru u kojem posluju i vrsti proizvoda koje nude. Slučajevi se nazivaju K1 za studiju slučaja u kompaniji 1, K2 za studiju slučaja u kompaniji 2 i tako dalje. Ove će se kratice koristiti u ostatku rada.

Također, tražene su proizvodne kompanije koje u razvoj proizvoda donekle uključuju aspekte održivosti, koje nastoje poboljšati tu uključenost te koriste vitke alate. Od takvih se kompanija očekivalo da pridonese novim podacima i da služe kao primjeri iz stvarnog života kako se aspekti održivosti mogu uključiti u razvoj proizvoda. Unutar ove "skupine" kompanija ideja je bila proučavati kompanije koje bi mogle pridonijeti kontrastnim podacima, odnosno

kompanije koje rade drukčije i suočavaju se s različitim izazovima vezano uz vrstu proizvoda koji razvijaju.

Kontaktirano je osam proizvodnih kompanija koje su pozvane da sudjeluju u studiji slučaja. Pet od osam proizvodnih kompanija pristalo je sudjelovati i u svih pet kompanija obavljani su strukturirani intervjui. Svih pet kompanija odabrano je za daljnju analizu i uključivanje u višestruku studiju slučaja. Te kompanije imaju različite pristupe i različite stupnjeve zrelosti u implementaciji praksi vitkosti i održivosti. Odjel istraživanja i razvoja proizvoda definiran je kao organizacijski odjel kompanija koji je aktivno sudjelovao u ovom istraživanju. Tablica 5 daje pregled informacija o kompanijama u kojima je provedena višestruka studija slučaja.

**Tablica 5 Pregled karakteristika kompanija koje su uključene u studiju slučaja**

<b>Kompanija</b>	<b>Broj zaposlenika</b>	<b>Osobine proizvoda</b>	<b>Intervjuirane pozicije</b>
K1	više od 250.000 zaposlenih u 46 zemalja, 190 u Hrvatskoj	dobavljač proizvoda za ožičenja te električnih i podatkovnih proizvoda za automobile	voditelj tima za istraživanje i razvoj i osoba odgovorna za procese i standardizaciju, 18 godina iskustva
K2	460 zaposlenih u Hrvatskoj	sustavi čistih soba, oprema za ventilaciju i klimatizaciju.	voditelj istraživanja i razvoja, 17 godina iskustva
K3	449 zaposlenih u Hrvatskoj	proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije	voditelj istraživanja i razvoja, 20 godina iskustva
K4	1500 zaposlenih u Hrvatskoj	proizvođač automobila koji razvija i proizvodi električne sportske automobile, pogonske sklopove i baterijske sustave	voditelj projekta, 7 godina iskustva i viši inženjer, 14 godina iskustva
K5	20.000 zaposlenih u svijetu, 250 u Hrvatskoj	rješenja i usluge za napajanje, hlađenje i IT infrastrukturu	specijalist operativnih sustava, <i>lean manager</i> 8 godina, ukupno 23 godine iskustva

### 3.3. Prikupljanje podataka

Primarna metoda koja se koristila za prikupljanje informacija od kompanija u studiji slučaja bili su intervjui, slijedeći utvrđene procedure za standardizirane strukturirane intervjue. Taj je pristup odabran kako bi se dobili uvidi, pogledi i mišljenja stručnjaka uključenih u trenutnu praksu [92]. Intervjui su odrađeni u travnju, svibnju i lipnju 2023. godine.

Osim toga, korištena je strategija triangulacije. Triangulacija u istraživanju znači korištenje više skupova podataka, metoda, teorija i/ili istraživača za rješavanje istraživačkog pitanja. To je istraživačka strategija koja može pomoći povećati valjanost i vjerodostojnost nalaza i ublažiti prisutnost bilo kakvih istraživačkih pristranosti u radu [96]. Triangulacija je ostvarena na tako da su uspoređeni dokazi iz različitih izvora podataka poput zapisa intervjua, formalnih izvora (dijagrami procesa razvoja proizvoda, primjeri izvještaja korištenih vitkih alata, izvještaji održivosti, certifikati) te autoričinih bilješka s uvida u interne dokumente koji su dani samo na uvid. Triangulacija i višestruki izvori podataka su kriteriji kojima se može vrednovati kvaliteta istraživanja. Kako bi se ispunili ti kriteriji, mogu se koristiti različite strategije (kao što navodi Tablica 4).

### 3.4. Strukturirani intervjui

Intervjui su bitan izvor dokaza i jedan od najvažnijih izvora informacija u studiji slučaja. Sugovornici koji su dobro upoznati s tematikom mogu dati važne uvide u događaje i pomoći u identificiranju drugih relevantnih izvora dokaza [90]. Za ovu studiju slučaja odabran je strukturirani intervjui kao prikladna metoda prikupljanja podataka. Strukturirani intervjui preporučuje se ako istraživač ima jasan fokus na ono što treba istražiti i kako analizirati podatke. On sadrži unaprijed određena pitanja s fiksnim formulacijama i s unaprijed postavljenim redoslijedom. Višestruka studija slučaja može zahtijevati određenu strukturu kako bi se osigurala usporedivost između slučaja. Strukturirani intervjui mogu pružiti tu strukturu [47].

Cilj intervjua bio je steći opsežan uvid i pregled načina na koji odabrane kompanije rade s vitkim alatima i praksama i održivošću u razvoju proizvoda. Intervjui su uključivali pitanja o tome kako kompanije uključuju aspekte održivosti u razvoj proizvoda i kako u tu svrhu koriste vitke alate. Trajali su između 80 i 120 minuta. Teme i pitanja intervjua prikazani su u Tablica 6. Tijekom svih intervjua rađene su opsežne opisne bilješke i potpuni zapisi intervjua koristeći računalo. Ispitanici su bili iskusni zaposlenici s viših hijerarhijskih razina u odjelima za razvoj proizvoda, jer su najviše upoznati s korištenim procesima i alatima te su najrelevantniji za



davanje stručnog mišljenja. Stoga je intervju započeo općim pitanjima o njihovim radnim položajima i radnom iskustvu, kako bi se procijenila uvjerljivost u njihovim odgovorima. Nakon uvodnih pitanja, intervju se usredotočio na prikupljanje informacija o korištenim alatima, razmotrenim aspektima i detaljnim opisima i objašnjenjima je li i kako je integracija aspekata održivosti obuhvaćena korištenjem vitkih alata. Postavljena su pitanja koja se djelomično preklapaju s ciljem validacije drugih odgovora i kako bi se osiguralo da se postave i rasprave sva bitna pitanja. Provedeni su intervjui licem u lice.

Pitanja za intervju kreirana su prije intervjua. Kako bi se osiguralo da pitanja za intervju generiraju odgovore relevantne za pitanja na koje studija slučaja želi odgovoriti, sve pitanja za intervju mapirana su u odnosu na P1 i P2. Cilj intervjua bio je dobiti mišljenja iz hrvatske industrije vezano uz održivost i vitke alate. Naglasak strukturiranog intervjua bio je istražiti koji se vitki alati koriste i koje aspekte kompanije uzimaju u obzir pri razvoju proizvoda. Navedeno je bitno jer će se kasnije u radu provesti analiza učestalosti koja će obuhvaćati podatke iz literature i podatke iz industrije. Uz to željelo se saznati o povezanosti između vitkih alata i održivosti u pojedinoj kompaniji. Pitanja u intervjuu definirana su na temelju informacija dobivenih pregledom literature i uočenima nedostacima prijašnjih istraživanja. Preuzimanje već ranije definiranih setova pitanja iz prijašnjih istraživanja nije bilo moguće jer prema autoričinom znanju ne postoji istraživanje koje je pokušalo odgovoriti na jednaka istraživačka pitanja. Najslbličnije istraživanje je ono autora [16] koji se usredotočuje na izazove i razloge za izazove prilikom uključivanja održivosti u razvoj proizvoda proizvodnih kompanija.

Upitnik započinje upoznavanjem iskustvom i zadacima ispitanika čime se htjela pokazati relevantnost ispitanika u odgovorima na postavljena pitanja te upoznatost s događajima u kompaniji u kojoj rade. Drugo i četvrto pitanje postavljeno je s namjerom da se prikupe podaci o korištenju aspekata i alata u industriji kako bi se mogla usporediti učestalost korištenja s onima u literaturi prema Tablica 1 i Tablica 2. To će poslužiti i pri odabiru alata i aspekata koji će ući u anketno istraživanje. Trećim pitanjem, željelo se saznati koji alati i metode se koriste za uključivanje održivosti i je li među njima koji vitki alat. Također drugo, treće i četvrto pitanje postavljeno je s namjerom da se uoči koliko dobro su ispitanici upoznati s aspektima održivosti i vitkim alatima pošto autor [18] navodi da inženjeri i dizajneri nisu obučeni za prepoznavanje okolišnih i društvenih posljedica proizvoda koje dizajniraju. Pitanja 5., 6. i 7. nadovezuju se na pitanje 4. s namjerom da se direktno sazna da li se vitki alati koriste za uključivanje održivosti te koji alat bi prema ispitanicima imao potencijal za integraciju održivosti. Tim pitanjima se željelo ispitati i tezu autora [58] da je rješenje za povećanje razmatranja održivosti u razvoju proizvoda u ugrađivanju aspekata održivosti u postojeće metode i alate koji se obično koriste u

kompanijama. Pitanja 8., 9. i 10. odnose se stavove ispitanika o implementaciji održivosti u budućnosti i o izazovima, željama i perspektivi uključivanja održivosti u njihov svakodnevni rad. Pitanje je potaknuto radom [11] koji govore o osposobljavanju zaposlenika o uključivanju održivosti u svoj rad i radom [15] koji navodi potrebu za poboljšanjem primjene postojećih alata i pritom snažnijem razmišljanju kako mogu pomoći održivosti. Zadnja dva pitanja, 11. i 12., imala su svrhu da ispitanik iznese mišljenja koja smatra bitnima, a nisu pokrivena upitnikom te da samostalno daje zaključak o prethodnim temama.

**Tablica 6 Pitanja postavljena u studiji slučaja**

<b>Pitanja</b>	<b>Veza s istraživačkim pitanjem</b>	<b>Razlog za pitanje</b>
1. Opišite koje su Vaša uloga i pozicija te svoje praktično iskustvo. Koji su Vaši glavni zadaci na poslu?		Pokazati da su ispitanici za intervju pažljivo odabrani jer se time izgrađuje valjanost studije slučaja.
2. Koje aspekte održivosti trenutno sagledavate/razmatrate u razvoju proizvoda? (aspekti održivosti na koje se usredotočujete)?	P1	Dobiti uvid u primjere iz stvarnog života o tome koji se aspekti koriste. Usporediti s podacima o učestalosti spominjanja navedenima u literaturi.
3. Kako uključujete aspekte održivosti u svoje proizvode?	P1	Saznati koji alati i metode se primjenjuju pri uključivanju aspekata održivosti u razvoj proizvoda.
4. Koje vitke alate koristite u svojem radu?	P1	Dobiti uvid u primjere iz stvarnog života o tome koji se vitki alati koriste. Usporediti s podacima o učestalosti spominjanja navedenima u literaturi.
5. Uključuje li vitki alat koji koristite aspekte održivosti i ako da, objasnite kako?	P1	Dobiti uvid u primjere iz stvarnog života o tome koji vitki alati uključuju aspekte održivosti. Usporediti s podacima o utjecajnim alatima navedenima u literaturi.
6. U koje alate bi se po Vašem mišljenju mogao uključiti/dodatno integrirati neki željeni aspekt?	P1	Saznati koji vitki alati imaju potencijal za uključivanje aspekata održivosti.
7. Za koje aspekte smatrate da bi se mogli integrirati/uključiti u postojeće vitke alate?	P2	Saznati koji aspekt održivosti imaju potencijal za integraciju u vitki alat.
8. Vidite li ikakve izazove i prilike za (daljnju) integraciju aspekata održivosti u vitke alate i (daljnju) implementaciju pitanja održivosti u razvoju proizvoda putem vitkih alata?	P2	Praktična perspektiva o budućnosti okretanja prema održivosti.
9. Kako biste željeli da Vaša tvrtka uključi aspekte održivosti u razvoj proizvoda u budućnosti?	P2	Praktična perspektiva o budućnosti okretanja prema održivosti.
10. Bi li Vam bila korisna metoda kojom bi se: <ul style="list-style-type: none"> <li>• olakšalo donošenje odluka o odabiru različitih dizajnerskih alata/praksi uzimajući u obzir njihov utjecaj na</li> </ul>	P2	Praktična perspektiva o budućnosti okretanja prema održivosti.

Pitanja	Veza s istraživačkim pitanjem	Razlog za pitanje
aspekte održivosti te omogućilo procjenu utjecaja različitih alata/praksi na aspekte održivosti • poticalo svijest i razmišljanje o održivosti među dizajnerima i inženjerima?		
11. Ima li nešto što biste htjeli dodati?		Doći do stavova i mišljenja za koje ispitanici smatraju da je bitno dodatno navesti, a možda nisu pokriveni u ostalim pitanjima.
12. Postoji li nešto što mislite da sam Vas trebala pitati?		

Potencijalno ograničenje pristupa istraživanju metodom studije slučaja bila je veličina uzorka. Pet slučajeva je unutar raspona od četiri do deset slučajeva i za jedan slučaj iznad donje granice kako je predložila [97], što upućuje na potencijalno ograničenje generalizacije zaključaka. Unatoč tome, smanjena veličina uzorka omogućila je detaljniju analizu i pružila dublji uvid u organizaciju dijelova procesa razvoja proizvoda odabranih kompanija.

### 3.5. Analiza prikupljenih podataka

Kako bi se izveli zaključci, [97] predlaže provesti analizu prikupljenih podataka unutar svakoga pojedinog slučaja (kompanije). Slijedom toga, koristeći zapise i bilješke rađene tijekom intervjua, podaci iz intervjua svake kompanije prepisani su u pojedinačne izvještaje intervjua. Izvještaji su u velikoj mjeri napisani riječima ispitanika kako bi se osiguralo minimalno tumačenje odgovora od strane istraživača. Rezultati iz svake kompanije prvotno su korišteni za provođenje zasebne analize za svaki od slučajeva. Utvrđene su važne stavke u svakom intervjuu te su dokumentirani zaključci istraživača za svaku kompaniju. Nakon toga, provedena je unakrsna analiza između pojedinačnih izvještaja o slučajevima, kako je predložila [97], što je rađeno s namjerom prepoznavanja i analize suprotstavljenih odgovora i mogućih korelacija između odgovora. Unakrsna analiza rađena je tako da su se u paru usporedili odgovori i zaključci iz kompanija, svaka sa svakom. Na kraju, prikupljeni odgovori na svako pitanje grupirani su oko tog pitanja i analizirani u potrazi za obrascima [90]. Rezultati ovog pristupa nalaze se u sljedećem odjeljku.

### 3.6. Rezultati studije slučaja

Rezultati studije slučaja prikazani su na dva načina. Prvi uključuje zasebnu analizu svake pojedinačne studije, a drugi unakrsnu analizu između studija. Cilj zasebnih analiza je prikazati odgovore, izgraditi objašnjenja koja odgovaraju svakom pojedinačnom slučaju i istaknuti bitne čimbenike koje je autorica pronašla vezano uz korištenje vitkih alata i aspekata održivosti. Zasebna analiza započinje glavnim utiskom koji se spomenut više puta kroz intervju, a zatim se po redu navode sažeti odgovori na pitanja. Navedeno će kasnije poslužiti i u unakrsnoj analizi studije slučaja za grupiranje objašnjenja za ista pitanja. Glavni cilj unakrsne analize je pobrojati učestalost korištenja vitkih alata i aspekata što će kasnije u poglavlju 4 poslužiti za odabir vitkih alata i aspekata koji će ući u anketni upitnik. Oba spomenuta načina pridonose stvaranju općeg objašnjenja [90].

#### 3.6.1. Zasebna analiza pojedine studije slučaja

Kompanija K1 je, prema autoričinom mišljenju, najzrelija po pitanju održivosti među kompanijama koje su sudjelovale u istraživanju te je 2022. izdala i izvješće o održivosti. Odjel za održivost osnovan je 2022. kako bi bio podrška organizaciji u uspješnoj provedbi holističkog pristupa održivosti s jasnim, dostižnim i javnim ciljevima u trima sferama: ljudi, posao i okoliš. U intervjuu ispitanik navodi kako u procesima i procedurama kompanija ima propisane metode i alate, no većina tih razvojnih alata:

(1.) vezana je uz konstrukciju proizvoda:

*„Razmatramo da proizvod bude što manji, lakši i da ne sadržava zabranjene supstancije. Pazimo i na postupke sastavljanja i pri dizajnu se pazi da se što lakše i bez pogrešaka sklopi“*,

(2.) uvjetovana direktivama kupaca:

*„To su i direktive kupaca“*,

(3.) te je posljedica ostvarenja dizajnerskih ciljeva za dobrim krajnjim proizvodom iz prvog pokušaja:

*„Svi razvojni alati koje koristimo sprečavaju da idemo u alat i izbjegavamo kasnije izmjene i korekcije, čime se troše dodatni resursi – npr. energija... Cilj je isprve iskoristiti i pogoditi“*.

Ispitanik aktivno koristi razne alate vezane uz održivost prema procedurama: lista dozvoljenih materijala, SOC test o opasnim supstancijama (engl. *substance of concern*), konstruiranje za proizvodnju i sklapanje (engl. DfM, DfA), zadovoljenje raznih standarda zaštita (IPXXB, IP...), zaštita od dodira prstiju (engl. *finger touch protection*), kodeks ponašanja (engl. *code of conduct*), *checklista* o EVL-u za popunjavanje (engl. *Environmental value look*),

politika zaštite okoliša, zdravlja i sigurnosti. No priznaje da u procesu postoje zadaci vezani uz održivost koji se baš i ne izvršavaju:

*„Imamo zadatak tijekom procesa razvoja proizvoda, npr. DfE (engl. Design for Environment), što u praksi ne koristimo. Dosta toga piše, no u praksi se slabo provodi, a to je inače zadatak koji po procesu mora obaviti razvoj“.*

Smatra da alati koje koriste trenutno zadovoljavaju i ispunjavaju svrhu, ali da bi se trebalo poraditi na inovacijskom potencijalu i digitalizaciji. Zaključuje da je tema održivosti općenito dosta razvikana u kompanijama, no pitanje je koliko se to u realnosti koristi i prati i koliko je popraćeno procesima. Priznaje da ima mjesta za napredak u poboljšavanju alata i praksi kako bi se onda u konačnici poboljšali aspekti održivosti.

Kompanija K2 je kompanija koja je svjesna da će zbog konkurentnosti morati uvesti strategije održivosti. Zbog toga su nedavno zaposlili menadžera za održivost koji mora poraditi na pitanju za što im je održivost sve potrebna te napraviti akcijski plan za budućnost kako bi išli ukorak s konkurencijom iz Njemačke i Skandinavije, koja je već daleko naprijed sa strategijama:

*„Samo je pitanje kada će nas naši kupci tražiti to isto i zato smo se pokrenuli što se tiče održivosti“.*

Vezano uz aspekte održivosti koje trenutno razmatraju u razvoju proizvoda, ispitanik navodi da su se tek nedavno počeli baviti time na strukturirani način i to u vidu korištenja recikliranih materijala, izbora materijala koji je moguće reciklirati, racionalnog utroška materijala te održivog pakiranja. Njihov proizvod je takav da mora biti popravljiv tako da nude i održavanje svojih proizvoda. U tijeku konstrukcije fokus im je više na funkciji proizvoda, a emisije, primjerice, kalkuliraju zbog certifikata, ali samo za najprodavanije proizvode. Održivost je kod njih motivirana stanjem na tržištu i konkurencijom, a izazovi su ekonomske prirode:

*„Što smo dosad uključili, jesmo, a što ćemo u budućnosti, ovisi o tome što će industrija i konkurencija željeti. Fokus nam je na održivom pakiranju i izboru materijala, što naravno utječe na cijenu, no ako to koristi konkurencija, onda prolazi, a ako ne, onda cjenovno ne prolazi“.*

Ispitanik na pitanje o korištenju vitkih alata odgovara da pri razvoju proizvoda i vođenju svakog projekta koriste standardizirani način rada, tj. propisane smjernice i standardnu

proceduru koja se temelji na ISO-u. U svakoj fazi razvoja propisano je koji se alati koriste. Naglašava da se završetkom svakog projekta koriste alati naučene lekcije i razmjena najboljih praksi čiji se dobri rezultati onda unose i nadopunjuju postojeće smjernice pri razvoju proizvoda. Uključivanje aspekata održivosti u alate koji se koriste prema standardnim smjernicama je po ispitaniku i način kako uključiti dodatne aspekte za kojima se pokaže potreba.

Trenutno je pozornost kompanije usmjerena na kontinuiranu edukaciju i promišljanje o održivosti. Od 2025. će morati izdavati izvješće o održivosti i zato su započeli s edukacijama inženjera u smjeru nadopunjavanja procedure razvoja proizvoda. Navode kako su imali neke prezentacije alata, primjerice *Cradle to cradle* i da promišljaju da ga uvedu u svoj razvoj proizvoda.

Za kompaniju K3 specifična je pojedinačna proizvodnja proizvoda velikih dimenzija i taj jedan komad proizvoda je onda ujedno i samostalni razvojni projekt. Ispitanik navodi da se na globalnoj razini kompanije raspravlja o održivosti jer ju kupci sve više traže. Na temu održivosti najviše se spominju segment zaštite na radu i sigurnosti radnika, vrsta materijala koji se ugrađuju i smanjenje mase proizvoda što je više motivirano utjecajem na cijenu nego održivošću. Teži se i visokoj iskoristivosti proizvoda i uštedi energije koju on koristi.

Što se tiče alata ispitanik zaključuje da isprobavaju razne alate te ih dosta i mijenjaju:

*„Mijenjaju se metode iz godine u godinu. Probali smo mnogo toga (5S, FMEA, RCA, 5 zašto, naučene lekcije, A3, Kaizen, PDCA, 6 sigma). Alati se svedu na nekoliko trenutno korisnih, tako da imamo mnogo edukacija“.*

Kod ove kompanije očita je najveća vjera u sustav i standardizirani proces koji pokriva sve potrebne aspekte koje treba zadovoljiti i alate koje treba koristiti:

*„Sve se svodi na definirani proces. Imamo radne upute, a ostalo je sustavno riješeno. Zapravo je sve prisutno u sustavu koji nas pravilima navodi na korištenje propisanih alata i oprez prema tome kako se koriste da bi bili postignuti traženi aspekti održivosti. Za sada je sve pokriveno sustavom i održivost se prepoznaje u alatima. Održivost se svodi na ljude koji koriste alate i oni moraju znati što sve treba pokriti – ako se drži svih pravila koja su propisana, onda će već i to (održivost) pokriti“.*

Ispitanik također naglašava koliko su bitni edukacija, multidisciplinarni timski rad te ljudska komponenta u korištenju alata i pokrivanju aspekata održivosti:

*„Svodi se na ljude koji koriste alate i oni moraju znati što sve treba pokriti. Ljudi koji rade s alatima uključuju održivost. Sve ovisi o edukaciji. Treba osvježavati znanje i usaditi ideju da se može i drugačije. Ako se dovoljno puta čuje kako se razmišlja, onda će se to i početi koristiti. Ako su ljudi uključeni u multidisciplinarnе timove, onda pogotovo“.*

Kompanija K4 mlada je inovativna kompanija s uspostavljenim procesima, no svjesni su da još ima dosta potencijala za unaprjeđenje standardnih procesa, pogotovo vezano uz dijeljenje i pohranjivanje znanja te suradnju multidisciplinarnih timova:

*„Najveći potencijal je u standardizaciji i dijeljenju najboljih rješenja da možemo ponovno iskoristiti ljude, znanje i materijale; da se uvede standard u sve procese i u razvoj s ciljem da se znanje može opet iskoristiti te da se omogući razmjena znanja između timova i projekata“.*

Što se tiče aspekata održivosti najviše se usmjeravaju na pridržavanje normi vezano uz emisije i zagađenje okoliša, upotrebu provjerenih i odobrenih materijala, potrošnju energije, dugotrajnost i popravljivost proizvoda te na definiranje strategija za odlaganje i recikliranje proizvoda na kraju životnog vijeka.

U svojem radu koriste raznovrsne alate: dizajn eksperimenta, poka yoke, šest sigma, 5S, FMEA, razmjenu najboljih praksi, benchmarking, naučene lekcije, RCA, 5 zašto, morfološku matricu, konstruiranje za sastavljanje i proizvodnju, brzu izradu prototipova i simulacije. Navode da se radi na poboljšanju standardnog rada kako bi svi ti alati koristili kao dio propisanog standarda rada.

Ispitanici priznaju da su cijena, performanse proizvoda i zadovoljenje zahtjeva kupca glavne vodilje u konstruiranju prije nego sama održivost:

*„Više nas zahtjevi kupca tjeraju na zadovoljenje aspekata nego pogled prema održivosti. Glavni pokretač je cijena. Na neke aspekte i zahtjeve više gledamo zbog performansi proizvoda i cijene nego zbog održivosti“.*

Bolje uključivanje aspekata održivosti u razvoj proizvoda u budućnosti vide u digitalizaciji, edukacijama i učenju o smjernicama održivosti. Izazove pronalaze u ekonomskim barijerama:

*Ako bismo imali koristi od toga da se postigne održivost, OK, može, no ako bi bio prevelik utjecaj na cijenu – neće baš proći“.*

Kompanija K5 je kompanija koja ima najviše naglašeno vitko razmišljanje od svih pet kompanija koje su sudjelovale u studiji slučaja. Održivost je prema njima usko povezana s vitkim menadžmentom kao jedan od osnovnih elemenata pri kreiranju procesa:

*„Održivost je ključno svojstvo primjene leana u bilo kojoj firmi“.*

Sagledavaju održivost kroz sve tri dimenzije. Okolišna dimenzija je i dio prodajnog plana i ispitanik naglašava da ne mogu ni prodati proizvod ako nije ekološki neutralan. U vezi ekonomske dimenzije stav je da je profit kompanije nije cilj, već posljedica načina rada. Cilj je, dakle, da način rada bude što učinkovitiji i što više fokusiran na kupca. Time je dodatno naglasio vitku orijentiranost svoje kompanije. Važna stavka koja je naglašena nekoliko puta tijekom intervjua jest zadovoljstvo radnika čime se dotaknuo i društvene dimenzije održivosti:

*„Što se tiče ljudi, osim vrednovanja njihovog rada, velika pažnja posvećuje se zadovoljstvu radnika – ako je čovjek nezadovoljan, ne možeš od njega očekivati napredak, a mi kao tehnološka firma ovisimo o razvijanju procesa i proizvoda i rad je ključan čimbenik u tome“.*

Alati koje koriste su 5S, Kaizen, PDCA, 5 zašto, dizajn eksperimenta, konstruiranje za održivost, dizajn od kolijevke do kolijevke, vizualni menadžment, QFD, A3 i brza izrada prototipova. Smatra da je u osnovi vitkih alata primjenjivost i održivost. Radionicama se pospješuje primjena vitkih alata i unapređuju procesi.

Ispitanik objašnjava da je kompanija usmjerena na zadovoljstvo kupca. Ono je povezano s održivošću, a vitki alati u fokusu imaju zadovoljstvo kupca što znači da održivost mora biti uključena u vitke alate koje kompanija koristi.

Navodi da su u kompaniji također svjesni da je održivost jedna od glavnih vrijednosti kompanijama s kojima surađuju tj. da je cijela njihova industrija vođena zahtjevima kupaca kojima je održivost jedna od osnovnih vrijednosti i da ne mogu izbjeći nijedan od traženih aspekata ako žele biti dio te industrije, i to pokazuju redovito prolazeći audite.

Ispitanik je na kraju intervjua naglasio da je *lean* transformacija koja ide od visokog menadžmenta prema nižim razinama i ako nema njihove podrške i shvaćanja *lean*-a, neće biti niti transformacije niti održivosti.

*„Što bih htio naglasiti, lean je pod strategija i transformacija koja ide od menadžmenta pa nadolje. Ako top menadžment ne živi i ne shvaća lean, nema niti transformacije niti održivosti.“*



### 3.6.2. Unakrsna analiza studija slučaja

Intervju u svakoj pojedinačnoj studiji slučaja započeo je pitanjem o aspektima održivosti koje kompanije trenutno razmatraju u svojem razvoju. Aspekte održivosti koji su spomenuti u kompanijama navodi Tablica 7. Odgovori pokazuju da sve kompanije obraćaju pozornost na određene aspekte održivosti i oni su uglavnom povezani s poštivanjem zahtjeva kako bi se smanjili troškovi materijala i energije, unaprijedila uporaba netoksičnih i opasnih materijala i poboljšala usklađenost s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala. Aspekti su nadalje povezani s usklađenosti s okolišnim propisima i standardima i poštivanjem sigurnosti na radu. Rezultati su u skladu s onima [16], [69], [98], koji su otkrili da su inicijative održivosti ponajviše motivirane zakonodavstvom/politikom, potražnjom potrošača i konkurencijom/troškovima te da je ekonomičnost preduvjet za uključivanje bilo kojeg aspekta.

Tablica 7 Aspekti održivosti koje kompanije razmatraju

Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Kompanija koja je spomenula	Dimenzija održivosti
Emisija onečišćujućih tvari u zrak	K2, K3, K4	okolišna
Onečišćenje	K3	
Očuvanje prirodnih staništa	K3	
Potrošnja vode	K2, K4	
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	K1, K2, K3, K4	
Potrošnja energije	K1, K2, K3, K4	
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	K1, K2, K3, K5	
Strategija za kraj životnog vijeka proizvoda (primjerice, odlaganje i recikliranje)	K3, K4	
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema uporabe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	K1, K2, K3, K4	
Promicanje mogućnosti popravka, nadogradnje i servisiranja	K2, K4	
<hr/>		
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo kompanijom)	K1, K3, K5	društvena
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	K3, K5	
Dobrobit zajednice (pokriva, primjerice, angažman u razvojnim programima za zajednicu, ljudska prava, pravednost i korupciju)	K3	

Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Kompanija koja je spomenula	Dimenzija održivosti
Nema prisilnog rada, nema dječjeg rada, nema korupcije	K1, K4	
Kvaliteta i trajnost proizvoda	K1, K4, K5	
Funkcionalna izvedba	K3	
Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje	K1, K3	
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	K1, K2, K3	
Organizirano učenje	K1	
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	K1, K3, K4, K5	ekonomska
Inovacijski potencijal	K1, K4	
Povećana konkurentnost, konkurentna prednost, stvaranje ekonomskih prilika	K5	
Poticanje i stimulacija motiviranosti zaposlenika	K5	
Troškovi istraživanja i razvoja (R&D)	K4	
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	K1, K2	
Prednosti u vrijednostima na tržištu i kvaliteti proizvoda	K5	
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, dizajn za proizvodnju	K1, K4, K5	

Na pitanje "*Kako uključujete aspekte održivosti u svoje proizvode?*" dana su dva tipa odgovora. Prvi je – korištenjem propisanih metoda i alata u procesima i procedurama (K1, K2, K5), a drugi – s pomoću procedura upravljanja zahtjevima i kontrolnim listama (K3, K4). Svih pet kompanija, bez obzira na njihovu veličinu ili industriju, slijede svoj standardizirani proces razvoja proizvoda. Oslanjaju se na standardizirani način rada i vođenja projekata i ako on uključuje bilo koji aspekt održivosti, inženjeri će se pridržavati procesa te uključiti i zadovoljiti aspekt. Navedeno je u skladu s [58], gdje se sugerira da potencijal povećanja razine ugradnje održivosti u razvoj proizvoda leži u integraciji održivih aspekata u postojeće standarde.

Najčešće korišteni vitki alati u kompanijama su: kaizen (kontinuirano poboljšanje), Six Sigma, standardizacija & standardizirani rad, vizualni menadžment, FMEA, naučene lekcije (engl. *Lessons Learned*), analiza temeljnih uzroka (engl. *Root Cause Analysis*), 5 zašto (engl. *5 why*). Spominjanje korištenja alata u kompanijama prikazuje Tablica 8. Na pitanje uključuju li vitki alati koje koriste u razvoju proizvoda aspekte održivosti, potvrđuju da su aspekti koji su važni za kompaniju već uključeni u standardne alate koji se koriste tijekom procesa (K1, K2, K3) te da će i traženi aspekt biti zadovoljen ako se alati koriste kako je propisano. Ispitanik iz

K4 potvrđuje da su glavni motivatori cijena i zadovoljenje dizajnerskih zahtjeva za, primjerice, uštedom materijala i energenata, smanjenjem mase itd. prije nego sama održivost, iako ona nastupi kao posljedica zadovoljenja tih zahtjeva:

„Na neke stavke i zahtjeve više gledamo zbog performansi proizvoda i cijene nego zbog održivosti“.

Ovaj odgovor poklapa se sa zaključcima [99], [41] koji navode da se aspektima održivosti često ne daje prioritet u kompromisu s konvencionalnim zahtjevima konstrukcije, kao što su cijena, funkcionalnost i robusnost. Ispitanik iz K5 objašnjava viziju svoje kompanije u kojoj su vitkost i održivost povezane tako da korištenje samoga vitkog alata već u sebi sadržava postizanje održivosti. Zapravo, svaka kompanija bavi se najviše aspektom održivosti koji je njoj najvažniji: K1 i K4 troškovima proizvoda i zadovoljenjem standarda, K2 zadovoljenjem zahtjeva kupaca i hodanjem uz bok s konkurencijom – kako se konkurencija ponaša prema održivosti, tako će i ona. U K3 obraća se pozornost na sigurnost radnika, a u K5 se fokusira na zadovoljstvo radnika, timski rad i zadovoljstvo zaposlenika kompanijom.

Tablica 8 Vitki alati razvoja proizvoda koji se koriste u kompanijama

Vitki alat razvoja proizvoda	Kompanija koja je spomenula
A3/A3 menadžment	K3, K5
Dizajn od kolijevke do kolijevke (engl. <i>Cradle to cradle</i> )	K2, K3, K5
Konstruiranje prema kriteriju održivosti (engl. <i>Design for sustainability – DfS</i> )	K5
Dizajn eksperimenta (engl. <i>Design of experiments – DOE</i> )	K1, K4, K5
Uključivanje zaposlenika	K3, K5
Kaizen (kontinuirano poboljšanje)	K3, K4, K5
Planiraj, učini, provjeri, djeluj – PDCA (engl. <i>Plan, Do, Check, Act</i> )	K1, K3, K5
Poka Yoke	K1, K4
Šest sigma (engl. <i>Six sigma</i> )	K3, K4,
Implementacija funkcije kvalitete (engl. <i>Quality function deployment – QFD</i> )	K5
Standardizirani rad	K1, K2, K3, K4
Vizualni menadžment	K1, K3, K5
5S	K3, K4
FMEA (engl. <i>Failure modes &amp; effects analysis</i> )	K1, K2, K3, K4
Razmjena najboljih praksi (engl. <i>Best practice sharing</i> )	K1, K2, K4
Mapiranje toka vrijednosti u razvoju proizvoda	K2
Benchmarking	K4
Naučene lekcije (engl. <i>Lessons learned</i> )	K1, K2, K3, K4
Analiza RCA (engl. <i>Root cause analysis - RCA</i> )	K1, K3, K4, K5

Vitki alat razvoja proizvoda	Kompanija koja je spomenula
5 zašto	K1, K3, K4, K5
Dizajn za X (engl. <i>Design for X</i> )	K1, K4
Morfološka matrica	K4
Brza izrada prototipova, simulacije i testiranje	K2, K4, K5

Odgovore ispitanika iz kompanija na peto pitanje o tome kako alat koji koriste uključuje aspekt održivosti prikazuje Tablica 9.

Tablica 9 Utjecaj vitkog alata na aspekt održivosti prema studijama slučaja

Kompanija koja je spomenula	Vitki alat razvoja proizvoda	Aspekt održivosti
K1	FMEA	- Dobrobit zaposlenika - Kvaliteta i trajnost proizvoda - Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje - Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju
	Standardizirani rad	- Usklađenost s okolišnim propisima i standardima - Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
	Poka Yoke	- Potrošnja energije - Produktivnost
	Razmjena najboljih praksi	- Organizirano učenje
	Analiza RCA	- Kvaliteta i trajnost proizvoda
K2	Standardizirani rad	- Potrošnja materijala - Usklađenost s okolišnim propisima - Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka - Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje
	Naučene lekcije	- Usklađenost s okolišnim propisima i standardima - Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
K3	Standardizirani rad	- Usklađenost s okolišnim propisima i standardima - Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa - Dobrobit zaposlenika
	FMEA	- Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje
K4	Standardizirani rad	- Emisije onečišćujućih tvari u zrak - Potrošnja energije - Potrošnja materijala - Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
	Dizajn za X	- Produktivnost
K5	Kaizen	- Dobrobit zaposlenika - Dobrobit kupaca - Rast
	Uključivanje zaposlenika	- Prednosti kroz vrijednosti na tržištu i kroz kvalitetu proizvoda

Na šesto pitanje iz upitnika o alatima u koje bi se mogao dodatno uključiti neki željeni aspekt, ispitanici iz kompanija K1 i K3 navode isti alat FMEA. Ispitanik iz K1 spominje FMEA u smislu provjere ispunjenosti svih traženih zahtjeva (bilo vezanih uz održivost ili ne) i da se proizvod razvije bez naknadnih dorada. Ispitanik iz K3 opisuje da FMEA potiče promišljanje o aspektima kroz preventivne mjere i pritom kao najvažniji aspekt navodi sigurnost proizvoda. Ispitanik iz K2 smatra da bi se dodatni aspekti mogli uključiti u njihove propisane procedure rada i to oni koji se ukažu nakon korištenja alata naučene lekcije i najbolja praksa. Ispitanici iz K4 spominju kako bi se u alate moglo uključiti uštedu materijala i energije. Posebno navode da bi im bilo korisno da se u DfE uvedu aspekti netoksični resursi, emisije i onečišćenje. Ispitanik iz K5 još jednom ističe kako je kod njih i u korištenju alata bitno zadovoljstvo kupca i ostvaruje se kvalitetnim proizvodom, a kvaliteta proizvoda neće se postići bez zadovoljnog radnika.

Mišljenje ispitanika iz kompanija je da alati koje trenutno koriste ispunjavaju predviđenu svrhu, a integracija specifičnih aspekata ovisit će o budućim potrebama industrije i konkurenciji. Stanje na tržištu i konkurencija pokreću motivaciju prema cilju održivosti.

*K2: „Što smo dosad uključili, jesmo, a što ćemo u budućnosti ovisi o tome što će industrija i konkurencija željeti. Održivost je motivirana stanjem na tržištu i konkurencijom“.*

To je u skladu sa zaključkom do kojega su došli [100], da je održivost sve važnija prednost pred konkurencijom, kao i opažanjem [53] da je održivost postala novi kriterij za konkurentnost.

U kontekstu aspekata koji bi mogli biti dio postojećih vitkih alata, rezultati intervjua dovode do sljedećih zaključaka. Povratne informacije uglavnom se oslanjaju na stajalište da će se određeni aspekt automatski obraditi ako je dio standardnih alata koji se koriste u procesu. Osim toga, čvrsto su uvjereni da će se pridržavanjem procesa koji uključuje sve potrebne zahtjeve i pokriti svi navedeni zahtjevi. Ta perspektiva je sažeta u izjavi K3:

*„Svodi se na ljude koji koriste alate i oni moraju znati što sve treba pokriti, tj. ako se drže svih pravila koja su propisana, onda će već i to pokriti. Održivost se pokriva alatima koje koristimo, ali smatram da alat samostalno ne izvršava potrebno za postići održivost. Ljudi koji rade s alatom su ti koji uključuju održivost. Zapravo je sve prisutno u sustavu koji nas pravilima navodi na korištenje i oprez prema tome“.*

Navedeno podupire tvrdnju [58] da je najbolji pristup poboljšanju održivosti integracija održivih aspekata u postojeće metode i alate koje kompanije često koriste.

Ispitanik iz K1 smatra da bi se u njegovoj kompaniji trebalo promisliti o uključivanju aspekta inovacijski potencijal u alate jer kompanija zaostaje u primjeni inovativnih tehnologija i broju prijavljenih patenata.

Izazove i prilike za integraciju aspekata održivosti u vitke alate, kompanije vide u digitalizaciji (K1, K3, K4), obrazovanju zaposlenika (K2, K3, K4, K5) i ekonomskim dvojbama (K2, K4). Navedeno vide i kao sredstvo koje će olakšati buduću implementaciju pitanja održivosti u razvoj proizvoda kroz vitke alate. Oni prepoznaju da je cijela industrija vođena zahtjevima kupaca kojima je održivost jedna od temeljnih vrijednosti, a ako žele biti dio te industrije, ne mogu izbjeći nijedan od potrebnih aspekata (K2, K5). Važnost edukacije inženjera o održivosti posebno ističu K2, K3 i K4. Briga o obrazovanju u skladu je s nalazima [11], koji tvrde da učinkovita rješenja za izazove održivosti zahtijevaju obuku zaposlenika sa širokom perspektivom koja ne integrira samo ekonomske probleme nego, i okolišne i društvene aspekte u svakodnevno radno okruženje.

Ispitanici imaju pozitivan stav o metodi kojom bi se olakšalo donošenje odluka o odabiru različitih dizajnerskih alata uzimajući u obzir njihov utjecaj na aspekte održivosti te omogućilo procjenu utjecaja različitih alata/praksi na aspekte održivosti i tako poticalo svijest i razmišljanje o održivosti među dizajnerima i inženjerima. Ispitanik iz K1 navodi da „*ne bi bilo loše imati nešto takvo*“, a ispitanik iz K2 upozorava da treba biti što jednostavnije i primjenjivo u njihovu poslu. Ispitanik iz K3 i kod ovog pitanja naglašava važnost edukacije („*Sve ovisi o edukaciji. Ako se dovoljno puta čuje kako se razmišlja, onda će se to početi i koristiti*“), a iz K4 utjecaj cijene („*Ako bi bio prevelik utjecaj na cijenu – neće proći*“). Ispitanik iz K5 smatra da je izazovno i ima potencijala.

Vrijedno je navesti neke zaključne napomene iz intervjua (pitanja 11. i 12.):

„*Ima i kod nas mjesta za napredak, da se poboljšaju alati i da se onda u konačnici poboljšaju aspekti.*“ (K1)

„*Ako se kontinuirano priča o održivosti, onda će i ljudi početi koristiti alate za održivost*“ (K2)

„*Treba ljude podsjećati na neke stvari. Osoba mora biti uključena jer joj inače bude apstraktno, a kad je unutra, u tome, onda to živi i nije toliko bitno kako se zove taj alat. Treba osvježavati znanje, usaditi ideju da se može i drukčije, treba razmišljati unaprijed.*“ (K3)

„*Cijena je glavni motivator, tj. ako nešto novo vodi do uštede – super, ako ne – zaboravi.*“ (K4).

*„Što bih naglasio, lean je pod jedan strategija, pod dva transformacija koja ide od menadžmenta pa nadalje, tj. ako top-menadžment ne živi i ne shvaća lean, nema ni transformacije ni održivosti“ (K5).*

Kao što je primijećeno, svih pet kompanija koje su sudjelovale u studiji slučaja imaju dobro uspostavljene procese razvoja proizvoda. Sve kompanije imaju neku verziju politike zaštite okoliša, održivosti, kodeksa ponašanja ili politike zaštite zdravlja i sigurnosti. Neki čak nude obuku o alatima za postizanje održivosti i daju takve smjernice za dizajn, osobito one koje se odnose na dizajn za proizvodnju.

No oni su svjesni aspekata održivosti onoliko koliko su sami aspekti dio alata koje koriste u svojem standardiziranom procesu razvoja proizvoda. Aspekti se sustavno razmatraju u okviru tih alata što prikazuje Tablica 9. Povjerenje u procese i sustave rada koje slijede je snažno. Vjeruju da će sljedeći standardne operativne postupke i korištenjem propisanih alata adekvatno ispuniti sve potrebne zahtjeve, bilo da se odnose na održivost, konstrukciju ili ekonomska razmatranja.

Nadalje, te kompanije pokazuju svjesnost o postojećim zakonskim zahtjevima i propisima, kao i sve većem naglasku tržišta na održivosti. Unatoč tome, razmatranje troškova i cijene ostaju vodeći čimbenici u odlukama o razvoju proizvoda. Ispitanici su istaknuli važnost obrazovanja u podizanju svijesti među dizajnerima o utjecaju njihovih odluka i inženjerskih izbora na održivost. Ključno je da održivost ne bude samo rezultat poštivanja propisa nego svjestan element u procesima donošenja odluka, u kojima su dizajneri potpuno svjesni utjecaja koji njihove odluke mogu imati na održivost.

### **3.7. Zaključci studije slučaja**

Zaključci iz studije slučaja mogu se sažeti kako slijedi:

1. Dizajneri pokazuju spremnost da ispune zahtjeve održivosti i svjesni su sve većeg naglaska industrije na održivost. No, specifični aspekti održivosti koji se razmatraju unutar svake kompanije obično su usklađeni s prioritetima kompanije. To obično uključuje usklađenost sa zahtjevima dizajna za smanjenje troškova materijala i energije, korištenje netoksičnih i sigurnih materijala, usklađenost s certifikatima, propisima i sigurnosnim standardima i poštivanje sigurnosti na radu. U kompanijama se najviše obraća pažnja na navedene aspekte.
2. Kompanije uključuju aspekte održivosti u svoje proizvode korištenjem propisanih metoda i alata u procesima i procedurama i s pomoću procedura upravljanja zahtjevima i kontrolnim listama. Ako su aspekti održivosti integrirani u standardne procese i alate

koje dizajneri koriste, oni će ih se pridržavati i postići njihovo ispunjenje. Uključivanjem aspekata u svoje alate, dizajneri mogu jednostavno integrirati zahtjeve održivosti u svoj svakodnevni rad, omogućujući kreiranje održivih proizvoda.

3. Najčešće korišteni vitki alati u kompanijama su: kaizen (kontinuirano poboljšanje), Six Sigma, standardizacija & standardizirani rad, vizualni menadžment, FMEA, naučene lekcije (engl. *Lessons Learned*), analiza temeljnih uzroka (engl. *Root Cause Analysis*), 5 zašto (engl. *5 why*).
4. Stav ispitanika o metodi kojom bi se olakšalo donošenje odluka o odabiru različitih dizajnerskih alata uzimajući u obzir njihov utjecaj na aspekte održivosti je pozitivan.
5. Edukacija je neophodna i kako bi se među dizajnerima podigla svijest o važnosti održivog razmišljanja i kako bi naučili koje alate koristiti za promicanje održivosti.
6. Ostvarivanje ciljeva održivosti ne smije biti ograničeno troškovima koji se navode kao najčešći razlog nekorisćenja održivijih rješenja.

Istraživanje studijom slučaja pridonijelo je prikupljanju podataka o aspektima održivosti koji se sagledavaju u razvoju proizvoda u kompanijama. Intervjui su dali i odgovore na pitanja koje to vitke alate inženjeri najčešće koriste. Potvrđeno je da vitki alati uključuju aspekte održivosti i da postoji mogućnost integracije aspekata u vitke alate što doprinosi pretpostavki autorice da je moguće definirati odnos vitkih alata prema aspektima održivosti

Informacije o učestalosti aspekata i alata u kompanijama (Tablica 7 i Tablica 8) koristit će se u odabiru aspekata i vitkih alata pri izradi i provedbi anketnog upitnika koji je predstavljen u sljedećem poglavlju.



## 4. ANKETNO ISTRAŽIVANJE

Cilj anketnog istraživanja s pomoću ekspertnog panela jest dobiti mišljenje iskusnih zaposlenika iz hrvatske industrije i akademskog sektora vezano uz održivost i vitke alate razvoja proizvoda. Kao što je prije navedeno, model utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti proisteći će iz pregleda literature, studije slučaja i spoznaja provedenoga anketnog istraživanja. Pregled literature prikazan je u prvom dijelu doktorskog rada. Studija slučaja opisana je u prethodnom poglavlju, a u ovom poglavlju prikazat će se struktura anketnog istraživanja i njegovi rezultati. Anketnim upitnikom žele se prikupiti numeričke procjene utjecaja svakog alata na svaki aspekt. Iz procjena će se zatim izračunati rangovi alata za svaki aspekt, a iz rangova ponderi koji će se koristiti u modelu.

Studija slučaja dala je detaljniju sliku o korištenju vitkih alata i promišljanju o održivosti u kompanijama. Rezultati studije slučaja pridonijeli su izradi anketnog upitnika kao još jednog od instrumenata istraživanja preko kojega je ekspertni panel ocijenio utjecaj pojedinih vitkih alata na aspekte održivosti. Za određivanje pitanja u upitniku korišteni su podaci o učestalosti vitkih alata te aspekata održivosti, dobivenih detaljnim pregledom literature, kao i detaljnom analizom studije slučaja.

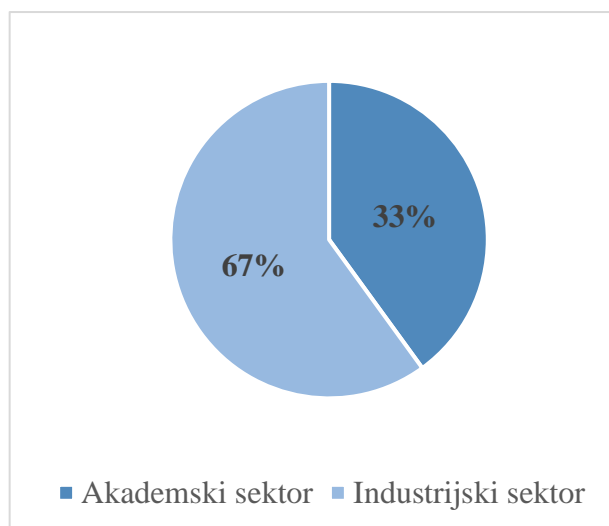
Ekspertni panel sastoji se od 30 eksperata iz akademskog i industrijskog sektora. Kriterij odabira eksperata iz industrije bilo je iskustvo u razvoju proizvoda i korištenju vitkih alata, a kriterij za odabir eksperata iz akademske zajednice bio je njihov istraživački rad na području razvoja proizvoda i vitke proizvodnje. Tablica 10 prikazuje informacije o ekspertima koji su sudjelovali u istraživanju.

Tablica 10 Prikaz ekspertnog panela

Redni broj	Sektor	Godine iskustva	Redni broj	Sektor	Godine iskustva
1.	Akademski	12	16.	Industrijski	11
2.	Akademski	43	17.	Industrijski	23
3.	Akademski	8	18.	Akademski	18
4.	Akademski	12	19.	Industrijski	11
5.	Industrijski	13	20.	Akademski	20
6.	Industrijski	13	21.	Industrijski	14
7.	Akademski	10	22.	Industrijski	15
8.	Akademski	30	23.	Akademski	17
9.	Akademski	11	24.	Industrijski	19

Redni broj	Sektor	Godine iskustva	Redni broj	Sektor	Godine iskustva
10.	Industrijski	13	25.	Industrijski	11
11.	Industrijski	24	26.	Industrijski	20
12.	Industrijski	15	27.	Industrijski	8
13.	Industrijski	11	28.	Industrijski	13
14.	Industrijski	14	29.	Industrijski	15
15.	Industrijski	10	30.	Industrijski	8

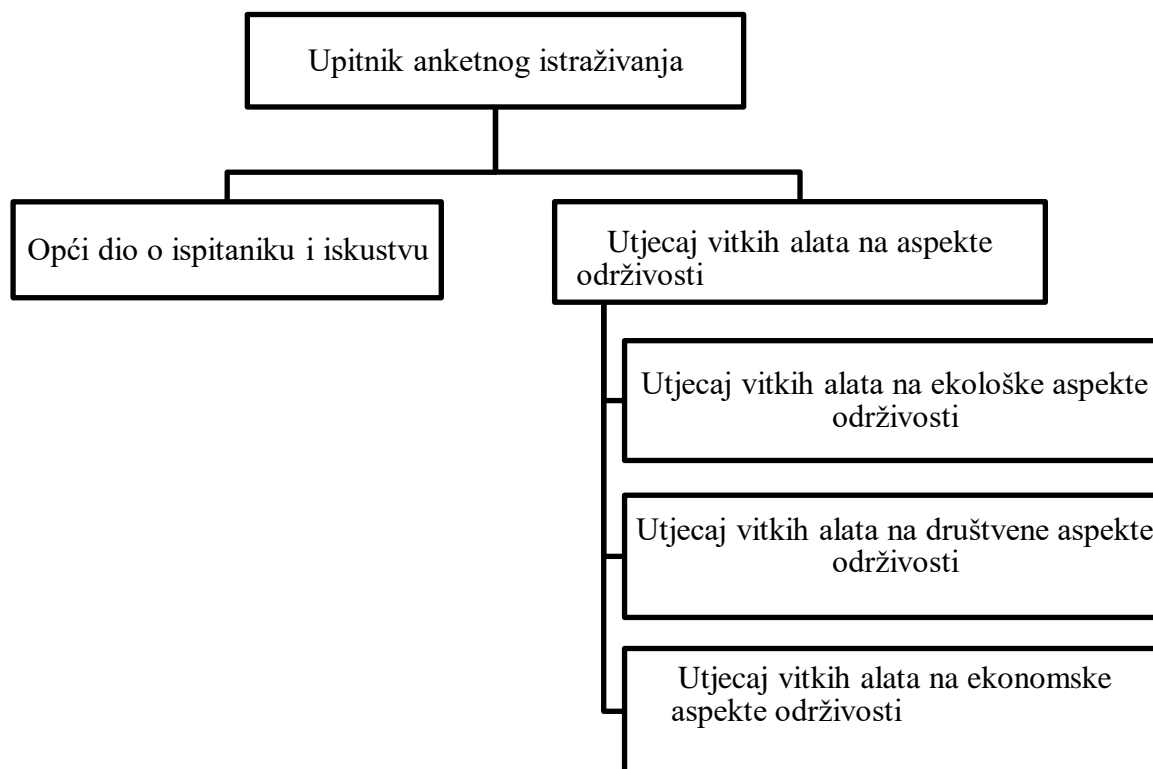
Prosječne godine iskustva ekspertnog panela su 15,4 godina. Od 30 članova ekspertnog panela, njih 10 (33 %) dolazi iz akademskog sektora, a 20 (67 %) iz industrijskoga, što prikazuje Slika 3.



Slika 3 Udio akademskog i realnog sektora u ekspertnom panelu

#### 4.1. Struktura upitnika

Upitnik anketnog istraživanja za ekspertni panel podijeljen je u nekoliko dijelova. Uvodni dio upitnika odnosi se na pitanja vezana uz osobu koja ispunjava upitnik (ispitanik), godine iskustva te sektor u kojem radi. Zatim slijedi dio upitnika koji se odnosi na procjenu utjecaja odabranih vitkih alata proizvoda na odabrane aspekte održivosti, s tim da su pitanja grupirana prema dimenziji održivosti. Prva grupa pitanja vezana je uz procjenu utjecaja odabranih vitkih alata na odabrane okolišne aspekte održivosti, druga na društvene, a treća na ekonomske. U tom dijelu anketnog istraživanja dobit će se prikaz važnosti vitkih alata za postizanje aspekata održivosti. Strukturu upitnika anketnog istraživanja prikazuje Slika 4.



Slika 4 Struktura upitnika anketnog istraživanja

Na samom početku upitnika opisani su cilj i svrha njegovog provođenja te je podijeljena poveznica na dokument u PDF-u u kojem se nalazio opis odabranih alata prema Tablica 11. Upitnik za anketno istraživanje napravljen je u *online* programu za izradu upitnika LimeSurvey [101]. Kompletan upitnik nalazi se u Prilogu 1 i sadržava 27 pitanja. Što se tiče izgleda ankete, pazilo se na broj anketnih pitanja, kako anketa ne bi bila predugačka, a s druge strane da se prikupi dovoljna količina podataka. Anketu je moguće popuniti u 10 do 15 minuta, što je sasvim prihvatljivo vrijeme ispunjavanja. Kako bi se testirala prikladnost pitanja, odnosno jesu li su nejasna, dvosmislena i sl. te testirala funkcionalnost ankete u online programu, izrađena anketa poslana jeiskusnom ispitaniku koji je zatim dao svoje primjedbe.

Prikupljeno je ukupno 30 odgovora od ukupno 38 poslanih zahtjeva. Sudionici su odgovorili na sva anketna pitanja o utjecaju alata, budući da je anketa postavljena tako da su isti nužni, osim posljednjeg, opcionalnog. Sva pitanja osim posljednjeg bila su zatvorenog tipa s ponuđenim izborom odgovora. Posljednje pitanje odnosilo se na dodatne komentare i pitanja. Pitanja o utjecaju vitkih alata na aspekte održivosti povezana su s ciljem istraživanja s namjerom da se uspostave međusobni odnosi alata i aspekata što će poslužiti nadalje i u izradi modela.

Eksperti koji su sudjelovali u upitniku trebali su procijeniti utjecaj vitkih alata na okolišne, društvene i ekonomske aspekte održivosti. Procjena navedenog utjecaja trebala je biti temeljena na njihovom dosadašnjem iskustvu u korištenju vitkih alata. Da bi se izradio navedeni upitnik, potrebno je bilo provesti analizu literature kako bi se utvrdili najučestaliji vitki alati te okolišni, društveni i ekonomski aspekti. Detaljna analiza literature predstavljena je u 2. poglavlju. Također, napravljena je i analiza intervjua iz studije slučaja kako bi se dobila informacija o učestalosti vitkih alata te aspekata održivosti u kompanijama iz studija slučaja, predstavljena u 3. poglavlju. Objedinjeni rezultati navedene analize prikazani su u nastavku.

## 4.2. Odabir vitkih alata za upitnik

Odabir vitkih alata za koje će se procijeniti njihov utjecaj na okolišne, društvene i ekonomske aspekte održivosti proveden je tako da su s jednakom važnosti uzeti u obzir broj spominjanja u literaturi (prema Tablica 1) i spominjanje u studiji slučaja u kompanijama (prema Tablica 8), tj. svakom tipu spominjanja dana je jednaka važnost pri izračunu odabira kroz ponder 0,5. Nadalje, broj spominjanja određenog alata u literaturi podijeljen je s ukupnim brojem literature u kojoj su spomenuti alati. To je također napravljeno i za spominjanje u kompanijama. Tako su dobivene učestalosti alata prema korištenom izvoru podataka. Te su vrijednosti učestalosti zatim pomnožene s ponderom 0,5 i zbrojene. Ukupni broj kompanija u studiji slučaja je 5, a 16 je literatura koja spominje alate, tako da, primjerice, za prvi alat „Standardizacija i standardizirani rad“ vrijedi izračun:

$$\frac{4 \text{ spominjanja u kompanijama}}{5 \text{ kompanija}} * 0,5 + \frac{4 \text{ spominjanja u literaturi}}{16 \text{ literatura}} * 0,5 = 0,5250.$$

Navedenim načinom izračuna industrija i literatura dobile su jednak utjecaj u odabiru alata, kao i sami alati unutar područja spominjanja. Tablica 11 prikazuje navedenu usporedbu i alate koji su uzeti u obzir.

**Tablica 11 Vitki alati razvoja proizvoda koji ulaze u anketni upitnik**

Alat	Broj spominjanja alata u kompanijama	Broj spominjanja alata u literaturi	Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura	Ulazi li u istraživanje
Standardizacija i standardizirani rad	4	4	0.5250	DA
Kaizen (engl. <i>Continuous Improvement</i> )	3	7	0.5188	DA
FMEA (engl. <i>Failure modes &amp; effect analysis</i> )	4	2	0.4625	DA

Alat	Broj spominjanja alata u kompanijama	Broj spominjanja alata u literaturi	Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura	Ulazi li u istraživanje
Šest sigma	3	5	0.4563	DA
Naučene lekcije (engl. <i>Lessons learned</i> )	4	0	0.4000	DA
Analiza temeljnih uzroka (engl. <i>Root cause analysis – RCA</i> )	4	0	0.4000	DA
5 zašto (engl. <i>5 Why</i> )	4	0	0.4000	DA
Vizualni menadžment	3	3	0.3938	DA
5S	2	6	0.3875	NE
Dizajn eksperimenta (engl. <i>Design of experiments - DOE</i> )	3	2	0.3625	NE
Planiraj, učini, provjeri, djeluj (engl. <i>Plan, Do, Check, Act – PDCA</i> )	3	2	0.3625	NE
Dizajn od kolijevke do kolijevke (engl. <i>Cradle to cradle design</i> )	3	1	0.3313	NE
Razmjena najboljih praksi (engl. <i>Best practice sharing</i> )	3	0	0.3000	NE
Brza izrada prototipova, simulacije i testiranje	3	0	0.3000	NE
A3/A3 menadžment	2	3	0.2938	NE
Uključivanje zaposlenika (engl. <i>Employee involvement/engagement</i> )	2	3	0.2938	NE
Poka Yoke	2	3	0.2938	NE
Mapiranje toka vrijednosti u razvoju proizvoda	1	6	0.2875	NE
Krivulje kompromisa (engl. <i>Trade-off curves</i> )	2	2	0.2625	NE
Dizajn za održivost (engl. <i>Design for sustainability -DfS</i> )	1	4	0.2250	NE
Dizajn za X (engl. <i>Design for X</i> )	2	0	0.2000	NE
Povlačenje i Točno na vrijeme (engl. <i>Pull &amp; Just-in-time – JIT</i> )	0	6	0.1875	NE
Implementacija funkcije kvalitete (engl. <i>Quality function deployment – QFD</i> )	1	1	0.13125	NE
Menadžment ideja	1	0	0.1000	NE
<i>Benchmarking</i>	1	0	0.1000	NE
Morfološka matrica (engl. <i>Morphological matrix</i> )	1	0	0.1000	NE
Preference set – based design (PSD) / Set based concurrent engineering	0	3	0.0938	NE
AHP – Analitički hijerarhijski proces	0	2	0.0625	NE

Alat	Broj spominjanja alata u kompanijama	Broj spominjanja alata u literaturi	Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura	Ulazi li u istraživanje
Funkcionalno modeliranje (engl. <i>Functional modelling</i> )	0	1	0.0313	NE

Odabrano je 8 alata koji imaju najveću učestalost u literaturi i intervjuima: standardizacija i standardizirani rad, kaizen, FMEA, šest sigma, naučene lekcije, analiza temeljnih uzroka, 5 zašto i vizualni menadžment. Navedeni alati spomenuti su u više od pola kompanija koje su sudjelovale u studiji slučaja, a i ukupne izračunate vrijednosti spominjanja su 0,4 naviše. U sljedećim poglavljima dan je kratak opis svakoga od odabranih vitkih alata.

#### 4.2.1. Standardizirani rad

Standardizirani rad (engl. *Standardized work*) podrazumijeva obavljanje posla na najbolji mogući način. Cilj je osigurati siguran i ponovljiv rad sa što manje promjena, gubitaka i što većom produktivnošću. Postiže se najboljom kombinacijom zaposlenika, opreme, materijala i procedura. Kako bi se ostvarila metoda standardiziranog rada, potrebno je detaljno i precizno opisati faze procedura i procesa. S ciljem uspješne provedbe, najbolje je oblikovati timove zaposlenika i suradnika s drugih područja, dokumentirati korake procesa i uz dogovor osmisliti najbolji način eliminiranja ili reduciranja gubitaka u procesu. Standardizacija u velikoj mjeri uklanja učestale ljudske pogreške unutar procesa. Standardizirani rad promiče razvoj održivih metoda tijekom vremena, koje će dovesti do smanjenih varijacija u procesu i proizvodima, što smanjuje količinu proizvoda, potrošnju električne energije i gubitke u sirovinama [102].

Tice i dr. [103] utvrdili su da standardizirani rad može biti koristan u rješavanju složenih, visokorizičnih i skupih pitanja upravljanja okolišem. Alat je također istaknut kao osnova za kontinuirano poboljšanje i kontinuirano organizirano učenje, što može dovesti do povećanja učinkovitosti, zadovoljstva zaposlenika i smanjenog broja slučajeva ozljeda na radu kao funkcija visoke spremnosti izvršenja zadataka [104]. U drugoj studiji [4], standardizirani rad povezan je sa smanjenom potrošnjom materijala i energije, kao i smanjenom razinom stvaranja otpada. Štoviše, Soltero i Waldrip [105] uvidjeli su važnost standardiziranih načela rada za postizanje vitkosti i pripojili su ga zelenom konceptu u svrhu prevencije onečišćenja i smanjenja otpada. Standardizirani rad neophodan je u poboljšanju operativne stabilnosti na putu prema održivom razvoju [3].

#### 4.2.2. Kaizen

Kaizen je japanska riječ koja doslovno označava promjenu (*kai*) nabolje (*zen*). Kaizen je jedan od ključnih procesa u vitkoj organizaciji. Cilj je eliminirati sve gubitke inkrementalnim i kontinuiranim poboljšavanjem procesa. Kad se kaizen jednom uvede kao dio kulture organizacije, djeluje kao platforma za održavanje vitkog razmišljanja. Jedan od ključnih čimbenika filozofije kaizen su ljudi. Potrebno je stvoriti takvu atmosferu koja će uključivati zaposlenike u procese predlaganja i unaprjeđenja procesa. Kaizen se ostvaruje u zajedničkom radu i sudjelovanju zaposlenika pri eliminiranju ili reduciranju gubitaka. Prema tome, kaizen definiramo kao pristup koji pretpostavlja stalna poboljšanja uz uključenost svih zaposlenika – od menadžmenta do radnika. Pritom alati nisu važni koliko je važan način razmišljanja njihovih korisnika.

Kaizen stvara kolektivnu, kreativnu i proaktivnu priliku za kontinuirano poboljšanje i uklanjanje gubitaka. Pruža kulturu rješavanja problema sa znanstvenim i strukturiranim razmišljanjem, koja pomaže organizaciji povećati angažman zaposlenika i osloboditi njihovu kreativnost za promociju inovativnosti što može dovesti do smanjenja utjecaja na okoliš i opasnosti po zdravlje [106], [107]. Kaizen je korišten u sklopu raznih projekata s ciljem postizanja kontinuiranog poboljšanja prema dimenzijama održivosti [108], [109]. Razvija angažman zaposlenika i oslobađa njihovu kreativnost, što dovodi do promicanja inovacija u svrhu ekološkog i društvenog napretka [106]. Kaizen je istaknut zbog svojeg potencijala za sprečavanje otpada i zagađenja, kao i za smanjenje emisija [105], [110].

#### 4.2.3. FMEA

Prvi put opisan od strane Ministarstva obrane Sjedinjenih Država 1949., FMEA (engl. *Failure modes & effect analysis*) je alat temeljen na riziku za prepoznavanje, procjenu i upravljanje potencijalnim kvarovima proizvoda ili sustava na strukturiran način [111].

FMEA je sustavna metoda s krajnjim ciljem identificiranja potencijalnih pogrešaka, zaustavljanja njihova nastanka kako bi se minimalizirala vjerojatnost da se kupac susretne s analiziranim pogreškama. Pritom su u obzir uzeti i unutarnji i vanjski kupci. Tri su najvažnija pokazatelja na temelju kojih se formira RPN, odnosno pokazatelj važnosti određenog problema u okviru analize FMEA:

- ozbiljnost problema – svaki problem koji se javi u organizaciji nema iste posljedice, a kao pokazatelj ozbiljnosti može poslužiti, primjerice, trošak uklanjanja određenog problema;

- vjerojatnost pojave – mjeri vjerojatnost pojavljivanja određenog problema;
- vjerojatnost detekcije problema prije njegove manifestacije.

Nakon određivanja RPN-a za probleme s kojima se određena organizacija suočava, neovisno o tome je li riječ o proizvodnji određenih proizvoda ili pružanju usluga, pristupa se izdvajanju onih problema koji su najvažniji (imaju najveći RPN) te se provodi cijeli niz mjera kako bi se njihov RPN smanjio na prihvatljivu razinu.

Ideja nadogradnje analize FMEA za podršku održivom razvoju proizvoda nije nova i dosta se istražuje [112], [113], [114].

#### 4.2.4. Šest sigma

Šest sigma (engl. *Six sigma*) je proces prepoznavanja nedostataka i njihovoga sustavnog uklanjanja, počevši od onih koji se najčešće pojavljuju. Cilj je dizajnirati proizvode i procese s toliko malim varijacijama da se nedostaci javljaju u stopi ne većoj od tri ili četiri pojavljivanja na milijun prilika. Treba istaknuti da se šest sigma obično smatra potpunom filozofijom za sebe, a ne dijelom vitkog razmišljanja. Često se, međutim, koristi u vitkim organizacijama. Šest sigma teži poboljšati kvalitetu izlaznog proizvoda procesa otkrivajući i otklanjajući uzroke defekata i minimiziranjem varijabilnosti u proizvodnom i poslovnom procesu. Koristi metode kvalitete upravljanja, najviše empirijske, statističke metode i kreira specijalnu infrastrukturu ljudi unutar organizacije, koji su stručnjaci za te metode. Svaki projekt šest sigma koji se donosi unutar organizacije prati definiran niz koraka i ima posebne vrijednosne ciljeve. Šest sigma je metodologija koja se temelji na praćenju i podizanju kvalitete procesa, najčešće gledano kao udio defekata. Metodologija potječe iz kompanije Motorola, koja je registrirala naziv 1991. godine. Sam naziv šest sigma odnosi se na varijancu, odnosno rasipanje nekog procesa. Razina od šest sigma daje kvalitetu od 99,99966 %, odnosno 3,4 defekta na milijun. Šest sigma kao moderna strategija upravljanja kvalitetom može pomoći kompanijama u postizanju i održavanju dugoročnoga poslovnog uspjeha. Ona svaki projektni cilj čini dostižnim u strukturiranom pristupu DMAIC (engl. *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) procesa. Metodologija šest sigma stavlja naglasak na želje kupaca, a važno je da se pril njezinom implementiranju u radnu organizaciju uključe svi zaposlenici kako bi se postigao njezin najveći mogući učinak [115].

Integracija vitkosti i održivosti ima neke nedostatke u smislu tehničkih alata za mjerenje svih aspekata održivosti, a koji se mogu pokriti daljnjom integracijom s drugim metodologijama



s jačim kvantitativnim alatima kao što je šest sigma [116], [117], [118]. Šest sigma je strukturirani način rješavanja problema i predstavlja organizirano vođenje te omogućuje menadžerima i voditeljima da koriste nove načine razumijevanja i rješavanja svojih problema održivosti. Usredotočuje se na smanjenje nedostataka kako bi se poboljšala kvaliteta proizvoda, što pomaže u smanjenju gubitaka (tj. potrošnja materijala, vode i energije te stvaranje otpada). Usmjerava pozornost na smanjenje uvjeta koji rezultiraju nesrećama, što dovodi do sigurnijih i zdravijih radnih uvjeta [4], [119].

#### 4.2.5. Naučene lekcije

Izraz naučene lekcije (engl. *Lessons learned*) široko se koristi za opisivanje ljudi, stvari i aktivnosti povezanih s činom učenja iz iskustva kako bi se postigla poboljšanja. Ideja naučenih lekcija u organizaciji jest da formalnim pristupom učenju pojedinci i organizacija mogu smanjiti rizik od ponavljanja pogrešaka i povećati mogućnost ponavljanja uspjeha. Pitanja proizašla iz metode naučene lekcije mogu se otkriti i generirati unutar glavnih faza životnog ciklusa proizvoda: razvoj proizvoda, proizvodnja i faza uporabe. No može biti izazovno sačuvati strukturirano znanje, osobito unutar dugoga životnog ciklusa. Aplikacije ili metodologije za upravljanje znanjem u dizajnu proizvoda uglavnom upravljaju resursima znanja, kao što su patentni dizajna, tehnički standardi, formule dizajna, pravila dizajna, softver za dizajn ili simulaciju, i tako dalje [120].

Očito je da je dizajn proizvoda u proizvodnim kompanijama aktivnost koja zahtijeva znanje [121]. Istraživanja sugeriraju da se u procesu dizajna proizvoda oko 80 % dizajnerskih aktivnosti ponovno koristi povijesnim iskustvom i znanjem za rješavanje trenutnih problema [122].

Naučene lekcije su znanje ili razumijevanje stečeno iskustvom. Iskustvo može biti pozitivno, kao u uspješnom testu ili misiji, ili negativno, kao u nesreći ili neuspjehu. Lekcija mora biti važna u smislu da ima stvarni ili pretpostavljeni utjecaj na operacije; valjan u smislu da je činjenično i tehnički točan; i primjenjiv utoliko što identificira određeni dizajn, proces ili odluku koji smanjuju ili eliminiraju mogućnost kvarova i nesreća ili pojačavaju pozitivan rezultat. Naučene lekcije su dokumentirane informacije koje odražavaju i pozitivna i negativna iskustva projekta. One predstavljaju predanost organizacije izvrsnosti u upravljanju projektima i priliku voditelja projekta da uči iz stvarnih iskustava drugih. Učenje se odvija na svakom projektu. Naučene lekcije su spoznaje stečene procesom izvođenja projekta. Učimo iz vlastitih

projektnih iskustava kao i iz iskustava drugih. Voditelji projekata, članovi tima i vodstvo mogu sudjelovati u sesijama o naučenim lekcijama, pregledavati izvješća o naučenim lekcijama i donositi odluke o tome kako iskoristiti stečeno znanje. Razmjena naučenih lekcija među članovima projektnog tima sprečava organizaciju od ponavljanja istih pogrešaka i omogućuje im da iskoriste najbolje organizacijske prakse. Inovativni pristupi i dobre prakse rada mogu se podijeliti s drugima. Naučene lekcije mogu se koristiti za poboljšanje budućih projekata i budućih faza trenutnih projekata [123].

#### **4.2.6. Analiza temeljnih uzroka**

U znanosti i inženjerstvu analiza temeljnih uzroka (engl. *Root cause analysis – RCA*) je metoda rješavanja problema koja se koristi za identifikaciju korijena uzroka pogrešaka ili problema s ciljem poboljšanja kvalitete i pouzdanosti [124], [125]. Široko se koristi u IT operacijama, proizvodnji, telekomunikacijama, kontroli industrijskih procesa, analizi nezgoda (primjerice, u zrakoplovstvu, željezničkom prijevozu ili nuklearnim postrojenjima), medicini (za medicinsku dijagnozu), zdravstvenoj industriji (primjerice, za epidemiologiju), itd. [126]. Analiza temeljnih uzroka je oblik induktivnog (prvo stvorite teoriju na temelju empirijskih dokaza) i deduktivnog (testirajte teoriju s empirijskim podacima) zaključivanja.

RCA se može rastaviti na četiri koraka:

- Jasno identificirajte i opišite problem;
- Uspostavite vremenski okvir od normalne situacije do pojave problema;
- Napravite razliku između temeljnog uzroka i drugih uzročnih čimbenika (primjerice, s pomoću korelacije događaja);
- Uspostavite uzročno-posljedični grafikon između temeljnog uzroka i problema.

#### **4.2.7. Vizualni menadžment**

Vizualni menadžment (engl. *Visual management*) koristi dijagrame i druge grafike koji pokazuju gdje se tim nalazi, kamo ide i kako će onamo stići. Komponente vizualnog upravljanja su jednostavnost, vjerodostojnost i poticanje dobre odluke i radnje. On omogućuje da zaposlenici konstantno budu informirani o procedurama, trenutnom statusu i drugim relevantnim podacima. Tako svi znaju koliko brzo moraju izvršavati sve potrebne zadatke. Također, pogreške se mnogo brže i lakše utvrđuju. Vizualni menadžment svima omogućava

razumijevanje i ostvarivanje dnevnih ciljeva. Može se reći da je usko vezan uz komunikaciju zato što koristi razne oblike vizualnih znakova kako bi prenio sve bitne informacije vezane uz radno mjesto. To je jedan od načina komuniciranja informacija, odnosno način na koji se prikazuju informacije o performansama, očekivanjima, procedurama, standardima. „Vizualni menadžment je alat i koncept s pomoću kojega su svi članovi tima u mogućnosti upravljati svakim dijelom procesa, što jednostavnije i efikasnije, primajući informacije na prvi pogled, koristeći vizualne podatke, signale i usmjerenja“ [115]. Promiče sigurno radno okruženje i pridonosi eliminaciji gubitaka [4], [103].

#### **4.2.8. 5 zašto**

Alat „5 zašto“ (engl. *5 Why*) ključni je alat za utvrđivanje i razumijevanje potencijalnog uzroka problema. Cilj je pronaći dovoljan broj uzroka, čija će korekcija rezultirati rješavanjem stvarnog problema.

Alat „5 zašto“ karakterizira sljedeće:

- Provjera problema na mjestu njegova nastanka;
- Odgovor na svako „zašto“ mora biti utemeljen na provjerenim činjenicama (nema nagađanja);
- Alat se primjenjuje kako bi se provjerila povezanost odgovora i ispravnost logike.

Važno je razlučiti kako se alat usmjerava na pronalaženje uzroka problema, a ne na pronalaženje krivca; zašto, a ne tko. Katkad problem može imati više uzroka, no bitno je da je fokus na najvažnijima.

Alat 5 zašto može se koristiti za poticanje razvoja rješenja za smanjenje i uklanjanje okolišnih gubitaka identificiranih u proizvodnim procesima. Korištenjem se mogu poboljšati ergonomija, zdravlje i sigurnost radnika i moral osoblja. Može se koristiti za razumijevanje uzroka otpada u okolišu, što dovodi do smanjene prekomjerne uporabe energije, vode, sirovina, emisija itd. [119], [127].

### 4.3. Odabir aspekata održivosti

Koristeći isti princip računanja ukupnih vrijednosti spominjanja kao kod odabira vitkih alata, odabrani su okolišni, društveni i ekonomski aspekti koji će se koristiti u upitniku za ekspertni panel. U obzir su s jednakom važnosti uzeti broj spominjanja u literaturi (Tablica 2) i spominjanje u studiji slučaja u kompanijama (Tablica 7). Broj spominjanja određenog aspekta u literaturi podijeljen je s ukupnim brojem literature koji kod aspekata iznosi 17. To je također napravljeno i za spominjanje u kompanijama. Tako su dobivene učestalosti alata prema korištenom izvoru podataka. Te su vrijednosti učestalosti zatim pomnožene s ponderom 0,5 i zbrojene. Prema tome, primjerice, za prvi aspekt u Tablica 12 „Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa“ vrijedi izračun:

$$\frac{4 \text{ spominjanja u kompanijama}}{5 \text{ kompanija}} * 0,5 + \frac{11 \text{ spominjanja u literaturi}}{17 \text{ literatura}} * 0,5 = 0,7235.$$

Tablica 12, Tablica 13 i Tablica 14 prikazuju redom najučestalije i odabrane okolišne, društvene i ekonomske aspekte.

Tablica 12 Okolišni aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik

Okolišni aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Broj spominjanja aspekata u kompanijama	Broj spominjanja alata u literaturi	Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura	Ulazi li u istraživanje
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema uporabe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	4	11	0,7235	DA
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	4	10	0,6941	DA
Potrošnja energije	4	9	0,6647	DA
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	4	5	0,5471	DA
Emisija onečišćujućih tvari u zrak	3	6	0,4765	NE
Potrošnja vode	2	8	0,4353	NE
Strategija za kraj životnog vijeka proizvoda (primjerice, odlaganje i recikliranje)	2	4	0,3176	NE
Promicanje mogućnosti popravka, nadogradnje i servisiranja	2	4	0,3176	NE
Onečišćenje	1	6	0,2765	NE

<b>Okolišni aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda</b>	<b>Broj spominjanja aspekata u kompanijama</b>	<b>Broj spominjanja alata u literaturi</b>	<b>Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura</b>	<b>Ulazi li u istraživanje</b>
Energetska učinkovitost tijekom faze korištenja/dizajn za transport	0	9	0,2647	NE
Očuvanje prirodnih staništa	1	3	0,1882	NE
Uporaba zemljišta	0	1	0,0294	NE

Tablica 13 Društveni aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik

<b>Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda</b>	<b>Broj spominjanja aspekata u kompanijama</b>	<b>Broj spominjanja alata u literaturi</b>	<b>Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura</b>	<b>Ulazi li u istraživanje</b>
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo kompanijom)	3	10	0,5941	DA
Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje	2	8	0,4353	DA
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	2	6	0,3765	DA
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	3	2	0,3588	DA
Nema prisilnog rada, nema dječjeg rada, nema korupcije	2	2	0,2588	NE
Kvaliteta i trajnost proizvoda	2	2	0,2588	NE
Dobrobit zajednice (pokriva, primjerice, angažman u razvojnim programima za zajednicu, ljudska prava, pravednost i korupciju)	1	5	0,2471	NE
Funkcionalna izvedba	2	1	0,2294	NE
Organizirano učenje	1	2	0,1588	NE
Pristup kvalitetnijoj pitkoj vodi, sloboda udruživanja, ravnopravnost spolova i pristup osnovnom znanju	0	1	0,0294	NE

Tablica 14 Ekonomski aspekti održivosti koji ulaze u anketni upitnik

<b>Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda</b>	<b>Broj spominjanja aspekata u kompanijama</b>	<b>Broj spominjanja alata u literaturi</b>	<b>Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura</b>	<b>Ulazi li u istraživanje</b>
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	4	9	0,6647	DA

Aspekt održivosti na koji se može utjecati u razvoju proizvoda	Broj spominjanja aspekata u kompanijama	Broj spominjanja alata u literaturi	Spominjanje s udjelom 50/50 industrija / literatura	Ulazi li u istraživanje
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, dizajn za proizvodnju	3	2	0,3588	DA
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	2	4	0,3176	DA
Inovacijski potencijal	2	3	0,2882	DA
Povećana konkurentnost, konkurentska prednost, stvaranje ekonomskih prilika	1	4	0,2176	NE
Poticanje i stimulacija motiviranosti zaposlenika	1	3	0,1882	NE
Troškovi istraživanja i razvoja (R&D)	1	2	0,1588	NE
Prednosti kroz vrijednosti na tržištu i kroz kvalitetu proizvoda	0	3	0,0882	NE

Prema tablicama koje prethode, za anketno istraživanje odabrano je ukupno 12 aspekata održivosti, po 4 iz svake od dimenzija održivosti. Iz svake dimenzije održivosti odabran je jednak broj aspekata jer se svakoj dimenziji treba pridodati jednaka važnost kako predlaže [2]. Izabrani su oni aspekti iz svake dimenzije održivosti koji imaju najveću ukupnu učestalost u literaturi i intervjuima. Ako vrijednosti nisu ukazivale na granicu odluke DA-NE, uzeto je u obzir da su navedeni alati spomenuti barem u 2 kompanije koje su sudjelovale u studiji slučajeva.

Ekspertni panel procijenio je utjecaj svakoga odabranog alata na svaki odabrani okolišni, društveni i ekonomski aspekt. Za vrijeme procjene utjecaja pojedinog alata na aspekte koristila se skala s 9 vrijednosti procjene (od 1 do 9). „*Jako negativan*“ utjecaj vitkog alata na odabrani aspekt označava se vrijednošću 1, a „*Jako pozitivan*“ utjecaj vrijednošću 9. „*Neutralan*“ utjecaj označava se brojem 5. Brojevi 2, 3 i 4 te brojevi 6, 7 i 8 označavaju međuvrijednosti utjecaja. Skala od 9 vrijednosti procjene koristila se s namjerom da se smanji broj usporedbi u parovima i približi Saatyjevoj ljestvici usporedbe u parovima. Da su u anketi provedene međusobne usporedbe 8 alata u parovima za svaki od 12 aspekata, bilo bi potrebno 336 usporedbi što je zahtjevno i moglo bi generirati mnogo nedosljednosti. Vrijednosti procjena utjecaja su kasnije rangirane Friedmanovim testom i ponderiranjem prenesene u model koji se temelji na analitičkom hijerarhijskom procesu. Navedeni pristup već je korišten u radovima [84], [85]. Slika 5 prikazuje primjer jednoga od anketnih pitanja te korištenu skalu procjene.

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: „Kaizen“ u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Slika 5** Primjer anketnog pitanja za ekspertni panel i korištene skale procjene

#### 4.4. Analiza rezultata anketnog istraživanja

U ovom poglavlju prikazat će se analiza upitnika anketnog istraživanja. Cilj anketnog istraživanja bila je procjena utjecaja vitkih alata (Tablica 11), na okolišne (Tablica 12), društvene (Tablica 13) i ekonomske (Tablica 14) aspekte održivosti. Za obradu prikupljenih podataka koriste se i deskriptivna statistika i statistički testovi. Iz rezultata odgovora dobiva se informacija koji su alati najutjecajnije za uključivanje održivosti, postoji li povezanost alata i aspekta održivosti te koji je, prema stručnjacima, najutjecajnije alat ili aspekt održivosti. Rezultati upitnika služe za izradu modela, te će se oni prikazati u poglavlju vezanom uz model. Ispunjeno je ukupno 30 upitnika.

Statistička analiza uključivala je sljedeće analize i testove:

1. Deskriptivna analiza odgovora
2. Test normalnosti dobivenih odgovora – za provjeru normalnosti podataka i odluku koristiti li paramaterske analize ili ne

3. Friedmanov test – za provjeru razlika odgovora između dimenzija i za rangiranje alata po aspektu
4. Wilcoxonov test rangova s predznakom - za provjeru razlika odgovora između dviju dimenzija
5. Mann-Whitneyjev U-test razlika – za provjeru razlika odgovora između sektora
6. Spearmanov test korelacija – za provjeru korelacija aspekata
7. Leveneov test – za provjeru pretpostavki o homogenosti varijanci

Detaljni prikaz rezultata dobivenih u nabrojenim analizama dan je u nastavku.

#### 4.4.1. Deskriptivna statistička analiza

Na početku statističke obrade podataka napravljena je deskriptivna statistička analiza dobivenih odgovora čiji rezultati su prikazani u nastavku. Za svaki od okolišnih, društvenih i ekonomskih aspekata izrađena je tablica koja prikazuje izračunane prosječne vrijednosti odgovora, medijan, mod, minimalnu i maksimalnu vrijednost odgovora kao i standardnu devijaciju. Rezultati su vizualno predočeni s pomoću histograma i *boxplot* prikaza

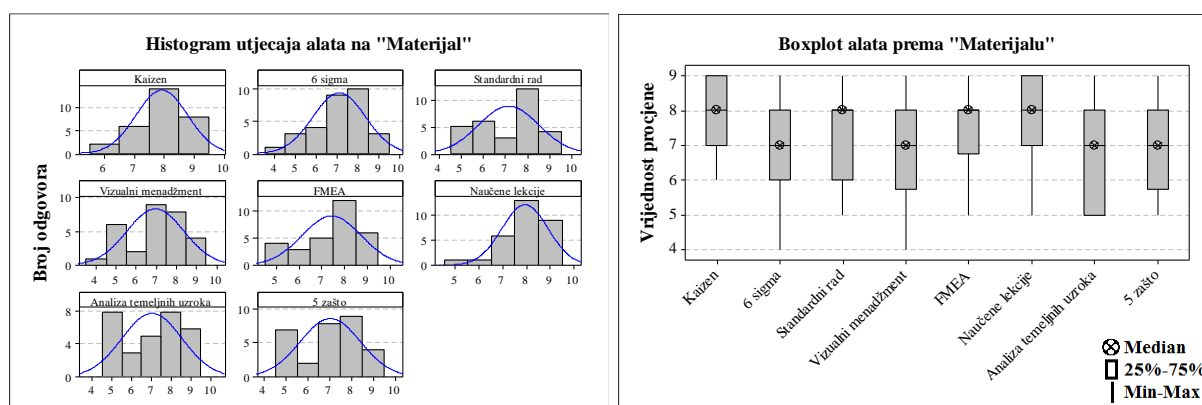
Aspekt “Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/ smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala” je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo materijal. Tablica 15 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na materijal. Prema Tablica 15 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt materijala imaju alati kaizen (7,9333) i naučene lekcije (7,9333), a najmanji vizualni menadžment (6,9667).

**Tablica 15 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Materijal“**

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,9333	8	8	6	9	0,8683
Naučene lekcije	7,9333	8	8	5	9	0,9803
FMEA	7,4333	8	8	5	9	1,3047
Standardizirani rad	7,1333	8	8	5	9	1,3578
6 sigma	7,1000	7	8	4	9	1,2690
Analiza temeljnih uzroka	7,0333	7	5	5	9	1,5196
5 zašto	7,0333	7	8	5	9	1,3767
Vizualni menadžment	6,9667	7	7	4	9	1,4259



Slika 6 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt materijala. Histogram i box-whisker prikaz vizualno prikazuju da se ocjene alata uglavnom kreću od minimalne ocjene 5 (neutralan utjecaj), a kod alata 6 sigma i vizualnog menadžmenta pojavljuje se i ocjena 4 (malo negativan). Kod svih alata prisutna je najveća ocjena 9. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 8 kod kaizena, standardnog rada, naučenih lekcija, 6 sigme, FMEA i 5 zašto, 7 kod vizualnog menadžmenta, i 5 kod analize temeljnih uzroka. Prema *boxplotu* nema *outliera*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih.



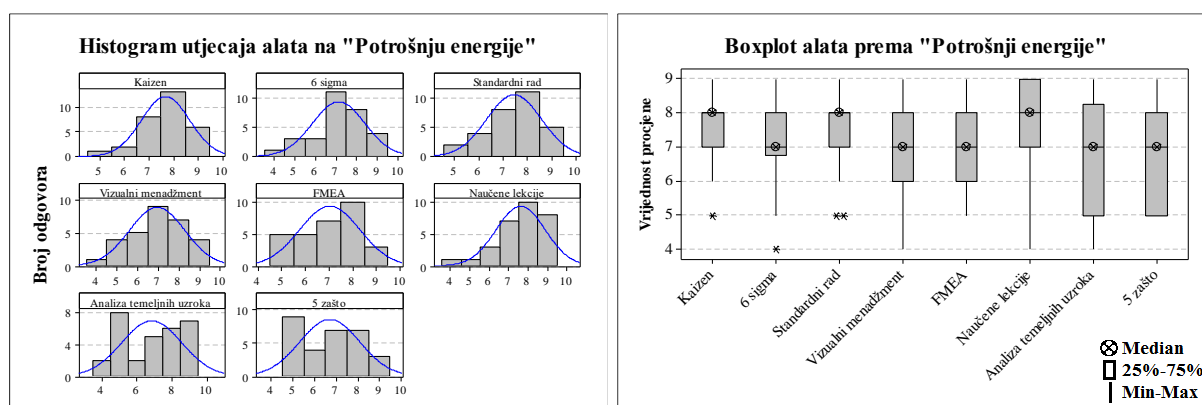
Slika 6 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Materijal“

Tablica 16 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na potrošnju energije. Prema Tablica 16 i prosječnoj vrijednosti odgovora najveći utjecaj na aspekt potrošnje energije imaju alati kaizen (7,7000), naučene lekcije (7,6000) i standardizirani rad (7,4333), a najmanji 5 zašto (6,7000).

Tablica 16 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Potrošnja energije“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,7000	8	8	5	9	0,9879
Naučene lekcije	7,6000	8	8	4	9	1,2758
Standardizirani rad	7,4333	8	8	5	9	1,1351
6 sigma	7,1333	7	7	4	9	1,2794
FMEA	7,0333	7	8	5	9	1,2726
Vizualni menadžment	6,9667	7	7	4	9	1,3515
Analiza temeljnih uzroka	6,8667	7	5	4	9	1,7167
5 zašto	6,7000	7	5	5	9	1,3933

Slika 7 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt potrošnje energije. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod 6 sigme, vizualnog menadžmenta, naučenih lekcija i analize temeljnih uzroka. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 8 kod kaizena, standardnog rada, FMEA-e i naučenih lekcija, 7 kod alata 6 sigma i vizualnog menadžmenta i 5 kod alata 5 zašto i analize temeljnih uzroka. Prema *boxplot* prikazu postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, kod kaizena, 6 sigme i standardnog rada.



Slika 7 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Potrošnja energije“

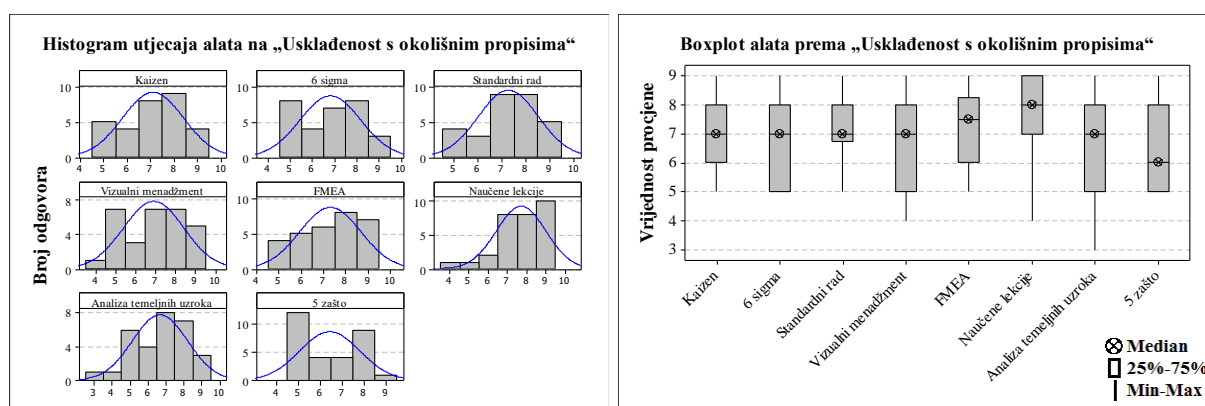
Aspekt „Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala” je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo usklađenost s okolišnim propisima. Tablica 17 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na usklađenost s okolišnim propisima. Prema Tablica 17 i prosječnoj vrijednosti odgovora najveći utjecaj na aspekt usklađenosti s okolišnim propisima imaju alati naučene lekcije (7,7000), FMEA (7,300) i standardizirani rad (7,2667), a najmanji 5 zašto (6,4333).

Tablica 17 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Usklađenost s okolišnim propisima“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Naučene lekcije	7,7000	8	9	4	9	1,2905
FMEA	7,3000	7,5	8	5	9	1,3684
Standardizirani rad	7,2667	7	8	5	9	1,2576
Kaizen	7,1000	7	8	5	9	1,2959

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Vizualni menadžment	6,9000	7	7	4	9	1,5166
6 sigma	6,8000	7	8	5	9	1,3746
Analiza temeljnih uzroka	6,6667	7	7	3	9	1,5388
5 zašto	6,4333	6	5	5	9	1,3817

Slika 8 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt usklađenosti s okolišnim propisima. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 3 (umjereno negativan utjecaj) i pojavljuje se kod analize temeljnih uzroka. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod naučene lekcije, 8 kod kaizena i FMEA-e, 7 kod analize temeljnih uzroka, 5 kod alata 5 zašto. Kod alata 6 sigma najčešće ocjene su 5 i 8, zatim 7 i 8 kod standardnog rada te 5, 7 i 8 kod vizualnog menadžmenta. Prema *boxplot* prikazu, ne postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih. Najveći raspon ocjena, od 3 do 9, dobila je analiza temeljnih uzroka.



**Slika 8 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Usklađenost s okolišnim propisima“**

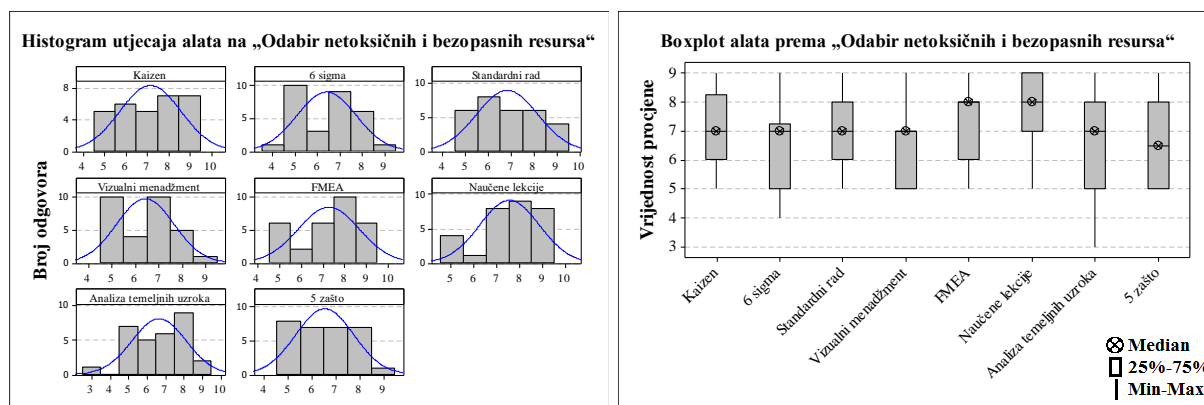
Aspekt “Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema uporabe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji” je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo odabir netoksičnih i bezopasnih resursa. Tablica 18 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na odabir netoksičnih i bezopasnih resursa. Prema Tablica 18 i prosječnoj vrijednosti odgovora najveći utjecaj na aspekt odabira netoksičnih i bezopasnih

resursa imaju alati naučene lekcije (7,5333), FMEA (7,2667) i kaizen (7,1667), a najmanji 6 sigma (6,4000).

**Tablica 18 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa“**

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Naučene lekcije	7,5333	8	8	5	9	1,3060
FMEA	7,2667	8	8	5	9	1,4126
Kaizen	7,1667	7	8	5	9	1,4404
Standardizirani rad	6,8000	7	6	5	9	1,3493
Analiza temeljnih uzroka	6,6667	7	8	3	9	1,4700
5 zašto	6,5333	6,5	5	5	9	1,2243
Vizualni menadžment	6,4333	7	7	5	9	1,2229
6 sigma	6,4000	7	5	4	9	1,3287

Slika 9 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt odabira netoksičnih i bezopasnih resursa. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 3 (umjereno negativan utjecaj) i pojavljuje se kod analize temeljnih uzroka. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 i 8 kod kaizena, 8 kod alata FMEA, naučenih lekcija i analize temeljnih uzroka, 6 kod standardnog rada i 5 kod alata 6 sigma i 5 zašto. Kod vizualnog menadžmenta najčešće su ocjene 5 i 7. Prema *boxplot* prikazu ne postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih. Najveći raspon ocjena, od 3 do 9, dobila je analiza temeljnih uzroka.



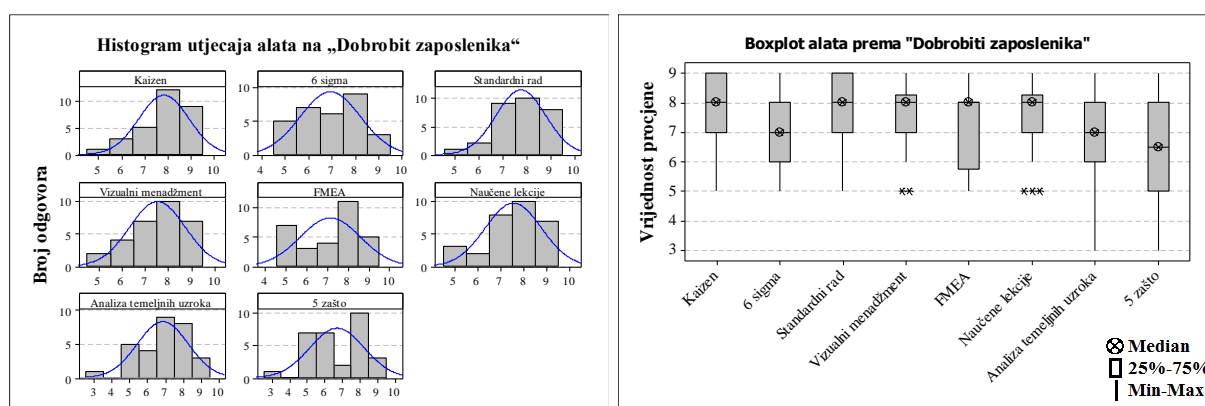
**Slika 9 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa“**

Tablica 19 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na dobrobit zaposlenika. Prema Tablica 19 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt dobrobiti zaposlenika imaju alati kaizen (7,8333), standardizirani rad (7,7333), vizualni menadžment (7,5333) i naučene lekcije (7,5333), a najmanji 5 zašto (6,7000).

Tablica 19 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Dobrobit zaposlenika“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,8333	8	8	5	9	1,0854
Standardizirani rad	7,7333	8	8	5	9	1,0483
Vizualni menadžment	7,5333	8	8	5	9	1,1958
Naučene lekcije	7,5333	8	8	5	9	1,2243
FMEA	7,1333	8	8	5	9	1,4559
6 sigma	6,9333	7	8	5	9	1,2847
Analiza temeljnih uzroka	6,8667	7	7	3	9	1,4320
5 zašto	6,7000	6,5	8	3	9	1,5570

Slika 10 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt dobrobiti zaposlenika. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 3 (umjereno negativan utjecaj) i pojavljuje se kod analize temeljnih uzroka i 5 zašto. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 8 kod kaizena, 6 sigme, standardnog rada, vizualnog menadžmenta, FMEA-e, naučenih lekcija i 5 zašto te 7 kod analize temeljnih uzroka. Prema *boxplot* prikazu, postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod vizualnog menadžmenta i naučenih lekcija. Najveći raspon ocjena, od 3 do 9, dobili su analiza temeljnih uzroka i 5 zašto, a ostali alati variraju u ocjenama od 5 do 9.



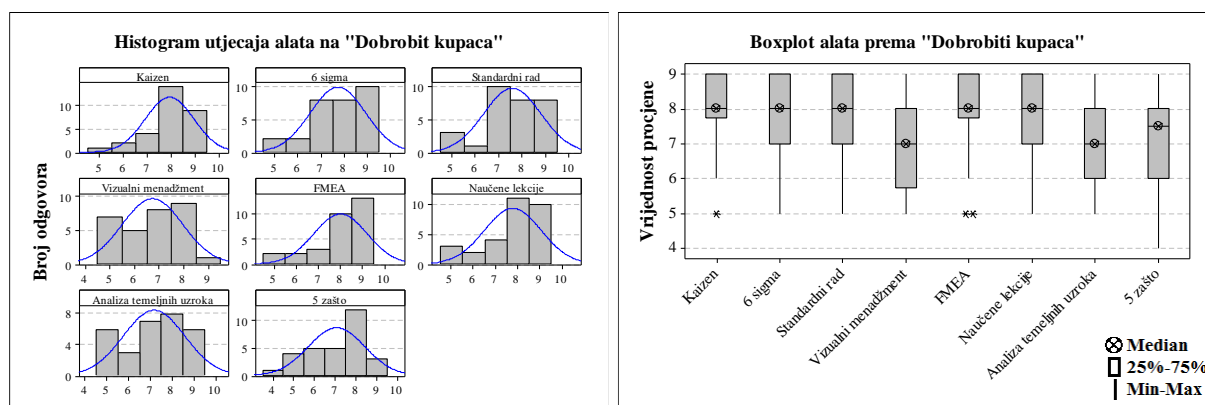
Slika 10 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Dobrobit zaposlenika“

Tablica 20 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na dobrobit kupaca. Prema Tablica 20 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt dobrobiti kupaca imaju alati FMEA (8,000) i kaizen (7,9333), a najmanji vizualni menadžment (6,7333).

Tablica 20 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Dobrobit kupaca“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
FMEA	8,0000	8	9	5	9	1,2034
Kaizen	7,9333	8	8	5	9	1,0148
Naučene lekcije	7,7667	8	8	5	9	1,2780
6 sigma	7,7333	8	9	5	9	1,2015
Standardizirani rad	7,5667	8	7	5	9	1,2229
Analiza temeljnih uzroka	7,1667	7	8	5	9	1,4162
5 zašto	7,0667	7,5	8	4	9	1,3629
Vizualni menadžment	6,7333	7	8	5	9	1,2299

Slika 11 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt dobrobiti kupaca. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod alata 5 zašto. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod 6 sigme i FMEA-e, 8 kod kaizena, vizualnog menadžmenta, naučenih lekcija, analize temeljnih uzroka i 5 zašto te 7 kod standardnog rada. Prema *boxplot* prikazu postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod alata kaizen i FMEA. Najveći raspon ocjena, od 4 do 9, dobio je 5 zašto, dok ostali alati uglavnom variraju u ocjenama od 5 do 9.



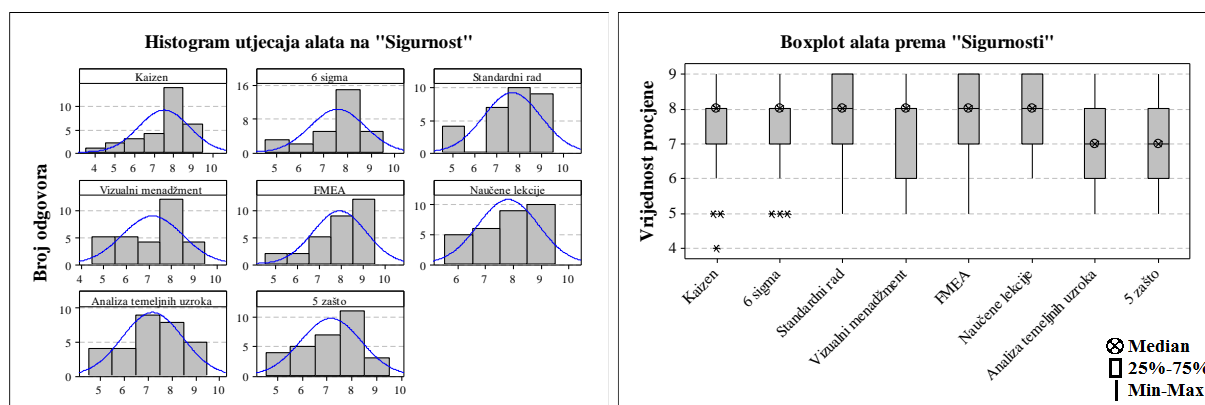
Slika 11 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Dobrobit kupaca“

Aspekt “Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje” je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo sigurnost. Tablica 21 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na sigurnost. Prema Tablica 21 i prosječnoj vrijednosti odgovora najveći utjecaj na aspekt sigurnosti imaju alati FMEA (7,900) i naučene lekcije (7,8000), a najmanji vizualni menadžment (7,1333).

Tablica 21 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Sigurnost“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
FMEA	7,9000	8	9	5	9	1,2134
Naučene lekcije	7,8000	8	9	6	9	1,0954
Standardizirani rad	7,6667	8	8	5	9	1,2954
6 sigma	7,5667	8	8	5	9	1,1651
Kaizen	7,5333	8	8	4	9	1,3060
Analiza temeljnih uzroka	7,2000	7	7	5	9	1,2704
Vizualni menadžment	7,1667	8	8	5	9	1,3412
5 zašto	7,1333	7	8	5	9	1,2243

Slika 12 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt sigurnosti. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod kaizena. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod FMEA-e i naučenih lekcija, 8 kod kaizena, 6 sigme, standardnog rada, vizualnog menadžmenta i 5 zašto te 7 kod analize temeljnih uzroka. Prema *boxplot* prikazu postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod alata kaizen i 6 sigma.



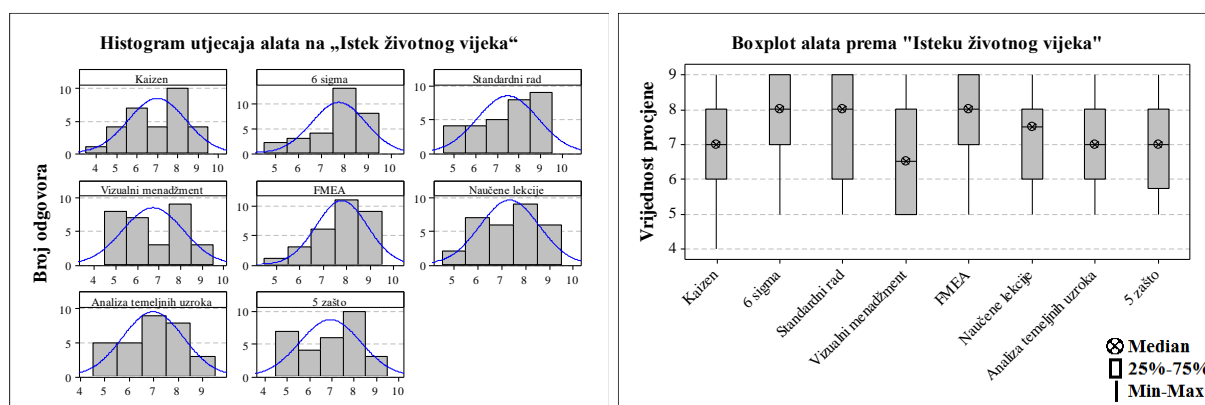
Slika 12 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Sigurnost“

Aspekt "Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka" je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo istek životnog vijeka. Tablica 22 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na istek životnog vijeka. Prema Tablica 22 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt isteka životnog vijeka imaju alati FMEA (7,8000), 6 sigma (7,7333) i standardizirani rad (7,4667), a najmanji vizualni menadžment (6,7333).

Tablica 22 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Istek životnog vijeka“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
FMEA	7,8000	8	8	5	9	1,0954
6 sigma	7,7333	8	8	5	9	1,1725
Standardizirani rad	7,4667	8	9	5	9	1,4077
Naučene lekcije	7,3333	7,5	8	5	9	1,2411
Kaizen	7,0000	7	8	4	9	1,4142
Analiza temeljnih uzroka	6,9667	7	7	5	9	1,2452
5 zašto	6,9333	7	8	5	9	1,3629
Vizualni menadžment	6,7333	6,5	8	5	9	1,4126

Slika 13 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt isteka životnog vijeka. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod kaizena. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod standardnog rada, 8 kod kaizena, 6 sigme, vizualnog menadžmenta, FMEA-e, naučenih lekcija i 5 zašto, 7 kod analize temeljnih uzroka. Prema *boxplot* prikazu, ne postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih. Najveći raspon ocjena od 4 do 9 prisutan je kod kaizena, a kod ostalih od 5 do 9.



Slika 13 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Istek životnog vijeka“

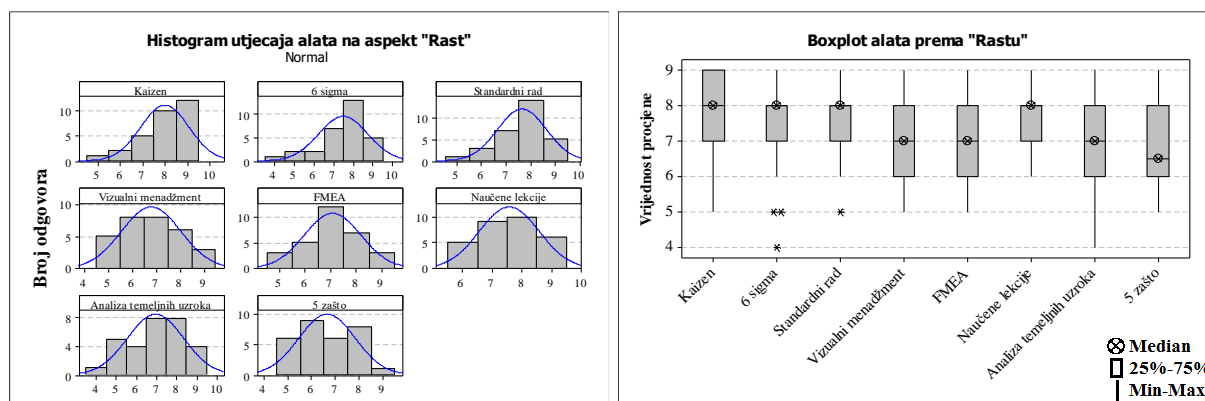


Aspekt "Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja" je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo rast. Tablica 23 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na rast. Prema Tablica 23 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt rasta ima alat kaizen (8,000), a najmanji 5 zašto (6,6333).

Tablica 23 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Rast“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	8,0000	8	9	5	9	1,0828
Standardizirani rad	7,6333	8	8	5	9	0,9994
Naučene lekcije	7,5667	8	8	6	9	1,0063
6 sigma	7,4667	8	8	4	9	1,2521
FMEA	7,0667	7	7	5	9	1,1121
Analiza temeljnih uzroka	6,9667	7	7	4	9	1,4016
Vizualni menadžment	6,8000	7	7	5	9	1,2429
5 zašto	6,6333	6,5	6	5	9	1,1885

Slika 14 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt rasta. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod 6 sigme i analize temeljnih uzroka. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod kaizena, 8 kod 6 sigme, standardnog rada i naučenih lekcija, 7 kod FMEA-e i 6 kod 5 zašto. Kod vizualnog menadžmenta najčešće ocjene su 6 i 7, a kod analize temeljnih uzroka su to 7 i 8. Prema *boxplot* prikazu postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod 6 sigme i standardnog rada. Najveći raspon ocjena, od 4 do 9, prisutan je kod 6 sigme i analize temeljnih uzroka.



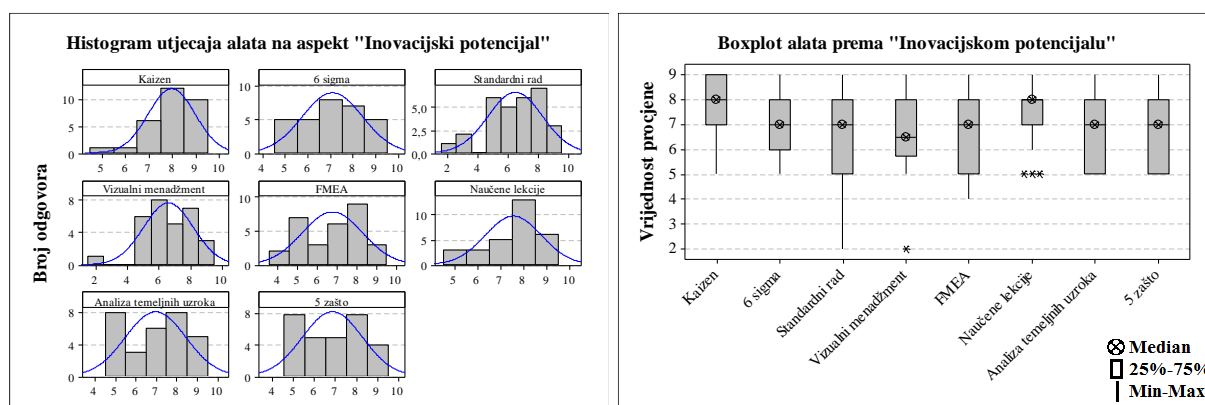
Slika 14 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Rast“

Tablica 24 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na inovacijski potencijal. Prema Tablica 24 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt inovacijskog potencijala ima alat kaizen (7,9667), a najmanji standardizirani (6,4333).

Tablica 24 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Inovacijski potencijal“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,9667	8	8	5	9	0,9994
Naučene lekcije	7,5333	8	8	5	9	1,2243
6 sigma	7,0667	7	7	5	9	1,3374
Analiza temeljnih uzroka	6,9667	7	8	5	9	1,4735
5 zašto	6,8333	7	8	5	9	1,4404
FMEA	6,7333	7	8	4	9	1,5298
Vizualni menadžment	6,6000	6,5	6	2	9	1,5669
Standardizirani rad	6,4333	7	8	2	9	1,8134

Slika 15 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt inovacijskog potencijala. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 2 (negativan utjecaj) i pojavljuje se kod standardnog rada i vizualnog menadžmenta. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 8 kod kaizena, standardnog rada, FMEA-e i naučenih lekcija, 7 kod 6 sigme i 6 kod vizualnog menadžmenta. Kod analize temeljnih uzroka i 5 zašto najčešće ocjene su 5 i 8. Prema *boxplot* prikazu postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod vizualnog menadžmenta i naučenih lekcija. Najveći raspon ocjena, od 2 do 9, prisutan je kod standardnog rada i vizualnog menadžmenta.



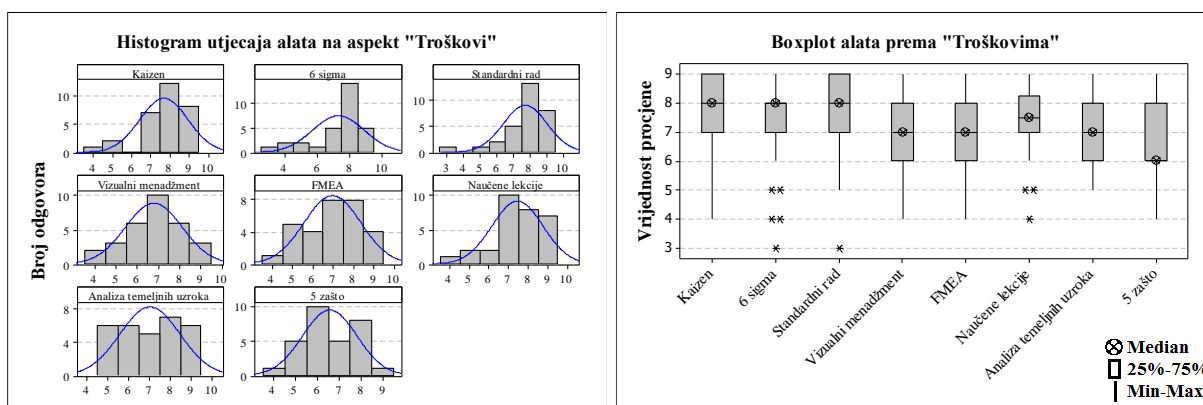
Slika 15 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Inovacijski potencijal“

Aspekt "Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala" je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo troškovi. Tablica 25 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na troškove. Prema Tablica 25 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt troškova imaju alati standardizirani rad (7,7000) i kaizen (7,7000), a najmanji 5 zašto (6,5667).

Tablica 25 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Troškovi“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,7000	8	8	4	9	1,2635
Standardizirani rad	7,7000	8	8	3	9	1,3429
Naučene lekcije	7,4333	7,5	7	4	9	1,3047
6 sigma	7,3000	8	8	3	9	1,6006
Analiza temeljnih uzroka	7,0333	7	8	5	9	1,4499
FMEA	6,9667	7	7	4	9	1,4016
Vizualni menadžment	6,8000	7	7	4	9	1,3493
5 zašto	6,5667	6	6	4	9	1,2507

Slika 16 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt troškova. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 3 (umjereno negativan utjecaj) i pojavljuje se kod 6 sigme i standardnog rada. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 8 kod kaizena, 6 sigme, standardnog rada i analize temeljnih uzroka, 7 kod vizualnog menadžmenta i naučenih lekcija te 6 kod 5 zašto. Kod alata FMEA najčešće ocjene su 7 i 8. Prema *boxplot* prikazu, postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih, i to kod 6 sigme, standardnog rada i naučenih lekcija.



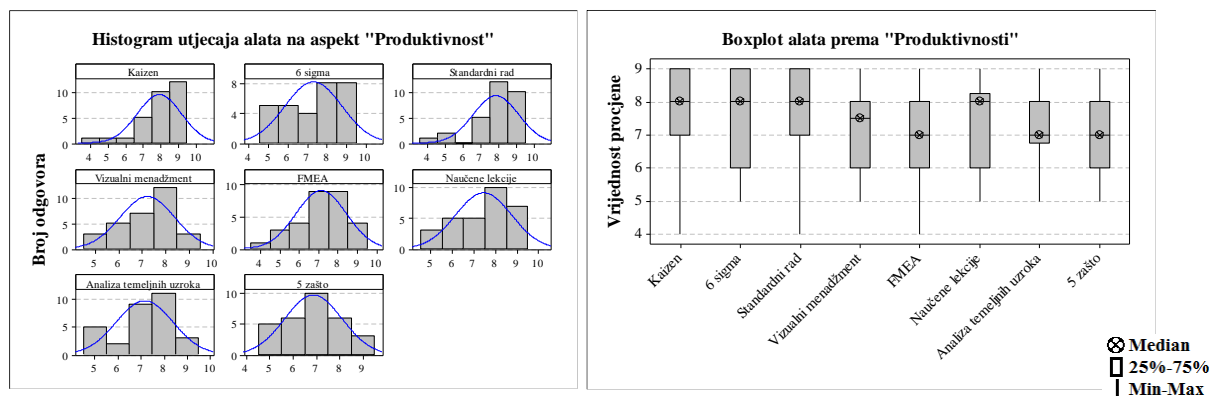
Slika 16 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Troškovi“

Aspekt "Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju" je radi olakšanog praćenja dalje u tekstu skraćeno nazvan samo produktivnost. Tablica 26 prikazuje rezultate deskriptivne analize odgovora dobivenih upitnikom, vezanih uz utjecaj vitkih alata na produktivnost. Prema Tablica 26 i prosječnoj vrijednosti odgovora, najveći utjecaj na aspekt produktivnosti imaju alati kaizen (7,9333) i standardizirani rad (7,8333), a najmanji 5 zašto (6,8667).

Tablica 26 Statistika odgovora vezanih uz aspekt „Produktivnost“

Alati	Prosječna vrijednost	Medijan	Mod	Min	Max	SD
Kaizen	7,9333	8	9	4	9	1,2576
Standardizirani rad	7,8333	8	8	4	9	1,2888
Naučene lekcije	7,4333	8	8	5	9	1,3047
6 sigma	7,3000	8	9	5	9	1,4657
Vizualni menadžment	7,2333	7,5	8	5	9	1,1651
Analiza temeljnih uzroka	7,1667	7	8	5	9	1,2341
FMEA	7,1333	7	8	4	9	1,3060
5 zašto	6,8667	7	7	5	9	1,2243

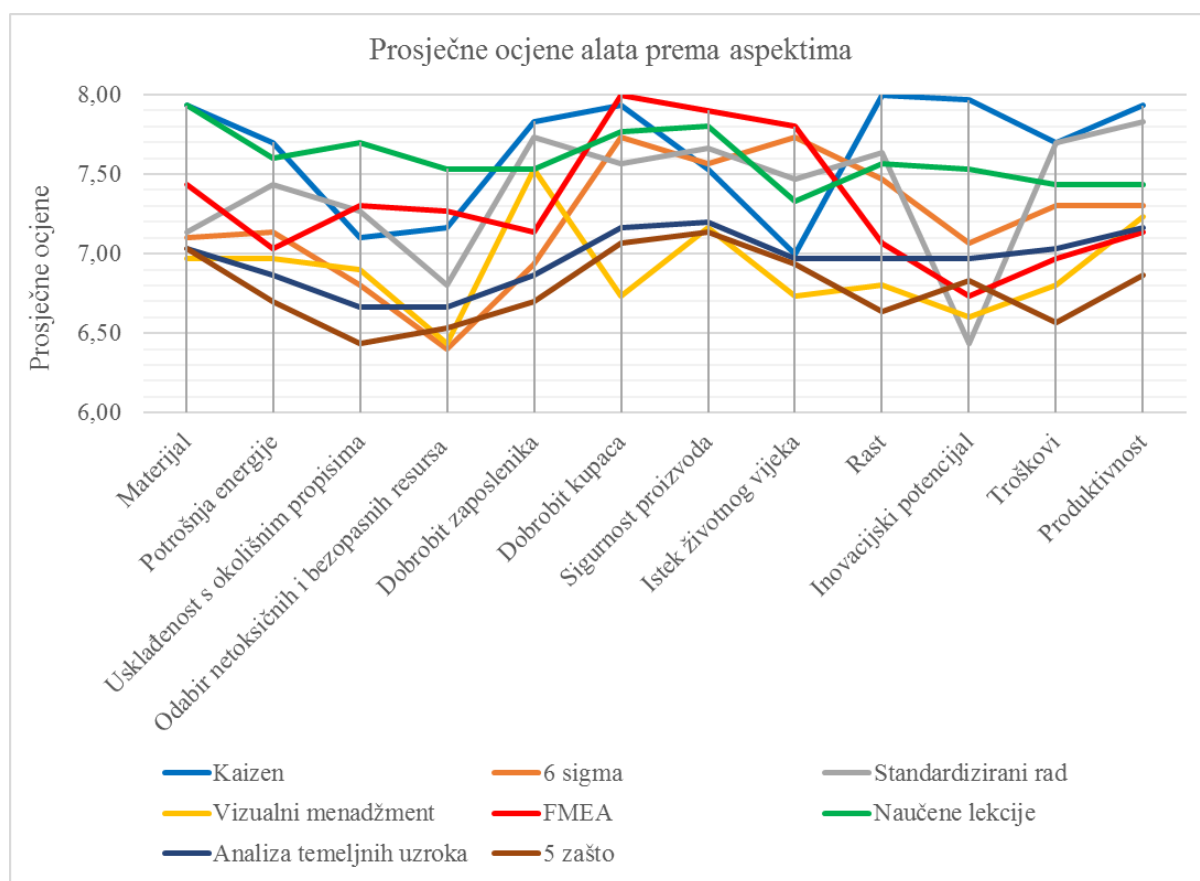
Slika 17 s pomoću histograma i *boxplot* prikaza vizualno predočuje rezultate analize dobivenih odgovora vezanih uz aspekt produktivnosti. Histogram i *boxplot* vizualno prikazuju da je minimalna ocjena 4 (malo negativan utjecaj) i pojavljuje se kod kaizena, standardnog rada i FMEA-e. Prema histogramu i tablici, vrijednosti Mod-a su 9 kod kaizena, 9 i 8 kod 6 sigme, 8 kod standardnog rada, vizualnog menadžmenta, naučenih lekcija i analize temeljnih uzroka, 8 i 7 kod FMEA-e te 7 kod 5 zašto. Prema *boxplot* prikazu, ne postoje *outlieri*, tj. vrijednosti koje odudaraju od ostalih. Najveći raspon ocjena od 4 do 9 prisutan je kod kaizena, standardnog rada i FMEA-e, a kod ostalih je od 5 do 9.



Slika 17 Histogram i *boxplot* prikaz rezultata upitnika za aspekt „Produktivnost“

Ako se pogleda prosječna vrijednost ocjena prema prethodno prikazanim statističkim analizama, najmanji prosječni utjecaj ima vitki alat 6 sigma na aspekt odabira netoksičnih i bezopasnih resursa (6,400), a najveći prosječni utjecaj ima vitki alat kaizen na rast (8,000) i FMEA na dobrobit kupaca (8,000). Pošto je najmanja prosječna ocjena 6,400, a ocjena 6 u anketi označava malo pozitivan utjecaj, može se zaključiti da su alati dobro odabrani jer pozitivno utječu na aspekte. Najmanje dobivene ocjene su 2 (negativan utjecaj), i to kod utjecaja standardnog rada i vizualnog menadžmenta na inovacijski potencijal.

Slika 18 prikazuje prosječne ocjene alata za svaki aspekt. Može se zaključiti da alati kaizen, naučene lekcije, standardizirani rad i FMEA imaju najveće prosječne ocjene utjecaje na aspekte. Nasuprot tome alati analiza temeljnih uzroka, 5 zašto i vizualni menadžment imaju najmanje prosječne ocjene. Navedeno nagoviješta koji će alati imati najveći rang (utjecaj) prema svakom aspektu, što će se utvrditi Friedmanovim testom u poglavlju 4.4.6.



Slika 18 Prosječne ocjene alata prema aspektima

Tablica 27 prikazuje vitke alate koji ulaze u upitnik i dimenzije i aspekte održivosti na koje prema literaturi mogu utjecati te autore koji su spomenuli utjecaj. Provedena deskriptivna statistička analiza potvrdila je da navedeni alati imaju pozitivan utjecaj na spomenute aspekte.

**Tablica 27 Vitki alati i aspekti na koje pozitivno utječu prema literaturi**

Alat	Aspekt	Dimenzija	Autor
Kaizen	Onečišćenje Emisije Potrošnja energije Potrošnja materijala Potrošnja vode Usklađenost s okolišnim propisima Sigurnost	Ekonomska	[33] [3], [65], [4] [3] [65] [65] [65] [65] [4]
Standardizirani rad	Sigurnost Dobrobit zaposlenika Produktivnost Potrošnja materijala Potrošnja energije Onečišćenje	Ekonomska Okolišna	[33] [28] [21], [3] [3] [3] [3], [4] [3], [4] [3]
6 sigma	Potrošnja energije Energetska učinkovitost Usklađenost s okolišnim propisima Sigurnost Onečišćenje Kvaliteta Potrošnja materijala	Ekonomska	[33] [65], [4] [65] [65] [4] [4], [3] [4] [4]
Analiza temeljnih uzroka		Ekonomska	[33]
5 zašto	Sigurnost Potrošnja materijala Potrošnja energije	Ekonomska	[33] [4] [4] [4]
Vizualni menadžment	Sigurnost Onečišćenje		[21], [4]
FMEA		Okolišna	[61]

#### 4.4.2. Test normalnosti podataka

Potrebno je provesti test normalnosti podataka kako bi se odredilo hoće li se nadalje koristiti parametarska ili neparametarska analiza podataka. Ponašaju li se podaci prema normalnoj razdiobi, zaključit će se prema rezultatima *Shapiro-Wilkovog* testa. *Shapiro-Wilkov* test obično se koristi za male uzorke, tj. kad je broj uzoraka manji od 50 [128].

Postavljaju se hipoteze:

$H_0$  – podaci ne odstupaju značajno od normalne razdiobe;

$H_1$  – podaci odstupaju značajno od normalne razdiobe.

Normalnost podataka provjeravala se za sve kombinacije grupa podataka koje su se koristile u testovima koji slijede. Ukupno postoji 175 kombinacija. Kako bi doktorski rad bio pregledniji, cjelokupni rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa nalaze se u Prilogu 2 Tablica 57 gdje je naznačeno koja grupa podataka se testirala i za potrebe kojeg testa.

U nastavku (Tablica 28) su prikazani rezultati testa samo za kombinacije koje imaju vrijednost  $p > 0,05$ , tj. za kombinacije rezultata koji se ponašaju prema normalnoj razdiobi. Prema Tablica 28, za tri kombinacije vitkih alata i aspekata ne može se odbaciti hipoteza  $H_0$  na razini značajnosti od 5 % i podaci u tim kombinacijama ne odstupaju značajno od normalne razdiobe. Kako rezultati testiranja ostalih kombinacija upućuju na to da podaci odstupaju značajno od normalne razdiobe, za analizu odgovora koja slijedi koristit će se neparametarski statistički testovi.

**Tablica 28** Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa na normalnost s  $p > 0,05$

Alat	Aspekt	p-vrijednost	W
Analiza temeljnih uzroka	Usklađenost s okolišnim propisima	0,06133	0,9336
Vizualni menadžment	Troškovi	0,05564	0,932
Vizualni menadžment	Potrošnja energije	0,05174	0,9309

#### 4.4.3. Friedmanov test i Wilcoxonov test rangova s predznakom za usporedbu odgovora prema dimenzijama održivosti

Pošto se želi saznati da li postoje razlike između ocjena utjecaja koje su dali ispitanici za sve alate ovisno o dimenziji održivosti, a time i provjeriti da li postoji razlika u dimenzijama održivosti, prikladan je *Friedmanov* test.

*Friedmanov test* je neparametarski test hipoteze koji omogućuje međusobnu usporedbu triju ili više zavisnih skupina podataka s podacima koji po svojoj prirodi imaju ordinalnu skalu (redosljedna ili skala ranga). Ordinalne skale određuju samo relativan položaj rezultata u grupi, odnosno određuju da li je nešto manje ili veće, ali nepoznata je razlika među pojedinim jedinicama skale, odnosno rangovima, i ona nije jednaka. *Friedmanova* analiza proširuje *Wilcoxonov* test rangova s predznakom, neparametarski test koji može usporediti samo dvije zavisne skupine podataka. Rangiranje podataka je postupak pri kojem podatke svih skupina poredamo po veličini, od najmanje vrijednosti prema najvećoj. Pritom, svakom podatku dodijelimo odgovarajuću vrijednost ranga počevši od vrijednosti 1 (rang za podatak koji ima najmanju vrijednost, prethodnog poretka podataka po veličini), zatim rang vrijednosti 2 za sljedeći podatak, sve do ranga vrijednosti  $n$  (za podatak s najvećom vrijednosti). *Friedmanov* test uspoređuje zbroj rangova između grupa podataka i izvještava o tome da li postoji ukupna statistički značajna razlika između zbroja rangova uspoređenih grupa. Nulta hipoteza  $H_0$  je pretpostavka da ne postoji razlika između zbroja rangova uspoređenih grupa. Primjenom *Friedmanovog* testa može se zaključiti postojanje razlika među testiranim skupinama podataka, ali ne može se znati koje se točno skupine razlikuju [129]. U tu svrhu, potrebno je provesti *post hoc* analizu koristeći *Wilcoxonov* test rangova s predznakom, međusobno uspoređujući svake dvije skupine podataka, tj. ocjene alata prema jednoj dimenziji održivosti s ocjenama alata prema drugoj dimenziji održivosti.

Rezultati *Friedmanovog* testa su zbrojevi rangova ocjena koje pripadaju dimenziji održivosti prema svim ocjenama koje prikazuje Tablica 29. Ocjene koje pripadaju pojedinom ispitaniku po dimenziji su uprosječene.

Prije izvođenja testa postavljena je sljedeća hipoteza:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova ocjena utjecaja svih vitkih alata na pojedinu dimenziju održivosti;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova ocjena utjecaja svih vitkih alata na pojedinu dimenziju održivosti.



Tablica 29 Zbrojevi rangova dimenzija održivosti prema ocjenama utjecaja

	Ocjene svih alata
<b>Okolišna dimenzija</b>	69,00
<b>Društvena dimenzija</b>	62,50
<b>Ekonomska dimenzija</b>	48,50
Friedmanov test	
N	30,00
Q	7,38
p	0,025
Veličina učinka	0,123

Friedmanov test izračunan je kako bi se provjerilo jesu li ocjene svih alata po dimenziji održivosti statistički različite. p-vrijednost je manja od značajnosti 0,05, na razini značajnosti 95% odbacuje se nulta hipoteza i postoje razlike u zbroju rangova ocjena alata prema pojedinoj dimenziji održivosti.

Pošto se želi saznati između kojih točno dimenzija postoji razlika između ocjena, a time i provjeriti na koje dvije uspoređene dimenzije svi alati zajedno različito utječu, potrebno je provesti *post hoc* analizu koristeći *Wilcoxonov* test rangova s predznakom (engl. *Wilcoxon signed rank test*). Tri su grupe podataka koje će se međusobno usporediti. Grupe su odgovori – procjene utjecaja svih alata na sve aspekte iz okolišne, iz društvene i iz ekonomske dimenzije. Prije svega potrebno je provjeriti pretpostavku simetričnosti distribucije razlika odgovora između testiranih grupa podataka (prilog 5). Pretpostavka nije zadovoljena za usporedbe grupe podataka iz okolišne i ekonomske dimenzije. Pošto pretpostavka nije zadovoljena niti nakon provedene logaritamske transformacije, za navedene grupe podataka napravljen je test znakova s predznakom (engl. *Signed rank*) (Tablica 31). Dakle, za usporedbe odgovora okolišne i društvene dimenzije i odgovora iz društvene i ekonomske dimenzije korišten je *Wilcoxonov* test rangova s predznakom, dok je za usporedbu odgovora okolišne i ekonomske dimenzije korišten test znakova s predznakom.

*Wilcoxonov* test ranga s predznakom je neparametarski test ranga za testiranje statističkih hipoteza koji se koristi ili za testiranje lokacije populacije na temelju uzorka podataka ili za usporedbu lokacija dviju populacija. Koristi se za usporedbu dva zavisna uzorka, drugim riječima, dvije grupe koje se sastoje od podatkovnih točaka koje se podudaraju ili upare. Kao i kod drugih neparametarskih testova, ovaj test ne pretpostavlja normalnu distribuciju podataka

koji se analiziraju, ali pretpostavlja da su distribucije razlika između dvije testirane grupe podataka barem simetrične (iako nema potrebe da razlike budu normalno raspodijeljene) [130].

Provest će se testiranje razlika između svih odgovora za alate vezanih uz aspekte prema dimenziji održivosti. Odgovori se u tim grupama podataka ne prilagođavaju normalnoj razdiobi (Prilog 2: Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka

Tablica 57, red 97-99) i zbog toga se i koristi neparametarski test.

U ovoj eksplorativnoj studiji međusobne usporedbe dimenzija cilj je ne propustiti mogući učinak i pronaći potencijalne razlike, tj. izbjeći pogrešku tipa II i stoga se ne koristi Bonferronijeva korekcija [131].

Prvo će se *Wilcoxonovim* testom ranga s predznakom testirati razlike između odgovora iz okolišne i društvene pa razlike odgovora iz društvene i ekonomske dimenzije. Postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od dvaju testova:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika između odgovora vezanih uz alate i dimenzije održivosti; medijan razlika uparenih odgovora je nula.

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika između odgovora vezanih uz alate i dimenzije održivosti, medijan razlika uparenih odgovora nije nula.

Rezultati provedenog seta testiranja koji se odnose na usporedbu odgovora o utjecaju svih alata na sve dimenzije održivosti uz značajnost  $\alpha = 0,05$  prikazuje Tablica 30. Prema  $p < 0,05$  i razinu značajnosti 95 % odbacuje se hipoteza  $H_0$  i postoji razlika između odgovora vezanih uz okolišnu i društvenu dimenziju. Drugim riječima, razlika između dvije grupe testiranih podataka je dovoljno velika da bi bila statistički značajna.

**Tablica 30 Rezultati Wilcoxonovog testa usporedbe odgovora prema dimenzijama održivosti**

Aspekti	Statistika testa W	p vrijednost	Veličina učinka
Okolišni i društveni	118,00	0,019	0,43
Društveni i ekonomski	299	0,175	0,25
Okolišni i ekonomski	napravljen test rangova s predznakom		

"Test znakova uparenih uzoraka", koji se obično naziva samo "test znakova s predznakom", koristi se za određivanje postoji li razlika u medijanu distribucija između uparenih grupa podataka. Test se može smatrati alternativom t-testu uparenih uzoraka ili

Wilcoxonovom testu ranga s predznakom kada distribucija razlika između uparenih grupa podataka nije niti normalna ni simetrična [130].

Postavljena je sljedeća hipoteza za test usporedbe odgovora između okolišne i ekonomske dimenzije:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika između medijana odgovora vezanih uz alate i dimenzije održivosti; razlika medijana uparenih odgovora je nula.

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika između medijana odgovora vezanih uz alate i dimenzije održivosti; razlika medijana uparenih odgovora je nula.

Test kao rezultat daje broj uparenih usporedbi s negativnom i pozitivnom razlikom između medijana te bez razlika, tj. daje broj usporebi koje su smanjile (kolona negativne razlike), povećale (kolona pozitivne razlike) ili nisu uzrokovale promjene (kolona bez razlike) između medijana dviju grupa podataka. Na temelju toga test otkriva jesu li razlike između medijana statistički značajane. Ako je p-vrijednost manja od  $\alpha=0,05$ , odbacit će se  $H_0$  i zaključiti da je  $H_1$  istinita.

Prema  $p < 0,05$  i razinu značajnosti 95 % postoji statistički značajno promjena medijana između odgovora za okolišne i ekonomske dimenzije.

**Tablica 31 Rezultati testa znakova s predznakom**

Uspoređeni alati i dimenzije	Ukupni broj usporedbi	Negativna razlika	Bez razlike	Pozitivna razlika	P
Okolišna i ekonomska	30	271	343	346	0,0029

Wilcoxonov test rangova s predznakom testira da li postoji statistički značajna razlika između medijana dvije grupe podataka. Kada se medijani dviju uspoređenih grupa podataka značajno razlikuju, razlika medijana nije nula i postoji razlika između dvije grupe. Prema tome i predstavljenim rezultatima, dadu se sumirati zaključci:

- Ocjene svih alata prema prema okolišnoj dimenziji razlikuju se statistički značajno od ocjena prema društvenoj dimenziji.
- Ocjene svih alata prema prema okolišnoj dimenziji razlikuju se statistički značajno od ocjena prema ekonomskoj dimenziji.

Postojanje različitih utjecaja vitkih alata na dimenzije je i očekivano jer pretpostavka i jest da ne pridonosi svaki alat jednako svakoj dimenziji održivosti. Takvi rezultati analize su i

poželjni jer će onda i u modelu alati doprinosti različito svakoj od dimenzija održivosti, a time i pridonijeti snazi modela da ovisno o željenim aspektima rangira alate.

#### 4.4.4. Mann-Whitneyjev U-test razlika prema sektoru zaposlenja

Pošto se želi saznati i da li postoji razlika između ocjena utjecaja koji su dali ispitanici iz akademskog sektora za alat i jednu dimenziju održivosti i ocjena utjecaja koji su dali ispitanici iz industrijskog sektora za taj isti alat i istu dimenziju održivosti, a time i provjeriti da li ispitanici iz različitog sektora zaposlenja daju različite ocjene utjecaja alata, prikladan je *Mann-Whitneyjev* U-test razlika.

*Mann-Whitneyjev* U-test je neparametarski statistički test koji se koristi za usporedbu dvaju uzoraka ili skupina i procjenjuje vjerojatnost da dvije uzorkovane grupe potječu iz iste populacije te traži dokaze o tome jesu li grupe izvučene iz populacija s različitim razinama varijable od interesa. Premda je riječ o neparametarskom testu, pretpostavlja se homogenost varijanci, tj. da su dvije distribucije istog oblika [132].

*Mann-Whitneyjev* U-testom provest će se testiranje razlika između odgovora vezanih uz pojedini alat, dimenziju održivosti i sektor zaposlenja (akademski, industrijski). Odgovori se u tim grupama podataka ne prilagođavaju normalnoj razdiobi (Prilog 2: Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka

Tablica 57, red 100-163) i zbog toga se i koristi neparametarski test.

Prije svega provjerena je pretpostavka homogenosti varijanci grupa podataka koji će se testirati. Korišten je *Leveneov* test. Rezultati provjere nalaze se u tablicama rezultata. Nulta hipoteza za *Leveneov* test je da je varijanca među grupama jednaka. Alternativna hipoteza je da varijanca među grupama nije jednaka. Ako je p-vrijednost za *Leveneov* test veća od 0,05, tada se varijance međusobno značajno ne razlikuju (tj. ispunjena je pretpostavka o homogenosti varijance). Ako je p-vrijednost za *Leveneov* test manja od 0,05, onda postoji značajna razlika između varijanci [128]. Rezultati testa homogenosti varijanci će odrediti kako se tumače rezultati *Mann-Whitneyevog* U-testa koji se koristi za tumačenje postoje li razlike u distribucijama dviju skupina ili razlike u medijanima dviju skupina. Ako dvije distribucije imaju različit oblik, *Mann-Whitneyev* U-test utvrđuje postoje li razlike u distribucijama dviju grupa. Međutim, ako su dvije distribucije istog oblika, test se koristi kako bi se utvrdilo postoje li razlike u medijanima dviju skupina [133].

U prvom provedenom setu testiranja prema sektoru zaposlenja jedna grupa podataka su odgovori – procjene utjecaja pojedinog alata na sve aspekte koje su dali eksperti iz akademskog sektora, a druga su odgovori eksperata iz industrijskog sektora. To znači da postoji šesnaest grupa podataka koje će se međusobno usporediti, a time i osam provedenih testova. Ocijene ispitanika po alatu i svim aspektima su uprosječene.

Prije svega provjerena je pretpostavka homogenosti varijanci odgovora između testiranih grupa podataka i zadovoljena je za sve grupe podataka.

Postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od osam testova čiji podaci zadovoljavaju homogenost varijanci:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na sve aspekte ukupno;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na sve aspekte ukupno (medijani testiranih grupa podataka nisu jednaki).

Rezultate prve usporedbe odgovora sektora o utjecaju pojedinih alata na sve aspekte ukupno uz značajnost  $\alpha = 0,05$  prikazuje Tablica 32. Budući da su sve p-vrijednosti veće od 0,05, na razini značajnosti 95 % prihvaća se  $H_0$  za sve usporedbe, tj. ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na sve aspekte ukupno.

**Tablica 32 Mann-Whitneyjev U-test razlika odgovora sektora za sve aspekte ukupno**

Alati	p vrijednost Leveneovog testa	Statistika testa W	p vrijednost	Veličina učinka
Kaizen	0,967	144	0,6434	0,0051
6 sigma	0,844	177	0,3433	0,07
Standardizirani rad	0,795	155,5	0,999	0,046
Vizualni menadžment	0,634	128	0,2427	0,094
FMEA	0,742	138,5	0,4807	0,0051
Naučene lekcije	0,083	127,5	0,2343	0,054
Analiza temeljnih uzroka	0,061	168	0,5817	0,072
5 zašto	0,419	157,5	0,9298	0,096

U drugom provedenom setu testiranja prema sektoru zaposlenja jedna grupa podataka su odgovori – procjene utjecaja pojedinog alata na okolišne aspekte koje su dali eksperti iz akademskog sektora, a druga su odgovori eksperata iz industrijskog sektora. To znači da postoji šesnaest grupa podataka koje će se međusobno usporediti, a time i osam provedenih testova. Ocijene ispitanika po alatu i okolišnim aspektima su uprosječene.

Prije svega provjerena je pretpostavka homogenosti varijanci odgovora između testiranih grupa podataka i zadovoljena je za sve grupe podataka.

Postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od osam testova čiji podaci zadovoljavaju homogenost varijanci:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na okolišne aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na okolišne aspekte (medijani testiranih grupa podataka nisu jednaki).

Rezultate druge usporedbe odgovora sektora o utjecaju pojedinih alata na okolišne aspekte uz značajnost  $\alpha = 0,05$  prikazuje Tablica 33. Budući da su sve p-vrijednosti veće od 0,05, uz značajnost 95 % prihvaća se  $H_0$  za sve usporedbe, tj. ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na okolišne aspekte.

**Tablica 33 Mann-Whitneyjev U-test razlika odgovora sektora za okolišne aspekte**

Alati	p vrijednost Leveneovog testa	Statistika testa W	p vrijednost	Veličina učinka
Kaizen	0,817	134	0,3636	0,047
6 sigma	0,113	180	0,2573	0,13
Standardizirani rad	0,532	157	0,9472	0,015
Vizualni menadžment	0,247	144	0,6428	0,052
FMEA	0,523	136	0,4135	0,12
Naučene lekcije	0,130	158,5	0,8942	0,19
Analiza temeljnih uzroka	0,089	174	0,4136	0,19
5 zašto	0,411	167,5	0,5957	0,04

U trećem provedenom setu testiranja prema sektoru zaposlenja jedna grupa podataka su odgovori – procjene utjecaja pojedinog alata na društvene aspekte koje su dali eksperti iz

akadenskog sektora, a druga su odgovori eksperata iz industrijskog sektora. To znači da postoji šesnaest grupa podataka koje će se međusobno usporediti, a time i osam provedenih testova. Ocijene ispitanika po alatu društvenim aspektima su uprosječene.

Prije svega provjerena je pretpostavka homogenosti varijanci odgovora između testiranih grupa podataka i zadovoljena je za sve grupe podataka.

Postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od sedam testova čiji podaci zadovoljavaju homogenost varijanci:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na društvene aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na društvene aspekte (medijani testiranih grupa podataka nisu jednaki).

Rezultate treće usporedbe odgovora sektora o utjecaju pojedinih alata na društvene aspekte uz značajnost  $\alpha = 0,05$  prikazuje Tablica 34. Budući da su sve p-vrijednosti veće od 0,05, uz razinu značajnosti 95 % prihvaća se  $H_0$  za sve usporedbe, tj. ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na društvene aspekte.

**Tablica 34 Mann-Whitneyjev U-test razlika odgovora sektora za društvene aspekte**

Alati	p vrijednost Leveneovog testa	Statistika testa W	p vrijednost	Veličina učinka
Kaizen	0,601	155	0,9989	0,095
6 sigma	0,454	172,5	0,4506	0,057
Standardizirani rad	0,928	166	0,6422	0,001
Vizualni menadžment	0,569	140	0,5211	0,22
FMEA	0,684	146,5	0,7233	0,071
Naučene lekcije	0,828	118	0,1051	0,039
Analiza temeljnih uzroka	0,083	148,5	0,7907	0,1
5 zašto	0,333	157	0,9471	0,033

Na kraju u četvrtom provedenom setu testiranja prema sektoru zaposlenja jedna grupa podataka su odgovori – procjene utjecaja pojedinog alata na ekonomske aspekte koje su dali eksperti iz akademskog sektora, a druga su odgovori eksperata iz industrijskog sektora. To znači da postoji šesnaest grupa podataka koje će se međusobno usporediti, a time i osam provedenih testova. Ocijene ispitanika po alatu i ekonomskim aspektima su uprosječene.

Prije svega provjerena je pretpostavka homogenosti varijanci odgovora između testiranih grupa podataka i zadovoljena je za sve grupe podataka.

Postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od osam testova čiji podaci zadovoljavaju homogenost varijanci:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na društvene aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u distribuciji odgovora između akademskog i industrijskog sektora o utjecaju vitkog alata na društvene aspekte (medijani testiranih grupa podataka nisu jednaki).

Rezultate četvrte usporedbe odgovora sektora o utjecaju pojedinih alata na ekonomske aspekte uz značajnost  $\alpha = 0,05$  prikazuje Tablica 35. Prema  $p < 0,05$  i i razini značajnosti 95 %, odbacuje se hipoteza  $H_0$  i postoji razlika samo između odgovora sektora vezanih uz utjecaj vitkih alata vizualni menadžment na ekonomske aspekte. Za preostalih sedam alata ne postoji razlika u odgovorima između sektora.

**Tablica 35 Mann-Whitneyjev U-test razlika odgovora sektora za ekonomske aspekte**

Alati	p vrijednost Leveneovog testa	Statistika testa W	p vrijednost	Veličina učinka
Kaizen	0,636	143	0,6095	0,0093
6 sigma	0,775	164,5	0,6904	0,11
Standardizirani rad	0,573	156	0,9824	0,1
Vizualni menadžment	0,181	104	0,0257	0,15
FMEA	0,365	150	0,8426	0,1
Naučene lekcije	0,415	114	0,0735	0,036
Analiza temeljnih uzroka	0,094	164	0,7071	0,18
5 zašto	0,356	148	0,7749	0,05

*Mann-Whitneyjevim* U-test testira da li postoji statistički značajna razlika između distribucija dvije grupe podataka. Kada se distribucije dviju uspoređenih grupa podataka značajno razlikuju, medijani testiranih grupa nisu jednaki i postoji razlika između dvije grupe. Prema tome i predstavljenim rezultatima, dadu se sumirati zaključci:

- Ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na okolišne aspekte.



- Ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na društvene aspekte.
- Ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na ekonomske aspekte, osim za alat vizualni menadžment.
- Ne postoji razlika u distribuciji odgovora sektora vezanih uz utjecaj svakoga pojedinog alata na sve aspekte.

Provedeno testiranje *Mann-Whitneyjevim* U-testom pokazuje da ne postoje razlike u ocjenama alata po dimenzijama održivosti između akademskog i industrijskog sektora osim za alat vizualni menadžment kod ekonomske dimenzije. Iako postoji razlika mišljenja za jedan alat, može se zaključiti da su stajališta akademskog i industrijskog sektora oko utjecaja pojedinog alata po svakoj dimenziji usuglašena. Nepostojanje distribucijom različitih ocjena za alate između dva sektora pridonosi zaključku da su iskusni stručnjaci iz obaju sektora dobro odabrani i da je usuglašeno shvaćanje utjecaja vitkih alata na aspekte ovisno o dimenziji održivosti. Navedeno dokazuje i da će model imati vjerodostojnost pošto su ocjene dobivene od strane stručnjaka iz oba sektora i njihovo je shvaćanje oko utjecaja alata usuglašeno.

Ovim podacima potvrđuje se da ne postoji razlika odgovora na razini pojedinog alata po dimenziji. Za globalnu tvrdnju da ne postoji razlika odgovora sektora vezanih za pojedinu dimenziju i za sve aspekte ukupno, trebalo bi provesti korekciju za uzastopno testiranje hipoteze. Navedeno može poslužiti kao smjernica za buduća istraživanja.

#### 4.4.5. Spearmanov test korelacija

Spearmanov koeficijent korelacije mjeri snagu i smjer povezanosti između dviju rangiranih varijabli. Izračunava se u slučajevima kada jedan od skupa podataka slijedi ordinalnu ljestvicu ili kada podatci ne slijede normalnu raspodjelu te postoje podatci koji značajno odstupaju od većine izmjerenih (engl. *outliers*). Spearmanov koeficijent korelacije može se računati i na manjim uzorcima ( $N < 35$ ). U slučaju dobivenog  $r_s = 0$  može se zaključiti na odabranoj razini značajnosti da povezanosti među varijablama zaista nema. U prikazu rezultata korelacija navode se koeficijent povezanosti (korelacije)  $r_s$  i značajnost koeficijenta korelacije  $p$ . Nulta hipoteza je da ne postoji monotona povezanost između dviju varijabli. Varijable su odgovori o utjecaju svih alata za dva aspekta koji se uspoređuju. Ako je  $p$ -vrijednost manja od 0,05, nulta hipoteza je odbačena i postoji povezanost. Pri tumačenju vrijednosti koeficijenta korelacije vrijede pravila prema Tablica 36 [134].

Tablica 36 Spearmanov koeficijent korelacije

Koeficijent korelacije	Tumačenje koeficijenta
0 do $\pm 0,25$	Nema povezanosti
$\pm 0,26$ do $\pm 0,50$	Slaba povezanost
$\pm 0,51$ do $\pm 0,75$	Umjerena do dobra povezanost
$\pm 0,76$ do $\pm 1$	Vrlo dobra do izvrsna povezanost
$\pm 1$	Matematička povezanost

Tablica 37 prikazuje rezultate Spearmanovog testa korelacija između okolišnih aspekata (zeleno područje), društvenih aspekata (žuto područje) i ekonomskih aspekata (plavo područje). Grupe podataka koji su razmatrani u izračunu su ocjene svih ispitanika za svaki alat za pojedini aspekt. Tablica također prikazuje i korelacije između svih aspekata međusobno te između godina iskustva ispitanika i odgovora koje su dali za određene aspekte.

Tablica 58 u prilogu 4 prikazuje rezultate p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija. Za sve ispitivane korelacije vezane uz aspekte  $p < 0,05$ , nulta hipoteza se ne prihvaća i postoji povezanost. Nasuprot tome, za sve ispitivane korelacije vezane uz varijablu godine, osim korelacije godine i dobrobit zaposlenika,  $p > 0,05$  i nulta hipoteza se prihvaća i ne postoji statistički značajna povezanost. Statistička značajnost ne ukazuje na snagu Spearmanove korelacije, tj. ne nudi nikakve informacije o korelaciji odnosa zato što test značajnosti istražuje možete li se odbaciti ili ne nulta hipoteza. Uz  $\alpha = 0,05$ , postizanje statistički značajne Spearmanove korelacije znači sigurnost da postoji manje od 5 % šanse da se pronađena korelacija dogodila slučajno ako je nula hipoteza bila istinita.

Prema rezultatima, postoji povezanost između okolišnih aspekata. Najjača korelacija je između aspekata materijala i potrošnje energije (0,729), što se može protumačiti da se odabirom materijala i smanjenjem mase utječe na odabir tehnologije izrade i njezinu učinkovitost, a tako i na potrošnju energije. Umjerena do dobra povezanost postoji i između usklađenosti s okolišnim propisima i odabira netoksičnih i bezopasnih resursa (0,698). Kompanije koje vode brigu o usklađenosti s okolišnim propisima i standardima, također paze kako ne bi koristile toksične i opasne materijale u svojim proizvodima i u njihovoj proizvodnji.

Kod društvenih aspekata postoji povezanost i ona je najjača kod sigurnosti proizvoda i isteka životnog vijeka (0,742) i kod sigurnosti i dobrobiti kupaca (0,692). Povezanost sigurnosti proizvoda i usklađenosti proizvoda s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka može se protumačiti brigom da proizvod bude siguran i kada mu istekne životni vijek te ga je potrebno

zbrinuti na siguran način. Sigurnost proizvoda i utjecaj proizvoda na zdravlje svakako su povezani sa zdravstvenim i sigurnosnim utjecajem na kupce od proizvodnje do uporabe proizvoda, a tako i sa zadovoljstvom i pravima kupaca.

Ekonomski aspekti također pokazuju da postoji međusobna povezanost koja je najveća između rasta i troškova (0,670) te troškova i produktivnosti (0,663). Povezanost tih aspekata postoji jer je jasna veza između troškova rada i materijala, produktivnosti te dobiti i povrata ulaganja.

Što se tiče međusobne povezanosti aspekata, neovisno o dimenziji održivosti kojoj pripadaju, ona postoji i uglavnom je slaba ( $r_s$  je od  $\pm 0,26$  do  $\pm 0,50$ ). Najjača korelacija je između aspekata troškovi i potrošnja energije (0,534) što ne čudi. Veza dobrobiti zaposlenika i produktivnosti (0,521) te dobrobiti zaposlenika i rasta (0,475) može se pojasniti činjenicom da kompanija koja od početka vodi brigu o rastu i produktivnosti, vodi brigu i o svojem zaposleniku.

Spearmanov koeficijent korelacija nam služi da provjerimo do koje mjere su povezani aspekti održivosti, tj. kvantificira stupanj monotone promjene jednog aspekta na temelju promjene drugog. Rezultat prikazuju da postoji barem slaba povezanost između aspekata. Model utjecaja vitkih alata na aspekte održivosti koji će se razviti u doktorskom radu rangirat će vitke alate ovisno o aspektu održivosti kojem se daje prioritet. Povezanost aspekata omogućuje da i odnosi aspekata u modelu budu stabilni, a time i sam model.

Izračunom koeficijenta korelacije između aspekata i godina iskustva ispitanika željelo se ispitati postoji li povezanost godina iskustva ekspertnog panela i odgovora/ocjena koje su davali pri procjeni utjecaja vitkih alata na aspekte održivosti. Prema rezultatima (zadnji red i zadnji stupac u Tablica 37), ne postoji povezanost te su sve vrijednosti korelacija ispod 0,25. Pošto ne postoji povezanost između rasta broja godina iskustva i ocjena koje su eksperti davali vezano uz utjecaj vitkih alata na aspekte održivosti, daje se zaključiti da su eksperti usuglašeni oko ocjena i dobro odabrani. Za sve te kombinacije godina iskustva i aspekata osim one godine iskustva i dobrobiti zaposlenika te godine iskustva i usklađenosti s okolišnim propisima ne postoji statistički značajna povezanost.

Tablica 37 Rezultati Spearmanovog testa korelacija

	Materijal	Potrošnja energije	Uskladenost s okolišnim propisima	Odobir ne toksičnih i bezopasnih resursa	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost proizvoda	Istek životnog vijeka	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost	Godine iskustva
Materijal	1,000	0,729	0,505	0,527	0,430	0,378	0,391	0,406	0,441	0,415	0,466	0,426	-0,067
Potrošnja energije	0,729	1,000	0,529	0,480	0,451	0,311	0,375	0,398	0,440	0,392	0,534	0,463	-0,060
Uskladenost s okolišnim propisima	0,505	0,529	1,000	0,698	0,303	0,358	0,416	0,463	0,305	0,351	0,272	0,308	-0,163
Odobir ne toksičnih i bezopasnih resursa	0,527	0,480	0,698	1,000	0,351	0,340	0,366	0,435	0,293	0,374	0,248	0,309	-0,022
Dobrobit zaposlenika	0,430	0,451	0,303	0,351	1,000	0,458	0,452	0,386	0,475	0,383	0,434	0,521	0,206
Dobrobit kupaca	0,378	0,311	0,358	0,340	0,458	1,000	0,692	0,588	0,393	0,375	0,370	0,348	0,004
Sigurnost proizvoda	0,391	0,375	0,416	0,366	0,452	0,692	1,000	0,742	0,310	0,288	0,327	0,367	-0,084
Istek životnog vijeka	0,406	0,398	0,463	0,435	0,386	0,588	0,742	1,000	0,350	0,285	0,328	0,365	-0,055
Rast	0,441	0,440	0,305	0,293	0,475	0,393	0,310	0,350	1,000	0,593	0,670	0,581	0,043
Inovacijski potencijal	0,415	0,392	0,351	0,374	0,383	0,375	0,288	0,285	0,593	1,000	0,562	0,549	-0,012
Troškovi	0,466	0,534	0,272	0,248	0,434	0,370	0,327	0,328	0,670	0,562	1,000	0,663	-0,077
Produktivnost	0,426	0,463	0,308	0,309	0,521	0,348	0,367	0,365	0,581	0,549	0,663	1,000	-0,025
Godine iskustva	-0,067	-0,060	-0,163	-0,022	0,206	0,004	-0,084	-0,055	0,043	-0,012	-0,077	-0,025	1,000

#### 4.4.6. Izračun rangova alata prema okolišnim, društvenim i ekonomskim aspektima

Rangovi vitkih alata prema aspektu izračunat će se iz ocjena u upitniku koji su ispunili specijalisti iz ekspertnog panela *Utjecaj vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti*. Izračun rangova je potreban kako bi se iz njih izračunali ponderi za AHP model. Rangovi alata prema svakom od aspekata odredit će se s pomoću *Friedmanovog testa*. Primjenom *Friedmanovog testa* može se zaključiti postojanje razlika među testiranim skupinama podataka, ali ne može se znati koje se točno skupine razlikuju [129]. U tu svrhu, potrebno je provesti *post hoc* analizu koristeći *Wilcoxonov test* rangova s predznakom, međusobno uspoređujući svaka dva alata međusobno ovisno o aspektu, no to se u sklopu ovoga doktorskog rada neće provoditi jer nije relevantno za istraživanje pošto je cilj *Friedmanovog testa* dobiti rangove.

U poglavljima koja slijede prikazani su rezultati izračuna zbroja rangova alata prema svakom aspektu pojedinačno. Zatim su prikazani rezultati rangova alata prema svim okolišnim, svim društvenim i svim ekonomskim aspektima. Na kraju je prikazano rangiranje alata prema svim aspektima zajedno.

##### 4.4.6.1. *Friedmanov test utjecaja vitkih alata na okolišne aspekte*

Rezultati *Friedmanovog testa* su zbrojevi rangova pojedinog vitkog alata prema pojedinom okolišnom aspektu koje prikazuje Tablica 38. Provedena su ukupno četiri testiranja, tj. po jedan test za svaki okolišni aspekt posebno. U pojedinom testu uspoređivano je 8 grupa podataka, a grupe podataka su ocjene utjecaja pojedinog alata za aspekt.

Prije izvođenja testa postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od četiri provedena testa:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini okolišni aspekt;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini okolišni aspekt.

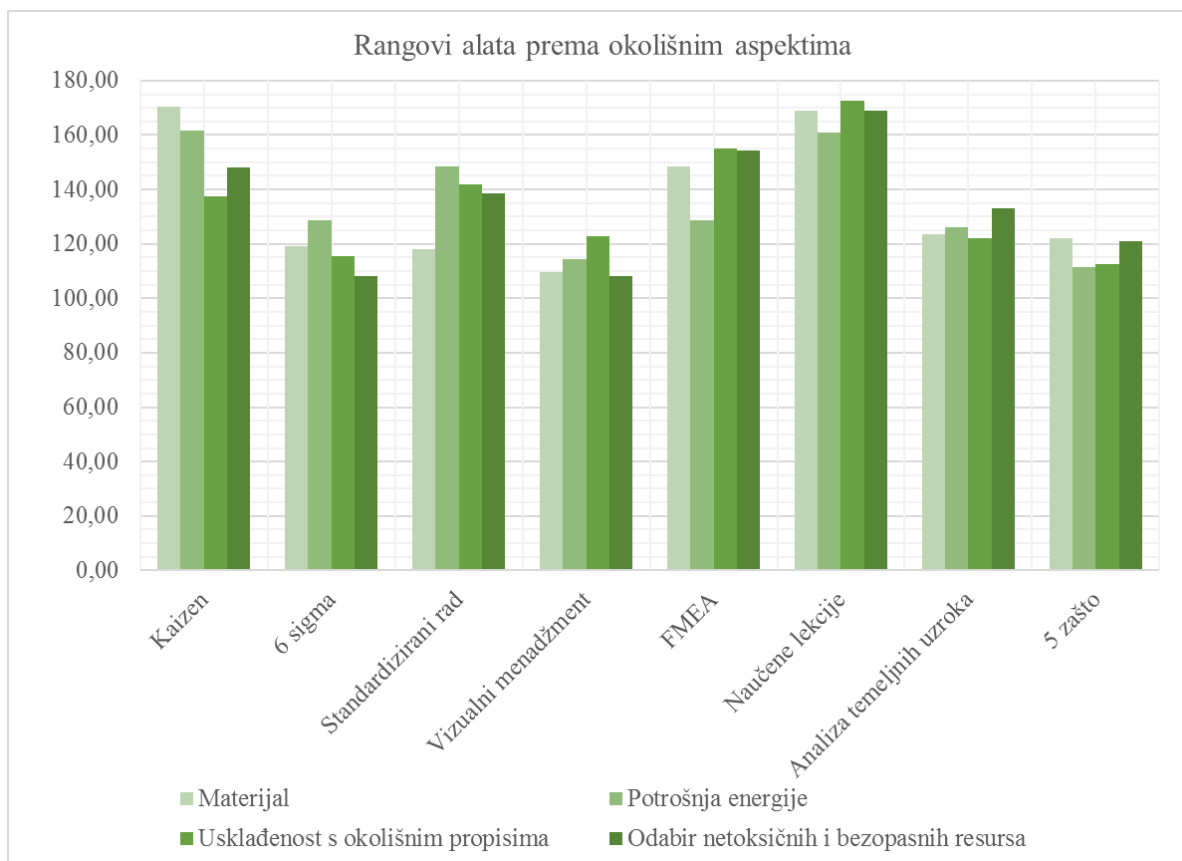
Tablica 38 Zbrojevi rangova vitkih alata prema okolišnim aspektima

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
<b>Kaizen</b>	170,50	161,50	137,50	148,00
<b>6 sigma</b>	119,00	128,50	115,50	108,00
<b>Standardizirani rad</b>	118,00	148,50	142,00	138,50
<b>Vizualni menadžment</b>	109,50	114,50	123,00	108,00

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
<b>FMEA</b>	148,50	128,50	155,00	154,50
<b>Naučene lekcije</b>	169,00	161,00	172,50	169,00
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	123,50	126,00	122,00	133,00
<b>5 zašto</b>	122,00	111,50	112,50	121,00
<i>Friedmanov test</i>				
N	30,00	30,00	30,00	30,00
Q	30,30	20,99	21,46	23,70
p	0,000	0,004	0,003	0,001
Veličina učinka	0,1443	0,1000	0,1022	0,1129

Friedmanov test izračunan je kako bi se provjerilo imaju li alati statistički različit utjecaj na pojedini okolišni aspekt. Za svaki od četiriju testova p-vrijednost je manja od značajnosti 0,05, odbacuje se nulta hipoteza i postoje razlike u zbroju rangova alata prema pojedinom okolišnom aspektu.

Tablica 38 daje informaciju koji alati imaju najveći i najmanji zbroj rangova za pojedini okolišni aspekt održivosti, što je vizualno prikazano na Slika 19 **Error! Reference source not found.** Tako vitki alat kaizen ima najveći zbroj rangova kod aspekta materijala (170,50) i potrošnje energije (161,50), a alat naučene lekcije kod usklađenosti s okolišnim propisima (172,50) i odabira netoksičnih i bezopasnih resursa (169,00). S druge strane, najmanji prosječni rang imaju vizualni menadžment kod materijala (109,50), 5 zašto kod potrošnje energije (111,50) i usklađenosti s okolišnim propisima (112,50) te 6 sigma i vizualni menadžment kod odabira netoksičnih i bezopasnih resursa (108,5). Slika 19 daje grafički prikaz rezultata te se lakše uočava da alati kaizen, naučene lekcije, standardizirani rad i FMEA imaju najveće prosječne rangove kod okolišnih aspekata.



Slika 19 Rangovi alata prema okolišnim aspektima

#### 4.4.6.2. Friedmanov test utjecaja vitkih alata na društvene aspekte

Rezultati *Friedmanovog* testa su zbrojevi rangova pojedinog vitkog alata prema pojedinim društvenom aspektu koje prikazuje Tablica 39. Provedena su ukupno četiri testiranja, tj. po jedan test za svaki društveni aspekt posebno. U pojedinom testu uspoređivano je 8 grupa podataka, a grupe podataka su ocjene utjecaja pojedinog alata za aspekt.

Prije izvođenja testa postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od četiri provedena testa:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini društveni aspekt;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini društveni aspekt.

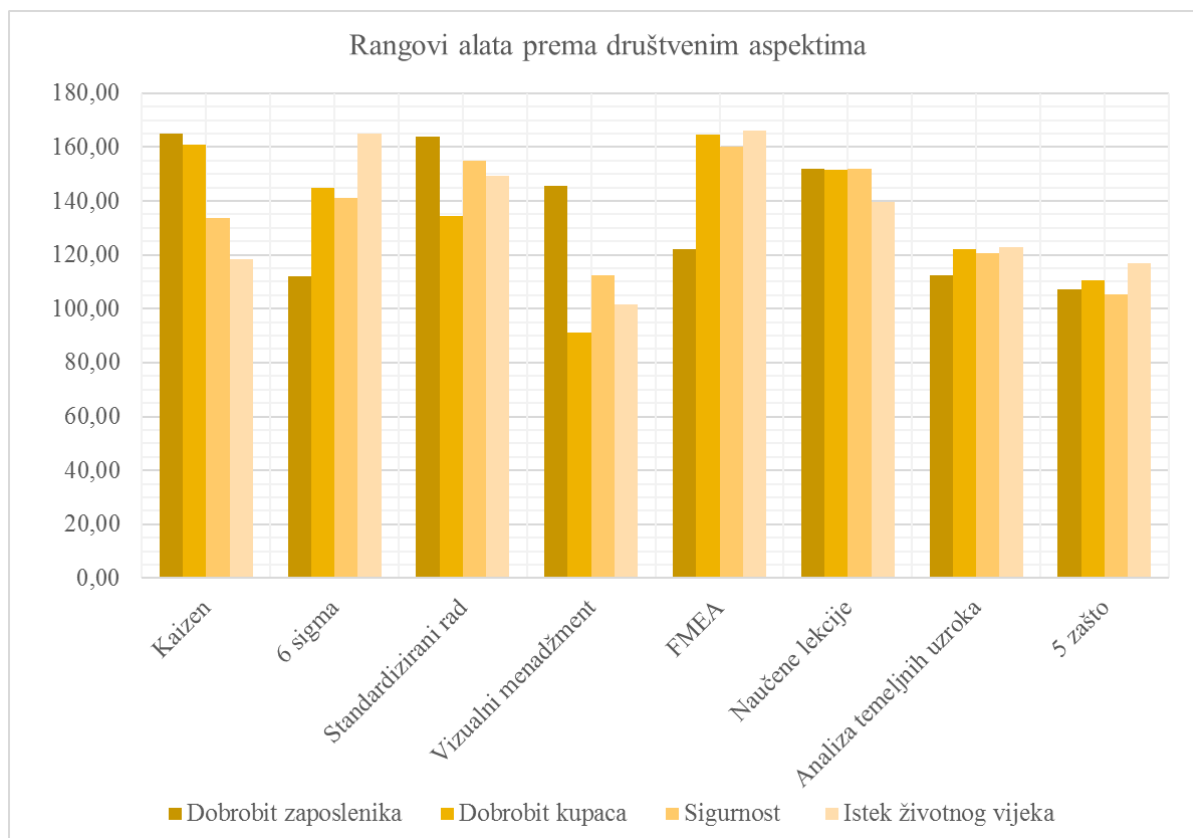
Tablica 39 Zbrojevi rangova vitkih alata prema društvenim aspektima

	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
<b>Kaizen</b>	165,00	161,00	133,50	118,50
<b>6 sigma</b>	112,00	145,00	141,00	165,00
<b>Standardizirani rad</b>	164,00	134,50	155,00	149,50
<b>Vizualni menadžment</b>	145,50	91,00	112,50	101,50
<b>FMEA</b>	122,00	164,50	160,00	166,00
<b>Naučene lekcije</b>	152,00	151,50	152,00	139,50
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	112,50	122,00	120,50	123,00
<b>5 zašto</b>	107,00	110,50	105,50	117,00
<i>Friedmanov test</i>				
N	30,00	30,00	30,00	30,00
Q	31,31	34,90	22,18	29,78
p	0,000	0,000	0,002	0,000
	0,1491	0,1662	0,1056	0,1418

Friedmanov test izračunan je kako bi se provjerilo imaju li alati statistički različit utjecaj na pojedini društveni aspekt. Za svaki od četiriju testova p-vrijednost je manja od značajnosti 0,05, odbacuje se nulta hipoteza i postoje razlike u zbroju rangova alata prema pojedinom društvenom aspektu.

Tablica 39 daje informaciju koji alati imaju najveći i najmanji zbroj rangova za pojedini društveni aspekt održivosti što je vizualno prikazano na Slika 20. Tako vitki alat kaizen ima najveći prosječni rang kod aspekta dobrobiti zaposlenika (165,00), FMEA kod dobrobiti kupaca (164,50), sigurnosti (160,00) i isteka životnog vijeka (166,00). S druge strane, najmanji zbroj rangova ima 5 zašto kod dobrobiti zaposlenika (107,00) i sigurnosti (105,50), a vizualni menadžment kod dobrobiti kupaca (91,00) i kod isteka životnog vijeka (101,50). Slika 20 daje grafički prikaz rezultata te se lakše uočava da alati kaizen, 6 sigma, naučene lekcije, standardizirani rad i FMEA imaju najveće zbrojeve rangova kod društvenih aspekata. Odskaču manji utjecaj 6 sigme kod dobrobiti zaposlenika i veći utjecaj vizualnog menadžmenta također kod dobrobiti zaposlenika.





Slika 20 Rangovi alata prema društvenim aspektima

#### 4.4.6.3. Friedmanov test utjecaja vitkih alata na ekonomske aspekte

Rezultati Friedmanovog testa su zbrojevi rangova vitkih alata prema pojedinom ekonomskom aspektu koje prikazuje Tablica 40. Provedena su ukupno četiri testiranja, tj. po jedan test za svaki ekonomski aspekt posebno. U pojedinom testu uspoređivano je 8 grupa podataka, a grupe podataka su ocjene utjecaja pojedinog alata za aspekt.

Prije izvođenja testa postavljena je sljedeća hipoteza za svaki od četiri provedena testa:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini ekonomski aspekt;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbroju rangova utjecaja vitkih alata na pojedini ekonomski aspekt.

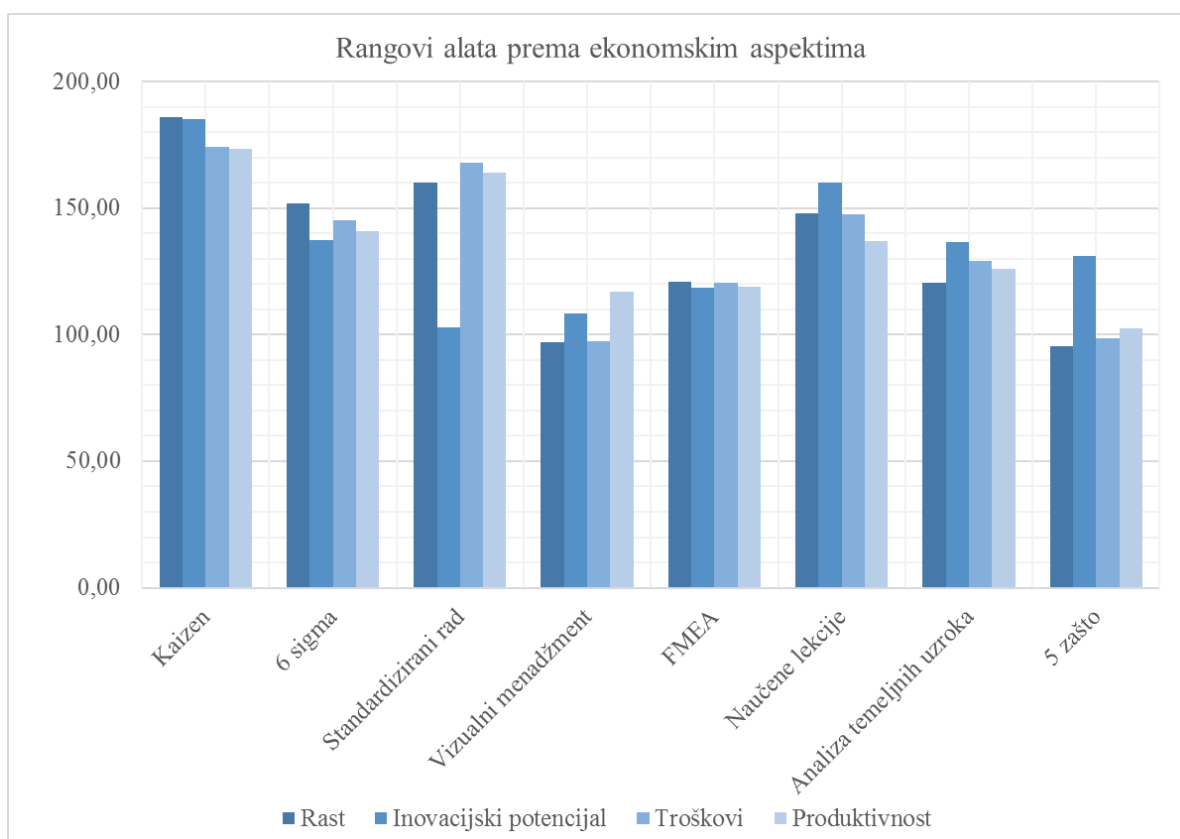
Tablica 40 Zbrojevi rangova vitkih alata prema ekonomskim aspektima

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
<b>Kaizen</b>	186,00	185,00	174,00	173,50
<b>6 sigma</b>	152,00	137,50	145,00	141,00

	<b>Rast</b>	<b>Inovacijski potencijal</b>	<b>Troškovi</b>	<b>Produktivnost</b>
<b>Standardizirani rad</b>	160,00	103,00	168,00	164,00
<b>Vizualni menadžment</b>	97,00	108,50	97,50	117,00
<b>FMEA</b>	121,00	118,50	120,50	119,00
<b>Naučene lekcije</b>	148,00	160,00	147,50	137,00
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	120,50	136,50	129,00	126,00
<b>5 zašto</b>	95,50	131,00	98,50	102,50
<i>Friedmanov test</i>				
N	30,00	30,00	30,00	30,00
Q	50,24	36,90	41,39	28,95
p	0,000	0,000	0,000	0,000
Veličina učinka	0,2392	0,1757	0,1971	0,1379

Friedmanov test izračunan je kako bi se provjerilo imaju li alati statistički različit utjecaj na pojedini okolišni aspekt. Za svaki od četiriju testova p-vrijednost je manja od značajnosti 0,05, odbacuje se nulta hipoteza i postoje razlike u zbroju rangova alata prema pojedinom aspektu.

Tablica 40 daje informaciju koji alati imaju najveći i najmanji zbroj rangova za pojedini ekonomski aspekt održivosti što je vizualno prikazano na Slika 21. Tako vitki alat kaizen ima najveći prosječni rang kod svih ekonomskih aspekata Č rasta (186,00), inovacijskog potencijala (185,00), troškova (174,00) i produktivnosti (173,50). S druge strane, najmanji zbroj rangova ima 5 zašto kod rasta (92,50) i produktivnosti (102,50), standardizirani rad kod inovacijskog potencijala (103,00) i vizualni menadžment kod troškova (97,50). Slika 21 daje grafički prikaz rezultata te se lakše uočava da alati kaizen, 6 sigma, standardizirani rad i naučene lekcije imaju najveće prosječne rangove kod ekonomskih aspekata. Odskaču manji utjecaj standardnog rada kod inovacijskog potencijala i veći utjecaj 5 zašto kod inovacijskog potencijala.



Slika 21 Rangovi alata prema ekonomskim aspektima

#### 4.4.6.4. *Friedmanov utjecaja vitkih alata na sve aspekte ukupno*

Također se željelo saznati koji od vitkih alata ima najveći utjecaj na sve okolišne aspekte zajedno, koji na društvene i koji na ekonomske aspekte. Nadalje, željelo se utvrditi kakav utjecaj ima pojedini alat kada se svi aspekti iz svih triju dimenzija (okolišne, društvene, ekonomske) promatraju zajedno. Rezultati Friedmanovog testa su zbrojevi rangova vitkog alata prema traženim dimenzijama aspekata koji su prikazani u Tablica 41. U trima testovima koji se odnose na utjecaj alata na sve aspekte koji pripadaju pojedinoj dimenziji održivosti, uspoređivano je 8 grupa podataka, a grupe podataka su ocjene utjecaja pojedinog alata za sve aspekte iz pojedine dimenzije. U testu koji se odnosi na utjecaj alata na sve aspekte iz svih dimenzija zajedno također je uspoređivano 8 grupa podataka-8 alata, a grupe podataka su sve ocjene pojedinog alata za sve aspekte iz svih dimenzija.

Prije izvođenja testova postavljene su sljedeće hipoteze navedene u nastavku.

Za test prema okolišnim aspektima:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na okolišne aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na okolišne aspekte.

Za test prema društvenim aspektima:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na društvene aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na društvene aspekte.

Za test prema ekonomskim aspektima:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na ekonomske aspekte;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na ekonomske aspekte.

Za test prema svim aspektima zajedno:

$H_0$  – ne postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na sve aspekte zajedno;

$H_1$  – postoji statistički značajna razlika u zbrojevima rangova utjecaja vitkog alata na sve aspekte zajedno.

**Tablica 41 Zbrojevi rangova vitkih alata prema grupama aspekata**

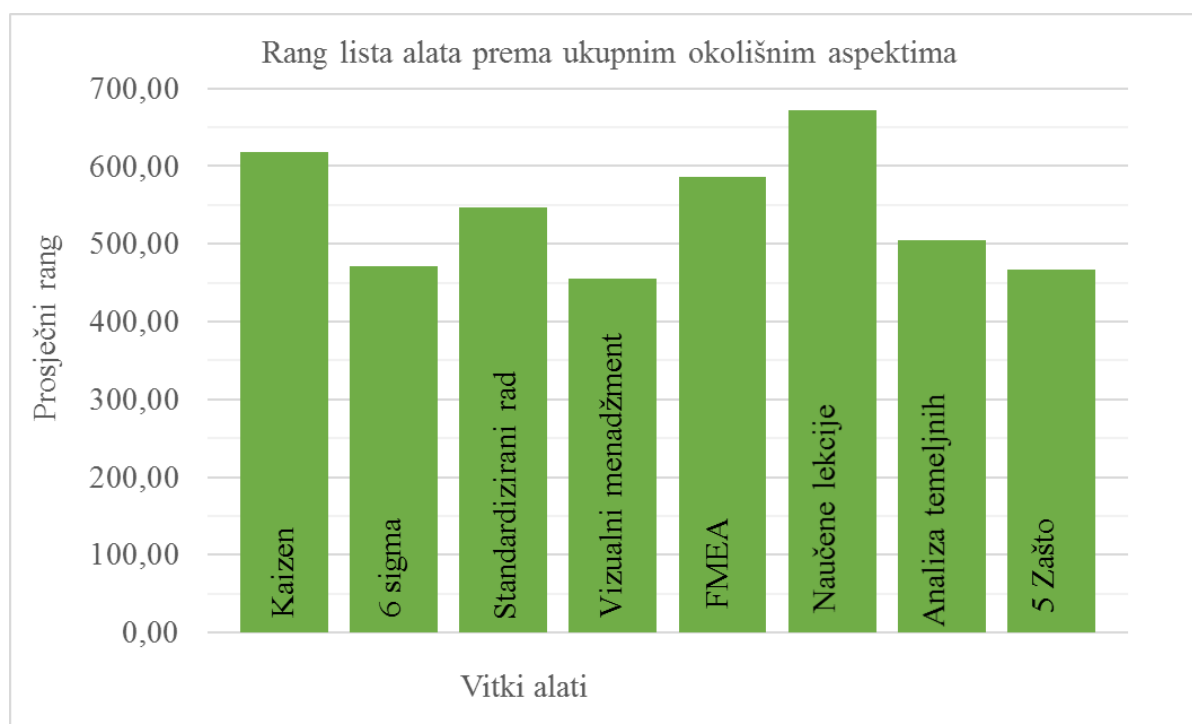
	ukupno okolišni	ukupno društveni	ukupno ekonomski	svi aspekti ukupno
<b>Kaizen</b>	617,50	578,00	718,50	1914,00
<b>6 sigma</b>	471,00	563,00	575,50	1609,50
<b>Standardizirani rad</b>	547,00	603,00	595,00	1745,00
<b>Vizualni menadžment</b>	455,00	450,50	420,00	1325,50
<b>FMEA</b>	586,50	612,50	479,00	1678,00
<b>Naučene lekcije</b>	671,50	595,00	592,50	1859,00
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	504,50	478,00	512,00	1494,50
<b>5 zašto</b>	467,00	440,00	427,50	1334,50
<i>Friedmanov test</i>				
N	120,00	120,00	120,00	360,00
Q	80,33	68,12	125,16	211,19
p	0,000	0,000	0,000	0,000
Veličina učinka	0,0956	0,0811	0,1490	0,0838

Friedmanov test izračunan je kako bi se provjerilo imaju li alati statistički različit utjecaj na sve aspekte koji pripadaju pojedinoj dimenziji održivosti i na sve aspekte zajedno. Za svaki

od četiriju testova p-vrijednost je manja od značajnosti 0,05, odbacuje se nulta hipoteza i postoje razlike u zbroju rangova alata.

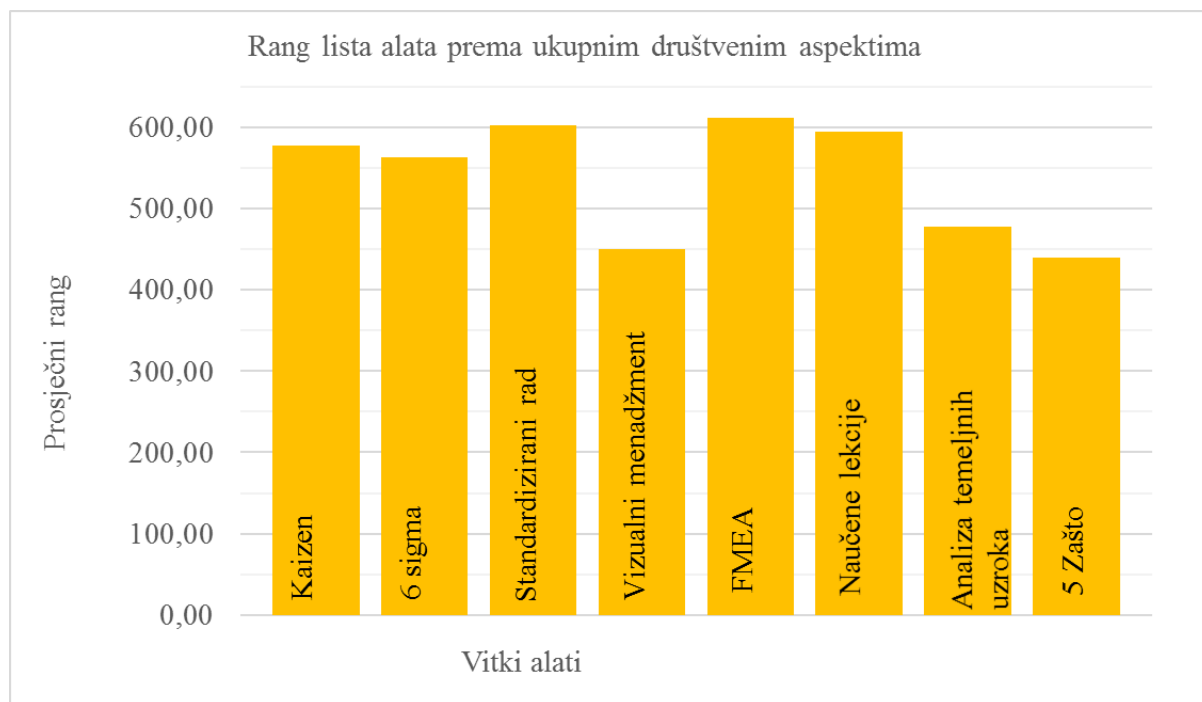
Tablica 41 daje informaciju koji alati imaju najveći i najmanji zbroj rangova za aspekata iz pojedine dimenzije održivosti i prema svim aspektima ukupno. Tako vitki alat naučene lekcije ima najveći prosječni rang kod okolišnih aspekata (671,5), FMEA kod društvenih (612,5), kaizen kod ekonomskih (718,50) te kaizen kod svih aspekata održivosti zajedno (1914,00). S druge strane, najmanji prosječni rang ima 5 zašto kod društvenih (440,00) i vizualni menadžment kod okolišnih aspekata (455,0), ekonomskih (376,10) i svih zajedno (1325,50).

Slika 22 prikazuje promatrani utjecaj svakoga vitkog alata na okolišne aspekte s pomoću stupčastoga grafikona. Najveći utjecaj na okolišne aspekte ima alat naučene lekcije, slijede ga kaizen, zatim FMEA i standardizirani rad.



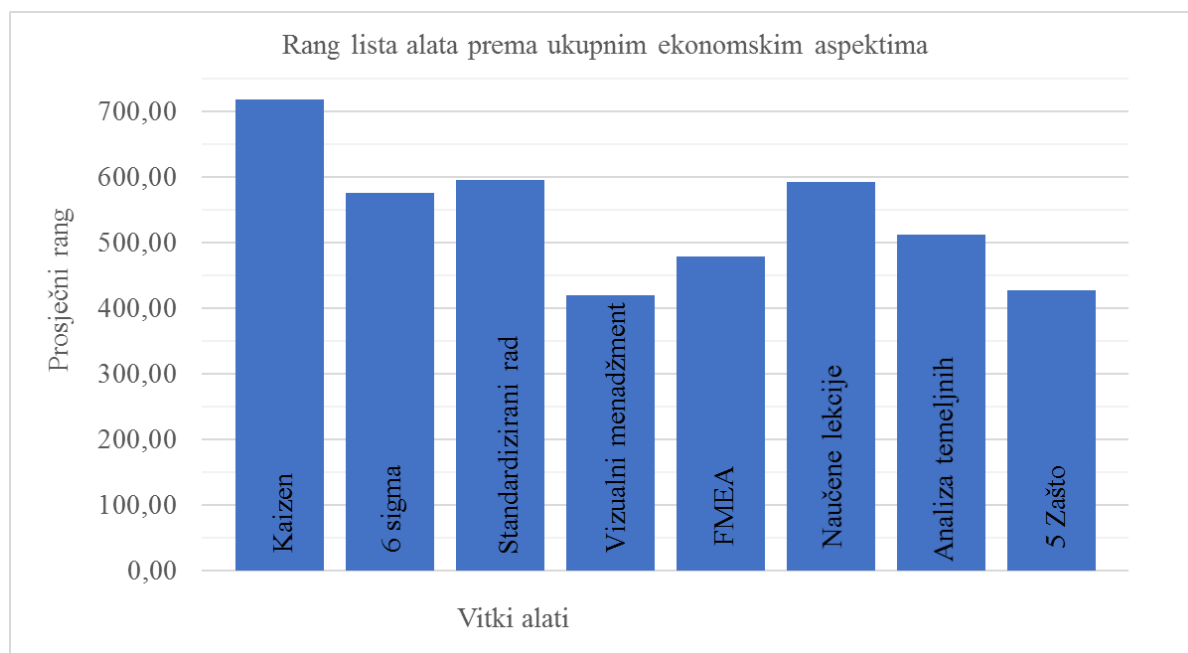
**Slika 22 Rang lista vitkih alata prema okolišnim aspektima**

Slika 23 prikazuje promatrani utjecaj svakoga vitkog alata na društvene aspekte s pomoću stupčastoga grafikona. Najveći utjecaj na društvene aspekte ima alat FMEA, slijede ga standardizirani rad, naučene lekcije, kaizen pa 6 sigma.



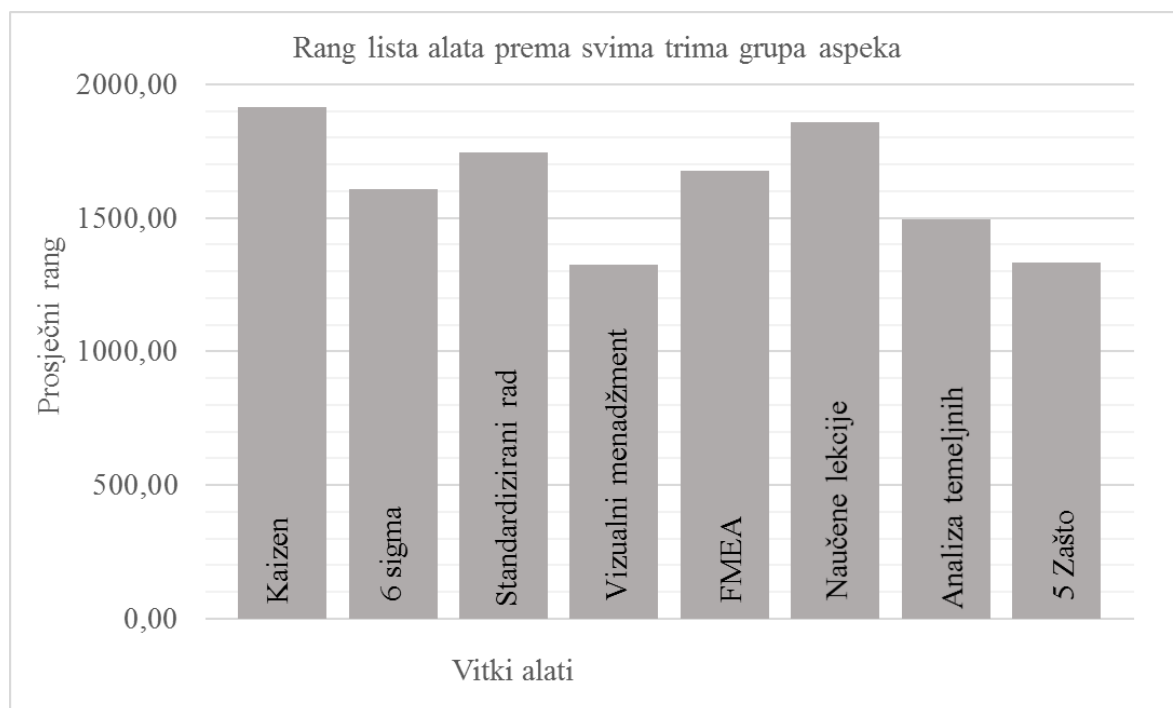
Slika 23 Rang lista vitkih alata prema društvenim aspektima

Slika 24 prikazuje promatrani utjecaj svakoga vitkog alata na ekonomske aspekte s pomoću stupčastoga grafikona. Najveći utjecaj na ekonomske aspekte prestižno ima alat kaizen, slijede ga standardizirani rad i naučene lekcije te zatim 6 sigma.



Slika 24 Rang lista vitkih alata prema ekonomskim aspektima

Slika 25 prikazuje promatrani utjecaj svakoga vitkog alata na sve aspekte zajedno s pomoću stupčastoga grafikona. Gledaju li se svi aspekti zajedno, najveći utjecaj ima alat kaizen, slijede ga naučene lekcije i standardizirani rad te zatim FMEA i 6 sigma.



**Slika 25 Rang lista vitkih alata prema okolišnim, društvenim i ekonomskim aspektima**

Rezultati *Friedmanovog* testa su prosječni rangovi vitkih alata prema pojedinim okolišnim, društvenim i ekonomskim aspektima koje prikazuju Tablica 38 -Tablica 40. One govore o postojanju statistički značajnih razlika među testiranim skupinama podataka. Prema tome i predstavljenim rezultatima, dadu se sumirati zaključci:

- Kod aspekata iz okolišne dimenzije postoji statistički značajne razlike između alata s obzirom na pojedini aspekt.
- Kod aspekata iz društvene dimenzije postoji statistički značajne razlike između alata s obzirom na pojedini aspekt.
- Kod aspekata iz ekonomske dimenzije postoje statistički značajne razlike u pogledu utjecaja između alata na pojedini aspekt.
- Kod grupiranih aspekata prema dimenziji održivosti kojoj pripadaju i održivosti u cjelini postoje statistički značajne razlike u pogledu utjecaja između različitih alata na svaku od triju dimenzija održivosti i održivost u cjelini.

- Tablica 41 prikazuje da vitki alati Kaizen i naučene lekcije imaju najveći prosječni rang kod okolišnih aspekata (617,50), FMEA kod društvenih (612,50), kaizen kod ekonomskih (718,50) te kaizen kod svih aspekata održivosti zajedno (1914,00).

Postojanje statistički značajne razlike između alata s obzirom na aspekt održivosti ukazuje na razliku zbojeva rangova koji su dobiveni *Friedmanov* testom. Razlika u utjecaju vitkih alata na aspekt održivosti je očekivana jer pretpostavka i jest da ne pridonosi svaki alat jednako svakom aspektu. Takvi rezultati analize su i poželjni jer će se onda i u modelu ovisno o prioritetu koji se pridoda određenom aspektu mijenjati i poredak alata. To će pridonijeti snazi modela da ovisno o željenim aspektima rangira alate. Navedena osjetljivost modela testirat će se i prikazati u potpoglavlju



## **5. MODEL UTJECAJA VITKIH ALATA U RAZVOJU PROIZVODA NA ASPEKTE ODRŽIVOSTI**

U ovom poglavlju predstaviti će se i opisati postupak izrade modela utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti. Model se temelji na analizi literature, studiji slučaja i na rezultatima ankete „Utjecaj vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti“, čiji rezultati su obrađeni u prethodnom poglavlju, a cijela se nalazi u Prilogu 1. Za izradu modela utjecaja koristit će se AHP metoda višekriterijskog odlučivanja, čiji se generalni opis daje u daljnjem dijelu doktorskog rada. Koristeći AHP metodu, model daje kompanijama informaciju koji će alati vitkog razvoja proizvoda dati najbolje rezultate, uzimajući u obzir prioritete koje kompanija stavlja na određene okolišne, društvene i ekonomske aspekte održivosti.

AHP metoda je izabrana jer se jednostavno koristi, omogućava provjeru konzistentnosti odluka korisnika, lako se provodi simulacija koja prikazuje promjene u izlaznim podacima izmjenom ulaznih podataka i omogućuje grafički prikaz rezultata. Osim toga, AHP metoda omogućava usporedbu i kvalitativnih i kvantitativnih kriterija pomoću omjerne skale za mjerenje i na kraju procjenjivanje te uspoređivanje njihovih važnosti. Kriteriji i alternative uspoređuju u parovima, što smanjuje mogućnost pogreške. AHP je metoda već korištena u radovima na temu vitkosti [84], [85], [86] i održivosti [68], [87].

Struktura petog poglavlja je sljedeća: prvo je opisana AHP metoda, nakon toga slijede izračun rangova na temelju rezultata ankete i izrada modela utjecaja, te konačno verifikacija modela. Verifikacija modela provedena je testiranjem rada modela sa simuliranim, a zatim s realnim podacima te su napravljene i analize osjetljivosti.

### **5.1. Analitički hijerarhijski proces**

#### **5.1.1. Osnove/pojam**

Metoda analitički hijerarhijski proces pripada najpoznatijim i posljednjih godina najviše korištenim metodama za višekriterijsko odlučivanje. Metoda AHP omogućava fleksibilnost procesa odlučivanja i pomaže donositeljima odluka da postave prioritete i donesu kvalitetnu odluku uzimajući u obzir i kvalitativne i kvantitativne aspekte odluke [135].

Širok spektar primjena AHP metode dovoljan je dokaz da je ona danas jedna od najpopularnijih i najčešće korištenih metoda za višekriterijsko odlučivanje u rješavanju realnih

problema. Primjenjuje se u odlučivanju, evaluaciji, alokaciji resursa, planiranju i razvoju, ali i na područjima kao što su industrija, inženjerstvo, politika, obrazovanje te mnoga druga [135].

### 5.1.2. Metodološki temelj AHP metode

Metodu AHP razvio je Thomas Saaty početkom sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, a ona predstavlja vrlo važnu metodu za odlučivanje i ima svoju primjenu u rješavanju kompleksnih problema čije elemente čine ciljevi, kriteriji, potkriteriji i alternative. O važnosti analitičkoga hijerarhijskog procesa dovoljno govori činjenica da je metoda detaljno proučavana i unaprjeđivana putem mnogih znanstvenih radova na prestižnim svjetskim sveučilištima [136].

Primjenom AHP metode omogućava se kreiranje hijerarhije problema koja služi kao priprema scenarija odlučivanja, zatim se vrši uspoređivanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterija i alternativa) u *top-down* ili *bottom-up* smjeru, te se na kraju vrši sinteza svih uspoređivanja i određuju se težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbroj težinskih koeficijenata elemenata na svakoj razini hijerarhije jednak je 1 i omogućava donositelju odluke da rangira sve elemente hijerarhije po važnosti [137].

Metoda AHP omogućava i analizu osjetljivosti. Preko analize osjetljivosti sagledava se kako promjene ulaznih podataka utječu na izlazne rezultate. U analizi osjetljivosti mogu se simulirati važnosti kriterija/potkriterija i promatrati promjene u rangju alternativa. Analiza se može izvesti iz cilja ili bilo kojega drugog objekta u hijerarhiji kako bi se utvrdilo je li rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka [137]. Vrlo važna značajka u primjeni AHP metode je i provjera konzistentnosti procjena donositelja odluke. Tijekom uspoređivanja u parovima elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, provjerava se konzistentnost procjena donositelja odluke i utvrđuje ispravnost dobivenih težinskih koeficijenata kriterija i prioriteta alternativa.

Primjena AHP metode može se objasniti četirima osnovnim koracima [137]:

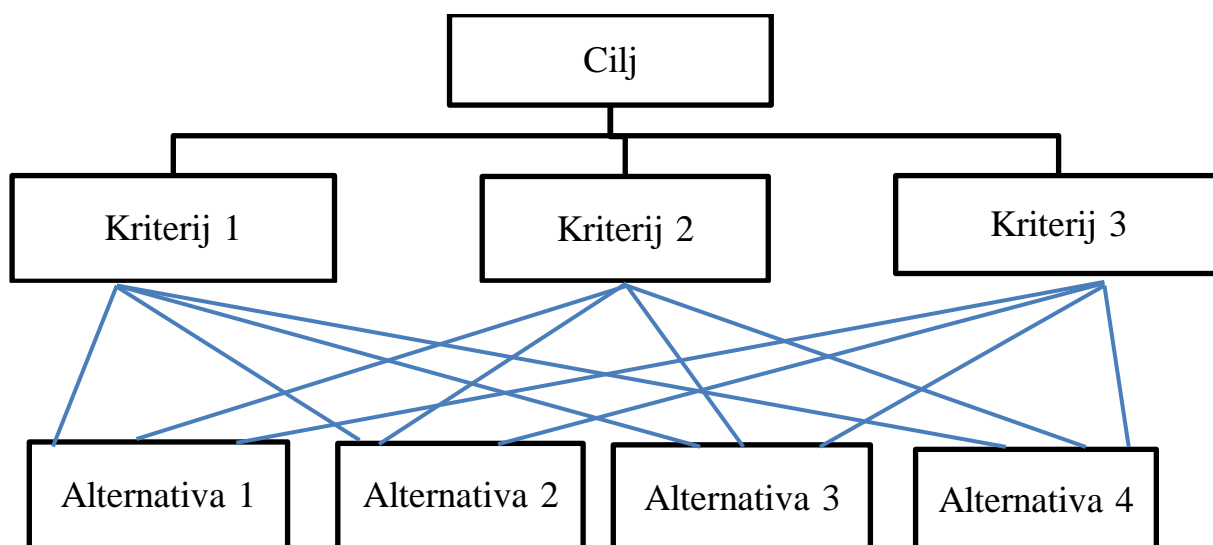
1. Razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i potkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela. Na Slika 26. prikazan je hijerarhijski model na dvjema razinama, koji čine cilj, kriteriji i alternative.
2. Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi te strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć Saatyjeve skale

relativne važnosti, koja ima 5 stupnjeva i 4 međustupnja verbalno opisanih intenziteta i odgovarajuće numeričke vrijednosti u rasponu od 1 do 9 (Tablica 42).

3. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema s pomoću matematičkog modela izračunavaju se lokalni prioriteti (težine) kriterija, potkriterija i alternativa, koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa. Ukupni prioritet pojedine alternative izračunava se tako da se zbroje njezini lokalni prioriteti ponderirani s težinama elemenata više razine.

4. Provodi se analiza osjetljivosti.

Metodološki promatrano, rješavanje složenih problema odlučivanja s pomoću ove metode temelji se na njihovoj dekompoziciji u hijerarhijsku strukturu čiji elementi su cilj, kriteriji (potkriteriji) i alternative. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, a kriteriji, potkriteriji i alternative su na nižim razinama. Kompleksnost problema raste s brojem kriterija i s brojem alternativa. Sposobnost ljudskog uma u međusobnom razlikovanju velikog broja alternativa i kriterija je ograničena, te se u skladu s time, pri formiranju hijerarhije ne preporučuje više od  $25 \pm$  elemenata na istoj razini [137]. Slika 26 prikazuje primjer hijerarhije na dvjema razinama, koju čine cilj, kriteriji i alternative.



Slika 26 Hijerarhijski model – AHP struktura

Važna komponenta AHP metode je matematički model s pomoću kojega se računaju prioriteti (težine) elemenata. Donositelj odluke uspoređivanjem elemenata u parovima na istoj razini hijerarhijske strukture, koristi svoje subjektivne procjene koje se temelje na prethodnom

znanju i vlastitom iskustvu. Potrebno je ukupno  $n \times (n-1)/2$  usporedbi što znači da je broj usporedbi proporcionalan kvadratu broja elemenata koji se uspoređuju. Isti postupak primjenjuje se u cijeloj hijerarhiji, sve dok se na posljednjoj razini  $k$  ne izvrše usporedbe svih alternativa u odnosu na nadređene potkriterije na prethodnjem ( $k-1$ ) nivou. Matematičkim modelom sintetizira se konačan rezultat prioriteta alternativa u odnosu na postavljeni cilj problema odlučivanja [136]. Pri uspoređivanju u parovima, koristi se već spomenuta Saatyjeva skala relativne važnosti [80] (Tablica 42) koja se sastoji od devet stupnjeva, što je iskustvom dokazana razumna i održiva razina do koje pojedinac može razlikovati intenzitet odnosa između dvaju elemenata. Neparnim brojevima pridružene su osnovne vrijednosti, a parni opisuju njihove međuvrijednosti. Ako se želi preciznije izraziti razlika u važnosti elemenata, mogu se koristiti i decimalne vrijednosti od 1.1 do 1.9. [136].

Tablica 42 Saatyjeva skala relativne važnosti [2]

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dvije vrijednosti jednako pridonose cilju.
3	Umjereno važno	Na temelju iskustva i procjena, daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu.
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena, strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu.
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću.
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti	
1.1 – 1.9	Decimalne vrijednosti	Pri usporedbi aktivnosti koje su po važnosti blizu jedna drugoj, potrebne su decimalne vrijednosti kako bi se preciznije izrazila razlika u njihovoj važnosti.

AHP metoda zasniva se na 4 aksioma [137]:

1. *Aksiom recipročnosti.* Ako je element A  $n$  puta značajniji od elementa B, tada je element B  $1/n$  puta značajniji od elementa A.

2. *Aksiom homogenosti.* Usporedba ima smisla jedino ako su elementi usporedivi – primjerice, ne može se uspoređivati masa komarca i masa slona.
3. *Aksiom zavisnosti.* Dopušta se usporedba među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, tj. usporedbe na nižem nivou zavise od elementa višeg nivoa.
4. *Aksiom očekivanja.* Svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtijeva ponovno računanje prioriteta u novoj hijerarhiji.

### 5.1.3. Matematički temelj AHP metode [136]

Postupak za računanje težina kriterija i prioriteta alternativa iz usporedbi elemenata u parovima sadržava tri osnovna koraka: formiranje matrice omjera prioriteta (težina), formiranje normalizirane matrice i izračunavanje težina kriterija i prioriteta alternativa.

Prvi korak je formiranje matrice omjera prioriteta (težina). U  $i$ -tom redu i  $j$ -tom stupcu te matrice nalazi se vrijednost procijenjenog omjera prioriteta alternativa. Ako se daju procjene relativnih važnosti kriterija, onda je to vrijednost omjera njihovih težina. Neka je  $n$  broj kriterija (ili alternativa) čije težine (prioritete)  $w_i$  treba odrediti na temelju procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju s  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Od omjera relativnih važnosti  $a_{ij}$  formira se matrica relativnih važnosti  $\mathbf{A}$ :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrica  $\mathbf{A}$  za slučaj konzistentnih procjena za koje vrijedi  $a_{ij} = a_{ik} a_{kj}$  zadovoljava jednadžbu  $\mathbf{A}\mathbf{w} = n\mathbf{w}$ , gdje je  $\mathbf{w}$  vektor (jednostupčana matrica) prioriteta:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Problem rješavanja težina može se riješiti kao problem rješavanja matrice jednadžbe po jednostupčanoj matrici  $\mathbf{w}$  za rješenje svojstvene vrijednosti  $\lambda$  različito od 0 to jest:

$$\mathbf{A} \mathbf{w} = \lambda \mathbf{w} \quad (3)$$

Matrica  $\mathbf{A}$  ima neka posebna svojstva, ona je pozitivna, recipročna matrica  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  ranga  $r(\mathbf{A}) = 1$  (svi njezini redovi proporcionalni su prvom redu), zbog čega je samo jedna njezina

svojstvena vrijednost različita od 0 i jednaka je  $n$  (sve ostale svojstvene vrijednosti su jednake 0).

Budući da je suma svojstvenih vrijednosti pozitivne matrice jednaka tragu te matrice, tj. sumi na dijagonali, svojstvena vrijednost različita od nule ima vrijednost  $n$ :

$$\lambda_{\max} = n. \quad (4)$$

Ako matrica  $\mathbf{A}$  sadržava nekonzistentne procjene (u praktičnim primjerima gotovo uvijek je tako), vektor težina  $w$  može se dobiti rješavanjem jednadžbe:

$$(\mathbf{A} - \lambda_{\max} I)\mathbf{w} = 0 \text{ uz uvjet } \sum w_i = 1, \quad (5)$$

gdje je  $\lambda_{\max}$  najveća svojstvena vrijednost matrice  $\mathbf{A}$  ili

$$\mathbf{A}\mathbf{w} = n\mathbf{w} \quad (6)$$

$$\sum_i a_{ij}w_j = nw_i \quad (7)$$

odakle je

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j a_{ij}w_j = nw_i \text{ za } i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Zbog

$$\sum_i a_{ij} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j} \quad (9)$$

težina pojedine alternative je

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \quad (10)$$

Sinteza prioriteta vrši se tako da se lokalni prioriteti alternativa ponderiraju s težinama svih čvorova kojima pripadaju od najniže razine hijerarhijske strukture prema vrhu, a zatim se ti globalni prioriteti za najvišu razinu zbroje te se konstruira ukupni prioritet za pojedinu alternativu.

Zbog svojstava matrice  $\mathbf{A}$ , vrijedi  $\lambda_{\max} \geq n$ , a razlika  $\lambda_{\max} - n$  koristi se u mjerenju konzistencije procjena. U slučaju nekonzistentnosti, što je  $\lambda_{\max}$  bliža  $n$ , prosudba je konzistentnija.

#### 5.1.4. Konzistentnost donositelja odluke

Metoda AHP pripada primjenjivim metodama i zato što ima sposobnost identificirati i analizirati nekonzistentnost donositelja odluke u procesu uspoređivanja elemenata hijerarhije. Čovjek je rijetko konzistentan pri procjenjivanju vrijednosti ili odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji, a uzroci nekonzistentnosti mogu biti različiti [136].

Metoda AHP ima veliku prednost što omogućuje praćenje konzistentnosti procjena u svakom trenutku postupka uspoređivanja elemenata u parovima. S pomoću indeksa konzistencije  $CI$ :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

pri čemu je:

$\lambda_{max}$  – maksimalna svojstvena vrijednost matrice  $A$ ,

$n$  – broj redaka matrice,

izračunava se omjer konzistencije:  $CR = \frac{CI}{RI}$ ,

gdje je  $RI$  slučajni indeks, odnosno indeks konzistencije (primjenjuje se samo ako je  $n \geq 3$ ) za matrice reda  $n$  slučajno generiranih usporedbi u parovima (Tablica 43) [138].

**Tablica 43 Vrijednosti  $RI$  slučajnih indeksa**

Vrijednosti $RI$ slučajnih indeksa $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b><math>RI</math></b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Ako za matricu  $A$  vrijedi  $CR \leq 0,10$ , procjene relativnih važnosti kriterija (prioriteta alternativa) smatraju se prihvatljivima. U suprotnom treba istražiti razloge zbog kojih je nekonzistentnost procjena neprihvatljivo visoka.

Navodi se jednostavan primjer uspoređivanja triju kriterija. Pretpostavimo da su odabrana tri različita kriterija prema kojima ćemo procjenjivati alternative i da su ocijenjene njihove relativne važnosti. Tablica 44 predstavlja  $3 \times 3$  matricu međusobnih usporedbi kriterija. Vrijednosti u matrici predstavljaju omjer relativnih težina elementa retka i elementa stupca u kojima je mala pogreška u konzistentnosti dopustiva. Glavna dijagonala uvijek ima vrijednost 1 jer je to usporedba istih kriterija. Vrijednost u matrici u drugom retku i prvom stupcu iznosi

5, a to znači da je kriterij u retku (K2), prema skali relativne važnosti faktora iz tablice 1, važniji od kriterija u stupcu (K1). Na poziciji (1, 2) nalazi se vrijednost usporedbe važnosti faktora kriterija K1 u odnosu na K2 i prema aksiomu recipročnosti iznosi  $1/5$ , odnosno 0,2.

**Tablica 44 Matrica usporedbe kriterija**

Kriteriji	K1	K2	K3	Težina
K1	1	$1/5$	$1/9$	0.064
K2	5	1	$1/3$	0.267
K3	9	3	1	0.669

Težina kriterija računa se tako da se prvo izvrši postotna transformacija (Tablica 44, svaka ćelija se podijeli sa sumom svojeg stupca) i zatim se izračuna prosjek svakog retka.

Usporedbe alternativa vrše se prema određenom kriteriju. Usporedba alternativa prema K1 može izgledati općenito kao u Tablica 45. Da je kriterij K1 jedini kriterij koji se uzima u obzir, najbolja bi alternativa bila A1 jer je njezina težina 0.581 najveća. Na drugom mjestu bi bila alternativa A2 s težinom 0.309, a na posljednjem mjestu A3 s težinom 0.11.

**Tablica 45 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K1**

Alternative	A1	A2	A3	Težina
A1	1	2	5	0.581
A2	$1/2$	1	3	0.309
A3	$1/5$	$1/3$	1	0.110

Budući da postoje još dva relevantna kriterija, ista procedura treba se provesti i za njih. Rezultati su vidljivi u Tablica 46 za kriterij K2 i Tablica 47 za kriterij K3. Po kriteriju K2 najbolja alternativa je A3, a zatim A2 i tek na kraju A1. Po kriteriju K3 najbolja alternativa je A2, zatim A3, a posljednja je A1.

**Tablica 46 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K2**

Alternative	A1	A2	A3	Težina
A1	1	$1/3$	$1/7$	0.088
A2	3	1	$1/3$	0.243
A3	7	3	1	0.669

**Tablica 47 Matrica usporedbi u parovima s obzirom na K3**

Alternative	A1	A2	A3	Težina
A1	1	$1/6$	$1/5$	0.082
A2	6	1	2	0.575
A3	5	$1/2$	1	0.343



Kako bismo bili sigurni da su usporedbe dovoljno konzistentno ocijenjene potrebno je izvršiti provjeru. Potrebne su tri komponente analize da bi se procijenila konzistentnost usporedbi. To su indeks slučajne konzistentnosti (engl. *random consistency index* – RI), indeks konzistentnosti (engl. *consistency index* – CI) i omjer konzistentnosti (engl. *consistency ratio* – CR).

**Tablica 48 Indeksi konzistentnosti**

	Između kriterija	Prema K1	Prema K2	Prema K3
CI	0.014	0.002	0.004	0.015
RI	0.28	0.28	0.28	0.28
CR	0.052	0.007	0.014	0.054

Ako je CR manji od 0.1, onda se smatra da su usporedbe u toj matrici dovoljno konzistentne, a ako je veći, onda bi se matrica usporedbe trebala poboljšati. U ovom slučaju CR svih matrica je manji od 0.1, pa možemo reći da su sve procjene dovoljno konzistentne.

Nakon što su sve alternative međusobno uspoređene po svim kriterijima i utvrđeno je da su usporedbe dovoljno konzistentne, mogu se izračunati relativni prioriteti alternativa. U Tablica 49 nalaze se rezultati sinteze (Tablica 44 -Tablica 47) prema kojoj je najbolja alternativa A2 s relativnom važnosti 0.470, druga po redu je A3 s relativnom važnosti 0.415, a posljednja je alternativa A1 s relativnom važnosti 0.115.

**Tablica 49 Ukupni rezultat**

Alternativa	K1	K2	K3	Relativni prioriteti alternativa	Rang
Težine kriterija	0.063	0.265	0.672		
A1	0.581	0.088	0.082	0.115	3
A2	0.309	0.243	0.575	0.470	1
A3	0.110	0.669	0.343	0.415	2

### 5.1.5. Prednosti i nedostaci AHP metode

U usporedbi s drugim metodama, AHP metoda je često pokazivala bolje uporabne karakteristike, što je od velike važnosti, ako se ima u vidu još uvijek prisutni animozitet donositelja odluka prema sofisticiranim metodama odlučivanja. Nadalje, AHP metoda ima i određene nedostatke koji nisu izravno vezani uz metodološki ni matematički temelj metode, ali se navode kao njezina ograničenja [137], [136].

Od značajnijih prednosti AHP metode izdvajaju se sljedeći:

- AHP strukturira problem odlučivanja i uspješno simulira proces donošenja odluka od definiranja cilja, kriterija i alternativa, do uspoređivanja kriterija i alternativa u parovima i dobivanja rezultata, odnosno utvrđivanja prioriteta svih alternativa u odnosu na postavljeni cilj. Ona dekomponira realni proces odlučivanja tako što razlaže problem u hijerarhiju elemenata tog procesa te poštujući činjenicu da donositelj odluka na mentalnom planu uglavnom ne razdvaja proces procjenjivanja kriterija od alternativa, omogućava kontrolu konzistentnosti procjena, vodeći računa o cjelini problema i funkcionalnim interakcijama kriterija i alternativa.
- AHP integrira kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju. Praksa do uvođenja AHP-a ignorirala je važnost kvalitativnih faktora u odlučivanju, ne uzimajući u obzir da su svi ljudski problemi kombinacija psiholoških i fizičkih aktivnosti, kvalitativnih i kvantitativnih elemenata. AHP je teorija relativnog mjerenja koja koristi apsolutnu skalu za mjerenje kvalitativnih i kvantitativnih kriterija koji su homogeni i temeljeni na procjenama eksperata.
- AHP uspješno identificira i upućuje na nekonzistentnost donositelja odluka praćenjem nekonzistentnosti u procjenama tijekom cijelog postupka, izračunavanjem indeksa i omjera konzistencije. U tijeku procjenjivanja, korisnik ima osjećaj da programski alat ispravno prati njegov proces razmišljanja i da mu pravovremeno pokazuje je li procjenjivanje konzistentno. To je važno kada se uzme u obzir da su donositelji odluka rijetko konzistentni u svojem procjenjivanju u odnosu na kvalitativne aspekte problema. Kod kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih kriterija najizraženije su mogućnosti za pojavu nekonzistentnosti.
- Redundantnost uspoređivanja u parovima dovodi do toga da je AHP metoda manje osjetljiva na pogreške u procjenjivanju.
- Kada se koristi pri grupnom donošenju odluka, AHP metoda značajno poboljšava komunikaciju među članovima grupe. Ako se provodi diskusija, grupa se treba usuglasiti oko svake zajedničke procjene koja će se unijeti u matricu. Metoda AHP pomaže u strukturiranju diskusije i postizanju konsenzusa. Ako govorimo o grupnom odlučivanju u kojem svaka osoba ima mogućnost unosa procjena, izbjegava se mogućnost tzv. «skupnog mišljenja», jedinstvenog mišljenja svih članova skupine do kojega dolazi zbog velikog pritiska na sudionike koji imaju drukčije mišljenje. Svaki sudionik sudjeluje u zajedničkoj diskusiji, ali na njezinom završetku individualno unosi svoju procjenu. Tako se postiže bolje razumijevanje, a u konačnom ishodu članovi grupe imaju više povjerenja u izabranu alternativu.










- Odlučivanje AHP metodom povećava znanje o problemu i snažno i brzo motivira donositelje odluke. Procesom odlučivanja dolazi se do približnog rješenja problema i to obično većom brzinom nego na većini sastanaka te s manjim troškovima procesa donošenja odluke. Tako dobiveni rezultati mogu se koristiti i kao ulazni podaci za projekt ili studiju izvodljivosti, odnosno za kompleksniju odluku.
- Rezultati odlučivanja AHP metodom ne sadrže samo rang alternativa nego i informacije o težinskim koeficijentima kriterija u odnosu na cilj i potkriterija u odnosu na kriterije.
- AHP omogućuje donositelju odluka analizu osjetljivosti rezultata s pomoću koje se provjerava stabilnost dobivenih rezultata tako da se simulira odnos između težina kriterija i prioriteta alternativa.
- Postojanje kvalitetnih programskih alata koji podržavaju AHP metodu. Najčešće korišten alat je *Expert Choice* (Expert Choice, 2000.) koji ima mnoge prednosti, kao što su jednostavnost modeliranja, sučelje prilagođeno prosječnom korisniku računala, mogućnost korigiranja procjena od strane korisnika i druge. Alat *SuperDecisions* (SuperDecisions, 2006.) također podupire primjenu AHP metode, besplatan je i razvijen kako bi podržao korištenje AHP i ANP metode u akademske svrhe. Alat *DecisionLens* (DecisionLens, 2007.) razvijen je u komercijalne svrhe kako bi omogućio primjenu AHP metode u poslovnim organizacijama. Gotovo sve poznatije američke kompanije koriste *DecisionLens* u odlučivanju, planiranju, alokaciji resursa i drugomu. Osnovna karakteristika koja ga razlikuje od drugih alata je jednostavnost sučelja i primjene.

Metoda AHP ima i određena ograničenja s kojima se korisnici mogu susresti pri njezinoj primjeni, a mnogi se znanstvenici bave načinima njihovog otklanjanja. Neka od ograničenja AHP-a koja se češće navode su [137]:

- nedovoljno velika skala (Saatyjeva skala relativne važnosti) za uspoređivanje elemenata u parovima vezano uz neke probleme odlučivanja,
- velik broj potrebnih komparacija u parovima kod većine problema,
- postizanje prihvatljivog omjera konzistencije često je vrlo teško,
- nisu dopuštene neusporedive alternative.

Prvi i posljednji navedeni nedostatak najčešće se spominju kao najveći nedostaci AHP metode. U nastavku se navodi primjer kako je moguće proširiti skalu relativnih važnosti sa 9 intenziteta i uspoređivati na prvi pogled možda neusporedive alternative. Potrebno je klasterirati objekte u grupe i koristiti najveći element u prvoj grupi kao najmanji u sljedećoj grupi, odnosno koristiti taj element kao osnovicu za povezivanje dviju grupa. Takvim se

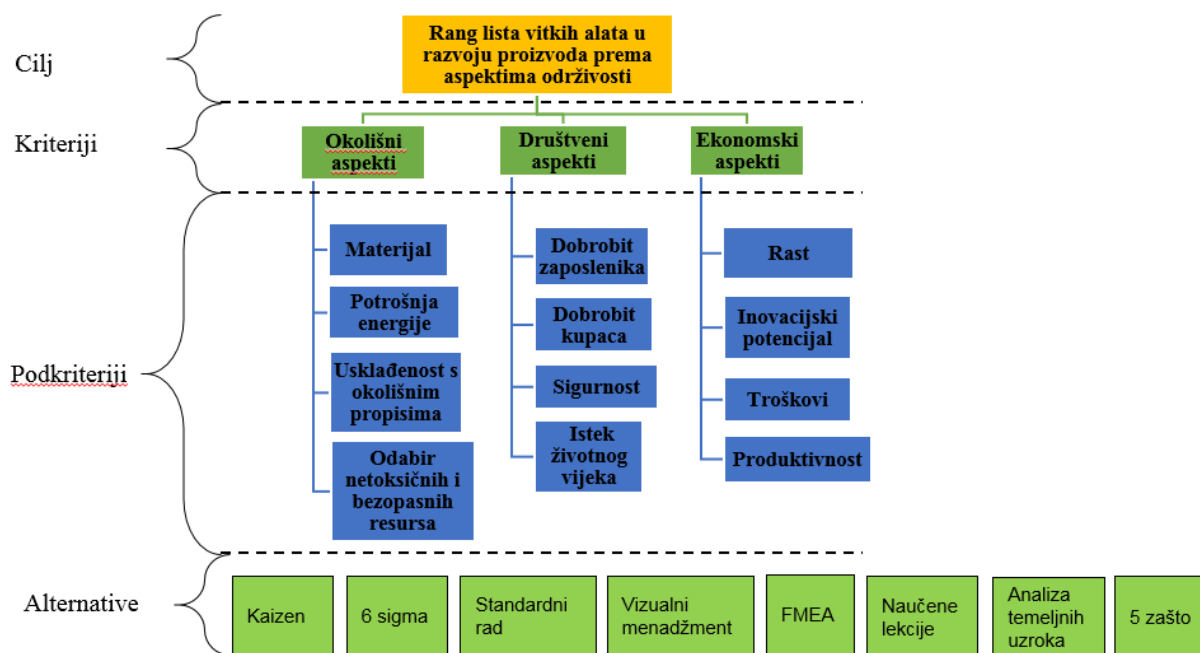
načinom elementi unutar jedne grupe mogu uspoređivati sa skalom od 1 do 9 i mogu se generirati njihovi prioriteti, a zatim se prioriteti dijele s prioritetom najmanjeg elementa u toj grupi i množe s prioritetom elementa iz prethodne grupe koji je služio kao osnovica povezivanja grupa (Slika 27.). Opisanim postupkom moguće je uspoređivati i mjeriti i potpuno različite elemente, kao na Slika 27, primjerice, voće potpuno različitih veličina, trešnju i lubenicu [136].

 .07	 .28	 .65
<i>Mala rajčica</i>	<i>Mala zelena rajčica</i>	<i>Limeta</i>
 .08	 .22	 .70
<i>Limeta</i> $\frac{.08}{.08} = 1$ $.65 \times 1 = .65$	<i>Grejp</i> $\frac{.22}{.08} = 2.75$ $.65 \times 2.75 = 1.79$	<i>Dinja</i> $\frac{.70}{.08} = 8.75$ $.65 \times 8.75 = 5.69$
 .10	 .30	 .60
<i>Dinja</i> $\frac{.10}{.10} = 1$ $5.69 \times 1 = 5.69$	<i>Lubenica</i> $\frac{.30}{.10} = 3$ $5.69 \times 3 = 17.07$	<i>"Duguljasta" lubenica</i> $\frac{.60}{.10} = 6$ $5.69 \times 6 = 34.14$

Slika 27 Klasteriranje pri uspoređivanju nehomogenih elemenata [136]

## 5.2. Izrada modela pomoću AHP metode

Cilj modela je odrediti alate vitkog razvoja proizvoda koji će imati najveći utjecaj na željene aspekte održivosti. Model je razvijen da bude prilagodljiv i da uzima u obzir promjene ulaznih veličina, tj. unesene željene vrijednosti kriterija i potkriterija i prema njima konzistentno određuje rang listu vitkih alata koje je preporučeno koristiti. Model koristi AHP strukturu pri čemu su ulazne veličine glavni kriteriji i potkriteriji, a izlazna rang lista alternativa. Glavni kriteriji su dimenzije održivosti, tj. grupirani okolišni, društveni i ekonomski aspekti. Potkriteriji su aspekti održivosti. Alternative predstavljaju osam vitkih alata. Hijerarhijska struktura modela prema prethodno opisanim kriterijima, potkriterijima te alternativama, prikazana je na Slika 28.



Slika 28 Hijerarhijska struktura modela utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti

Izraz 12 predstavlja općeniti model utjecaja temeljen na hijerarhiji prikazanoj na Slika 28:

$$\begin{bmatrix} \text{Matrica prioriteta} \\ \text{alternativa prema} \\ \text{pojednim} \\ \text{potkriterijima} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Matrica prioriteta} \\ \text{potkriterija} \\ \text{kompanija} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Matrica prioriteta} \\ \text{kriterija} \\ \text{kompanija} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Vektor} \\ \text{globalnih} \\ \text{prioriteta} \\ \text{alternativa} \\ \text{za pojedinu} \\ \text{kompaniju} \end{bmatrix} \quad (12)$$

### 5.2.1. Međusobna usporedba i izračun prioriteta kriterija – dimenzija održivosti

Struktura modela utjecaja temeljit će se na trima kriterijima: okolišni, društveni i ekonomski aspekti. Navedene tri grupe aspekata predstavljaju dimenzije održivosti. Održivost je jedinstvo triju dimenzija na kojima se mora raditi istovremeno kako bi se poboljšala sveukupna održivost. Lista prioriteta kriterija, tj. dimenzija održivosti dobiva se njihovom međusobnom usporedbom u parovima. Pritom se koristi verbalna skala kojoj su dodijeljene numeričke vrijednosti prema Tablica 42 i Saatyjevoj skali relativne važnosti. Navedene usporedbe provodi osoba iz kompanije koja može procijeniti važnost dimenzije koju je potrebno unaprijediti, a s ciljem postizanja održivosti. Matricu međusobne usporedbe kriterija prikazuje Slika 29.

1 Okolišna dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Društvena dimenzija
2 Okolišna dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekonomska dimenzija
3 Društvena dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekonomska dimenzija

Slika 29 Usporedba kriterija – dimenzija održivosti

Nakon što smo dobili težine kriterija, potrebno je usporediti sve potkriterije (aspekte) međusobno prema pripadajućem (nat)kriteriju te sve alternative – alate prema potkriteriju.

### 5.2.2. Međusobna usporedba i izračun prioriteta potkriterija - aspekata

Lista prioriteta potkriterija, tj. aspekata dobiva se njihovom međusobnom usporedbom u parovima prema kriterijima – dimenziji održivosti. Pritom se koristi verbalna skala kojoj su dodijeljene numeričke vrijednosti prema Tablica 42 i Saatyjevoj skali relativne važnosti. Navedene usporedbe provodi osoba iz kompanije koja može procijeniti važnost određenih aspekata te ih međusobno usporediti prema dimenziji kojoj pripadaju. Slika 30, Slika 31 i Slika 32 prikazuju sve potrebne usporedbe parova aspekata.

1 Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Potrošnja energije
2 Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Usklađenost s okolišnim propisima
3 Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
4 Potrošnja energije	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Usklađenost s okolišnim propisima
5 Potrošnja energije	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
6 Usklađenost s okolišnim propisima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa

Slika 30 Usporedba potkriterija – aspekata prema društvenoj dimenziji

1 Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Dobrobit kupaca
2 Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sigurnost
3 Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka
4 Dobrobit kupaca	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sigurnost
5 Dobrobit kupaca	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka
6 Sigurnost	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka

Slika 31 Usporedba potkriterija – aspekata prema okolišnoj dimenziji

1 Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inovacijski potencijal
2 Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Troškovi
3 Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost
4 Inovacijski potencijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Troškovi
5 Inovacijski potencijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost
6 Troškovi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost

Slika 32 Usporedba potkriterija – aspekata prema okolišnoj dimenziji

### 5.2.3. Izračun rangova i prioriteta alternativa - alata

Procjene utjecaja vitkih alata na okolišne, društvene i ekonomske aspekte dobivene su upitnikom. *Friedmanovim* testom dobiveni su prosječni rangovi alata – alternativa za svaki aspekt. Normalizacijom tih prosječnih rangova dobiveni su ponderi alternativa – vitkih alata prema danim potkriterijima – aspektima, te zbog toga nije bilo potrebno raditi provjeru konzistentnosti odgovora. Ovako dobiveni ponderi alternativa prema potkriterijima uneseni su u program *Expert Choice*, u kojem predstavljaju vrijednost prioriteta alternativa u odnosu na specifični potkriterij. Tablica 50, Tablica 51 i Tablica 52 prikazuju izračunane pondere aspekata.

Tablica 50 Ponderi vitkih alata prema okolišnim aspektima

	Materijal		Potrošnja energije		Usklađenost s okolišnim propisima		Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	
	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder
<b>Kaizen</b>	170,50	0,1579	161,50	0,1495	137,50	0,1273	148,00	0,1370
<b>6 sigma</b>	119,00	0,1102	128,50	0,1190	115,50	0,1069	108,00	0,1000
<b>Standardizirani rad</b>	118,00	0,1093	148,50	0,1375	142,00	0,1315	138,50	0,1282
<b>Vizualni menadžment</b>	109,50	0,1014	114,50	0,1060	123,00	0,1139	108,00	0,1000
<b>FMEA</b>	148,50	0,1375	128,50	0,1190	155,00	0,1435	154,50	0,1431
<b>Naučene lekcije</b>	169,00	0,1565	161,00	0,1491	172,50	0,1597	169,00	0,1565
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	123,50	0,1144	126,00	0,1167	122,00	0,1130	133,00	0,1231
<b>5 zašto</b>	122,00	0,1130	111,50	0,1032	112,50	0,1042	121,00	0,1120
<b>Suma</b>	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00

Tablica 51 Ponderi vitkih alata prema društvenim aspektima

	Dobrobit zaposlenika		Dobrobit kupaca		Sigurnost proizvoda		Istek životnog vijeka	
	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder
<b>Kaizen</b>	165,00	0,1528	161,00	0,1491	133,50	0,1236	118,50	0,1097
<b>6 sigma</b>	112,00	0,1037	145,00	0,1343	141,00	0,1306	165,00	0,1528
<b>Standardizirani rad</b>	164,00	0,1519	134,50	0,1245	155,00	0,1435	149,50	0,1384
<b>Vizualni menadžment</b>	145,50	0,1347	91,00	0,0843	112,50	0,1042	101,50	0,0940
<b>FMEA</b>	122,00	0,1130	164,50	0,1523	160,00	0,1481	166,00	0,1537

	Dobrobit zaposlenika		Dobrobit kupaca		Sigurnost proizvoda		Istek životnog vijeka	
	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder
<b>Naučene lekcije</b>	152,00	0,1407	151,50	0,1403	152,00	0,1407	139,50	0,1292
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	112,50	0,1042	122,00	0,1130	120,50	0,1116	123,00	0,1139
<b>5 zašto</b>	107,00	0,0991	110,50	0,1023	105,50	0,0977	117,00	0,1083
<b>Suma</b>	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00

Tablica 52 Ponderi vitkih alata prema ekonomskim aspektima

	Rast		Inovacijski potencijal		Troškovi		Produktivnost	
	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder	Rang	Ponder
<b>Kaizen</b>	186,00	0,1722	185,00	0,1713	174,00	0,1611	173,50	0,1606
<b>6 sigma</b>	152,00	0,1407	137,50	0,1273	145,00	0,1343	141,00	0,1306
<b>Standardizirani rad</b>	160,00	0,1481	103,00	0,0954	168,00	0,1556	164,00	0,1519
<b>Vizualni menadžment</b>	97,00	0,0898	108,50	0,1005	97,50	0,0903	117,00	0,1083
<b>FMEA</b>	121,00	0,1120	118,50	0,1097	120,50	0,1116	119,00	0,1102
<b>Naučene lekcije</b>	148,00	0,1370	160,00	0,1481	147,50	0,1366	137,00	0,1269
<b>Analiza temeljnih uzroka</b>	120,50	0,1116	136,50	0,1264	129,00	0,1194	126,00	0,1167
<b>5 zašto</b>	95,50	0,0884	131,00	0,1213	98,50	0,0912	102,50	0,0949
<b>Suma</b>	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00	1080,00	1,00

### 5.3. Verifikacija modela utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti

Postupak verifikacije modela provest će se u dvama koracima. U prvom koraku rad modela testirat će se korištenjem simuliranih podataka. Želi se pokazati da model daje očekivane rezultate u simuliranim uvjetima, gdje se određenim aspektima pridodaju najveći prioriteta. Na temelju poznatih rangova vitkih alata prema aspektima, očekuje se da model rangira određene alate kao najpogodnije ako se nekim aspektima pridodaju najveći prioriteta pri usporedbi u parovima. Također ako se svim aspektima pridodaju jednaki prioriteta, lista



najpogodnijih alata trebala bi se poklapati s Tablica 41 i rang-listom alata prema svim aspektima zajedno. Ako će se rezultati simulacije poklapati s očekivanima, moći će se zaključiti da model radi ispravno. Drugi korak verifikacije uključuje provedbu testiranja modela u realnim uvjetima s podacima iz kompanije. Provest će se i analiza osjetljivosti rezultata s pomoću četiriju opcija koje nudi program *Expert Choice*, a one su analiza performansi (engl. *Performance*), analiza dinamičnosti (engl. *Dynamic*), analiza gradijenta (engl. *Gradient*), analiza *Head to head* te 2D analiza.

### 5.3.1. Testiranje rada modela sa simuliranim podacima

S namjerom da se provjeri osjetljivost modela utjecaja, napraviti će se verifikacija modela tako da se simuliraju podaci. Podaci će se simulirati u međusobnim usporedbama potkriterija, tj. aspekata. Izraditi će se tri scenarija s trima kombinacijama važnosti aspekata. Tako će se u općenitom modelu (izraz 12) varirati matrica prioriteta kriterija i matrica prioriteta potkriterija. Prvi scenarij prikazuje uvjete u kojima su svi aspekti međusobno jednako važni. Preostala tri scenarija predstavljaju uvjete u kojima određeni aspekt ima ekstremnu važnost u usporedbi s drugima. Na navedeni način dobit će se informacija o rangu alata ovisno o promjeni važnosti aspekata, a rang alata bi u navedenim ekstremnim uvjetima trebao imati očekivani poredak. Kod svih matrica usporedbi parova kriterija i potkriterija pazilo se da vrijednost omjera konzistentnosti (CR) ne bude veća od 0,10.

#### 5.3.1.1. Prva testna simulacija

Prvi simulirani scenarij temelji se na pretpostavci da sve dimenzije održivosti i svi aspekti imaju jednaku važnost. U ovoj kombinaciji očekuje se da će dobiveni rang alata odgovarati rangu alata prema skupnim aspektima, kako je i dobiveno rezultatima *Friedmanovog* testa u Tablica 41.

Međusobnu usporedbu kriterija – dimenzija održivosti prema cilju rangiranja vitkih alata prikazuje Slika 33. Međusobne usporedbe aspekata prema okolišnom, društvenom i ekonomskom kriteriju prikazane su na Slika 34, Slika 35 i Slika 36. Zbog pretpostavke da su svi kriteriji i potkriteriji jednako važni, ocjene u matricama usporedbi iznose 1. Indeks konzistentnosti u svim usporedbama iznosi 0, što znači da je procjena idealno konzistentna.

	Okoliš ni aspekti	Društveni aspekti	Ekonomski aspekti
Okoliš ni aspekti		1,0	1,0
Društveni aspekti			1,0
Ekonomski aspekti	Incon: 0,00		

Slika 33 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 1. simulacija

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
Materijal		1,0	1,0	1,0
Potrošnja energije			1,0	1,0
Usklađenost s okolišnim propisima				1,0
Odabir netoksičnih i bezopasnih resur	Incon: 0,00			

Slika 34 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 1. simulacija

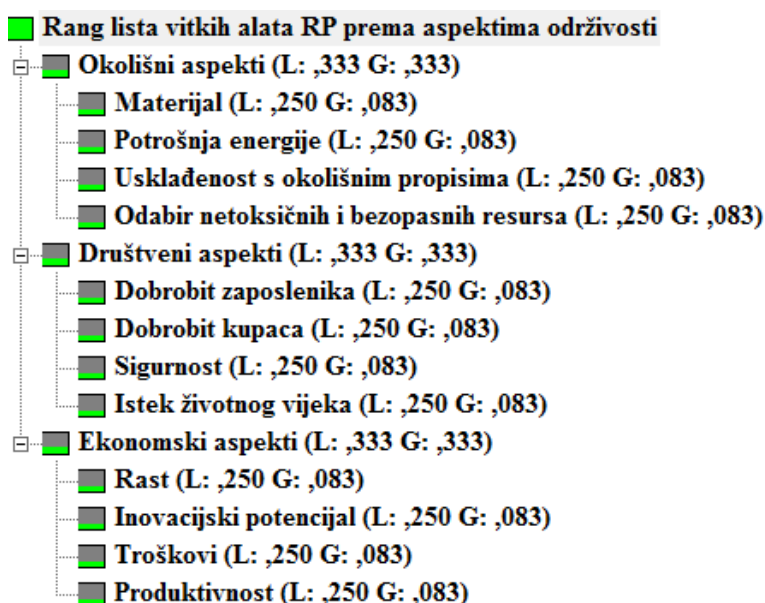
	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
Dobrobit zaposlenika		1,0	1,0	1,0
Dobrobit kupaca			1,0	1,0
Sigurnost				1,0
Istek životnog vijeka	Incon: 0,00			

Slika 35 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 1. simulacija

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
Rast		1,0	1,0	1,0
Inovacijski potencijal			1,0	1,0
Troškovi				1,0
Produktivnost	Incon: 0,00			

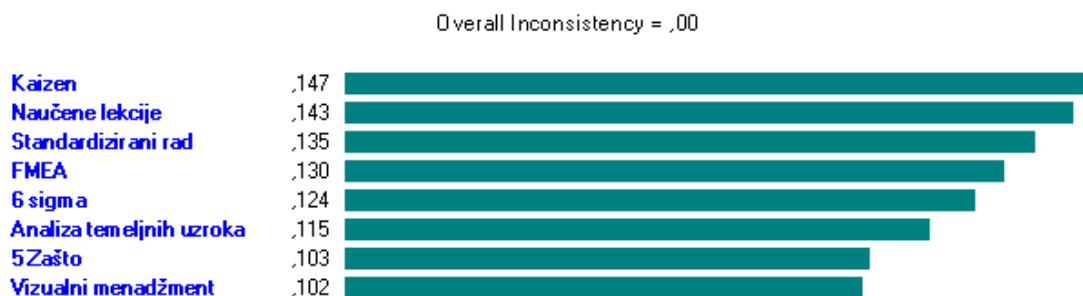
Slika 36 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 1. simulacija

Nakon završene usporedbe važnosti aspekata u parovima, dobiveni su težinski koeficijenti dimenzija i aspekata koji su, naravno, jednaki, što prikazuje Slika 37. Svaki od aspekata ima jednaku težinu i na lokalnoj i na globalnoj razini. Na globalnoj razini jednakost dolazi iz jednake važnosti svih triju dimenzija održivosti (0,333). Na lokalnoj razini jednakost dolazi iz jednake važnosti aspekata unutar svake dimenzije (L=0,250).



Slika 37 Težinski koeficijenti aspekata u 1. testnoj simulaciji

Ukupni rezultat ocjenjivanja aspekata u prvoj simulaciji (Slika 38) pokazuje da je prema svim kriterijima i potkriterijima najbolji alat (alternativa) kaizen s prioritetom 0,147.



Slika 38 Ukupni rezultat 1. simulacije –lista prioriteta vitkih alata

Tablica 53 prikazuje da dobivena lista prioriteta alata s pomoću AHP metode odgovara rang alata prema skupnim aspektima, kako je i dobiveno rezultatima *Fridmanovog* testa u Tablica 41. Prva testna simulacija pokazala je da model utjecaja daje očekivane rezultate.

Tablica 53 Usporedba rezultata rang-liste po *Fridmanovom* testu i AHP-u

Rang lista po <i>Fridmanu</i>			Lista prioriteta po AHP-u	
Alati	Prosječni rang prema svim aspektima	Ponder	Alati	Težinski koeficijent
Kaizen	1914,00	0,1477	Kaizen	0,147
Naučene lekcije	1859	0,1434	Naučene lekcije	0,143
Standardizirani rad	1745,00	0,1346	Standardizirani rad	0,135
FMEA	1678,00	0,1295	FMEA	0,130
6 sigma	1609,50	0,1242	6 sigma	0,124
Analiza temeljnih uzroka	1494,50	0,1153	Analiza temeljnih uzroka	0,115
5 zašto	1334,50	0,1030	5 zašto	0,103
Vizualni menadžment	1325,50	0,1023	Vizualni menadžment	0,102

### 5.3.1.2. Druga testna simulacija

Drugi simulirani scenarij temelji se na pretpostavci da je ekonomska dimenzija strogo važnija od društvene i umjereno važnija od okolišne. Aspekti potrošnja energije, dobrobit zaposlenika i inovacijski potencijal imaju ekstremnu važnost. To su aspekti kod kojih alat kaizen ima najveći prosječni rang. Ostalim aspektima je u međusobnoj usporedbi dana jednaka važnost. U ovoj kombinaciji očekuje se da će u dobivenom rang alata prema AHP metodi kaizen imati najveći prioritet.

Međusobne usporedbe kriterija – dimenzija održivosti prema cilju rangiranja vitkih alata prikazuje Slika 39. Međusobne usporedbe aspekata prema okolišnom, društvenom i ekonomskom kriteriju prikazane su na Slika 40, Slika 41 i Slika 42. Crvene brojke u matrici usporedbi označuju recipročnu vrijednost, primjerice, prema Slika 40 crveni broj 9 predstavlja brojku 1/9, tj. da aspekt potrošnje energije ima prednost, odnosno ekstremnu važnost u odnosu na aspekt materijala.

Zbog pretpostavke da su aspekti, u kojima kaizen ima najveći prosječni rang, ekstremno važni u odnosu na ostale, ocjene u matricama usporedbi za potrošnju energije, dobrobit zaposlenika i inovacijski potencijal iznose 9. Preostali aspekti međusobno imaju jednaku važnost – ocjena 1. Indeks konzistentnosti u usporedbama dimenzija je ispod 0,10, što znači da su procjene konzistentne Indeks konzistentnosti u svim usporedbama aspekata iznosi 0, što znači da je procjena idealno konzistentna.

	Okolišna dimenzija	Društvena dimenzija	Ekonomska dimenzija
Okolišna dimenzija			4,0
Društvena dimenzija			6,0
Ekonomska dimenzija	Incon: 0,05		

Slika 39 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 2. simulacija

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
Materijal		9,0	1,0	1,0
Potrošnja energije			9,0	9,0
Usklađenost s okolišnim propisima				1,0
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Incon: 0,00			

Slika 40 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 2. simulacija

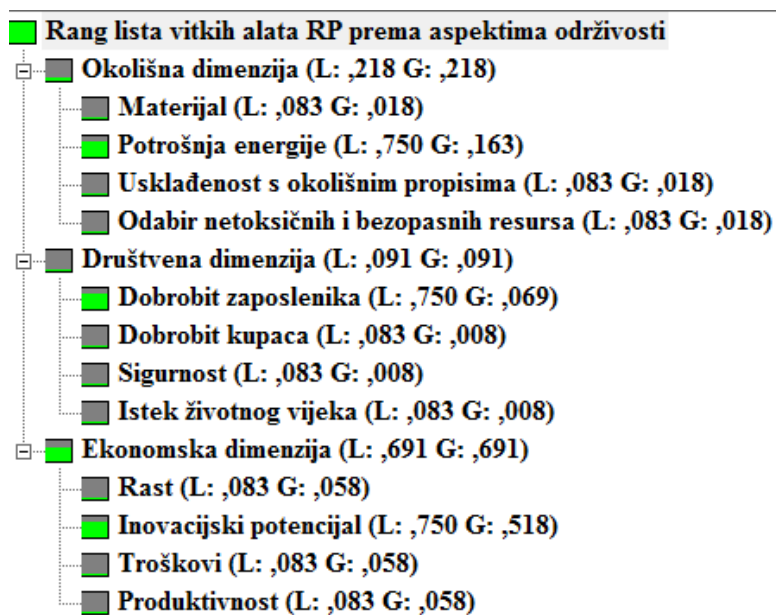
	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
Dobrobit zaposlenika		9,0	9,0	9,0
Dobrobit kupaca			1,0	1,0
Sigurnost				1,0
Istek životnog vijeka	Incon: 0,00			

Slika 41 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 2. simulacija

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
Rast		9,0	1,0	1,0
Inovacijski potencijal			9,0	9,0
Troškovi				1,0
Produktivnost	Incon: 0,00			

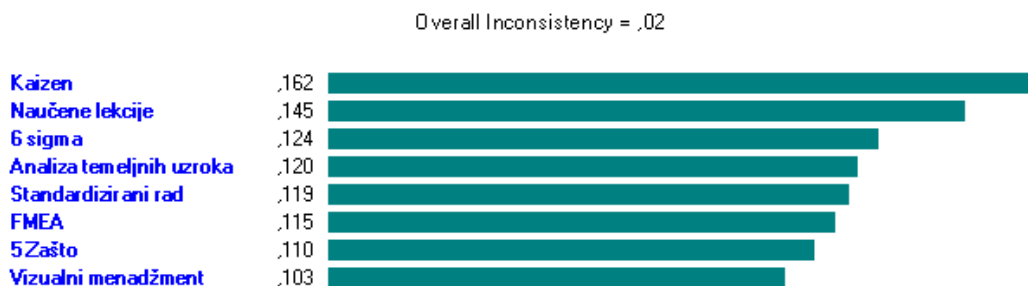
Slika 42 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 2. simulacija

Nakon završene usporedbe važnosti dimenzija i aspekata u parovima, dobiveni su težinski koeficijenti aspekata, što prikazuje Slika 43. Svaki od dominantnih aspekata ima najveću težinu i na lokalnoj i na globalnoj razini. Na lokalnoj razini potrošnja energije, dobrobit zaposlenika i inovacijski potencijal imaju težinu 0,250. Na globalnoj razini težina se mijenja zbog različite težine dimenzija i iznosi  $G = 0,163$  za potrošnju energije,  $G = 0,069$  za dobrobit zaposlenika i  $G = 0,518$  za inovacijski potencijal.



Slika 43 Težinski koeficijenti aspekata u 2. testnoj simulaciji

Ukupni rezultat ocjenjivanja aspekata u drugoj simulaciji (Slika 44) pokazuje da je prema svim kriterijima i potkriterijima najbolji alat (alternativa) kaizen s prioritetom 0,162. Dobivena lista prioriteta alata s pomoću AHP metode odgovara očekivanim pretpostavljenim rezultatima. Druga testna simulacija pokazala je da model utjecaja daje očekivane rezultate.



Slika 44 Ukupni rezultat 2. simulacije –lista prioriteta vitkih alata

### 5.3.1.3. Treća testna simulacija

Treći simulirani scenarij temelji se na pretpostavci da ispitanik daje prednost okolišnoj dimenziji, a aspekti usklađenosti s okolišnim propisima, sigurnosti i isteka životnog vijeka imaju ekstremnu važnost. To su aspekti kod kojih alat naučene lekcije ima najveći prosječni rang. Ostalim aspektima je u međusobnoj usporedbi dana jednaka važnost. U ovoj kombinaciji očekuje se da će u dobivenom rangu alata prema AHP metodi naučene lekcije imati najveći prioritet.

Međusobne usporedbe kriterija – dimenzija održivosti prema cilju rangiranja vitkih alata prikazane su na Slika 45. Međusobne usporedbe aspekata prema okolišnom, društvenom i ekonomskom kriteriju prikazane su na Slika 46, Slika 47 i Slika 48. Crvene brojke u matrici usporedbi označuju recipročnu vrijednost, primjerice, prema Slika 46 crveni broj 9 predstavlja brojku 1/9, tj. da aspekt usklađenosti s okolišnim propisima ima prednost, odnosno ekstremnu važnost u odnosu na aspekt materijala i potrošnje energije.

Zbog pretpostavke da su aspekti u kojima naučene lekcije imaju najveći prosječni rang ekstremno važni u odnosu na ostale, ocjene u matricama usporedbi za usklađenost s okolišnim propisima, sigurnosti i istekom životnog vijeka iznose 9. Preostali aspekti međusobno imaju jednaku važnost – ocjena 1, kao i sigurnost i istek životnog vijeka međusobno. Zbog toga što naučene lekcije u ekonomskim aspektima nemaju visoki prosječni rang, ekonomskim aspektima međusobno je dana jednaka važnost. Indeks konzistentnosti u usporedbama dimenzija je ispod 0,10 što znači da su procjene konzistentne. Indeks konzistentnosti u svim usporedbama aspekata iznosi 0, što znači da je procjena idealno konzistentna.

	Okolišna dimenzija	Društvena dimenzija	Ekonomska dimenzija
Okolišna dimenzija		5,0	7,0
Društvena dimenzija			3,0
Ekonomska dimenzija	Incon: 0,06		

Slika 45 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 3. simulacija

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
Materijal		1,0	9,0	1,0
Potrošnja energije			9,0	1,0
Usklađenost s okolišnim propisima				9,0
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Incon: 0,00			

Slika 46 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 3. simulacija

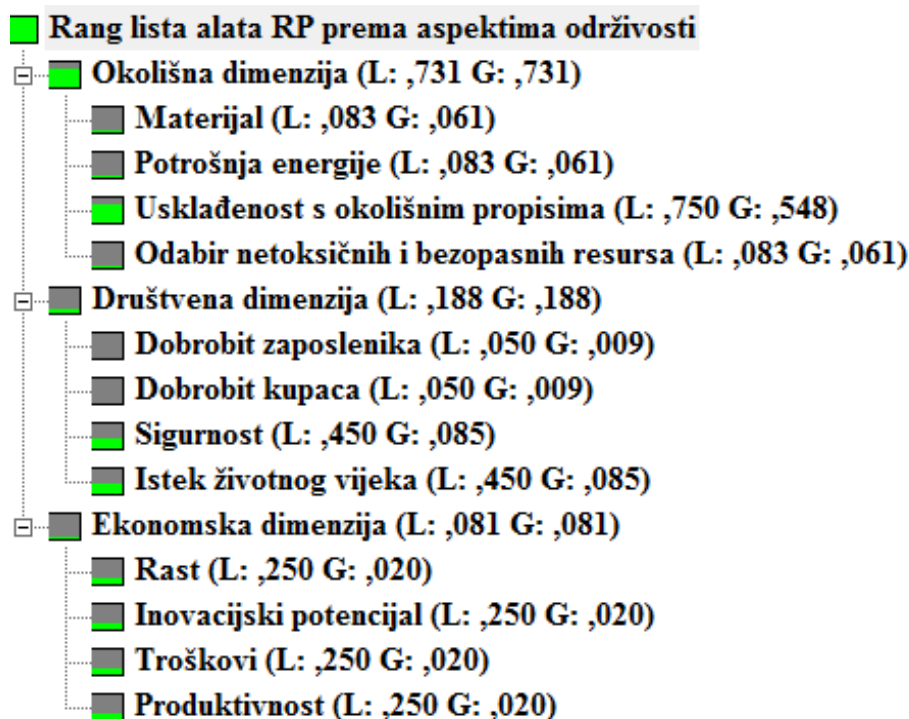
	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
Dobrobit zaposlenika		1,0	9,0	9,0
Dobrobit kupaca			9,0	9,0
Sigurnost				1,0
Istek životnog vijeka	Incon: 0,00			

Slika 47 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 3. simulacija

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
Rast		1,0	1,0	1,0
Inovacijski potencijal			1,0	1,0
Troškovi				1,0
Produktivnost	Incon: 0,00			

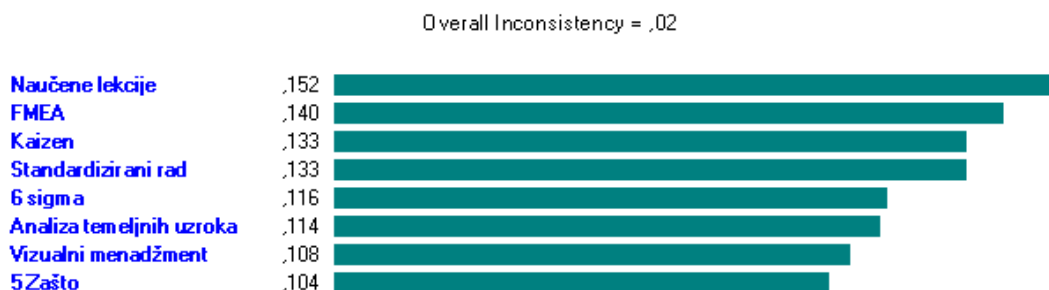
Slika 48 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 3. simulacija

Nakon završene usporedbe važnosti aspekata u parovima, dobiveni su težinski koeficijenti aspekata (Slika 49). Usklađenost s okolišnim propisima ima najveću globalnu težinu 0,750, a lokalna težina je 0,548. Sigurnost ima globalni težinski faktor 0,045, a lokalni iznosi  $L = 0,238$ . Istek životnog vijeka ima globalni težinski faktor 0,026, a lokalni iznosi  $L = 0,139$ .



Slika 49 Težinski koeficijenti aspekata u 3. testnoj simulaciji

Ukupni rezultat ocjenjivanja aspekata u trećoj simulaciji (Slika 50) pokazuje da je prema svim kriterijima i potkriterijima najbolji alat (alternativa) naučene lekcije s prioritetom 0,152. Dobivena lista prioriteta alata s pomoću AHP metode odgovara očekivanim pretpostavljenim rezultatima. Treća testna simulacija pokazala je da model utjecaja daje očekivane rezultate.



Slika 50 Ukupni rezultat 3. simulacije –lista prioriteta vitkih alata

#### 5.3.1.4. Četvrta testna simulacija

Četvrti simulirani scenarij temelji se na pretpostavci da ispitanik daje prednost društvenoj dimenziji, aspekta usklađenosti s okolišnim propisima ima strogu važnost, a dobrobit kupaca, sigurnost i istek životnog vijeka imaju ekstremnu važnost. To su aspekti kod kojih alat FMEA ima najveći prosječni rang. Ostalim aspektima je u međusobnoj usporedbi dana jednaka važnost. U ovoj kombinaciji očekuje se da će u dobivenom rangju alata prema AHP metodi FMEA imati najveći prioritet.

Međusobne usporedbe kriterija – dimenzija održivosti prema cilju rangiranja vitkih alata prikazuje Slika 51. Međusobne usporedbe aspekata prema okolišnom, društvenom i ekonomskom kriteriju prikazane su na Slika 52, Slika 53 i Slika 54. Crvene brojke u matrici usporedbi označuju recipročnu vrijednost, primjerice, prema Slika 51 crveni broj 7 predstavlja brojku 1/7, tj. da društvena dimenzija ima prednost, odnosno vrlo strogu važnost u odnosu na okolišnu dimenziju.

Zbog pretpostavke da su aspekti, u kojima FMEA ima najveći prosječni rang ekstremno važni u odnosu na ostale, ocjene u matricama usporedbi za sigurnost, dobrobit kupaca i istek životnog vijeka iznose 8. Preostali aspekti međusobno imaju jednaku važnost – ocjena 1. Zbog toga što FMEA u ekonomskim aspektima nema visoki prosječni rang, ekonomskim aspektima međusobno je dana jednaka važnost. Indeks konzistentnosti u svim usporedbama je ispod 0,10, što znači da su procjene konzistentne.



	Okolišna dimenzija	Društvena dimenzija	Ekonomska dimenzija
Okolišna dimenzija		7,0	3,0
Društvena dimenzija			8,0
Ekonomska dimenzija	Incon: 0,10		

Slika 51 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – 4. simulacija

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
Materijal		1,0	5,0	1,0
Potrošnja energije			5,0	1,0
Usklađenost s okolišnim propisima				5,0
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Incon: 0,00			

Slika 52 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – 4. simulacija

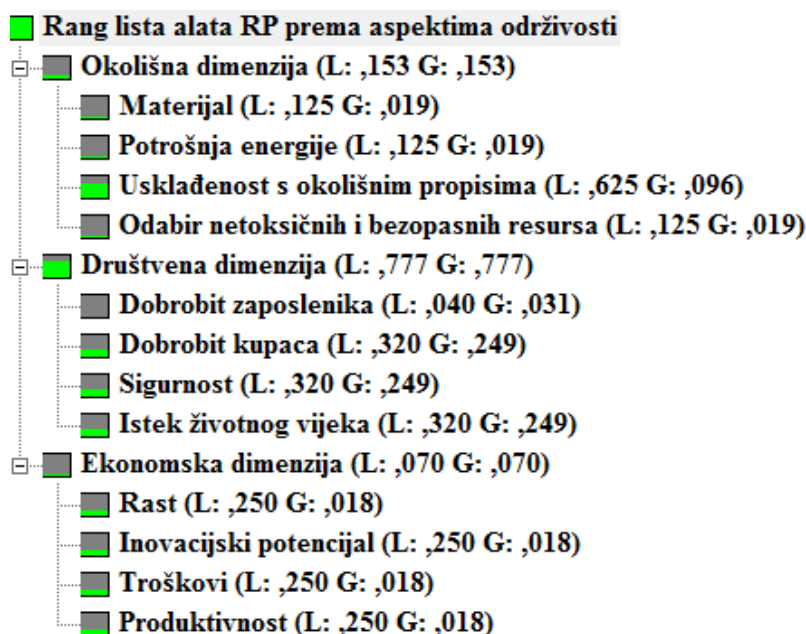
	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
Dobrobit zaposlenika		8,0	8,0	8,0
Dobrobit kupaca			1,0	1,0
Sigurnost				1,0
Istek životnog vijeka	Incon: 0,00			

Slika 53 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – 4. simulacija

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
Rast		1,0	1,0	1,0
Inovacijski potencijal			1,0	1,0
Troškovi				1,0
Produktivnost	Incon: 0,00			

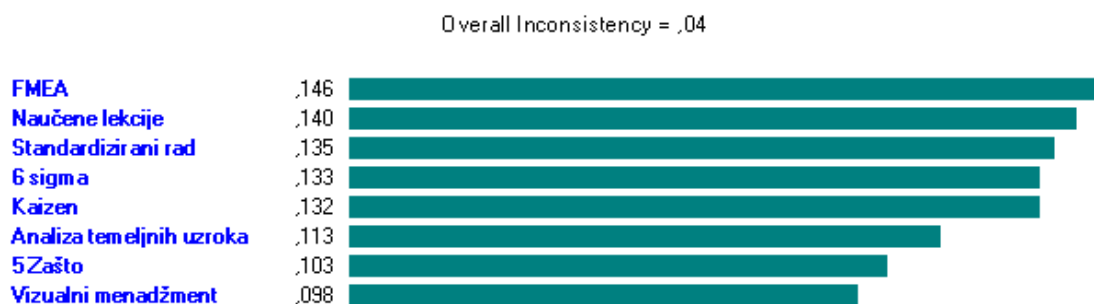
Slika 54 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – 4. simulacija

Nakon završene usporedbe važnosti aspekata u parovima dobiveni su težinski koeficijenti aspekata. Usklađenost s okolišnim propisima ima najveću globalnu težinu 0,096, a lokalna je 0,625. Sigurnost, dobrobit kupaca i istek životnog vijeka imaju globalni težinski faktor 0,249, a lokalni iznosi  $L = 0,320$ .



Slika 55 Težinski koeficijenti aspekata u 4. testnoj simulaciji

Ukupni rezultat ocjenjivanja aspekata u četvrtoj simulaciji (Slika 56) pokazuje da je prema svim kriterijima i potkriterijima najbolji alat (alternativa) FMEA s prioritetom 0,146. Slijede ga alati naučene lekcije, kaizen i standardizirani rad. Dobivena lista prioriteta alata s pomoću AHP metode odgovara očekivanim pretpostavljenim rezultatima. Četvrta testna simulacija pokazala je da model utjecaja daje očekivane rezultate.



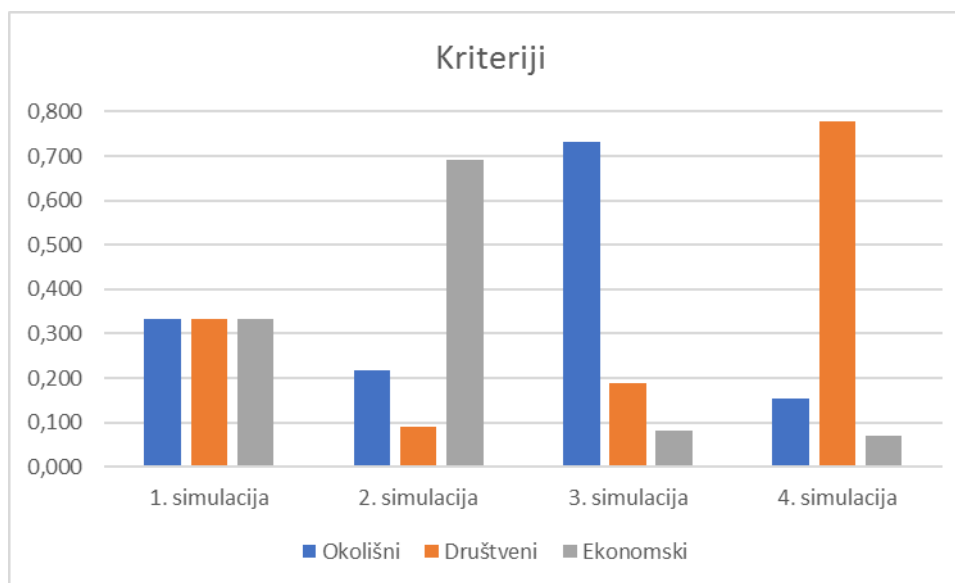
Slika 56 Ukupni rezultat 4. simulacije –lista prioriteta vitkih alata

### 5.3.1.5. Zaključak o provedenom testiranju rada modela sa simuliranim podacima

Težinski koeficijenti dimenzija dobiveni su iz matrica međusobnih usporedbi okolišnih, društvenih i ekonomskih aspekata. Tablica 54 daje prikaz svih težinskih koeficijenata u svim četirima simuliranim scenarijima, a Slika 57 vizualno prikazuje rezultate za svaku dimenziju grupirano po simulacijama.

**Tablica 54** Težinski koeficijenti dimenzija u svim četirima simuliranim scenarijima

Kriteriji:	1. simulacija	2. simulacija	3. simulacija	4. simulacija
Okolišni	0,333	0,218	0,731	0,153
Društveni	0,333	0,091	0,188	0,777
Ekonomski	0,333	0,691	0,081	0,070



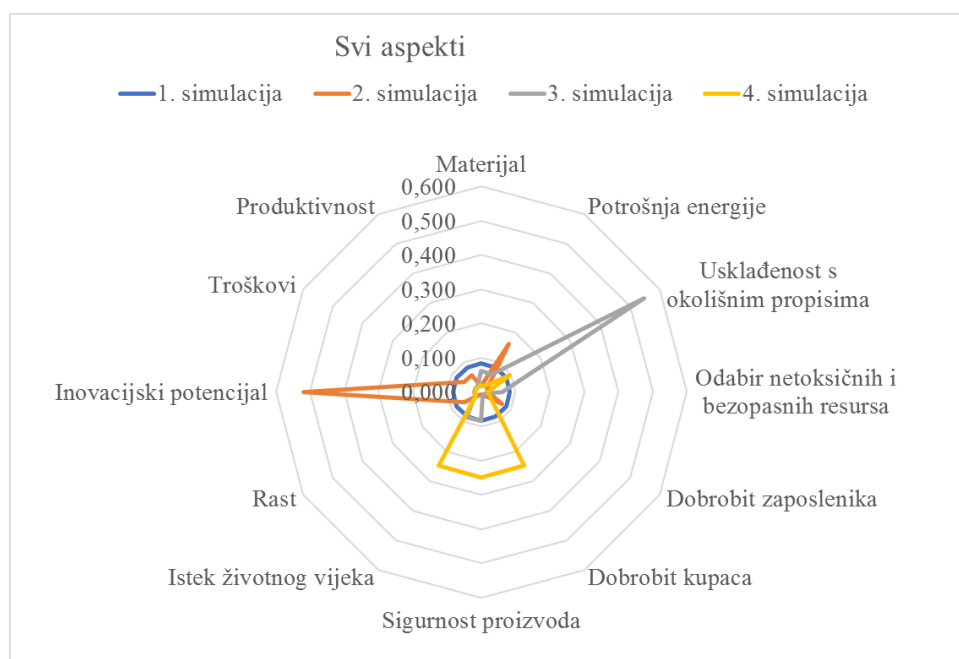
**Slika 57** Usporedba težinskih koeficijenata dimenzija u svim četirima simuliranim scenarijima

Težinski koeficijenti aspekata dobiveni su iz matrica međusobnih usporedbi okolišnih, društvenih i ekonomskih aspekata. Tablica 55 daje prikaz svih težinskih koeficijenata u svim četirima simuliranim scenarijima, a Slika 58 vizualno prikazuje rezultate za svaki aspekt zasebno.

**Tablica 55** Težinski koeficijenti aspekata u svim četirima simuliranim scenarijima

Kriteriji:	Potkriteriji:	1. simulacija	2. simulacija	3. simulacija	4. simulacija
Okolišni	Materijal	0,083	0,018	0,061	0,019
	Potrošnja energije	0,083	0,163	0,061	0,019
	Usklađenost s okolišnim propisima	0,083	0,018	0,548	0,096
	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	0,083	0,018	0,061	0,019
Društveni	Dobrobit zaposlenika	0,083	0,069	0,009	0,031

Kriteriji:	Potkriteriji:	1. simulacija	2. simulacija	3. simulacija	4. simulacija
	Dobrobit kupaca	0,083	0,008	0,009	0,249
	Sigurnost proizvoda	0,083	0,008	0,085	0,249
	Istek životnog vijeka	0,083	0,008	0,085	0,249
Ekonomski	Rast	0,083	0,058	0,020	0,018
	Inovacijski potencijal	0,083	0,518	0,020	0,018
	Troškovi	0,083	0,058	0,020	0,018
	Produktivnost	0,083	0,058	0,020	0,018



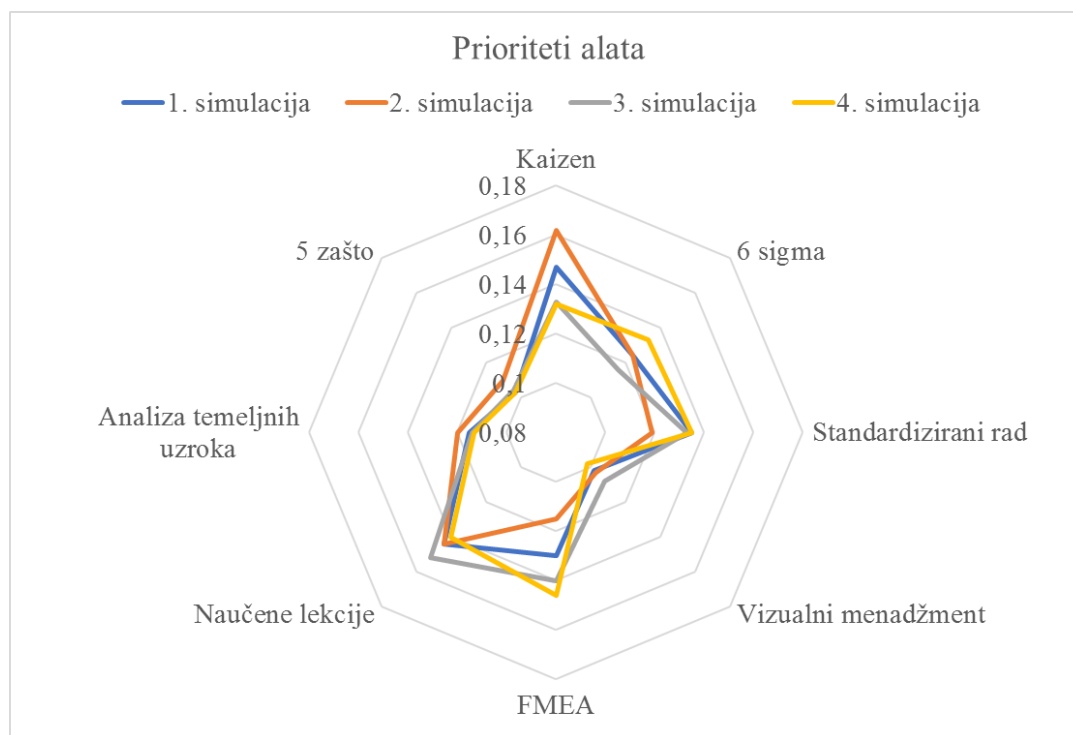
Slika 58 Usporedba težinskih koeficijenata aspekata u svim četirima simuliranim scenarijima

Tablica 56 i Slika 59 daju listu prioriteta vitkih alata, proizašlu iz navedenih koeficijenata.

Tablica 56 Lista prioriteta vitkih alata u svim četirima simuliranim scenarijima

1. simulacija		2. simulacija		3. simulacija		4. simulacija	
Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet
Kaizen	0,147	Kaizen	0,162	Naučene lekcije	0,133	FMEA	0,132
Naučene lekcije	0,124	Naučene lekcije	0,124	FMEA	0,116	Naučene lekcije	0,133
Standardizirani rad	0,135	6 sigma	0,119	Kaizen	0,133	Kaizen	0,135

1. simulacija		2. simulacija		3. simulacija		4. simulacija	
Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet	Alternativa	Prioritet
FMEA	0,102	Standardizirani rad	0,103	Standardizirani rad	0,108	Standardizirani rad	0,098
6 sigma	0,130	FMEA	0,115	6 sigma	0,140	6 sigma	0,146
Analiza temeljnih uzroka	0,144	Analiza temeljnih uzroka	0,144	Vizualni menadžment	0,152	Analiza temeljnih uzroka	0,140
Vizualni menadžment	0,115	Vizualni menadžment	0,120	Analiza temeljnih uzroka	0,114	5 zašto	0,113
5 zašto	0,103	5 zašto	0,110	5 zašto	0,104	Vizualni menadžment	0,103



Slika 59 Usporedba prioriteta vitkih alata u svim četirima simuliranim scenarijima

Sve četiri testne simulacije pokazale su da model utjecaja daje očekivane rezultate.

### 5.3.2. Testiranje rada modela u realnim uvjetima s podacima iz kompanije

U prvom koraku postupka verifikacije modela korištenjem simuliranih podataka pokazano je da model daje očekivane rezultate i radi ispravno. U drugom koraku provedeno je testiranje rada modela korištenjem realnih podataka iz kompanije. Za provedbu testiranja

izabrana je kompanija K1, koja je prema autoričinom mišljenju najzrelija po pitanju održivosti među kompanijama koje su sudjelovale u istraživanju te uz to u svojem radu aktivno koristi alate prisutne u modelu. Ispitanik je iskusni inženjer konstruktor s više od 8 godina iskustva. Ulazni podaci dobiveni su ispunjavanjem upitnika za usporedbu kriterija i potkriterija u modelu (Prilog 3). Kod svih usporedbi parova kriterija i potkriterija pazilo se da vrijednost omjera konzistentnosti (CR) ne bude veća od 0,10.

Međusobne usporedbe kriterija – dimenzija održivosti prema cilju rangiranja vitkih alata i mišljenju ispitanika iz kompanije prikazuje Slika 60. Crvene brojke u matrici usporedbi označuju recipročnu vrijednost. Crveni broj 5 predstavlja brojku 1/5, tj. da ekonomska dimenzija ima prednost, odnosno strogo je važnija u odnosu na društvenu dimenziju. Indeks konzistentnosti u usporedbi je 0,09, što je ispod granice 0,10, a to znači da su procjene konzistentne.

	Okoliš na dimenzija	Društvena dimenzija	Ekonomska dimenzija
Okoliš na dimenzija		4,0	2,0
Društvena dimenzija			(5,0)
Ekonomska dimenzija	Incon: 0,09		

Slika 60 Matrica međusobnih usporedbi dimenzija održivosti – realni podaci

Međusobne usporedbe aspekata prema okolišnom kriteriju po mišljenju ispitanika iz kompanije prikazuje Slika 61. Usklađenost s okolišnim propisima i odabir netoksičnih i bezopasnih resursa su prema kompaniji međusobno jednako važne (ocjena 1) i vrlo strogo važnije od materijala i potrošnje energije (ocjena 7). Materijal je umjereno do strogo važniji od potrošnje energije (ocjena 4). Indeks konzistentnosti u usporedbi je 0,09, što je ispod granice 0,10, a to znači da su procjene konzistentne.

	Materijal	Potrošnja energije	Usklađenost s okolišnim propisima	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
Materijal		4,0	(7,0)	(7,0)
Potrošnja energije			(7,0)	(7,0)
Usklađenost s okolišnim propisima				1,0
Odabir netoksičnih i bezopasnih re:	Incon: 0,09			

Slika 61 Matrica međusobnih usporedbi okolišnih aspekata – realni podaci

Međusobne usporedbe aspekata prema društvenom kriteriju po mišljenju ispitanika iz kompanije prikazuje Slika 62. Sigurnost je jednako važna kao dobrobit kupaca (ocjena 1) i

strogo važnija od dobrobiti zaposlenika i isteka životnog vijeka (ocjena 5). Dobrobit kupaca je jednako do umjereno važnija od isteka životnog vijeka (ocjena 2) i umjereno važnija od dobrobiti zaposlenika (ocjena 3). Istek životnog vijeka umjereno je važniji od dobrobiti zaposlenika (ocjena 3). Indeks konzistentnosti u usporedbi je 0,07, što je ispod granice 0,10, a to znači da su procjene konzistentne.

	Dobrobit zaposlenika	Dobrobit kupaca	Sigurnost	Istek životnog vijeka
Dobrobit zaposlenika		(3,0)	(5,0)	(3,0)
Dobrobit kupaca			1,0	2,0
Sigurnost				5,0
Istek životnog vijeka	Incon: 0,07			

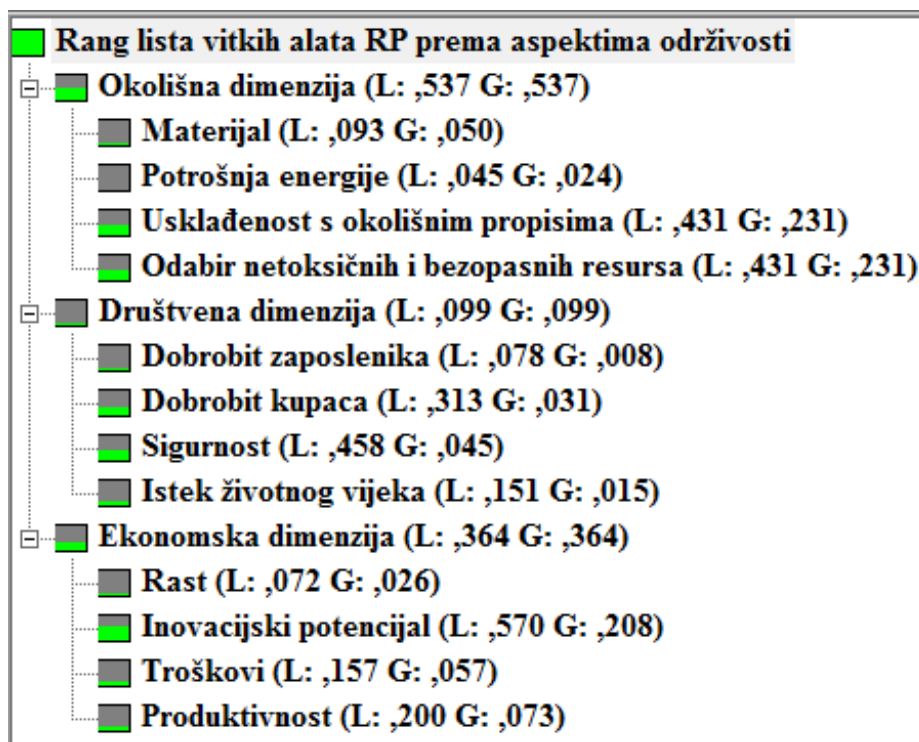
Slika 62 Matrica međusobnih usporedbi društvenih aspekata – realni podaci

Međusobne usporedbe aspekata prema ekonomskom kriteriju po mišljenju ispitanika iz kompanije prikazuje Slika 63. Inovacijski potencijal umjereno je važniji od troškova (ocjena 3) i strogo važniji od produktivnosti i rasta (ocjena 5). Troškovi su umjereno važniji od rasta (ocjena 3) i jednako do umjereno važniji od produktivnosti (ocjena 2). Produktivnost je umjereno važnija od rasta (ocjena 3). Indeks konzistentnosti u usporedbi je 0,08, što je ispod granice 0,10, a to znači da su procjene konzistentne.

	Rast	Inovacijski potencijal	Troškovi	Produktivnost
Rast		(5,0)	(3,0)	(3,0)
Inovacijski potencijal			3,0	5,0
Troškovi				(2,0)
Produktivnost	Incon: 0,08			

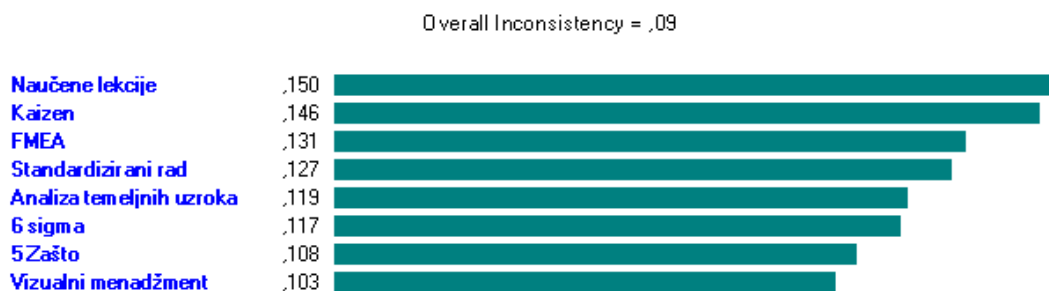
Slika 63 Matrica međusobnih usporedbi ekonomskih aspekata – realni podaci

Nakon završene usporedbe važnosti dimenzija i aspekata u parovima, dobiveni su težinski koeficijenti dimenzija i aspekata. Prema ispitaniku, okolišna dimenzija je najvažnija s težinom 0,537. Usklađenost s okolišnim propisima i odabir netoksičnih i bezopasnih resursa imaju najveće globalne težine – 0,231. Na trećem mjestu nalazi se inovacijski potencijal sa 0,208.



Slika 64 Težinski koeficijenti aspekata s realnim podacima

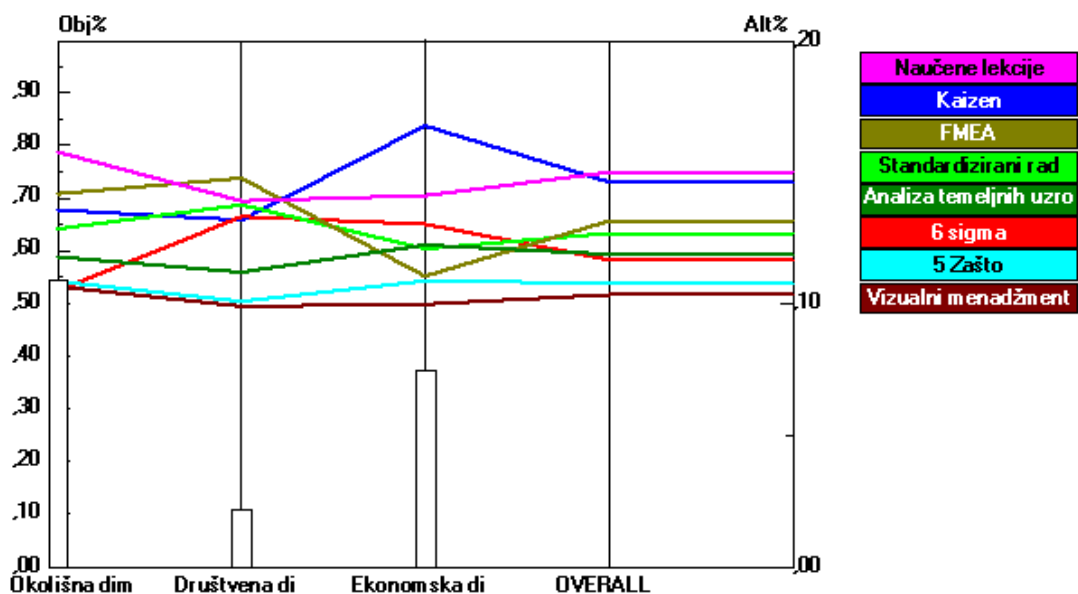
Ukupni rezultat ocjenjivanja aspekata (Slika 65) pokazuje da je prema svim kriterijima i potkriterijima najbolji alat (alternativa) naučene lekcije s prioritetom 0,150. Slijede ga alati kaizen (0,146) i FMEA (0,131). Rezultati (težine) su omjerne vrijednosti, što znači da su naučene lekcije  $0,150/0,103 = 1,45$  puta bolji, poželjniji alat od 5 zašto. Cjelokupni indeks konzistentnosti usporedbi je 0,09, što je ispod granice 0,10, čime je konzistentnost zadovoljena.



Slika 65 Ukupni rezultat s realnim podacima – lista prioriteta vitkih alata

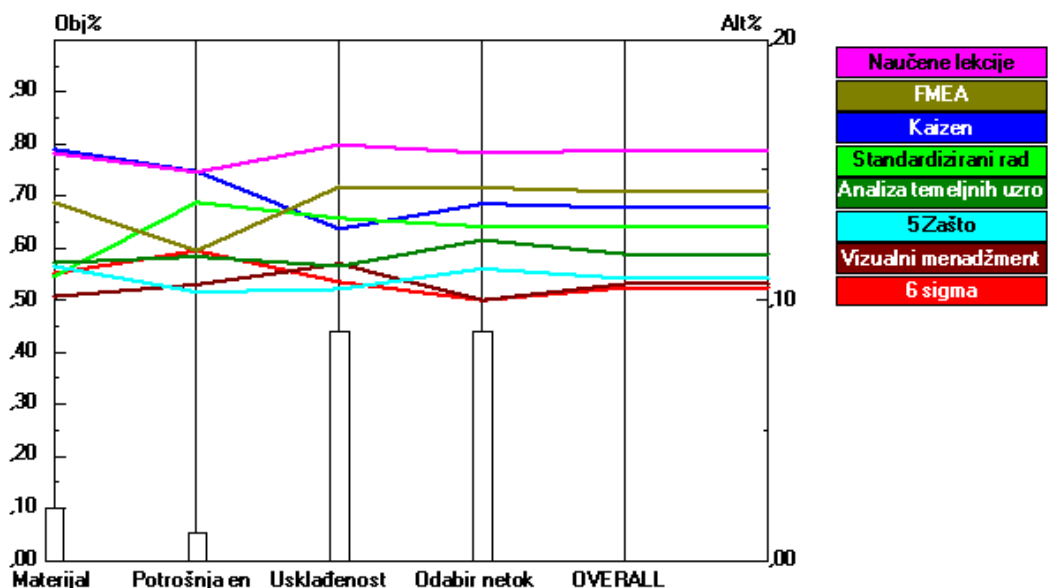
Grafički prikaz ukupnih rezultata (Slika 66) pokazuje da je prema usporedbama i prioritetima koje je postavio ispitanik iz kompanije, alat naučene lekcije najbolji izbor ukupno i prema okolišnom kriteriju. Kaizen je najbolji izbor po ekonomskom kriteriju, dok je prema društvenom to FMEA.





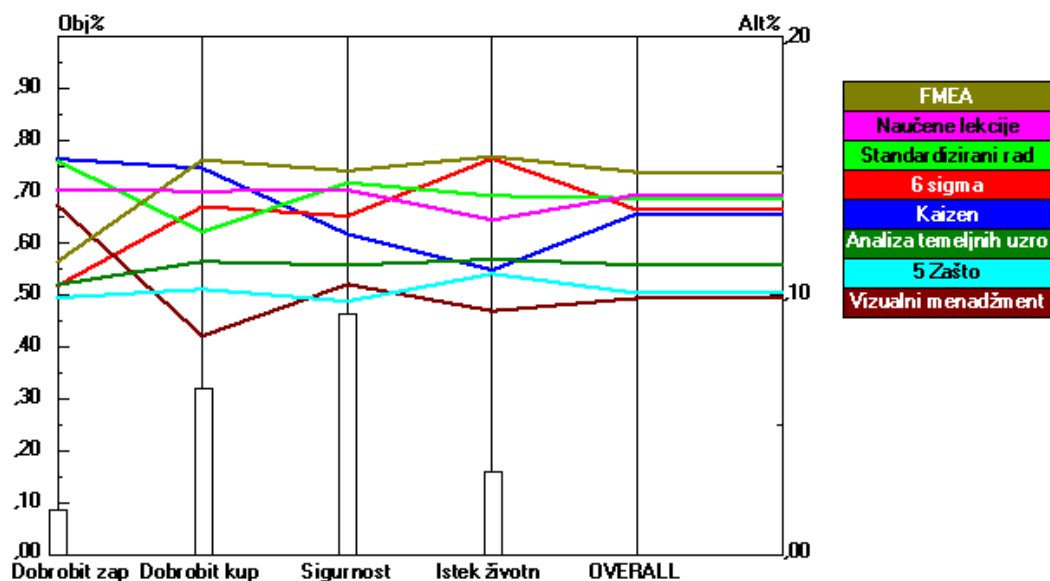
Slika 66 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije

Slika 67 daje grafički prikaz rezultata promatra li se samo okolišna dimenzija. Alat naučene lekcije najbolji je izbor ukupno i prema svim okolišnim aspektima osim materijala i potrošnje energije.



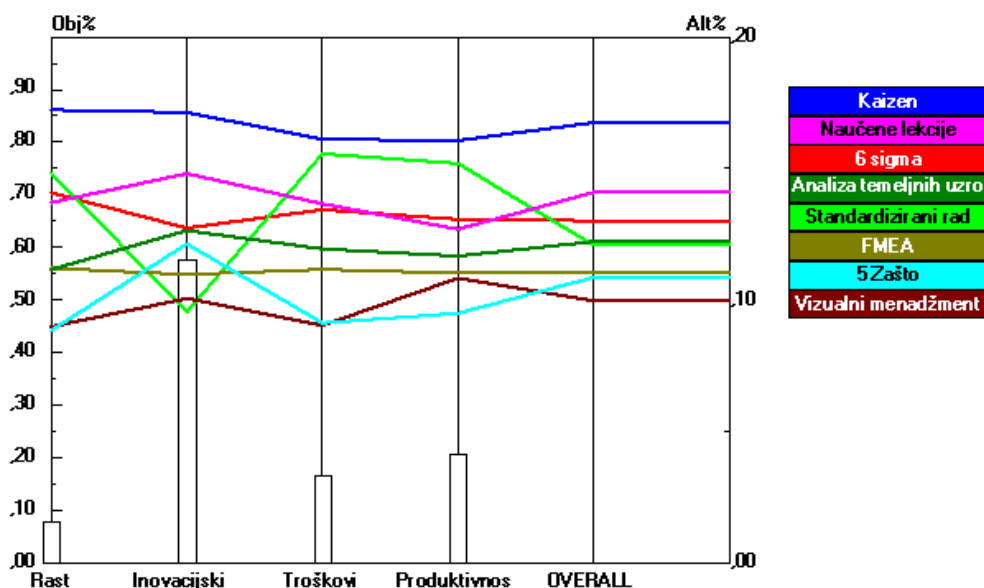
Slika 67 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – okolišna dimenzija

Slika 68 daje grafički prikaz rezultata ako se promatra samo društvena dimenzija. Alat FMEA najbolji je izbor ukupno i prema svim okolišnim aspektima osim dobrobiti zaposlenika, za koji je najbolji izbor kaizen.



Slika 68 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – društvena dimenzija

Grafički prikaz rezultata promatranja samo ekonomske dimenzije daje Slika 69. Alat kaizen najbolji je izbor ukupno i prema svim ekonomskim aspektima.

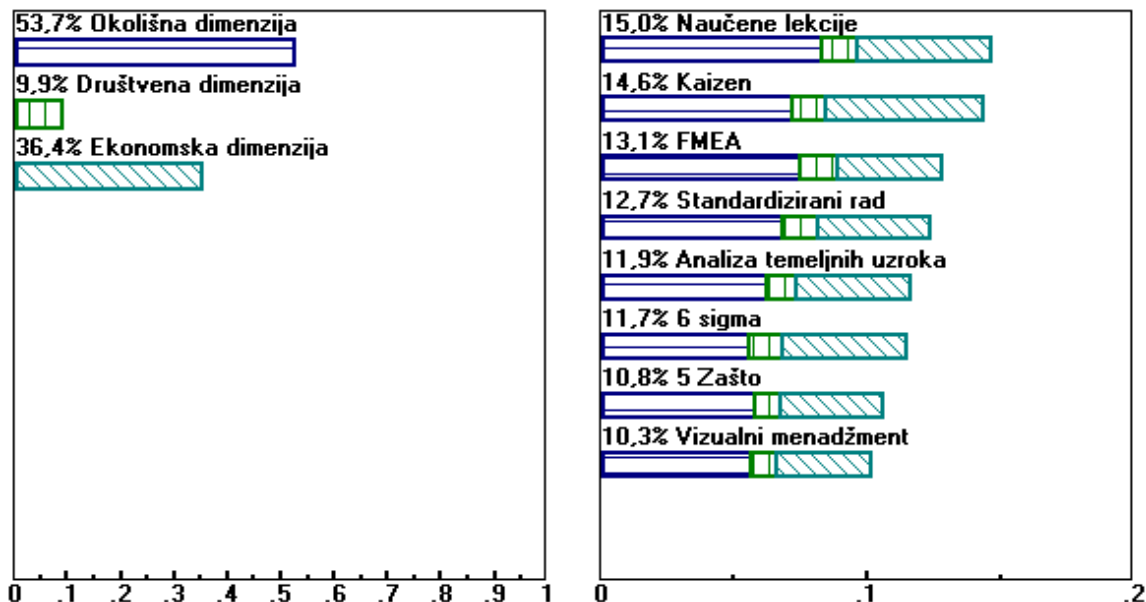


Slika 69 Grafički prikaz performansi modela prema ocjenama kompanije – ekonomska dimenzija

Grafički prikaz performansi modela omogućuje da se lakše i brže uoči kojim vitkim alatom se najviše utječe na određenu dimenziju i aspekt, a prema kriterijima koje je postavila kompanija.

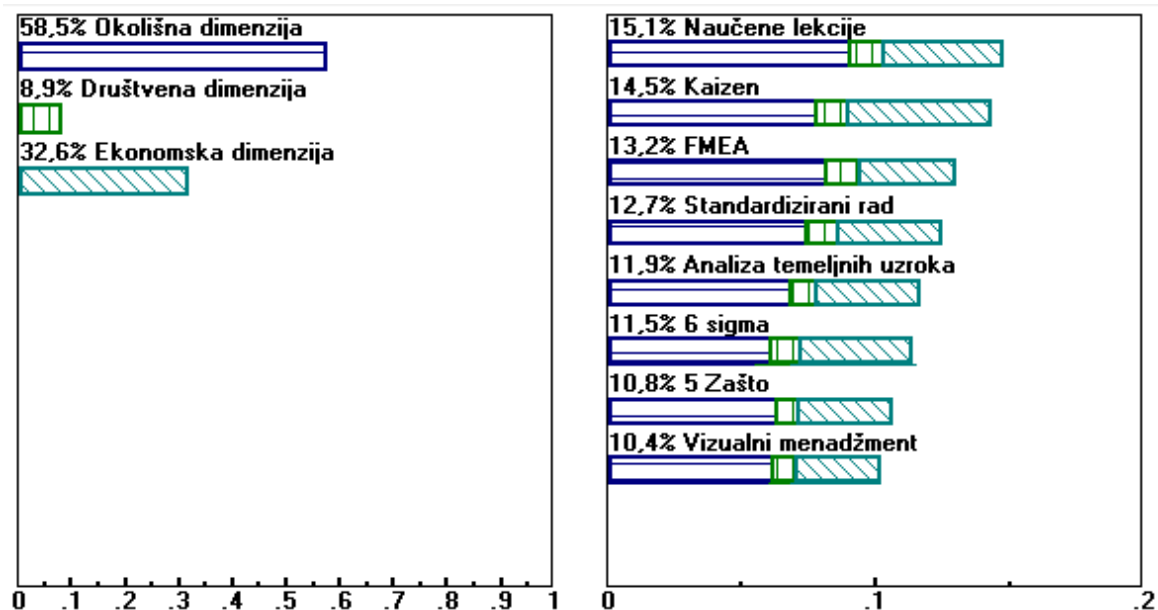
Dinamički prikaz osjetljivosti modela pokazuje udjele težina pojedinih kriterija (dimenzija) u ukupnom prioritetu alternativa (alata) izražene u postocima. Nalaze se na

grafikonima na Slika 70, prema kojoj kriterij *okolišna dimenzija* pridonosi najviše prioriteta alata, što je u redu s obzirom na to da taj kriterij ima najveći težinski koeficijent – 0,537.

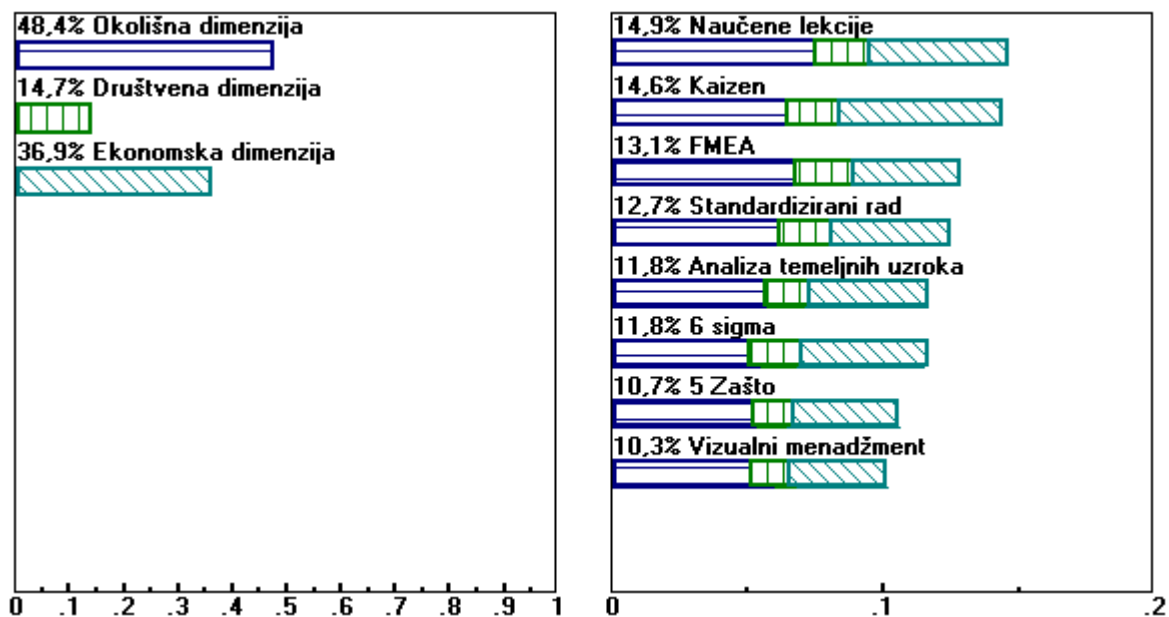


Slika 70 Dinamički prikaz osjetljivosti modela

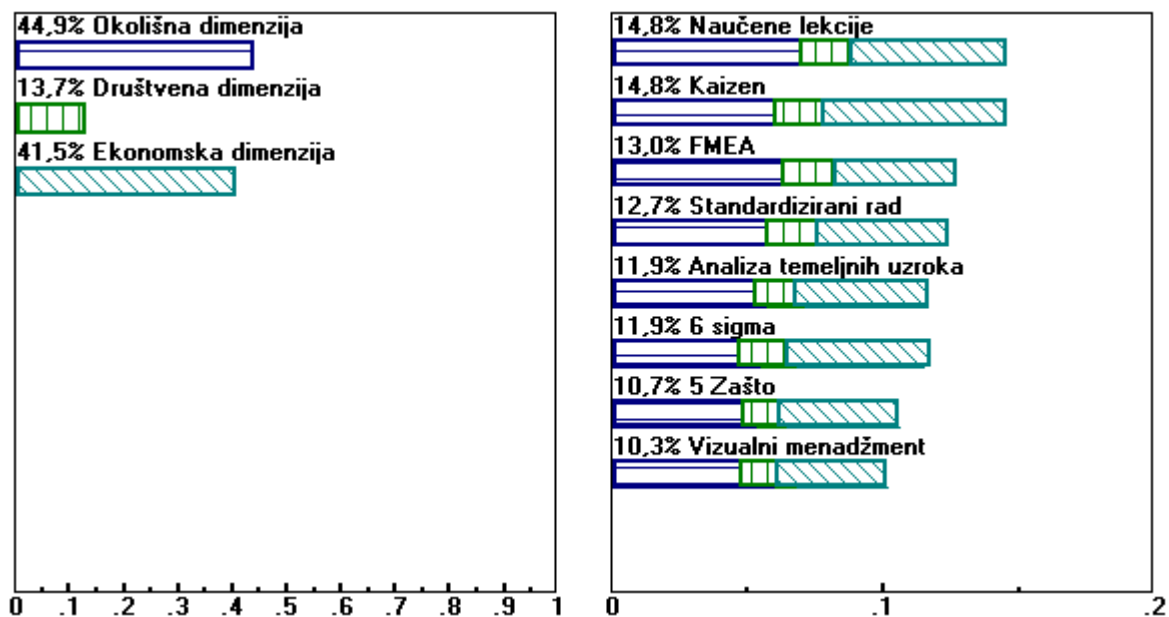
Dinamički prikaz služi i za analizu osjetljivosti jer može simulirati kako se mijenjanjem težina pojedinih kriterija događaju promjene u prioritetima alternativa. Stoga je provedena analiza osjetljivosti tako da se postotak udjela kriterija povećao za 5 posto te se promatralo što će se dogoditi s rangovima alata. Slika 71 pokazuje situaciju kada se težina okolišnog kriterija poveća za 5 % (sa 53,7 % na 58,5 %), Slika 72 društvenog (sa 9,9 % na 14,7 %), a Slika 73 ekonomskog (sa 36,4 % na 41,5 %). Poredak alata nije se promijenio ni u jednoj simulaciji i stoga je zaključak da povećanje od 5 % u težinama kriterija ne mijenja poredak i da je model stabilan pri malim promjenama.



Slika 71 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni okolišnog kriterija za + 5 %



Slika 72 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni društvenog kriterija za + 5 %

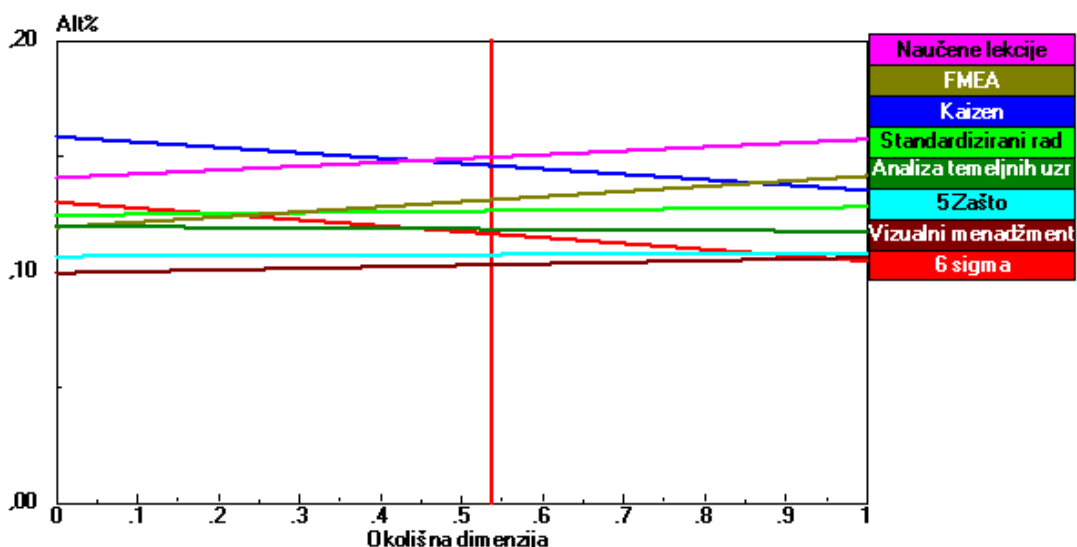


Slika 73 Dinamički prikaz osjetljivosti modela pri promjeni ekonomskog kriterija za + 5 %

Gradijent analiza osjetljivosti daje uvid u prioritete alternativa u odnosu na težinu pojedinog kriterija ili potkriterija. Ona omogućuje analizu osjetljivosti prioriteta alternativa na promjene težina pojedinih kriterija. Vertikalna linija na prikazima označava koeficijent važnosti za odabrani kriterij.

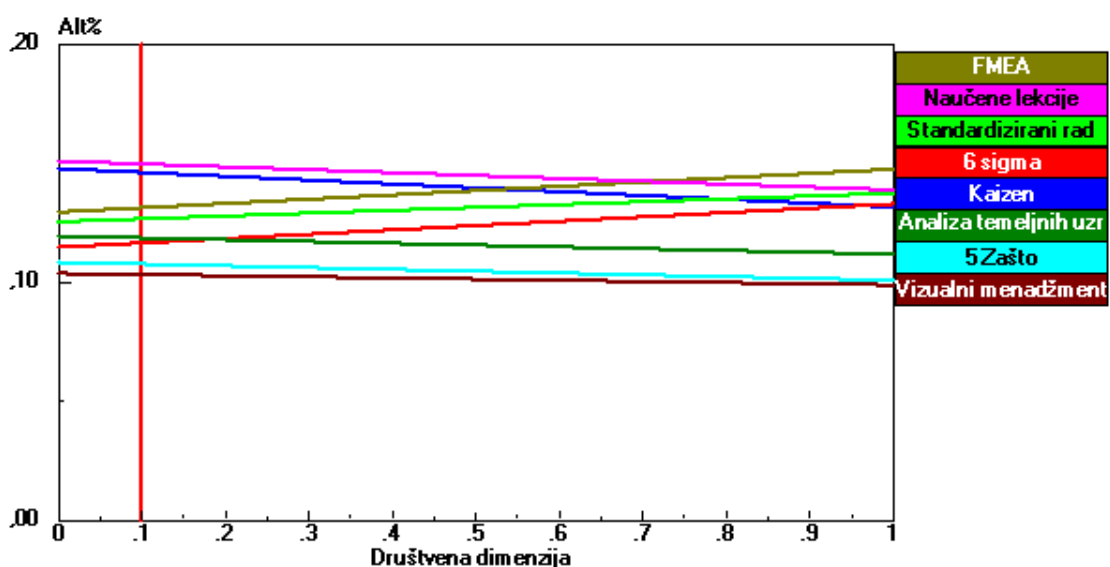
Slika 74 prikazuje težinu okolišnog kriterija na X osi, a ukupne prioritete alata prema kriterijima na Y osi. Težina okolišnog kriterija prikazana je vertikalnom linijom – vrijednost 0,537. Točna vrijednost ukupnog prioriteta alata prema kriterijima nalazi se na presjeku linije alata s vertikalnom linijom kriterija, primjerice, 0,151 za naučene lekcije.

Graf prikazuje povećava li se ili smanjuje prioritet alata promjenom težine danog kriterija. Točke presjeka linija prioriteta alata, prikazuju pri kojoj težini kriterija će doći do promjene u rangu prioriteta, primjerice, prema Slika 74 na važnosti okolišne dimenzije oko 0,43 dolazi do zamjene pozicija naučenih lekcija i kaizena. Budući da su linije alata naučene lekcije i alata FMEA gotovo paralelne, promjenom težine okolišne dimenzije nikada neće doći do zamjene njihovih poredaka.

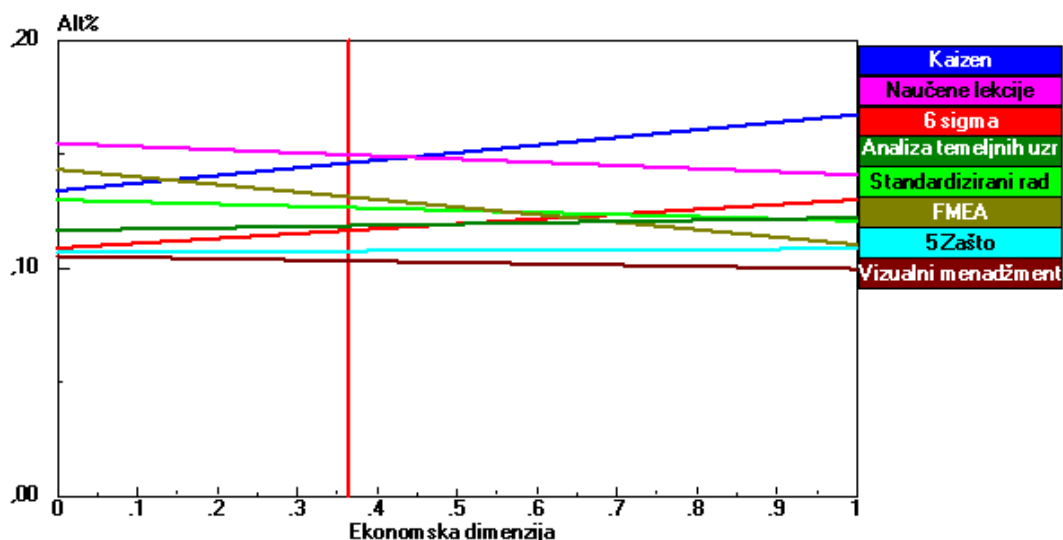


Slika 74 Gradijent analiza osjetljivosti za okolišni kriterij

Slika 75 i Slika 76 prikazuju gradijent analize osjetljivosti i za preostala dva kriterija, društveni i ekonomski. Slika 75 prikazuje da povećanjem važnosti društvenog kriterija opada prioritet naučenih lekcija i kaizena, a raste prioritet FMEA-e, 6 sigme i standardnog rada. Nasuprot tomu, povećanjem važnosti ekonomskog kriterija sa 0,364 na oko 0,42 došlo bi do promjene ranga između kaizena i naučenih lekcija. Povećanjem važnosti ekonomskog kriterija raste prioritet kaizena i 6 sigme, a opada prioritet naučenih lekcija, standardnog rada i podosta drastično prioritet FMEA.



Slika 75 Gradijent analiza osjetljivosti za društveni kriterij



Slika 76 Gradijent analiza osjetljivosti za ekonomski kriterij

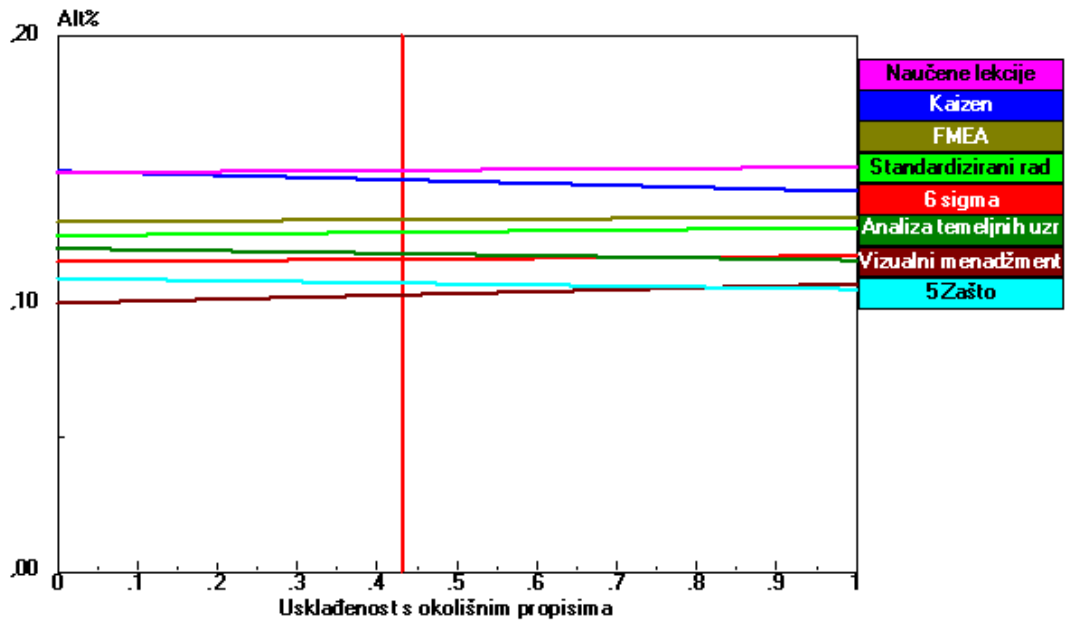
Napravljena je također gradijent analiza i prema trima najvažnijim potkriterijima – usklađenost s okolišnim propisima, odabir netoksičnih i bezopasnih resursa i inovacijski potencijal.

Graf potkriterija usklađenosti s okolišnim propisima (Slika 77) prikazuje da bi tek znatnim smanjenjem njegove težine došlo do promjene na mjestu prve alternative.

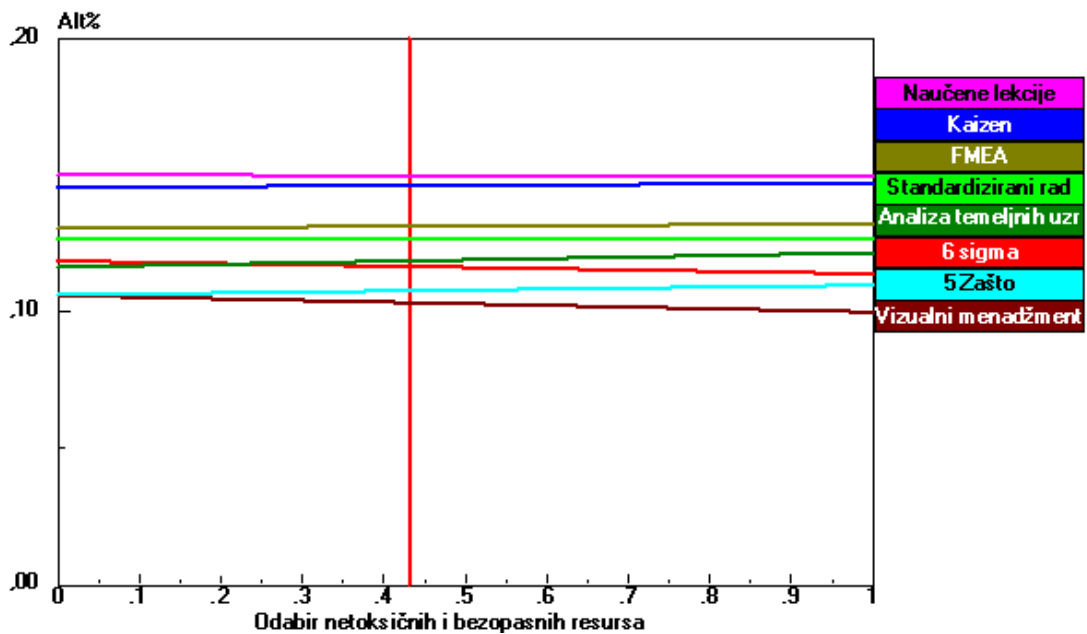
Graf potkriterija odabira netoksičnih i bezopasnih resursa (Slika 78) prikazuje da povećanjem njegove težine ne bi došlo do promjene u redoslijedu prvih alternativa.

Graf potkriterija inovacijskog potencijala (Slika 79) prikazuje da povećanjem njegove težine, također ne bi došlo do promjene u redoslijedu prvih alternativa.

Gradijent analiza osjetljivosti pokazala je da tek znatnim promjenama u težinama kriterija i potkriterija može doći do promjene u rangui alata, što pokazuje da je model stabilan.

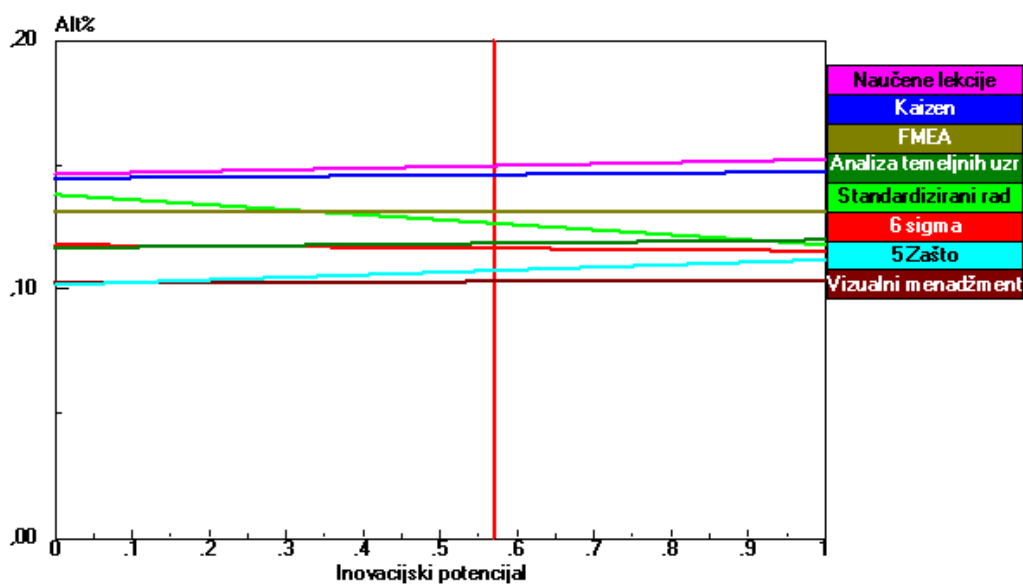


Slika 77 Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij usklađenosti s okolišnim propisima



Slika 78 Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij odabira netoksičnih i bezopasnih resursa

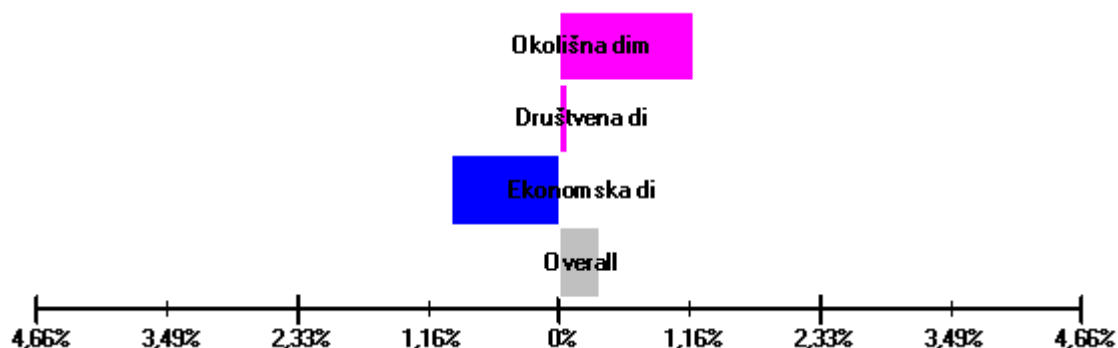




Slika 79 Gradijent analiza osjetljivosti za potkriterij inovacijskog potencijala

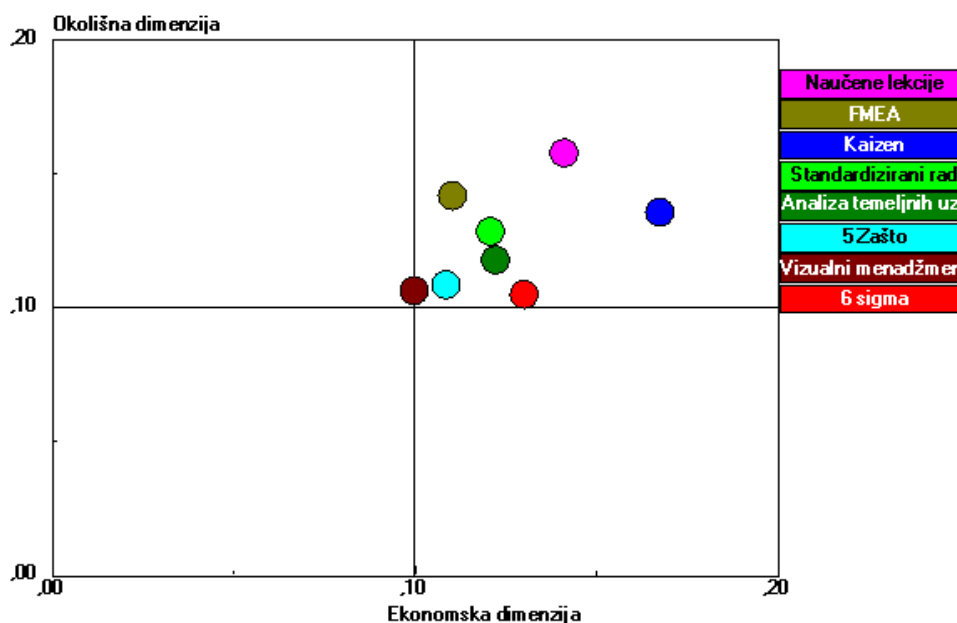
Prikaz osjetljivosti modela moguć je i preko *Head to head* analize osjetljivosti. Navedena analiza prikazuje razliku između dviju alternativa prema kriterijima, tj. odnos između alternativa i koja je od njih bolja po određenom kriteriju. Kriterijima prema kojima određena alternativa ima prednost pridruženi su pravokutnici odgovarajućih površina te su smješteni ispod alternative koja ima prednost.

Ako se suprotstave dva alata s najvišim rangom, kaizen i naučene lekcije (Slika 80), *head to head* analiza pokazuje po kojim je kriterijima i koliko koji alat bolji (važniji). Tako je kaizen bolji u ekonomskoj dimenziji, naučene lekcije bolje su u okolišnoj, a u društvenoj dimenziji imaju jako malu prednost.



Slika 80 *Head to head* analiza osjetljivosti za alate kaizen i naučene lekcije

Zadnji prikaz osjetljivosti moguć je preko 2D analize osjetljivosti koja pokazuje razliku između alternativa prema dvjema kriterijima. Ona izdvaja dva izabrana kriterija ili potkriterija i stavlja ih u odnos s alternativama. Na svakoj osi grafa prikazan je jedan kriterij. Graf je podijeljen na kvadrante te ona alternativa koja se nalazi u gornjem desnom kvadrantu ima bolji prioritet s gledišta tih dvaju kriterija. Alternative su optimalnije što su bliže tom kvadrantu i gornjem desnom kutu. Slika 81 pokazuje da prema društvenom i ekonomskom kriteriju odskaču alati naučene lekcije i kaizen, iako se svi alati nalaze u željenom kvadrantu. Naučene lekcije jače pridonose okolišnim kriterijima, a kaizen ekonomskom kriteriju.



Slika 81 2D analiza osjetljivosti za okolišni i ekonomski kriterij

Korištenjem analitičkoga hijerarhijskog procesa strukturiran je problem odabira adekvatnoga vitkog alata te njegovog utjecaja na određene aspekte. Analizama osjetljivosti prikazano je da je model neosjetljiv na promjene kriterija od 5 %.

Dobiveni rezultati pri testiranju modela sa simuliranim podacima i s realnim podacima iz kompanije prikazuju da je model stabilan i daje pouzdane rezultate rangova vitkih alata prema težinama kriterija i potkriterija koje kompanija odredi. Ovim je postupkom model prošao provjeru te je uspješno verificiran.

## 6. DISKUSIJA

U ovom poglavlju raspravlja se o rezultatima i postignuću ovog doktorskog rada. U raspravi obradit će se implikacije na istraživanje i na praktičnu primjenu te ograničenja istraživanja.

### 6.1. Implikacije na istraživanje

Iz teorijske perspektive, rad nadopunjuje nedostatke identificirane tijekom pregleda literature. Uz nedostatak sistematizacije vitkih alata razvoja proizvoda koji mogu utjecati na aspekte održivosti i sistematizacije tih aspekata, posebno je uočena potreba i za definiranjem odnosa između alata vitkog razvoja proizvoda i aspekata održivosti. Također rad popunjava prazninu nudeći model koji pri određivanju tih odnosa obuhvaća sve tri dimenzije održivosti (tj. okoliš, društvo i ekonomija). Model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti koji je razvijen u ovom radu koristi ulazne vrijednosti, dimenzije i aspekte održivosti koji se žele postići, kako bi kao izlazne vrijednosti ponudio rang listu vitkih alata kojima će se ti aspekti postići. Pri tome je odnos vitkih alata i aspekata određen Friedmanovim testom, a na temelju ankete i ocjena stručnjaka. Dimenzije održivosti sadržane su u modelu kao kriteriji odabira alata, a aspekti održivosti kao potkriteriji. Važnost dimenzija i aspekata kao ulaznih vrijednosti određuje korisnik kroz usporedbe u paru. Time je model obuhvatio sve tri dimenzije održivosti.

Samo je nekoliko autora predložilo modele koji uzimaju u obzir sve tri dimenzije održivosti u potpunosti [18]. Pristup određivanja postignutih aspekata održivosti pri razvoju proizvoda [18] uključuje aspekte iz svih triju dimenzija održivosti koje bi trebalo postići i kreira listu zadataka za ispunjenje tih aspekata, no ne nudi kojim vitkim alatima se mogu ti zadaci izvršiti i tako postići odgovarajući aspekti. Model razvijen u ovom radu povezo je aspekte koji se žele postići s vitkim alatima.

U svom pregledu literature o vitkim alatima autori Barcia, Castro i Moran [33] utvrdili su da se 66 % radova o održivosti pokriva samo ekonomska dimenzija, 12 % pokriva ekonomsku i okolišnu dimenziju, a samo 10 % pokriva sve tri dimenzije održivosti. Društvena dimenzija je najmanje proučavana, ostavljajući prazninu za daljnja istraživanja. U ovom radu jednaka pažnja se pridodala i društvenoj dimenziji održivosti. Pronađeni su društveni aspekti, analizirani najučestaliji i uvršteni u anketu čiji rezultati su pokazali da odabrani vitki alati imaju pozitivan

utjecaj na njihovo ispunjenje. Prema rezultatima provedenog Friedmanovog testa, najveći utjecaj na društvene aspekte ima alat FMEA, slijede ga standardizirani rad, naučene lekcije, kaizen pa 6 sigma. Društveni aspekti uvršteni su i u model odlučivanja u jednakoj brojčanoj zastupljenosti (četiri) kao i aspekti iz preostale dvije dimenzije. Izlazni rezultati modela utjecaja omogućuju i prikaz rang liste važnosti samo društvenih aspekata koji se žele postići i shodno tome i vitkih alata koji to omogućuju.

Nasuprot pristupu [18] su autori [31] koji uključuju samo okolišne i ekonomske aspekte i [32] koji uključuje samo okolišne. Okvir za odabir vitkih alata u razvoju proizvoda [31] navodi koji se to sve vitki alati mogu koristiti tijekom faza razvoja proizvoda i doprinijeti povećanju ekonomskih koristi i smanjenju utjecaja na okoliš. Iako [31] detaljno opisuje vitke alate koji se koriste u kojoj fazi i služi kao dobar izvor vitkih alata, ne navodi eksplicitno na koje se to ekonomske i okolišne aspekte može utjecati tim alatima, a društvene aspekte isključuje u potpunosti.

Model za vitki i zeleni pristup u razvoju proizvoda malih i srednjih poduzeća [32] rangira prema važnosti 16 zelenih pokretača u svrhu integracije vitkog i zelenog razmišljanja u razvoj proizvoda. Svakom od 16 pokretača pridruženi su alati i tehnike kojima se ti pokretači mogu poboljšati. Sami pokretači opisani u [32] nisu aspekti održivosti već grupirani vitki alati te su sekundarno povezani s općim postulatima vitkog (vrijednost, mapiranje toka vrijednosti, tok, povlačenje, kontinuirano poboljšanje) i zelenog (smanjenje utjecaja na okoliš, integracija razmišljanja o okolišu, minimiziranje potrošnje, promocija ponovnog korištenja i recikliranja) razmišljanja. Nedostatak [32] je također što ne opisuje na koje se to eksplicitno aspekte održivosti može utjecati odabranim pokretačima.

Osim [33], nijedan drugi rad ne navodi na koje se aspekte održivosti (naziva ih pokazateljima) može utjecati određenim vitkim alatima. Odnos i utjecaj vitkih alata na dimenzije održivosti u [33] analiziran je kao pozitivan, negativan, djelomičan ili bez utjecaja. No, iako su naveli aspekte na koje se može utjecati, autori rada [33] analizirali su odnos vitkih alata jedino prema dimenzijama održivosti. U radu se nisu spustili razinu niže s dimenzija te nisu povezali vitke alate s aspektima održivosti. Model utjecaja vitkih alata koji je predstavljen u ovom radu opisao je odnos vitkih alata prema aspektima održivosti detaljnije od korištenja atributa pozitivan, negativan, djelomičan i bez utjecaja. Na temelju ocjena iz ankete o utjecaju vitkih alata na aspekte održivosti izračunani su rangovi s pomoću Friedmanovog testa. Tako su odnosi vitkih alata i aspekata održivosti opisani i čvrsto definirani.

Model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti koji je razvijen i predstavljen u ovom doktorskom radu popunjava nedostatke postojećih modela i istraživanja ([18], [31], [32], [33]). On počiva na anketi koju su ispunili iskusni stručnjaci, tj. na ocjenama utjecaja vitkih alata na aspekte održivosti iz svih triju dimenzija. Rezultati ankete, tj. utjecaji alata na aspekte su statističkom obradom rangirani i preneseni u AHP model. Tako su odnosi vitkih alata (alternativa) i aspekata održivosti (potkriterija) opisani i određeni.

Prema saznanjima autora, u literaturi višekriterijalnih metoda odlučivanja, AHP-a, vitkog razvoja proizvoda ili održivosti ne postoji rad koji bi primijenio višekriterijalnu metodu za odabir vitkih alata razvoja proizvoda, posebno za donošenje odluke o vitkom alatu u odjelu za razvoj proizvoda kompanija u svrhu postizanja određenih aspekata održivosti. Najbliži rad je onaj autora [83] iz područja vitke proizvodnje gdje je razvijen novi model za odabir i rangiranje najboljeg alata vitke proizvodnje (njih 12) na temelju njihovog utjecaja na 16 aspekata održivosti (nazivaju ih metrike održivosti). Pri tome koriste metode BWM (engl. *Best-Worst Method*) i TOPSIS. BWM koristi za usporedbu kriterija, a TOPSIS za usporedbu alternativa. BWM je jedna od najnovijih MCDM metoda [139]. Ovaj pristup koristi usporedbe u parovima koje se izvode na posebno organiziran način tako da ne samo da je potreban minimum podataka, već su usporedbe često dosljednije. BWM uključuje dva omjera konzistencije: konzistentnost na temelju unosa i dosljednost na temelju izlaza. Oba omjera koriste se za provjeru pouzdanosti rezultata [140]. Prema istraženim karakteristikama metoda i dosad objavljenim radovima koji navode AHP kao najistraživaniju metodu ([82], [83]), te metodu s najširoom primjenom ([77], [78], [79], [81]), bilo je odlučeno da će se za model utjecaja koristiti AHP metoda. Jednostavnost korištenja, široka primjena i upoznatost s metodom te mogućnost unosa direktnih ocjena rangova alternativa bili su glavni razlozi odabira. Osim toga, omogućava provjeru konzistentnosti odluka korisnika, lako se provodi simulacija koja prikazuje promjene u izlaznim podacima izmjenom ulaznih podataka i omogućuje grafički prikaz rezultata.

Model doprinosi području vitkog menadžmenta jer se bavi alatima vitkog razvoja proizvoda koji doprinose održivosti čime doprinosi i istraživanju odnosa područja vitkosti i područja održivosti. Količina literature o vitkom razvoju proizvoda je u porastu što ukazuje da je područje vitkog razmišljanja u razvoju proizvoda zanimljivo, aktualno i s velikim istraživačkim potencijalom [141], [142]. Johansson i Sundin [143] i Coutinho i sur. [144] predlažu buduća istraživanja koja bi uključila integraciju vitkog i održivog razmišljanja u razvoju proizvoda te istraživanje njihovog odnosa u praksi. Posljednjih godina autori u području LPD-a istražuju presjek i sinergiju između LPD-a i aktualnih istraživačkih trendova kao što je među ostalima i održivost [145]. Ovaj trend ukazuje na aktualnost istraživanja LPD-a i njegove

povezanosti s održivošću. Vrijedan put za buduća istraživanja je provjera valjanosti modela vitkog razvoja proizvoda testiranjem u stvarnom industrijskom okruženju korištenjem podataka o realnim operativnim performansama ([141], [146], [147]) što će potvrditi praktičnost i učinkovitost modela. Navedeno pridonosi zaključku da je model utjecaja vitkog razvoja proizvoda razvijen u skladu s aktualnim istraživačkim trendovima u području vitkosti te je prema preporukama i testiran u realnim okolnostima u kompaniji.

Također, model potvrđuje da je moguće povezati dva područja, područje vitkog razvoja proizvoda i područje održivosti. Korak dalje od same sistematizacije vitkih alata razvoja proizvoda koji mogu utjecati na održivost i sistematizacije aspekata na koje se može utjecati u razvoju proizvoda, ovaj rad daje teoretsku osnovu za daljnja istraživanja u ovim područjima jer je i opisao pristup kako numerički definirati odnos vitkih alata i aspekata u razvoju proizvoda i numerički potvrdio postojeće kvalitativne opise odnosa.

## 6.2. Implikacije na praktičnu primjenu

Za model odabrano je 8 vitkih alata koji imaju najveću učestalost u literaturi i prema intervjuima iz studija slučaja provedenih u industriji: standardizacija i standardizirani rad, kaizen, FMEA, šest sigma, naučene lekcije, analiza temeljnih uzroka, 5 zašto i vizualni menadžment. Standardizacija i standardizirani rad, kaizen, šest sigma i vizualni menadžment su učestali vitki alati prema oba izvora. Preostali alati ušli su u model na temelju visoke učestalosti u intervjuima.

Prema deskriptivnoj statističkoj analizi svi vitki alati koji su ušli u anketni upitnik imaju pozitivan utjecaj na odabrane aspekte. Friedmanovim testom alati su i rangirani prema utjecaju na aspekte i odnos je numerički opisan. Alat naučene lekcije prema literaturi ne pripada među često korištene vitke alate, dok pripada prema studiji slučaja. Analiza utjecaja ukazuje da je taj alat najutjecajniji u okolišnoj dimenziji (Slika 23), dok je i u ostale dvije dimenzije pri vrhu. Također njegov utjecaj je ujednačen i po aspektima ako se gleda unutar svake dimenzije, tj. na sve aspekte unutar pojedine dimenzije ima gotovo jednak utjecaj. Utjecaj alata naučene lekcije i njegov potencijal praktične primjene trebalo bi dodatno istražiti.

Aspekti održivosti iz svih triju dimenzija dobiveni analizom učestalosti u ovom radu poklapaju se s onima koji se spominju u literaturi kao važni u industriji. Studija slučaja pokazala je da su specifični aspekti održivosti koji se razmatraju unutar svake kompanije obično usklađeni s prioritetima kompanije i da su konstruktori spremni ispuniti zahtjeve održivosti.

---

Ako su aspekti održivosti integrirani u standardne procese i alate koje konstruktori koriste, oni će ih se pridržavati i postići njihovo ispunjenje. Zanimljivo je i razmotriti motivaciju za korištenje tih aspekata.

Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa i potrošnja energije, spadaju među najčešće okolišne aspekte koje su opisali [41], [73], [74]. Dodatno, odabir netoksičnih i bezopasnih resursa opisan je kao važan aspekt zaštite okoliša u projektu razvoja proizvoda u [42], a potrošnja materijala u [33]. Studija slučaja [16] ukazuje da su odabir netoksičnih i bezopasnih resursa i smanjenje potrošnje energije relevantni okolišni aspekti za industriju. Navedene studije slažu se s analizom učestalosti okolišnih aspekata provedenoj u ovom radu (Tablica 12), s time da je među učestale okolišne aspekte uvršten i aspekt usklađenosti s okolišnim propisima i standardima. Navedeni okolišni aspekti koji se razmatraju u industriji su ponajviše motivirani zakonodavstvom, zadovoljenjem standarda i smanjenjem troškovima.

Društveni aspekti koji se razmatraju u razvoju proizvoda uglavnom se odnose na dobrobit zaposlenika i sigurnost [16], [42], [33] [148]. Dodatno je [33] opisao i dobrobit kupaca kao važni društveni aspekt. Navedene studije slažu se s analizom učestalosti društvenih aspekata provedenoj u ovom radu (Tablica 13), s time da je među učestale društvene aspekte uvršten i aspekt isteka životnog vijeka. Društveni aspekti motivirani su propisima zaštite na radu i potražnjom potrošača.

Najčešće korišteni aspekti (autor ih naziva pokazatelji) u ekonomskoj dimenziji su troškovi i kvaliteta proizvoda [33]. Prema [16], [59], [149] ekonomski aspekti su uglavnom profit i povrat ulaganja, i služe kao preduvjet za bilo kakvu inicijativu u poduzećima. Navedene studije slažu se s analizom učestalosti ekonomskih aspekata provedenoj u ovom radu (Tablica 14), s time da je među učestale ekonomske aspekte uvršten i aspekt produktivnosti i inovacijskog potencijala. Ekonomski aspekti su u skladu s tradicionalnim zahtjevima smanjenja troškova.

Motivacije za postizanje aspekata su u skladu s onima [16], [69], [98], koji su otkrili da su inicijative održivosti ponajviše motivirane zakonodavstvom/politikom, potražnjom potrošača i konkurencijom/troškovima te da je ekonomičnost preduvjet za uključivanje bilo kojeg aspekta. Ostaje za istražiti da li postoji još koja motivacija osim navedenih ili će se u industriji razmatrati samo aspekti koji su predviđeni zakonom i propisima. Što nedostaje kako bi se uveli i usvajali aspekti van tih motivacija?

Pri izradi lista učestalosti vitkih alata i aspekata koji su ušli u model, jednaka važnost pridodala se spominjanju u akademskom i u industrijskom sektoru. Nadalje, u anketi su

sudjelovali iskusni stručnjaci iz industrije. Time se model približio industriji, a i popunio nedostatak realnih industrijskih pogleda o aspektima održivosti koje inženjeri u industriji uzimaju u obzir pri razvoju proizvoda [57], [88]. Također, iskoristila se i tvrdnja autora [58] koji sugerira da potencijal povećanja razine ugradnje održivosti u razvoj proizvoda leži u integraciji održivih aspekata u postojeće standarde i da je najbolji pristup poboljšanju održivosti integracija održivih aspekata u postojeće metode i alate koje kompanije redovito koriste. Zbog toga se provela studija slučaja i tražili najučestaliji vitki alati prema industriji. Također, ispitanici u studiji slučaja su potvrdili da korištenjem propisanih metoda i alata u procesima i procedurama uključuju aspekte održivosti u svoje proizvode te da su aspekti koji su važni za kompaniju već uključeni u standardne alate koji se koriste tijekom procesa. Model se približio industriji jer uzima u obzir i navedene alate i aspekte. Postoji mogućnost da se vitki alati ne koriste u kompaniji koja bi koristila model i u tom slučaju bila bi dovoljna i edukacija i uvođenje novog vitkog alata. Postoji i mogućnost da model ne sadrži sve željene aspekte što otvara prostor za daljnja istraživanja i proširenje liste aspekata, ali i vitkih alata koje model sadrži.

Dobiveni rezultati pri testiranju modela sa simuliranim podacima i s realnim podacima iz kompanije prikazuju da je model stabilan i daje pouzdane rezultate rangova vitkih alata prema težinama kriterija i potkriterija koje kompanija odredi. Prema navedenom, može se zaključiti da model razvijen u ovom doktorskom radu može pomoći kompanijama u odluci o odabiru određenih alata vitkog razvoja proizvoda u skladu s njihovim prioritetima koje dimenzije i aspekte održivosti žele postići. Model može poslužiti kao izvor inspiracije za inženjere omogućujući im da dobiju vrijedne informacije o utjecaju na održivost vitkih alata koje koriste i aspektima održivosti koje mogu pritom uzeti u obzir.

### **6.3. Ograničenja istraživanja**

Ograničenja u ovom radu vezana su uz uzorak korišten u pregledu literature, regionalnost istraživanja koja su provedena unutar teritorija Republike Hrvatske, vrstu industrije i broj kompanija u kojoj su provedene studije slučaja, broj aspekata i alata koji su korišteni u modelu te testiranju modela na setu podataka iz jedne kompanije.

Iako je pregled literature pažljivo proveden kako bi se osigurala maksimalna pokrivenost područja i točnost, podložan je određenim tehničkim i praktičnim ograničenjima. U samom početku je pretraživanje bilo ograničeno na tri primarne baze podataka zbog ograničenja izvedivosti i praktičnosti. Nadalje, iako su uloženi pomni naponi, neki su članci možda bili isključeni zbog ograničenog pristupa ili nemogućnosti pristupa. Također, unatoč najpredanijem



pristupu, moguća je manja ljudska pogreška zbog subjektivnog angažmana autorice u odabiru i procesu isključivanja članaka iz pregleda.

Studije slučaja provedene su u strojarским kompanijama unutar Republike Hrvatske. U anketnom upitniku sudjelovali su uglavnom stručnjaci iz Hrvatske te po jedan ispitanik iz Srbije i Bosne i Hercegovine. Stoga rezultati možda neće biti univerzalno primjenjivi u različitim sektorima i zemljama.

Broj kompanija koje su sudjelovale u studiji slučaja je pet. Iako je pet slučajeva unutar raspona od četiri do deset slučajeva i za jedan slučaj iznad donje granice kako je predložila [97] i unatoč detaljnoj analizi, možda bi veći uzorak pružio šire poglede. Postotak odgovora na anketu je 79 % (30 od 38 poslanih upitnika) što je puno za kratki rok koji je bio raspoloživ za ispunjenje (11. mj. 2024.). Također i veći broj ispunjenih anketnih upitnika bi pridonio snažnijim rezultatima.

Broj aspekata i alata koji su korišteni u modelu može se povećati i tako dobiti obuhvatniji model. Također, rad potvrđuje i da se aspekti mogu uključiti u vitke alate razvoja proizvoda no na razrađuje načine kako bi se to postiglo.

Model je testiran sa simuliranim i realnim podacima iz kompanije, prošao je provjeru te je uspješno verificiran jer pokazuje stabilnost i daje pouzdane rezultate rangova vitkih alata prema težinama kriterija i potkriterija koje kompanija odredi. No, testiran je samo u jednoj kompaniji, tj, s jednim setom realnih ulaznih podataka te bi bilo uputno provesti dodatnu provjeru valjanosti kojom bi se onda prikupilo i više povratnih informacija samih korisnika o upotrebljivosti modela.

## 7. ZAKLJUČAK

Kompanije koje su odgovorne za procese razvoja proizvoda i proizvodnju imaju važnu ulogu u pružanju podrške društvu u postizanju održivosti. Uključivanje dimenzija održivosti u proces razvoja proizvoda od strane kompanija poprima sve veću važnost te je stoga bilo nužno proučiti kako kompanije mogu uključiti dimenzije održivosti u razvoj svojih proizvoda i pružiti optimalnu podršku dizajnerima i inženjerima tijekom tog postupka integracije. Iako je istraživanje međuodnosa vitkosti i održivosti možda jedna od najviše proučavanih tema u novije vrijeme, većina istraživačkih napora nije dala odgovor na pitanje: Na koje to aspekte održivosti mogu utjecati vitki alati razvoja proizvoda? Ovaj doktorski rad daje odgovor na postavljeno pitanje s pomoću modela utjecaja vitkih alata, koji rangira vitke alate ovisno o aspektima koji se žele unaprijediti. Važno je naglasiti da model pritom uzima u obzir sve tri dimenzije održivosti.

Zaključak doktorskog rada oblikovat će se na sljedeći način: prikazom ostvarenih ciljeva doktorskog rada, potvrđenom hipotezom, opisom ostvarenih znanstvenih doprinosa doktorskog rada te smjernicama za buduća istraživanja.

### 7.1. Ostvareni ciljevi doktorskog rada

Oblikovanjem i izradom ovoga doktorskog rada željelo se postići četiri cilja koja su prethodno postavljena. U tekstu koji slijedi detaljno je opisano kako su ti ciljevi ostvareni.

Prvi cilj doktorskog rada bio je na temelju akademske i industrijske perspektive odrediti i sistematizirati vitke alate i prakse koji se mogu primijeniti za uključivanje/integraciju svih triju dimenzija održivosti u procesu razvoja proizvoda.

U prvoj fazi istraživanja pretraženi su dostupna literatura, znanstveni i stručni radovi u bazama znanstvenih publikacija te doktorske disertacije. Tim istraživanjem identificirani su vitki alati i prakse razvoja proizvoda koji mogu pridonijeti svim trima dimenzijama održivosti (ekološkim, društvenim i ekonomskim) te pripadajuća lista aspekata održivosti na koje se može usredotočiti u fazi razvoja proizvoda. Rezultati prve faze prikazani su u 2. poglavlju te sažeti u Tablica 1 i Tablica 2. Tablica 2 navodi aspekte održivosti na koje se, prema literaturi, može utjecati u fazi razvoja proizvoda. Tablica 1 daje, prema literaturi, informaciju koji se vitki alati za razvoj proizvoda mogu koristiti za utjecaj na aspekte održivosti. Zaključak provedene analize literature jest da postojećim publikacijama i modelima nedostaje komponenta koja bi ocijenila utjecaj pojedinih vitkih alata koje dizajneri već koriste u svojem radu na spomenute aspekte održivosti. U drugoj fazi istraživanja studijom slučaja dobivena je lista trenutno najviše

korištenih alata i praksi vitkog razvoja proizvoda u industrijskom sektoru (Tablica 8), a na temelju iskustava i načina rada zaposlenika (razvojnih inženjera) u stvarnom radnom okruženju. Također se ispitalo razmatraju li, kako i koje aspekte održivosti inženjeri tijekom razvoja proizvoda i za koje smatraju da se mogu uključiti u postojeće vitke alate koji se aktivno koriste u njihovu radu (Tablica 7). Metodom studije slučaja pronađeni su odgovori koji nedostaju u literaturi, vezani uz realne industrijske poglede na aspekte održivosti koje inženjeri u industriji uzimaju u obzir pri razvoju proizvoda i informacije o vitkim alatima koje pritom koriste, te uključuju li oni aspekte održivosti. Provedena studija slučaja opisana je u 3. poglavlju, a zaključci su navedeni u poglavlju 3.7.

Drugi cilj doktorskog rada bio je sistematizirati društvene, okolišne i ekonomske aspekte održivosti na koje se može usredotočiti u procesu razvoja proizvoda. Na temelju broja spominjanja u literaturi (Tablica 1 i Tablica 2) i u kompanijama iz studije slučaja (Tablica 7 i Tablica 8) izrađene su rang-liste učestalosti alata i praksi vitkog razvoja proizvoda i aspekata održivosti. Opis načina izrade rang-lista učestalosti te same rang-liste dan je u poglavlju 4.2 za vitke alate te u poglavlju 4.3 za aspekte održivosti. Navedene liste korištene su u daljnjem istraživanju za oblikovanje upitnika i izradu modela utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti. Prema Tablica 11, odabrano je 8 vitkih alata koji imaju najveću učestalost u literaturi i prema intervjuima i korišteni su za izradu upitnika: standardizacija i standardizirani rad, kaizen, FMEA, šest sigma, naučene lekcije, analiza temeljnih uzroka, 5 zašto i vizualni menadžment. Prema Tablica 12, Tablica 13 i Tablica 14, za anketno istraživanje koje je uslijedilo odabrano je ukupno 12 aspekata održivosti, po 4 iz svake od dimenzija održivosti: okolišne, društvene i ekonomske.

Treći cilj bio je, uzimajući u obzir trenutne prakse u kompaniji u vezi s vitkim alatima i praksama, uspostaviti odnos tih alata i praksi prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima; ocijeniti važnost aspekata te važnost metoda i alata pri odlučivanju. Anketnim istraživanjem „*Utjecaj vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti*“ u kojem su sudjelovali eksperti iz akademskog i industrijskog sektora dobiveni su podaci o utjecaju najčešćih vitkih alata razvoja proizvoda na najčešće aspekte održivosti. Za određivanje pitanja u upitniku korišteni su podaci o učestalosti vitkih alata te aspekata održivosti, dobivenih detaljnim pregledom literature, kao i detaljnom analizom studija slučaja. Ekspertni panel procijenio je utjecaj svakoga odabranog alata na svaki odabrani okolišni, društveni i ekonomski aspekt. Za vrijeme procjene utjecaja pojedinog alata na aspekte korištena je skala sa 9 vrijednosti procjene (od 1 do 9). Cjelokupni anketni upitnik dan je u Prilogu 1. U poglavlju 4.4 prikazani su i rezultati koji su statistički obrađeni. Svi odabrani vitki alati razvoja proizvoda

imaju pozitivan utjecaj na aspekte održivosti. Rezultati pokazuju da vitki alat naučene lekcije ima najveći utjecaj kod okolišnih aspekata, FMEA kod društvenih te kaizen kod ekonomskih (Tablica 41). S pomoću Friedmanovog testa izračunani su i prikazani rangovi utjecaja svakog alata prema svakom aspektu (Tablica 38–Tablica 40), čime je i uspostavljen odnos alata i aspekata te je ostvaren treći cilj.

Četvrti cilj bio je izraditi model koji rangira vitke alate i prakse prema dimenzijama i aspektima održivosti, što je korisno za utvrđivanje budućeg plana poboljšanja te njegovu verifikaciju u praksi. Na temelju pregleda literature (2. poglavlje), studije slučaja (3. poglavlje) i ankete (4. poglavlje) u kojoj su eksperti procijenili utjecaj vitkih alata na aspekte održivosti, izrađen je model utjecaja vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti. Navedeni model zajedno s verifikacijom prikazan je u 5. poglavlju. Model koristi metodu analitičkoga hijerarhijskog procesa kako bi prema odnosu kriterija i odnosu potkriterija koje kompanije postave davao rang-listu vitkih alata. Glavni kriteriji su dimenzije održivosti, tj. grupirani okolišni, društveni i ekonomski aspekti. Potkriteriji su aspekti održivosti. Alternative predstavljaju osam vitkih alata. Hijerarhijska struktura modela prema kriterijima, potkriterijima te alternativama, prikazana je na Slika 28. Međusobne usporedbe kriterija i potkriterija provodi ispitanik. Međusobne usporedbe alata (alternativa) prema potkriterijima, tj. izračun pondera alata iz rangova alata koji su dobiveni upitnikom prikazani su u poglavlju 5.2.3. Verifikacija modela provedena je s pomoću testiranja sa simuliranim podacima (poglavlje 5.3.1) i testiranja s realnim podacima (poglavlje 5.3.2). Model daje pouzdane i stabilne rezultate u vidu rang-liste vitkih alata, a prema aspektima koje kompanija smatra prioritetnima. Izgradnjom hijerarhije modela te njegovom verifikacijom ostvaren je četvrti cilj doktorskog rada.

## 7.2. Potvrda hipoteze doktorskoga rada

Ovim doktorskim radom potvrđena je postavljena hipoteza:

*Moguće je izraditi model koji će omogućiti procjenu utjecaja vitkih alata i praksi razvoja proizvoda na aspekte održivosti i pomoći kod donošenja odluka u korištenju pojedinih alata i praksi.*

Primjenom analitičkoga hijerarhijskog procesa razvijen je model utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti (poglavlje 5.2). Cilj modela jest dobiti rang-listu vitkih alata koje je poželjno koristiti u razvoju proizvoda kako bi se utjecalo na željene aspekte održivosti. Struktura modela utjecaja temelji se na trima kriterijima: okolišnom, društvenom i

ekonomskom. Navedene tri grupe aspekata predstavljaju dimenzije održivosti. Potkriteriji unutar svakoga od kriterija su aspekti održivosti koji su odabrani kako je opisano u poglavlju 4.3. Lista prioriteta kriterija dobiva se međusobnom usporedbom kriterija u parovima. Na jednak način međusobnom usporedbom dobiva se i lista potkriterija. Navedene usporedbe provodi osoba iz kompanije koja može procijeniti važnost određenih aspekata te ih međusobno usporediti prema dimenziji kojoj pripadaju. Odnos alternativa – alata prema potkriterijima – aspektima dobiven je rangiranjem iz odgovora ekspertnog panela u anketnom upitniku (poglavlju 5.2.3). Iz međusobnih usporedbi kriterija i potkriterija prema stavu ispitanika koji su dimenzija i aspekt važniji, dobiva se rang-lista vitkih alata kojima će se željeni aspekti postići. Model je verificiran testiranjem sa simuliranim (poglavlje 5.3.1) i realnim (poglavlje 5.3.2) podacima te su i analizama osjetljivosti (poglavlje 5.3.2) dokazane njegova stabilnost i pouzdanost. Sva četiri testiranja sa simuliranim podacima pokazala su da model utjecaja daje očekivane rezultate, tj. kada se aspektima u kojima alat ima najviši prosječni rang pridoda i najveći prioritet pri usporedbi u parovima, taj alat i bude na vrhu rang liste alata. Analizama osjetljivosti modela koji se temelji na realnim podacima prikazano je da je model neosjetljiv na promjene kriterija od 5 %. Povećanje 5 % u težinama kriterija nije promijenilo poredak alata (Slika 71 – Slika 73). Prema navedenom, može se zaključiti da model razvijen u ovom doktorskom radu pomaže kompanijama u odluci o odabiru određenih alata vitkog razvoja proizvoda u skladu s njihovim prioritetima koje su postavili u dimenzijama i aspektima održivosti.

### **7.3. Ostvareni znanstveni doprinos doktorskoga rada**

Ovim je doktorskim radom ostvaren sljedeći znanstveni doprinos:

1. Sistematizirani su vitki alati i prakse u procesima razvoja proizvoda koji se mogu primijeniti za uključivanje svih triju dimenzija održivosti i njihovih aspekata u procesu razvoja proizvoda.
2. Sistematizirani su društveni, okolišni i ekonomski aspekti održivosti na koje se može utjecati u procesu razvoja proizvoda.
3. Definiran je odnos vitkih alata i praksi prema dimenzijama održivosti i njihovim aspektima.
4. Izrađen je model koji rangira vitke alate i prakse razvoja proizvoda prema aspektima održivosti te omogućuje procjenu njihovih utjecaja na aspekte pri korištenju navedenih alata i praksi.

## 7.4. Buduća istraživanja

Održivost se sve više prepoznaje kao ključna konkurentska prednost u kompanijama. No pri dizajniranju i razvoju proizvoda još uvijek nije jasno kako bi se mogli postići željeni ciljevi održivosti. U ovom doktorskom radu utvrđen je utjecaj vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti, što pridonosi razumijevanju međusobne veze alata koje inženjeri koriste i osobinama održivosti koje se žele postići.

Ograničenja u ovom radu vezana su uz regionalnost istraživanja koja su provedena unutar teritorija Republike Hrvatske, uz vrstu industrije te broj aspekata i alata koji su korišteni u modelu. Navedena ograničenja mogu poslužiti kao poticaji za buduća istraživanja.

Model je napravljen na temelju višestruke studije slučaja u strojarским kompanijama i anketnog upitnika provedenoga u Republici Hrvatskoj. Iako su kompanije iz studije slučaja globalne i multinacionalne, možda bi njihovi odgovori mogli biti povezani s regionalnim utjecajima. Zbog toga bi bilo zanimljivo proširiti istraživanja na neke druge zemlje unutar, ali i izvan EU-a. Također, jedan od smjerova budućih istraživanja je i u drugim vrstama kompanija s razvojem proizvoda, poput softverskih, prehrambenih ili farmaceutskih kompanija, koje možda razmatraju druge aspekte te koriste druge alate koji bi onda mogli biti korišteni u modelu.

Nadalje, osim proširenja modela tako da se u alatima i aspektima prilagodi određenoj industriji, moguće je i istraživanje na način da se nepromijenjeni model ispuni od strane više kompanija iz različitih industrija. Taj pristup bi također omogućio usporedbu važnosti alata i aspekata prema tipu industrije.

Istraživanje je identificiralo popis vitkih alata i aspekata uočenih u razvoju proizvoda. Izrada takvog popisa bitna je početna točka u stvaranju svijesti o povezanosti alata i aspekata koji se pojavljuju u inženjerskom projektiranju, kao i u poticanju uporabe alata za poboljšavanje održivosti. Taj popis mogao bi se dodatno proširiti s više alata i aspekata, čime bi se pojačala sveobuhvatnost modela i možda dobila prilika za aplikacijsku automatizaciju ovisno o tipu industrije.

Također, buduća istraživanja mogu ići u smjeru prepoznavanja aspekata održivosti koji su važni za kupce, a posljedično bi se povećale šanse da se ti aspekti održivosti uzmu u obzir kada se uporaba vitkih alata prilagođava određenoj kompaniji.

---

## Literatura

- [1] UN, “RESPONSIBLE CONSUMPTION & PRODUCTION : Why It Matters,” 2020.
- [2] J. Elkington, “Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st Century Business, Capstone, Oxford,” *Capstone, London*, vol. 1, no. 1986, 1997.
- [3] C. Tasdemir and R. Gazo, “A systematic literature review for better understanding of lean driven sustainability,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, 2018, doi: 10.3390/su10072544.
- [4] A. Cherrafi, S. Elfezazi, A. Chiarini, A. Mokhlis, and K. Benhida, “The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model,” *J Clean Prod*, vol. 139, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.101.
- [5] D. Hu, Y. Wang, J. Huang, and H. Huang, “How do different innovation forms mediate the relationship between environmental regulation and performance?,” *J Clean Prod*, vol. 161, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.152.
- [6] C. A. González Chávez, D. Romero, M. Rossi, R. Luglietti, and B. Johansson, “Circular lean product-service systems design: A literature review, framework proposal and case studies,” *Procedia CIRP*, vol. 83, pp. 419–424, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.109.
- [7] T. Welo and G. Ringen, “Beyond Waste Elimination: Assessing Lean Practices in Product Development,” *Procedia CIRP*, vol. 50, pp. 179–185, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.05.093.
- [8] G. Marodin, A. G. Frank, G. L. Tortorella, and T. Netland, “Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects,” *Int J Prod Econ*, vol. 203, pp. 301–310, 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.07.009.
- [9] M. S. De Oliveira, J. A. Lozano, J. R. Barbosa, and F. A. Forcellini, “The toyota kata approach for lean product development,” *Advances in Transdisciplinary Engineering*, vol. 7, pp. 361–370, 2018, doi: 10.3233/978-1-61499-898-3-361.
- [10] J. K. Liker and J. M. Morgan, “The toyota way in services: The case of lean product development,” *Academy of Management Perspectives*, vol. 20, no. 2, pp. 5–20, 2006, doi: 10.5465/AMP.2006.20591002.
- [11] M. Flores, D. Maklin, B. Ingram, M. Golob, C. Tucci, and A. Hoffmeier, “Towards a sustainable innovation process: Integrating lean and sustainability principles,” in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-99704-9\_5.
- [12] A. R. Tan, T. C. McAloone, and M. Myrup Andreassen, “What happens to integrated product development models with product/service-system approaches?,” in *IPD 2006: Proceedings of the 6th Workshop on Integrated Product Development*, 2006.
- [13] U. Dombrowski, K. Schmidtchen, and P. Krenkel, “Impact of lean development system implementation on the product development process,” *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, vol. 2015-Janua, pp. 1462–1466, 2014, doi: 10.1109/IEEM.2014.7058881.
- [14] H. L. McManus, A. Haggerty, and E. Murman, “Lean engineering: A framework for doing the right thing right,” *Aeronautical Journal*, vol. 111, no. 1116, 2007, doi: 10.1017/S0001924000001809.
- [15] J. P. E. de Souza and R. Dekkers, “Adding sustainability to lean product development,” *Procedia Manuf*, vol. 39, no. 2019, pp. 1327–1336, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.325.

- 
- [16] F. Paulson, "Inclusion of Sustainability Aspects in Product Development At Manufacturing Companies," Licentiate Dissertation, Linköping University, 2018.
- [17] S. I. Hallstedt, "Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development," *J Clean Prod*, vol. 140, pp. 251–266, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.068.
- [18] J. P. Schögggl, R. J. Baumgartner, and D. Hofer, "Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry," *J Clean Prod*, vol. 140, pp. 1602–1617, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.195.
- [19] P. L. Mesquita and M. Missimer, "Social sustainability work in product development organizations: An empirical study of three Sweden-based companies," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 4, pp. 1–21, 2021, doi: 10.3390/su13041986.
- [20] I. M. Tăucean, L. Ivaşcu, Şerban Miclea, and M. Negruţ, "Synergies between lean and sustainability: A literature review of concepts and tools," *Quality - Access to Success*, vol. 20, no. January, pp. 559–564, 2019.
- [21] N. Piercy and N. Rich, "The relationship between lean operations and sustainable operations," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 35, no. 2, 2015, doi: 10.1108/IJOPM-03-2014-0143.
- [22] H. Gmelin and S. Seuring, "Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities," *Int J Prod Econ*, vol. 154, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.04.023.
- [23] H. M. A. H. Ahmad, "The criteria's of sustainable product development and organizational performance," *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, vol. 2018, no. JUL, pp. 1391–1391, 2018.
- [24] S. H. Abdul-Rashid, N. Sakundarini, R. A. Raja Ghazilla, and R. Thurasamy, "The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance: Empirical evidence from Malaysia," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 37, no. 2, 2017, doi: 10.1108/IJOPM-04-2015-0223.
- [25] S. I. Hallstedt and O. Isaksson, "Material criticality assessment in early phases of sustainable product development," *J Clean Prod*, vol. 161, pp. 40–52, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.085.
- [26] N. M. P. Bocken, M. Farracho, R. Bosworth, and R. Kemp, "The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies," *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, vol. 31, no. 1, 2014, doi: 10.1016/j.jengtecman.2013.10.004.
- [27] G. Johansson and E. Sundin, "Lean and green product development: Two sides of the same coin?," *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 104–121, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.005.
- [28] H. C. Martínez León and J. Calvo-Amodio, "Towards lean for sustainability: Understanding the interrelationships between lean and sustainability from a systems thinking perspective," *J Clean Prod*, vol. 142, pp. 4384–4402, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.132.
- [29] A. C. Alves, S. Flumerfelt, and A. B. Siriban-manalang, "Fostering Sustainable Development Thinking Through Lean Engineering," pp. 1–10, 2015.
- [30] S. Ciannella, L. C. Santos, and S. N. Morioka, "Does lean mean sustainable? Exploring linkages through a systematic literature review," 2019, doi: 10.14488/enegep2019\_ti\_st\_290\_1634\_37597.
- [31] F. H. Lermen, M. E. Echeveste, C. B. Peralta, M. Sonego, and A. Marcon, "A framework for selecting lean practices in sustainable product development: The case
-



- study of a Brazilian agroindustry,” *J Clean Prod*, vol. 191, pp. 261–272, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.185.
- [32] G. A. Oliveira, K. H. Tan, and B. T. Guedes, “Lean and green approach: An evaluation tool for new product development focused on small and medium enterprises,” *Int J Prod Econ*, vol. 205, pp. 62–73, 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.08.026.
- [33] K. F. Barcia, L. Garcia-Castro, and J. Abad-Moran, “Lean Six Sigma Impact Analysis on Sustainability Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM): A Literature Review,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, 2022, doi: 10.3390/su14053051.
- [34] A. Mårtensson, K. Snyder, and P. Ingelsson, “Interlinking Lean and sustainability: how ready are leaders?,” *TQM Journal*, vol. 31, no. 2, pp. 136–149, 2019, doi: 10.1108/TQM-04-2018-0046.
- [35] R. Gould, M. Missimer, and P. L. Mesquita, “Using social sustainability principles to analyse activities of the extraction lifecycle phase: Learnings from designing support for concept selection,” *J Clean Prod*, vol. 140, pp. 267–276, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.004.
- [36] World Commission on Environment and Development, “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future (The Brundtland Report),” *Med Confl Surviv*, vol. 4, 1987, doi: 10.1080/07488008808408783.
- [37] *Sustainability and the U.S. EPA*. 2011. doi: 10.17226/13152.
- [38] Munro and associates, “Who has the biggest shadow?,” Who has the biggest shadow?
- [39] M. Charter and U. Tischner, *Sustainable solutions: Developing products and services for the future*. 2017. doi: 10.4324/9781351282482.
- [40] G. Ölundh and S. Ritzén, “Making an ecodesign choice in project portfolio selection,” in *IEEE International Engineering Management Conference*, 2004. doi: 10.1109/iemc.2004.1408824.
- [41] S. Poulidikou, A. Björklund, and S. Tyskeng, “Empirical study on integration of environmental aspects into product development: Processes, requirements and the use of tools in vehicle manufacturing companies in Sweden,” *J Clean Prod*, vol. 81, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.001.
- [42] J. Tingström, L. Swanström, and R. Karlsson, “Sustainability management in product development projects - the ABB experience,” *J Clean Prod*, vol. 14, no. 15–16, 2006, doi: 10.1016/j.jclepro.2005.11.027.
- [43] S. I. Hallstedt and A. W. Thompson, “Sustainability-driven Product Development- Some Challenges and Opportunities for the Aero Industry,” in *International Society for Airbreathing Engines (ISABE)*, 2011.
- [44] J. Colombi, John M.; Miller, Michael E.; Schneider, Michael; McGrogan, Jason; Long, David S.; Plaga *et al.*, “Focus on implementation: A framework for lean product development,” *Procedia CIRP*, vol. 23, no. 1, pp. 385–390, 2011, doi: 10.3390/joitmc8030123.
- [45] J. P. Womack, D. Roos, and D. T. Jones, *The Machine That Changed the World: The Massachusetts Institute of Technology 5-Million-Dollar, 5-Year Report on the Future of the Automobile Industry*. 1990.
- [46] M. Muffatto, “Reorganizing for product development: Evidence from Japanese automobile firms,” *Int J Prod Econ*, vol. 56–57, 1998, doi: 10.1016/S0925-5273(98)00046-2.
- [47] A. Bryman and E. Bell, *Business Research Methods – Företagsekonomiska forskningsmetoder*. 2005.

- [48] H. Snyder, "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines," *J Bus Res*, vol. 104, no. August, pp. 333–339, 2019, doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- [49] B. N. Green, C. D. Johnson, and A. Adams, "Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade," *J Chiropr Med*, vol. 5, no. 3, 2006, doi: 10.1016/S0899-3467(07)60142-6.
- [50] P. Saunders, M., & Lewis, "Doing Research in business and management: An essential guide to planning your project. Harlow, Essex: Financial Times Prentice Hall.," *Harlow, Essex: Financial Times Prentice Hall*, vol. 7333, no. December 2014, 2012.
- [51] B. Verrier, B. Rose, and E. Caillaud, "Lean and Green strategy: The Lean and Green House and maturity deployment model," *J Clean Prod*, vol. 116, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.022.
- [52] L. M. S. Campos and D. A. Vazquez-Brust, "Lean and green synergies in supply chain management," *Supply Chain Management*, vol. 21, no. 5, 2016, doi: 10.1108/SCM-03-2016-0101.
- [53] J. A. Garza-Reyes, "Green lean and the need for Six Sigma," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 6, no. 3, 2015, doi: 10.1108/IJLSS-04-2014-0010.
- [54] V. K. Mittal, R. Sindhvani, and P. K. Kapur, "Two-way assessment of barriers to Lean–Green Manufacturing System: insights from India," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 7, no. 4, 2016, doi: 10.1007/s13198-016-0461-z.
- [55] D. C. A. Pigosso and T. C. McAlloone, "Supporting the development of environmentally sustainable PSS by means of the ecodesign maturity model," in *Procedia CIRP*, 2015. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.091.
- [56] P. Carmona Marques, M. Januário Charmier, and J. Oliveira Santos, "A survey on sustainable product development," *Procedia Manuf*, vol. 39, no. 2019, pp. 1307–1316, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.328.
- [57] J. Faludi *et al.*, "A research roadmap for sustainable design methods and tools," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 19, 2020, doi: 10.3390/su12198174.
- [58] H. Zetterlund, S. Hallstedt, and G. Broman, "Implementation Potential of Sustainability-oriented Decision Support in Product Development," *Procedia CIRP*, vol. 50, pp. 287–292, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.05.011.
- [59] C. B. Joung, J. Carrell, P. Sarkar, and S. C. Feng, "Categorization of indicators for sustainable manufacturing," *Ecol Indic*, vol. 24, 2013, doi: 10.1016/j.ecolind.2012.05.030.
- [60] P. Arroyo, I. D. Tommelein, and G. Ballard, "Comparing multi-criteria decision-making methods to select sustainable alternatives in the AEC industry," in *ICSDEC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction - Proceedings of the 2012 International Conference on Sustainable Design and Construction*, 2013. doi: 10.1061/9780784412688.104.
- [61] M. S. Kaswan and R. Rathi, "Green Lean Six Sigma for sustainable development: Integration and framework," *Environ Impact Assess Rev*, vol. 83, no. November 2019, p. 106396, 2020, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106396.
- [62] W. Zhang, "Sustainability and manufacturing philosophy - From mass production to intelligent energy field manufacturing," in *Proceedings of the ASME International Manufacturing Science and Engineering Conference 2009, MSEC2009*, 2009. doi: 10.1115/MSEC2009-84304.
- [63] M. Sorli, A. Sopelana, M. Salgado, G. Pelaez, and E. Ares, "Balance between lean and sustainability in product development," *Key Eng Mater*, vol. 502, pp. 37–42, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.502.37.

- 
- [64] S. Nahkala, "Aligning product design methods and tools for sustainability," in *Re-Engineering Manufacturing for Sustainability - Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, 2013. doi: 10.1007/978-981-4451-48-2\_9.
- [65] H. T. S. Caldera, C. Desha, and L. Dawes, "Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review," *J Clean Prod*, vol. 167, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.126.
- [66] S. Vinodh, K. R. Arvind, and M. Somanaathan, "Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives," *Clean Technol Environ Policy*, vol. 13, no. 3, 2011, doi: 10.1007/s10098-010-0329-x.
- [67] M. Inoue, K. Lindow, R. Stark, and H. Ishikawa, "Preference set-based design method for sustainable product creation," in *Advanced Concurrent Engineering*, 2010. doi: 10.1007/978-0-85729-024-3\_42.
- [68] M. Bertoni, "Multi-criteria decision making for sustainability and value assessment in early PSS design," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 7, 2019, doi: 10.3390/su11071952.
- [69] P. Deutz, M. McGuire, and G. Neighbour, "Eco-design practice in the context of a structured design process: An interdisciplinary empirical study of UK manufacturers," *J Clean Prod*, vol. 39, pp. 117–128, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.08.035.
- [70] G. Letens, "Lean Product Development&boxh;Faster, Better &hellip; Cleaner?," *Frontiers of Engineering Management*, vol. 2, no. 1, p. 52, 2015, doi: 10.15302/j-fem-2015007.
- [71] C. Luttrupp and J. Lagerstedt, "EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development," *J Clean Prod*, vol. 14, no. 15–16, pp. 1396–1408, 2006, doi: 10.1016/j.jclepro.2005.11.022.
- [72] J. P. E. Souza and J. M. Alves, "Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement," *J Clean Prod*, vol. 172, pp. 2667–2682, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.144.
- [73] M. Shuaib, D. Seevers, X. Zhang, F. Badurdeen, K. E. Rouch, and I. S. Jawahir, "Product Sustainability Index ( ProdSI )," *J Ind Ecol*, vol. 18, no. 4, 2014, doi: 10.1111/jiec.12179.
- [74] I. I. Issa, D. C. A. Pigosso, T. C. McAloone, and H. Rozenfeld, "Leading product-related environmental performance indicators: a selection guide and database," *J Clean Prod*, vol. 108, no. PartA, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.088.
- [75] E. Ekener-Petersen and G. Finnveden, "Potential hotspots identified by social LCA - Part 1: A case study of a laptop computer," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, no. 1, 2013, doi: 10.1007/s11367-012-0442-7.
- [76] T. L. Saaty, "Analytic Hierarchy Process," *Encyclopedia of Biostatistics*, 2005, doi: 10.1002/0470011815.b2a4a002.
- [77] M. Stojčić, E. K. Zavadskas, D. Pamučar, Ž. Stević, and A. Mardani, "Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018," *Symmetry*, vol. 11, no. 3, 2019. doi: 10.3390/sym11030350.
- [78] C. Macharis, J. Springael, K. De Brucker, and A. Verbeke, "PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.," *Eur J Oper Res*, vol. 153, no. 2, 2004, doi: 10.1016/s0377-2217(03)00153-x.
- [79] F. T. S. Chan and N. Kumar, "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach," *Omega (Westport)*, vol. 35, no. 4, 2007, doi: 10.1016/j.omega.2005.08.004.
- [80] T. L. Saaty and L. G. Vargas, *Decision Making With the Analytic Process Network Process*, vol. 95. 2006.
-

- 
- [81] K. M. A. S. Al-Harbi, "Application of the AHP in project management," *International Journal of Project Management*, vol. 19, no. 1, 2001, doi: 10.1016/S0263-7863(99)00038-1.
- [82] A. Gurumurthy and R. Kodali, "An application of analytic hierarchy process for the selection of a methodology to improve the product development process," *Journal of Modelling in Management*, vol. 7, no. 1, 2012, doi: 10.1108/17465661211208820.
- [83] A. J. Naeemah and K. Y. Wong, "Sustainability metrics and a hybrid decision-making model for selecting lean manufacturing tools," *Resources, Environment and Sustainability*, vol. 13, 2023, doi: 10.1016/j.resenv.2023.100120.
- [84] C. K. Udokporo, "An integrated decision support framework for the adoption of lean, agile and green practices in product life cycle stages.," 2017.
- [85] P. Hegedic, "Model upravljanja proizvodnjom integriranjem vitkoga i zelenoga menadžmenta," 2017.
- [86] G. A. Oliveira, G. T. Piovesan, D. Setti, S. Takechi, K. H. Tan, and G. L. Tortorella, "Lean and Green Product Development in SMEs: A Comparative Study between Small- and Medium-Sized Brazilian and Japanese Enterprises," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 3, 2022, doi: 10.3390/joitmc8030123.
- [87] F. Chunhua, H. Shi, and B. Guozhen, "A group decision making method for sustainable design using intuitionistic fuzzy preference relations in the conceptual design stage," *J Clean Prod*, vol. 243, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118640.
- [88] M. Watz and S. I. Hallstedt, "Towards sustainable product development – Insights from testing and evaluating a profile model for management of sustainability integration into design requirements," *J Clean Prod*, vol. 346, no. February 2021, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131000.
- [89] S. Ahmad, K. Y. Wong, M. L. Tseng, and W. P. Wong, "Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects," *Resour Conserv Recycl*, vol. 132, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.01.020.
- [90] R. K. Yin, *Case study research and applications: Design and methods*, vol. 53, no. 5. 2018. doi: 10.1177/109634809702100108.
- [91] B. Flyvbjerg and B. Flyvbjerg, "Five Misunderstandings About Case-Study Research," in *Case Studies*, 2016. doi: 10.4135/9781473915480.n40.
- [92] 1941- BMaxwell, Joseph Alex, "Qualitative research design : an interactive approach / Joseph A. Maxwell. —3rd ed.," *Book, SAGE Publications, Inc.*, vol. 21, no. 1, 2013.
- [93] C. Voss, N. Tsikriktsis, and M. Frohlich, "Case research in operations management," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22, no. 2, 2002, doi: 10.1108/01443570210414329.
- [94] Lawrence A P, Horwitz S M, Green C A, Wisdom J P, Duan N, and Hoagwood K, "Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research," *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, vol. 116, no. 8, 2016.
- [95] M. Q. Patton, "Qualitative research and evaluation methods. Thousand Oaks," *Cal.: Sage Publications*, 2002.
- [96] L. Cohen, L. Manion, and K. Morrison, *Research Methods in Education*. 2017. doi: 10.4324/9781315456539.
- [97] K. M. Eisenhardt, "Building Theories from Case Study Research," *Academy of Management Review*, vol. 14, no. 4, 1989, doi: 10.5465/amr.1989.4308385.
- [98] M. Held *et al.*, "Current challenges for sustainable product development in the German automotive sector: A survey based status assessment," *J Clean Prod*, vol. 195, pp. 869–889, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.118.
-

- 
- [99] M. Watz and S. I. Hallstedt, "Profile model for management of sustainability integration in engineering design requirements," *J Clean Prod*, vol. 247, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119155.
- [100] P. Metz, S. Burek, T. R. Hultgren, S. Kogan, and L. Schwartz, "The path to sustainability-driven innovation," *Research Technology Management*, vol. 59, no. 3, 2016, doi: 10.1080/08956308.2016.1161409.
- [101] "Lime Survey." [Online]. Available: <https://limesurvey.srce.hr/>
- [102] A. Chiarini, "Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: An empirical observation from European motorcycle component manufacturers," *J Clean Prod*, vol. 85, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.07.080.
- [103] J. Tice, L. Ahouse, and T. Larson, "Lean production and EMSs: Aligning environmental management with business priorities," *Environmental Quality Management*, vol. 15, no. 2, 2005, doi: 10.1002/tqem.20075.
- [104] G. Distelhorst, J. Hainmueller, and R. M. Locke, "Does lean improve labor standards? Management and social performance in the nike supply chain," *Manage Sci*, vol. 63, no. 3, 2017, doi: 10.1287/mnsc.2015.2369.
- [105] C. Soltero and G. Waldrip, "Using kaizen to reduce waste and prevent pollution," *Environmental Quality Management*, vol. 11, no. 3, 2002, doi: 10.1002/tqem.10026.
- [106] A. B. Pampanelli, P. Found, and A. M. Bernardes, "A Lean & Green Model for a production cell," *J Clean Prod*, vol. 85, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.06.014.
- [107] M. C. Sobral, A. B. L. de Sousa Jabbour, and C. J. Chiappetta Jabbour, "Green benefits from adopting lean manufacturing: A case study from the automotive sector," *Environmental Quality Management*, vol. 22, no. 3, 2013, doi: 10.1002/tqem.21336.
- [108] N. A. A. Seman, Z. N. M. Hatta, N. K. Kamaruddi, and ..., "The Relationship between Lean Management Practices and Operational Performance in Service Sector," *Solid State ...*, no. November, 2020.
- [109] O. Ogunbiyi, A. Oladapo, and J. Goulding, "An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK," *Construction Innovation*, vol. 14, no. 1. 2014. doi: 10.1108/CI-08-2012-0045.
- [110] J. L. García Alcaraz, A. S. Morales García, J. R. Díaz Reza, J. Blanco Fernández, E. Jiménez Macías, and R. Puig I Vidal, "Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience," *Mathematics*, vol. 10, no. 9, 2022, doi: 10.3390/math10091468.
- [111] J. Schulte and S. Knuts, "Sustainability impact and effects analysis - A risk management tool for sustainable product development," *Sustain Prod Consum*, vol. 30, 2022, doi: 10.1016/j.spc.2022.01.004.
- [112] M. Roszak, M. Spilka, and A. Kania, "Environmental failure mode and effects analysis (FMEA)-a new approach to methodology," *Metallurgija*, vol. 54, no. 2, 2015.
- [113] T. L. Nguyen, M. H. Shu, and B. M. Hsu, "Extended FMEA for sustainable manufacturing: An empirical study in the non-woven fabrics industry," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, no. 9, 2016, doi: 10.3390/su8090939.
- [114] A. Bertoni, "Development of a circularity impact and failure analysis: Obsolescence and recyclability integration," in *Proceedings of the NordDesign 2020 Conference, NordDesign 2020*, 2020. doi: 10.35199/norddesign2020.2.
- [115] G. Ellis, *Lean Product Development*. 2016. doi: 10.1016/b978-0-12-802322-8.00007-3.
- [116] J. G. de Freitas, H. G. Costa, and F. T. Ferraz, "Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A survey study," *J Clean Prod*, vol. 156, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.054.
-

- 
- [117] A. Banawi and M. M. Bilec, "A framework to improve construction processes: Integrating lean, green and six sigma," *International Journal of Construction Management*, vol. 14, no. 1, 2014, doi: 10.1080/15623599.2013.875266.
- [118] M. Sagnak and Y. Kazancoglu, "Integration of green lean approach with six sigma: an application for flue gas emissions," *J Clean Prod*, vol. 127, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.016.
- [119] R. Siegel, J. Antony, J. A. Garza-Reyes, A. Cherrafi, and B. Lameijer, "Integrated green lean approach and sustainability for SMEs: From literature review to a conceptual framework," *J Clean Prod*, vol. 240, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118205.
- [120] S. Bracke, M. Inoue, and B. Ulutas, "Contribution for Analysing, Saving and Prioritising of Lessons Learned Issues Regarding Product Improvement and Future Product Generations," in *Procedia CIRP*, 2016. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.095.
- [121] L. Zhen, Z. Jiang, and H. T. Song, "Distributed knowledge sharing for collaborative product development," *Int J Prod Res*, vol. 49, no. 10, 2011, doi: 10.1080/00207541003705864.
- [122] W. C. Regli and V. A. Cicirello, "Managing digital libraries for computer-aided design," *CAD Computer Aided Design*, vol. 32, no. 2, 2000, doi: 10.1016/S0010-4485(99)00095-0.
- [123] S. Bracke and B. Ulutas, "Basic structure of lessons learned approach to improve manufacturing processes: A case study," in *IFAC-PapersOnLine*, 2019. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.327.
- [124] K. Mulenga, X. Zhao, M. Xie, and C. Chikamba, "Investigating the root causes of major failures of critical components – With a case study of asbestos cement pipes," *Eng Fail Anal*, vol. 84, 2018, doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.08.024.
- [125] Q. Ma, H. Li, and A. Thorstenson, "A big data-driven root cause analysis system: Application of Machine Learning in quality problem solving," *Comput Ind Eng*, vol. 160, 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107580.
- [126] W. Hadid, S. A. Mansouri, and D. Gallear, "Is lean service promising? A socio-technical perspective," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 36, no. 6, 2016, doi: 10.1108/IJOPM-01-2015-0008.
- [127] R. Ng, J. S. C. Low, and B. Song, "Integrating and implementing Lean and Green practices based on proposition of Carbon-Value Efficiency metric," *J Clean Prod*, vol. 95, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.043.
- [128] A. P. King and R. J. Eckersley, *Statistics for Biomedical Engineers and Scientists: How to Visualize and Analyze Data*. 2019. doi: 10.1016/C2018-0-02241-0.
- [129] J. Jiang, *Applied medical statistics*. 2022. doi: 10.1002/9781119716822.
- [130] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistic and Probability for Engineers Fifth Edition*, vol. 3, no. April. 20AD.
- [131] R. A. Armstrong, "When to use the Bonferroni correction," *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, vol. 34, no. 5. 2014. doi: 10.1111/opo.12131.
- [132] *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. 2010. doi: 10.1002/9780470479216.
- [133] A. Lund and M. Lund, "Laerd Statistics," Assumptions of the Mann-Whitney U test. [Online]. Available: <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/mann-whitney-u-test-assumptions.php>
- [134] R. G. Dawson Beth; Trapp, "Basic & Clinical Biostatistics, 4th Edition," *McGraw-Hill*, 2004.
- [135] "Wikipedia AHP." [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic\\_hierarchy\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process)
-

- 
- [136] N. BEGIČEVIĆ and VIŠEKRITERIJSKI, “VIŠEKRITERIJSKI MODELI ODLUČIVANJA U STRATEŠKOM PLANIRANJU UVOĐENJA E-UČENJA,” 2013.
- [137] E. H. Forman and M. A. Selly, “Decision by Objectives,” *Decision by Objectives*, 2010, doi: 10.1142/9789812810694.
- [138] T. L. Saaty, “Analytic Hierarchy Process,” *Encyclopedia of Biostatistics*, 2005, doi: 10.1002/0470011815.b2a4a002.
- [139] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 53, 2015, doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009.
- [140] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 64, 2016, doi: 10.1016/j.omega.2015.12.001.
- [141] G. Marodin, A. G. Frank, G. L. Tortorella, and T. Netland, “Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects,” *Int J Prod Econ*, vol. 203, pp. 301–310, 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.07.009.
- [142] A. Hejazi, N. Bhuiyan, and M. Othman, “Performance measurement of a lean product development process,” *Concurr Eng Res Appl*, vol. 28, no. 3, 2020, doi: 10.1177/1063293X20958916.
- [143] G. Johansson and E. Sundin, “Lean and green product development: Two sides of the same coin?,” *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 104–121, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.005.
- [144] R. M. Coutinho, P. S. Ceryno, L. M. de Souza Campos, and M. Bouzon, “A critical review on lean green product development: State of art and proposed conceptual framework,” *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 18, no. 11, 2019. doi: 10.30638/eemj.2019.221.
- [145] I. Cukor Kirinić and M. Hegeđić, “Trends and Future Research Direction of Lean Product Development,” *Sustainability*, vol. 15, no. 24, 2023, doi: 10.3390/su152416721.
- [146] D. O. Aikhuele and F. M. Turan, “Proposal for a Conceptual Model for Evaluating Lean Product Development Performance: A Study of LPD Enablers in Manufacturing Companies,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016. doi: 10.1088/1757-899X/114/1/012047.
- [147] A. J. Dal Forno, F. A. Forcellini, L. M. Kipper, and F. A. Pereira, “Method for evaluation via benchmarking of the lean product development process: Multiple case studies at Brazilian companies,” *Benchmarking*, vol. 23, no. 4, 2016, doi: 10.1108/BIJ-12-2013-0114.
- [148] T. Licentiate, D. Series, and S. S. Development, “THE MISSING PILLAR : EXPLORING SOCIAL SUSTAINABILITY IN PRODUCT DEVELOPMENT The missing pillar : exploring social sustainability in product development Patricia Lagun Mesquita,” 2016.
- [149] S. Byggeth and E. Hochschorner, “Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement,” *J Clean Prod*, vol. 14, no. 15–16, 2006, doi: 10.1016/j.jclepro.2005.03.024.

## **Prilozi**

Prilog 1: Anketni upitnik za ekspertni panel

Prilog 2: Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka

Prilog 3: Upitnik za usporedbu kriterija i potkriterija u modelu

Prilog 4: p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija

Prilog 5: Provjera simetričnosti distribucija razlika



## Prilog 1: Anketni upitnik za ekspertni panel

### Utjecaj vitkih alata u razvoju proizvoda na aspekte održivosti

Ovaj anketni upitnik dio je istraživanja u doktorskom radu Ivane Cukor Kirinić na Fakultetu Strojarsva i brodogradnje u Zagrebu. Upitnik je vezan uz istraživanje utjecaja vitkih alata koji se u koriste u razvoju proizvoda na ekološke, društvene i ekonomske aspekte održivosti proizvoda.

Upitnik se sastoji od pitanja koja procjenjuju utjecaj svakoga od 8 odabranih vitkih alata na ekološke, društvene i ekonomske aspekte održivosti.

Upitnik je u potpunosti anoniman, a dobiveni podaci obrađivat će se samo u zbirnom obliku. Mentor doktorskog rada je doc.dr.sc. Miro Hegedić.

Poštovana/i, hvala Vam što ćete izdvojiti vrijeme kako biste pomogli kod provođenja istraživanja o utjecaju vitkih alata razvoja proizvoda na ekološke, društvene i ekonomske aspekte održivosti proizvoda. Pred Vama se nalazi 27 pitanja u kojima ćete trebati procijeniti utjecaj 8 najučestalijih vitkih alata na ekološke, društvene i ekonomske aspekte održivosti proizvoda, te dva pitanja vezana uz sektor Vašeg zaposlenja i godine iskustva. Objašnjenje svakoga od alata te ekološki, društveni i ekonomski aspekti održivosti dani su u ovom dokumentu ([LINK \(https://docs.google.com/document/d/1BDaOKP-ft7rKZWt95BQFTq0-E7fqOPNs/edit?usp=sharing&ouid=107393091461450717739&rtoref=true&sd=true\)](https://docs.google.com/document/d/1BDaOKP-ft7rKZWt95BQFTq0-E7fqOPNs/edit?usp=sharing&ouid=107393091461450717739&rtoref=true&sd=true)), koji Vam može poslužiti kao podsjetnik.

Upitnik bi trebao trajati 10 - 15 minuta.

Za sva pitanja stojim Vam na raspolaganju. Srdačan pozdrav, Ivana Cukor Kirinić

Postoji 27 pitanja u ovom upitniku.

### Osnovni podaci o ispitanicima

**[ ] Molim da odaberete odgovor koji najbolje opisuje sektor vašeg zaposlenja \***

Izaberite jedan od ponuđenih odgovora

Molim izaberite **samo jedan** od ponuđenih odgovora.

- Akademski sektor
- Industrijski sektor

Ukoliko ste radili u oba sektora, navedite onaj za koji smatrate da ste u njemu stekli najviše iskustva.

**[ ] Molim navedite koliko imate ukupno godina iskustva/rada \***

U ovo polje mogu biti upisani samo brojevi.

Molimo unesite svoj odgovor ovdje:

Unesite broj godina. Zaokružite na cijeli broj.

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: „Kaizen“ u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: 6 sigma (eng. „Six sigma“) u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Prilog 1: Anketni upitnik za ekspertni panel

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: „Standardizacija & standardiziran rad“ u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/ smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: „vizualni menadžment“ u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „FMEA“ (eng."failure modes & effects analysis") u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Prilog 1: Anketni upitnik za ekspertni panel

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata: Naučene lekcije (eng „*Lessons learned*“) u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata Analiza temeljnih uzroka (eng. „*Root cause analysis*“) u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata 5 zašto (eng. „5 Why“) u razvoju proizvoda na ekološke aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Potrošnja materijala/korištenje materijala iz obnovljivih izvora/smanjenje mase/korištenje recikliranih materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Potrošnja energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usklađenost s okolišnim propisima i standardima te s propisima i certifikatima koji se odnose na uporabu materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa/postupno ukidanje opasnih tvari/nema upotrebe konfliktnih minerala za komponente proizvoda i/ili u njegovoj proizvodnji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Utjecaj vitkih alata razvoja proizvoda na društvene aspekte održivosti

U ovom dijelu upitnika cilj je odrediti utjecaj 8 najučestalijih alata vitkog razvoja proizvoda na 4 društvenih aspekata održivosti.

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Kaizen“ u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata 6 sigma (eng. „Six sigma“) u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Standardizacija & standardizirani rad“ u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Vizualni menadžment“ u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „FMEA“ (eng. "Failure modes and effects analysis") u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata Naučene lekcije (eng. „Lessons learned“) u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata Analiza temeljnih uzroka (eng. „*Root cause analysis*“) u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata 5 zašto (eng. „5 Why“) u razvoju proizvoda na društvene aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Dobrobit zaposlenika (obuhvaća zdravlje i sigurnost, profesionalni razvoj i zadovoljstvo tvrtkom)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dobrobit kupaca (obuhvaća zdravstvene i sigurnosne utjecaje na kupce od proizvodnje i uporabe proizvoda, zadovoljstvo i prava kupaca)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sigurnost proizvoda i utjecaj na zdravlje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proizvod je u skladu s propisima i certifikatima o isteku životnog vijeka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Utjecaj vitkih alata razvoja proizvoda na ekonomske aspekte održivosti

U ovom dijelu upitnika cilj je odrediti utjecaj 8 najučestalijih alata vitkog razvoja proizvoda na 4 ekonomskih aspekata održivosti.

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Kaizen“ u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata 6 sigma (eng. „Six sigma“) u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Standardizacija & standardizirani rad“ u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „Vizualni menadžment“ u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

Prilog 1: Anketni upitnik za ekspertni panel

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata „FMEA“ (eng. "Failure modes and effect anaysis") u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata Naučene lekcije (eng. „*Lessons learned*“) u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata Analiza temeljnih uzroka (eng. „*Root cause analysis*“) u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

**Prema Vašem mišljenju, procijenite kakav utjecaj ima korištenje vitkog alata 5 Zašto (eng. „5 Why“) u razvoju proizvoda na ekonomske aspekte održivosti proizvoda navedene u nastavku**

\*

Molimo odaberite 4 odgovora

Molim izaberite odgovarajući odgovor za svaku stavku.

	Jako pozitivan	Pozitivan	Umjereno pozitivan	Malo pozitivan	Neutralan	Malo negativan	Umjereno negativan	Negativan	Jako negativan
Rast, raščlanjen na dobit, troškove i ulaganja poduzeća, povrat ulaganja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inovacijski potencijal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Izravni i neizravni troškovi, kao što su troškovi rada i materijala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produktivnost, poboljšanje učinka zaposlenika, Dizajn za proizvodnju (eng. DfM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Zaključno mišljenje ispitanika

*Zaključno mišljenje ispitanika*

**[ ] Ukoliko imate dodatnih pitanja ili komentara, ovdje slobodno upišite. Hvala Vam na vremenu kojeg ste uložili u ispunjavanje ovog upitnika.**

Molimo unesite svoj odgovor ovdje:

## Prilog 2: Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka

Tablica 57 Rezultati Shapiro-Wilkovog testa normalnosti podataka

Red	Vitki alat	Aspekt održivosti	U kojem testu je korišteno	P-vrijednost	W	St dev
1	Kaizen	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00021	0,82670	1,0148
2	6 sigma	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00100	0,85970	1,2015
3	Standardizirani rad	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00120	0,86340	1,2229
4	Vizualni menadžment	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00221	0,87530	1,2299
5	FMEA	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00003	0,78060	1,2034
6	Naučene lekcije	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00014	0,81830	1,278
7	Analiza temeljnih uzroka	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00227	0,87590	1,4162
8	5 zašto	Dobrobit kupaca	Spearmanov test korelacija	0,00518	0,89130	1,3629
9	Kaizen	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00085	0,85640	1,0854
10	6 sigma	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00778	0,89860	1,2847
11	Standardizirani rad	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00308	0,88170	1,0483
12	Vizualni menadžment	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00490	0,89030	1,1958
13	FMEA	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00046	0,84390	1,4559
14	Naučene lekcije	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00200	0,87340	1,2243
15	Analiza temeljnih uzroka	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,02632	0,91970	1,432
16	5 zašto	Dobrobit zaposlenika	Spearmanov test korelacija	0,00722	0,89730	1,557
17	Kaizen	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00036	0,83850	0,9994
18	6 sigma	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00901	0,90120	1,3374
19	Standardizirani rad	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,03461	0,92420	1,8134
20	Vizualni menadžment	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,02370	0,91790	1,5669
21	FMEA	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00768	0,89840	1,5298
22	Naučene lekcije	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00074	0,85360	1,2243
23	Analiza temeljnih uzroka	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00117	0,86290	1,4735
24	5 zašto	Inovacijski potencijal	Spearmanov test korelacija	0,00174	0,87070	1,4404
25	Kaizen	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,01376	0,90870	1,4142

Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

26	6 sigma	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00039	0,84010	1,1725
27	Standardizirani rad	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00099	0,85960	1,4077
28	Vizualni menadžment	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00100	0,85970	1,4126
29	FMEA	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00150	0,86780	1,0954
30	Naučene lekcije	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00732	0,89750	1,2411
31	Analiza temeljnih uzroka	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,01157	0,90560	1,2452
32	5 zašto	Istek životnog vijeka	Spearmanov test korelacija	0,00268	0,87560	1,3718
33	Kaizen	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00266	0,87890	1,4404
34	6 sigma	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00497	0,89060	1,3287
35	Standardizirani rad	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00631	0,89490	1,3493
36	Vizualni menadžment	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00115	0,86250	1,2229
37	FMEA	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00079	0,85500	1,4126
38	Naučene lekcije	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00074	0,85370	1,306
39	Analiza temeljnih uzroka	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,01971	0,91480	1,47
40	5 zašto	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Spearmanov test korelacija	0,00340	0,88350	1,2243
41	Kaizen	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00248	0,87750	0,9879
42	6 sigma	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,01598	0,91120	1,2794
43	Standardizirani rad	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00769	0,89840	0,11351
44	Vizualni menadžment	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,05174	0,93090	1,3515
45	FMEA	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00544	0,89220	1,2726
46	Naučene lekcije	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00204	0,87380	1,2758
47	Analiza temeljnih uzroka	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00198	0,87320	1,7167
48	5 zašto	Potrošnja energije	Spearmanov test korelacija	0,00178	0,87120	1,3933
49	Kaizen	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00064	0,85080	0,8683
50	6 sigma	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,01560	0,91080	0,1269
51	Standardizirani rad	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00101	0,85990	1,3578
52	Vizualni menadžment	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00950	0,90220	1,4259

Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

53	FMEA	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00084	0,85620	1,3047
54	Naučene lekcije	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00041	0,84140	0,98030
55	Analiza temeljnih uzroka	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00071	0,85280	1,5196
56	5 zašto	Potrošnja materijala	Spearmanov test korelacija	0,00150	0,86780	1,3767
57	Kaizen	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00004	0,79020	1,2576
58	6 sigma	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00107	0,86110	1,4657
59	Standardizirani rad	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00003	0,78410	1,2888
60	Vizualni menadžment	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00429	0,88790	1,1651
61	FMEA	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,02304	0,91740	1,306
62	Naučene lekcije	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00270	0,87920	1,3047
63	Analiza temeljnih uzroka	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,00136	0,86590	1,2341
64	5 zašto	Produktivnost	Spearmanov test korelacija	0,01648	0,91180	1,2243
65	Kaizen	Rast	Spearmanov test korelacija	0,00021	0,82630	1,0828
66	6 sigma	Rast	Spearmanov test korelacija	0,00090	0,85760	1,2521
67	Standardizirani rad	Rast	Spearmanov test korelacija	0,00220	0,87530	0,9994
68	Vizualni menadžment	Rast	Spearmanov test korelacija	0,01541	0,91060	1,2429
69	FMEA	Rast	Spearmanov test korelacija	0,01700	0,91230	1,1121
70	Naučene lekcije	Rast	Spearmanov test korelacija	0,00238	0,87680	1,0063
71	Analiza temeljnih uzroka	Rast	Spearmanov test korelacija	0,02641	0,91970	1,4016
72	5 zašto	Rast	Spearmanov test korelacija	0,00475	0,88970	1,1885
73	Kaizen	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00039	0,84020	1,306
74	6 sigma	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00019	0,82400	1,1651
75	Standardizirani rad	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00017	0,82150	1,2954
76	Vizualni menadžment	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00119	0,86330	1,3412
77	FMEA	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00015	0,81890	1,2134
78	Naučene lekcije	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00042	0,84200	1,0954
79	Analiza temeljnih uzroka	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00957	0,90230	1,2704
80	5 zašto	Sigurnost proizvoda	Spearmanov test korelacija	0,00506	0,89090	1,2243
81	Kaizen	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,00013	0,81570	1,2635

Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

82	6 sigma	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,00007	0,80300	1,6006
83	Standardizirani rad	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,00005	0,79570	1,3429
84	Vizualni menadžment	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,05564	0,93200	1,3493
85	FMEA	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,02641	0,91970	1,4016
86	Naučene lekcije	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,00410	0,88700	1,3047
87	Analiza temeljnih uzroka	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,00281	0,88000	1,4499
88	5 zašto	Troškovi	Spearmanov test korelacija	0,02450	0,91850	1,2507
89	Kaizen	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00634	0,89500	1,2959
90	6 sigma	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00237	0,87670	1,3746
91	Standardizirani rad	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00562	0,89280	1,2576
92	Vizualni menadžment	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00965	0,90250	1,5166
93	FMEA	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00391	0,88610	1,3684
94	Naučene lekcije	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00078	0,85460	1,2905
95	Analiza temeljnih uzroka	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,06133	0,93360	1,5388
96	5 zašto	Usklađenost s okolišnim propisima	Spearmanov test korelacija	0,00010	0,80900	1,3817
97	Svi alati	Okolišna dimenzija	Wilcoxonov test	0,00000	0,90310	1,3733
98	Svi alati	Društvena dimenzija	Wilcoxonov test	0,00000	0,88640	1,3102
99	Svi alati	Ekonomska dimenzija	Wilcoxonov test	0,00000	0,90620	1,3694
100	Kaizen akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00232	0,90290	1,1091
101	Kaizen industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,86000	1,2506
102	6 sigma akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00089	0,88830	1,0834
103	6 sigma industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00002	0,90720	1,4178
104	Standardizirani rad akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00028	0,86980	1,292
105	Standardizirani rad industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00001	0,90100	1,2872
106	Vizualni menadžment akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00232	0,90280	1,3877
107	Vizualni menadžment industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,87920	1,3834
108	FMEA akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00226	0,90250	1,2687
109	FMEA industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,85120	1,3604
110	Naučene lekcije akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00002	0,82340	0,8738

Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

111	Naučene lekcije industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,84630	1,3536
112	Analiza temeljnih uzroka akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00041	0,87590	1,3939
113	Analiza temeljnih uzroka industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00005	0,91480	1,602
114	5 zašto akademski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00032	0,87200	1,3502
115	5 zašto industrijski	Okolišna dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,85940	1,3472
116	Kaizen akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00003	0,81340	1,4313
117	Kaizen industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,82410	1,1528
118	6 sigma akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00058	0,88160	1,0178
119	6 sigma industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,86760	1,3348
120	Standardizirani rad akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00007	0,84470	1,3566
121	Standardizirani rad industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,86490	1,1184
122	Vizualni menadžment akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00023	0,86600	1,3994
123	Vizualni menadžment industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88660	1,2865
124	FMEA akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00015	0,85890	1,2788
125	FMEA industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,82210	1,2975
126	Naučene lekcije akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00168	0,89810	1,114
127	Naučene lekcije industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,82010	1,2127
128	Analiza temeljnih uzroka akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00062	0,88260	1,1655
129	Analiza temeljnih uzroka industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88060	1,4159
130	5 zašto akademski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00036	0,87360	1,3205
131	5 zašto industrijski	Društvena dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,86470	1,4083
132	Kaizen akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00008	0,84730	1,1297
133	Kaizen industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,79050	1,1621
134	6 sigma akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00035	0,87350	1,238
135	6 sigma industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88230	1,49
136	Standardizirani rad akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88490	1,4802
137	Standardizirani rad industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,83960	1,4217
138	Vizualni menadžment akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00153	0,89660	1,276

Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

139	Vizualni menadžment industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00007	0,91720	1,2773
140	FMEA akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00326	0,90790	1,2066
141	FMEA industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00005	0,91490	1,4052
142	Naučene lekcije akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00109	0,89140	1,0175
143	Naučene lekcije industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,86420	1,2506
144	Analiza temeljnih uzroka akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00175	0,89860	1,2649
145	Analiza temeljnih uzroka industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,87440	1,3585
146	5 zašto akademski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00087	0,88800	1,1477
147	5 zašto industrijski	Ekonomska dimenzija	Mann-Whitneyjev U-test	0,00005	0,91480	1,331
148	Kaizen akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88900	1,2425
149	Kaizen industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,83940	1,1955
150	6 sigma akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,89880	1,1282
151	6 sigma industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,89810	1,4388
152	Standardizirani rad akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88200	1,4299
153	Standardizirani rad industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88490	1,3097
154	Vizualni menadžment akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00003	0,93720	1,3689
155	Vizualni menadžment industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,89940	1,3162
156	FMEA akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,91300	1,2722
157	FMEA industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,87670	1,3839
158	Naučene lekcije akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,90090	1,0467
159	Naučene lekcije industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,84670	1,2708
160	Analiza temeljnih uzroka akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,92070	1,2714
161	Analiza temeljnih uzroka industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,90120	1,4693
162	5 zašto akademski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,91290	1,2746
163	5 zašto industrijski	Sve dimenzije	Mann-Whitneyjev U-test	0,00000	0,88590	1,3644
164	Svi alati	Materijal	Friedmanov test	0,00000	0,88080	1,3166
165	Svi alati	Potrošnja energije	Friedmanov test	0,00000	0,90560	1,3402
166	Svi alati	Usklađenost s okolišnim propisima	Friedmanov test	0,00000	0,90640	1,4126



Prilog 2: Rezultati *Shapiro-Wilkovog* testa normalnosti podataka

167	Svi alati	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa	Friedmanov test	0,00000	0,90530	1,3852
168	Svi alati	Dobrobit zaposlenika	Friedmanov test	0,00000	0,89490	1,3394
169	Svi alati	Dobrobit kupaca	Friedmanov test	0,00000	0,87200	1,3001
170	Svi alati	Sigurnost proizvoda	Friedmanov test	0,00000	0,87620	1,2543
171	Svi alati	Istek životnog vijeka	Friedmanov test	0,00000	0,89270	1,3327
172	Svi alati	Rast	Friedmanov test	0,00000	0,91100	1,2323
173	Svi alati	Inovacijski potencijal	Friedmanov test	0,00000	0,90440	1,4975
174	Svi alati	Troškovi	Friedmanov test	0,00000	0,90510	1,4091
175	Svi alati	Produktivnost	Friedmanov test	0,00000	0,89350	1,3089

## Prilog 3: Upitnik za usporedbu kriterija i potkriterija u modelu

## Upitnik za usporedbu kriterija i potkriterija u modelu

Poštovani,

pred Vama je kratki upitnik u kojem je potrebno usporediti aspekte održivosti koje želite unaprijediti pri razvoju proizvoda. Podaci iz ovog upitnika bit će korišteni u doktorskom radu Ivane Cukor Kirinić kod izrade modela utjecaja vitkih alata razvoja proizvoda na aspekte održivosti. Molim Vas da usporedite međusobno navedene dimenzije i aspekte na način da u usporedbi parova dodijelite broj od 1 do 9. Ocjena 1 znači „jednaku važnost“, a 9 „ekstremnu važnost“ u odnosu na stavku s kojim se uspoređuje, npr. ako kod stavke s lijeve strane dodijelite ocjenu 9, to znači da ona ima ekstremnu važnost u odnosu na stavku s desne strane. Značenja ostalih ocjena prioriteta dana su u tablici u nastavku.

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dvije vrijednosti jednako pridonose cilju.
3	Umjereno važno	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu.
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena, strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu.
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću.
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti	

U nastavku se nalaze 4 tablice u kojima je potrebno unijeti važnost za određenu dimenziju i aspekte na način da označite broj koji prema Vašem mišljenju najbolje opisuje međusobni odnos dviju uspoređenih stavki. Ako označite broj 1, to znači da dvije stavke imaju jednaku važnost.

Hvala Vam na odgovorima. Ako imate kakvih dodatnih pitanja, stojim Vam na raspolaganju.

Ivana Cukor Kirinić

Procijenite koja od dimenzija ima veću važnost.

1	Okolišna dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Društvena dimenzija
2	Okolišna dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekonomska dimenzija
3	Društvena dimenzija	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekonomska dimenzija

Procijenite koji od okolišnih aspekata ima veću važnost.

1	Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Potrošnja energije
2	Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Usklađenost s okolišnim propisima
3	Materijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
4	Potrošnja energije	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Usklađenost s okolišnim propisima
5	Potrošnja energije	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa
6	Usklađenost s okolišnim propisima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odabir netoksičnih i bezopasnih resursa

Procijenite koji od društvenih aspekata ima veću važnost.

1	Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Dobrobit kupaca
2	Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sigurnost
3	Dobrobit zaposlenika	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka
4	Dobrobit kupaca	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sigurnost
5	Dobrobit kupaca	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka
6	Sigurnost	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Istek životnog vijeka

Procijenite koji od ekonomskih aspekata ima veću važnost.

1	Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inovacijski potencijal
2	Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Troškovi
3	Rast	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost
4	Inovacijski potencijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Troškovi
5	Inovacijski potencijal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost
6	Troškovi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produktivnost

## Prilog 4: p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija

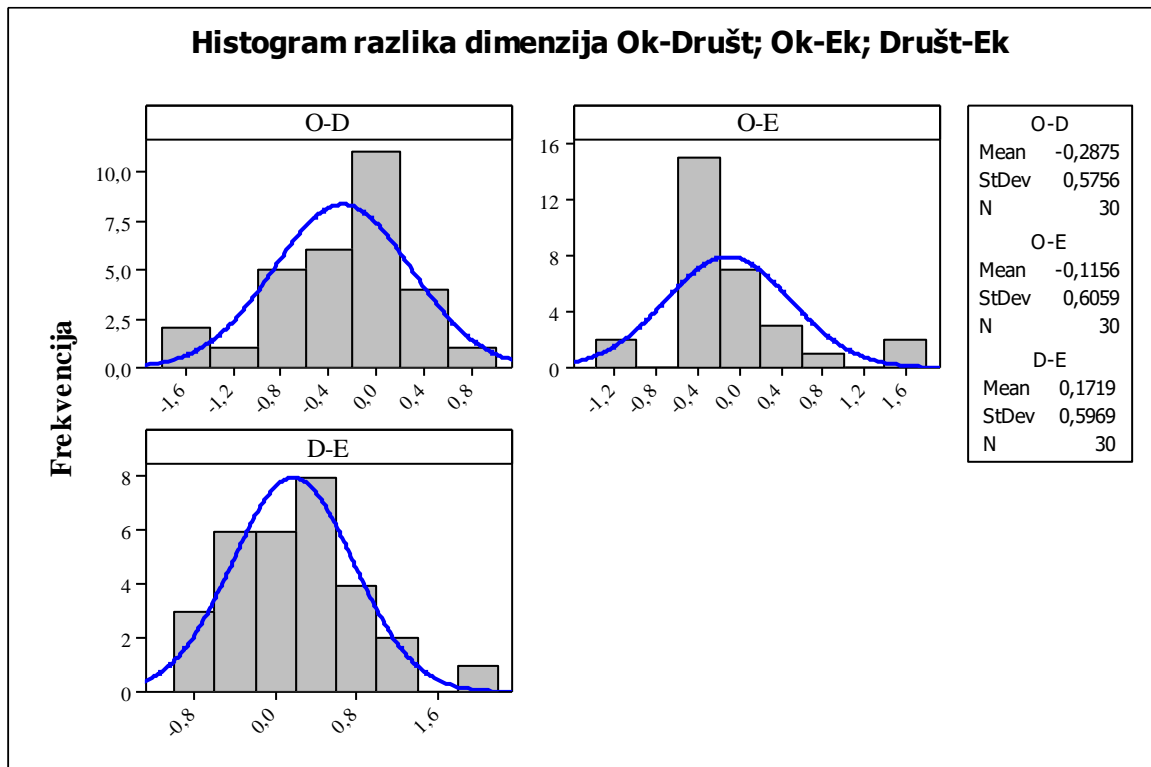
Tablica 58 p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija

Grupa 1	Grupa 2	p-vrijednost Spearmanovog testa
Potrošnja energije	Materijal	0,000
Usklađenost s okolišnim propisi	Materijal	0,000
Odabir netoksičnih i bezopasnih	Materijal	0,000
Dobrobit zaposlenika	Materijal	0,000
Dobrobit kupaca	Materijal	0,000
Sigurnost proizvoda	Materijal	0,000
Istek životnog vijeka	Materijal	0,000
Rast	Materijal	0,000
Inovacijski potencijal	Materijal	0,000
Troškovi	Materijal	0,000
Produktivnost	Materijal	0,000
<b>Godine</b>	<b>Materijal</b>	<b>0,300</b>
Usklađenost s okolišnim propisi	Potrošnja energije	0,000
Odabir netoksičnih i bezopasnih	Potrošnja energije	0,000
Dobrobit zaposlenika	Potrošnja energije	0,000
Dobrobit kupaca	Potrošnja energije	0,000
Sigurnost proizvoda	Potrošnja energije	0,000
Istek životnog vijeka	Potrošnja energije	0,000
Rast	Potrošnja energije	0,000
Inovacijski potencijal	Potrošnja energije	0,000
Troškovi	Potrošnja energije	0,000
Produktivnost	Potrošnja energije	0,000
<b>Godine</b>	<b>Potrošnja energije</b>	<b>0,357</b>
Odabir netoksičnih i bezopasnih	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Dobrobit zaposlenika	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Dobrobit kupaca	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Sigurnost proizvoda	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Istek životnog vijeka	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Rast	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Inovacijski potencijal	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Troškovi	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
Produktivnost	Usklađenost s okolišnim propisi	0,000
<b>Godine</b>	<b>Usklađenost s okolišnim propisi</b>	<b>0,011</b>
Dobrobit zaposlenika	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Dobrobit kupaca	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Sigurnost proizvoda	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Istek životnog vijeka	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Rast	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Inovacijski potencijal	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
Troškovi	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000

## Prilog 4: p-vrijednosti Spearmanovog testa korelacija

Produktivnost	Odabir netoksičnih i bezopasnih	0,000
<b>Godine</b>	<b>Odabir netoksičnih i bezopasnih</b>	<b>0,739</b>
Dobrobit kupaca	Dobrobit zaposlenika	0,000
Sigurnost proizvoda	Dobrobit zaposlenika	0,000
Istek životnog vijeka	Dobrobit zaposlenika	0,000
Rast	Dobrobit zaposlenika	0,000
Inovacijski potencijal	Dobrobit zaposlenika	0,000
Troškovi	Dobrobit zaposlenika	0,000
Produktivnost	Dobrobit zaposlenika	0,000
Godine	Dobrobit zaposlenika	0,001
Sigurnost proizvoda	Dobrobit kupaca	0,000
Istek životnog vijeka	Dobrobit kupaca	0,000
Rast	Dobrobit kupaca	0,000
Inovacijski potencijal	Dobrobit kupaca	0,000
Troškovi	Dobrobit kupaca	0,000
Produktivnost	Dobrobit kupaca	0,000
<b>Godine</b>	<b>Dobrobit kupaca</b>	<b>0,955</b>
Istek životnog vijeka	Sigurnost proizvoda	0,000
Rast	Sigurnost proizvoda	0,000
Inovacijski potencijal	Sigurnost proizvoda	0,000
Troškovi	Sigurnost proizvoda	0,000
Produktivnost	Sigurnost proizvoda	0,000
Godine	Sigurnost proizvoda	0,193
Rast	Istek životnog vijeka	0,000
Inovacijski potencijal	Istek životnog vijeka	0,000
Troškovi	Istek životnog vijeka	0,000
Produktivnost	Istek životnog vijeka	0,000
<b>Godine</b>	<b>Istek životnog vijeka</b>	<b>0,399</b>
Inovacijski potencijal	Rast	0,000
Troškovi	Rast	0,000
Produktivnost	Rast	0,000
<b>Godine</b>	<b>Rast</b>	<b>0,509</b>
Troškovi	Inovacijski potencijal	0,000
Produktivnost	Inovacijski potencijal	0,000
<b>Godine</b>	<b>Inovacijski potencijal</b>	<b>0,851</b>
Produktivnost	Troškovi	0,000
<b>Godine</b>	<b>Troškovi</b>	<b>0,232</b>
<b>Godine</b>	<b>Produktivnost</b>	<b>0,698</b>

Prilog 5: Provjera simetričnosti distribucija razlika



## ŽIVOTOPIS

Ivana Cukor Kirinić rođena je 29. svibnja 1985. godine u Zagrebu, gdje je završila Osnovnu školu Ive Andrića i VII. gimnaziju. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2004. godine, a diplomirala je 2010. godine na Konstrukcijskom smjeru, usmjerenje Dizajn medicinskih konstrukcija. Tijekom studija bila je nagrađivana nagradom »Davorin Bazjanac « za uzoran uspjeh te dekanskom nagradom za najboljeg studenta. Godine 2010. nagrađena je Medaljom Fakulteta za izvanredan uspjeh na studiju.

Nakon završetka studija, 2010. godine zapošljava se u kompaniji Elektrokontakt d. d., kao tehnologinja i konstruktorica proizvoda, gdje radi do kraja 2016. godine. Ondje se prvi put susreće s vitkom metodologijom te postaje i *lean* trenerica koja planira radionice i provođenje aktivnosti za uvođenje *lean* proizvodnje. Od 2016. radi u kompaniji Yazaki Europe Limited kao dizajn-inženjerka komponenti za sustave električnih ožičenja visokog napona u električnim automobilima.

Godine 2012. upisuje doktorski studij na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom docenta Mire Hegedića.

Udana, majka jednog djeteta.

**Javno objavljeni znanstveni radovi:**

1. Cukor, Ivana; Hegedić, Miro

"Lean Product Development – The Way Towards Sustainability", Book of Proceedings of 6th International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2021, str. 9-16

Opatija, Hrvatska, 25.05.2021. - 26.05.2021

2. Cukor, Ivana; Hegedić, Miro

Lean Product Development Tools for Promotion of Sustainability Integration in Product Development,

Tehnički glasnik, Vol. 17 No. 2, 2023., 299-303

<https://doi.org/10.31803/tg-20230429094940>

3. Cukor, Ivana; Hegedić, Miro

Trends and future research direction of Lean product development

Sustainability 2023, 15, 16721

<https://doi.org/10.3390/su152416721>