

IVICA VEŽA, NIKOLA GJELDUM, MARKO MLADINEO (urednici) /

INOVATIVNO PAMETNO PODUZEĆE



Nakladnik:
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE,
STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Za nakladnika:
Prof. dr. sc. Vladan Papić

Autori:
Prof. dr.sc. Ivica Veža, voditelj projekta, FESB Split
Doc.dr.sc. Nikola Gjeldum, zamjenik voditelja projekta, FESB Split
Dr.sc. Marko Mladineo, tajnik projekta, FESB Split
Prof. dr.sc. Zoran Babić, Ekonomski fakultet Split
Prof. dr.sc. Boženko Bilić, FESB Split
Izv.prof. dr.sc. Stipo Čelar, FESB Split
Izv.prof. dr.sc. Željko Stojkić, Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike Mostar
Amanda Aljinović, doktorand, FESB Split
Nikola Banduka, doktorand, FESB, Split
Igor Bošnjak, doktorand, Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike Mostar
Marina Crnjac, doktorand, FESB Split
Ivan Peko, doktorand, FESB Split
Mili Turić, doktorand, FESB, Split
Andrej Bašić, viši laborant, FESB, Split

Recenzenti:
Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić
Doc. dr. sc. Željko Mateljak

Tisak:
Kartular d.o.o.

Naklada:
50 primjeraka

Knjiga je tiskana u kolovozu 2018. godine.

INOVATIVNO PAMETNO PODUZEĆE

Prof. dr. sc. Ivica Veža, Doc. dr. sc. Nikola Gjeldum, Dr. sc. Marko Mladineo (urednici)

Split, 2018.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
SVEUČILIŠNA KNJIŽNICA
U SPLITU

UDK 330.526.33:330.341.1
330.526.33:004

INOVATIVNO pametno poduzeće / Ivica
Veža...<et al.> ; <urednici> Ivica Veža,
Nikola Gjeldum, Marko Mladineo. - Split :
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i
brodogradnje, 2018.

Bibliografija.

ISBN 978-953-290-082-8

1. Veža, Ivica 2. Gjeldum, Nikola,
inženjer strojarstva 3. Mladineo, Marko,
inženjer strojarstva
I. Poduzeća -- Informacijski sustavi --
Hrvatska II. Informacijska tehnologija --
Menadžment III. Poduzeća -- Tehnološki
razvoj

170518027

Sadržaj

1. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA HRVATSKIH INDUSTRIJSKIH PODUZEĆA	1
1.1. Industrija 4.0: Pametna tvornica	1
1.2. Ciljevi INSENT projekta	2
1.3. Analiza dobivenog uzorka	4
1.4. Analiza dobivenih rezultata upitnika	8
1.5. Analiza posjeta poduzećima	11
1.5.1. Analiza odnosa između tehnike, organizacije i osoblja	13
1.5.2. Analiza osoblja i organizacije	17
1.5.3. Analiza primjene informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT)	19
1.6. Sinteza pomoću detaljne analize odabranih poduzeća	22
1.7. Literatura	24
2. RAZVOJ INOVATIVNOG PAMETNOG PODUZEĆA HR-ISE	26
2.1 Razvoj konfiguratora proizvoda	26
2.1.1. Masovna prilagodba i konfigurator proizvoda	26
2.1.2. Analiza web reprezentativnosti hrvatskih proizvodnih poduzeća	27
2.1.3. Optimiranje konfiguracije proizvoda prema kupčevim željama	29
2.1.4. INSENT web konfigurator proizvoda	33
2.1.5. INSENT web aplikacija za upravljanje nesukladnostima	37
2.2. Razvoj modela tvornice temeljenog na lean i zelenim principima	39
2.2.1. Metodologija istraživanja i analiza dobivenih rezultata	39
2.2.2. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na leanu	45
2.2.3. Primjena višekriterijalne analize za određivanje razine zrelosti hrvatskih poduzeća u smislu približavanja konceptu Industrije 4.0	69
2.2.3.1. Uvod	69
2.2.3.2. Pregled korištenih višekriterijalnih metoda	69
2.2.3.2.1. Analitički Hijerarhijski Proces (AHP)	69
2.2.3.2.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	72
2.2.3.3. Primjena višekriterijalne analize na procjenu industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća	74
2.2.3.4. Zaključak	78
2.3. Razvoj asistentskog modula PLAS	80
2.3.1. Industrija 4.0 i informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT)	80
2.3.1.1. Internet, CPS, CPPS i IoT i I4.0	80
2.3.1.2. Horizontalna i vertikalna integracija u I4.0	82
2.3.1.3. Industrija 4.0 – konvergencija virtualnog i fizičkog svijeta	83
2.3.2. Informatizacija procesa u tvrtkama	85
2.3.2.1. Informatička zrelost hrvatskih tvrtki	85
2.3.2.2. Paradoks sposobnosti prilagodbe softvera (programskog rješenja)	87

2.3.3. Metodologija razvoja softvera	88
2.3.3.1. Metodologije razvoja softvera	89
2.3.3.2. Agilne metode/metodologije razvoja softvera	89
2.3.3.3. Lean & agile: Manifest agilnog razvoja softvera	90
2.3.4. Arhitektura VENIO Sustava za praćenje poslovnih procesa.....	91
2.3.4.1. Integracija sustava ili integracija funkcija	91
2.3.4.2. Kontekstualni model VENIO sustava	92
2.3.4.3. Konceptualni model VENIO sustava	93
2.3.4.4. Realizacija softvera (IS-a) za praćenje poslovnih procesa – VENIO sustav	93
2.3.5. PLAS – modul za planiranje i raspoređivanje (PLAS).....	99
2.3.5.1. Konceptualni model PLAS modula	99
2.3.5.2. Praćenje proizvodnje na temelju vezanih dokumenata (temeljeno na OAGIS i UN/CEFACT).....	101
2.3.5.3. Podsustav 'Senzorski centar' – vertikalna 'ulaznica' u CPPS svijet.....	105
2.4. Upravljanje kvalitetom – sustavi, metode i tehnike	106
2.4.1. Sustavi upravljanja kvalitetom	106
2.4.1.1. Upravljanje kvalitetom prema zahtjevima niza norma ISO 9000	107
2.4.1.2. TQM.....	112
2.4.1.3. ŠEST SIGMA	114
2.4.1.3.1. ŠEST SIGMA – Metrika.....	114
2.4.1.3.2. ŠEST SIGMA – Metodologija.....	115
2.4.1.3.3. ŠEST SIGMA – Sustav upravljanja.....	116
2.4.2. Osnovni alati za kontrolu kvalitete.....	117
2.4.2.1. Ispitni list	118
2.4.2.2. Histogram	119
2.4.2.3. Pareto-dijagram.....	120
2.4.2.4. Dijagram uzroka i posljedice	121
2.4.2.5. Dijagram tijeka	122
2.4.2.6. Dijagram rasipanja.....	124
2.4.2.7. Kontrolne karte	125
2.4.3. Alati za upravljanje kvalitetom.....	128
2.4.3.1. Dijagram srodnosti	128
2.4.3.2. Dijagram odnosa	130
2.4.3.3. Stablo dijagram	131
2.4.3.4. Matrični dijagram	132
2.4.3.5. Matrica prioriteta	134
2.4.3.6. Program procesnog odlučivanja (PDPC dijagram)	135

2.4.3.7. Mrežni dijagram	136
2.4.4. Važnost kvalitete i primjena alata za kvalitetu prilikom uvođenja HR-ISE modela	140
2.5. Razvoj koncepta za implementaciju ERP i xRM sustava.....	142
2.5.1. Uvod	142
2.5.2. Industrija 4.0 i informacijski sustavi	143
2.5.2.1. Promjena u informacijskim sustavima s Industrijom 4.0	144
2.5.3. Koncept implementacije ERP/xRM sustava	145
2.5.3.1. Koncept uvođenja informacijskog sustava.....	146
2.5.3.2. Zahtjevi Industrije 4.0 u razvoju ERP sustava.....	148
2.5.4. Primjena informacijskih sustava na primjeru inteligentnog montažnog sustava	150
2.5.4.1. Kibernetičko-fizički sustavi u prikupljanju, analizi i obradi podataka	150
2.5.4.2. Inteligentni montažni sustav i opis problema	153
2.5.4.3. Prijedlog rješenja.....	155
2.5.5. Zaključak.....	155
2.6. Literatura	156
3. TVORNICA ZA UČENJE (LEARNING FACTORY)	160
3.1. Koncept Tvornice za učenje.....	160
3.1.1. Uvod	160
3.1.2. Razlozi razvoja Tvornica za učenje	161
3.2. Tvornica za učenje na FESB-u	167
3.2.1. Koncept tvornice za učenje na FESB-u	167
3.2.2. Znanstveni radovi Tvornice za učenje na FESB-u	171
3.2.2.1. TEMPUS Joint Project titled “Master Studies and Continuing Education Network in Product Lifecycle Management with Sustainable Production” (MAS-PLM)	171
3.2.2.2. EU Leonardo da Vinci projekt LOPEC	172
3.2.2.3. Network innovative Learning Factories - NIL.....	173
3.2.3. Implementacija Lean & Green koncepta u gospodarstvo.....	176
3.3. Računalom podržani dizajn, aditivna proizvodnja i 3D skeniranje proizvoda.....	178
3.3.1. Uvod	178
3.3.2. Računalom podržano kontruiranje (eng. Computer Aided Design, CAD).....	179
3.3.3. Aditivna proizvodnja	181
3.3.4. Stereolitografija (eng. Stereolithography, SL).....	184
3.3.5. 3D printanje (eng. 3D printing, 3DP).....	185
3.3.6. Taložno očvršćivanje materijala (eng. Fused Deposition Modeling, FDM).....	186
3.3.7. 3D skeniranje.....	188
3.3.8. Zaključak.....	191
3.4. Digitalna tvornica – simulacija.....	193
3.4.1 Uvod	193
3.4.2. Digitalna tvornica	193

3.4.3. Programska podrška visTABLE	195
3.4.5. Programska podrška Tecnomatix	196
3.4.6. Zaključak	199
3.5. Montažna linija mjenjačke kutije u sklopu „Tvornice koja uči“	200
3.5.1. Uvod	200
3.5.2. Montažna linija mjenjačke kutije u sklopu „Tvornice koja uči“	201
3.5.3. Mjenjačka kutija	202
3.5.4. Grafički prikaz početnog plana montaže prema strukturi proizvoda	203
3.5.5. Postupak balansiranja i unaprjeđenja montažne linije	205
3.5.6. Izrada uputa za montažu za sve montažne stanice.....	215
3.5.7. Zaključak.....	220
3.6. Inteligentna montažna linija.....	221
3.6.1. Vertikalna integracija proizvodnog sustava za transparentu i efikasnu proizvodnju	221
3.6.2. Oblikovanje Inteligentne montažne linije kroz vertikalnu integraciju	223
3.6.3. Zaključak i daljnji razvoj.....	228
3.7. Tvornica za učenje na Fakultetu strojarstva, računarstva i elektrotehnike u Mostaru	
229	
3.7.1. Koncept Learning Factory na FSRE-u.....	229
3.7.2. Opis problema	229
3.7.3. Cilj projekta	230
3.7.4. Analiza postojećeg stanja i faze razvoja Tvornice za učenje na FSRE	230
3.7.5. Proizvod Tvornice za učenje na FSRE	235
3.7.6. Zaključak.....	240
3.8. Studije slučajeva uvođenja HR-ISE modela	241
3.8.1. Končar - Energetski transformatori (engl. Končar Power Transformers – KPT) ..	241
3.8.2. Oprema d.d.....	243
3.8.3. Zaključak.....	244
3.9. Literatura	244
4. ZAKLJUČAK.....	248
5. Prilozi	252
Kazalo slika i tablica.....	252
Kazalo slika	252
Kazalo tablica.....	258
Popis oznaka i kratica	259
Ostali prilozi i dokumentacija	261
Prilog 1. Upitnik za analizu razine industrijskih poduzeća	261
Prilog 2. Odgovori na pitanja o razini industrije.....	268
Prilog 3. Analiza odnosa između tehnike, organizacije i osoblja.....	278
Prilog 4. Analiza osoblja.....	280
Prilog 5. Procesi, cloud softver i Internet poslovanje	283
Prilog 6. Popis objavljenih radova	293

Predgovor

Ova monografija nastala je kao rezultat znanstvenih istraživanja na projektu Razvoj inovativnog pametnog poduzeća (*Innovative Smart Enterprise – INSENT*) - 1353, koje je financirala Hrvatska zaklada za znanost HRZZ. Na početku želim zahvaliti HRZZ što je prepoznala značaj ovog istraživanja i izvrsnim ocjenama pratila tijek rada na projektu. Rad je rezultirao velikim brojem referenci, koje se nalaze na kraju ove monografije, a jedan od značajnijih rezultata je izrada tri doktorske disertacije. Projekt je započeo 01. rujna 2014. godine, a završava 31. kolovoza 2018. godine.

Od srca bih želio zahvaliti svim članovima istraživačkog tima na primjernom, zajedničkom timskom radu, zalaganju i rezultatima koje smo postigli. Bez aktivnog sudjelovanja svih članova tima ne bi bilo moguće uspješno završiti ovako zahtjevan projekt. Radili smo zajedno bez hijerarhijskih razina, uvažavajući svakog člana i njegovo mišljenje, što se posebno moglo vidjeti na 18 radionica koje smo održali u ovom četverogodišnjem razdoblju. Posebno bi zahvalio mojem zamjeniku doc.dr.sc. Nikoli Gjeldumu i tajniku dr.sc. Marku Mladineu. U timu su sudjelovali članovi Katedre za industrijsko inženjerstvo na FESB-u (prof.dr.sc. Ivica Veža, prof.dr.sc. Boženko Bilić, doc.dr.sc. Nikola Gjeldum, dr.sc. Marko Mladineo, doktorandi Ivan Peko, Nikola Banduka, Marina Crnjac i Amanda Aljinović, te laborant Andrej Bašić), članovi Katedre za arhitekturu računala i operacijske sustave na FESB-u (prof.dr.sc. Stipo Čelar i doktorand Mili Turić), član Ekonomskog fakulteta u Split (prof.dr.sc. Zoran Babić), te članovi Fakulteta strojarstva, računarstva i elektrotehnike u Mostaru (prof.dr.sc. Željko Stojić i doktorand Igor Bošnjak).

U pisanju ove monografije pojedina poglavlja pisali su sljedeći autori:

1. Analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća (INSENT tim)
 - 2.1. Razvoj konfiguratora proizvoda (Gjeldum, Mladineo)
 - 2.2. Razvoj modela tvornice temeljenog na lean i zelenim principima (Veža, Mladineo, Crnjac, Babić)
 - 2.3. Razvoj asistentskog modula PLAS (Čelar, Turić)
 - 2.4. Upravljanje kvalitetom – sustavi, metode i tehnike (Bilić, Crnjac)
 - 2.5. Razvoj koncepta za implementaciju ERP i xRM sustava (Stojić, Bošnjak)
 - 3.1. Koncept Tvornice za učenje (Veža, Gjeldum, Mladineo, Crnjac)
 - 3.2. Tvornica za učenje na FESB-u (INSENT tim)
 - 3.3 Računalom podržani dizajn, aditivna proizvodnja i 3D skeniranje proizvoda (Peko, Bašić, Aljinović)
 - 3.4. Digitalna tvornica – simulacija (Crnjac, Baduka)
 - 3.5. Montažna linija mjenjačke kutije u sklopu Tvornice za učenje (Gjeldum)
 - 3.6. Inteligentna montažna linija (Mladineo, Čelar)

3.7. Tvornica za učenje na Fakultetu strojarstva, računarstva i elektrotehnike u Mostaru (Stojkić, Bošnjak)

3.8. Studije slučaja uvođenja HR-ISE modela (INSENT tim)

4. Zaključak (INSENT tim)

Želio bih se zahvaliti svim poduzećima koji su aktivno sudjelovali u radu na INSENT projektu, a koji su navedeni u tekstu (Poglavlje 1. i Poglavlje 2.). Posebnu zahvalnost zaslužuju poduzeća koji su na temelju razvijenog HR-ISE modela razvili svoj poslovni model (Končar Električni transformatori d.d. KPT – Zagreb i Oprema d.d. Ludbreg), te onim poduzećima s kojima smo najviše razgovarali o mogućnosti primjene (Tech-cut d.o.o., Zagreb; HSTec d.d., Zadar i FEAL d.o.o., Široki Brijeg).

Posebna zahvala recenzentima ove monografije prof.dr.sc. Nedeljku Štefaniću s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu i doc.dr.sc. Željku Mateljku s Ekonomskog fakulteta u Splitu.

Osim referenci kao rezultat istraživanja na INSENT projektu ostaje Tvornica za učenje (*Learning Factory*) na FESB-u, koja je uz sufinanciranje FESB-a, Hrvatske zaklade za znanost i poduzeća (Oprema d.d. i FEAL d.o.o) osnovana na Katedri za industrijsko inženjerstvo. Ona će se koristiti kako za obrazovanje studenata i stručnjaka iz prakse, buduća kako domaća tako i inozemna znanstvena istraživanja, te i za transfer znanja u gospodarstvo.

Voditelj projekta:



Prof.dr.sc. Ivica Veža

Split, 09. srpnja 2018.

1. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA HRVATSKIH INDUSTRIJSKIH PODUZEĆA

1.1. Industrija 4.0: Pametna tvornica

Prve tri industrijske revolucije rezultat su uvođenja strojeva, električne energije i informacijske tehnologije. Sada, uvođenje Interneta stvari i usluga u proizvodnju pokreće četvrtu industrijsku revoluciju: Industrija 4.0. Ovaj novi tip industrije utemeljen je na modelu Pametne tvornice.

U posljednjih dvjesto godina gospodarski razvitak je pratio tri industrijske revolucije (Slika 1.1.).

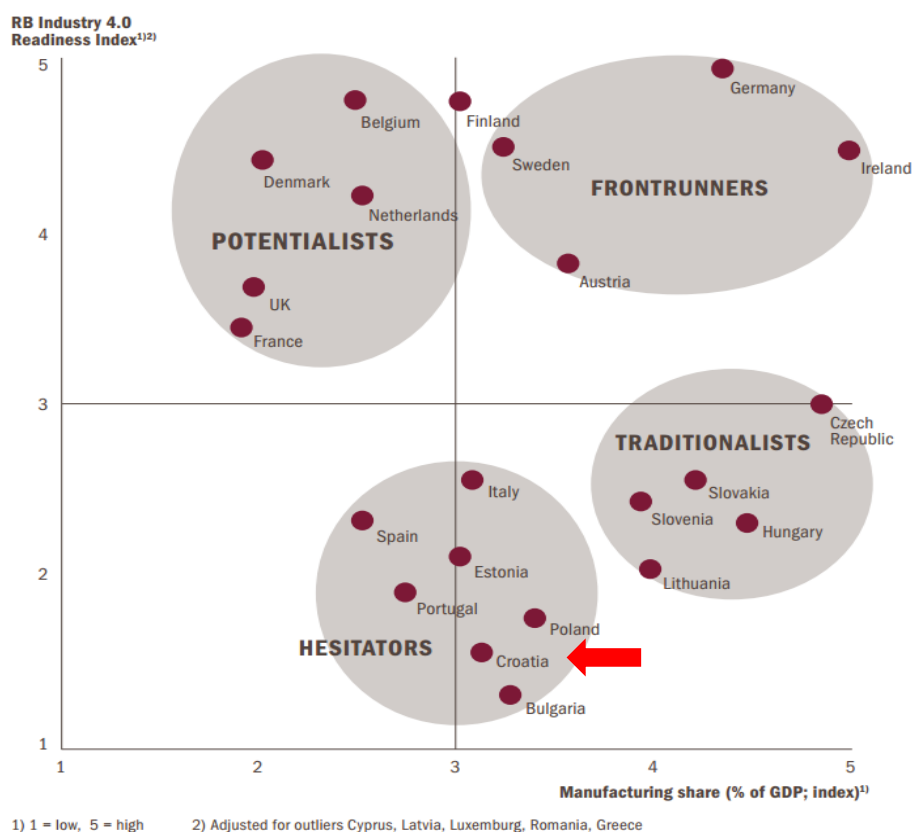
Ugradbeni proizvodni sustavi su vertikalno umreženi s poslovnim procesima drugih poduzeća i horizontalno povezani s prostorno raspršenim mrežama koje dodaju vrijednost. Pametne tvornice omogućavaju ispunjavanje zahtjeva globalnih kupaca, pa je moguće da i proizvodnja jednokomadnih proizvoda bude profitabilna. Kod Industrije 4.0, dinamični poslovni i inženjerski procesi omogućuju izmjene u proizvodnji u *zadnji čas* imajući npr. mogućnost fleksibilnosti s obzirom na poremećaje i pogreške od strane dobavljača. Stoga se osnovne značajke Pametnog poduzeća mogu sažeti u sljedećim točkama [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2015]:

- Pametni personalizirani proizvod – zahtjeva fleksibilnost i visok stupanj integracije informacijsko-komunikacijskih tehnologija (eng. *ICT- Information and Communications Technology*) u proizvodnju;
- Proizvođač i pružatelj usluga – ponuda proširenih proizvoda: proizvod i usluga integrirani u jedno, ili biti pružatelj usluga proizvodnje;
- Visok stupanj suradnje – zahtijeva visok stupanj integracije *ICT-a* da bi se omogućio zajednički razvoj proizvoda i kooperativna proizvodnja.

	1 st Industrial Revolution 1. Industrijska revolucija	2 nd Industrial Revolution 2. Industrijska revolucija	3 rd Industrial Revolution 3. Industrijska revolucija	Industry 4.0 Industrija 4.0
Power Snaga	Mechanization Uvođenje strojeva	Decentral mechanization Decentralizirani strojevi	Automation Automatizacija	Autonomy control Samostalno upravljanje
Principles Principi	Machine productivity Produktivnost strojeva	Taylorism/ scientific management Taylorizam / znanstveni pristup	TQM / Green and Lean Production TQM / Zelena i vitka proizvodnja	Smart Factory Pametna tvornica
Information Informacije	Analog communication Analogna komunikacija	Centralized control Centralizirano upravljanje	Decentralized networks Decentralizirane mreže	Cyber-Physical System Kibernetско-fizički sustav
	1800	1900	1970	2015

Slika 1.1. Razvoj industrijskih revolucija [Acatech, 2013]

Prema istraživanju Roland Bergera, Republika Hrvatska ima vrlo nizak indeks spremnosti za Industriju 4.0, te pripada skupini zemalja *oklijevala* (Slika 1.2.). To znači da će trebati postaviti novu strategiju koja bi podigla indeks spremnosti hrvatskih industrijskih poduzeća.



Slika 1.2. Odnos između udjela industrije u BDP-u i spremnosti na uvođenje Industrije 4.0 europskih država [Berger, 2014]

1.2. Ciljevi INSENT projekta

Svaki svjetski proizvođač ima svoj jedinstveni proizvodni sustav (Toyota, Daimler, Bosch, itd), a neke države razvijaju svoj vlastiti model poduzeća, kao Njemačka – Industrija 4.0. Model je usklađen s njihovom vizijom, strategijom, vrijednostima i kulturom. Do sada Republika Hrvatska nije razvila vlastiti model poduzeća.

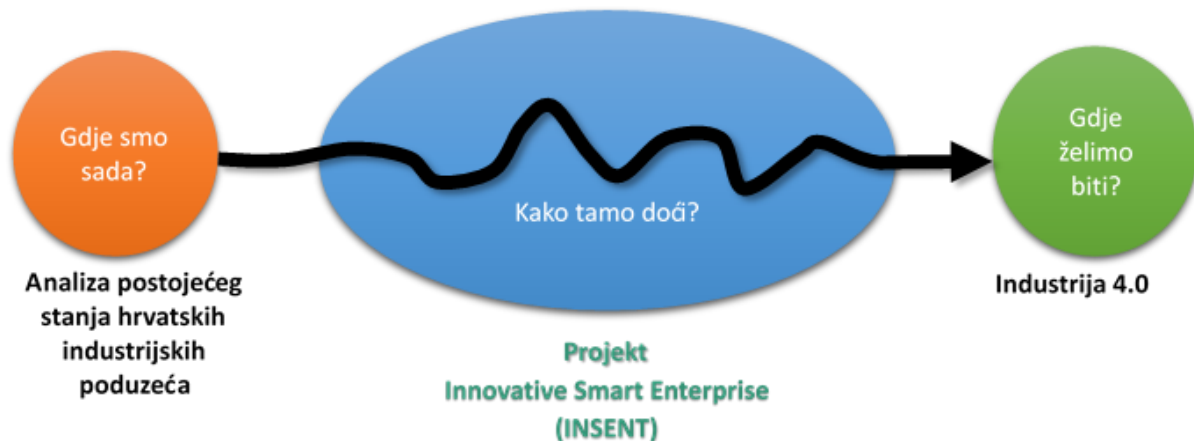
Glavni cilj ovog projekta je razviti Hrvatski model Inovativnog pametnog poduzeća (HR-ISE – *Innovative Smart Enterprise* model). Cilj projekta je napraviti regionalnu prilagodbu modela, tj. uskladiti model Inovativnog pametnog poduzeća sa specifičnim regionalnim načinom razmišljanja, proizvodnom i organizacijskom tradicijom, te specifičnom edukacijom. HR-ISE model bi mogao pomoći hrvatskim poduzećima premostiti razliku između njihovih kompetencija i kompetencija i mogućnosti EU poduzeća.

Projekt je podijeljen u četiri radna paketa:

1) *Analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća (Radni paket 1.)*

Na početku istraživanja vrlo je važno odrediti trenutno stanje hrvatskih industrijskih poduzeća. To će biti učinjeno upitnicima i intervjuima s menadžerima u pojedinim poduzećima. Cilj je prikupiti podatke od što više poduzeća. Nakon toga, izvršiti će se analiza

postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća. Ona želi dati odgovor na pitanje: *Gdje smo?* (Slika 1.3.).



Slika 1.3. Glavni cilj projekta INSENT [Veža, Mladineo, Peko, 2015]

2) Razvoj hrvatskoga inovacijskog modela Pametne tvornice - HR-ISE modela (Radni paket 2.)

Sinteza analize hrvatskih proizvodnih poduzeća biti će učinjena kroz razvoj ISE-HR modela.

HR-ISE model će se temeljiti ne samo na postojećim teorijskim modelima, već na praktičnim modelima kao što su *lean management*, te Toyotinog proizvodnog sustava [Veža i dr., 2015].

Bit će potrebni posebni naponi kako bi se premostile kulturološke i mentalne razlike između postojećih svjetskih modela i aktualnog hrvatskog modela. Tako bi se našao odgovor na pitanje: *Gdje želimo biti?*

3) Eksperimentalna ispitivanja HR-ISE modela u Tvornici za učenje (Radni paket 3.)

Posebno okruženje za učenje realizirati će se s osnivanjem laboratorija. To će biti tzv. Tvornica za učenje (eng. *Learning Factory*), tj. simulacija realne tvornice sa specijaliziranom opremom (elementi virtualne stvarnosti, specijalizirani montažni stolovi, stvarni proizvodi, automatizirani montažni sustavi itd.) [Veža i dr., 2015].

Laboratorij će biti organiziran na takav način da simulira tvornicu temeljenu na HR-ISE modelu. Dakle, Laboratorij će se koristiti ne samo za obrazovanje studenata, već i za cjelovito obrazovanje inženjera iz industrijskih poduzeća. To će biti mjesto transfera razvijenog HR-ISE modela u gospodarstvo.

Osigurat će se svi potrebni materijali i oprema za obrazovanje. U ovom radnom paketu dat će se odgovor na pitanje: *Kako možemo doći do novog stanja?*

4) Diseminacija projekta (Radni paket 4.)

Diseminacija projekta obaviti će se kroz pisana izvješća, te znanstvene i stručne radove u domaćim i inozemnim časopisima i konferencijama.

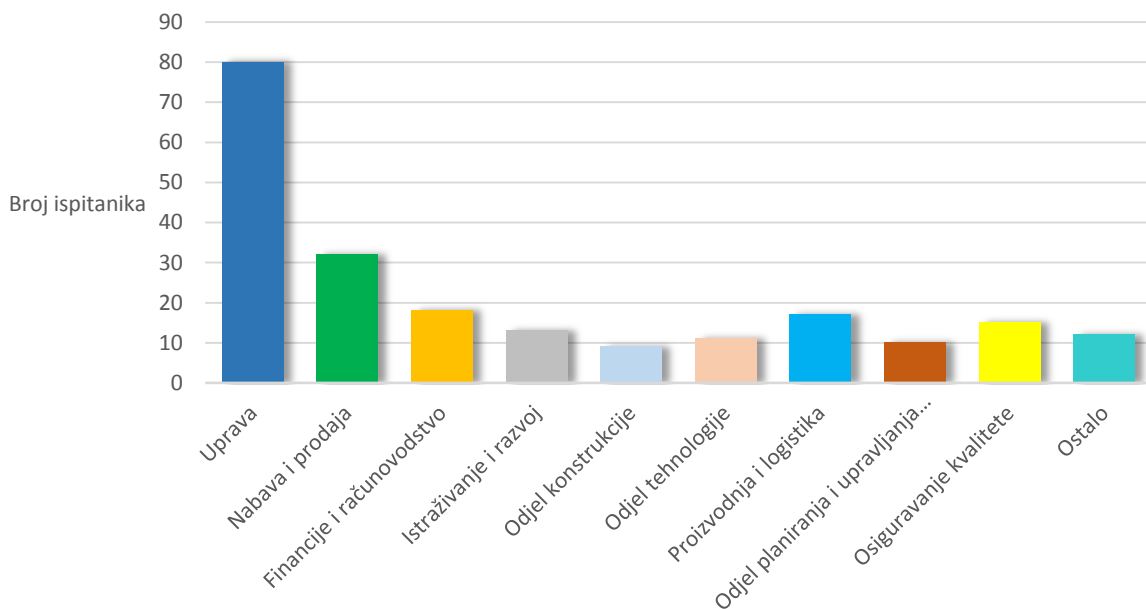
U prvoj godini istraživanja izvršena je analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća.

1.3. Analiza dobivenog uzorka

U cilju analize postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća definiran je upitnik, koji se nalazi u Prilogu 1.

Upitnik postavljen na *web* poslan je na *e-mail* adrese 1.936 hrvatskih poduzeća, koja su jednostavnim putem preko *Interneta* mogla odgovoriti na postavljena pitanja. Dobiveni su odgovori od 161 poduzeća, što odgovara uzorku od 8%. Pri tome su 79% poduzeća navela svoje nazive, odnosno 21% su ostala anonimna.

Najviše odgovora (37%) dobiveno je od članova uprave pojedinih poduzeća. Udio odgovora ispitanika nalazi se na Slici 1.4.

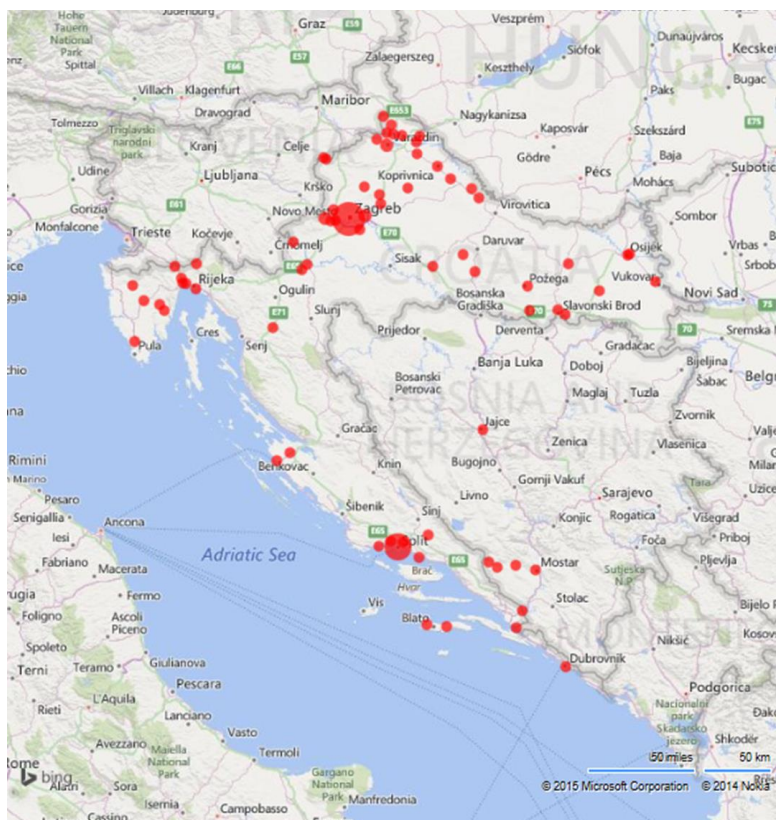


Slika 1.4. Udio broja ispitanika koji su ispunili upitnik

Prema veličini tvrtke dobiveni su sljedeći odgovori:

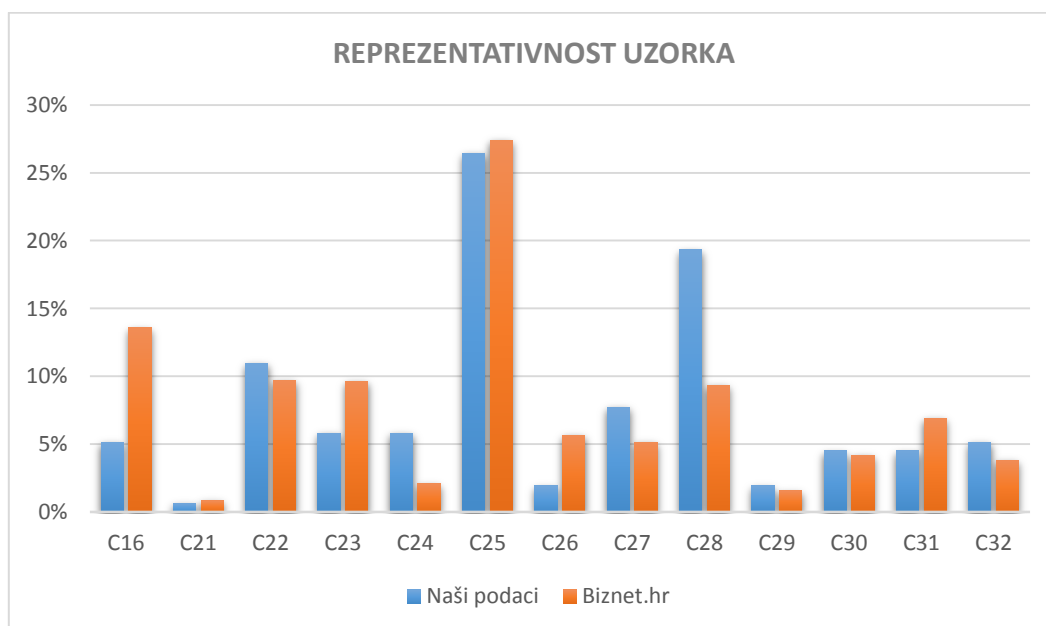
- Mikro tvrtka (5-9 zaposlenih) 14%
- Mala tvrtka (10-49 zaposlenih) 39%
- Srednja tvrtka (50-249 zaposlenih) 30%
- Velika tvrtka (više od 250 zaposlenih) 17%

Raspodjela dobivenih rezultata prikazana je na Slici 1.5., iz koje se vidi da su odgovori dobiveni iz svih regija, najviše iz okoline Zagreba, gdje je najveća koncentracija industrijskih poduzeća.



Slika 1.5. Raspodjela poduzeća koji su dali odgovore prema regijama

Za ocjenu reprezentativnosti uzorka analizirani su dobiveni podaci prema usvojenoj hrvatskoj hijerarhijski strukturiranoj Nomenklaturi industrijskih proizvoda (i usluga) NIP, verzija 2013. Ona je izrađena radi mjerenja godišnje industrijske proizvodnje u fizičkim količinama (obujmu) i vrijednostima. Prema Slici 1.6. se može zaključiti da je dobiven reprezentativan uzorak, jer se podaci dobiveni upitnikom i oni od Biznet.hr značajno ne razlikuju.



Slika 1.6. Reprezentativnost uzorka

Oznake na Slici 1.6.:

C16 - Prerada drva i proizvoda od drva i pluta, osim namještaja; proizvodnja proizvoda od slame i pletarskih materijala

C21 - Proizvodnja osnovnih farmaceutskih proizvoda i farmaceutskih pripravaka

C22 - Proizvodnja proizvoda od gume i plastike

C23 - Proizvodnja ostalih nemetalnih mineralnih proizvoda

C24 - Proizvodnja metala

C25 - Proizvodnja gotovih metalnih proizvoda, osim strojeva i opreme

C26 - Proizvodnja računala te elektroničkih i optičkih uređaja

C27 - Proizvodnja električne opreme

C28 - Proizvodnja strojeva i uređaja

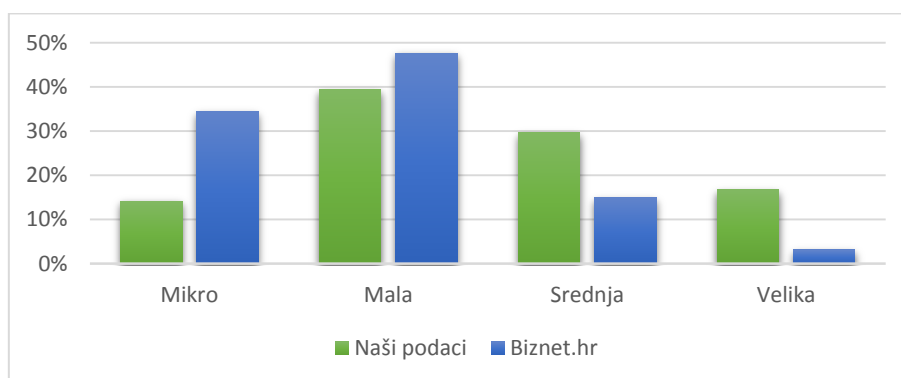
C29 - Proizvodnja motornih vozila, prikolica i poluprikolica

C30 - Proizvodnja ostalih prijevoznih sredstava

C31 - Proizvodnja namještaja

C32 - Ostala prerađivačka industrija

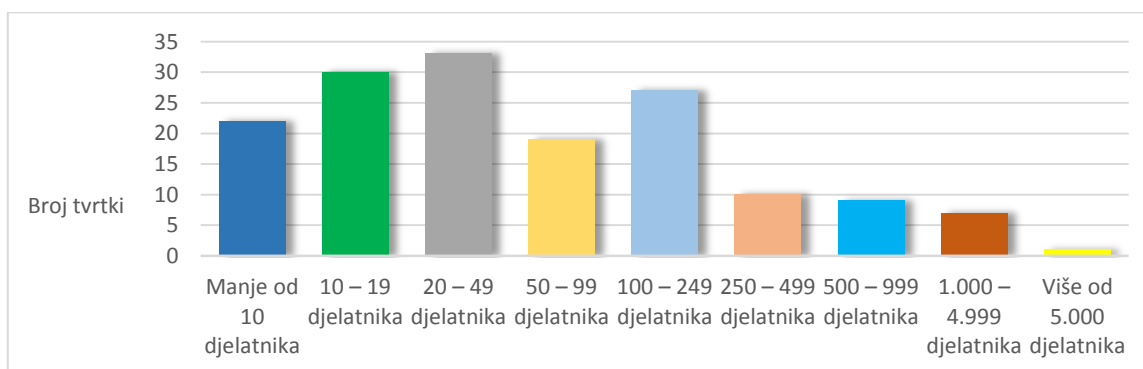
S druge strane, analizirani su dobiveni odgovori prema veličini poduzeća (Slika 1.7.).



Slika 1.7. Raspodjela odgovora prema veličini poduzeća

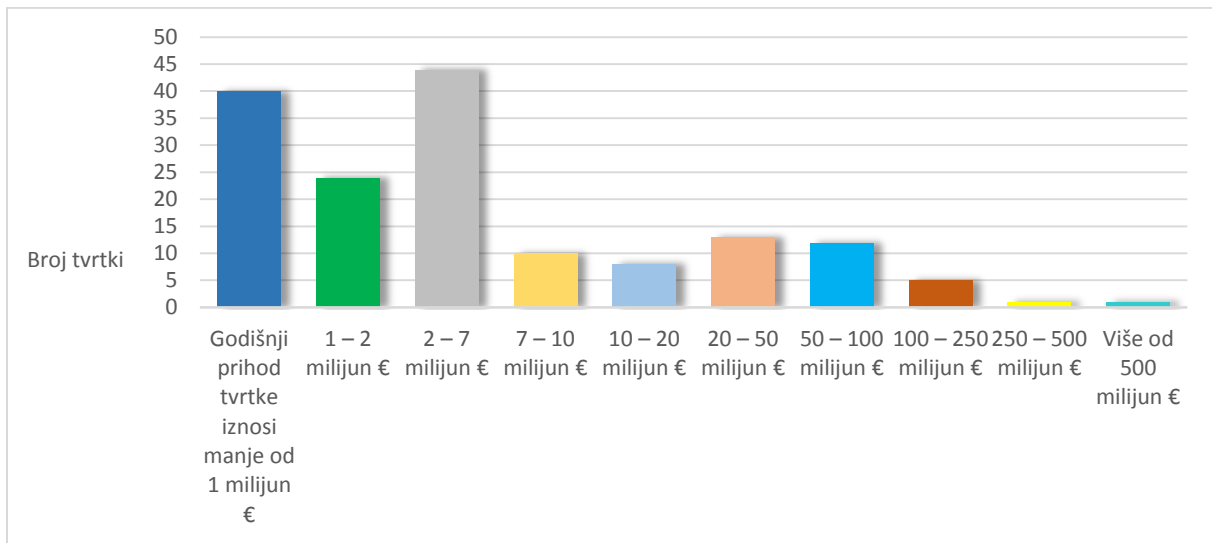
Iz Slike 1.7. se vidi da je postotak dobivenih odgovora veći kod srednjih i velikih poduzeća, a manji kod mikro poduzeća. To je i očekivano, jer za poduzeća manja od 10 zaposlenih postavljena pitanja su kompleksnija, te mnoga mikro poduzeća nisu imali adekvatne odgovore.

Detaljniju raspodjelu odgovora prema veličini poduzeća prikazuje Slika 1.8.



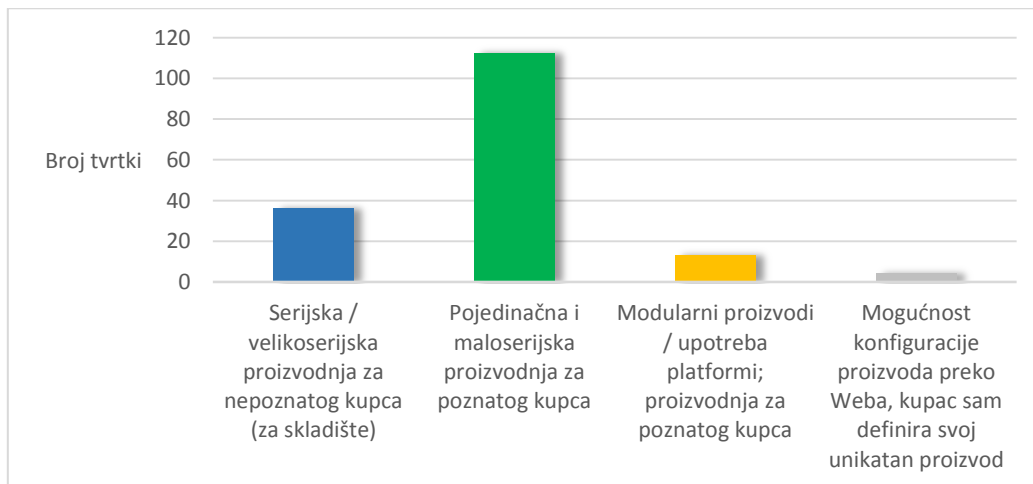
Slika 1.8. Detaljnija raspodjela odgovora prema veličini poduzeća

Analiza uspješnosti poduzeća prema visini godišnjih prihoda prikazana je na Slici 1.9. Prema dobivenim rezultatima može se izračunati da je 67,5% poduzeća svoj godišnji prihod ima manje od 7 miliona Eura, što pokazuje nisku uspješnost hrvatskih industrijskih poduzeća.



Slika 1.9. Uspješnost tvrtke prema visini godišnjih prihoda

Analiza vrste proizvoda u proizvodnom sustavu tvrtke prikazana je na Slici 1.10. Najveći broj poduzeća ima pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju za poznatog kupca, a vrlo malo nude modularne proizvode ili platforme, te mogućnost konfiguracije proizvoda preko *weba*, u kojem kupac može sam definirati svoj unikatan proizvod.



Slika 1.10. Vrsta proizvoda u proizvodnom sustavu tvrtke

1.4. Analiza dobivenih rezultata upitnika

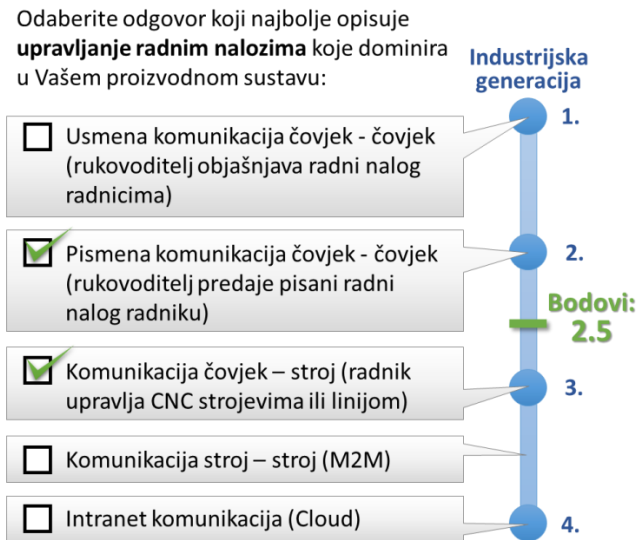
Na početku istraživanja postavljeno je osnovno pitanje: Na koji način odrediti razinu industrije hrvatskih poduzeća u odnosu na industrijske revolucije? Na temelju zaključaka radionice odlučeno je da se poduzećima upute pitanja koja bi pratila djelatnosti poslovnog procesa od razvoja proizvoda, preko planiranja i upravljanja, proizvodnje do osiguranja kvalitete. Tako je definirano devet osnovnih pitanja:

1. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **razvoj proizvoda** u Vašem proizvodnom sustavu
2. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **tehnologiju** koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu
3. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **upravljanje radnim nalogima** koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu
4. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje praćenje **sljedivosti proizvodnje** koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu
5. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **upravljanje zalihama materijala** (zalihama u ulaznom skladištu i zalihama nedovršene proizvodnje) koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu
6. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **upravljanje zalihama gotovih proizvoda** koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu
7. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **osiguranje kvalitetom** koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu.
8. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **upravljanje životnim ciklusom proizvoda** (eng. *Product Lifecycle Management – PLM*) u Vašem proizvodnom sustavu
9. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje primjenu **Toyota Production System TPS**, odnosno **Zelenu i Vitku proizvodnju** (eng. *Green and Lean Production - GALP*) koncepta u Vašem proizvodnom sustavu

Za svaki od ovih pitanja dana je mogućnost da ispitanik odrediti razinu industrije od 1.0 do 4.0 (Tablica 1.1.). Tako je npr. na pitanje 3. Odaberite odgovor koji najbolje opisuje upravljanje radnim nalogima koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu, dane sljedeće opcije:

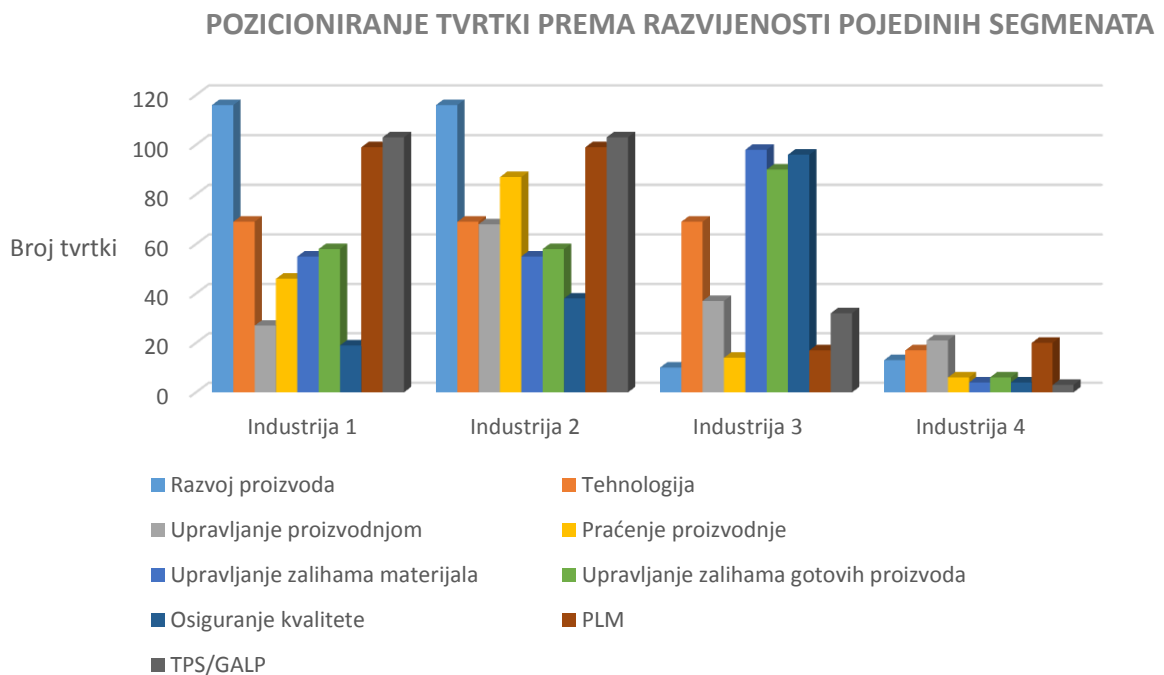
1. Industrija 1.0: Usmena komunikacija čovjek - čovjek (rukovoditelj objašnjava radni nalog radnicima)
2. Industrija 2.0: Pismena komunikacija čovjek - čovjek (rukovoditelj predaje pisani radni nalog radniku)
3. Industrija 3.0: Komunikacija čovjek – stroj (radnik upravlja CNC strojevima ili proizvodnom linijom). Komunikacija stroj – stroj (eng. *Machine to Machine – M2M*)
4. Industrija 4.0: *Intranet* komunikacija (putem vlastite računalne mreže)

Analiza odgovora na postavljenih devet pitanja nalazi se u Prilogu 2. Na Slici 1.11. je prikazan primjer ocjenjivanja na pojedino pitanje u slučaju da je dobiven odgovor na više mogućih varijanti.



Slika 1.11. Rangiranje odgovora

Na temelju podataka iz Priloga 2. određen je histogram podjele poduzeća prema razinama industrije od Industrije 1.0 do Industrije 4.0 (Slika 1.12.).

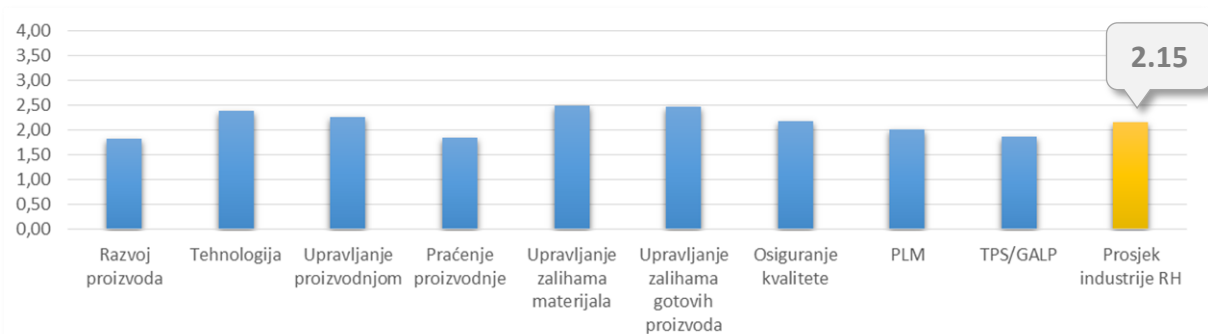


Slika 1.12. Pozicioniranje poduzeća prema pojedinim razinama industrije

Iz Slike 1.12. može se uočiti da je najveći broj odgovora nalazi u području Industrije 1.0 i Industrije 2.0, što potvrđuje analiza svih devet pitanja na Slici 1.13.

Tablica 1.1. Pitanja u upitniku u odnosu na razine industrije

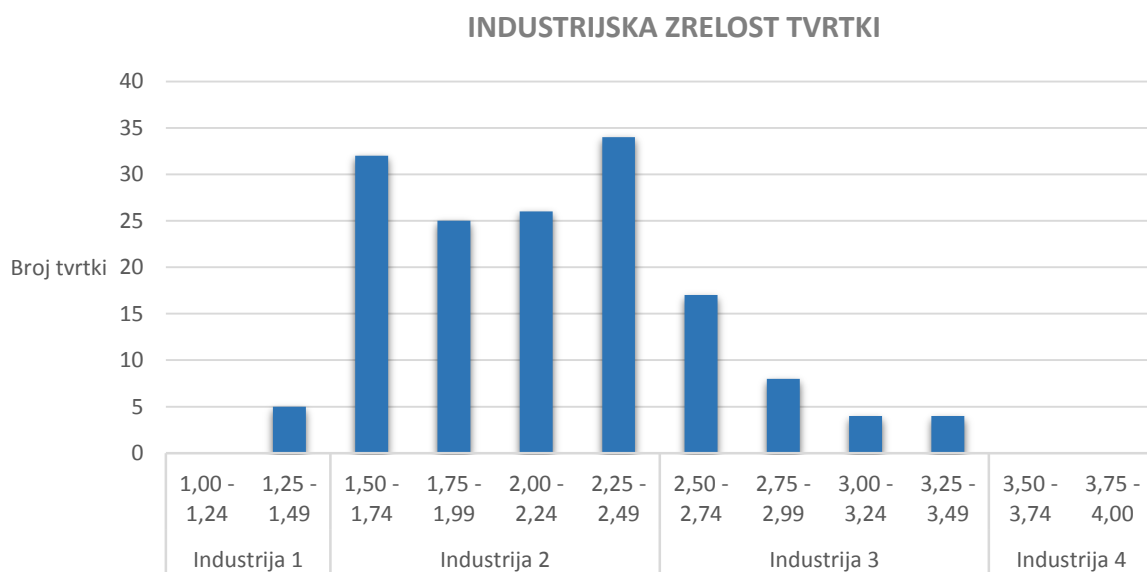
	Pitanje 1	Pitanje 2	Pitanje 3	Pitanje 4	Pitanje 5	Pitanje 6	Pitanje 7	Pitanje 8	Pitanje 9
Industrija 1	Razvoj proizvoda odvija se pomoću CAD sustava	Ručna (bravarska) obrada i/ili ručna montaža	Usmena komunikacija čovjek – čovjek (rukovoditelj objašnjava radni nalog radnicima)	Nema evidencije o prolasku proizvoda kroz proizvodni proces	Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom međuskладиštima u proizvodnji	Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom skladištu	Kontrola proizvoda na kraju proizvodnog procesa	Prisutna je podjela u odjele prema funkcijama (PC i softveri se nalaze u pojedinim odjelima (CAD, CAM, CAD, PPC))	Ne koristi se ni TPS ni GALP principi
Industrija 2	Razvoj proizvoda odvija se pomoću CAD sustava	CNC obradni strojevi i/ili automatizirana proizvodna linija	Pismena komunikacija čovjek – čovjek (rukovoditelj predaje pisani radni nalog radniku)	Proizvod ili transportni sanduk ima pričvršćen papir na koji se zapisuje kada i što je radeno	Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom međuskладиštima u proizvodnji	Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom skladištu	Međufazna kontrola (samokontrola) tijekom cjelokupnog procesa	Prisutna je podjela u odjele prema funkcijama (PC i softveri se nalaze u pojedinim odjelima (CAD, CAM, CAD, PPC))	Ne koristi se ni TPS ni GALP principi
Industrija 3	Upotreba Digitalne tvornice (Digital Factory) i simulacije pri razvoju proizvoda	CNC obradni strojevi i/ili automatizirana proizvodna linija	Komunikacija čovjek – stroj (radnik upravlja CNC obradnim strojevima) ili proizvodnom linijom	Proizvod ili transportni sanduk ima zalijepljen barkod koji se ručno očitava na svakom radnom mjestu	U bazi podataka na računalnom serveru možete očitati koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom međuskладиštima u proizvodnji	U bazi podataka na računalnom serveru možete očitati koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom međuskладиštima u proizvodnji	Upravljanje kvalitetom prema konceptu Cjelokupnog upravljanja kvalitetom (Total Quality Management – TQM)	Pojedni odjeli su povezani preko Računalom integrirane proizvodnje (Computer Integrated Manufacturing – CIM)	Koriste se pojedini elementi TPS i GALP (npr. Kaizen, 5S, Just-in-Time - Upravo na vrijeme, Value Stream Mapping - Dijagram toka vrijednosti, Jidoka i dr.)
Industrija 4	Pri razvoju proizvoda koriste se Virtualna stvarnost (Virtual Reality), 3D skeniranje i Brzi razvoj prototipova (Rapid Prototyping)	Moderni obradni centri s automatiziranim transportom i/ili robotske stanice na automatiziranoj proizvodnoj liniji	Intranet komunikacija (putem vlastite računalne mreže)	Proizvod ili transportni sanduk ima RFID-tag koji se automatski očitava na svakom radnom mjestu	U aplikaciji na svom smartphone ili tablet uređaju možete očitati koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom međuskладиštima u proizvodnji	U aplikaciji na svom smartphone ili tablet uređaju možete očitati koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom međuskладиštima u proizvodnji	Upravljanje kvalitetom prema konceptu Six Sigma	Integracija PLM, Planiranje resursa poduzeća (Enterprise Resource Planning – ERP) i (Management Execution System – MES) preko Informacijske okosnice (Information Backbone) Oblaka (Cloud)	TPS i GALP principi uvedeni su kroz cjelokupan poslovni proces – tzv. Lean Management 2.0 (npr. softverska aplikacija za Kaizen preko smart mobitela)



Slika 1.13. Razina industrijske zrelosti za određene segmente proizvodnje i cjelokupne industrije u Hrvatskoj [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016]

Prema provedenim istraživanjima na projektu INSENT industrijska zrelost hrvatskih poduzeća iznosi 2,15, što predstavlja vrlo nisku razinu. S obzirom da su upitnik ispunili veliki broj poduzeća koja su u Republici Hrvatskoj na najvišoj razini industrijske zrelosti, može se zaključiti da je prosječna zrelost poduzeća još manja od navedene.

Slika 1.14. prikazuje rezultate istraživanja industrijske zrelosti tvrtki prema segmentima od 0,25. Nažalost niti jedno poduzeće nema zrelost veću od 3,5, odnosno ne nalazi se u području Industrije 4.0.



Slika 1.14. Industrijska zrelost tvrtki

1.5. Analiza posjeta poduzećima

Vrlo značajan segment istraživanja bile su posjete odabranim poduzećima. Posjete poduzeća mogu se podijeliti u tri regionalne cjeline:

1. *Kontinentalna Hrvatska:*

- Dalekovod d.d., Zagreb
- Elektrokontakt d.d., Zagreb
- Klima oprema d.d., Samobor
- Končar Električni transformatori d.d., Zagreb
- Kordun d.d., Karlovac
- OMCO d.o.o., Hum na Sutli
- Oprema d.d., Ludbreg
- Rimac Automobili d.o.o., Sveta Nedjelja
- Tech-cut d.o.o., Zagreb

2. *Jadranska Hrvatska*

- 3. maj d.d., Rijeka
- AD Plastik d.d., Solin
- Adria Winch d.o.o, Split
- Brodotrogir d.d., Trogir
- DIV Brodosplit – Dizalice d.o.o., Split
- Fornix d.o.o., Dugi Rat
- HSTec d.d., Zadar
- JLM Perković d.o.o., Rijeka
- Radež d.d., Blato na Korčuli
- Sinel d.o.o., Labin
- Tromont d.o.o., Split
- Tvornica ugljenogرافitnih i elektrokontaktних proizvoda TUP d.d., Dubrovnik
- Uljanik d.d., Pula

3. *Bosna i Hercegovina*

- FEAL d.o.o., Široki Brijeg
- Grafotisak d.o.o., Grude
- Jajce Alloy Wheels – Jaw d.o.o., Jajce
- Miviko d.o.o., Posušje
- Presal Extrusion d.o.o., Široki Brijeg
- TEM – Mandeks d.o.o., Široki Brijeg
- Violeta d.o.o., Grude
- Weltplast d.o.o., Posušje

Posjete su se odvijale prema sljedećem redoslijedu:

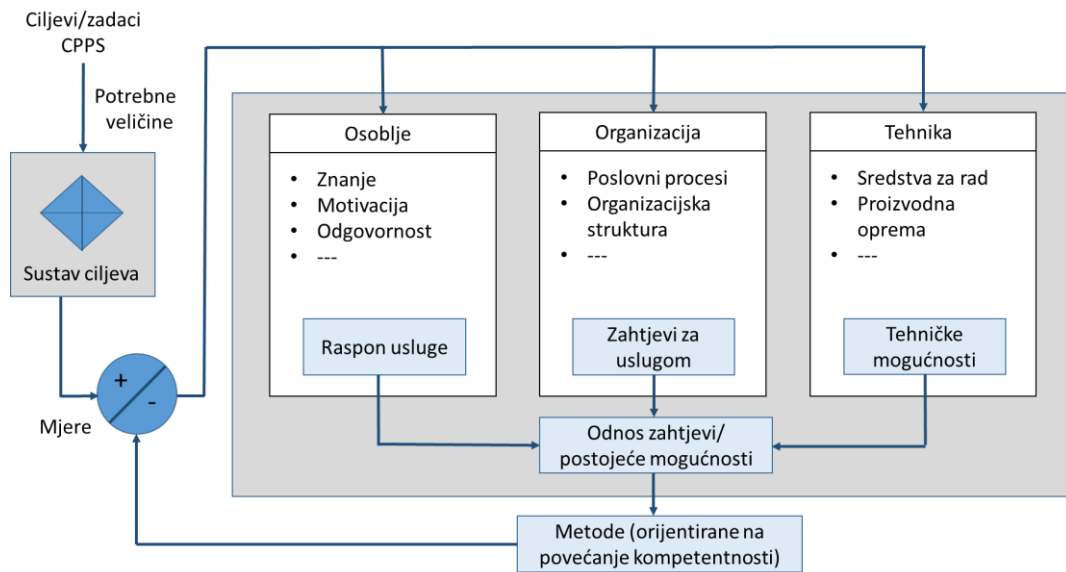
- upoznavanje managementa s INSENT projektom i rezultatima upitnika o zrelosti industrijskih poduzeća hrvatskih poduzeća
- razgovor o značaju tehnike, organizacije i osoblja u poslovnom procesu poduzeća, korištenju informacijsko-komunikacijske tehnologije, te planovima razvoja u budućnosti

- posjeta pogonima i upoznavanje s proizvodnjom (*Gemba way*)

Rezultati pojedinih analiza dani su u nastavku ovog rada.

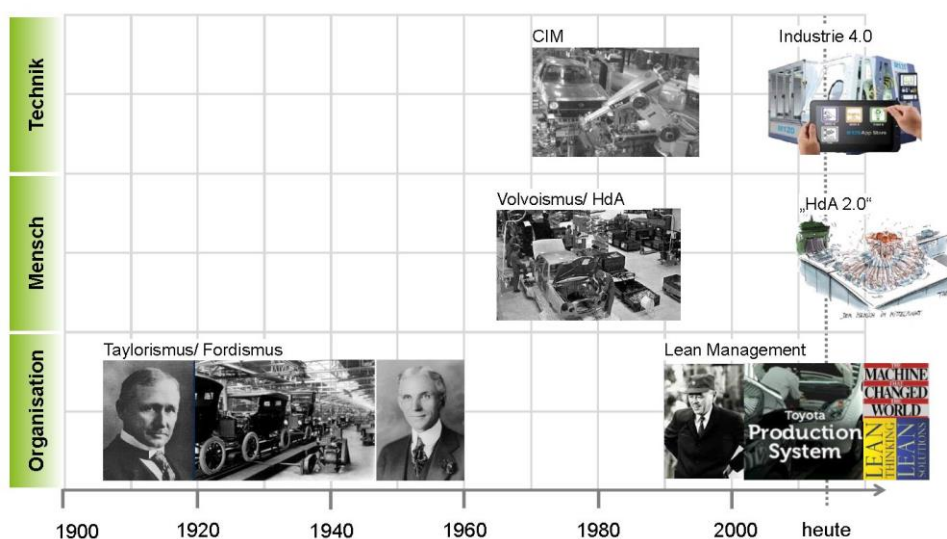
1.5.1. Analiza odnosa između tehnike, organizacije i osoblja

Proizvodni sustav se može prikazati kao crna kutija, koja ima svoj *Input* (ljudi, materijal, informacije i energija) i svoj *Output* (proizvodi, otpadak, informacije i energija). Model jednog kibernetičko-fizikalnog proizvodnog sustava (eng. *CPPS – Cyber-Physical Production Systems*) prikazan je na Slici 1.15. Ministarstvo obrazovanja i istraživanja Njemačke je postavilo platformu *Industrie 4.0*, u kojoj je navelo 17 teza za znanstvenu pripremu Platforme u području osoblja, organizacije i tehnike [Acatech, 2014].



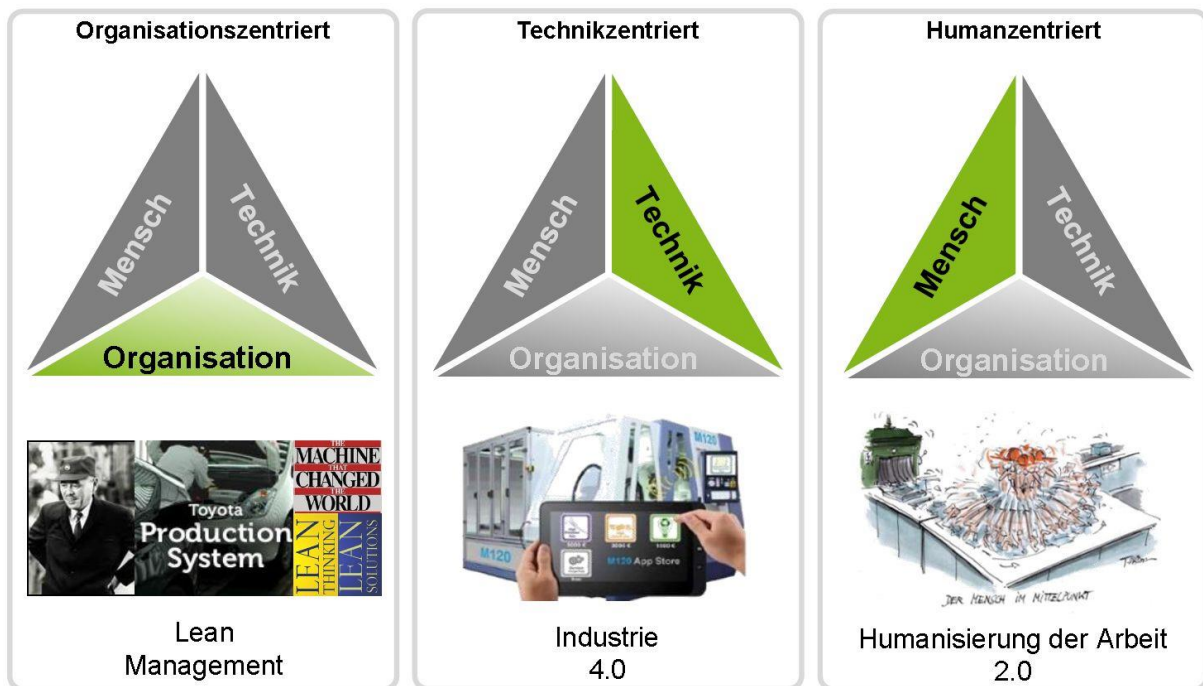
Slika 1.15. Upravljanje Kibernetičko-fizikalnim proizvodnim sustavom (CPPS)

U posljednjih sto godina mnogo toga se promijenilo, posebno u organizaciji od Taylora i Forda do današnjeg uvođenja *lean managementa* (Slika 1.16.) [Kreimeier, Herrmann, 2013].



Slika 1.16. Paradigme oblikovanja proizvodnih sustava

Pri tome poduzeće može biti orijentirano na organizaciju (uvođenje *lean managementa*), tehniku (primjena Industrije 4.0) ili osoblje (daljnja humanizacija rada) [Botthof, Martmann, 2015] (Slika 1.17.).



Slika 1.17. Paradigme oblikovanja proizvodnih sustava

U daljnjem tekstu navedeni su elementi tehnike, organizacije i osoblja.

Tehnika

- Adaptivna i inteligentna tehnologija za pojedinačnu ili maloserijsku proizvodnju*
- Inteligentne komponente*
- Modularnost*
- Umreženi sustavi*
- Strojevi unutar proizvodne stanice mogu međusobno komunicirati*
- Web 2.0
- Fleksibilnost opreme
- Pametne tvorničke zgrade
- Proizvodni strojevi i pribori za kontrolu
- Alati i naprave
- Transportna sredstva
- Tehnika za automatizaciju
- Softver
- Skladišna sredstva

Organizacija

- Decentralizacija*
- Samoorganizacija*
- Organizacijske strukture

- Poslovni procesi
- Metode
- Mjere
- Organizacijski alati
- *TPS/lean/Six Sigma*

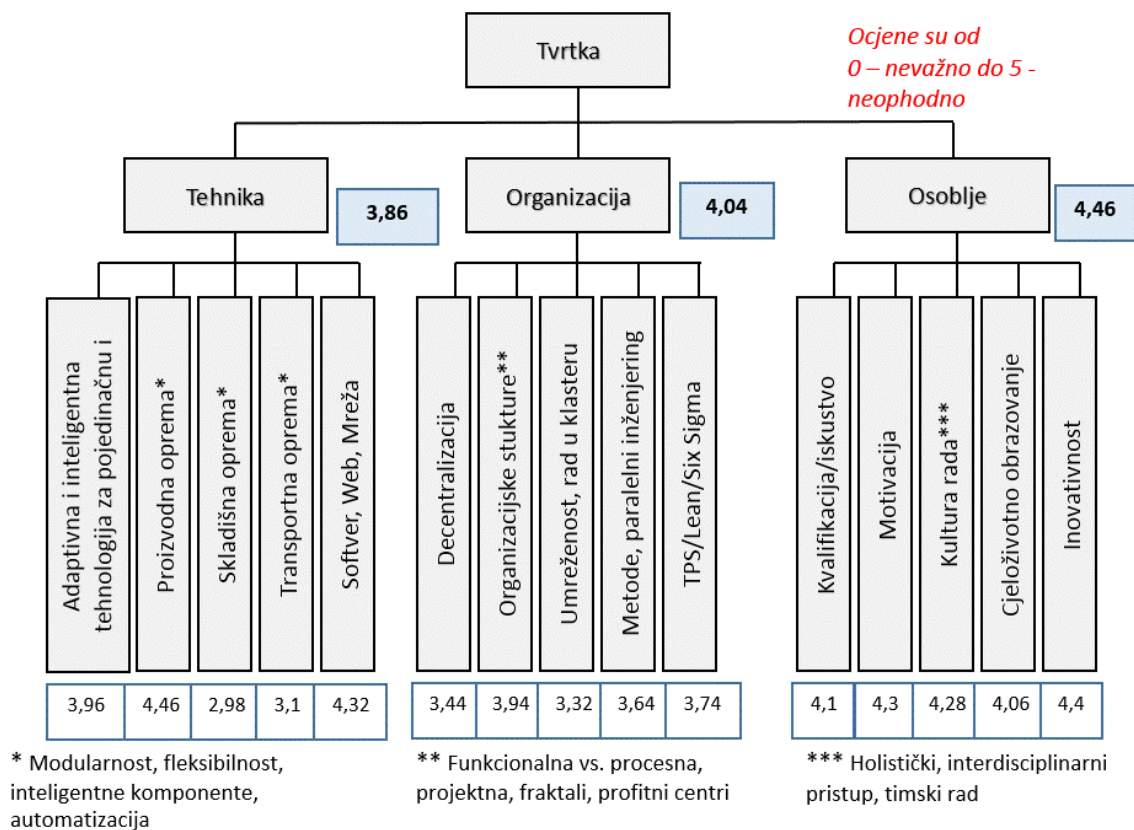
Osoblje

- Holistički, interdisciplinarni pristup*
- Obrazovanje za novu generaciju radnika*
- Kvalifikacija/iskustvo zaposlenika*
- Učenje u Tvornici za učenje*
- Interakcija između čovjeka i stroja*
- Roboti će raditi zajedno s ljudima kroz aktivnu podršku za ručne aktivnosti*
- Radno mjesto (inovativnost, ergonomija)
- Motivacija
- Kultura rada
- Velika kompetencija za donošenje odluka

Sa * su označene preporuke tvrtke FESTO.

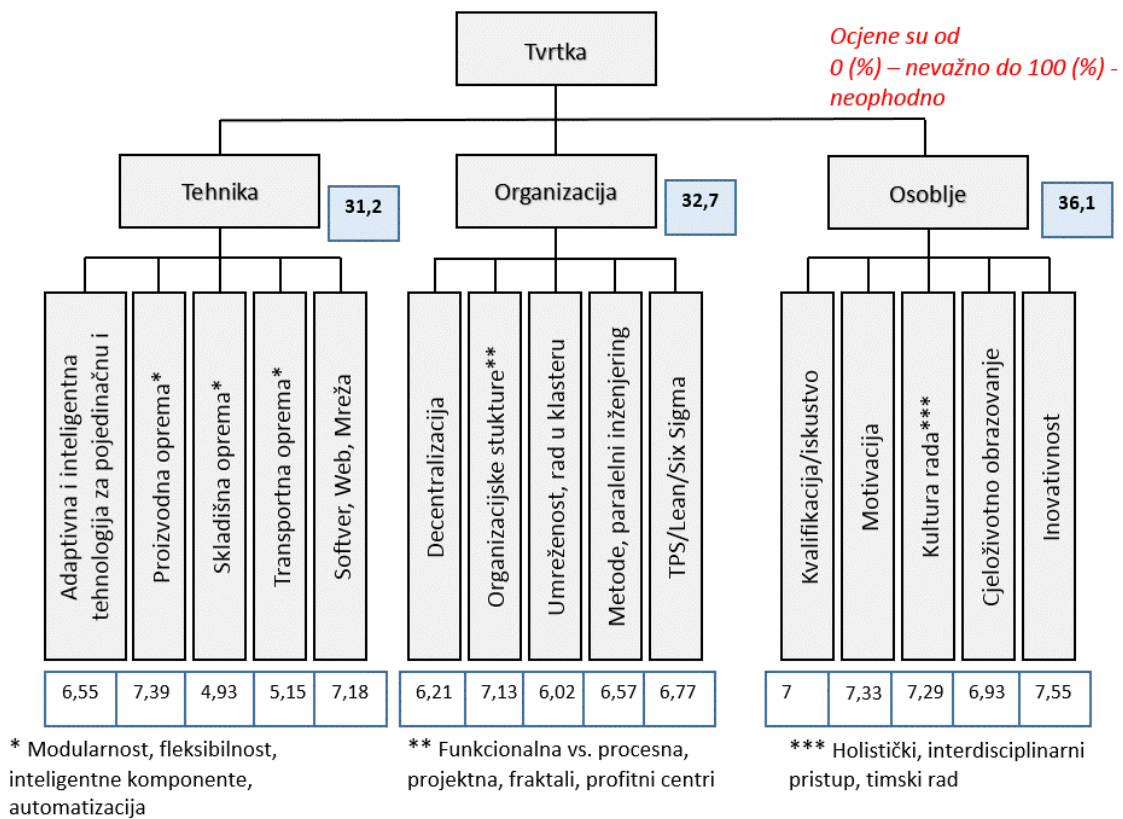
Na temelju ovih elemenata sastavljen je upitnik, koji se nalazi u Prilogu 4. Za vrijeme posjeta pojedinim tvrtkama odgovorni djelatnici ispunili su ove upitnike, odnosno ocijenili po njihovom mišljenju na prvoj razini značaj tehnike, organizacije i osoblja od 0 (nevažno) do 5 (neophodno). Isto tako na drugoj razini su ocijenili pojedine elemente tehnike, organizacije i osoblja. Dobiveno je 50 ispunjenih upitnika, na temelju kojih je izvršena analiza.

Na Slici 1.18. nalaze se ocjene na dvije razine. Prva razina prikazuje odnos između tri glavna elementa navedena u prethodnom tekstu: tehnika, organizacija i osoblje. Kao što se iz slike može uočiti najveći značaj za tvrtku menadžeri su dali osoblju, pa utjecaju organizacije, a tek na treće mjesto tehnici. To znači da su menadžeri prepoznali osoblje kao najvažniji element svoje tvrtke, jer se tehnika može kupiti, organizacija projektirati, ali u središtu poslovnog sustava uvijek mora biti čovjek. To je ovo istraživanje i pokazalo na primjeru hrvatskih industrijskih poduzeća. Ukoliko osoblje ima znanje (kompetencije da nešto može napraviti), motivaciju (kompetenciju da nešto želi napraviti) i slobodu odlučivanja (da nešto smije napraviti), tvrtka ima osnove za opstanak na globalnom tržištu. Kao što je jednom rekao jedan od menadžera tvrtke Würth Group: „Ukoliko vi vaše osoblje smatrate ovcima oni će to s vremenom postati, ali ako ih smatrate osnovnim čimbenikom vaše tvrtke i da u njima čuči jedan inovator, s vremenom će on to i postati“. Zaključno: čovjek ne smije biti troškovni faktor, već temeljna kompetencija u tvrtki.



Slika 1.18. Rezultati ocjene tehnike, organizacije i osoblja

Prikaz sa Slike 1.18. dat u postocima nalazi se na Slici 1.19.



Slika 1.19. Rezultati ocjene tehnike, organizacije i osoblja u postocima

Analiza druge razine prema elementima:

- 1. Tehnika.** Najbolje je rangirana proizvodna oprema, za razliku od skladišne i transportne opreme. Poduzećima su vrlo važni softveri i umreženost kako unutar poduzeća tako i s vanjskim subjektima. Na ovaj način postavljaju se uvjeti za realizaciju koncepta Računalom integrirane proizvodnje (eng. *CIM – Computer Integrated Manufacturing*).
- 2. Organizacija.** Uvođenje novih organizacijskih struktura (procesno orijentirana organizacija, projekt menadžement, fraktalna tvornica, profitni centri itd.) su dobili najveću ocjenu. Ako se pogledaju rezultati upitnika, može se vidjeti da je najveći postotak tvrtki organiziran prema funkcijama (čak 74%). Iz ovog se može zaključiti da je pred hrvatskim industrijskim tvrtkama izazov, odnosno nužnost reorganizacije od funkcionalne organizacije prema procesnoj organizaciji ili nekom drugom modelu suvremenih organizacijskih struktura. Uvođenje *Toyota Production System*, odnosno *lean* i *Six Sigma* metoda dobilo je visoku ocjenu. S druge strane, prema upitniku, čak 75% tvrtki ne koristi ni jednu od ovih metoda. U ovom segmentu postoje veliki potencijali za racionalizaciju, odnosno uvođenjem *lean menadžmenta*, uz relativno mala ulaganja mogla bi se značajno povećati produktivnost industrijskih poduzeća. Neki od predloženih alata su *5S*, *kaizen*, Mapiranje toka vrijednosti (eng. *VSM – Value Stream Mapping*), *Izmjena alata unutar kratkog vremena* (eng. *SMED - Single-Minute Exchange of Die*), *heijunka*, *jidoka* i Upravo na vrijeme (eng. *JIT - Just-in-Time*). Najmanju ocjenu dobila je umreženost, odnosno rad u klasteru. Klaster (eng. *cluster*) je koncept povezivanja poduzetnika unutar jednog industrijskog sektora, uz čvrstu suradnju sa znanstvenim i državnim ustanovama, najčešće na regionalnoj ili nacionalnoj razini, radi boljeg plasmana određene vrste proizvoda. I pored podrške razvoju klastera Ministarstva poduzetništva i obrta RH [MINPO, 2015], ovaj vid umrežavanja kod nas nije dao očekivane rezultate, što su ocjene menadžera i potvrdile. Osnovni razlog je kultura rada u nas, odnosno prvenstveno nedostatak povjerenja (igra tko će koga prevariti, a ne hajdemo zajedno pobijediti). Zbog nepovjerenja veliki broj tvrtki ne želi ulaziti u klastere te se koncentrirati na svoje temeljne kompetencije, već naprotiv nastoji sve aktivnosti provoditi unutar poduzeća.
- 3. Osoblje.** Osoblje je dobilo najveće ocjene, posebno inovativnost zaposlenika, čiji je postotak najveći od svih elemenata. Pri tome menadžeri više cijene motiviranost zaposlenika i njegovu sposobnost za timski rad od njegove kvalifikacije. Ovo pokazuje da je u suvremenoj proizvodnji kvalifikacija samo nužan, ali ne i dovoljan uvjet uspješnosti zaposlenika.

1.5.2. Analiza osoblja i organizacije

Analiza osoblja prema elementima:

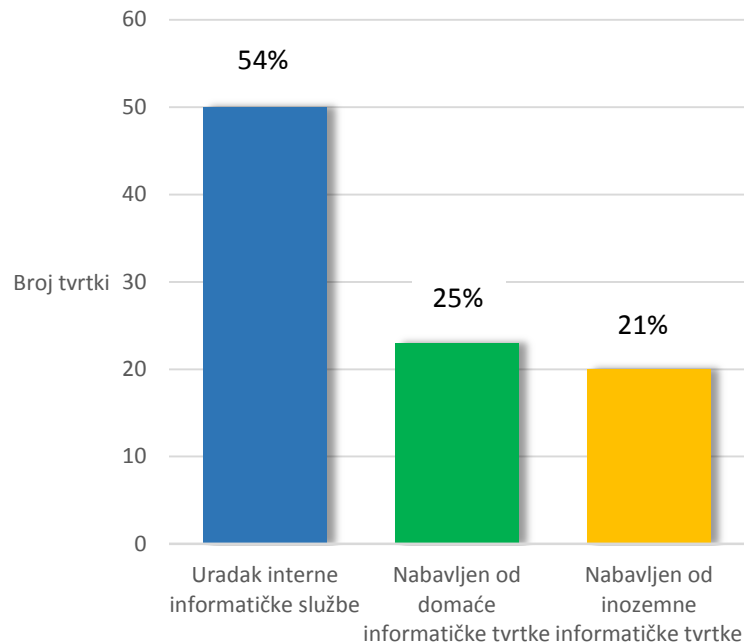
- 1. Dobna struktura.** Prilikom individualnih posjeta poduzećima došlo se do zaključka kako poduzeća ulažu znatne napore na dovođenje mladih radnika sa fakulteta ili iz škole koji su u mogućnosti pratiti suvremene promjene i napredak tehnologije.

Dobna skupina koja dominira u takvim poduzećima je 30-ak godina. Ipak u nekim poduzećima (uglavnom su to poduzeća s dugom tradicijom) još uvijek postoji i određeni postotak starijih zaposlenika s velikim iskustvom i znanjem (između 50 i 60 godina). Njihov temeljni zadatak je obučiti nove radnike koji su uglavnom bez potrebnog iskustva i prenijeti im konkretna znanja koja su potrebna određenom poduzeću i njegovom proizvodnom procesu.

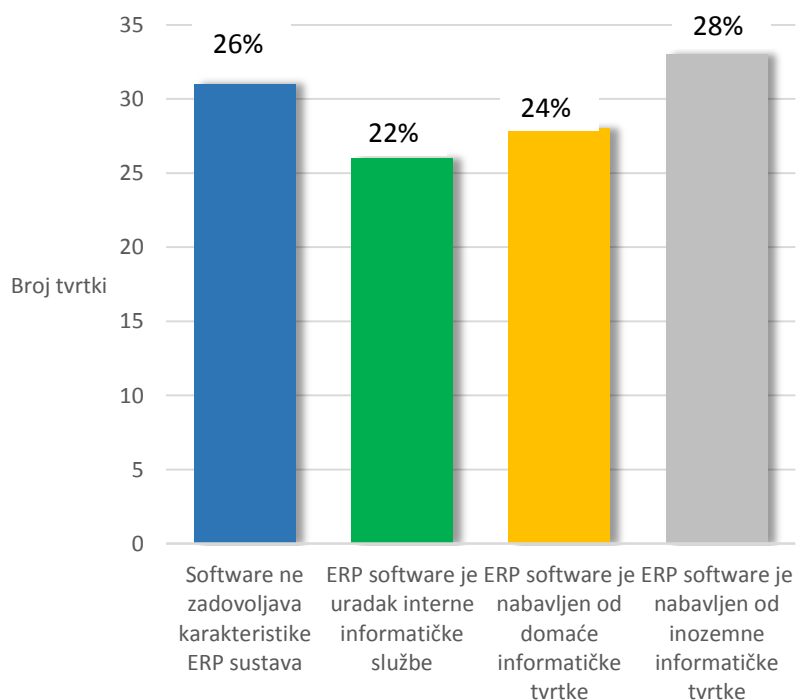
2. **Razina kvalifikacije.** Od 5-10% radnika zaposlenih u poduzeću posjeduje VSS, magisterij ili doktorat. Uglavnom se radi o poduzećima s većim brojem zaposlenika (>100). Dio tih zaposlenika se bavi i istraživanjem i razvojem. Njihov udio ovisi i o samoj djelatnosti poduzeća. Starija poduzeća s dugom tradicijom i obiteljska poduzeća uopće nemaju odjel istraživanja i razvoja. Poduzeća se također žale i na nedostatak određenih znanja i kompetencija. Pored nedostatka kvalitetnih inženjera i visokoobrazovanih stručnjaka prisutna je isto tako i oskudica učenika koji završavaju neku od srednjih strukovnih tehničkih škola. Uglavnom se radi o nedostatku industrijske prakse završenih učenika i studenata, znanju stranog jezika, primjeni računala u razvoju proizvoda i proizvodnji, numeričkom upravljanju alatnim strojevima, temeljnim znanjima s područja strojarstva, brodogradnje i mehatronike itd. Samo rijetka poduzeća stipendiraju učenike i studente za vrijeme srednje škole i fakulteta i na taj način barem djelomično pokušavaju zadovoljiti svoje potrebe za kvalitetnim zaposlenicima.
3. **Motivacija.** Poduzeća često ne nude nikakav oblik motivacije svojim zaposlenicima. Neka poduzeća smatraju da je dovoljna motivacija i sama plaća koja je redovita. U onim poduzećima pak koja imaju takvu praksu najčešći oblik motivacije zaposlenika je novčana stimulacija. Rijetka poduzeća pored takvih standardnih oblika motivacije nude i određene nagrade svojim radnicima.
4. **Inovativnost.** Poduzeća uglavnom nemaju razrađen sustav praćenja inovativnosti zaposlenika. Iznimke su ona poduzeća koja imaju službu koja prati inovativnost i prijedloge za poboljšanjima od strane zaposlenika te takve prijedloge nagrađuje i honorira. Takva poduzeća posljedično takvim pohvalnim praksama i običajima ostvaruju značajne godišnje uštede u svom poslovanju. Uglavnom se radi o poduzećima koja u velikoj mjeri surađuju s inozemnim kompanijama i visoki udio svoje proizvodnje izvoze.
5. **Cjeloživotno učenje (eng. *Life-Long Learning*).** Poduzeća su ocijenila da su važna područja za cjeloživotno obrazovanje: poznavanje stranih jezika, poznavanje zakonske regulative, menadžerske vještine, poznavanje ISO normi i standarda osiguranja kvalitete proizvoda, računalom podržano konstruiranje i proizvodnja, dizajn, poznavanje konkretnih računalnih programa i alata, poznavanje novih tehnologija, rukovanje opremom i strojevima itd. Rijetka su poduzeća čiji zaposlenici provedu više od 5 dana godišnje na usavršavanju. Također 95% poduzeća nema sustavno rješenu prekvalifikaciju zaposlenika niti omogućuje svojim zaposlenicima samostalno stjecanje odgovarajućih znanja i vještina posredstvom *Interneta*.

1.5.3. Analiza primjene *informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT)*

Rezultati ankete o PLM (eng. *Product Lifecycle Management*) i ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*) softvera prikazani su na Slika 1.20. i Slika 1.21. Slike pokazuju veliku raznolikost softverskih sustava. Tijekom posjete poduzećima napravljena je detaljnija analiza zrelosti informacijsko-komunikacijskih tehnologija (*ICT*) i primjene softverskih rješenja u poslovnim procesima (Prilog 6.) koja je potvrdila relativno loše stanje *ERP* i *PLM* sustava.



Slika 1.20. Pitanja i odgovori o PLM sustavu (161 odgovor)



Slika 1.21. Pitanja i odgovori o ERP sustavu (161 odgovor)

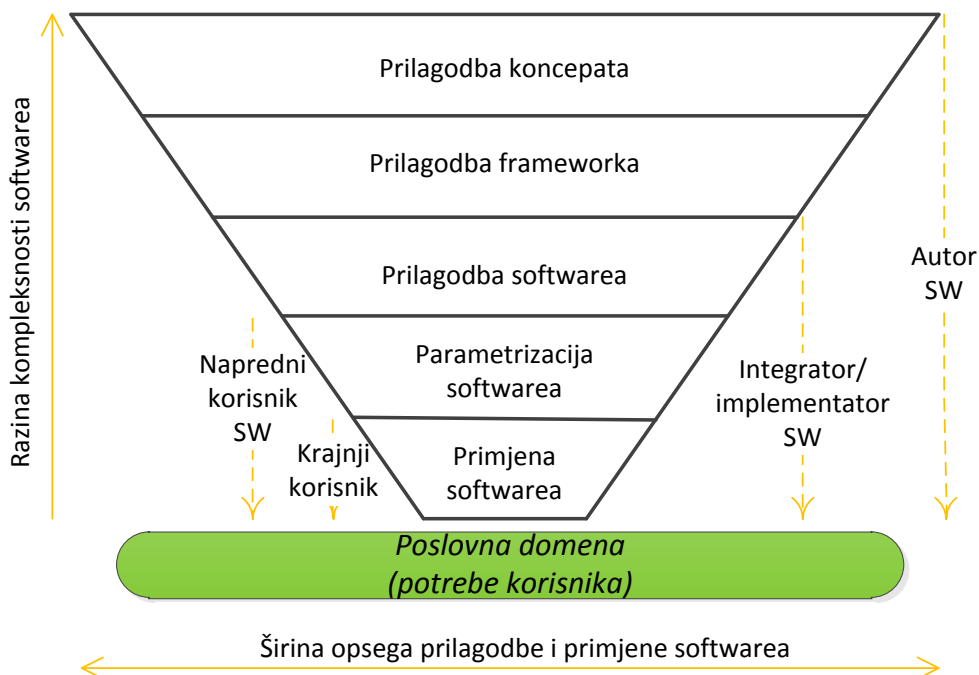
Stanje primjene *ICT* u analiziranim industrijskim tvrtkama moglo bi se ukratko sažeti u nekoliko sljedećih točaka:

- 1. Poslovni procesi i *PLM/ERP* sustavi.** *PLM* i *ERP* sustavi trebaju biti potpora poslovnim procesima u kojima se upravlja tijekom materijala i proizvoda kroz cijelu tvrtku i tijekom cijelog životnog ciklusa. Međutim, tijekom detaljne analize u tvrtkama utvrđeno je da ne postoje standardizirane dobre poslovne prakse upravljanja različitim oblicima artikala u informacijskim sustavima (sirovi materijal, poluproizvod, proizvod, osnovno sredstvo itd.), te da u praksi postoji potreba za većom razinom knjigovodstvenih znanja i boljim *ERP* rješenjima.
- 2. (Ne)Integriranost informacijskih rješenja.** Jedan od problema u praćenju poslovanja predstavlja nužnost unosa artikala u više sustava. Naime, u dijelu tvrtki integracija sustava/rješenja nije izvedena kvalitetno (npr. putem *XML - Extensible Markup Language* – jezik za označavanje podataka ili *EDI - Electronic Data Interchange - Elektronička razmjena podataka* standarda) nego se artikli ručno unose u više sustava s istim nazivima i istim šiframa. Čest primjer (najčešće dobre) integracije na razini artikla jest integracija knjigovodstvenih rješenja domaćih proizvođača s *ERP* rješenjima stranih proizvođača. Čest primjer poslovnog procesa koji ima zasebno, neintegrirano rješenje jest proces upravljanja kvalitetom.
- 3. Integracija *ERP* i *CAD* sustava.** Nepovezanost procesa dizajna i proizvodnje također se prenosi na *IT* razinu: rijetke su tvrtke gdje je ostvarena izravna elektronska komunikacija između *CAD* i *ERP* rješenja.
- 4. Upotreba *MS Excela*.** *MS Excel* je često korišten kao alat za planiranje (negdje kao jedini, a negdje kao alat za korekciju godišnjih i mjesečnih planova izrađenih u *ERP-u*) i izvještavanje na svim razinama u tvrtkama. Napredniji analitički sustavi izvještavanja (skladišta podataka, *OLAP* analize - *Online Analytical Processing* – mrežna analitička obrada, prediktivne metode itd.) nisu spomenute tijekom posjeta.
- 5. Internet poslovanje.** Razmjena dokumenata s partnerima preko *Interneta* svodi se uglavnom na upite, ponude, cjenike i narudžbe u *PDF* i *XLS (Excel)* obliku putem *e-maila*, dok je izravna elektronska razmjena dokumenata između informacijskih sustava (razmjena dokumenata u *XML-u* i *EDI* standardu) vrlo rijetka. Ovakva niska razina spremnosti za *Internet* poslovanje izravna je posljedica prethodno navedenih karakteristika.
- 6. Poslovanje u oblaku (eng. *cloudu*).** Vlasnici poslovnih procesa u tvrtkama svjesni su načelnih prednosti (niži troškovi opreme i održavanja, unaprijeđenije funkcionalnosti softvera i poslovanja općenito itd.) i rizika (sigurnost i zaštita podataka). Uglavnom svi koriste *mail* usluge u nekom javnom oblaku dok se u poslovanju velik dio tvrtki osim klasičnim (*on-premise*) rješenjima koristi i rješenjima u oblaku (*on-demand*) i to u nekom obliku privatnog oblaka. Glede poslovnih aplikacija koje se nalaze u tim oblacima treba napomenuti da se radi uglavnom o starijim aplikacijama koje su *hostane* najčešće na lokalni poslužitelj ili poslužitelj na udaljenoj centralnoj lokaciji tvrtke – nismo naišli na poslovnu aplikaciju u *cloud* arhitekturi. Međutim, treba naglasiti da ovakva arhitektura sustava osigurava dva temeljna zahtjeva proizvodnih tvrtki: poslovni kontinuitet i sigurnost i zaštitu podataka.

7. **Integracija sustavâ na razini proizvodnog pogona (eng. *MES - Manufacturing Execution System*).** Izravna komunikacija ERP sustava i strojeva u proizvodnom pogonu je na vrlo niskoj razini (plan – radni nalog – evidencija – izvješća). Čak i kod tvrtki koje vrlo detaljno prate proizvodni pogon i gdje su strojevi opremljeni softverima za praćenje pojedinih operacija, specijalizirani softveri nisu integrirani sa softverima za planiranje (ERP ili drugi specijalizirani softveri). Stoga su u pogonima u upotrebi ručne evidencije pojedinih operacija u pogonu, pa je otežano izvještavanje i praćenje rada pogona.

Zaključno, detaljnija analiza napravljena prilikom posjetâ tvrtkama potvrdila je preliminarno mišljenje o prilično niskoj razini primjene *ICT-a* u proizvodnim tvrtkama. Ovdje je bitno naglasiti da je *ICT* jedan od temelja nove tehnološke ere te da bez značajnih ulaganja u ovaj temeljni segment tehnike neće biti moguće dostići eru pametnih proizvoda koji komuniciraju.

Međutim, pri ulaganjima u *ICT* potrebno je imati na umu nekoliko bitnih činjenica. Softver je živi *organizam* kao i organizacija i poslovni procesi, te ga je potrebno stalno održavati i unaprijeđivati. Nemoguće je kupiti **gotovo rješenje**. Softver (a on je temelj *ICT-a* i nalazi se u svakoj *ICT* komponenti) mora odgovarati potrebama korisnika i njegovog okruženja, koje se stalno mijenja. Slika 1.22. prikazuje mogućnost primjene i prilagodbe softvera potrebama korisnika. U velikom broju slučajeva pojedini softver ne odgovara potrebama korisnika, a partner koji je implementirao softver nije u mogućnosti prilagoditi ga zahtjevima i potrebama korisnika. Najčešći su razlozi nemogućnosti intervencije u sâm *kod* ili zbog nepoznavanja detalja poslovnih procesa. Stoga mnoga rješenja ostaju neintegrirana s okruženjem ili polovično pokrivaju poslovni proces.



Slika 1.22. Odnos kompleksnosti, opsega prilagodbe i primjene softvera

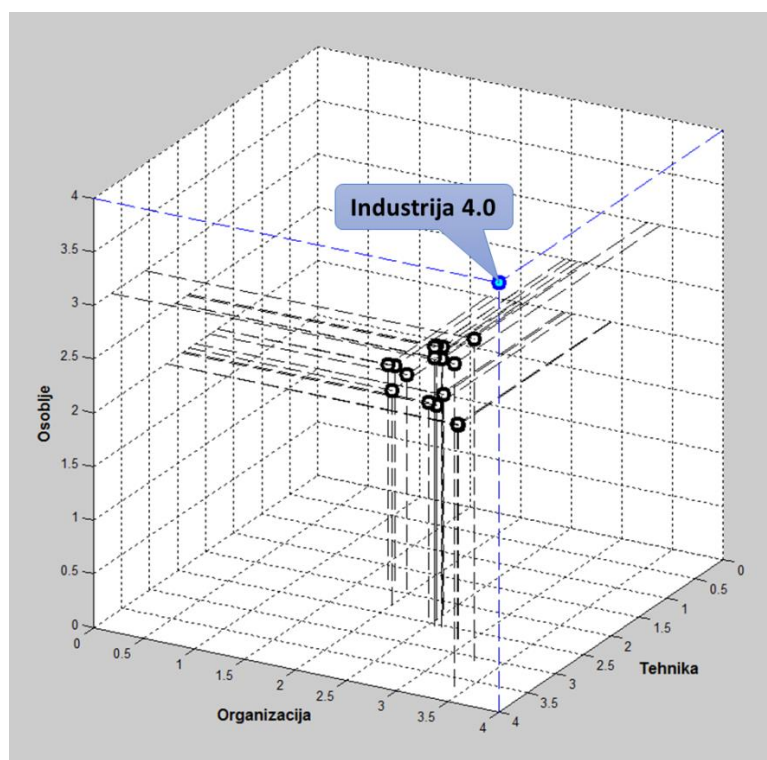
Ulaganje u znanje korisnika softvera (*krajnjeg i naprednog*) i njegova prilagodba potrebama korisnika također će doprinijeti višoj razini primjene pojedinog softvera u tvrtki. Dakle, ne bi trebalo štedjeti na opravdanim izdancima za edukaciju za rad sa softverima i njegove prilagodbe okruženju i potrebama tvrtke.

Najbolju prilagodbu softvera potrebama tvrtke može napraviti autor softvera ako ujedno dobro poznaje poslovne procese i potrebe korisnika (Slika 1.22.). On je u mogućnosti promijeniti i sâmu tehnologiju (*framework*) odnosno i temeljne postavke softvera ako je potrebno i opravdano. Međutim, ako se koristi inozemni softver, onda su prilagodbe teže izvedive.

1.6. Sinteza pomoću detaljne analize odabranih poduzeća

Kao što je već spomenuto, od cjelokupnog uzorka poduzeća koja su odgovorila na upitnik odabrano je 28 poduzeća za detaljniju analizu. Posjetom tim poduzećima i razgovorima s menadžmentom i ostalim zaposlenicima prikupljeni su detaljniji podaci o tehnici, organizaciji i osoblju dotičnog poduzeća.

Na taj način se mogla napraviti sinteza cjelokupne analize stanja hrvatske industrije, te dobiti detaljnija slika o tome što je potrebno unaprijediti unutar poduzeća da bi se dostigla viša industrijska zrelost. Stoga je za odabrana poduzeća, čiji je prosjek industrijske zrelosti 2.40, napravljena i analiza industrijske zrelosti za tehnike, organizaciju i osoblje (Slika 1.23.), te je izračunat njihov prosjek (Tablica 1.2.). Uz pretpostavku da se i za tehniku i za organizaciju i za osoblje može odrediti koja načela pripadaju pojedinoj industrijskoj generaciji (industrijska zrelost), pa je to i učinjeno.

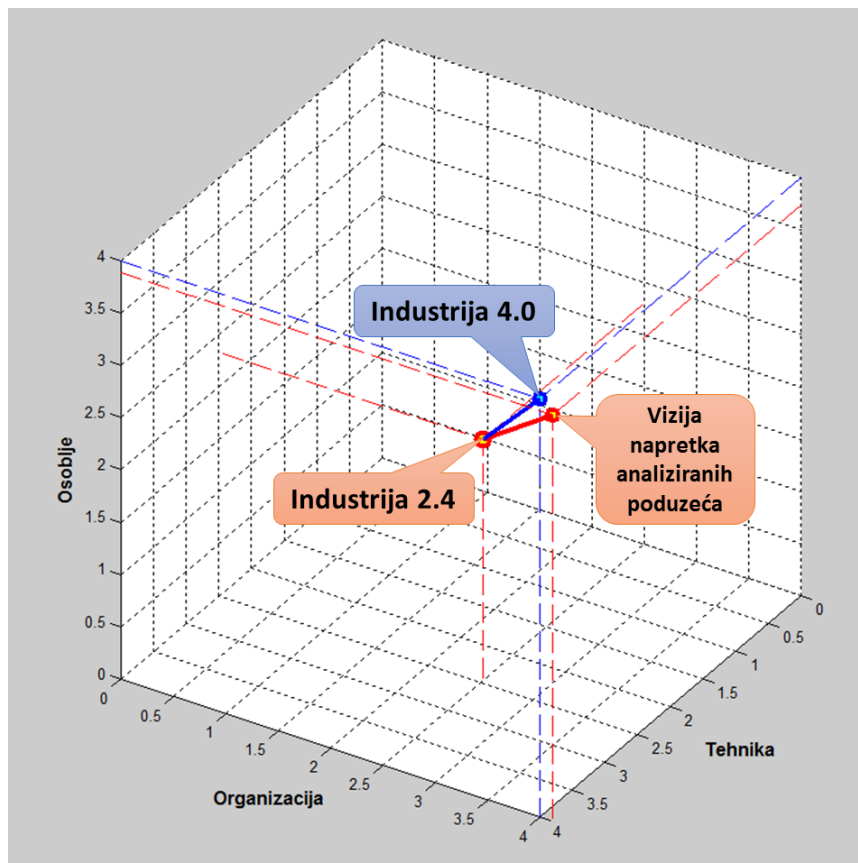


Slika 1.23. Položaj nekih od analiziranih poduzeća s obzirom na industrijsku zrelost tehnike, organizacije i osoblja

Tablica 1.2. Prosjek ukupne i pojedinačne industrijske zrelosti odabranih poduzeća

	Prosjek industrijske zrelosti	Prosjek industrijske zrelosti tehnike	Prosjek industrijske zrelosti organizacije	Prosjek industrijske zrelosti osoblja
Odabrana hrvatska industrijska poduzeća	2.40	2.43	2.48	2.28

Iz Tablice 1.2 vidljivo je da su organizacija i tehnika slične industrijske zrelosti, dok osoblje zaostaje i ispod je industrijske zrelosti tehnike i organizacije. Toga su svjesna i analizirana poduzeća, pa su u analizi odnosa između tehnike, organizacije i osoblja naveli da bi nešto više htjeli uložiti u osoblje, nego u tehniku i organizaciju (Slika 1.19.). Te njihove ocjene su preračunate u vektor poboljšanja, što pokazuje jesu li dotična poduzeća na dobrom putu prema Industrij 4.0. Napravljena je grafička analiza gdje se poduzeća nalaze i gdje bi se za koju godinu trebala nalaziti s obzirom na njihovu viziju napretka (Slika 1.24.).



Slika 1.24. Usklađenost vektora napretka poduzeća s vektorom napretka prema Industrij 4.0

Na Slici 1.24. je vidljivo da analizirana poduzeća imaju relativno dobru viziju svog napretka, tj. svjesna su da moraju uložiti i u tehniku i u organizaciju i u osoblje. No, iako je u analizi

odnosa između tehnike, organizacije i osoblja navedeno da bi nešto više trebalo uložiti u osoblje nego u druge elemente, to ulaganje bi trebalo biti još veće.

U Tablici 1.3. dani su proračunati raspodjele ulaganja koja bi bila potrebna za dosegnuti Industriju 4.0.

Tablica 1.3. Usporedba vizije napretka analiziranih poduzeća s napretkom potrebnim za dosegnuti Industriju 4.0

	Postotak važnosti ulaganja u tehniku	Postotak važnosti ulaganja u organizaciju	Postotak važnosti ulaganja u osoblje
Vizija napretka analiziranih poduzeća s obzirom na raspodjelu ulaganja	31.2 %	32.7 %	36.1 %
Raspodjela ulaganja potrebna da bi se dosegnula Industrija 4.0	31.2 %	28.5 % ↓	39.8 % ↑

Kao zaključak ove analize treba istaknuti da su poduzeća svjesna da im zaposlenici ne mogu pratiti napredak tehnike i organizacije, ali za njima zaostaju čak i više nego što to analizirana poduzeća smatraju. No, s druge strane, uzimajući u obzir da su rijetka poduzeća čiji zaposlenici provedu više od 5 dana godišnje na usavršavanju, te da 95% poduzeća nema sustavno riješenu prekvalifikaciju zaposlenika, može se zaključiti da poduzeća trenutno nedovoljno ulažu na usavršavanju i napretku svojih zaposlenika.

Stoga se za razvoj budućeg hrvatskog modela Inovativnog pametnog poduzeća predlaže da se poseban aspekt stavi na usavršavanje i napredovanje zaposlenika, prvenstveno po pitanju cjeloživotnog učenja, ali i po pitanju uključivanja zaposlenika u inovacijske aktivnosti poduzeća. Također, nakraju treba napomenuti i to da su za ovu analizu odabrana poduzeća bolja od prosjeka, a ta poduzeća u pravilu i stabilno posluju, stoga ne čudi što imaju i relativno dobru viziju svog napretka.

1.7. Literatura

Acatech (2013) Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, National Academy of Science and Engineering, Frankfurt/Main, 2013

Berger (2014) https://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_20140403.pdf

Botthof A., Martmann E.A. (2015) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Springer Verlag, Berlin

Kreimeier D., Herrmann K. (2013) Wandlungsfähigkeit durch modulare Produktionssysteme, VDMA Verlag, Frankfurt/Main.

MINPO (2014) <http://www.minpo.hr/default.aspx?id=423>

Veža I., Gjeldum N., Mladineo M. (2015) Lean Learning Factory at FESB – University of Split, *Procedia CIRP*. 32, str. 132-137

Veža I., Mladineo M., Peko I. (2015) Analysis of the current state of Croatian manufacturing industry with regard to Industry 4.0, *Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Production Engineering - CIM'2015, Zagreb*, str. 249-254.

Veža I., Mladineo M., Gjeldum N. (2015) Managing Innovative Production Network of Smart Factories, *15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Seoul*, str. 589-594

Veža I., Bilić B., Gjeldum N., Mladineo M. (2014) Model of Innovative Smart Enterprise, *Proceedings of 6th International Conference on Mass Customization and Personalization in Central Europe (MCP-CE 2014), Novi Sad*, str. 224-229

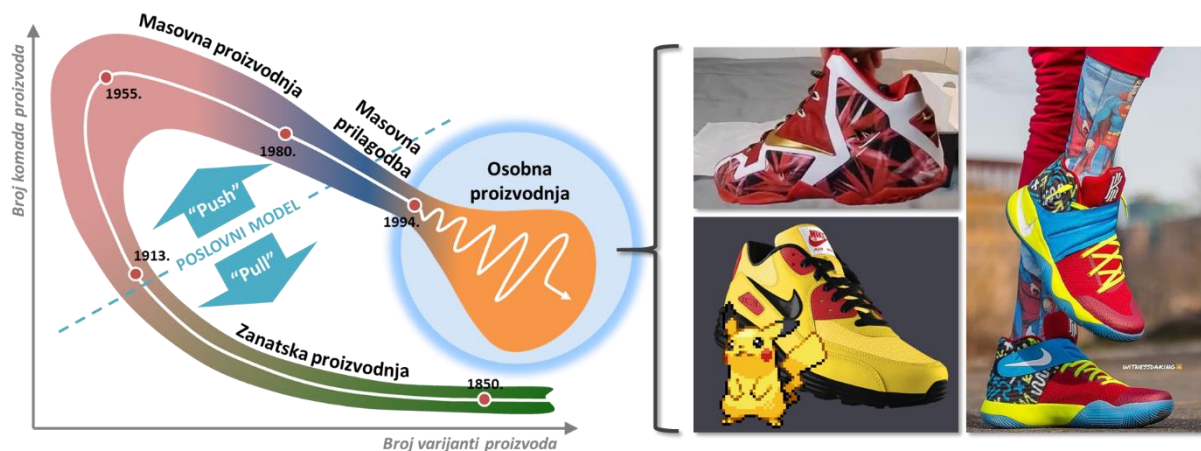
2. RAZVOJ INOVATIVNOG PAMETNOG PODUZEĆA HR-ISE

2.1 Razvoj konfiguratora proizvoda

2.1.1. Masovna prilagodba i konfigurator proizvoda

Pojavom marketinga odnosa i suradnje devedesetih godina, došlo je do gotovo najveće promjene u povijesti marketinga, od njegove pojave pedesetih godina. Naime, marketing odnosa i suradnje predstavlja novu paradigmu marketinga kojom se marketing kao poslovna filozofija vraća svojim izvornim korijenima po kojima je potrošač u središtu pozornosti gospodarskih subjekata, kao i po činjenici da je zadržavanje stvarnih potrošača, temelj dugoročnog opstanka i održive konkurentske prednosti. Na podlozi marketinga odnosa i suradnje dalje se razvijaju i novi pristupi odnosa s potrošačima. Jedan od novih pristupa koji se sve više ukorjenjuje u poslovanje tvrtki je upravo masovna prilagodba proizvoda.

Razvoj *Interneta* i njegova dostupnost omogućuju razvoj vlastite prodajne internetske mreže u kojoj više nema mjesta za posrednike. Kupac 21. stoljeća kupuje iz vlastitog doma, te želi proizvod koji je napravljen samo za njega, po njegovim željama i potrebama s kojim će se istaknuti iz mase i izraziti svoju individualnost i kreativnost. Kupac više ne kupuje proizvod koji mu serviraju proizvođači, on zna što želi i traži proizvođača koji mu to može napraviti (Slika 2.1.)



Slika 2.1. Promjene proizvodnih paradigmi kroz povijest

Proizvođači na internetskim stranicama uz svoje standardne proizvode imaju i opciju prilagodbe proizvoda po željama kupca. Kupcima se nude različite opcije između kojih sami izabiru i kreiraju proizvod. Ograničenja koja su postavljena pred kupca ovise o proizvodu koji se naručuje, raznolikosti ponuđenih opcija i kapacitetima proizvodnog procesa.

Po svojoj definiciji masovna prilagodba je proces isporuka širokog tržišta roba i usluga koje su izmijenjene kako bi se zadovoljile specifične potrebe kupaca. Masovna prilagodba je marketinška i proizvodna tehnika koja kombinira fleksibilnost i personalizaciju *po mjeri*, s niskim jediničnim troškova povezanih s masovnom proizvodnjom. Mnogi programi za masovno prilagođavanje uključuju softverski temeljene konfiguracije proizvoda koji

omogućuju krajnjim korisnicima dodavanje i/ili promjenu određene funkcionalnosti jezgre proizvoda.

Masovna prilagodba je važan poslovni koncept kojim se koriste brojni brendovi današnjice. Ovaj koncept se uvukao i u razvoj marketinških strategija proizvodnih i uslužnih linija. Masovnim prilagođavanjem proizvoda tvrtka se suočava sa adaptacijom proizvoda ili usluge, a sve u svrhu zadovoljavanja potreba ciljane grupe kupaca. Prilagodba proizvoda varira u širokom rasponu od male prilagodbe, kao primjerice boje ili okusa proizvoda, pa sve do složenijih koncepata koji bi podrazumijevali razvoj potpuno novog proizvoda na određenoj bazi zahtjeva kupaca.

Uspješnost uvođenja procesa masovne prilagodbe u standardnu paletu proizvodnih usluga poslovanja neke tvrtke ovisi o razini atraktivnosti proizvoda, korisnikovog doživljaja u procesu proizvodnje, kratkom vremenu dostave, te u konačnici samom zadovoljstvu korisnika prilikom korištenja proizvoda kao odraz uspješnosti cjelokupnog procesa.

U stvarnosti, mnoge industrije ne mogu primijeniti takav način proizvodnje u cijelosti. Proizvođač mora imati neke dijelove na zalihama, a neke u procesu proizvodnje da bi proizvod bio završen na vrijeme. Kompetitivne prednosti masovne prilagodbe se baziraju na kombinaciji efikasnosti masovne proizvodnje s raznovrsnim mogućnostima izbora. Među mnogim izazovima koje pruža masovna prilagodba, najvažniji su:

- zadržati niske cijene proizvoda koje mogu konkurirati standardiziranim proizvodima,
- postići visoku kvalitetu proizvoda unatoč velikoj različitosti proizvoda,
- osigurati dostupnost proizvoda u vrijeme kada to kupac želi.

Internet stranice (točnije *web* stranice ili *www* stranice) su jako učinkovit medij. Velik dio svjetske populacije putem *Interneta* komunicira izravno i bez ograničenja. Neke *Internet* stranice osim što nude informacije o proizvodima, omogućuju i njihovu kupovinu. Takve stranice nazivaju se interaktivnim stranicama.

Interaktivna *Internet* stranica je bilo koja *Internet* stranica koja na neki način mijenja sadržaj u zavisnosti od djelovanja korisnika, odnosno posjetitelja stranice. To su najčešće stranice na kojima korisnik može pokrenuti određene aktivnosti, proširiti određene izbornike, i izabrati željene sadržaje. No ovaj naziv uključuje i sve stranice koje na sebi sadrže programe čije je ponašanje određeno djelovanjem korisnika.

2.1.2. Analiza *web* reprezentativnosti hrvatskih proizvodnih poduzeća

Istraživanje udjela poduzeća u Hrvatskoj koja koriste *web* stranice i *Internet* konfiguratore pokazalo je da od 2.300 ispitanih tvrtki s 5 ili više zaposlenih konfigurator posjeduju samo četiri poduzeća (Slika 2.2.). To su: MARLEX d.o.o., Grad – Export d.o.o., MAX & MORIS te DECORA GRUPA d.o.o. Radi se o konfiguratorima koji su dostupni na njihovim *web* stranicama, i kojima je moguće izravno prići s osnovne *web* stranice poduzeća. Međutim, devet poduzeća posjeduju *linkove* na konfiguratore proizvoda iz inozemstva, kako bi se omogućila narudžba specifičnih proizvoda preko konfiguratora i uvoz preko poduzeća zastupnika u Hrvatskoj.

Samu *web* stranicu posjeduje 1.656 tvrtki odnosno oko 72%, dok sastavne dijelove ili asortiman proizvoda posjeduje 1.265 tvrtki odnosno 55%.

Ostale *web* stranice posjeduju podatke za kontakte, kontaktne forme, te adrese poslovnica i sjedišta tvrtke, te tako omogućavaju interakciju s potencijalnim kupcima.

Kod tvrtki MARLEX d.o.o. i Grad – Export d.o.o. radi se o konfiguratoru vrata koji je u potpunosti sličan osim što je različita boja pozadine. Kod tvrtke DECORA GRUPA d.o.o. radi se o konfiguratoru dizajna kuhinje, dok kod MAX & MORIS tvrtke je konfigurator dekora iz ponuđene palete, uz mogućnost vizualizacije.



Slika 2.2. Vizualni prikaz analize web reprezentativnosti proizvodnih poduzeća s istaknuta četiri poduzeća koja imaju web konfigurator proizvoda

Većina konfiguratora radi na principu kupčevog biranja sebi prikladnog proizvoda, nakon čega poduzeću šalje upit u kojem je potrebno ispuniti sve podatke o kupcu. Nakon toga slijedi očekivanje odgovora od strane za to zaduženog odjela. Problem kod ovakvog načina funkcioniranja je čekanje na odgovor, a i ne dobivanje nikakvih daljnjih informacija, o cijeni, vremenu isporuke, dodatnim mogućnostima i eventualnim očekivanim problemima. Kupac stoga može slučajno odabrati vrlo skupe komponente koje mu toliko povećavaju konačnu cijenu, da može odustati od cijelog proizvoda. Stoga se kupci koji nisu sigurni što žele, neće ni upuštati u korištenje ovakvog konfiguratora.

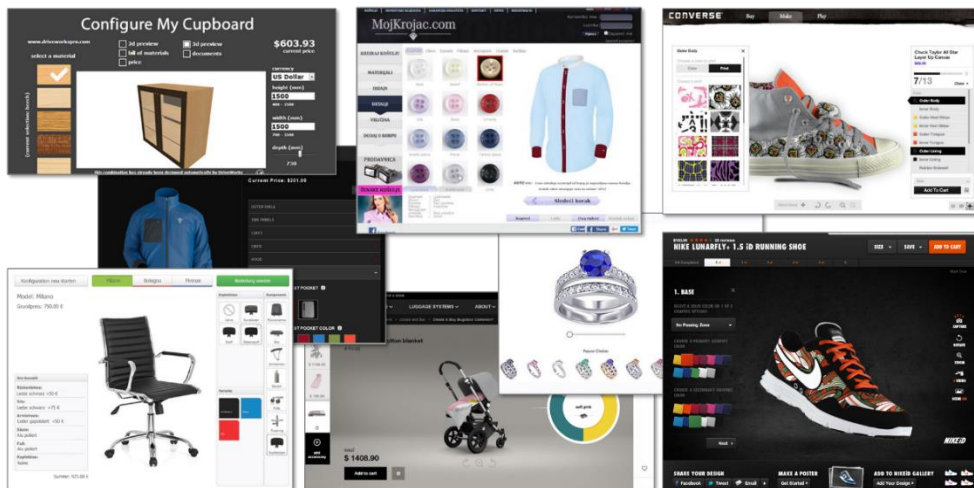
Stoga se u ovom projektu razmatrao razvoj konfiguratora koji bi sa stajališta kupca nudio veće mogućnosti glede povratnih informacija tijekom slaganja konfiguriranog proizvoda, te neposredno nakon završetka njegove konfiguracije.

2.1.3. Optimiranje konfiguracije proizvoda prema kupčevim željama

Danas se pod pojmom konfiguratora proizvoda podrazumijeva lako dostupna *web* aplikacija za konfiguriranje i narudžbu proizvoda. Načelno postoje dva pristupa konfiguriranja proizvoda na *Internetu*:

- **Web konfiguratori izgleda proizvoda** – kod kojih kupac odabire vrijednosti osnovnih značajki proizvoda (Slika 2.3.), a najčešće su to:
 - veličina,
 - materijal,
 - boja,
 - dodatna oprema.

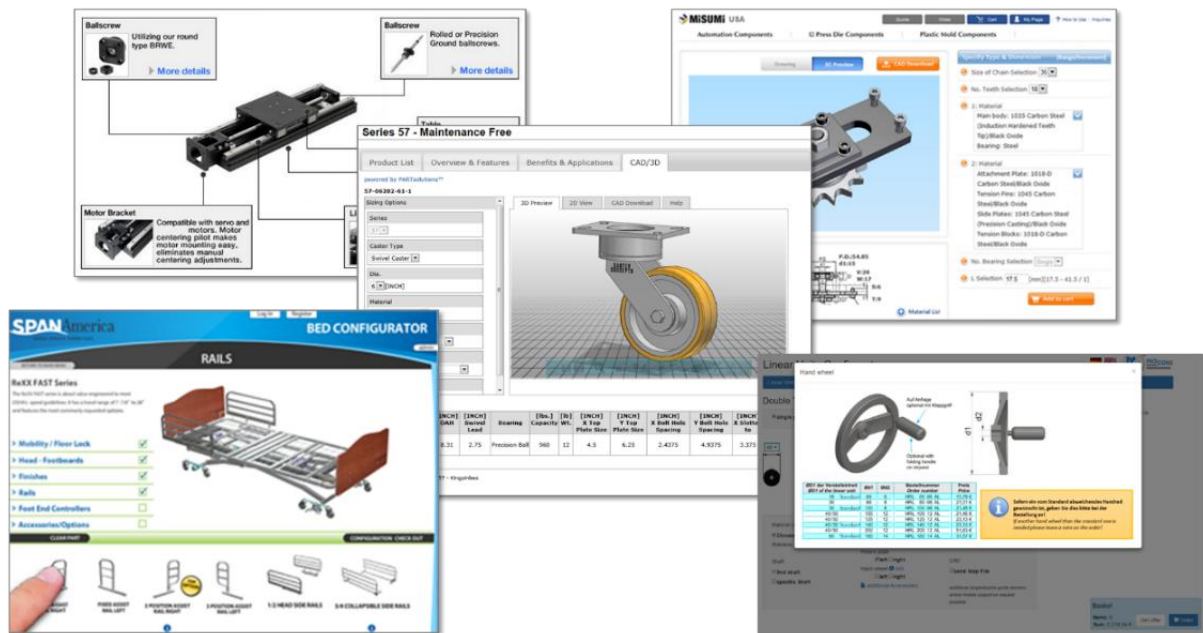
U 99% slučajeva riječ je o montaži prema narudžbi, a ne proizvodnji prema narudžbi. Poduzeća minimiziraju ukupni broj mogućih varijanti proizvoda ograničavanjem izbora, te primjenom modularnog dizajna. Ovakav konfigurator proizvoda kao *web* aplikacija usko je povezan s tehničkim mogućnostima i napretkom *web* 3D grafike (*HTML5* i *WebGL*).



Slika 2.3. Primjer web konfiguratora izgleda proizvoda

- **Web konfiguratori svojstava proizvoda** – kod kojih kupac odabire vrijednosti svojstava proizvoda (Slika 2.4.), koja nisu samo tehničke karakteristike, a najčešće su to:
 - ekonomska svojstva: cijena, vrijeme isporuke;
 - performanse: brzina, nosivost, kapacitet;
 - izgled: boja, materijal itd.

Za većinu ovih svojstava kupac nema percepciju točnih vrijednosti koje želi, ali može izraziti svoje preferencije prema određenim svojstvima (težinski faktori ili ponderi). Ovakav pristup zahtjeva optimizacijski algoritam za odabir najbolje konfiguracije proizvoda prema željama kupaca, a konfigurator proizvoda kao *web* aplikacija zahtijeva inteligentne *web* servise za optimizaciju odabira konfiguracije proizvoda.



Slika 2.4. Primjer web konfiguratora svojstava proizvoda

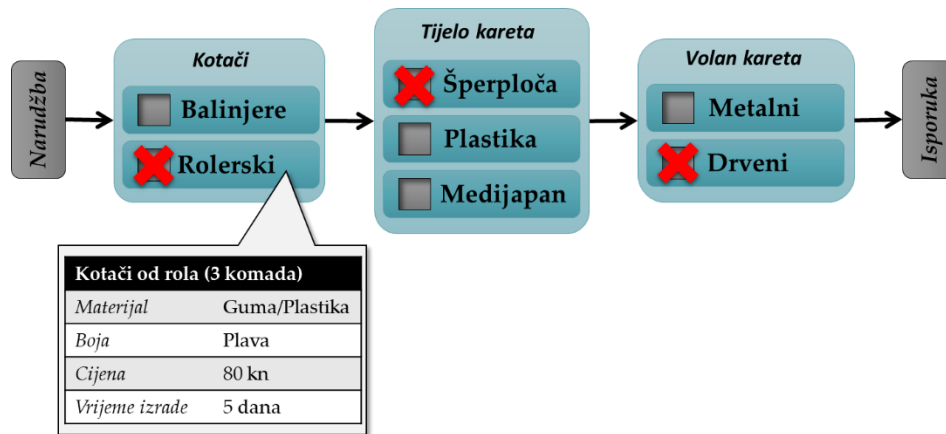
Nadalje, osim *web* aplikacije dostupne kupcu, konfigurator proizvoda zahtijeva integraciju s informacijskim sustavima poduzeća, kao što je *ERP* sustav. Na taj način se postiže da je cjelokupan proces, od narudžbe proizvoda putem konfiguratora do njegove isporuke, transparentan i točan, tj. ne može se dogoditi da kupac naruči nešto što poduzeće u tom trenutku ne može isporučiti.

U Radnom paketu 2.2. projekta INSENT razvija se konfigurator svojstava proizvoda koji bi trebao biti univerzalan za bilo koju vrstu proizvoda. Konfigurator se razvija kao klijentska *web* aplikacija, koja za odabir optimalne konfiguracije proizvoda prema preferencijama kupca poziva *web* servis, koji to odradi pomoću HUMANT algoritma.

Riječ je o više-ciljnoj optimizaciji s *a priori* pristupom, jer su preferencije kupca (cijena, karakteristike i sl.) unaprijed (*a priori*) poznate. Koristit će se HUMANT algoritam koji je već provjereni optimizacijski algoritam za pronalaženje rješenja problema s više kriterija (ciljeva), kao što su: problem odabira suradnika, problem konfiguracije proizvoda i sl. Algoritam spada u optimizacijsku skupinu Mravlja kolonija (eng. *Ant Colony Optimization*), odnosno konkretno u skupinu *Multi-Objective Ant Colony Optimization* algoritama, te je potpuno automatiziran algoritam, što ga čini pogodnim za primjenu u Industriji 4.0.

Kao primjer proizvoda za koji se razvija *web* konfigurator, uzet će se *karet*. To je proizvod koji je razvijen u sklopu Radnog paketa 3. Prvi dizajn *kareta* je razvijen, može se proizvesti iz više različitih materijala, te se na njega mogu ugraditi različiti kotači i sklopovi volana.

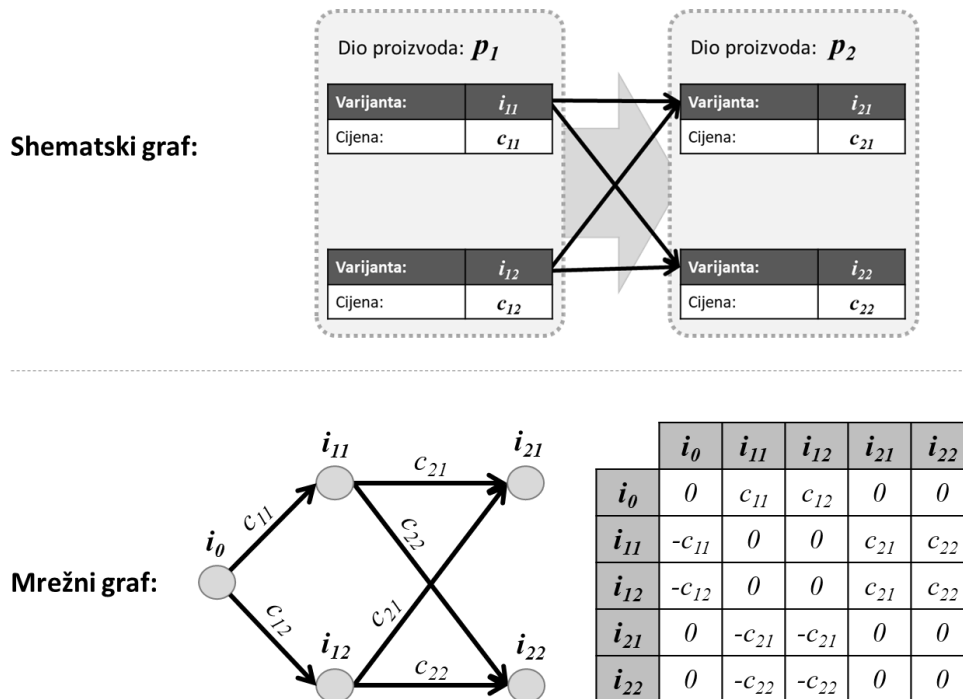
Problem odabira optimalne konfiguracije proizvoda po želji kupca svodi se na odabiranje jedne varijante za svaki dio proizvoda uzimajući pritom u obzir preferencije kupca (Slika 2.5.).



Slika 2.5. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod kareta

Za rješavanje odabira optimalne konfiguracije proizvoda pomoću HUMANT algoritma, kao i bilo kojim drugim algoritmom iz skupine Mravlja kolonija, potrebno je gore navedeni problem oblikovati u obliku mrežnog grafa.

Na Slici 2.6. prikazana je transformacija jednostavnog problema, odnosno proizvoda koji se sastoji od dva dijela, a svaki dio može imati dvije varijante. U ovom jednostavnom primjeru jedini kriterij usporedbe varijanti je njihova cijena, stoga je mrežni graf, odnosno tranzicijska matrica vrlo jednostavan. No, budući da HUMANT algoritam koristi proračune metode za višekriterijalno odlučivanje – *PROMETHEE II (Preference ranking organization method for enrichment evaluation)* metode, broj kriterija može biti velik, odnosno može biti i više od 30 različitih kriterija kojima se uspoređuju dvije ili više varijanti nekog dijela proizvoda. Nakon što je problem predstavljen u obliku mrežnog grafa, jednostavno je pokrenuti tok HUMANT algoritma u svrhu rješavanja postavljenog problema.



Slika 2.6. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod kareta

Tok HUMANT algoritma vrlo je sličan toku originalne Mravlje kolonije, a prvenstveno se razlikuje po tome što je većina proračuna u algoritmu zamijenjena proračunima koji se koriste *PROMETHEE II* metodom. Općenito gledano, tok algoritma izgleda ovako:

- 1) Postavljanje problema i parametara algoritma, te procjena idealnog optimuma
- 2) Priprema mravi za potragu za rješenjem (razmještanje mravi na početne čvorove)
- 3) Jedna iteracija algoritma:
 - 3.1) Svaki mrav m konstruira svoje rješenje:

3.1.1) Mrav m koji se nalazi na čvoru i pronalazi susjedni neposjećeni čvor j i uvrštava ga na listu kandidata za odabir

3.1.2) Proračunava se proračun vjerojatnosti odabira svakog kandidata p_{ij} , korištenjem *PROMETHEE II* metode, prema izrazu:

$$p_{ij} = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\Phi'_{ij}]^\beta}{\sum_{k=1}^n [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\Phi'_{ik}]^\beta} \quad (2.1)$$

gdje τ_{ij} predstavlja količinu feromonskog traga na segmentu puta (i, j) , Φ'_{ij} predstavlja izvrsnost čvora j odnosno segmenta puta (i, j) , α i β su parametri algoritma, pri čemu je uvijek $\beta = n$, a n je ukupni broj susjednih neposjećenih čvorova mrava m ; dok se Φ'_{ij} računa prema izrazu:

$$\Phi'_{ij} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\Pi(X_{ij}, X_{ik}) + (1 - \Pi(X_{ik}, X_{ij})))}{2} \quad (2.2)$$

gdje $\Pi(X_{ij}, X_{ik})$ predstavlja pozitivni tok indeksa preferencije, odnosno dominaciju segmenta puta (i, j) nad segmentom puta (i, k) , dok $\Pi(X_{ik}, X_{jk})$ predstavlja negativni tok indeksa preferencije odnosno dominaciju segmenta puta (i, k) nad segmentom puta (i, j) , a n predstavlja ukupni broj susjednih neposjećenih čvorova mrava m

3.1.3) Simuliranjem pristranog ruleta u kojem je količina pristranost određena vjerojatnošću odabira čvora p_{ij} , mrav m odabire kandidata j , odnosno čvor prema kojem se pomiče

3.1.4) Provjerava se je li tim pomicanjem iskonstruirano rješenje problema, odnosno ne postoje li više susjedni neposjećeni čvorovi, a ako postoji još barem jedan susjedni neposjećeni čvor, postupak pronalaska i odabira kandidata se ponavlja sve dok nije iskonstruirano rješenje problema

3.2) Pronađeno rješenje svakog mrava m se uspoređuje s do tada pronađenim optimumom, korištenjem *PROMETHEE II* metode, te ukoliko je izvrsnije postaje novim poznatim optimumom

- 3.3) Pronađeno rješenje svakog mrava m se uspoređuje s procijenjenim idealnim optimumom, korištenjem *PROMETHEE II* metode, a rezultat predstavlja novu količinu feromona $\Delta\tau_{ij}$ koja će biti ostavljena na segmentima puta koji je prošao mrav m , gdje se $\Delta\tau_{ij}$ računa prema izrazu:

$$\Delta\tau_{ij} = 2(\Phi^+(x) - \Phi^-(x)) = 2(\Pi(x, s^{id}) - \Pi(s^{id}, x)) \quad (2.3)$$

gdje $\Pi(x, s^{id})$ predstavlja pozitivni tok indeksa preferencije, odnosno dominaciju pronađenog rješenja x nad idealnim optimumom s^{id} , dok $\Pi(s^{id}, x)$ predstavlja negativni tok indeksa preferencije, odnosno dominaciju idealnog optimuma s^{id} nad pronađenim rješenjem x

- 3.4) Osvježavanje i isparavanje feromonskog traga svakog segmenta puta vrši se korištenjem principa globalno najbolji ili iteracijski najbolji mrav:

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (2.4)$$

gdje $\tau_{ij}(t)$ predstavlja količinu feromonskog traga u trenutku t , dok $\tau_{ij}(t+n)$ predstavlja količinu feromonskog traga u trenutku $t+n$, a ρ je parametar algoritma, odnosno koeficijent isparavanja feromonskog traga

- 3.5) Primjenjuje se MAX-MIN strategija osvježavanja feromonskog traga, pa se vrijednost feromonskog traga svakog segmenta puta τ_{ij} podvrgava sljedećem pravilu:

$$\tau_{min} \leq \tau_{ij} \leq \tau_{max} \quad (2.5)$$

gdje τ_{min} predstavlja najmanju dopuštenu količinu feromonskog traga, a τ_{max} predstavlja najveću dopuštenu količinu feromonskog traga

- 3.6) Svaki mrav m se priprema za novu potragu

- 4) Ako je ukupni broj iteracija dosegao maksimum, potraga se prekida
- 5) Najizvrsniji pronađeni optimum je rješenje optimizacijskog problema

Treba još napomenuti da nije dokazano je li bolje korištenje principa globalno najboljeg mrava ili iteracijski najboljeg mrava za osvježavanje feromonskog traga, već to varira ovisno o vrsti optimizacijskog problema. Općenito, princip globalno najboljeg mrava bi trebao imati nešto bržu konvergenciju prema pronađenom najizvrsnijem rješenju. Za problem odabira optimalne konfiguracije proizvoda tok HUMANT algoritam je vrlo sličan ovom općenitom toku.

2.1.4. INSENT web konfigurator proizvoda

Prototip INSENT web konfiguratora komunicira s web servisom koji u sebi sadrži optimizacijski algoritam za odabir optimalne varijante proizvoda. Komunikacija se vrši putem POP (*Post Office Protocol*) ili SOAP (*Simple Object Access Protocol - Jednostavan protokol pristupa objektu*) zahtjeva, pri čemu se za određeni proizvod šalju preferencije kupca, odnosno ponderi za kriterije i svojstva (Slika 2.7.).

Proizvod - želje kupca

Proizvod

Naziv:

Komada:

Kriteriji

Kriterij Važnost (težinski faktor)

Cijena: 30% ★★★★★

Kvaliteta: 20% ★★★★★

Isporuka: 10% ★★★★★

Svojstva

Svojstvo	Vrijednost (atribut)	Važnost (težinski faktor)
Boja:	plava	10% ★★★★★
Materijal:	drvo	30% ★★★★★



Web Service (asmx)
'KonfiguracijaProizvoda'
 @ C417SRV
 @ FESB



Slika 2.7. Unos preferencija određenih svojstava proizvoda kao ulaza web servisa za odabir optimalne konfiguracije proizvoda

Treba naglasiti da je razlika između kriterija i svojstava u tome što se za kriterije određuje samo težinski faktor, dok se za svojstva određuje i vrijednost dotičnog atributa. Tako npr. kupac odabire kao svojstvo plavu boju i količinu preferencije tog svojstva. U slučaju visoke preferencije plave boje, algoritam bi kupcu trebao ponuditi proizvod plave boje bez obzira na npr. njegovu cijenu. U slučaju da je plavi proizvod cjenovno skuplji, a kupac nije istakao visoku preferenciju svojstva boje, tada bi algoritam trebao kupcu ponuditi cjenovno ekonomičan proizvod sa što više moguće dijelova plave boje. Dakle, za svaki upit (zahtjev) kupac bi trebao dobiti od *web* servisa, odnosno optimizacijskog algoritma, nekoliko varijanti proizvoda između kojih se onda može odlučiti za konačnu varijantu. Primjer rezultata *web* servisa, a to je XML zapis varijanti proizvoda, kao i primjer dekodiranja vrijednosti svojstava varijante proizvoda, prikazan je na Slici 2.8.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ArrayOfProizvod xmlns="http://insent.fesb.hr/" xmlns:xsi="http://
  <Proizvod>
  <Naziv>Karet</Naziv>
  <Komada>1</Komada>
  <Varijante>
  <Varijanta>
  <Naziv>Varijanta 1</Naziv>
  <Kombinacija>104-201-303</Kombinacija>
  <Kriteriji>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Cijena</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>291</Vrijednost>
  </Kriterij>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Kvaliteta</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>4</Vrijednost>
  </Kriterij>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Isporuka</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>28</Vrijednost>
  </Kriterij>
  </Kriteriji>
  </Varijanta>
  </Varijante>
  <Varijanta>
  <Naziv>Varijanta 2</Naziv>
  <Kombinacija>102-202-301</Kombinacija>
  <Kriteriji>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Cijena</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>275</Vrijednost>
  </Kriterij>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Kvaliteta</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>3</Vrijednost>
  </Kriterij>
  <Kriterij>
  <Naziv_kriterija>Isporuka</Naziv_kriterija>
  <Vrijednost>25</Vrijednost>
  </Kriterij>
  </Varijanta>
  </Varijante>
  </Proizvod>
</ArrayOfProizvod>
```

Proizvod	Dijelovi	Varijante dijelova								
		Naziv	Oznaka	Šifra	Svojstvo 1	Svojstvo 2	Svojstvo 3	Kriterij 1	Kriterij 2	Kriterij 3
Karet	Ploča		101	drvo	plava	-	107,00 kn	Dovoljno (2)	11 dana	
			102	drvo	crvena	-	114,00 kn	Dobro (3)	12 dana	
			103	plastika	plava	-	121,00 kn	Vrlo dobro (4)	13 dana	
			104	plastika	crvena	-	128,00 kn	Izvršno (5)	14 dana	
	Kotači		201	-	-	rolerski	98,00 kn	Vrlo dobro (4)	5 dana	
			302	-	-	balinere	106,00 kn	Izvršno (5)	6 dana	
	Volan		301	drvo	plava	-	55,00 kn	Dobro (3)	7 dana	
			302	drvo	crvena	-	60,00 kn	Dobro (3)	8 dana	
			303	plastika	plava	-	65,00 kn	Dobro (3)	9 dana	
			304	plastika	crvena	-	70,00 kn	Dobro (3)	10 dana	
			305	metal	plava	-	75,00 kn	Dobro (3)	11 dana	
			306	metal	crvena	-	80,00 kn	Dobro (3)	12 dana	

Cijena = 128 + 98 + 65 = **291 kn**

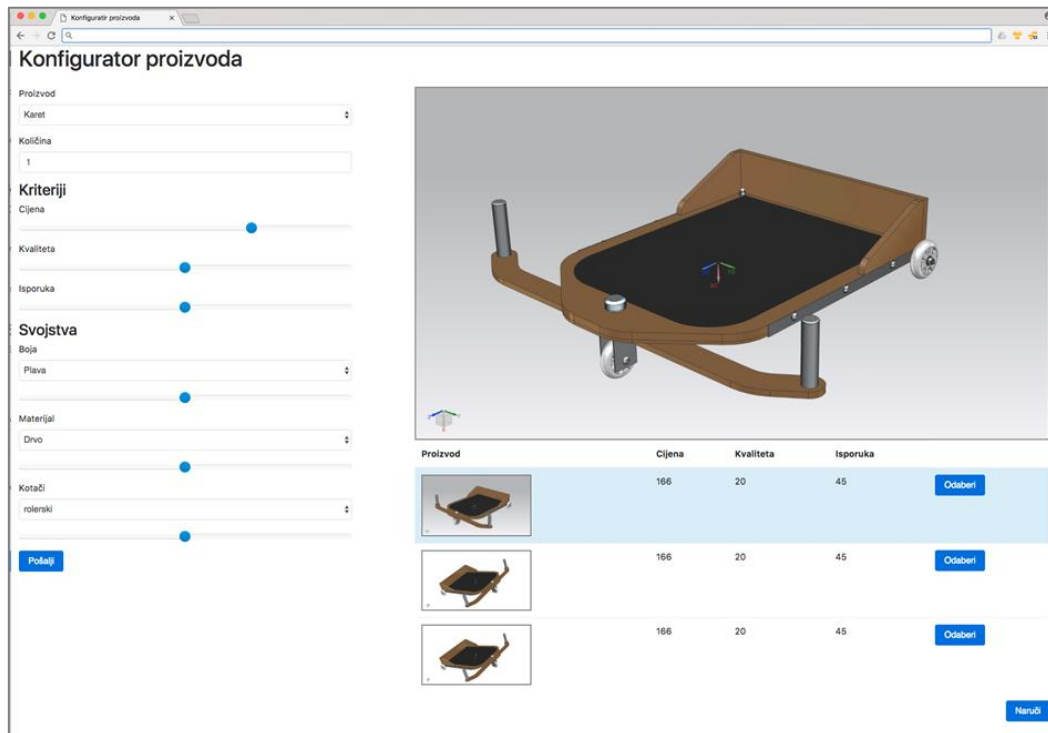
Kvaliteta = (5 + 4 + 3) / 3 = 3.5 → **4 (Vrlo dobro)**

Isporuka = 14 + 5 + 9 = **28 dana**

Slika 2.8. Primjer dekodiranja rezultata (varijanti proizvoda) web servisa za konfiguriranje proizvoda

U konačnici, kao pomoć kupcu pri odabiru između nekoliko ponuđenih varijanti proizvoda, svaka od varijanti proizvoda vizualizirat će se korištenjem 3D modela u *STL* ili nekom sličnom obliku. Na taj način bi kupac na kraju procesa trebao biti potpuno samouvjeren u svoj odabir varijante proizvoda, koja je tada spremna za proizvodnju.

Na Slici 2.9. vidljiv je prototip *web* aplikacije *Konfigurator proizvoda* razvijene u ovom projektu.



Slika 2.9. Prototip *web* aplikacije '*Konfigurator proizvoda*'

Ovaj konfigurator proizvoda funkcionira na način da korisnik najprije vrši odabir proizvoda te količinu koju želi naručiti (Slika 2.10.).



Slika 2.10. Odabir proizvoda i količine narudžbe

Nakon toga, korisnik određuje svoje preferencije, tj. bitnost pojedinih kriterija i svojstava proizvoda vezanih uz dotični proizvod (Slika 2.11.).

Kriteriji

Cijena

Kvaliteta

Isporuka

Svojstva

Boja

Plava

Materijal

Drvo

Kotači


rolerski

Pošalji

Slika 2.11. Definiranje preferencija kupca

Nakon odabira i pritiska na dugme *Pošalji*, na desnoj strani ekrana otvara se 3D model prve varijante i u tablici ispod sve varijante proizvoda (Slika 2.12.).



Proizvod	Cijena	Kvaliteta	Isporuka	
	166	20	45	Odaberi
	166	20	45	Odaberi
	166	20	45	Odaberi

[Naruži](#)

Slika 2.12. Odabir proizvoda i količine narudžbe

Klikom na dugme *Odaberi* u gornjem dijelu prikazuje se odabrana varijanta proizvoda. Dok se klikom na dugme *Naruči* vrši narudžba odabrane varijante proizvoda.

Izlazni podaci iz sustavu su za korisnika *Print stranica* koju može isprintati u *PDF*, a za sustav izlaz je u *CSV* formatu koji kasnije može biti uvezen u druge sustave. Nadalje, razvijeni sustav podržava mogućnost dodavanja novih proizvoda, te definiranje njihovih svojstava i dodavanje novog 3D modela u *stl* formatu.

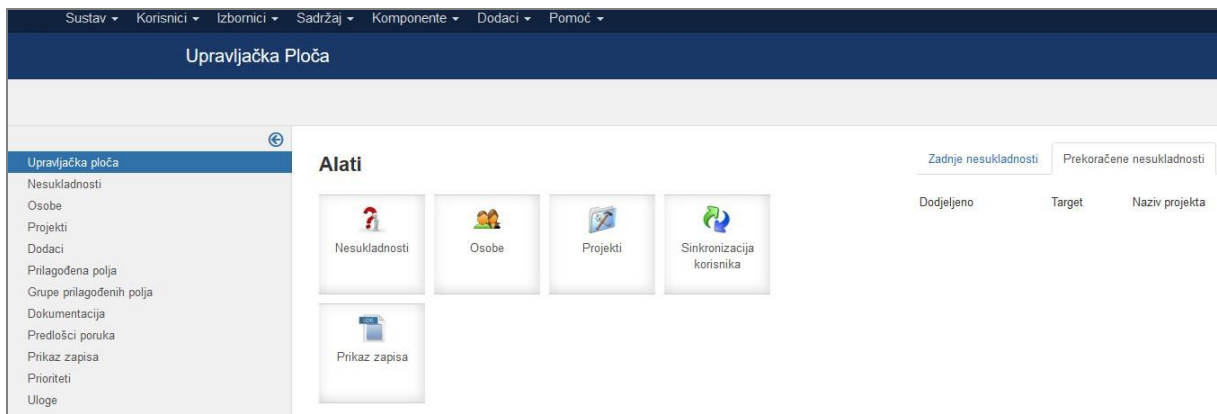
2.1.5. INSENT web aplikacija za upravljanje nesukladnostima

Ono što je jedan od ključnih zahtjeva za konfigurator proizvoda je svakako robusnost. S jedne strane dizajn proizvoda mora biti robustan, na način da sprječava pojavu nesukladnosti na proizvodu, ali i da sprječava da kupac naruči proizvod čije bi funkcionalne performanse bile vrlo niske kvalitete. S druge pak strane, proizvodni proces mora biti robustan, na način da sprječava bilo kakvu pojavu nesukladnosti u proizvodnom procesu, zbog koje bi kupac mogao dobiti proizvod koji nije naručio ili pak proizvod s greškom.

Kao odgovor na ovaj zahtjev, potrebno je imati razvijen sustav za upravljanje nesukladnostima, i to nesukladnostima svake vrste. Najučinkovitije rješenje, koje ujedno prati i trendove Industrije 4.0 je razviti takav sustav u obliku *web* aplikacije, što je i napravljeno.

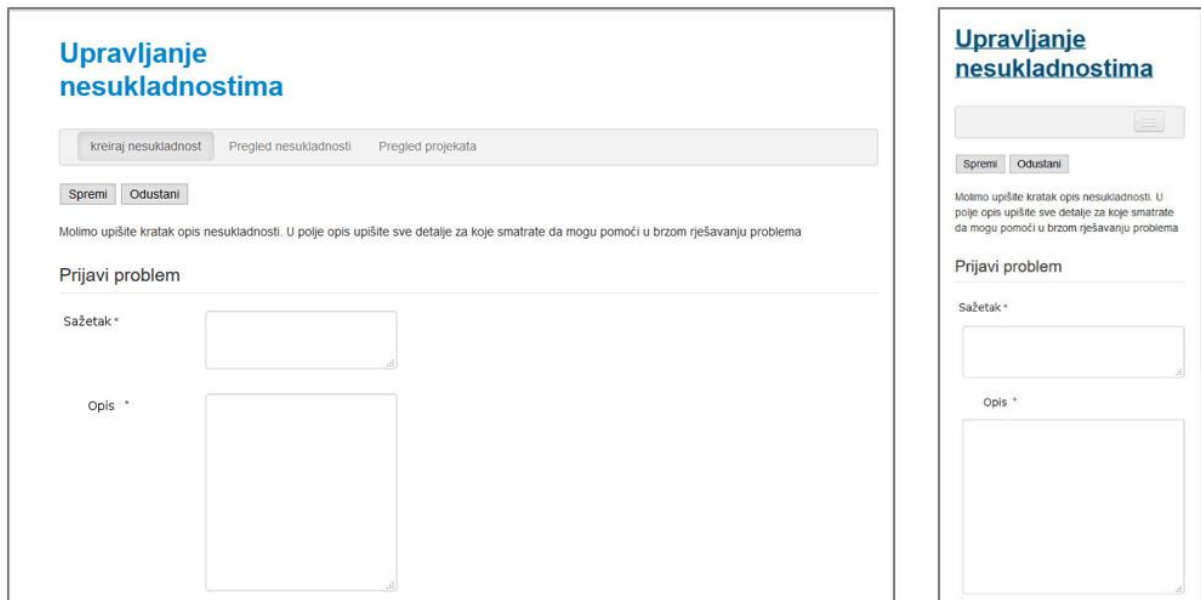
Osnovna namjena razvijene *web* aplikacije je upravljanje nesukladnostima i poremećajima koji se mogu javiti u bilo kojem složenom sustavu. No, s druge strane, aplikaciju je moguće koristiti i za upravljanje unaprijeđenima prema *kaizen* principu. Ako nesukladnost i ne postoji, ali zaposlenici uoče element rada, dio opreme ili odvijanje procesa, te dio na proizvodu koji se može na bilo koji način unaprijediti, zaposlenik može otvoriti predmet nesukladnosti koji se kasnije razmatra i rješava. Aplikacija se može koristiti kako za mala unaprijeđenja, tako i za definiranje potreba za većim unaprijeđenjima koje iziskuju značajnu investiciju. Zbog pojednostavljenja prikaza naslova aplikacije na samom zaslonu, izraz nesukladnost se koristi i za stvarne nesukladnosti za zahtijevanom kvalitetom proizvoda ili procesa, te za nesukladnosti sa zamišljenim optimalnim proizvodom ili procesom do kojeg je moguće doći unaprijeđenjem proizvoda ili procesa.

Aplikacija se sastoji od korisničkog i administracijskog sučelja (Slika 2.13.). Pristup aplikaciji je zaštićen, te joj je moguće pristupiti samo preko sučelja u koje se unosi korisničko ime i zaporka. Za svakog korisnika je moguće definirati različite razine pristupa i ovlasti u radu s aplikacijom. S obzirom da se radi o *web* aplikaciji, istu je moguće preko *web* preglednika pratiti i koristiti na različitim informacijskim sustavima (*PC, IOS, android, linux* itd.), te postoji obveza povezanosti na *Internet*. Korisničko sučelje za prijavu nesukladnosti se prilagođava veličini ekrana korisnika, tj. posjeduje *responsive* karakteristiku, a primjer promjene veličine ekrana u prozoru za prijavu problema je prikazan na Slici 2.14.



Slika 2.13. Administracijsko sučelje aplikacije

Kod definiranja nesukladnosti ili potreba za unaprijeđenjem korisnik može, uz tekstualni opis, pridružiti različite datoteke informacija, skica, fotografija, audio i video zapisa itd. Obavijest o kreiranoj nesukladnosti, korisnicima koji su u sustavu dojavu, dolazi preko *e-mail* poruke, ili poruke generirane od strane same aplikacije.



Slika 2.14. Izgled aplikacije na desktop računalu / tabletu i na mobitelu

Svakoj nesukladnosti je moguće pridružiti prioritet u rješavanju. Osoba koja je zadužena za otklanjanje ove nesukladnosti, na temelju pridruženog prioriteta, može odlučiti o vremenu i načinu rješavanja tog problema. Uz nazive prioriteta npr. *kritičan*, *visok*, *srednji* i *nizak* pridružuje se i brojčana oznaka od 1-100, koja određuje i boju prioriteta. (npr. 1 plava, 100 crvena). Za svaki prioritet se određuje vrijeme u satima u kojem se mora reagirati na nesukladnost i vrijeme do kada se ta nesukladnost mora riješiti (Slika 2.15.).

Pratitelj nesukladnosti-Prioriteti

Novo Uredi Objavi Odjavi Arhiviraj Oslobodi Smeće Pomoć Opcije

Filter: Traži Poništi

Prioritet Uzlazno 20

	Prioritet	Rang	Vrijeme odziva	Vrijeme za rješavanje	Opis	Objavljeno	ID
<input type="checkbox"/>	Kritičan	95	0.25	2.00	Proces je zaustavljen. Nesukladnost može uzrokovati velike finacijske gubitke	<input checked="" type="checkbox"/>	4
<input type="checkbox"/>	Nizak	5	4.00	24.00	1 ili 2 korisnika imaju manje poremećaje u radu na jednom projektu.	<input checked="" type="checkbox"/>	2
<input type="checkbox"/>	Srednji	40	2.00	8.00	Ured, odjel ili korisnik imaju manji gubitak funkcionalnosti, ali postoje alternativne metode za rješavanje zadataka.	<input checked="" type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	Visoki	70	0.50	4.00	Pogon je izvan funkcije, ali se ne očekuju značajni finacijski gubici.	<input checked="" type="checkbox"/>	1

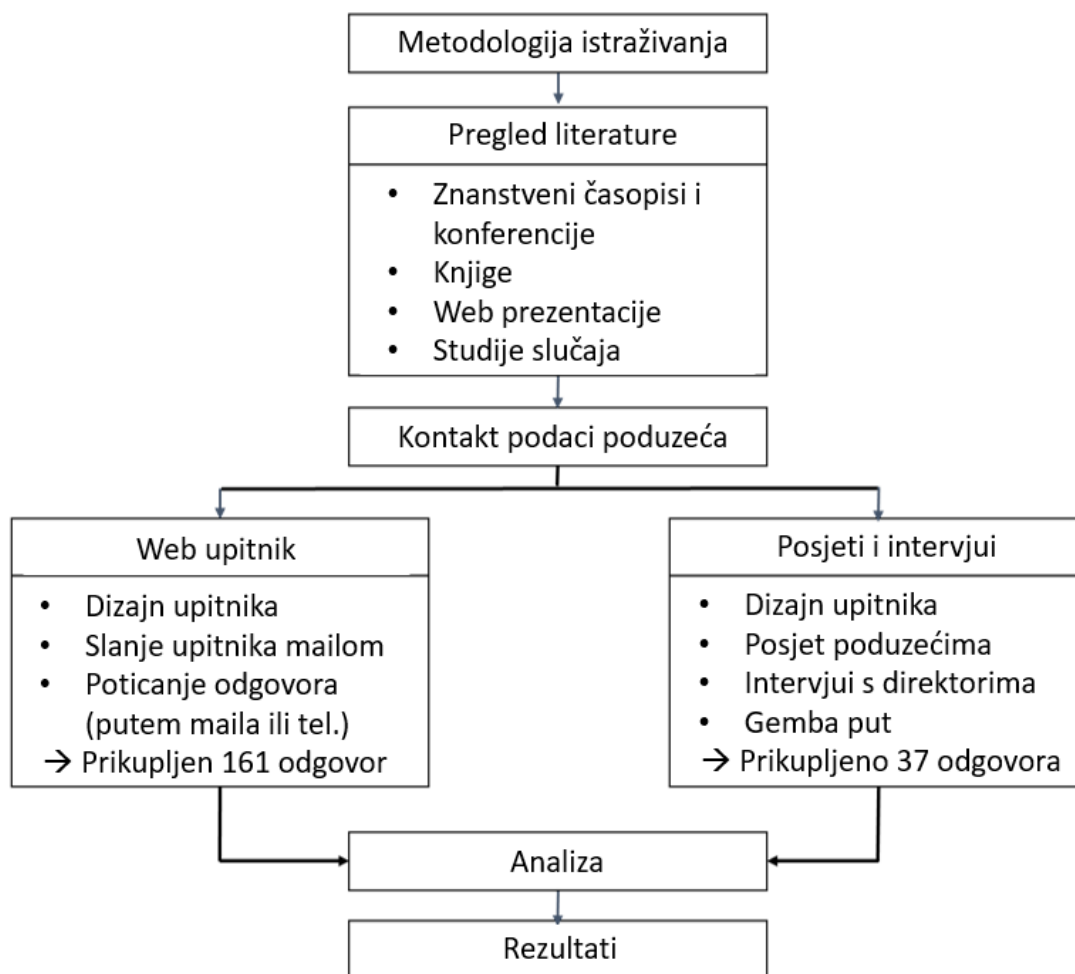
Filter: - Odabir statusa -

Slika 2.15. Pregled nesukladnosti prema prioritetima

2.2. Razvoj modela tvornice temeljenog na *lean* i zelenim principima

2.2.1. Metodologija istraživanja i analiza dobivenih rezultata

Istraživanje je započelo detaljnim pregledom literature, zatim je ostvaren kontakt s poduzećima na području Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Kao što je u Poglavlju 1. navedeno, da bi se napravila analiza trenutnog stanja hrvatskih industrijskih poduzeća u okviru Radnog paketa 1., poduzećima je poslan je *web* upitnik i prikupljen je 161 odgovor. U okviru Radnog paketa 2. provedeno je istraživanje vezano za princip rada unutar proizvodnih sustava hrvatskih poduzeća, gdje je sastavljena anketa i poslana tvrtkama u različitim regijama Hrvatske. Prikupljeno je 37 odgovora i na temelju analize predložen je HR-ISE model, što je detaljno pojašnjeno u Poglavlju 2.2.2. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na *leanu*. Metodologija istraživanja prikazana je na Slici 2.16.



Slika 2.16. Prikaz metodologije istraživanja [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016]

Rezultati istraživanja provedenih na projektu potvrđuju da se Hrvatska sporo kreće prema Industriji 4.0, što je prikazano na Slici 1.13. Vidljiva je trenutna razina zrelosti hrvatske industrije, koja prema istraživanju iznosi samo 2,15, što označava pripadnost drugoj industrijskoj generaciji.

U Hrvatskoj su brojni primjeri poduzeća sa vrlo niskim stupnjem industrijske zrelosti, primjer poduzeća sa stupnjem industrijske zrelosti 1,7 je na Slici 2.17. S druge strane postoje i primjeri poduzeća sa višim stupnjevima zrelosti, koja se kreću prema Industriji 4.0, primjer je prikazan na Slici 2.18.



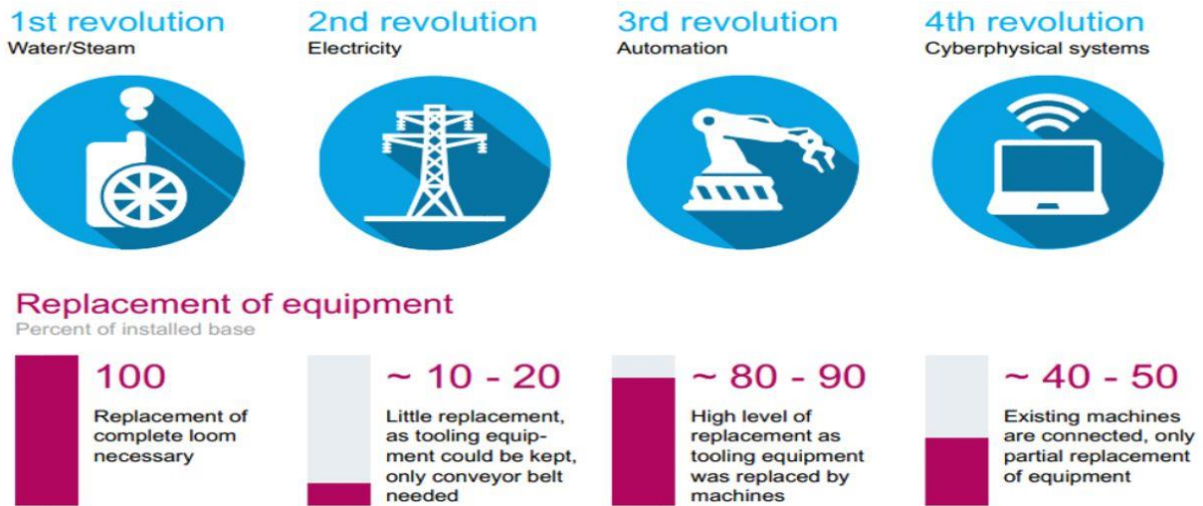
Slika 2.17. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 1,7



Slika 2.18. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 3,4

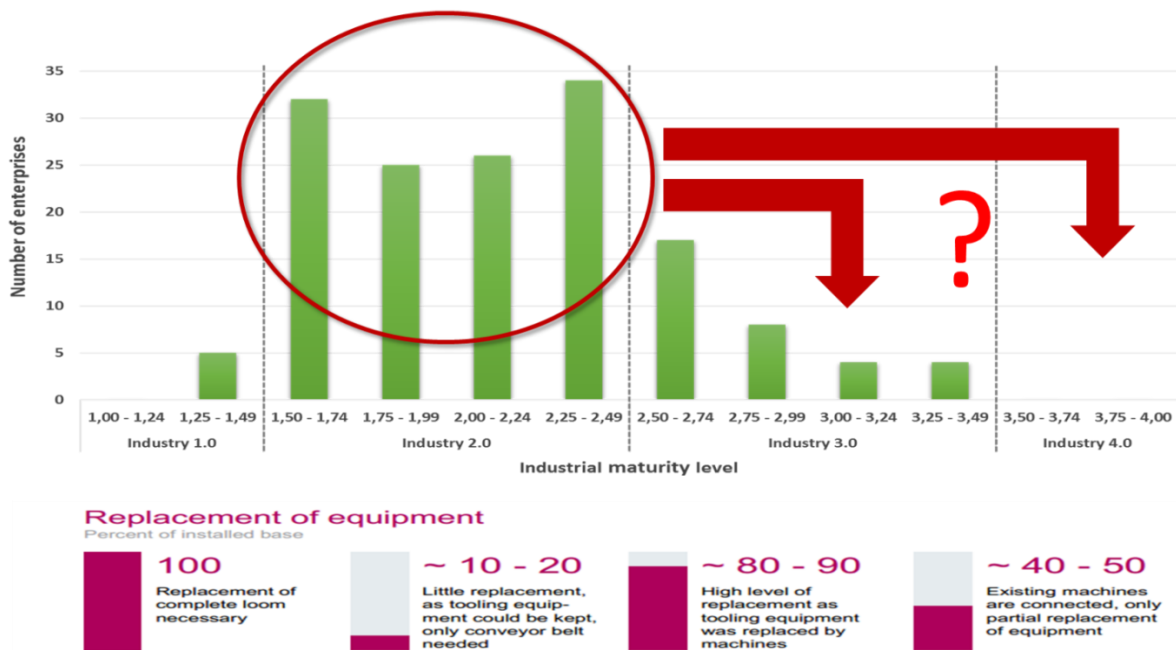
Prema McKinsey konzultantima [McKinsey, 2015] najveći tehnološki skok se dogodio sa 2. na 3. industrijsku revoluciju. Potrebno je mnogo ulaganja u opremu za rad (80-90% opreme treba zamijeniti novom), da bi se ostvarila automatizacija, što prikazuje Slika 2.19. S obzirom da 3. industrijska revolucija predstavlja proizvodnju koja ima automatizirane proizvodne linije, robote i CNC strojeve, jasno je zašto je većina poduzeća u Hrvatskoj nisu napravili taj skok.

Postavlja se pitanje: *Je li moguće napraviti skok sa 2. industrijske revolucije na 4. odnosno skok preko jedne cijele industrijske generacije?*



Slika 2.19. Najveći tehnološki skok sa 2. na 3. industrijsku revoluciju [McKinsey, 2015]

Pitanje koje je uslijedilo nakon analize stanja hrvatskih proizvodnih poduzeća je: *Treba li ići prema Industrij 3.0 ili Industrij 4.0?*, s obzirom da je prosjek hrvatske industrije na razini druge industrijske generacije, Slika 2.20.



Slika 2.20. Rezultati istraživanja i buduća kretanja

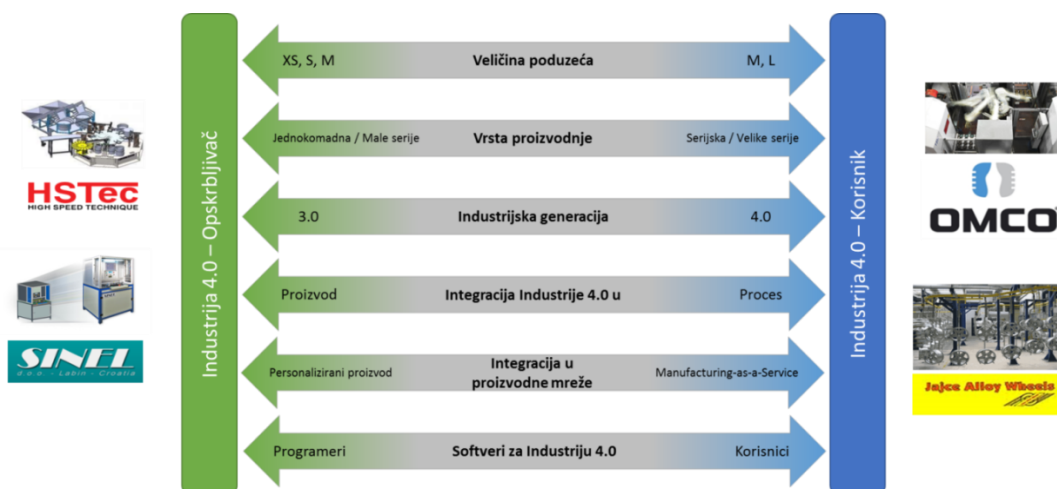
Većina hrvatskih prerađivačkih poduzeća ima manje od 100 zaposlenih i uglavnom proizvode u malim serijama ili jednokomadne proizvode za druga poduzeća (tj. nalaze se u dobavljačkom lancu), Slika 2.21. Stoga nemaju veliki interes za Industrij 4.0.



Slika 2.21. Primjeri hrvatskih poduzeća u odnosu na veličinu i vrstu proizvodnje

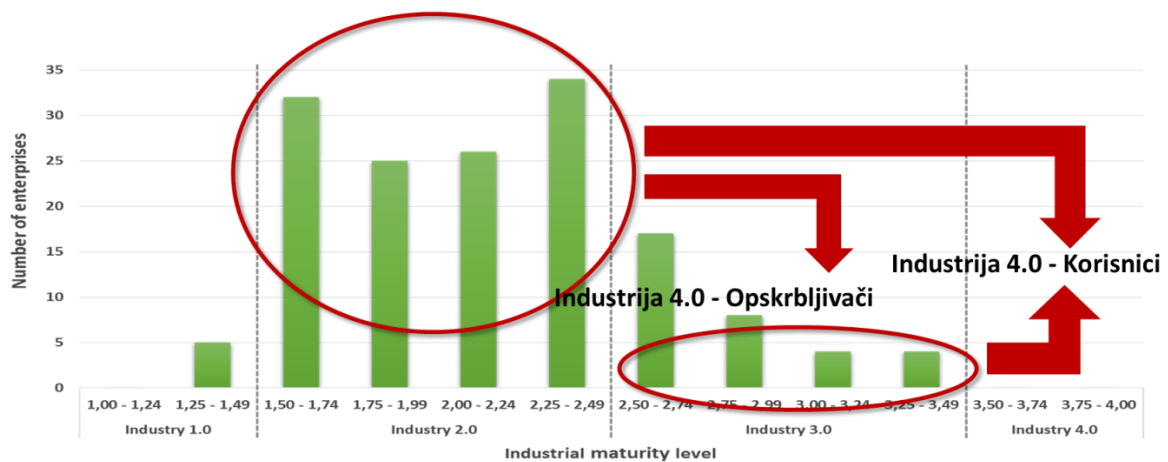
U ovom je istraživanju dana sinteza analize hrvatske industrije u odnosu na Industriju 4.0. Općenito, određena je hipoteza o trenutnom položaju hrvatskih proizvodnih poduzeća u odnosu na Industriju 4.0. Glavno pitanje je: *Može li poduzeće preživjeti na tržištu bez uzimanja strateških smjernica prema Industriji 4.0 do 2020. godine?* Posebno pitanje vrijedi ako je poduzeće *OEM* (eng. *Original Equipment Manufacturing*), a ne proizvođač gotovog proizvoda. Budući da je vrlo vjerojatno da proizvođači konačnog proizvoda utječu na *OEM*-ove kako bi integrirali elemente Industrije 4.0 u svoje dijelove.

Danas postoji skepticizam prema Industriji 4.0 ne samo među stručnjacima u industrije, već i unutar znanstve zajednice. U raspravi o Industriji 4.0 na konferenciji EurOMA 2016 čak 22% znanstvenika koji se bave operacijskim menadžmentom je definiralo Industriju 4.0 samo kao *buzzword* [Lillebrygfjeld, Halse, 2016]. U ovom istraživanju skup poduzeća hipotetički je podijeljen u dva smjera: smjer korisnika Industrije 4.0 i smjer pružatelja usluga Industrije 4.0. Što se tiče ove podjele, postavljeno je šest hipoteza na temelju upitnika među 160 poduzeća i intervju sa 30 izvršnih direktora proizvodnih poduzeća. Te su hipoteze prikazane na Slici 2.22., a nastale su kao zaključci iz intervju a i upitnika. To znači da su hipoteze zapravo postavila sama poduzeća, kada su definirani strateški planovi u pogledu usvajanja Industrije 4.0. INSENT hipoteza za Hrvatsku je da postoje Industrija 4.0 - Opskrbljivači i Industrija 4.0 - Korisnici.



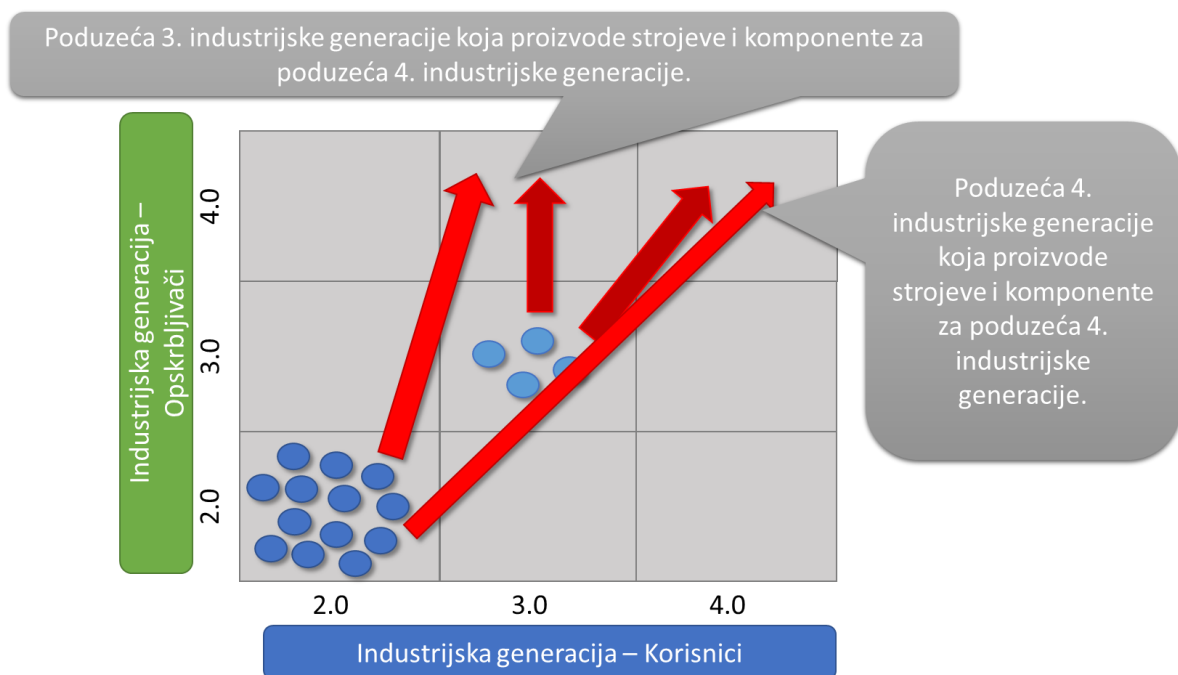
Slika 2.22. Hipoteza o postojanju pružatelja i korisnika Industrije 4.0

Odgovor na pitanje *Treba li ići prema Industriji 3.0 ili Industriji 4.0?* je da bi trebalo oboje (Slika 2.23.).



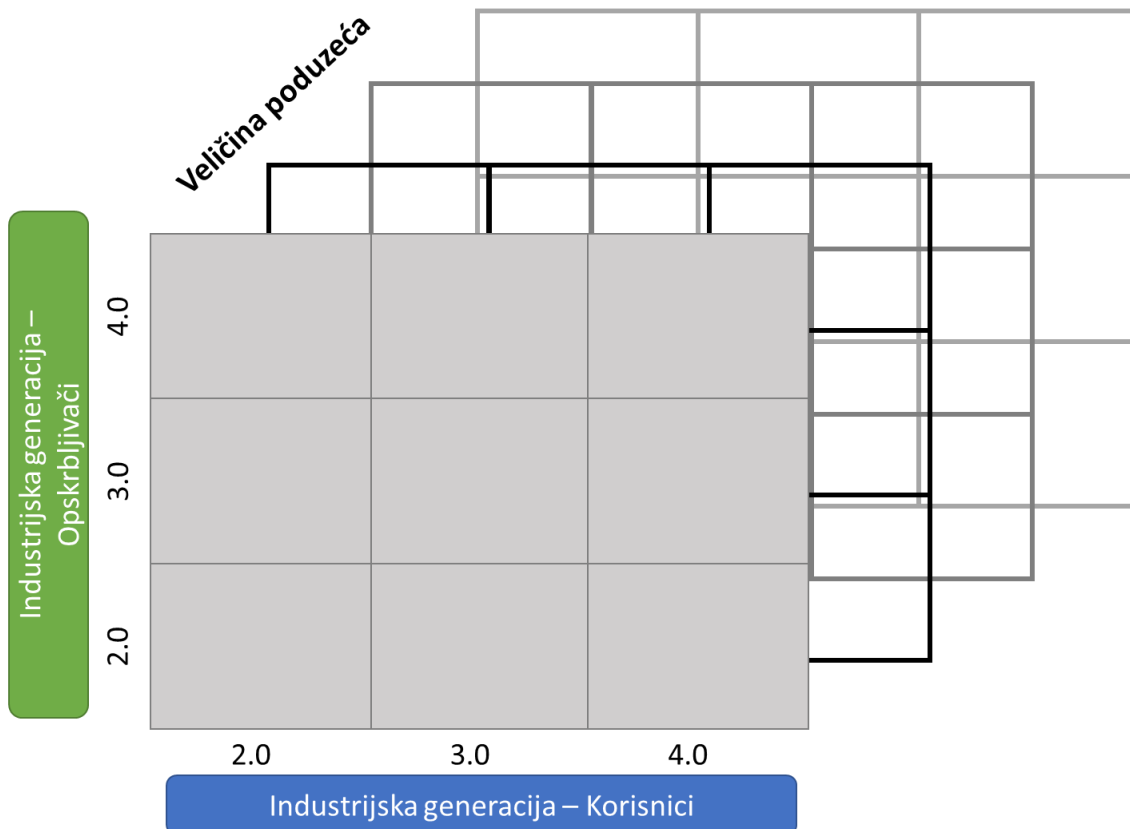
Slika 2.23. Kretanje prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0

S obzirom na poziciju hrvatskih poduzeća, na Slici 2.24. je prikazano kretanje korisnika i opskrbljivača prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0.



Slika 2.24. Kretanje korisnika i opskrbljivača

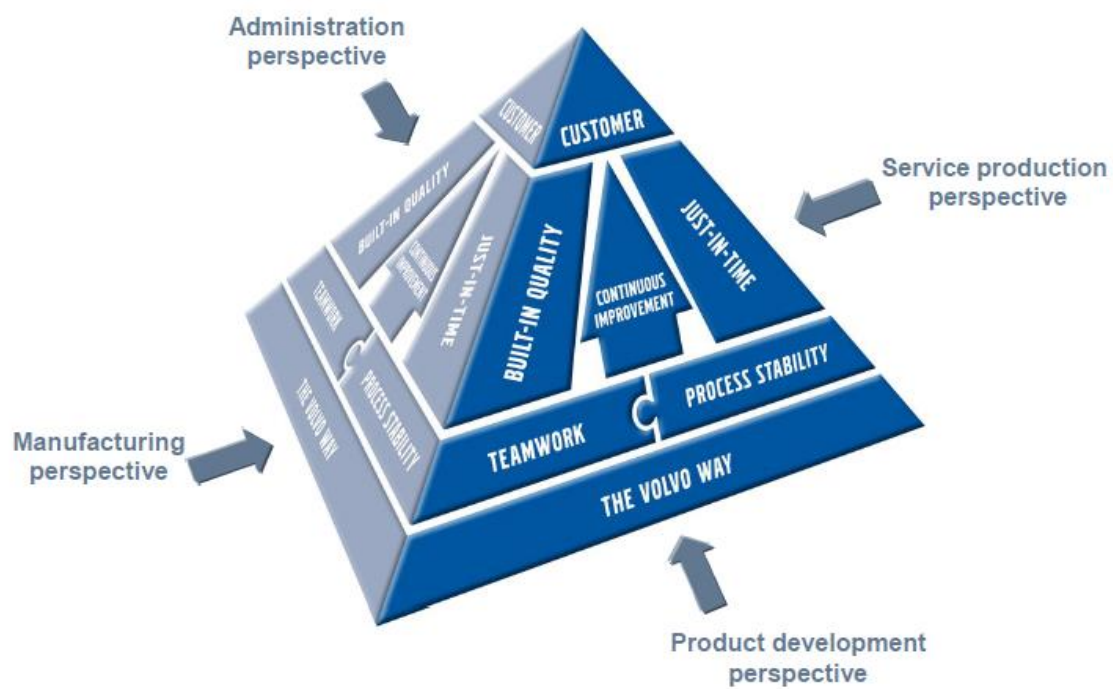
Da bi se u potpunosti prilagodio model, izvršena su daljnja istraživanja prema veličini tvrtke (Slika 2.25.), koja su predstavljena u Poglavlju 2.2.2.



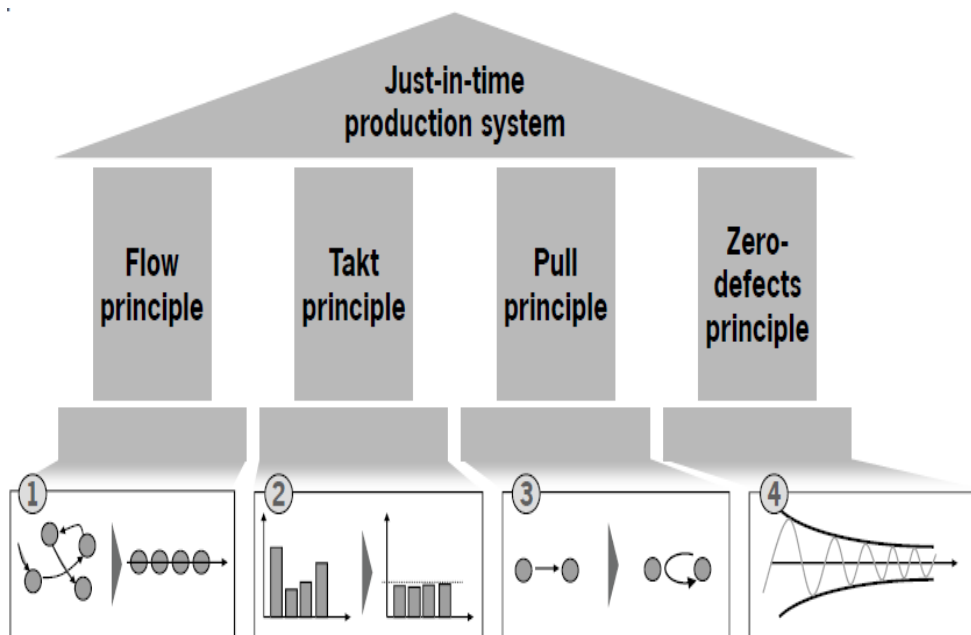
Slika 2.25. Budući različiti pristupi prema veličini poduzeća

2.2.2. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na leanu

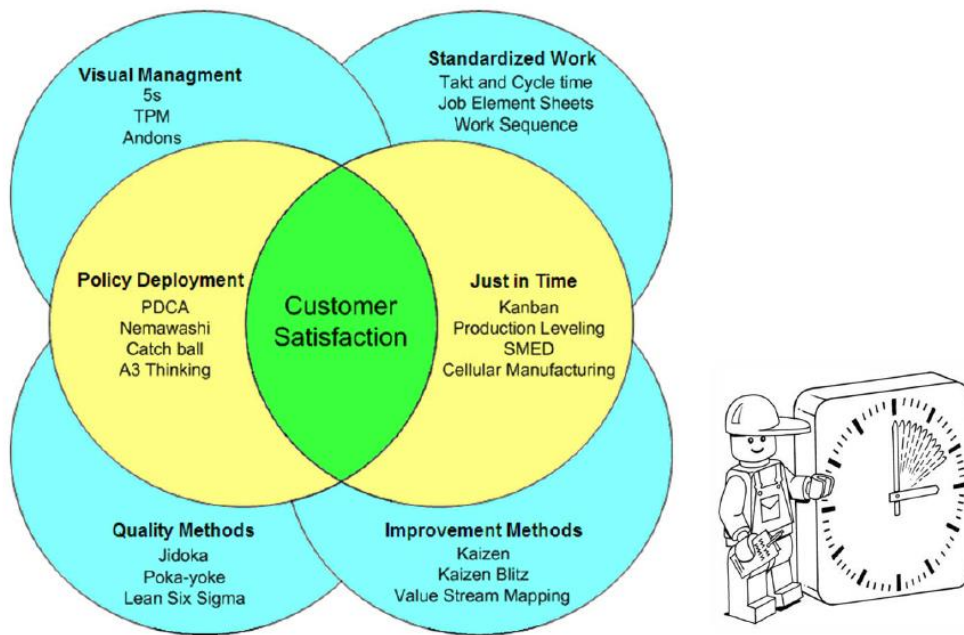
Projektni zadatak je razviti Inovativno pametno poduzeće zasnovano na *leanu*! Iz pregleda literature je vidljivo da multinacionalne kompanije predlažu razvoj strateških programa za unaprijeđenje proizvodnje, jer žele da se njihove tvrtke, koje su raspršene po svijetu, koriste jednakim programom, a ne da se same brinu za rješavanje problema koji nastaju u njihovim proizvodnim sustavima. Prema Netlandu [Netland, 2013] X proizvodni sustav je program kontinuiranog i sistematiziranog unaprijeđenja proizvodnje, te nema ograničenog vremena trajanja. Multinacionalne tvrtke nude X proizvodne sustave (*XPS – X Production System*), gdje X označava program pojedine tvrtke. X proizvodni sustav nije općenit, već je karakterističan za pojedinu tvrtku. Većina XPS su slična, ali X-faktor označava prilagodbu programa unaprijeđenja posebnim uvjetima i potrebama tvrtke. Brojne tvrtke se vode primjerom Toyota proizvodnog sustava (*TPS*), ulažu vrlo velike napore i količine novca u razvoj vlastitih učinkovitih proizvodnih sustava te u njihovo implementiranje. Neki primjeri su Volvo proizvodni sustav (*VPS*) (Slika 2.26.), Porsche proizvodni sustav (Slika 2.27.), LEGO proizvodni sustav (Slika 2.28.), MAN proizvodni sustav (Slika 2.29.), Mercedes proizvodni sustav (Slika 2.30.), Bosch proizvodni sustav (Slika 2.31.), te brojni drugi. Navedeni primjeri predstavljaju osnovu sustava i dijele se na brojne module, gdje svaki modul opisuje točno načine provođenja.



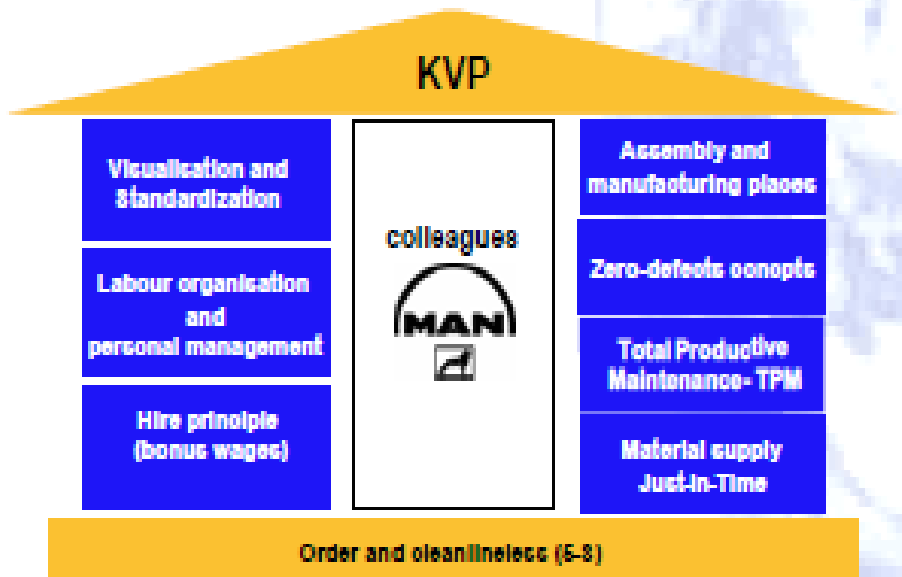
Slika 2.26. Volvo model proizvodnog sustava



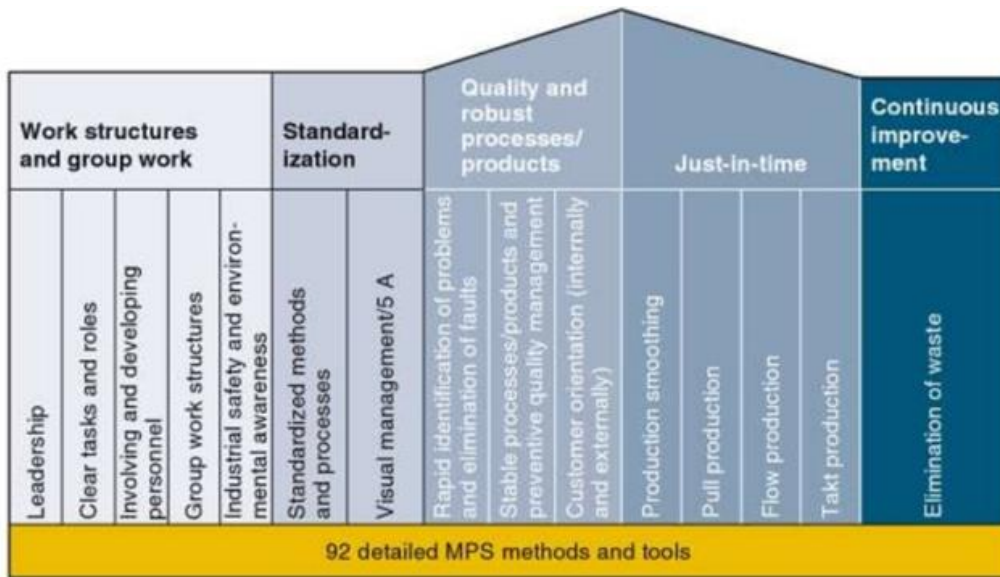
Slika 2.27. Porsche model proizvodnog sustava



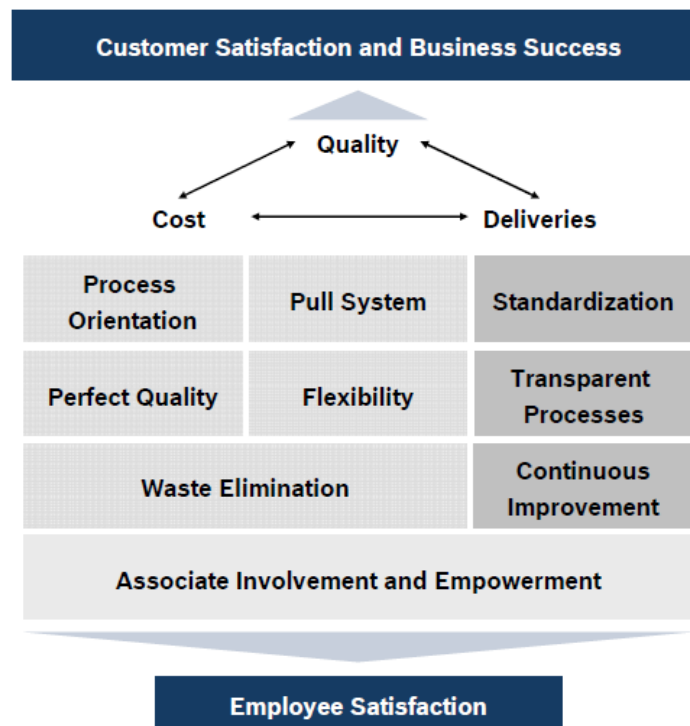
Slika 2.28. Lego model proizvodnog sustava



Slika 2.29. MAN model proizvodnog sustava



Slika 2.30. Mercedes model proizvodnog sustava



Slika 2.31. Bosch model proizvodnog sustava

Prema Netlandu istraživanja potvrđuju da se principi na kojima se zasniva *TPS* i *lean* proizvodnja pojavljuju u većini *XPS*. Trideset ispitanih *XPS* sustava, Tablica 2.1., pripadaju vodećim tvrtkama u svijetu, ono što je zanimljivo tvrtke su iz različitih industrijskih grana i različitih zemalja. Od tvrtke koje se bave proizvodnjom automobila, namještaja, aviona, pa sve do onih koje proizvode igračke. *XPS* predstavlja pristup najboljeg vlastitog puta unaprijeđenja, a ujedno i jedinstvenog puta unaprijeđenja. Razlog tome je što tvrtke često koriste jednake principe prilikom razvijanja programa vlastitog puta unaprijeđenja, ali ipak takvi programi sadrže neke specifičnosti tvrtke, što čini njihov jedinstveni put unaprijeđenja.

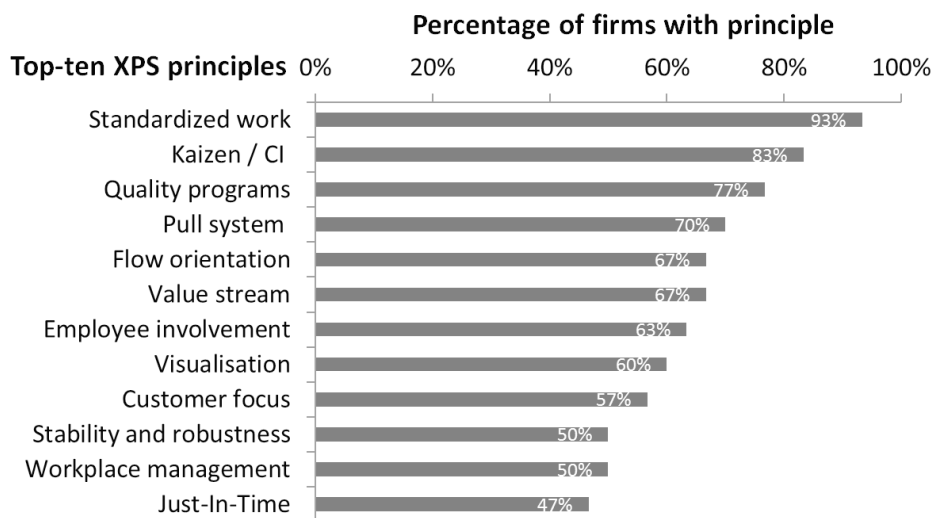
Najvažniji razlog zbog kojeg su se razmatrale multinacionalne tvrtke je zato što su one razvijene, te imaju dovoljno sredstava koje ulažu u razvijanje svojih proizvodnih sustava i unaprijeđenja. Razmatrajući njihove proizvodne sustave može se zaključiti koje su najbolje metode koje se koriste. Cilj je predložiti *lean* principe primjenjive u hrvatskim proizvodnim sustavima koji bi im pomogli u unaprijeđenju.

Tablica 2.1. Trideset ispitanih tvrtki kroz istraživanja Netlanda [Netland, 2013]

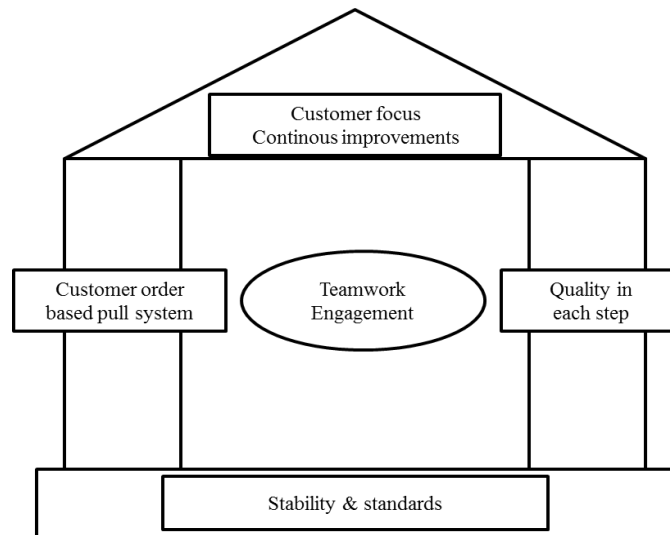
#	Company	XPS	Main industry	HQ	XPS source
1	Alfa Laval	Alfa Laval Production System (ALPS)	Heating and flow technology	SWE	Direct
2	Audi	Audi Produktionssystem (APS)	Automotive OEM	GER	Direct
3	Bosch	Bosch Production System (BSP)	Electronics	GER	Direct
4	Elkem	Elkem Business System (EBS)	Silicon based materials	NOR	Direct
5	Fomel ZF	Fomel ZF Production System	Automotive	GER	Direct
6	Haldex	Haldex Way	Automotive	SWE	Direct
7	Herman Miller	Herman Miller Production System (HMPS)	Furniture	USA	Direct
8	Hydro Aluminium	Aluminium Metal Production System (AMPS)	Aluminium	NOR	Direct
9	John Deere	John Deere Quality and Production System	Heavy vehicle	USA	Direct
10	Novo Nordisk	eLean	Chemical	DEN	Direct
11	REC	REC Production System (RPS)	Solar energy	NOR	Direct
12	Scania	Scania Produktionssystem (SPS)	Heavy vehicle	SWE	Direct
13	Valeo	Valeo Production System (VPS) (part of 5 axes)	Automotive	FRA	Direct
14	Volvo	Volvo Production System (VPS)	Heavy vehicle	SWE	Direct
15	ZF Lemförder	Lemförder Production System (LPS)	Automotive	GER	Direct
16	Almatis	The Almatis Business System (ABS)	Aluminium	GER	(Almatis, 2011)
17	Boeing	Boeing Production System (BPS)	Aerospace	USA	(Boeing, 2008)
18	Caterpillar	Caterpillar Production System (CPS)	Heavy vehicle	USA	(Caterpillar, 2011)
19	Deutsche Edelstahlwerke	Deutsche Edelstahlwerke Produktionssystem (DPS)	Steel	GER	(Deutsche Edelstahlwerke, 2011)
20	Ecco	Ecco Production System (EPS)	Shoes	DEN	(Ecco, 2009)
21	Electrolux	Electrolux Manufacturing System (EMS)	White goods	SWE	(Electrolux, 2009)
22	Gestamp Griwe	Griwe Production System (GPS)	Automotive	GER	(Gestamp Griwe, 2011)
23	Heidelberg	Heidelberg Produktionssystem (HPS)	Machines	GER	(Heidelberg, 2008)
24	JCB	JCB Production System	Heavy vehicle	UK	(JCB, 2008)
25	Knorr Bremse	Knorr-Bremse Production System (KPS)	Automotive	GER	(Knorr-Bremse, 2007)
26	LEGO	Lego Production System (LPS)	Toys	DEN	(LEGO, 2010)
27	Mercedes	Mercedes Production System (MPS)	Automotive OEM	GER	(Clarke, 2005)
28	Trumpf	SYNCHRO	Machines and medical eq.	GER	(TRUMPF, 2011)
29	Viessmann	Viessmann Produktionssystem (ViPS)	Electrical equipment	GER	(Viessmann, 2011)
30	Whirlpool	Whirlpool Production System (WPS)	White goods	USA	(Whirlpool, 2009)

Strateški programi unaprijeđenja se zasnivaju na pristupima kao što su standardizirani rad, *kaizen*, programi unaprijeđenja kvalitete, sustavi povlačenja, usmjerenost prema tokovima, mapiranje toka vrijednosti, uključenost zaposlenika, vizualizacija, stabilnost i robusnost, upravljanje radnim mjestom, upravo na vrijeme, *jidoka*, *heijunka*, mjerenje performansi, *Genchi genbutsu*, *SMED* metoda, upravljanje zalihama, taktno vrijeme, usmjerenost na kupca i planiranje korištenja resursa. Multinacionalne kompanije razvijaju sustave odabirom pristupa iz palete dokazanih *lean* principa, koji najviše odgovaraju njihovim potrebama, da bi postale otpornije na promjenjive uvjete u kojima posluju. Tablica 2.2. prikazuje deset najvažnijih *lean* principa koji su najzastupljeniji među ispitanim tvrtkama.

Tablica 2.2. Dvanaest *lean* principa koji su najzastupljeniji među ispitanim tvrtkama [Netland, 2013]



Deset najvažnijih *lean* principa su zastupljeni u 50-93% *XPS-ova*. *Lean* principi ili jako utječu ili čine osnovu većine *XPS-a*. Prema Netlandu većina poduzeća eksplicitno tvrdi da je *TPS* i *lean* razmišljanje jako utjecalo na njihov razvoj *XPS-a*. Međutim, ako se generički model mora napraviti, poput modela *TPS house*, može se identificirati nekoliko glavnih načela. Prema Netlandovom istraživanju *generic house* odnosno generički model *XPS* za poduzeće *X* bi trebao izgledati kao model prikazan na Slici 2.32.



Slika 2.32. XPS – proizvodni sustav za poduzeće X [Netland, 2013]

Slijedeći korak bio je napraviti analizu primjene *lean* alata, sličnih Netlandu. Referentni okvir, prikazan Tablicom 2.3., je napravljen kao sažetak 34 principa Ohnovog *Toyota production system: beyond large-scale production* [Ohno, 1988], principa Womacka i Jonesa navedenih u *Lean Thinking* [Womack, Jones, 1996], principa iz *Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance* autora Shah i Ward [Shah, Ward, 2003], te iz Likerove knjige *The Toyota Way* [Liker, 2004]. Referentni okvir je proširen s načelima koja je Kovačec prikupio tijekom rada na doktorskoj disertaciji.

Kovačec je u svojoj analizi koristio tri koraka Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) kako bi rangirao zelene i *lean* alate, kako je prikazano u Tablici 2.4. Analiza je pokazala da je najvažniji alat hrvatskim poduzećima *Just-In-Time*, nakon čega slijede *kaizen*, *Flow orientation*, Standardizirani rad i ostali. Važno je imati na umu da je većina hrvatskih proizvodnih poduzeća u donjem dijelu opskrbnog lanca, tj. oni koji su izvorni proizvođači opreme umjesto proizvođača konačnih proizvoda. Zato je samo načelo *Just-in-Time* najvažniji za njih, jer ih obično uvjetuju poduzeća s vrha opskrbnog lanca kako bi isporučivali upravo na vrijeme.

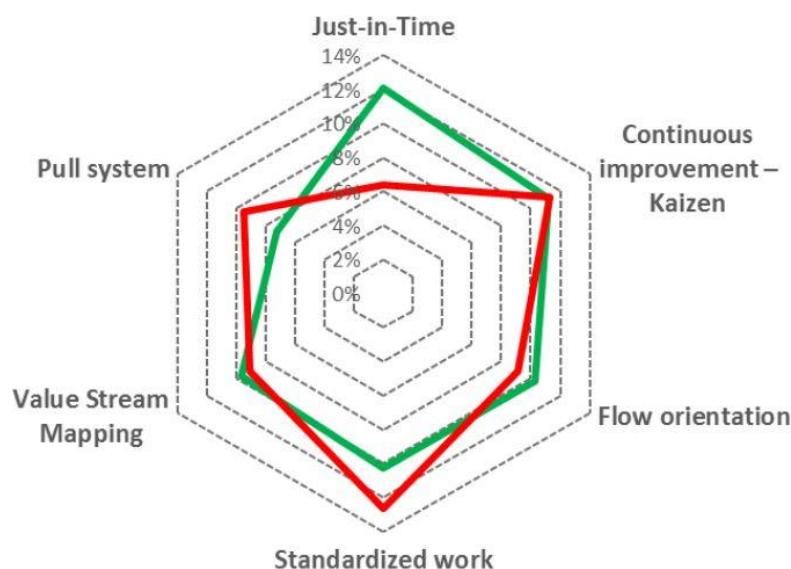
Tablica 2.3. Referentni okvir za XPS temeljen na TPS i literaturi na području *leana*

<i>TPS /lean principi</i>	<i>Ohno</i>	<i>Womack & Jones</i>	<i>Shah & Warg</i>	<i>Liker</i>	<i>Kovačec</i>
<i>Jidoka / automatizacija</i>	X			X	X
Mapiranje toka vrijednosti (<i>VSM</i>)	X	X		X	X
Mjerenje poslovnih značajki (<i>KPI</i>)	X		X		
Orijentacija na tok	X	X	X		X
Kontinuirano poboljšanje / <i>kaizen</i>	X	X	X	X	X
Upravo na vrijeme (<i>JIT</i>)	X		X	X	X
Cjelovito upravljanje kvalitetom (<i>TQM</i>)	X		X	X	
Rukovođenje / <i>Genchi genbutsu</i>	X			X	
Cjeloživotno obrazovanje	X		X	X	
Uključivanje zaposlenika	X			X	
Timski rad	X		X	X	
Fleksibilnost	X				
<i>Heijunka / balansiranje kapaciteta</i>	X		X	X	
<i>Profit-making industrial engineering</i>	X				
Nova i učinkovita tehnologija	X		X		
Vizualizacija	X			X	
Komunikacija	X				
Brza izmjena alata (<i>SMED</i>)	X		X	X	X
Smanjenje veličine serije	X		X		
Standardizirani rad	X			X	X
Upravljanje zalihama	X				
Taktno vrijeme	X			X	X
Cjelokupno produktivno održavanje (<i>TPM</i>)	X		X		X
Sustav povlačenja		X	X	X	X
Fokus na kupca		X			
<i>Benchmarking</i>			X		
<i>Focused factory production</i>			X		
Planiranje narudžbi i materijala			X		
Zdravlje, sigurnost i okolina (<i>HSE</i>)			X		
<i>Lean</i> dobavljački lanac				X	
Stabilnost i robusnost				X	
Vizija, kultura i vrijednosti				X	
Upravljanje radnim mjestom					X
<i>Poka Yoke</i>					X

Tablica 2.4. Rangiranje značaja *lean* i zelenih alata prema analizi 176 hrvatskih industrijskih poduzeća [Kovačec, 2015]

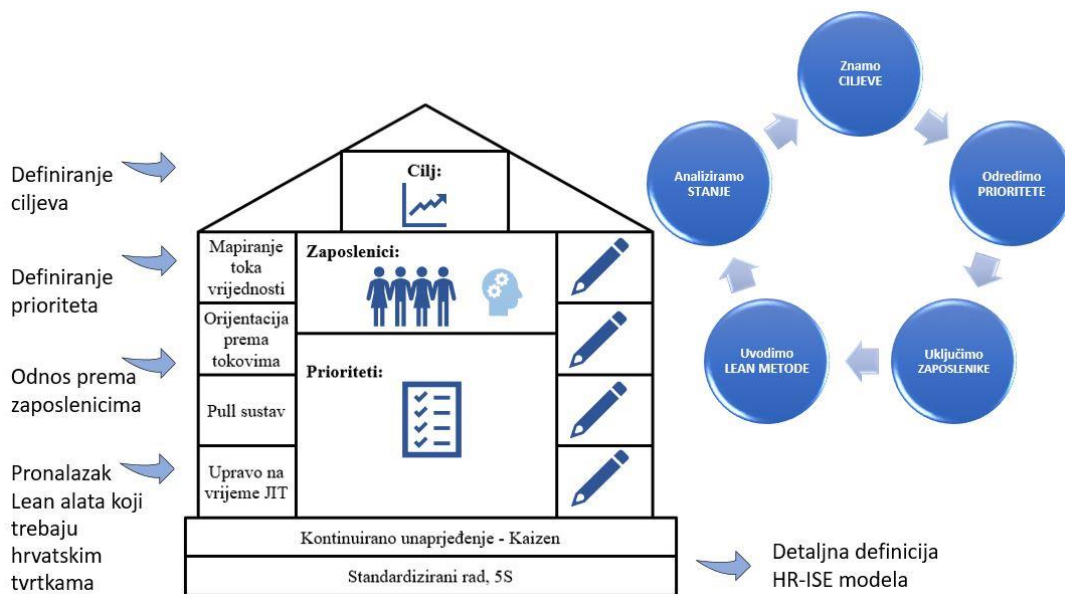
Redoslijed	Princip	Značaj %
1	Upravo na vrijeme, <i>Just-in-Time</i>	12,07%
2	Kontinuirano poboljšanje – <i>kaizen</i>	11,17%
3	Orijentacija na tok	10,26%
4	Standardizirani rad	10,23%
5	Mapiranje toka vrijednosti - <i>Value Stream Mapping</i>	9,68%
6	Cjelokupno produktivno održavanje (<i>TPM</i>)	9,11%
7	Sustav povlačenja - <i>Pull system</i>	7,28%
8	Upravljanje radnim mjestom - <i>Workplace management</i>	7,27%
9	<i>Jidoka</i>	6,28%
10	<i>Poka Yoke</i>	5,81%
11	Taktno vrijeme	5,50%
12	Brza izmjena alata - <i>Quick change-over SMED</i>	5,34%

Usporedba važnosti odabranih *lean* alata za hrvatska i globalna poduzeća prikazana je na Slici 2.33. Za globalna poduzeća pojavljivanje nekog alata je pretvoreno u ocjenu važnosti. Na Slici 2.33., jedina značajna razlika je važnost *Just-in-Time* načela, koja je dva puta važnija za hrvatska poduzeća (označeno zelenom bojom) od globalnih poduzeća. Upravo zbog gore spomenutog razloga hrvatska proizvodna poduzeća nalaze se u donjem dijelu opskrbnog lanca odnosno oni su izvorni proizvođači opreme umjesto proizvođača konačnih proizvoda. To je razlog zašto je *Just-in-Time* princip vrlo važan za njih.



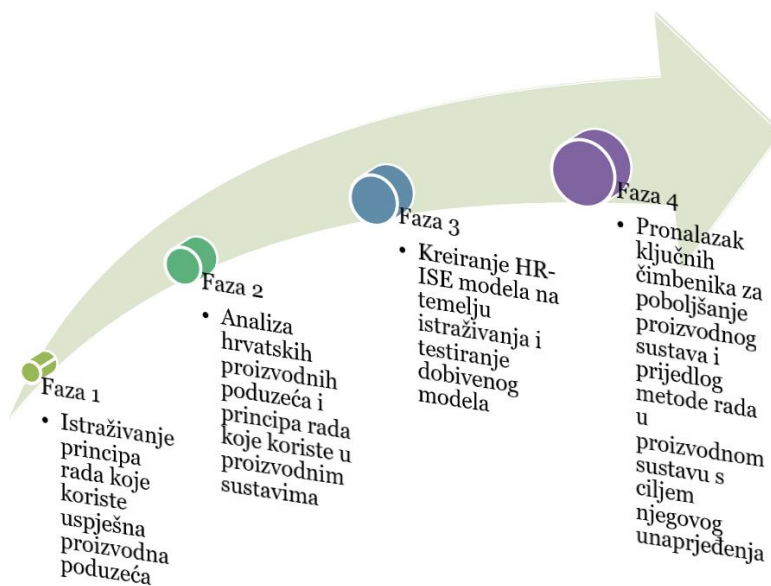
Slika 2.33. Usporedba važnosti odabranih *lean* alata za hrvatska i globalna poduzeća [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016]

Nakon definiranog generičkog modela za hrvatska proizvodna poduzeća, prikazanog na Slici 2.34., provedena su istraživanja kako bi se model u potpunosti definirao. Istraživanje je provedeno kroz nekoliko faza, Slika 2.35.



Slika 2.34. Generički model HR-ISE kuće s osnovnim lean alatima definiran kroz istraživanja literature i koraci za detaljnu definiciju modela

Prva faza je istraživanje principa koje koriste uspješna proizvodna poduzeća, zatim analiza principa koje koriste hrvatska proizvodna poduzeća i kreiranje HR-ISE modela.



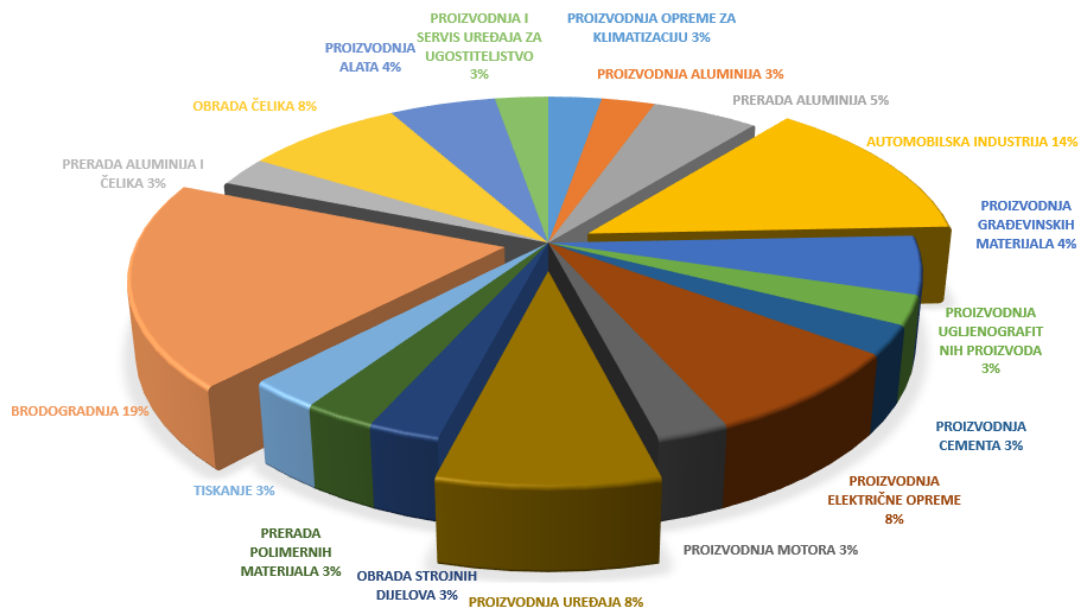
Slika 2.35. Faze istraživanja za kreiranje HR-ISE modela

Za realizaciju istraživanja, anketa je poslana tvrtkama i provedena je analiza prikupljenih odgovora poduzeća. Anketa je poslana na brojne adrese proizvodnih poduzeća diljem Hrvatske i Bosne i Hercegovine, a dobiveno je 37 odgovora. Odgovori su pristigli iz različitih regija, što prikazuje Slika 2.36.



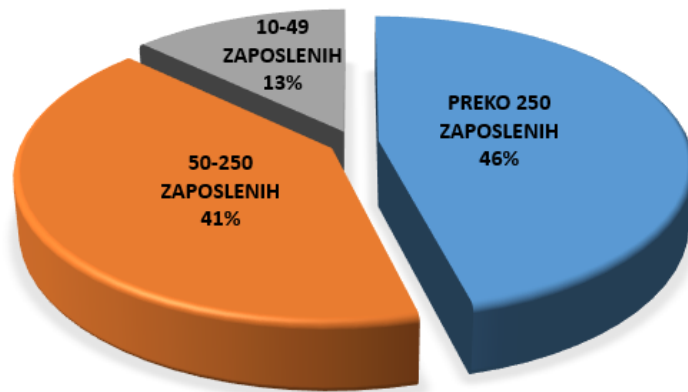
Slika 2.36. Istraživanjem je obuhvaćeno 37 hrvatskih poduzeća

Poduzeća koja su odgovorila na pitanja se bave različitim djelatnostima, što prikazuje Slika 2.37. najviše poduzeća potječe iz brodogradnje i automobilske industrije.



Slika 2.37. Različite djelatnosti poduzeća obuhvaćenih istraživanjem

Slika 2.38. prikazuje broj zaposlenih unutar tvrtki koje su obuhvaćene istraživanjem, 46% ispitanih poduzeća ima preko 250 zaposlenih, 41% ima od 50 do 250 zaposlenih, dok 13% ima od 10 do 49 zaposlenih.



Slika 2.38. Broj zaposlenih u poduzećima obuhvaćenim istraživanjem

Anketa koja je poslana proizvodnim poduzećima u Hrvatskoj sadržavala je generički model, prikazan na Slici 2.34. i 22 pitanja. Pitanja i rezultati su prikazani u Tablici 2.5.

Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA																						
<p>Kako Vi vidite predloženi HR-ISE model (molimo Vas opišite osobnim riječima)?</p>	<p>Ispitane tvrtke smatraju da je predloženi model HR-ISE realan i dobar, te da bi odgovarao većini kao polazište za daljnji napredak. Temelji su na standardiziranom radu i kontinuiranom unaprijeđenju. HR-ISE model jako dobro pokriva sve što trenutno u hrvatskim tvrtkama nedostaje. Tvrtke također smatraju da im HR-ISE model može pomoći kod definiranja njihovih strateških usmjerenja. Navedeni model predstavlja platformu na koju će tvrtka nadograditi ostatak, s obzirom na svoje specifičnosti. Kao najvažnije područje u modelu, smatraju obrazovanje zaposlenika, jer trenutno većina zaposlenih ne zna što je <i>lean</i>, a pogotovo kako koristiti <i>lean</i> alate. Važno im je da model pomogne u usmjeravanju tvrtke prema unaprijeđenju, gdje tvrtka neće rasipati novac zbog vlastitog neznanja, već će ga potrošiti na ono što joj može donijeti unaprijeđenje. Unaprijeđenje mora imati svoj smisleni redoslijed u svakom dijelu tj. procesu koji se odvija unutar tvrtke, što ovaj model preporuča.</p>																						
<p>Što ne pokriva HR-ISE?</p>	<p>HR-ISE model ne pokriva utjecaj vanjske okoline. Potrebno je kroz navedeni model razmišljati o rizicima i fleksibilnosti te staviti orijentaciju prema kupcu kao najvažniji dio svakog modela. Možda nedostaje u modelu dio koji se odnosi na <i>učenje od boljih</i>.</p>																						
<p>Jeste li ranije imali nešto slično HR-ISE?</p>	<p>Nikada prije većina ispitanih tvrtki nije imala ništa slično HR-ISE modelu na razini tvornice, ali 15% ispitanih uvodi <i>lean</i> alat već nekoliko godina, dok samo jedan ispitanik ima definiran svoj model za koji se može reći da je sličan HR-ISE modelu.</p>																						
<p>Koji su osnovni ciljevi Vašeg poduzeća?</p>	<div data-bbox="528 1290 1193 1906" data-label="Figure"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ciljev</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZADOVOLJSTVO KUPCA</td> <td>85%</td> </tr> <tr> <td>KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>UNAPRJEĐENJE KVALITETE</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>SMANJENJE TROŠKOVA</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>ORIJENTACIJA GLOBALNOM TRŽIŠTU</td> <td>65%</td> </tr> <tr> <td>RAST UDJELA NA TRŽIŠTU</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td>RAZVOJ NOVIH PROIZVODA</td> <td>45%</td> </tr> <tr> <td>ZADRŽAVANJE UDJELA NA TRŽIŠTU</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>ORIJENTACIJA REGIONALNOM TRŽIŠTU</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>OPERATIVNA IZVRSNOST</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>Uz navedeni poredak jedan od spomenutih ciljeva je i skraćenje ciklusa proizvodnje te rokova isporuke, postizanje najboljeg omjera cijene i kvalitete. Modernizacija pogona u smislu novih razmještaja i organizacije.</p>	Ciljev	Postotak	ZADOVOLJSTVO KUPCA	85%	KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE	80%	UNAPRJEĐENJE KVALITETE	75%	SMANJENJE TROŠKOVA	70%	ORIJENTACIJA GLOBALNOM TRŽIŠTU	65%	RAST UDJELA NA TRŽIŠTU	55%	RAZVOJ NOVIH PROIZVODA	45%	ZADRŽAVANJE UDJELA NA TRŽIŠTU	35%	ORIJENTACIJA REGIONALNOM TRŽIŠTU	15%	OPERATIVNA IZVRSNOST	10%
Ciljev	Postotak																						
ZADOVOLJSTVO KUPCA	85%																						
KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE	80%																						
UNAPRJEĐENJE KVALITETE	75%																						
SMANJENJE TROŠKOVA	70%																						
ORIJENTACIJA GLOBALNOM TRŽIŠTU	65%																						
RAST UDJELA NA TRŽIŠTU	55%																						
RAZVOJ NOVIH PROIZVODA	45%																						
ZADRŽAVANJE UDJELA NA TRŽIŠTU	35%																						
ORIJENTACIJA REGIONALNOM TRŽIŠTU	15%																						
OPERATIVNA IZVRSNOST	10%																						

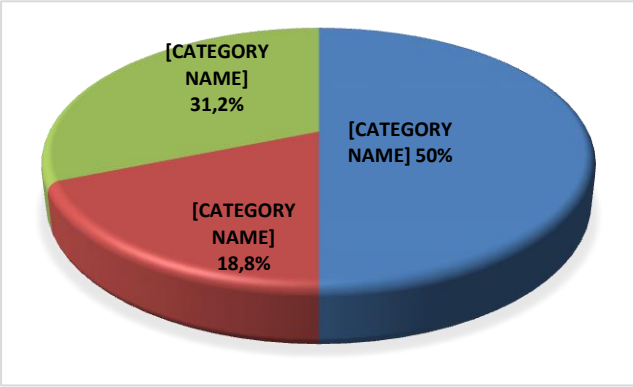
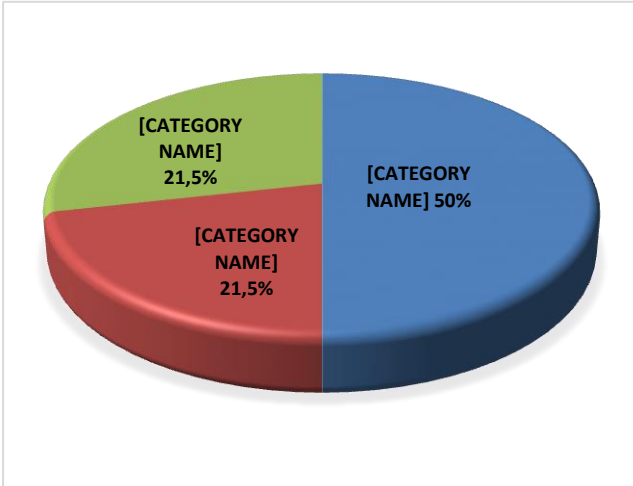
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA																						
<p>Koji su zahtjevi na osoblje poduzeća (kvalifikacija, motivacija, inovativnost, cjeloživotno obrazovanje i dr.)?</p>	<div data-bbox="695 353 1310 1032" style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Forhtenje</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>MOTIVACIJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>KVALIFIKACIJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>NOVE KOMPETENCIJE</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>EDUKACIJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>KOMUNIKATIVNOST</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>INOVATIVNOST</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>ODGOVORNOST</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>TIMSKI RAD</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>INDIVIDUALNI RAD</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>OBUKA VODITELJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>Poseban naglasak na <i>leadership</i> treningu. Poseban problem sa otporom zaposlenika uvođenju nečeg što je novo.</p>	Forhtenje	Postotak	MOTIVACIJA	[VALUE]%	KVALIFIKACIJA	[VALUE]%	NOVE KOMPETENCIJE	[VALUE]%	EDUKACIJA	[VALUE]%	KOMUNIKATIVNOST	[VALUE]%	INOVATIVNOST	[VALUE]%	ODGOVORNOST	[VALUE]%	TIMSKI RAD	[VALUE]%	INDIVIDUALNI RAD	[VALUE]%	OBUKA VODITELJA	[VALUE]%
Forhtenje	Postotak																						
MOTIVACIJA	[VALUE]%																						
KVALIFIKACIJA	[VALUE]%																						
NOVE KOMPETENCIJE	[VALUE]%																						
EDUKACIJA	[VALUE]%																						
KOMUNIKATIVNOST	[VALUE]%																						
INOVATIVNOST	[VALUE]%																						
ODGOVORNOST	[VALUE]%																						
TIMSKI RAD	[VALUE]%																						
INDIVIDUALNI RAD	[VALUE]%																						
OBUKA VODITELJA	[VALUE]%																						
<p>Koja bi područja bila važna u programu obrazovanja?</p>	<p>Kroz obrazovanje zaposlenika važno je paziti na strategiju tvrtke prema tome usmjeriti obrazovanje, ali pritom paziti na zadovoljstvo zaposlenika. Dio obrazovanja obavezno posvetiti upravljačkim vještinama, te kroz obrazovanje se kretati prema Industriji 4.0. Dio obrazovanja treba posvetiti znanjima o novim tehnologijama i radu s novim softverima. Tražiti industrije koje su već uspješne u provođenju <i>lean</i> metoda i ponešto naučiti od njih.</p>																						
<p>Koji su osnovni prioriteti Vašeg poduzeća?</p>	<div data-bbox="608 1440 1187 2011" style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Prioretit</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>EDUKACIJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>NOVE TEHNOLOGIJE</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>NOVI PROIZVODI</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH TEHNOLOGIJA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH PROIZVODA</td><td>[VALUE]%</td></tr> <tr><td>NOVA TRŽIŠTA</td><td>[VALUE]%</td></tr> </tbody> </table> </div>	Prioretit	Postotak	EDUKACIJA	[VALUE]%	NOVE TEHNOLOGIJE	[VALUE]%	NOVI PROIZVODI	[VALUE]%	UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH TEHNOLOGIJA	[VALUE]%	UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH PROIZVODA	[VALUE]%	NOVA TRŽIŠTA	[VALUE]%								
Prioretit	Postotak																						
EDUKACIJA	[VALUE]%																						
NOVE TEHNOLOGIJE	[VALUE]%																						
NOVI PROIZVODI	[VALUE]%																						
UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH TEHNOLOGIJA	[VALUE]%																						
UNAPRJEĐENJE POSTOJEĆIH PROIZVODA	[VALUE]%																						
NOVA TRŽIŠTA	[VALUE]%																						

Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA
Kakva je po Vašem mišljenju organizacijska struktura HR-ISE?	Organizacijska struktura je dobro i detaljno određena, postavljeni ciljevi i zadaće pomoću kojih će se ostvariti zadani ciljevi. Organizacijska struktura je kvalitetna i pokretačka. Osigurava jasnu vidljivost ciljeva i zadaća kroz <i>lean</i> metode su jasno posložene zadaće. Osigurana je komunikacija i umreženost unutar tvrtke, orijentacija prema zaposlenima, što predstavlja bitan dio za napredak. Ova organizacijska struktura još treba osigurati optimalan odnos svakog svog elementa, što je ostvarivo u praksi. U Hrvatskoj je potrebno mnogo uloženo vremena u implementaciju zbog osoblja, koje nerijetko odbija promjene. Možda bi bilo dodatno korisno model još prilagoditi veličini poduzeća, tehnologiji s kojom raspolaže i strukturi proizvoda koje proizvodi.
Koja je uloga obrazovanja osoblja za uvođenje HR-ISE?	Uloga obrazovanja je da svi zaposlenici shvate problematiku i pripreme se za uvođenje. Potrebno je prije svega dobro upoznati upravu poduzeća s modelom jer od tu kreće implementacija, zatim obučiti one zaposlenike koji će biti nositelji implementacije. Oni moraju vidjeti sve prednosti koje će im promjene donijeti, kako bi bili sposobni obučiti ostale i motivirati ih. Samo obrazovani kadar, koji je usredotočen na implementaciju, je može uspješno provesti. Obrazovanje trenutno nije na zavidnoj razini, jer se zanemaruje s obzirom da učenje predstavlja proces, koji zahtijeva određeno vrijeme. Nedostatak obrazovanja je kočnica.
Što je značajno za učinkovitu implementaciju HR-ISE?	Najznačajnije je obrazovanje zaposlenika, posebno onih koji će biti nositelji implementacije, zatim komunikacija po vertikali i horizontali, kontinuirani timski rad i učinkovita kontrola aktivnosti implementacije. Značajno je i mijenjanje načina razmišljanja zaposlenika. Potrebno je vršiti implementaciju, ali i evaluaciju napretka od strane neovisnih stručnjaka.
Na koji bi se način izvršila prilagodba HR-ISE unutar pojedinog poduzeća?	Potrebno je imati plan implementacije, kojem prethodi utvrđivanje postojećeg stanja, te definiranje metoda za utvrđeno trenutno stanje. Definirani plan implementacije koji uključuje jasno metode implementacije mora biti proglašen strateškim projektom prilagodbe. Napraviti selekciju vođa timova i zaposlenika koji će biti dio timova. Izabranima mora biti detaljno objašnjen plan implementacije.
Koji su osnovni procesi u Vašem poduzeću?	Procesi ispitanih tvrtki su većinom slični, a radi se o procesima prodaje, konstrukcijskog odjela, odjela tehnologija, nabave, pripreme proizvodnje i proizvodnje, kontrole kvalitete, vanjske montaže, te financija i računovodstva.

Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA								
Jeste li mapirali procese?	 <table border="1"> <caption>Data for 'Jeste li mapirali procese?'</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>31,2%</td> </tr> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>18,8%</td> </tr> </tbody> </table>	Category	Percentage	[CATEGORY NAME]	50%	[CATEGORY NAME]	31,2%	[CATEGORY NAME]	18,8%
Category	Percentage								
[CATEGORY NAME]	50%								
[CATEGORY NAME]	31,2%								
[CATEGORY NAME]	18,8%								
Mjerite li KPI (eng. Key Performance Indicator - Ključni indikator uspješnosti)?	 <table border="1"> <caption>Data for 'Mjerite li KPI (eng. Key Performance Indicator - Ključni indikator uspješnosti)?'</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>21,5%</td> </tr> <tr> <td>[CATEGORY NAME]</td> <td>21,5%</td> </tr> </tbody> </table>	Category	Percentage	[CATEGORY NAME]	50%	[CATEGORY NAME]	21,5%	[CATEGORY NAME]	21,5%
Category	Percentage								
[CATEGORY NAME]	50%								
[CATEGORY NAME]	21,5%								
[CATEGORY NAME]	21,5%								
Kako bi se mogla povećati konkurentnost vašeg poduzeća?	<p>Konkurentnost poduzeća se može povećati približavanjem Industrij 4.0, kroz stalnu edukaciju zaposlenih, uvođenjem <i>lean</i> alata (o čemu svjedoče brojni primjeri u svijetu), te <i>Triple-helix</i> modelom. <i>Lean</i> alati pomažu kod smanjenja troškova, poboljšanja kvalitete, što vodi do povećanja konkurentnosti. Konstantnom analizom trenutnih procesa i proizvoda može se urediti cijeli proces, korak po korak, što je ključ unaprjeđenja.</p>								
Podržava li vaše poduzeće inovacije i na koji način?	<p>Ispitana poduzeća većinom podržavaju inovacije i to uključivanjem zaposlenika u rješavanje određenih problema i poticanjem na pronalazak novih i boljih rješenja. Također poduzeća šalju zaposlenike na sajmove, seminare, kako bi pratili najnovije trendove te daju novčane nagrade za inovacije.</p>								
U kojem opsegu ostvarujete svoje ciljeve?	<p>Većinom poduzeća ostvaruju ciljeve koje su postavili, ali ono što nije ostvareno se preispituje, kako bi se utvrdio problem.</p>								

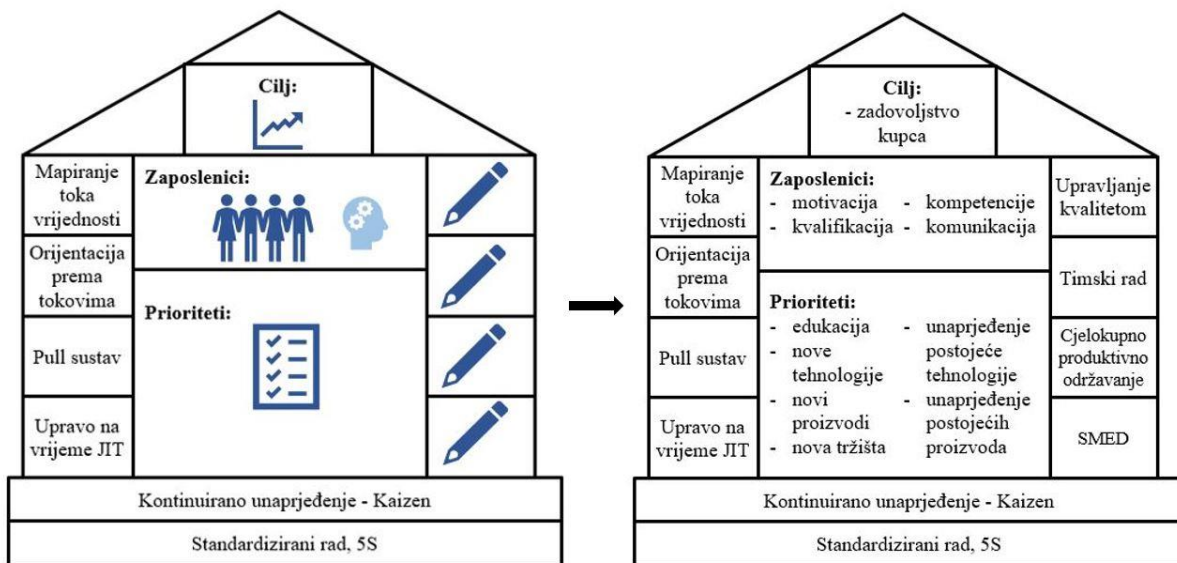
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA
Kako bi se HR-ISE mogao povezati s razvojem proizvodne strategije na razini tvornice?	Proizvodna strategija je temelj svakog poduzeća. HR-ISE kroz svoj model već postaje dio proizvodne strategije, ovisno o tome koliko poduzeće koristi <i>lean</i> metoda. HR-ISE se nadovezuje sa svojim metodama na metode koje se već koriste unutar tvrtke i nadopunjuje se postojeća strategija modelom. S obzirom da je cilj smanjivati troškove, HR-ISE model može samo dodatno poboljšati proizvodnu strategiju.
Na koji način su HR-ISE i <i>lean</i> proizvodnja slični, a u kojem pogledu različiti?	<i>Lean</i> proizvodnja je temelj HR-ISE modela. HR-ISE predlaže nekoliko ključnih alata koji su odabrani temeljem analize trenutnog stanja hrvatske industrije.
Mislite li da bi HR-ISE trebalo primarno promatrati kao priču ili kao djelovanje, ili pronaći strategijski balans?	Potrebno je pronaći strategijski balans, kako bi se model prihvatio kao standardni dio poslovanja. Priča je potrebna da bi se zaposlenici upoznali s metodama i alatima, ali djelovanje je primarno. Potrebno je učiti od drugih koji već uvode i imaju konkretne primjere i aktivnosti, te proširiti stečena znanja na ostale zaposlenike.

Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA
<p>Koje bi po Vašem mišljenju alate i metode <i>leana</i> trebalo postaviti u HR-ISE model?</p>	

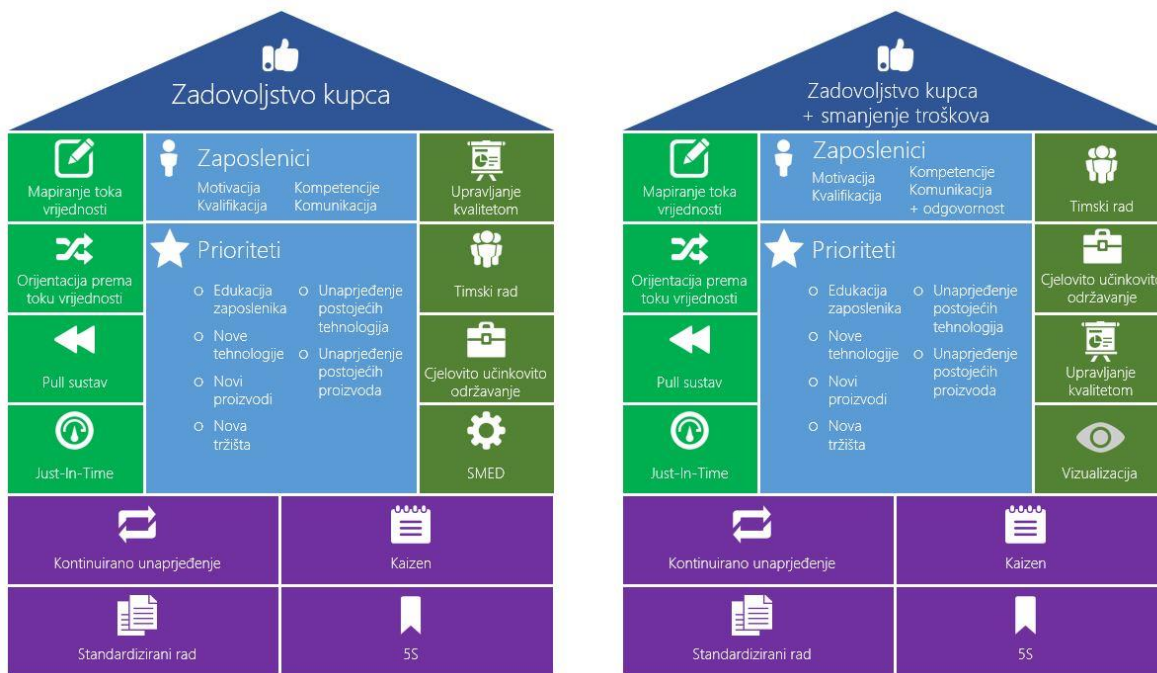
Nakon provedene analize, dobiven je HR-ISE model, prikazan na Slici 2.39.



Slika 2.39. HR-ISE model

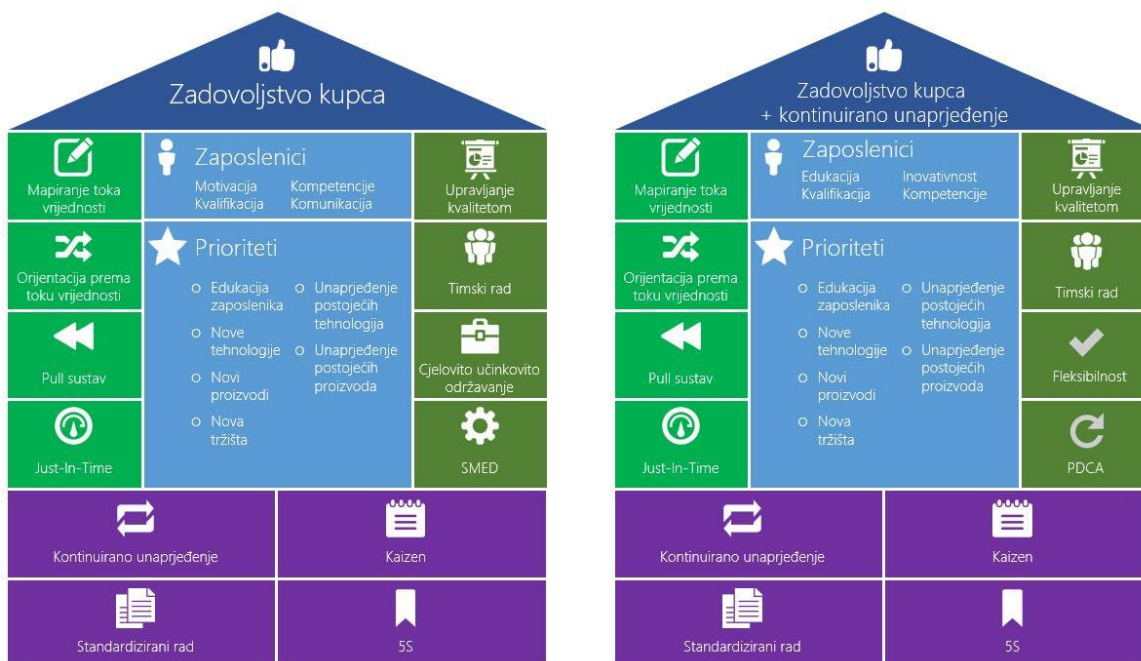
Definirani HR-ISE model sadrži najvažniji cilj, važne pravce za zaposlenike, prioritete te dodatne *lean* metode u odnosu na generički model. S obzirom da 46% ispitanih poduzeća ima preko 250 zaposlenih, 41% ima od 50 do 250 zaposlenih, a 13% ima od 10 do 49 zaposlenih, modeli su razmotreni i ovisno o veličini poduzeća.

Najveći udio ispitanih poduzeća nose velika poduzeća, pa se HR-ISE model za veliko poduzeće ne razlikuje značajno od prethodno dobivenog HR-ISE modela (Slika 2.40.). Za velika poduzeća se razlikuje u ciljevima, gdje je velikim poduzećima vrlo važno smanjenje troškova, ali odmah slijedi i zadovoljstvo kupca. Kod zaposlenika se ističe odgovornost kao jedan od glavnih zahtjeva, što upućuje na podjelu upravljanja, gdje je prijeko potrebna odgovornost. *Lean* metode su vrlo slične kao kod HR-ISE modela, njihov poredak se nešto razlikuje i ističe se vizualizacija prije *SMED* metode. Digitalizacija dovodi do razvoja vizualnog managementa, koji je posebno važan velikim poduzećima radi pravovremenih izmjena informacija, zato se po poretku nalazi ispred *SMED* metode.



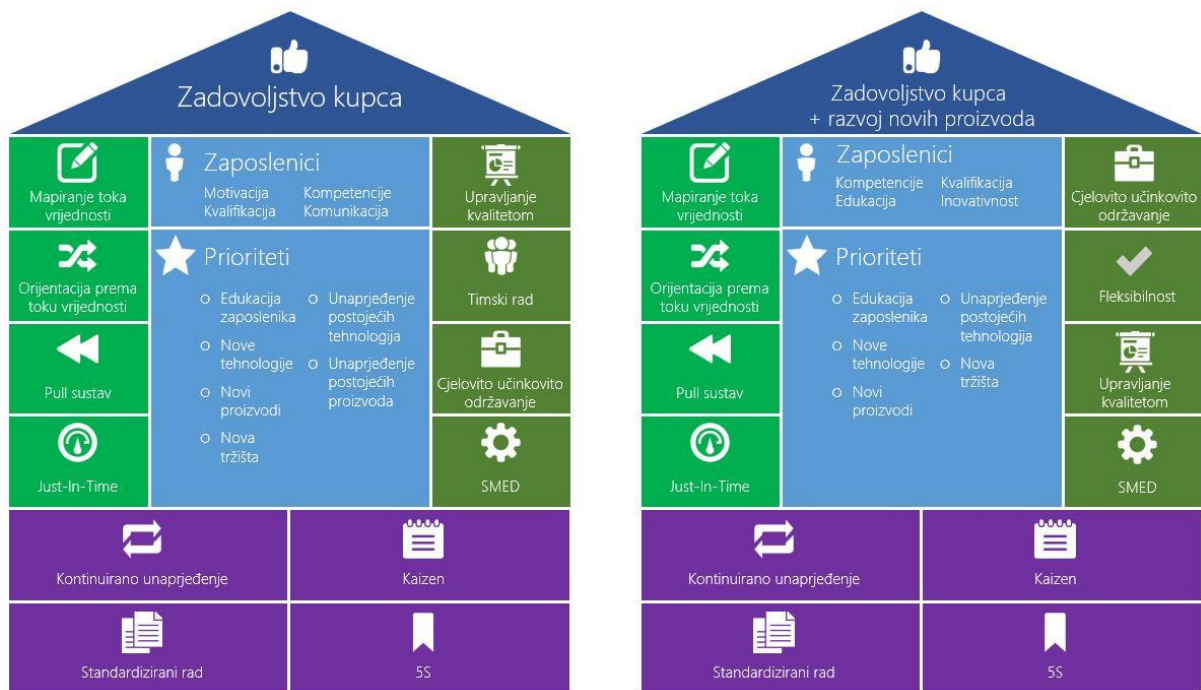
Slika 2.40. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za veliko poduzeće

Kod srednjih poduzeća se kao cilj ističe kontinuirano unaprjeđenje uz zadovoljstvo kupca (Slika 2.41.). Kod zaposlenika je najvažnija edukacija i vrlo visoko na listi se nalazi inovativnost, a zatim nove kompetencije i motivacija. Iako je važna za zaposlenike, edukacija kod srednjih poduzeća dolazi tek na četvrto mjesto prioriteta, dok su ispred nje kao najvažnije osvajanje novih tržišta i uvođenje novih tehnologija i proizvoda. *Lean* metode se razlikuju u posljednje dvije metode, srednja poduzeća ističu fleksibilnost i *PDCA* (*Plan – Do – Check – Act*, Planiranje – Provođenje – Kontroliranje - Poboljšanje) ciklus kao metode koji su im potrebni u modelu.



Slika 2.41. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za srednje poduzeće

Kod malih poduzeća jedan od najvažnijih ciljeva, osim zadovoljstva kupca, je razvoj novih proizvoda (Slika 2.42.). Za zaposlenike se ističu nove kompetencije na prvom mjestu, a slijedi edukacija, te kvalifikacija i inovativnost. Jednak prioritet kod mali poduzeća imaju edukacija, nove tehnologije i novi proizvodi, što je jednako HR-ISE modelu. Kod *lean* metoda poredak se malo razlikuje, ali timski rad je zamijenjen fleksibilnošću koja je važna malim poduzećima.



Slika 2.42. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za malo poduzeće

Ciljevi se većinom nisu mijenjali promjenom veličine poduzeća, zadovoljstvo kupca je najvažnije kod svih. Ipak velika poduzeća ističu smanjenje troškova odmah uz zadovoljstvo kupca, srednja kontinuirano unaprijeđenje, a mala razvoj novih proizvoda. Također pristup zaposlenicima je nešto drugačiji kod velikih poduzeća, gdje se dijeli posao, pa pojedini voditelji, kao i ostali zaposleni, moraju preuzeti veliki dio odgovornosti. Kod srednjih poduzeća se ističu edukacija i inovativnost, a kod malih nove kompetencije. Prioriteti su jednaki, ali se neznatno razlikuju u poretku, pa kod velikih poduzeća prvi prioritet nosi edukacija, kod srednjih nova tržišta, a kod malih edukacija, te nove tehnologije i proizvodi imaju isti prioritet.

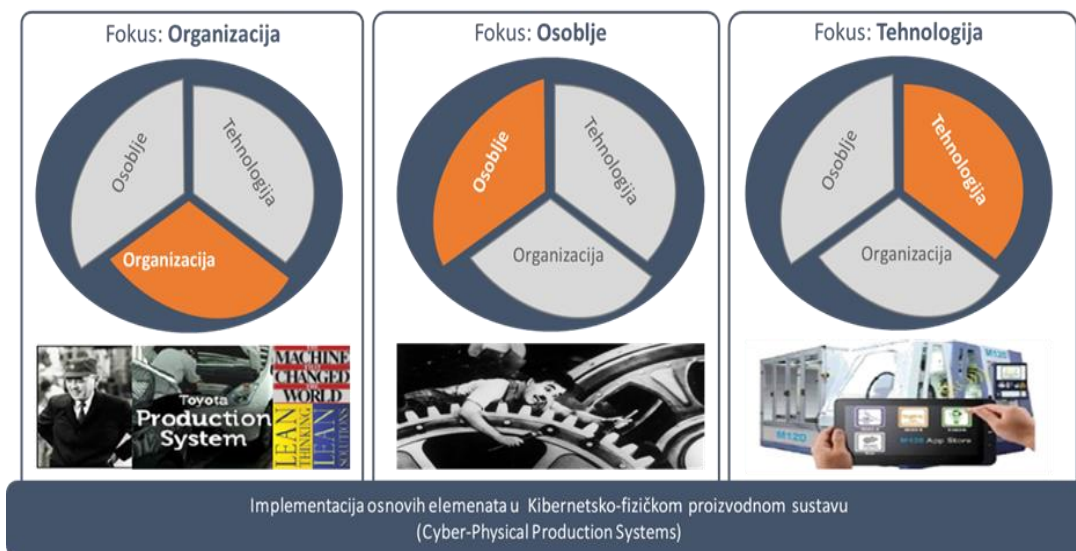
Ako se izvrši prilagodba modela po veličini poduzeća, onda je potrebno obratiti pozornost na *lean* metode koje će se uvoditi. One se vrlo malo razlikuju od metoda HR-ISE modela, ali služe da bi se model više prilagodio veličini poduzeća.

Daljnja istraživanja pokazuju kako razmatrati razinu zrelosti poduzeća kroz tri grupe kriterija osoblje, organizacija i tehnika, Slika 2.43. Odabiru se poduzeća za analizu i primjenjuje se višekriterijska analiza za određivanje industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća.

Samo uvođenje i korištenje novih tehnologija ne znači put prema Industriji 4.0, jer bi to bio vrlo sužen pristup. Napredna tehnologija i zastarjela organizacija ne idu zajedno.

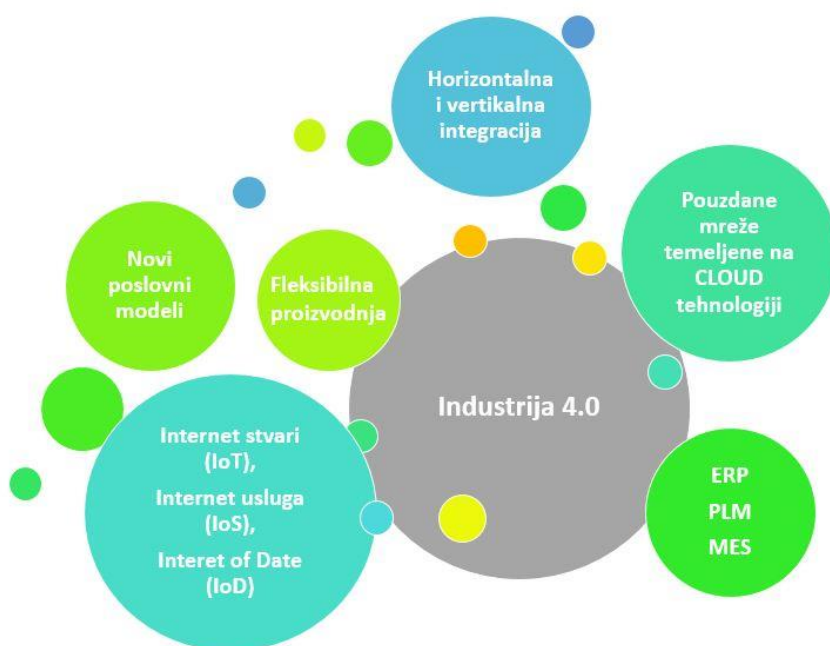
Iske-ov zakon:

Nova tehnologija + stara organizacija = skupa stara organizacija (NT + SO = SSO)



Slika 2.43. Implementacija osnovnih elemenata u Kibernetско-fizičkom proizvodnom sustavu

Koncentracija isključivo na tehniku je siguran put za vrlo skup neuspjeh. Rad na organizaciji proizvodnje i uvođenje *lean* metoda je pretpostavka za kretanja prema Industriji 4.0. Tko nije završio svoj domaći zadatak na temu *lean* i *green* proizvodnja, ne može biti uspješan ni u uvođenju Industrije 4.0. Treba prvo uvesti *lean* principe za realizaciju izvrsnih poslovnih i tehnoloških procesa, te procese podržati s inteligentnom automatizacijom. To znači čovjeka i tehniku inteligentno međusobno povezati što će donijeti osiguranje konkurentске kompetencije i kretanje prema Industriji 4.0, Slika 2.44.



Slika 2.44. Kretanje prema Industriji 4.0

Pristup unaprijeđenija procesa pomoću *lean* alata utemeljenih na konceptu Industrije 4.0 nazvan je *lean* automatizacija [Kolberg, Zühlke, 2015]. Naime, Industrija 4.0 donosi automatizirano prikupljanje podataka unutar procesa i podataka o samom procesu, što apsolutno podrazumijeva da se poduzeće time već bavilo, makar je *ručno* prikupljalo podatke. Procesna analitika Industrije 4.0 omogućava visoku fleksibilnost proizvodnje, odnosno želi učiniti jedno-komadnu proizvodnju gotovo jednako ekonomski isplativu kao da je serijska proizvodnja. U tom smislu Industrija 4.0 se u poduzeće uvodi kao automatizacija pojedinih *lean* alata (Slika 2.45.).

Stoga i HR-ISE model treba gledati kao skup *lean* alata i principa podržanih od informacijskog sustava poduzeća, za koji bi poželjno bilo da je jedinstven, a s kojim su povezane računalne aplikacije za različitu primjenu (Slika 2.46.). Aplikacije mogu biti razvijene kao univerzalne *web* aplikacije ili pak prilagođene različitim operativnim sustavima i uređajima kao što su: *Windows Tablet/PC*, *iOS iPhone/iPad*, ili *Android Tablet/Smartphone*. No, poželjno bi bilo da se sve aplikacije međusobno povezuju s jedinstvenim informacijskim sustavom, odnosno da razmjenjuju podatke u istim bazama podataka. Primjer *web* aplikacije za *kaizen* u kojoj se unose problemi koji se javljaju na razini proizvodnog pogona prikazan je na Slici 2.47. Prednost ove *web* aplikacije je u tome što svaki radnik preko svog pametnog telefona može unijeti opis problema (umjesto da ga ispisuje na *kaizen* ploču) koji se sprema u bazu podataka i time automatski postaje vidljiv svima u poduzeću, što će zasigurno ubrzati njegovo rješavanje. Dakle, za svaki od *lean* alata moguće je i poželjno osmisliti računalnu aplikaciju i njenu integraciju u informacijski sustav poduzeća. Time *lean ručno* prikupljanje podataka postaje automatizirano, odnosno uvedena je *lean* automatizacija.

Industrija 4.0	<i>Lean</i> proizvodnja	
	Princip: <i>Just-in-Time</i>	Princip: Jidoka
	Metoda: <i>Kanban</i> sustav	Metoda: <i>Andon</i>
Pametni operater	Zaposlenik dobiva informacije o preostalom vremenu ciklusa putem proširene stvarnosti	Prijenosni računalni sustavi dobivaju informacije i prikazuju ih u realnom vremenu zaposlenika
Pametni proizvod	Pametni proizvod sadrži informacije <i>kanbana</i> kako bi izvršio proizvodnju orijentiranu prema narudžbi	
Pametni stroj	Strojevi nude standardizirana sučelja za primanje i slanje <i>kanbana</i>	Strojevi šalju informacije o kvarovima izravno operaterima i zovu druge sustave da preuzmu aktivnosti vezane za popravak kvara
Pametno planiranje	<i>IT</i> sustavi konfiguriraju proizvodne linije i ažuriraju nove informacije o <i>kanbanu</i> prema novoj konfiguraciji	

Slika 2.45. Primjer automatizacije *Lean* alata u kontekstu Industrije 4.0 [Kolberg, Zühlke, 2015].



Slika 2.46. HR-ISE model kao skup računalnih aplikacija različite namjene povezanih s jedinstvenim informacijskim sustavom

改善 Kaizen Smart Factory

Montažna linija 'Mijenjačka kutija' Coordinator: Smart Factory

SHOW FILTERS ENABLE FILTERS:

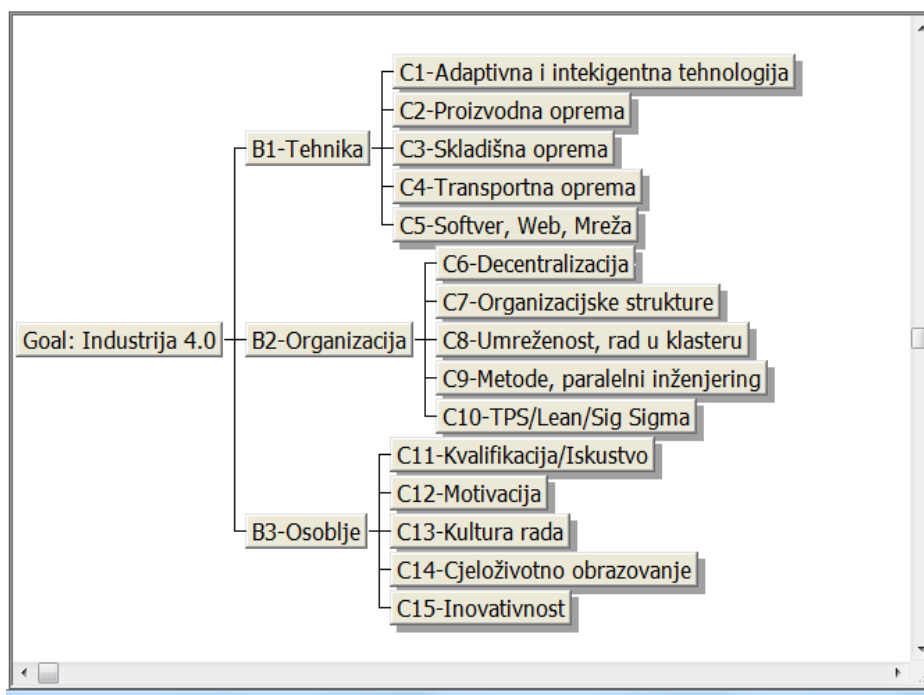
Problem	Step	Creator Name	Term	Priority	Realisation
		Smart Factory			
Problemi s dovodom zraka	Kontaktirani Servisera	Smart Factory	15.06.	Prioritetno	Na čekanju
Nedostaje vijaka M8	Javiti u Nabavu	Smart Factory	07.06.	Prioritetno	Odrađeno

Slika 2.47. Primjer web aplikacije za kaizen kao dio informacijskog sustava poduzeća u kontekstu HR-ISE modela

2.2.3. Primjena višekriterijalne analize za određivanje razine zrelosti hrvatskih poduzeća u smislu približavanja konceptu Industrije 4.0

2.2.3.1. Uvod

Problem procjene industrijskih poduzeća rješavan je modelom koji kombinira dvije metode višekriterijalnog odlučivanja: analitički hijerarhijski proces (*AHP*) i *TOPSIS* metodu. Cilj je naravno procijeniti koja od poduzeća imaju najbolju šansu da se u skoro vrijeme približe, ili čak i dostignu, konceptu Industrije 4.0. Nakon odabira poduzeća koja će se analizirati, odnosno određivanja skupa alternativa za višekriterijalni model, sljedeći korak je izbor kriterija pomoću kojih će se provoditi ta analiza. Za svako poduzeće odlučeno je da se odaberu tri grupe kriterija: tehnika (B1), organizacija (B2) i zaposlenici-osoblje (B3). Svaka od tih grupa kriterija sadrži 5 podkriterija (C1 – C15) i to se može vidjeti na Slici 2.48. koja prikazuje hijerarhijski model odlučivanja.



Slika 2.48. Hijerarhijski prikaz modela odlučivanja

U nastavku je dat kratak prikaz metodologije kojom je rađena procjena industrijske zrelosti razmatranih hrvatskih poduzeća, odnosno prikazat će se u osnovnim crtama dvije korištene metode višekriterijalnog odlučivanja: analitički hijerarhijski proces (*AHP*) i *TOPSIS* metoda.

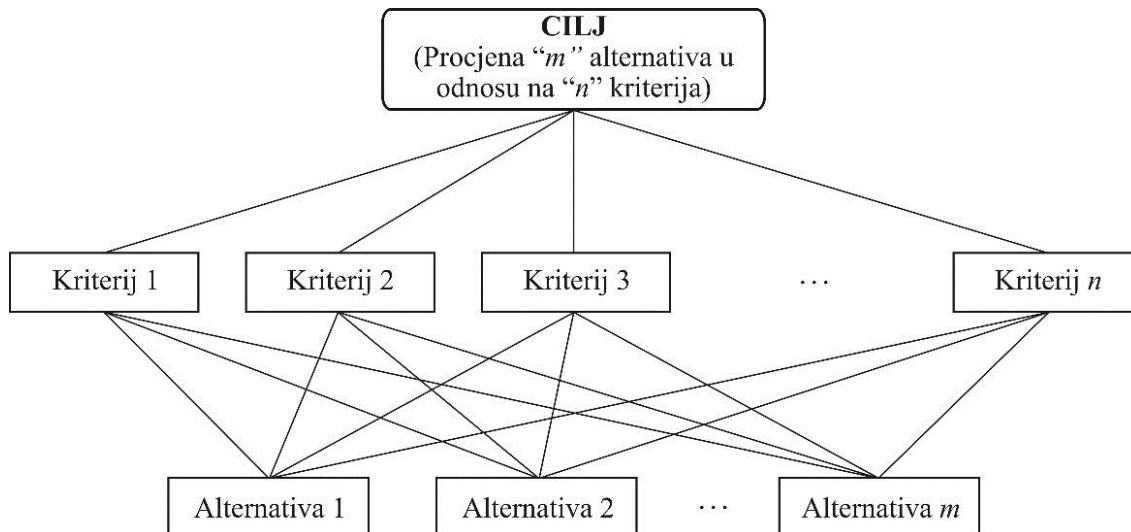
2.2.3.2. Pregled korištenih višekriterijalnih metoda

2.2.3.2.1. Analitički Hijerarhijski Proces (*AHP*)

Analitički hijerarhijski proces ili *AHP* metoda [Saaty, 1980] spada u najpoznatije i posljednjih godina najčešće korištene metode za višekriterijalno (višeatributno) odlučivanje. Njezina popularnost temelji se u prvom redu na činjenici da je vrlo bliska načinu na koji pojedinac intuitivno rješava složene probleme rastavljajući ih na jednostavnije. Drugi važan razlog zbog kojeg je ta metoda tako popularna je kvalitetan softver *Expert Choice*.

Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću ove metode temelji se na njihovom rastavljanju na komponente: cilj, kriterije (podkriterije) i alternative. Ti elementi se potom povezuju u model s više razina (hijerarhijsku strukturu) pri čemu je na vrhu cilj, a na prvoj nižoj razini su glavni kriteriji. Kriteriji se mogu rastaviti na podkriterije, a na najnižoj razini nalaze se alternative (Slika 2.49.).

Druga važna komponenta *AHP* metode je matematički model (metoda svojstvenog vektora) pomoću kojeg se računaju prioritati (težine) elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture.



Slika 2.49. Osnovni AHP model s ciljevima, kriterijima i alternativama

U metodi svojstvenog vektora donosilac odluke mora prosuditi relativne važnosti dvaju kriterija, tj. usporediti po važnosti sve moguće parove kriterija. Broj procjena koje se traže od donosioca odluke jednak je broju kombinacija bez ponavljanja drugog razreda od n elemenata, tj. $\binom{n}{2} = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$, gdje je n broj kriterija.

Ideja na kojoj je razvijena metoda svojstvenog vektora polazi od pretpostavke da je donosiocu odluke lakše procijeniti relativne važnosti za svaki par kriterija, nego odjednom odrediti težine ili rangirati sve kriterije zajedno. Međusobne usporedbe u parovima temelje se na standardnoj evaluacijskoj shemi koja je prikazana kao Saatyeva skala važnosti u Tablici 2.6.

Rezultat međusobnih usporedbi n elemenata može se sumarno prikazati u evaluacijskoj matrici A u kojoj je svaki element a_{ij} kvocijent težina i -tog i j -tog kriterija, odnosno $a_{ij} = w_i/w_j$ gdje su dozvoljene manje greške konzistentnosti prosudbi. Temeljem proračuna svojstvenih vrijednosti matrice međusobnih usporedbi A računaju se i težine svakog od n kriterija koji su bili u danoj razini.

Teškoće koje se javljaju u realnim procesima odlučivanja uzrokovane su nekonzistentnošću procjena relativnih omjera važnosti kriterija, što za posljedicu ima gubitak onih svojstava omjera važnosti zbog kojih je matrica A imala samo jednu svojstvenu vrijednost.

Tablica 2.6. Saatyeva skala važnosti i njen opis [Saaty, 2005]

INTENZITET VAŽNOSTI	DEFINICIJA	OBJAŠNJENJE
1	Jednaka važnost	Dva kriterija pridonose jednako danom cilju
3	Slaba preferencija jednog nad drugim	Iskustvo i prosudbe slabo favoriziraju jedan kriterij nad drugim
5	Bitna ili jaka preferencija	Iskustvo i prosudbe jako favoriziraju jedan kriterij nad drugim
7	Uvjerljiva preferencija	Jedan kriterij je u prednosti nad drugim i njegova dominacija je dokazana u praksi
9	Apsolutna preferencija	Očita prednost najvišeg mogućeg ranga jednog kriterija nad drugim
2,4,6,8	Međuvrijednosti između dviju susjednih procjena	Kada je potreban kompromis

Tada se od svih svojstvenih vrijednosti (kojih će u tom slučaju biti n) odabire najveća, a razlika između najveće svojstvene vrijednosti matrice A i broja n (koji je jedina svojstvena vrijednost u potpuno konzistentnom slučaju) koristi se za mjerenje konzistentnosti procjena danih u matrici A . U tu svrhu računa se vrijednost indeksa konzistencije:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.6)$$

i omjera konzistencije CR :

$$CR = CI / RI, \quad (2.7)$$

gdje je RI slučajni indeks, odnosno indeks konzistencije za matrice reda n slučajno generiranih usporedbi u parovima (koristi se tablica s izračunatim vrijednostima). Pri tome, ako za matricu A vrijedi $CR \leq 0.10$ procjene omjera relativnih važnosti kriterija (prioriteta alternativa) smatraju se prihvatljivima. U suprotnom treba istražiti razloge zbog kojih je inkonzistencija procjena neprihvatljivo visoka.

Sljedeći korak vodi na kombiniranje težina različitih razina hijerarhije s namjerom da se odrede konačni prioriteti svih razmatranih alternativa. Te kombinirane težine su konačne mjere važnosti za svaku alternativu koja je razmatrana u *AHP* evaluacijskom postupku.

Proračuni koje treba napraviti za postupak analitičkog hijerarhijskog procesa su prilično zahtjevni i stoga je potrebno koristiti posebne softverske pakete za proračune tih težina. U ovom radu korišten je softver *Expert Choice*.

2.2.3.2.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

TOPSIS metoda temelji se na konceptu da je najbolja alternativa ona koja ima najmanju udaljenost od idealne alternative (idealnog rješenja) i najveću udaljenost od tzv. antiidealne alternative (negativnog idealnog rješenja). Traži se, dakle, alternativa najbližnja idealnoj i najmanje slična antiidealnoj, pri čemu se sličnost definira u terminima udaljenosti.

TOPSIS simultano razmatra sličnost (udaljenost) s idealnim i antiidealnim rješenjem pomoću pojma tzv. relativne bliskosti (*relative closeness*) i na taj način određuje se konačni rang alternativa.

Neka je dana matrica odluke D :

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.8.)$$

gdje je $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ skup razmatranih alternativa, a $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ skup kriterija na osnovu kojih treba rangirati ili odabrati najbolje alternative.

TOPSIS pretpostavlja da su svi kriteriji ili *benefit* ili *troškovni* kriteriji, te ako je neki kriterij izražen u nenumeričkim (opisnim) terminima potrebno ga je kvantificirati. Također se pretpostavlja da postoji skup težina (važnosti, pondera) kriterija dobiven od donosioca odluke.

TOPSIS metoda se odvija prema sljedećem algoritmu.

Korak 1. Odrediti idealno i antiidealno rješenje

Definirajmo *idealnu alternativu* kao onu koja sadrži najbolje vrijednosti po svakom atributu, tj.

$$A^+ = \{ (\max x_{ij} | j \in J), (\min x_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \} = \{ x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+ \} \quad (2.9.)$$

gdje je J skup indeksa benefit, a J' skup indeksa troškovnih atributa (kriterija).

Antiidealna alternativa (negativni ideal) je s druge strane

$$A^- = \{ (\min x_{ij} | j \in J), (\max x_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \} = \{ x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^- \}. \quad (2.10.)$$

Očito je da ovako konstruirane alternative predstavljaju najviše preferiranu alternativu (idealno rješenje) i najmanje preferiranu alternativu (negativno idealno rješenje). Očito je,

također, da ovakve alternative unutar ponuđenog skupa alternativa neće postojati. Naime, s postojanjem A^+ problem bi bio riješen, tj. postojalo bi savršeno rješenje.

Korak 2. Transformacija atributa

TOPSIS metoda zahtijeva transformaciju atributa sa željom da se dobiju bezdimenzionalne veličine koje dozvoljavaju usporedbu među atributima. Jedan od načina transformacije je tzv. vektorska normalizacija kojom se svaki stupac matrice odluke (vektor X_j) dijeli s normom tog vektora. Vektori stupci u matrici odluke postaju tada:

$$\overline{X}_j = \frac{X_j}{\|X_j\|} = \frac{X_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.11.)$$

gdje je $\|X_j\|$ Euklidska norma vektora X_j .

S novim vrijednostima atributa transformirani su i redci matrice odluke koji predstavljaju alternative, tako da je:

$$\overline{A}_i = (t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}) = \left(\frac{x_{i1}}{\|X_1\|}, \frac{x_{i2}}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_{in}}{\|X_n\|} \right), \text{ za } i = 1, \dots, m \quad (2.12.)$$

Analogno vrijedi i za idealnu i *antiidealnu* alternativu

$$\overline{A}^+ = (t_1^+, t_2^+, \dots, t_n^+) = \left(\frac{x_1^+}{\|X_1\|}, \frac{x_2^+}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_n^+}{\|X_n\|} \right) \quad (2.13.)$$

$$\overline{A}^- = (t_1^-, t_2^-, \dots, t_n^-) = \left(\frac{x_1^-}{\|X_1\|}, \frac{x_2^-}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_n^-}{\|X_n\|} \right) \quad (2.14.)$$

Korak 3. Izračunavanje udaljenosti

Pretpostavimo da je skup težina dobiven od donosioca odluke dan sa:

$$W = \{ w_1, w_2, \dots, w_n \}. \quad (2.15.)$$

Tada se može definirati udaljenost bilo koje alternative A_i od A^+ i A^- kao ponderiranu Euklidsku udaljenost na sljedeći način:

$$S_{i+} = d(A_i, A^+) = \| W \cdot (\overline{A}_i - \overline{A}^+) \| = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j \cdot (t_{ij} - t_j^+)]^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j (x_{ij} - x_j^+)}{\|X_j\|} \right]^2} \quad (2.16.)$$

Slično udaljenost od negativnog ideala dana je sa:

$$S_{i-} = d(A_i, A^-) = \| W \cdot (\overline{A}_i - \overline{A}^-) \| = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j \cdot (t_{ij} - t_j^-)]^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j (x_{ij} - x_j^-)}{\|X_j\|} \right]^2} \quad (2.17.)$$

Korak 4. Izračunavanje relativne bliskosti s idealnim rješenjem

Relativna bliskost alternative A_i u odnosu na idealno rješenje A^+ definira se kao:

$$RC_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}} \quad (2.18.)$$

Očito je $RC_i = 1$ ako je $A_i = A^+$ i $RC_i = 0$ ako je $A_i = A^-$. Alternativa je bliža idealnom rješenju (dakle bolja) što je RC_i bliži jedinici.

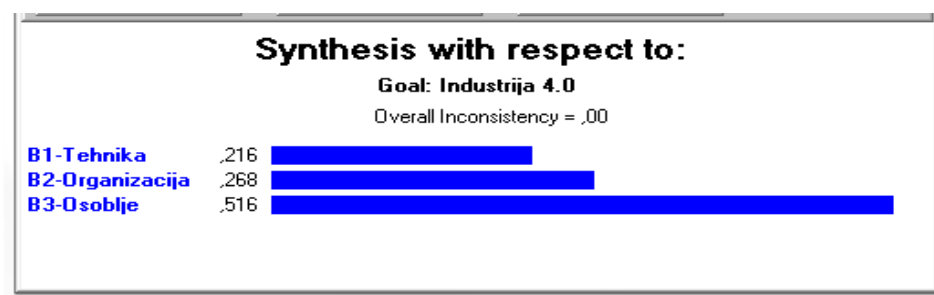
2.2.3.3. Primjena višekriterijalne analize na procjenu industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća

U svakom od 38 razmatranih poduzeća na temelju anketa s odgovornim osobama napravljene su međusobne usporedbe triju glavnih grupa kriterija i na taj način dobiveno je 38 različitih matrica međusobnih usporedbi. Finalna matrica međusobnih usporedbi za tri glavne grupe kriterija dobivena je kao geometrijska sredina tih 38 matrica i prikazana je u Tablici 2.7.

Tablica 2.7. Geometrijske sredine za glavnu grupu kriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]

	B1	B2	B3
B1	1	0.801948	0.42125
B2		1	0.515826
B3			1

Nakon što su ti podaci uneseni u program *Expert Choice* dobivaju se važnosti (težine, ponderi) tih triju grupa kriterija i oni su prikazani na Slici 2.50.



Slika 2.50. Težine glavne grupe kriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]

Lako je uočljivo da je za odgovorne osobe u poduzećima najvažnija grupa kriterija koja se odnosi na osoblje, odnosno donosioci odluke smatraju da je za dobro poduzeće, odnosno onu koja se najviše približava konceptu Industrije 4.0, najvažniji zadatak je osiguranje kvalitetnog osoblja.

Nakon toga su za sva poduzeća (tj. njih 38), temeljem upitnika koji je proveden anketom u projektu INSENT, dobivene međusobne usporedbe svake grupe podkriterija. Budući da svaka grupa glavnih kriterija ima 5 podkriterija za svako poduzeće dobivene se tri matrice međusobnih usporedbi, tj. dobiveno je ukupno $38 \times 3 = 114$ matrica međusobnih usporedbi.

Za svaku grupu podkriterija (C1 – C5, C6 – C10, C11 – C15) izračunate su geometrijske sredine tih 38 matrica, koje su bile ulazni podaci za program *Expert Choice*. Te matrice prikazane su u Tablici 2.8., Tablici 2.9. i Tablici 2.10.

Tablica 2.8. Geometrijske sredine – Tehnika [Babić, Veža, Banduka, 2017]

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0,82844	2,20402	1,93234	0,89929
C2		1	3,01684	2,70905	1,07210
C3			1	0,99460	0,3503
C4				1	0,38009
C5					1

Tablica 2.9. Geometrijske sredine – Organizacija [Babić, Veža, Banduka, 2017]

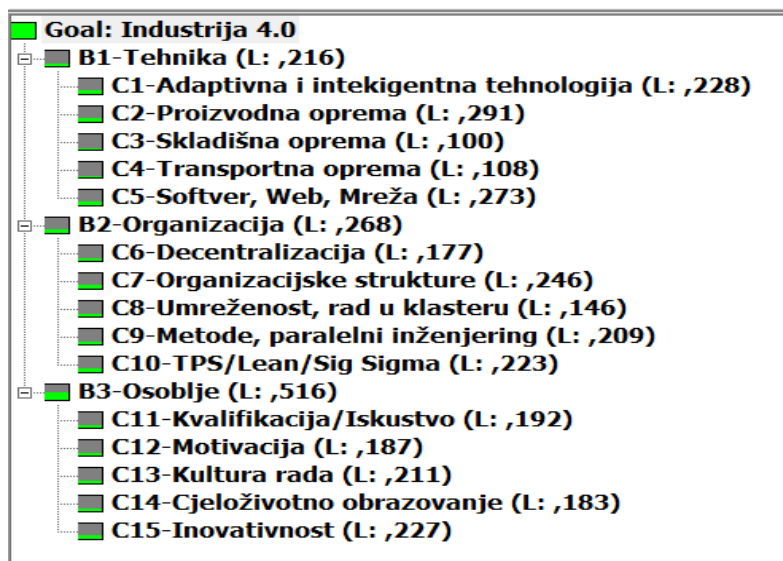
	C6	C7	C8	C9	C10
C6	1	0,68434	1,10363	0,95277	0,81778
C7		1	1,75427	1,11222	1,06508
C8			1	0,66596	0,6401
C9				1	0,95378
C10					1

Tablica 2.10. Geometrijske sredine – Osoblje [Babić, Veža, Banduka, 2017]

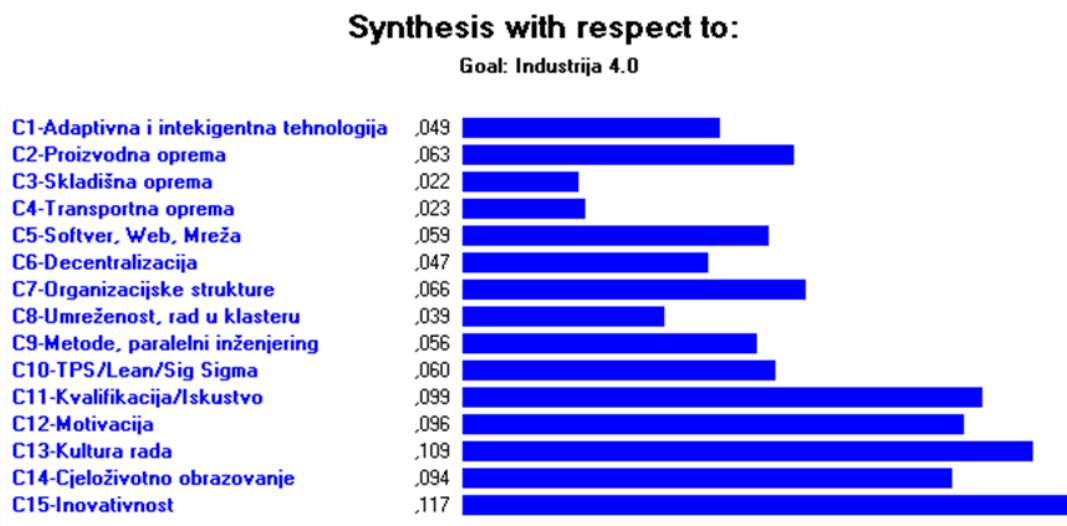
	C11	C12	C13	C14	C15
C11	1	0,96714	0,91461	1,05580	0,88755
C12		1	0,86417	0,99372	0,83372
C13			1	1,17122	0,9013
C14				1	0,79502
C15					1

Obradom u programu *Expert Choice* dobivene su konačne težine (važnosti, ponderi) za svih 15 podkriterija i one su prikazane hijerarhijski kao podkriteriji glavnih kriterija na Slici 2.51. Može se primjetiti da se u hijerarhijskom prikazu težine raspoređuju unutar svake grupe

kriterija i u svakoj grupi njihova suma jednaka je 1, dok su na Slici 2.52. težine svih podkriterija raspoređene tako da njihova ukupna suma bude jednaka jedinici.



Slika 2.51. Hijerarhijski prikaz težina kriterija i podkriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]



Slika 2.52. Konačne težine podkriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]

Sa Slike 2.52. lako je uočljivo da su najvažniji kriteriji grupirani u trećoj grupi glavnih kriterija – osoblju. Najvažniji kriterij je inovativnost, zatim kultura rada i treći po važnosti je kvalifikacija/iskustvo.

To su konačne težine koje će se koristiti kao težine kriterija u *TOPSIS* metodi s kojom će se dobiti konačni poredak 38 razmatranih poduzeća. Pored toga za *TOPSIS* metodu postoji i matrica odluke, odnosno procjenu svih 38 poduzeća po svih 15 kriterija. Ta matrica dobivena je anketom koja je provedena s odgovornim osobama svakog od 38 poduzeća i njihovim procjenama stanja u poduzeću, pri čemu su ocjene dane u skali od 1-5. Matrica odluke prikazana je u Tablici 2.11.

Tablica 2.11. Matrica odluke

		Tehnika - B1					Organizacija - B2					Osoblje - B3				
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Split + Južna Hrvatska	A1	5	4	3	3	5	4	4	3	4	4	3	5	5	4	4
	A2	4	5	5	5	5	5	4	1	2	4	5	5	4	4	4
	A3	4	4	3	3	4	5	4	3	3	4	3	5	5	5	5
	A4	5	5	3	3	4	4	5	3	3	4	3	4	4	5	5
	A5	3	5	3	2	5	4	3	5	4	3	4	4	5	3	3
	A6	5	4	1	3	5	1	2	3	4	4	4	3	4	4	2
	A7	5	5	3	3	4	4	4	3	4	5	5	4	4	4	5
	A8	3	5	3	4	4	2	2	3	3	5	4	5	5	5	4
	A9	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	4	4
	A10	1	4	3	3	4	4	4	2	3	3	5	4	4	4	4
	A11	1	5	3	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4
	A12	5	5	3	3	5	3	5	5	4	4	5	3	4	4	4
	A13	4	3	2	2	3	2	3	2	2	3	4	4	3	4	4
	A14	5	4	3	3	4	5	3	4	5	5	5	5	4	4	5
	A15	4	4	3	4	5	1	5	4	3	1	3	5	5	1	3
Zagreb + Sjeverna Hrvatska	A16	4	5	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4
	A17	5	5	3	2	4	3	4	3	2	3	4	4	3	3	3
	A18	2	4	3	3	5	5	5	3	4	4	3	4	4	2	5
	A19	4	5	3	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5
	A20	4	5	2	1	3	1	5	2	3	4	5	4	3	2	5
	A21	5	5	4	3	4	3	4	3	4	4	4	5	4	4	5
	A22	5	5	3	2	4	4	3	1	3	2	4	5	4	2	4
	A23	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5
	A24	3	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	5	5
	A25	4	5	3	3	5	4	5	4	3	5	4	4	5	5	4
	A26	5	3	4	4	5	5	4	3	4	5	3	5	4	4	5
	A27	5	4	3	3	4	4	3	3	4	5	4	3	4	5	5
	A28	2	5	2	3	4	5	4	2	4	4	5	5	5	5	5

Tablica 2.11. Matrica odluke (nastavak)

		Tehnika - B1					Organizacija - B2					Osoblje - B3				
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Istra	A29	5	5	1	3	4	1	1	4	5	3	5	5	5	5	5
	A30	4	5	2	2	5	2	3	4	5	4	5	4	4	5	5
	A31	5	4	3	2	4	3	5	1	4	2	5	3	5	4	5
	A32	3	2	1	2	2	4	4	1	3	3	4	4	5	4	5
	A33	5	3	2	2	4	4	4	2	5	4	4	4	5	4	5
	A34	5	4	2	2	4	2	4	3	3	2	5	2	4	5	5
	A35	3	4	3	2	5	1	3	2	3	1	4	2	4	4	4
	A36	5	3	2	4	1	1	4	2	3	5	1	2	3	5	4
	A37	5	4	3	1	5	4	4	4	3	4	5	5	5	5	5
	A38	3	4	3	2	5	1	3	2	3	1	4	2	4	4	4

Nakon toga u *TOPSIS* metodi, kao što je ranije objašnjeno, računa se indeks relativne bliskosti RC_i , gdje je $RC_i = \frac{S_{i-}}{S_{i-} + S_{i+}}$.

Alternativa je to bolja što je taj indeks bliži jedinici. Nakon provedenog *TOPSIS* postupka dobiven je konačan poredak u smislu da su više rangirana poduzeća čije karakteristike su bliže poduzećima iz Industrije 4.0.

Konačan poredak poduzeća i njihovi indeksi relativne bliskosti dobiveni *TOPSIS* metodom prikazani su u Tablici 2.12.

Na temelju gornjih rezultata može se uočiti da se tri najbolje rangirana poduzeća (A23, A16, A24) nalaze u zagrebačkom području, odnosno u području Sjeverne Hrvatske.

2.2.3.4. Zaključak

U namjeri da se rangiraju hrvatska poduzeća u smislu njihove industrijske zrelosti, odnosno njihove sposobnosti da se što prije uključe u koncept Industrije 4.0, korištene su dvije metode višekriterijalne analize: analitički hijerarhijski proces (*AHP*) i *TOPSIS* metoda. Razmatrajući tri glavne grupe kriterija: tehniku, organizaciju i osoblje kao i petnaest podkriterija 38 hrvatskih poduzeća rangirani su u odnosu na njihov indeks relativne bliskosti izračunat pomoću *TOPSIS* metode.

Tablica 2.12. Konačan poredak dobiven *TOPSIS* metodom (Babić, Veža & Banduka, 2017)

Rang	Poduzeća	RCi	Rang	Poduzeća	RCi	Rang	Poduzeća	RCi
1.	A23	0.87042	14.	A26	0.71990	27.	A5	0.61570
2.	A16	0.85921	15.	A11	0.71894	28.	A18	0.61142
3.	A24	0.82151	16.	A12	0.71597	29.	A32	0.60108
4.	A9	0.81090	17.	A33	0.70867	30.	A20	0.57847
5.	A19	0.79977	18.	A4	0.70783	31.	A22	0.55989
6.	A37	0.79183	19.	A1	0.70274	32.	A17	0.54807
7.	A14	0.78081	20.	A27	0.69913	33.	A13	0.53437
8.	A25	0.76565	21.	A2	0.69758	34.	A6	0.51982
9.	A7	0.76521	22.	A29	0.67345	35.	A35	0.50388
10.	A28	0.76165	23.	A8	0.67257	36.	A38	0.50388
11.	A21	0.74197	24.	A31	0.65908	37.	A15	0.50334
12.	A30	0.72970	25.	A10	0.63430	38.	A36	0.46952
13.	A3	0.72604	26.	A34	0.61962			

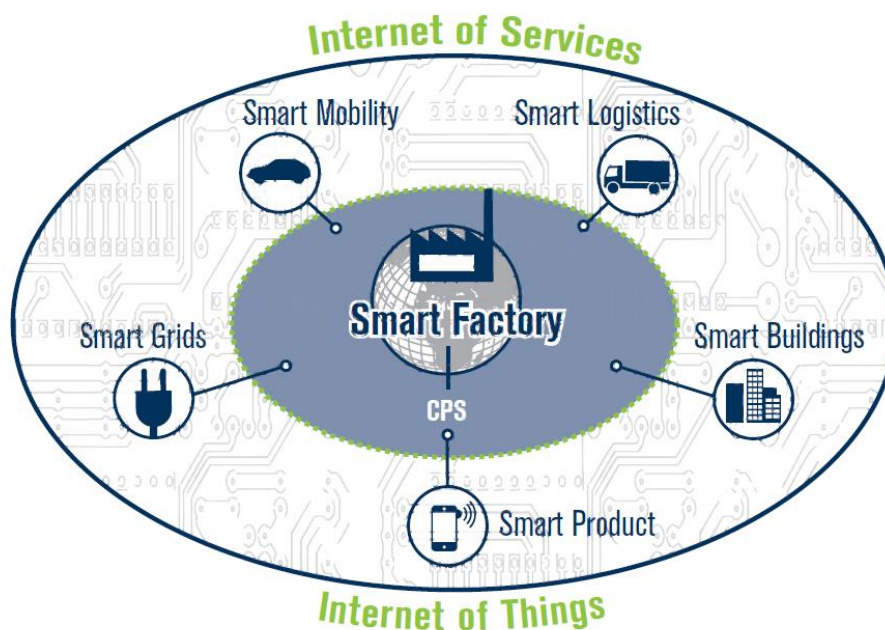
2.3. Razvoj asistentskog modula PLAS

2.3.1. Industrija 4.0 i informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT)

2.3.1.1. Internet, CPS, CPPS i IoT i Industrija 4.0

Prve tri industrijske revolucije rezultat su mehanizacije, elektrifikacije i informatizacije. Posljednja industrijska revolucija, Industrija 4.0 temelji se na suvremenim dostignućima informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT), odnosno na kibernetičkim sustavima (*Cyber-Physical Systems* – CPS) koji su dio globalno umreženog budućeg svijeta u kojem proizvodi, oprema i objekti djeluju zajedno s ugrađenim hardverom i softverom izvan granica pojedinačnih aplikacija. Pomoću senzora ti sustavi obrađuju podatke iz fizičkog svijeta i čine ga dostupnima mrežnim uslugama, što zauzvrat može izravno utjecati na procese u fizičkom svijetu pomoću aktuatora. Kroz takve kibernetičke sustave je fizički svijet povezan s virtualnim svijetom kako bi stvorio *Internet* stvari, podataka i usluga [acatech, 2011; Kagerman, 2013].

Očekivanja su da će u budućnosti tvrtke uspostaviti globalne mreže koje uključuju njihove strojeve, skladišne sustave i proizvodne objekte u obliku *Cyber-Physical Systems* (CPS). Takvi proizvodni sustavi nazivaju se kibernetički proizvodni sustavi (eng. *Cyber-Physical Production Systems* - CPPS). Dakle, Industrija 4.0 rezultat je umrežavanja stvari i usluga (eng. *Internet of Things and Services*, Slika 2.53.) u proizvodnim sustavima [Kagerman i dr., 2013].

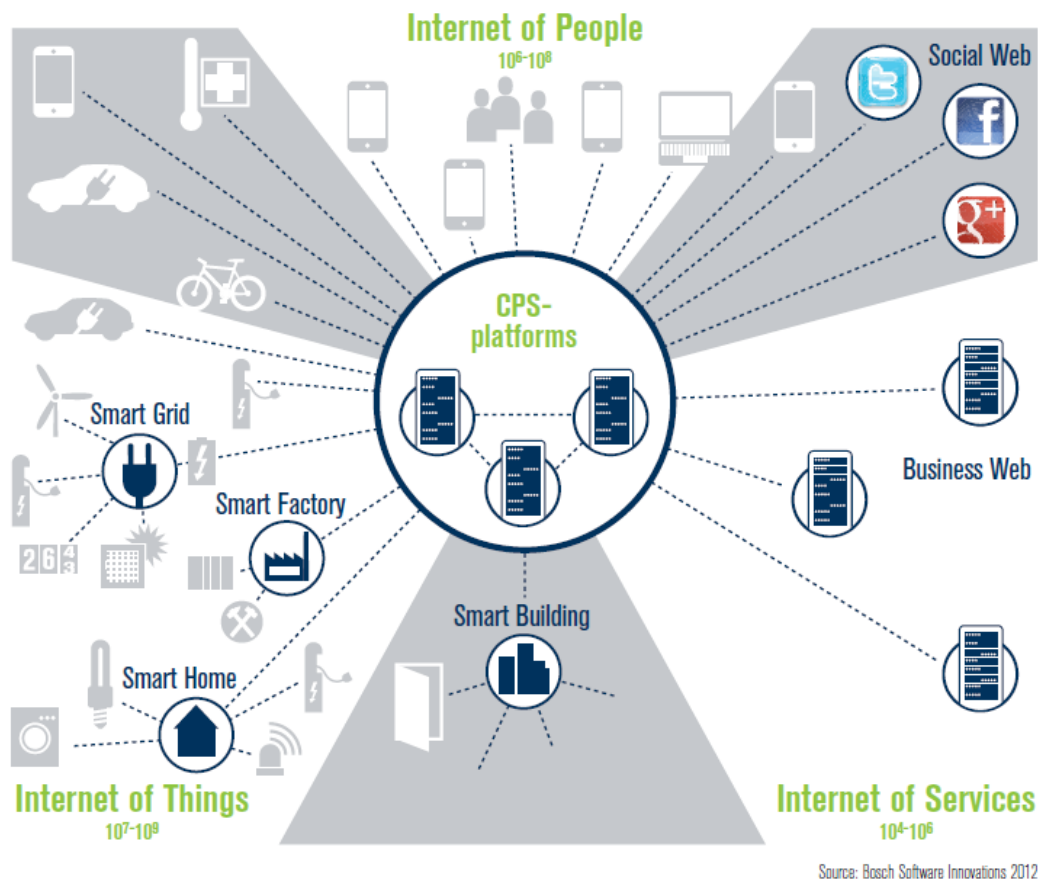


Slika 2.53. *Internet of Things* i *Internet of Services* [Kagerman i dr., 2013]

U takvom proizvodnom sustavu će ti CPS obuhvaćati pametne strojeve, sustave za pohranu i proizvodne kapacitete koji bi mogli samostalno razmjenjivati informacije, pokretati akcije i samostalno se međusobno kontrolirati. To bi olakšalo temeljna poboljšanja industrijskih procesa uključenih u proizvodnju, inženjering, uporabu materijala i lanac nabave, te upravljanje životnim ciklusom. Pametne tvornice koje se već počinju pojavljivati koriste potpuno novi pristup proizvodnji. Pametni proizvodi bi bili jedinstveno identificirani, moguće

bi ih bilo pronaći u svakom trenutku i bilježila bi se njihova povijest, trenutni status i alternativni putevi za postizanje ciljanog stanja. Ugrađeni proizvodni sustavi vertikalno bi se umrežavali s poslovnim procesima unutar tvornica i tvrtki i horizontalno se povezivali s mrežama raspršenih vrijednosti koje bi se mogle upravljati u stvarnom vremenu – od trenutka kada se narudžba postavlja točno do izlazne logistike. Osim toga, oni bi omogućili i zahtijevali *end-to-end* inženjering kroz cijeli lanac vrijednosti [Kagerman i dr., 2013].

Utjecaj Industrije 4.0 prelazi okvire proizvodnih sustava i okruženja i zahvaća cjelokupno suvremeno društvo i suvremeni način rada i življenja (Slika 2.54.).



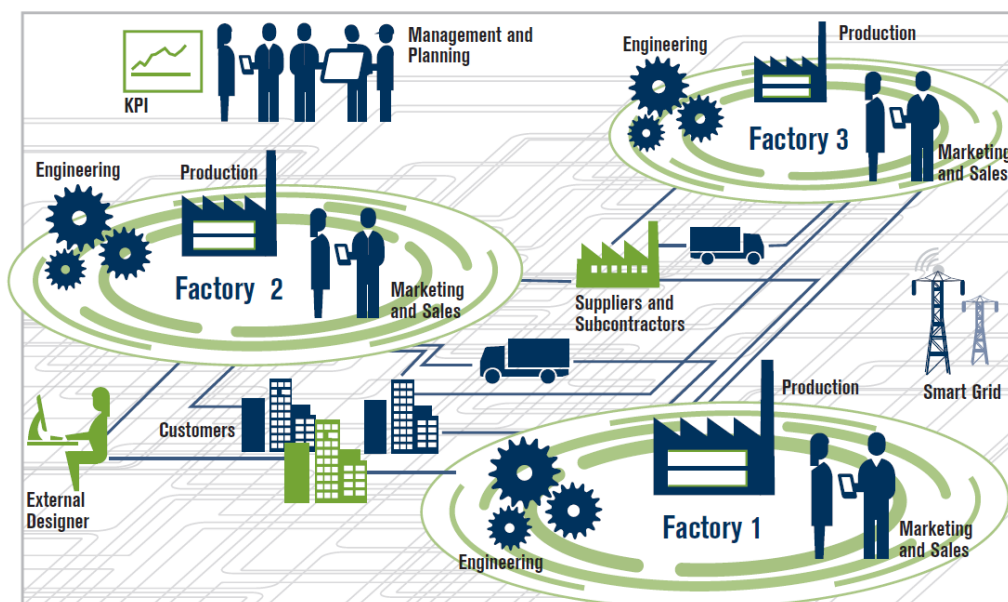
Slika 2.54. Internet of Things and Services – umrežavanje ljudi, objekata i sustava [Kagerman i dr., 2013]

Treba naglasiti tri glavna obilježja *CPPS-a* [Monostori i dr., 2016]:

- **Inteligencija** (adaptabilnost), tj. elementi sustava su u stanju prikupiti informacije iz svoje okoline i samostalno djelovati.
- **Povezanost**, tj. sposobnost uspostavljanja i korištenja veza s drugim elementima sustava – uključujući i ljudska bića – poradi suradnje, te spoznaja i usluga dostupnih na *Internetu*
- **Odgovornost** prema unutarnjim i vanjskim promjenama.

2.3.1.2. Horizontalna i vertikalna integracija u Industriji 4.0

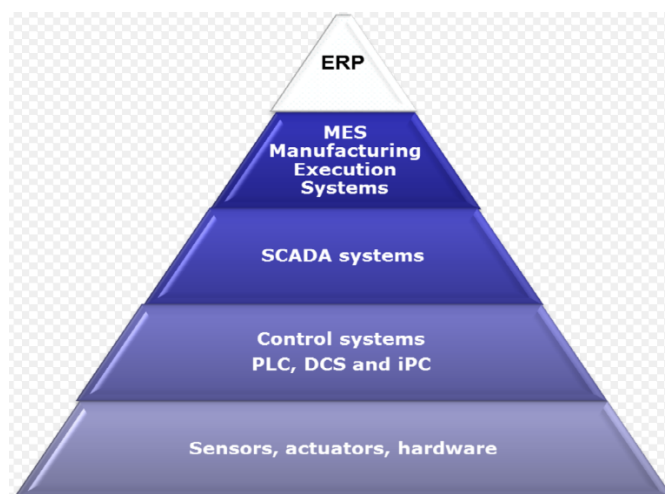
U područjima proizvodnje, automatizacije i *IT-a*, **horizontalna integracija** odnosi se na integraciju različitih *IT* sustava koji se koriste u različitim fazama procesa proizvodnje i poslovnog planiranja koji uključuju razmjenu materijala, energije i informacija unutar tvrtke (npr. ulazne logistike, proizvodnje, izlazne logistike, marketinga i dr.) i između nekoliko različitih tvrtki (Slika 2.55.). Cilj ove integracije je pružiti *end-to-end* rješenje [Kagerman i dr., 2013].



Source: Hewlett-Packard 2013

Slika 2.55. Horizontalni lanci vrijednosti [Kagerman i dr., 2013]

U području proizvodnje, automatizacije i *IT-a*, **vertikalna integracija** odnosi se na integraciju različitih *IT* sustava na različitim hijerarhijskim razinama (npr. aktuator i senzor, kontrola, upravljanje proizvodnjom, proizvodnja i izvršenje, te razine korporativnog planiranja), kako bi isporučili *end-to-end* rješenje [Kagerman i dr., 2013], Slika 2.56.



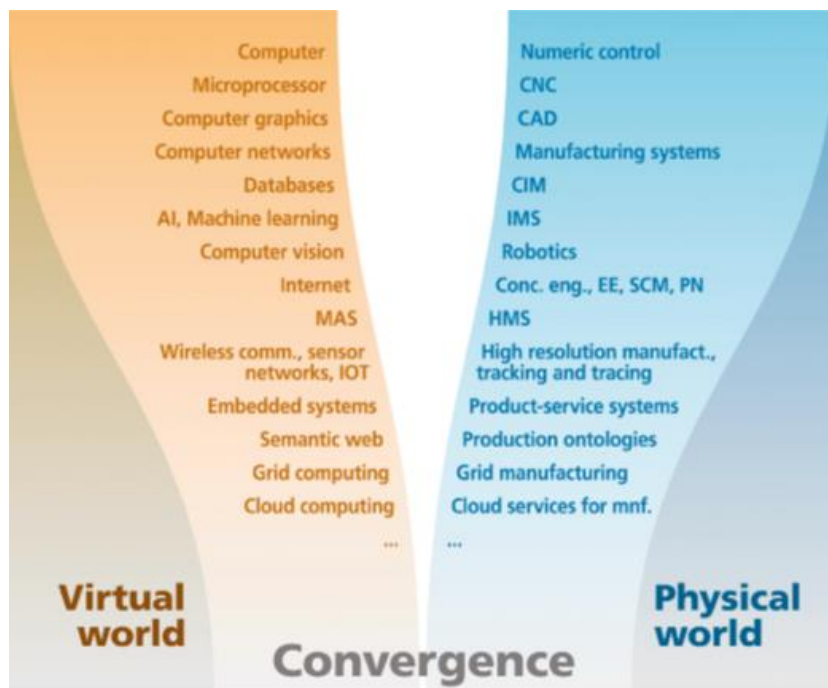
Slika 2.56. Vertikalna integracija *IT* sustava, od senzora i aktuatora do *ERP* sustava [Google, 2013]

2.3.1.3. Industrija 4.0 – konvergencija virtualnog i fizičkog svijeta

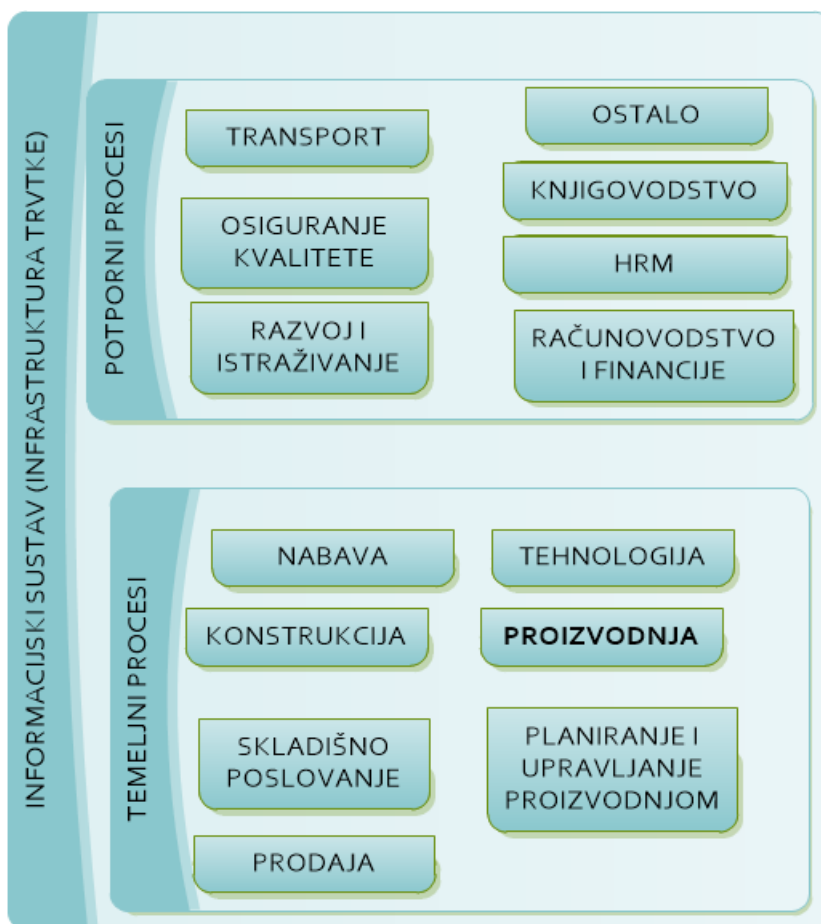
Razvoj računalnih znanosti (eng. *CS – computer science*) i informacijsko-komunikacijskih tehnologija (*ICT*) posljednjih par desetljeća značajno je utjecao na razvoj proizvodnih sustava. Međutim, i proizvodni sustavi su svojom izuzetnom važnošću i kompleksnošću bili izuzetan izazov za istraživanje brojnim drugim istraživačkim disciplinama (Slika 2.57.), te je u posljednjim godinama došlo do sve veće konvergencije virtualnog i fizičkog svijeta [Monostori i dr., 2016].

Nova industrijska revolucija, Industrija 4.0, predstavlja novi način organiziranja i kontrole cjelokupnog sustava dodane vrijednosti i značajno utječe na sve procese tvrtke. Međutim, bitno je naglasiti da u novoj tehnološkoj revoluciji sve značajniju ulogu preuzimaju informacijske tehnologije (*CS & ICT*) pa bi se i Porterov klasični model temeljnih i potpornih procesa u lancu vrijednosti proizvodne tvrtke mogao prikazati kao na Slika 2.58. Naime, procesi su *utopljeni* u informacijsku infrastrukturu koja im poput krvotoka omogućava funkcioniranje. O karakteristikama te informacijske infrastrukture, tj. informacijskog sustava, sve više ovise i karakteristike funkcioniranja same tvrtke:

- Funkcionalnost
 - Može li sustav (tvrtka) zadovoljiti tražene funkcije (npr. proizvesti/isporučiti proizvode određenih karakteristika)?
- Dostupnost
 - Gdje (i kada) tvrtka može zaprimiti zahtjev/narudžbu?
 - Gdje (i kada) tvrtka može obraditi zahtjev/narudžbu?
- Sigurnost
 - Može li se neovlašteno pristupiti resursima tvrtke?
- Brzina
 - Kako brzo tvrtka može procesuirati narudžbu kupca (ili odgovoriti na primjedbu)?
- Učinkovitost
 - Koliko resursa će se potrošiti za procesuiranje nekog naloga/narudžbe?



Slika 2.57. Povezanost CS, ICT i proizvodnih sustava [Monostori i dr., 2016]



Slika 2.58. Temeljni i potporni procesi proizvodnih tvrtki

Bitan artefakt za uspješno (profitabilno) poslovanje tvrtke jesu **podaci i informacije** kojima sudionici poslovnih procesa opisuju najrazličitija zbivanja u tim procesima (podaci o zahtjevima kupaca, narudžbama proizvoda, planovima nabave i proizvodnje, nabavljenim materijalima, cijenama rada i materijala, proizvedenim proizvodima, ostvarenoj prodaji, realiziranim prihodima, nastalim troškovima, ostvarenoj zaradi itd.). Te podatke i informacije je potrebno:

- strukturirati poradi njihove lakše obrade, spremanja/dohvata i prezentiranja
- učinkovito spremati u baze podataka
- učinkovito dohvaćati iz baza podataka za potrebe obrada i izvještavanja
- čuvati od neovlaštenog pristupa
- pravovremeno dostavljati onima kojima su potrebne
- ispravno tumačiti i obrađivati.

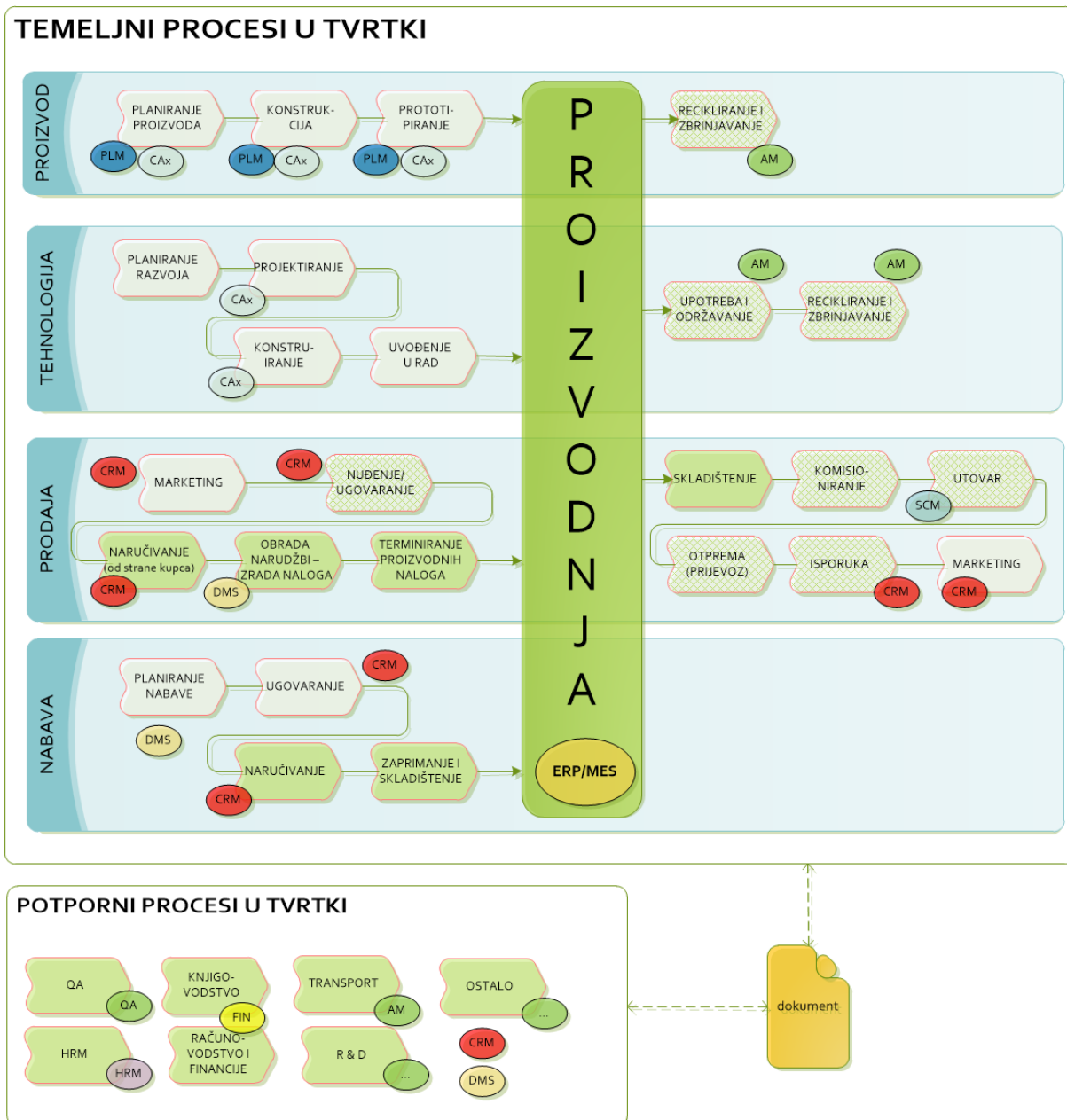
2.3.2. Informatizacija procesa u tvrtkama

2.3.2.1. Informatička zrelost hrvatskih tvrtki

Prosječna industrijska zrelost 161 tvrtke koja je odgovorila na poslane upitnike je 2,15 (ocjene 1-4) [Veža i dr., 2015]. Međutim, važno je napomenuti da su *CS* i *ICT* ključne tehnologije za Industriju 4.0, te da i površna analiza zrelosti ovih tehnologija i procesa te njihove sposobnosti da u anketiranim tvrtkama ubrzaju put ka Industriji 4.0 ne pokazuje ohrabrujuće rezultate.

Slika 2.59. prikazuje pokrivenost poslovnim procesa odgovarajućim programskim rješenjima. Važno je naglasiti slijedeće činjenice (uočene naročito u osobnim posjetima i razgovorima s tvrtkama):

- tvrtke koriste uglavnom po nekoliko programskih rješenja, koja su vrlo često međusobno nedovoljno integrirana,
- inozemna rješenja, specijalizirana za proizvodne procese, rijetko su prevedena na hrvatski jezik,
- i kod tvrtki koje su najbolje informatizirane svoje procese, česti su problemi integracije između *MES-a* i računovodstva (npr. problem storniranja pojedinih dokumenata u jednom ili drugom sustavu) ili između *CAD-a* i *MES-a* (npr. praćenje izmjena sastavnice ili praćenje radnih aktivnosti po stroju i djelatniku),
- *MS Excel* se koristi kod mnogih tvrtki (sve *matrice kompetencija* koje su se vidjele bile su napravljene u *Excelu*).



Slika 2.59. Uobičajeno stanje informatizacije procesâ u proizvodnim tvrtkama

Postoji jedno nepisano iskustveno pravilo o povezanosti zrelosti ICT procesa i izdvajanja za ICT procese:

- Ako tvrtka kojoj ICT nije temeljno poslovanje ne izdvaja za ICT proces (hardver, softver, komunikacije, vlastite djelatnike i njihovo usavršavanje, eksterne usluge itd.) kontinuirano cca 1% svojih prihoda, ne može očekivati da joj ICT unaprijedi poslovanje.

Iznos može odstupati od spomenutih 1% ovisno o djelatnosti tvrtke i specifičnostima poslovanja, ali ne može dugotrajno biti značajno niži a da se ne ugrozi konkurentnost (tj. opstanak na tržištu) tvrtke.

2.3.2.2. Paradoks sposobnosti prilagodbe softvera (programskog rješenja)

Općenito gledano, sadašnja razina *ICT* zrelosti nije dovoljna da bi postojeći *IT* sustavi bili spremni za iskorak bez kojeg tvrtke neće moći zakoračiti u *CPPS* svijet – u svijet integracije senzora i njihovih podataka. U nekoliko tvrtki je viđena uspješna implementacija/integracija pojedinačnih senzorskih rješenja (uspjeh se prvenstveno može zahvaliti entuzijazmu ili upornosti pojedinaca), ali ne i sustavnom ulaganju u *ICT* rješenja i procese.

Naime, ovaj paradoks se može pojasniti i slikovito (Slika 1.22.). Većina proizvodnih tvrtki smatra da su *ICT* rješenja čisto infrastrukturni resurs, pa sve što je s tim povezano gledaju samo s gledišta troškova, a ne kao strateški resurs koji donosi konkurentsku prednost. Stoga su rijetke proizvodne tvrtke (čak i među velikima) koje imaju vlastite *ICT* odjele i vlastita programska rješenja koja su sposobna odgovoriti zahtjevima i potrebama Industrije 4.0. S Industrijom 4.0, naime, znatno se proširila poslovna domena, odnosno potrebe korisnika (Slika 1.22.), a upitno je koliko su programska rješenja koja su tvrtke nabavile u mogućnosti podržati takve njihove potrebe (tj. koliko se mogu parametrizirati i koliko korisnici uopće poznaju mogućnosti svojih rješenja).

Drugo pitanje jest, koliko su *ICT* partneri s kojima tvrtke surađuju (ili mala interna služba od jednog-dva čovjeka) u stanju prilagoditi rješenje potrebama tvrtke i koliko poznaju sve detalje njihovih poslovnih procesa. Zatim je bitna i brzina prilagodbe: ako partner nije ujedno i autor rješenja, ne može se od njega očekivati da on zna sve tajne tog rješenja i integrira ga sa svim *automatiziranim linijama do početka idućeg mjeseca* (kako tvrtke obično zahtijevaju od malih softverskih tvrtki ili internih timova).

Pa čak kada tvrtka surađuje izravno s proizvođačem softverskog rješenja, nema jamstva da će sve njene želje za prilagodbom biti ispunjene (makar ih mogla i platiti). Upravo to se događa domaćim tvrtkama koje koriste strana rješenja, ali strani autori ne uvažavaju zahtjeve za izmjenama (u njihovim očima) malih korisnika iz Hrvatske. Stoga ti korisnici imaju najčešće računovodstvo (*Glavnu knjigu* i još ponešto) u stranom softveru, te još mnoštvo interno razvijenih rješenja i/ili papirnih evidencija.

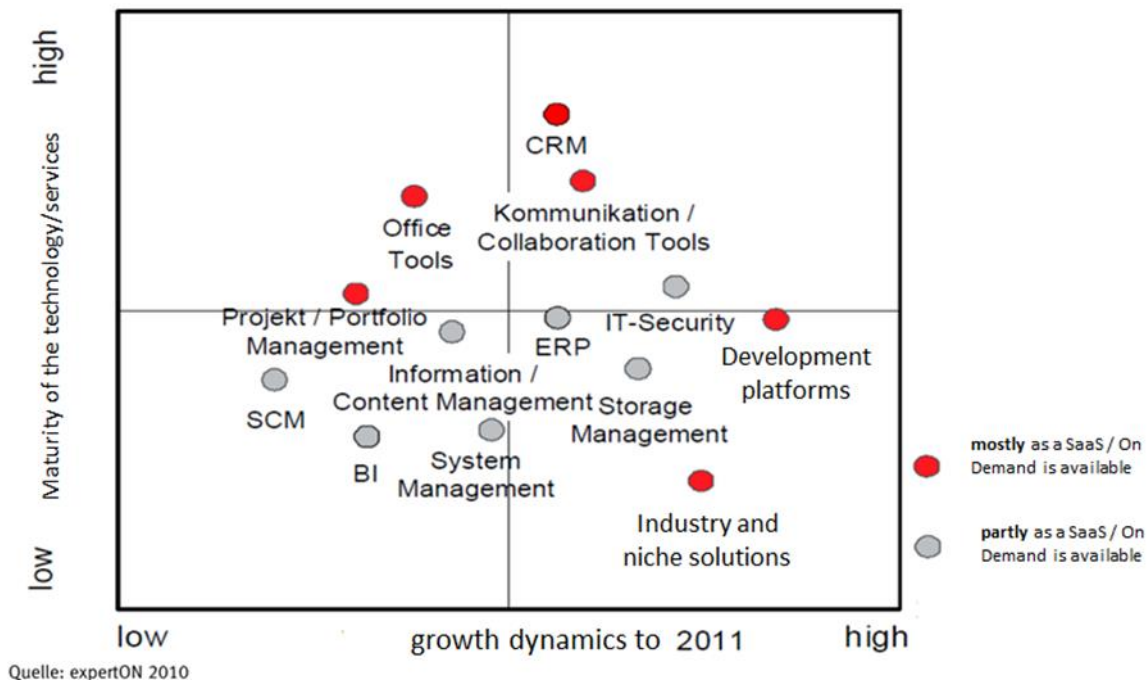
Posebno je važno pitanje arhitekture softvera i odabira tehnologije koju je autor koristio pri izradi softvera. Postoje, naime, slučajevi gdje su autori rješenja limitirani odabranom tehnologijom ili alatima s kojima su napravili softvere pa su, zbog nedovoljnog poznavanja alata ili same ograničenosti tih alata, autori u nemogućnosti odgovoriti na pojedine zahtjeve tržišta. Tipičan primjer jest nemogućnost mnogih softverskih tvrtki da u jednom softveru elegantno pomire mogućnost praćenja (sljedljivosti):

- i velikih proizvodnih serija,
- i malih proizvodnih serija,
- pojedinačne proizvodnje

u istoj tvrtki u isto vrijeme.

Postoje i rješenja koja se mogu prilagoditi naraslim potrebama korisnika te zadovoljavaju njihove trenutne (pa i kratkoročne) potrebe, ali dublja *ICT* analiza pokazuje da se dugoročno ne isplati ulagati u takve softvere. Razlozi mogu biti višestruki:

- zastarjela tehnologija – na tržištu je mnoštvo tehnološki zastarjelih softvera koji su razvijeni prije *Internet* revolucije i koji teško mogu odgovoriti zahtjevima kvalitete softvera nove tehnološke revolucije ISO/IEC 9126 i ISO/IEC 25010:2011 (integracija s različitim uređajima i sustavima, laka nadogradnja, sigurnost, prenosivost itd.),
- neadekvatna arhitektura
 - uočljivo je da sustavi koji *rastu* kroz desetak i više godina imaju *nagomilane* funkcionalnosti, a da se u biti ne radi o jedinstvenom softveru/sustavu nego o više različitih softvera, nastalih ponekad s različitim arhitekturnim postavkama, koji su međusobno integrirani u naizgled jedinstven sustav,
 - neki sustavi koriste suvremene tehnologije (*web* tehnologije) čak i kada one nisu najprimjerenije (Slika 2.60.), što ima za posljedicu lošije funkcioniranje nekih poslovnih procesa (npr. otežano prikupljanje i obrada podataka u distribuiranim poslovnim okruženjima).



Slika 2.60. Kompatibilnost tehnologija i poslovnih segmenata

2.3.3. Metodologija razvoja softvera

Kako uspjeh ne dolazi slučajno, tako ni softver (*IS*) kakav je potreban za suvremenu Industriju 4.0 ne može nastati niti slučajno, niti od gomile postojećih (pa makar i pojedinačno dobrih) softvera. Za Industriju 4.0 potreban je suvremeni informacijski sustav, temeljen na suvremenim tehnologijama i konceptima, a prvi korak u njegovom nastajanju/izradi jest odabir (ili bar poznavanje) metodologija razvoja softvera kao ključne komponente informacijskog sustava.

2.3.3.1. Metodologije razvoja softvera

Ključni i kritični element informacijskih tehnologija (*ICT*) jest programska podrška, softver, i njen razvoj, odnosno prilagodba potrebama poslovnih procesa. Razvoj softvera je vrlo sličan razvoju klasičnih proizvoda po organizaciji proizvodnih procesa i korištenim metodologijama, te po životnom ciklusu samog proizvoda (softvera). Metodologija je formaliziran pristup implementacije životnog ciklusa i ovisi o tome je li naglasak stavljen na poslovne procese ili na podatke koji podupiru poslovanje [Dennis i dr., 2006]. Stoga se u praksi mogu susresti mnoge metodologije razvoja softvera i njihove podjele:

- Podjela prema objektu analize:
 - o Procesne,
 - o Podatkovne ili
 - o Objektne metodologije
- Strukturne metodologije (iz faze u fazu)
 - o Klasični (vodopad)
 - o Paralelni razvoj
- Rapidni razvoj (*Rapid Application Development*)
 - o Fazni razvoj
 - o Prototipiranje
 - o *Throwaway* prototipiranje
- Agilne metodologije

U posljednjih 15-ak godina najviše se koriste agilne metode razvoja softvera (sustava).

2.3.3.2. Agilne metode/metodologije razvoja softvera

Agilni razvoj softvera nije sam po sebi *metodologija*. To je pojam koji opisuje nekoliko neovisno razvijenih agilnih metodologija, od kojih svi imaju iste vrijednosti [Beck i dr., 2001], [Williams, 2010]. Naime, od sredine 1990-ih, nekoliko konzultanata je (međusobno neovisno jedni od drugih) u pokušaju formalnijeg i eksplicitnijeg prihvaćanja viših stopa promjene zahtjeva softvera i očekivanja kupaca kreiralo ono što je kasnije postalo poznato kao **agilne metodologije razvoja softvera**. Neke od istaknutih agilnih metodologija su [Williams, 2010]:

- *Adaptive Software Development*,
- *Crystal*,
- *Dynamic Systems Development Method*,
- *Extreme Programming (XP)*,
- *Feature-Driven Development (FDD)*,
- *Pragmatic Programming i*
- *Scrum*.

Agilne metode se sastoje od agilnih *praksi*, a temelje se na agilnim *načelima* [Beck i dr., 2001]. Prakse su aktivnosti koje se koriste za provođenje agilnih načela i vrijednosti u specifičnoj situaciji i specifičnom projektu. Brojne su prakse stvorene primjenom ovih načela, kao što su *refactoring*, mali ciklusi između novih verzija (iteracije), programiranje u parovima i tako dalje. Razvojni timovi obično se ne pridržavaju svih praksi odabrane metodologije, već odabiru podskup agilnih praksi pogodnih za određeni projekt [Williams, 2010].

Agilne metode temelje se na iterativnim i evolucijskim metodama. Fleksibilan i brz odgovor na promjene osiguran je kratkim razvojnim iteracijama, minimalnim planiranjem i inkrementalnim poboljšanjima. Duljina iteracije je fiksna, obično od jednog tjedna do jednog mjeseca. Svaka iteracija je projekt sam po sebi i uključuje sve aktivnosti razvojnog ciklusa, od analize zahtjeva do prihvaćanja kupaca i završava s (internim) aplikacijskim izdanjem. Time je uklonjena nepotrebna dokumentacija [Williams, 2010].

Stvarnost je da se zahtjevi mijenjaju tijekom projekta, a detaljna dokumentacija početkom projekta može biti gubitak vremena i suvišan napor. Stoga se u agilnom razvoju zahtjevi definiraju na početku svake iteracije. No, ovaj pristup ima neke slabosti [Sillitti i dr., 2005], [Helmy i dr., 2012], [Nawrocki, 2002], [Dragičević i dr., 2017]:

- nedostatak šire slike; nedostaje veza između zahtjeva,
- nefunkcionalni zahtjevi se podrazumijevaju implicitno; nisu osigurane tehnike prikupljanja i upravljanja zahtjevima,
- ograničena dokumentacija uzrokuje probleme u održavanju proizvoda,
- nedostatak inženjerskih aktivnosti vezanih uz specifikacije zahtjeve.

2.3.3.3. *Lean* i *agil*: Manifest agilnog razvoja softvera

Izraz *Lean production* prvi je put upotrijebljen sredinom 1980-ih kako bi se opisao organizacijski sustav korišten u Toyotinom proizvodnom sustavu. *Lean* filozofija temelji se na razumijevanju vrijednosti s kupčeva gledišta.

Poppendiecks primjenjuju načela *lean* proizvodnje [Williams, 2010] na razvoj softvera i sintetiziraju ih s agilnim praksama. Rezultati su sedam principa razvoja *lean* softvera [Poppendieck i dr., 2012]. Isto tako, vodeći praktičari i teoretičari agilnih metoda saželi su svoja znanja i višegodišnja iskustva u primjeni raznih agilnih praksi i metoda u tzv. *manifest agilnog razvoja softvera* formulirajući sljedeće izjave [Beck i dr., 2001], [Boehm, Turner, 2003]:

Tražimo bolje načine razvoja softvera razvijajući softver i pomažući drugima pri njegovom razvoju. Takvim radom smo naučili da više cijenimo:

<i>Ljude i njihove međusobne odnose</i>	<i>nego procese i oruđa</i>
<i>Upotrebljiv softver</i>	<i>nego iscrpnu dokumentaciju</i>
<i>Suradnju s korisnicima</i>	<i>nego pregovaranje oko ugovora</i>
<i>Reagiranjem na promjenu</i>	<i>nego ustrajanje na planu.</i>

Drugim riječima, iako cijenimo vrijednosti na desnoj strani, više vjerujemo u one na lijevoj.

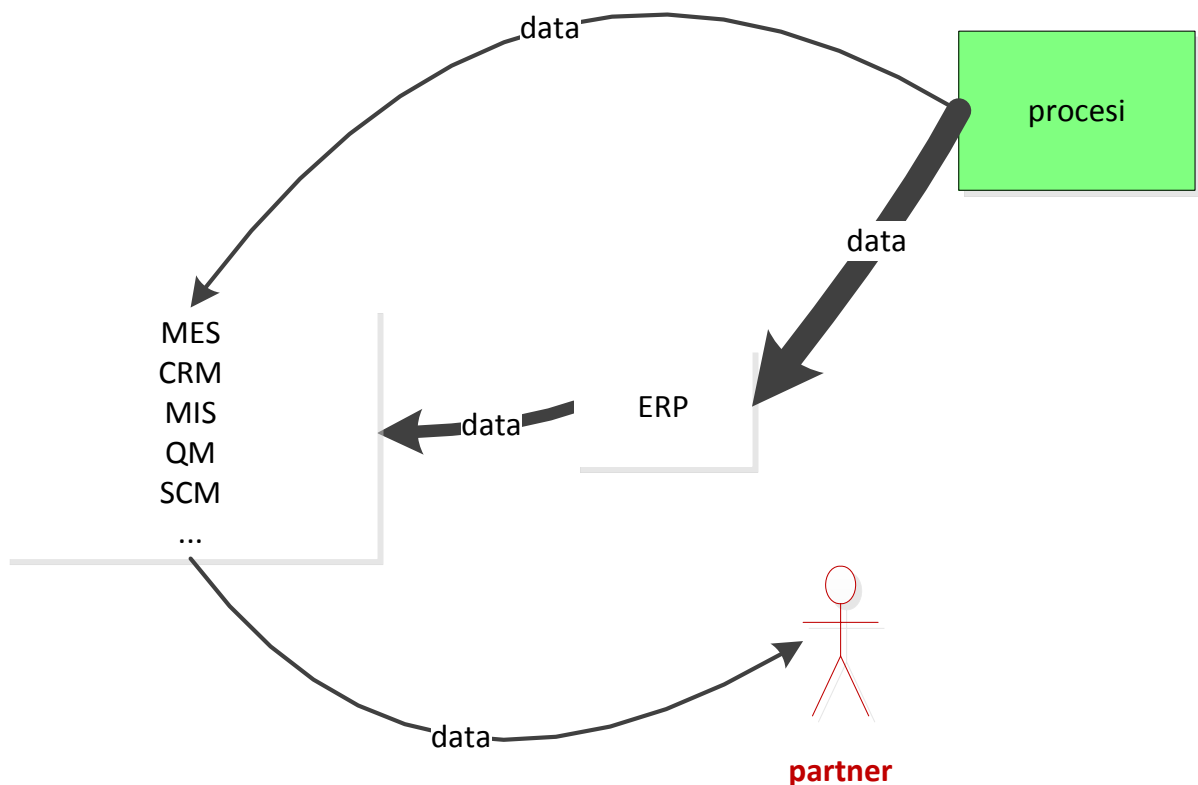
Ove misli potrebno je imati kao orijentaciju pri ozbiljnim analizama/odabirima postojećih, odnosno prilikom odluka o izradi novih informacijskih sustava (softvera).

2.3.4. Arhitektura VENIO sustava za praćenje poslovnih procesa

U nastavku je opisana arhitektura integriranog informacijskog sustava VENIO, koji zadovoljava zahtjeve Industrije 4.0 i koji se od 2011. godine stalno dalje razvija u skladu sa zahtjevima koje na informacijske sustave postavlja Industrija 4.0.

2.3.4.1. Integracija sustava ili integracija funkcija

Slika 2.61. prikazuje okruženje većine tvrtki, koje imaju više specijaliziranih, međusobno više ili manje dobro integriranih aplikativnih rješenja. Uslijed toga, tvrtke se susreću s već spomenutim problemima (napisano u Poglavlju 1.5.3. o informatizaciji procesâ u hrvatskim tvrtkama).



Slika 2.61. Uobičajena okruženje u mnogim tvrtkama

Bolji princip od integracije različitih IS-ova jest princip integracije različitih funkcija u jedinstven IS ako je on:

- s adekvatnom arhitekturom,

- s adekvatnom tehnologijom,
- funkcionalan i nadogradiv,

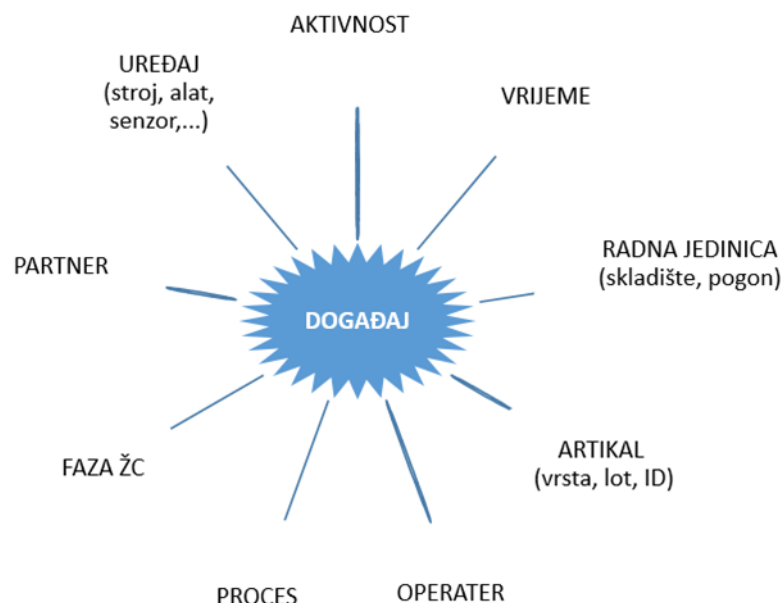
tj. ako je kvalitetan i ispunjava zahtjeve kvalitete za Industriju 4.0. Upravo ovaj princip integracije potrebnih funkcija u VENIO sustav je jedan od temeljnih postulata njegovog razvoja.

2.3.4.2. Kontekstualni model VENIO sustava

Sustav se obično definira kao skup elemenata koji su povezani nekakvim odnosima, tj. relacijama. Takav odnos elemenata i njihovih veza naziva se stanjem sustava. Svaki sustav koji se promatra ili prati prolazi kroz manje ili više stanja u svom životu, tj. vremenu. Ključni pojam u promatranju stanja sustava jest događaj – on predstavlja promjenu stanja sustava u nekom vremenskom trenutku.

Događaj može nastupiti zbog nekoliko razloga. Jedan od razloga nastupanja događaja je ulazak ili izlazak nekog entiteta iz sustava. Drugi razlozi nastanka događaja mogu biti promjena svojstva nekog elementa sustava (npr. uzimanje artikla iz drugog *lota*, Slika 2.62.), početak ili završetak međudjelovanja elementa s okolinom (npr. suradnja s partnerom) ili drugim elementima samog sustava (npr. uređaj, operater, faza životnog ciklusa itd.).

Zadatak informacijskog sustava jest prikupljanje, obrada, spremanje i dostavljanje na uporabu podataka/informacija o stanjima nekog (stvarnog ili zamišljenog) sustava. Stoga kvalitetan informacijski sustav mora omogućiti praćenje događaja u sustavu po mnoštvu dimenzija uz što manje ometanje samog poslovnog sustava. Informacijski sustav ne smije biti iznad poslovnog sustava i poslovnih procesa, te postati svrha sam sebi (osim ako on sâm nije cilj poslovnih procesa, što je situacija u softverskim tvrtkama).

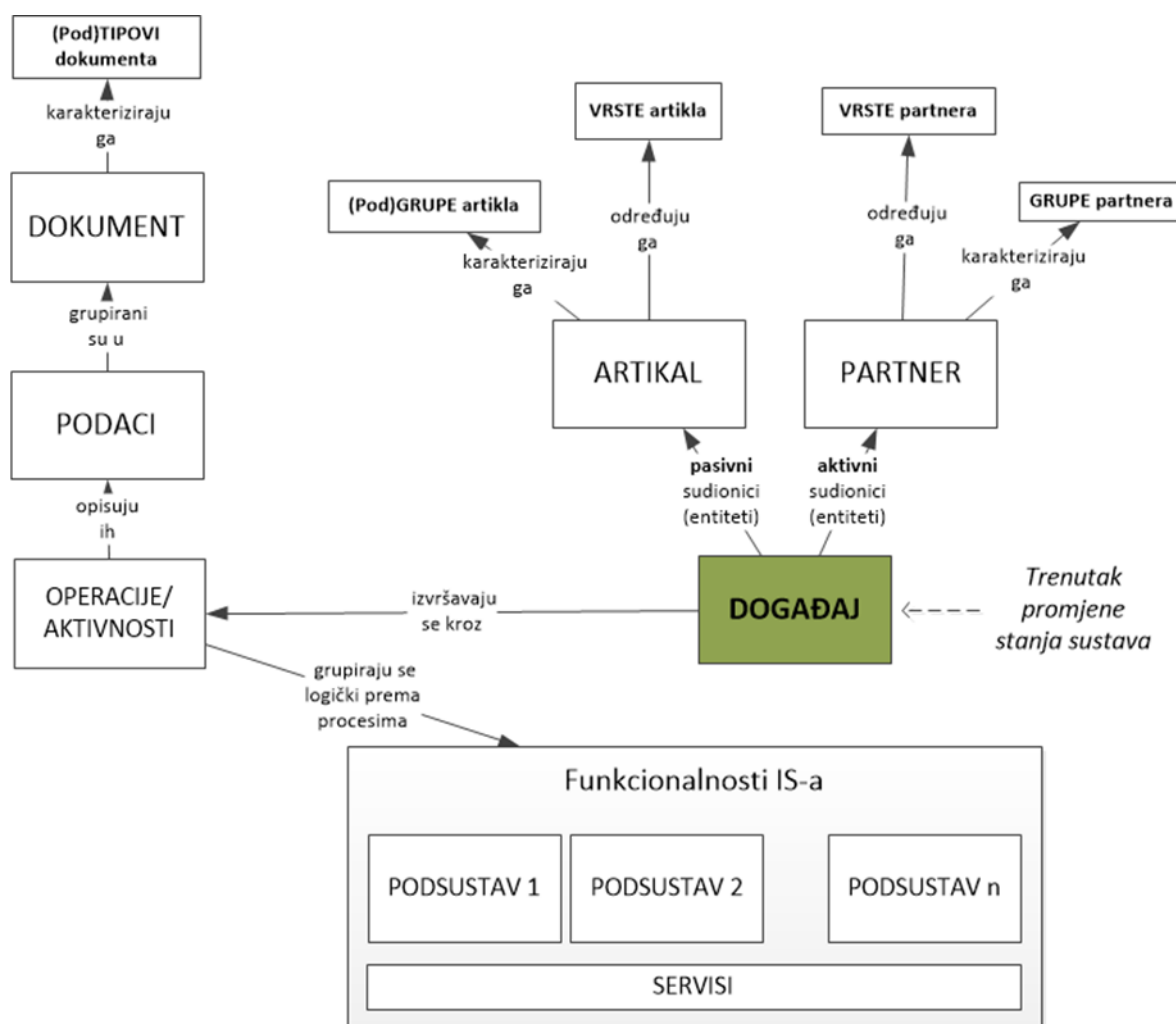


Slika 2.62. Kontekstualni model informacijskog sustava za Industriju 4.0

2.3.4.3. Konceptualni model VENIO sustava

Slika 2.63. prikazuje konceptualni model VENIO sustava koji omogućuje praćenje stanja poslovnog sustava. Već spomenuti događaji izvršavaju se kroz aktivnosti, koje dovode do promjene stanja sustava. U samim aktivnostima i događajima i sudjeluju razne vrste sudionika (partneri i artikli) koji se mogu grupirati na najrazličitije načine (onako kako odgovara potrebama sudionika – korisnika sustava). Aktivnosti i događaji povezuju se u logički srodne nizove (processe) kroz koje sustav prolazi.

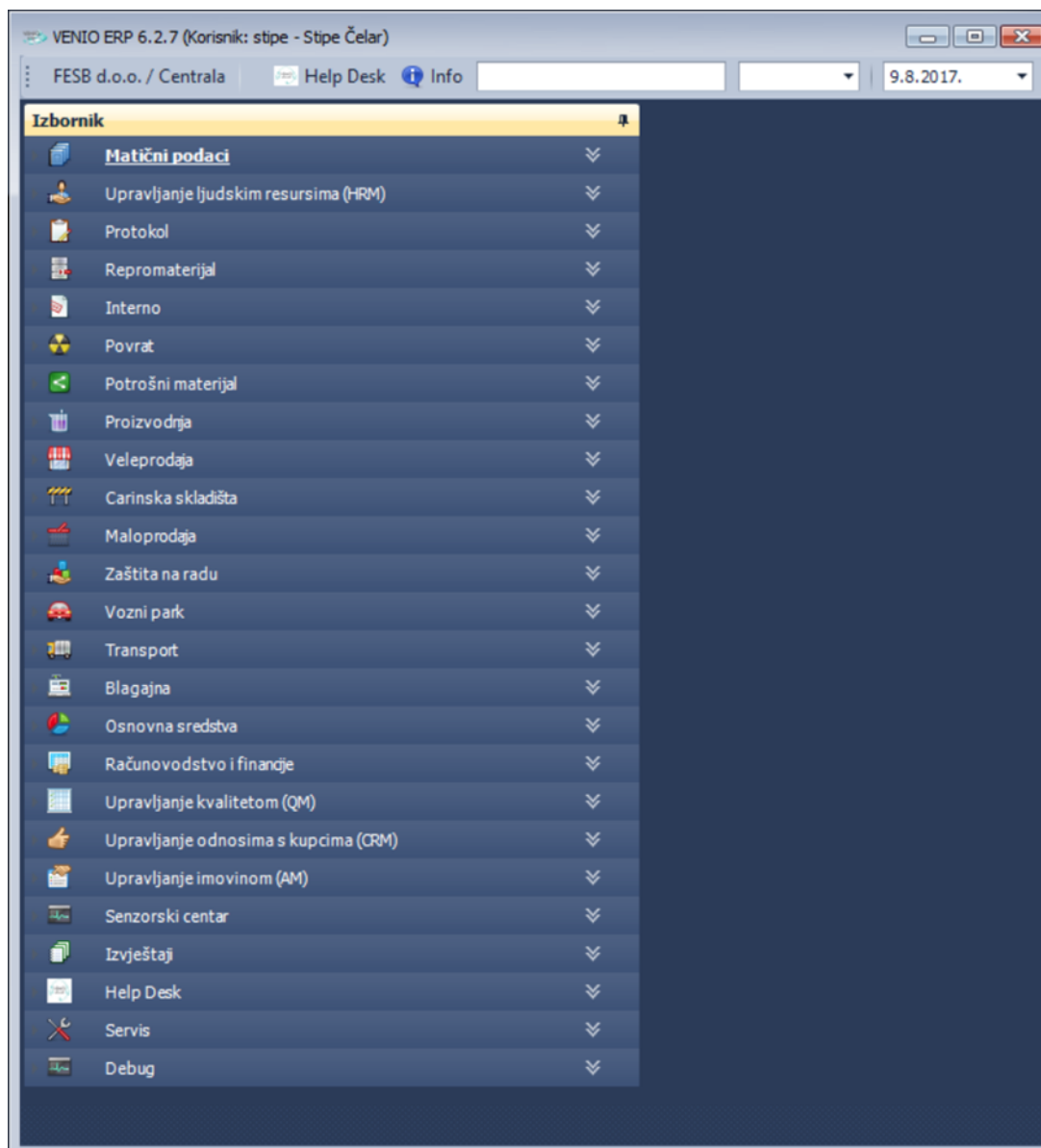
Svi ovi događaji moraju se opisati podacima, a njih je potrebno zapisati na neakve dokumente (račune, prijavnice, naloge, potvrde, sastavnice, narudžbe itd.) i na odgovarajući način obraditi u poslovnim procesima.



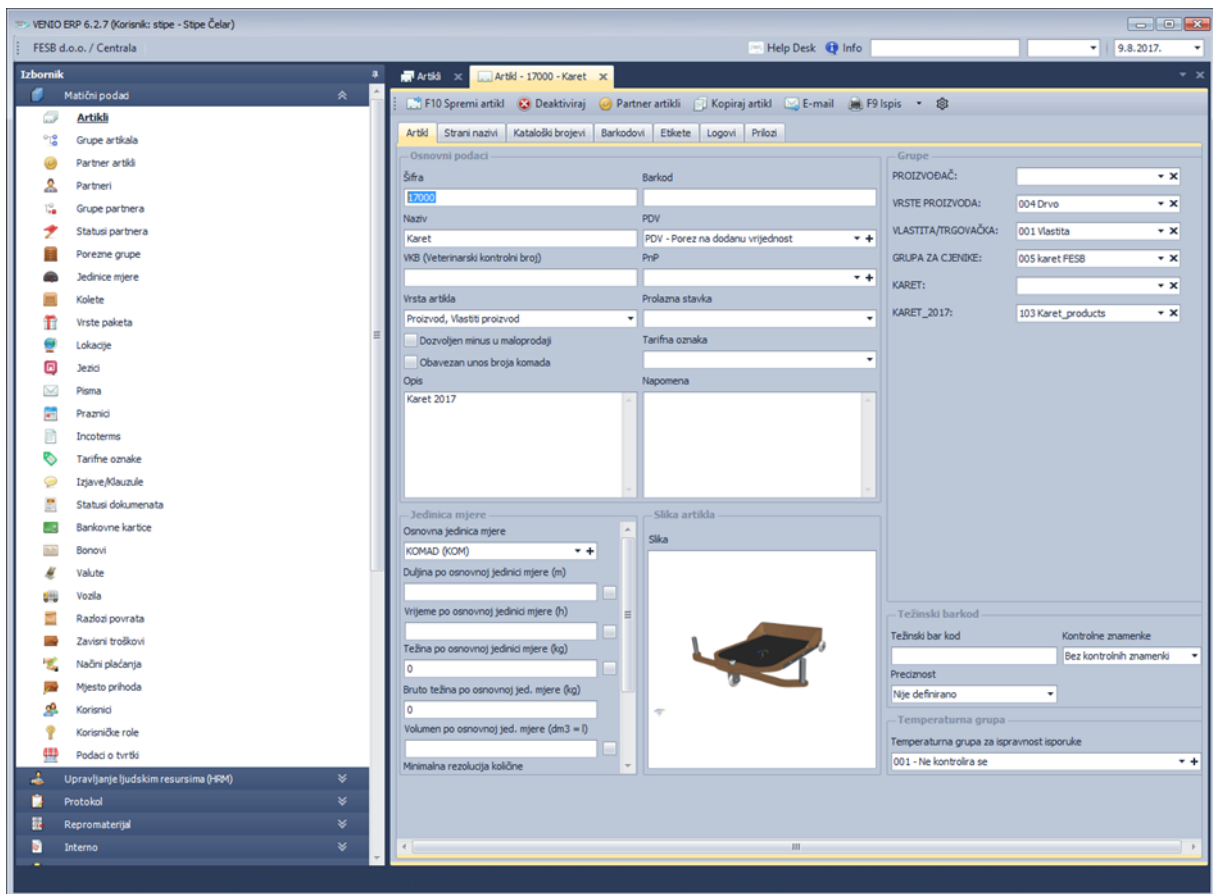
Slika 2.63. Konceptualni model informacijskog sustava za Industriju 4.0

2.3.4.4. Realizacija softvera (IS-a) za praćenje poslovnih procesa – VENIO sustav

Arhitektura VENIO sustava prikazana je na Slici 2.64. Osnovni modul *Matični podaci* nalazi se na samom vrhu preglednog izbornika i sadrži elemente (šifarnike) koji se koriste u više ili čak u svi ostalim podsustavima. Primjer takvih temeljnih elemenata jesu podaci o artiklu (Slika 2.65.) koji se definiraju u *Matičnim podacima*, a koriste u svim ostalim podsustavima.



Slika 2.64. Arhitektura VENIO sustava



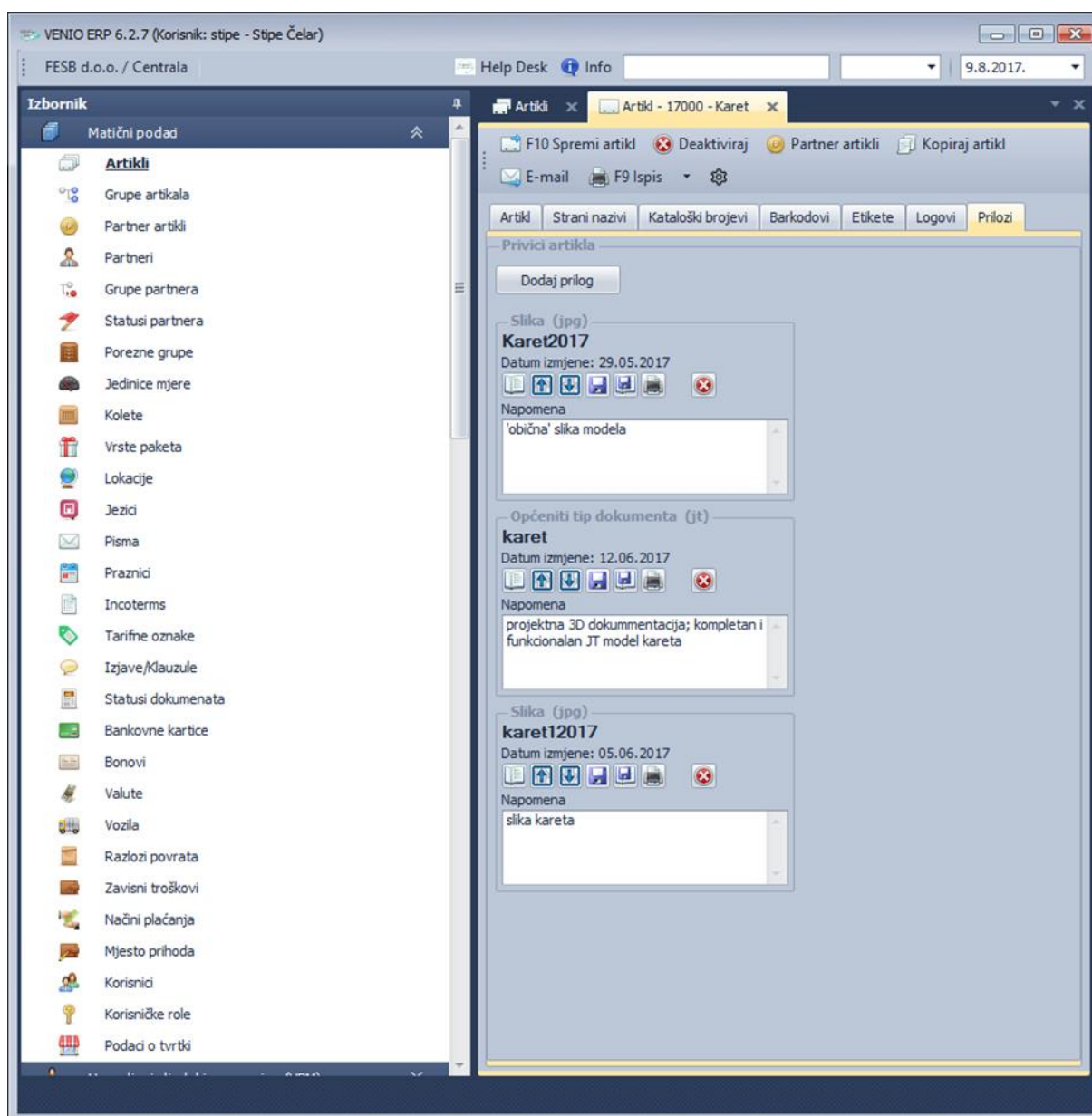
Slika 2.65. Primjer dijela podataka o artiklu karet u podsustavu Matični podaci

Uz same i osnovne podatke o artiklu, Slika 2.66., u sustav se mogu spremiti i brojne druge kolekcije podataka o artiklima:

- *Strani nazivi,*
- *Kataloški brojevi,*
- *Barkodovi,*
- *Etikete,*
- *Logovi.*

Pored toga, sustav omogućuje jednostavno spremanje i pregledavanje raznih vrsta priloga (Slika 2.68.), što je pogodno za npr. CAD dokumentaciju, CRM priloge ili sl.

Sustav je izrazito procesno orijentiran, što ga čini korisniku intuitivnim i jednostavnim za učenje i korištenje. Prilagodljivost sustava specifičnostima međusobno različitih poslovnih procesa pojedinih tvrtki postiže se velikom mogućnošću konfiguriranja. Za tu svrhu sustav sadrži veliki broj konfiguratora u podsustavu *Servisi* (Slika 2.69.).



Slika 2.66. Priložena dokumentacija o artiklu karet u Matičnim podacima (CAD, jpg i dr.)

Prilagodba specifičnim potrebama raznih korisnika postiže se i pojedinim konfiguratorima unutar pojedinih podsustava, npr:

- slobodno definiranje vlastitih faza proizvodnje (Slika 2.67.),
- slobodno definiranje vlastitih jedinica mjere,
- slobodno definiranje regalnih mjesta unutar skladišta,
- definiranje slobodnog načina generiranja *lot* broja za artikle: npr. neka skladišta mogu generirati *lotove* po svakom dokumentu (primci i radnom nalogu), a neka mogu generirati dnevne (za primke i radne naloge) unutar iste tvrtke,

VENIO ERP 6.2.7 (Korisnik: stipe - Stipe Čelar)

FESB d.o.o. / Centrala Help Desk Info 9.8.2017.

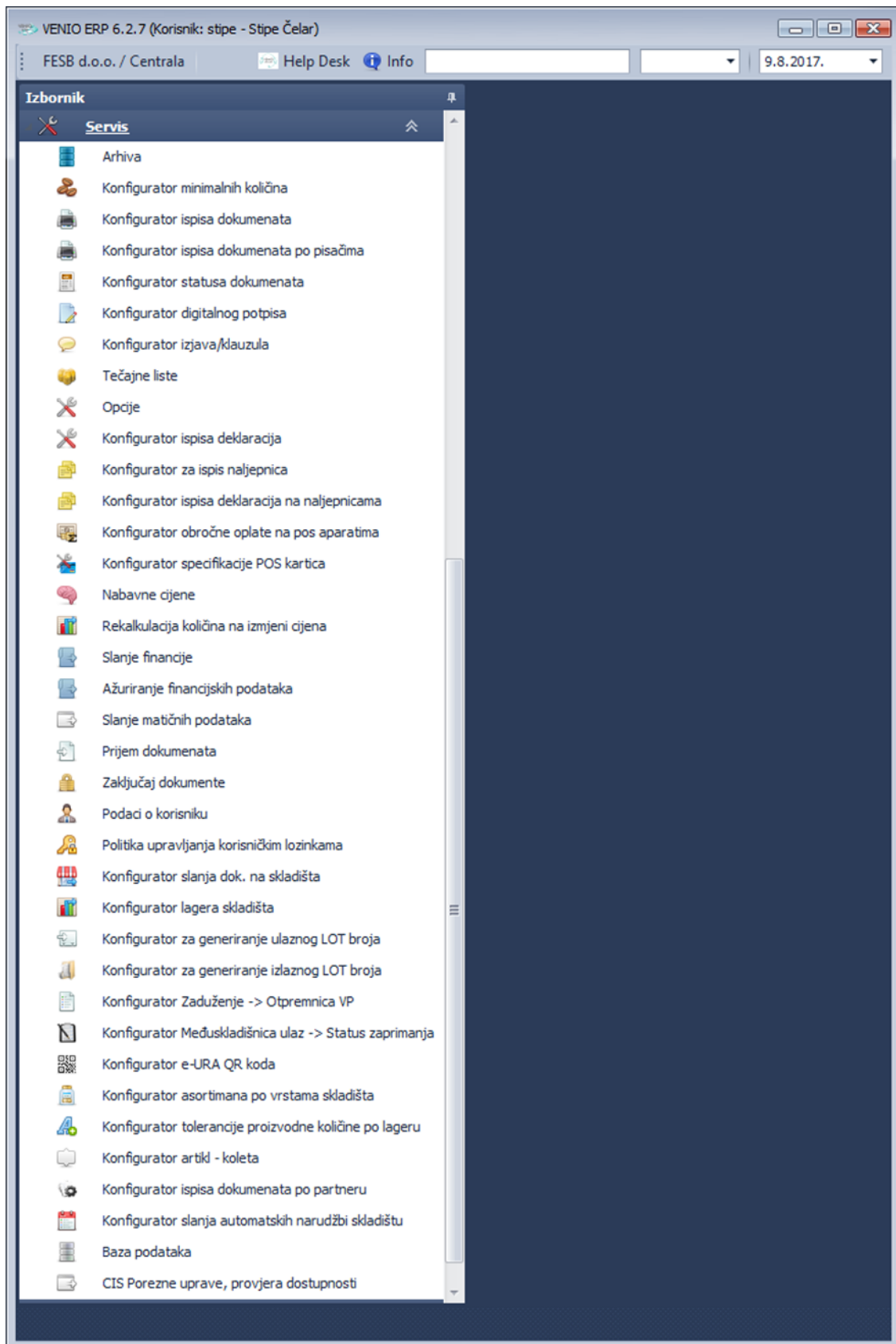
Izbornik Faze proizvodnje x

F10 Spremi F5 Osvježi F8 Excel F9 Ispis Faze proizvodnje Prilozi E-mail

Šifra	Naziv	Opis	Aktivan
F00	Prijem i priprema materijala	Provjera parametara kvalitete materijala	✓
F01	Analiza	Analiza zahtjeva na proizvod	✓
F02	Dizajn	Implementacija zahtjeva u odjelu dizajna	✓
F03	Konstrukcija	Izrada vlastitog proizvoda u pogonu	✓
F04	Kooperacija OUT	Proizvodi na doradi/izradi kod kooperanta	✓
F05	Kooperacija IN	Izrada proizvoda za kooperanta	✓

Record 1 of 6

Slika 2.67. Faze proizvodnje u podsustavu Proizvodnja



Slika 2.68. Dio konfiguratora VENIO sustava

2.3.5. PLAS – modul za planiranje i raspoređivanje (PLAS)

U okviru VENIO sustava realizirano je praćenje procesa proizvodnje prema modelu PLAS modula opisanom u ovom poglavlju. Glavni podsustavi kroz koje je implementiran PLAS modul su:

- Matični podaci (definirani artikli, partneri, korisnici, prava, skladišta, dokumenti i dr.),
- Proizvodnja (definirani su pogoni, uređaji, normativi/sastavnice i dr.),
- Osoblje (eng. *Human Resource Management – HRM*, Upravljanje ljudskim resursima) (definirana su radna mjesta i kategorije, kompetencije, razine kompetencija i dr.).

2.3.5.1. Konceptualni model PLAS modula

Slika 2.69. prikazuje koncept modula modula za planiranje i raspoređivanje zadataka (PLAS).

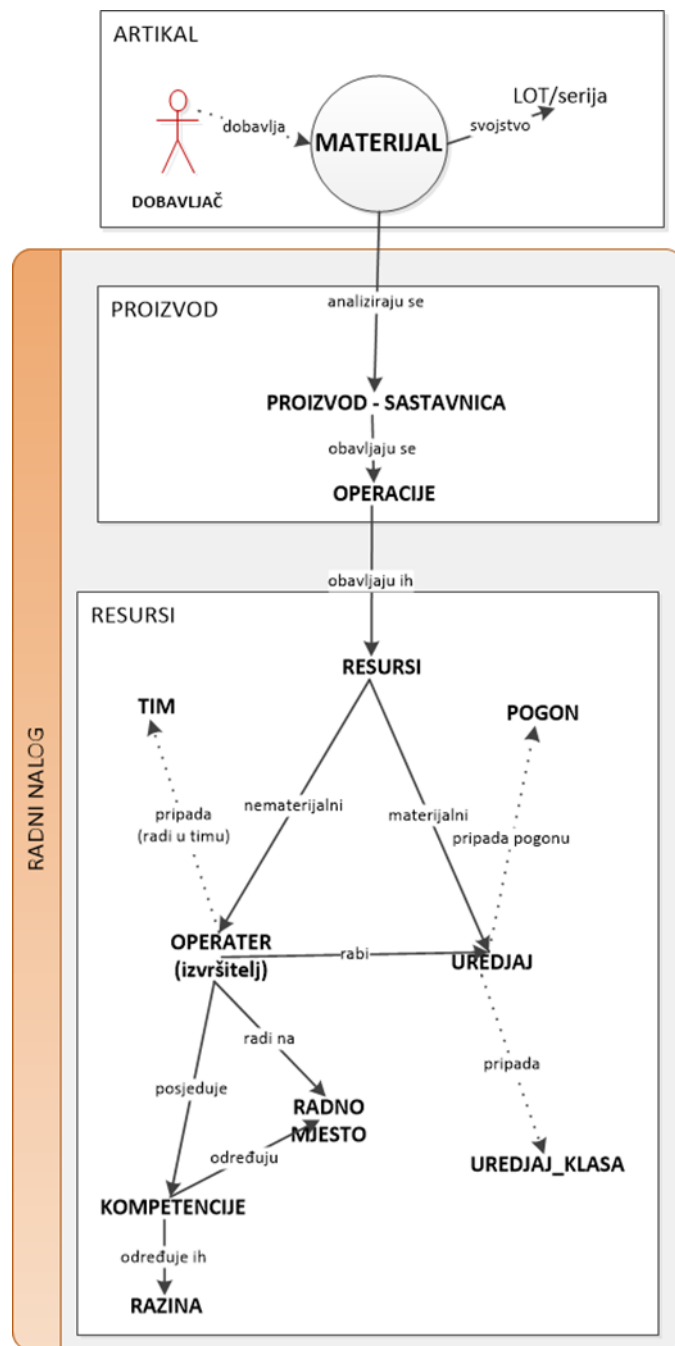
U sustavu se za svaki proizvod definiraju normativi, te potrebne operacije i resursi:

- mogući operateri (s odgovarajućim kompetencijama na radnim mjestima) i
- određeni uređaji (koji mogu obavljati definirane operacije).

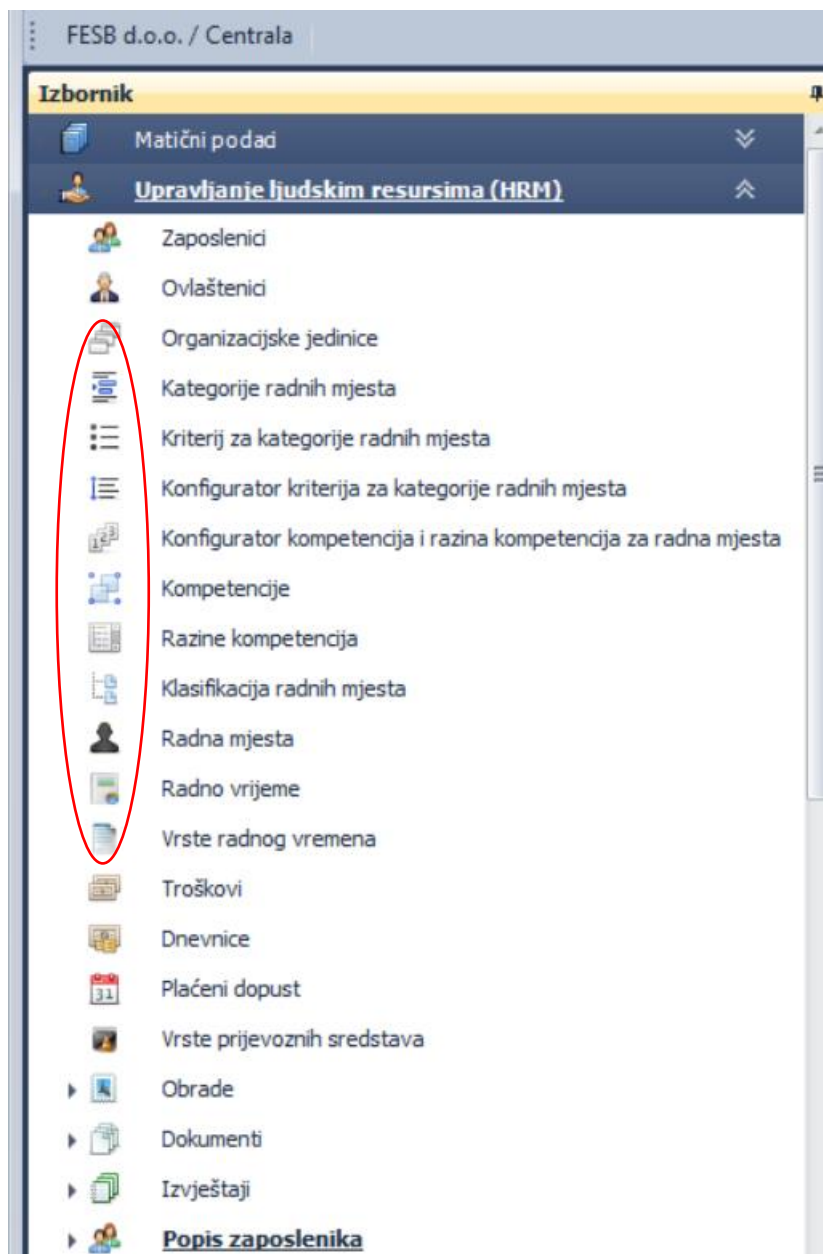
Dokument *Radni nalog* (RN) planira se kao niz pojedinačnih zadataka/operacija (operacija, operater, uređaj, pogon) i za njih se traži *Početak izvršenja* od strane operatera i uređaja (*vrijeme_pocetak*) uvažavajući prioritete operacija.

Operater ažurira *Početak* rada na operaciji/zadatku, te njen *Završetak* – za vrijeme trajanja operacije on je zauzet u definiranom postotku. Stvarno *Trajanje* se kasnije može uspoređivati s *Planskim*, definiranim u sustavu za pojedinu operaciju, koje služi kao parametar pri terminiranju.

U sustavu (u podsustavu *Upravljanje ljudskim resursima*) definiraju se *Kompetencije* i *Radno mjesto* operatera (Slika 2.70.). Dok obavlja *Operaciju* na *Uredjaju*, *Operater* je zauzet u postotku definiranom u sustavu za pojedinu *Operaciju*.



Slika 2.69. Konceptualni model PLAS modula



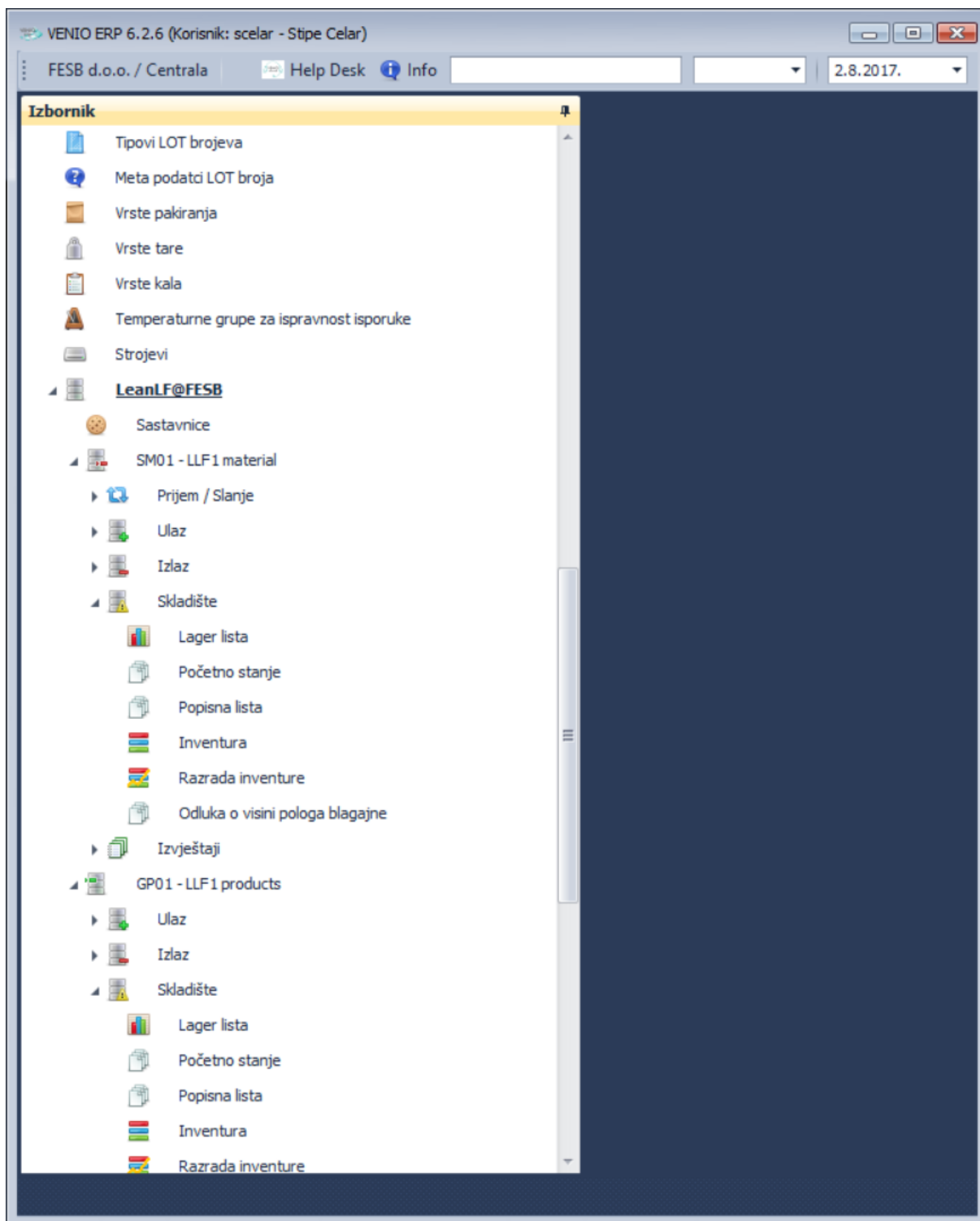
Slika 2.70. Najvažniji koncepti za praćenje proizvodnje (ugrađeni u podsustav HRM)

2.3.5.2. Praćenje proizvodnje na temelju vezanih dokumenata (temeljeno na OAGIS i UN/CEFACT)

Za detaljno praćenje stanja u sustavu proizvodnje (ali i u ostalim poslovnim procesima) razvijen je niz vezanih dokumenata temeljenih na dobrim praksama i standardima (između ostalih i na OAGIS i UN/CEFACT standardima). Na Slici 2.71., Slici 2.72. i Slici 2.73. ukratko je prikazan koncept praćenja procesa proizvodnje.

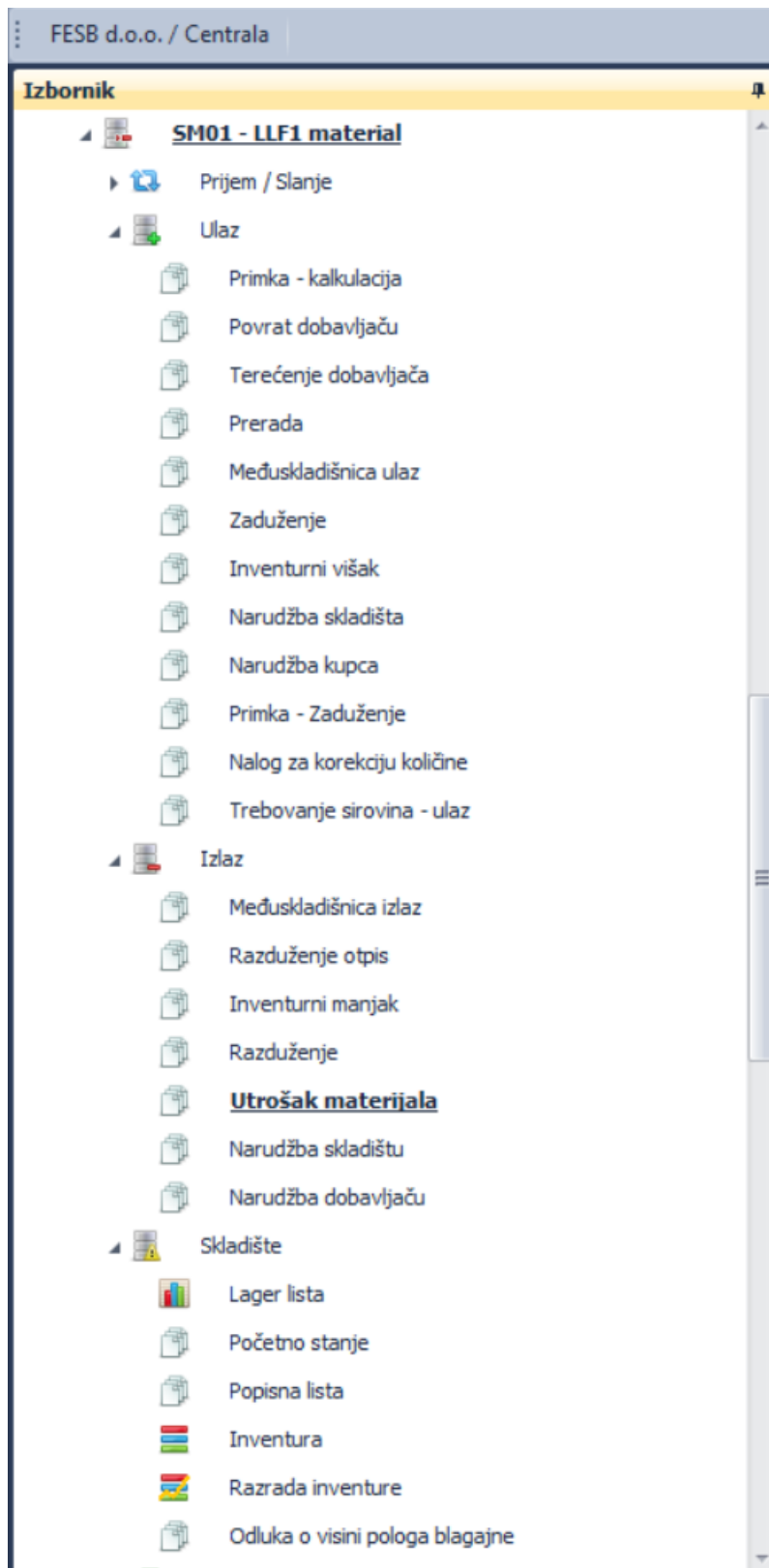
Sama proizvodnja organizirana je kroz *proizvodne pogone* (LeanLF@Fesb, Slika 2.71.) a svaki pogon sastoji se od dva logička skladišta:

- Skladišta materijala (**SM01 – LLF1 material**) i
- Skladišta gotovih proizvoda (**GP01 – LLF1 products**).

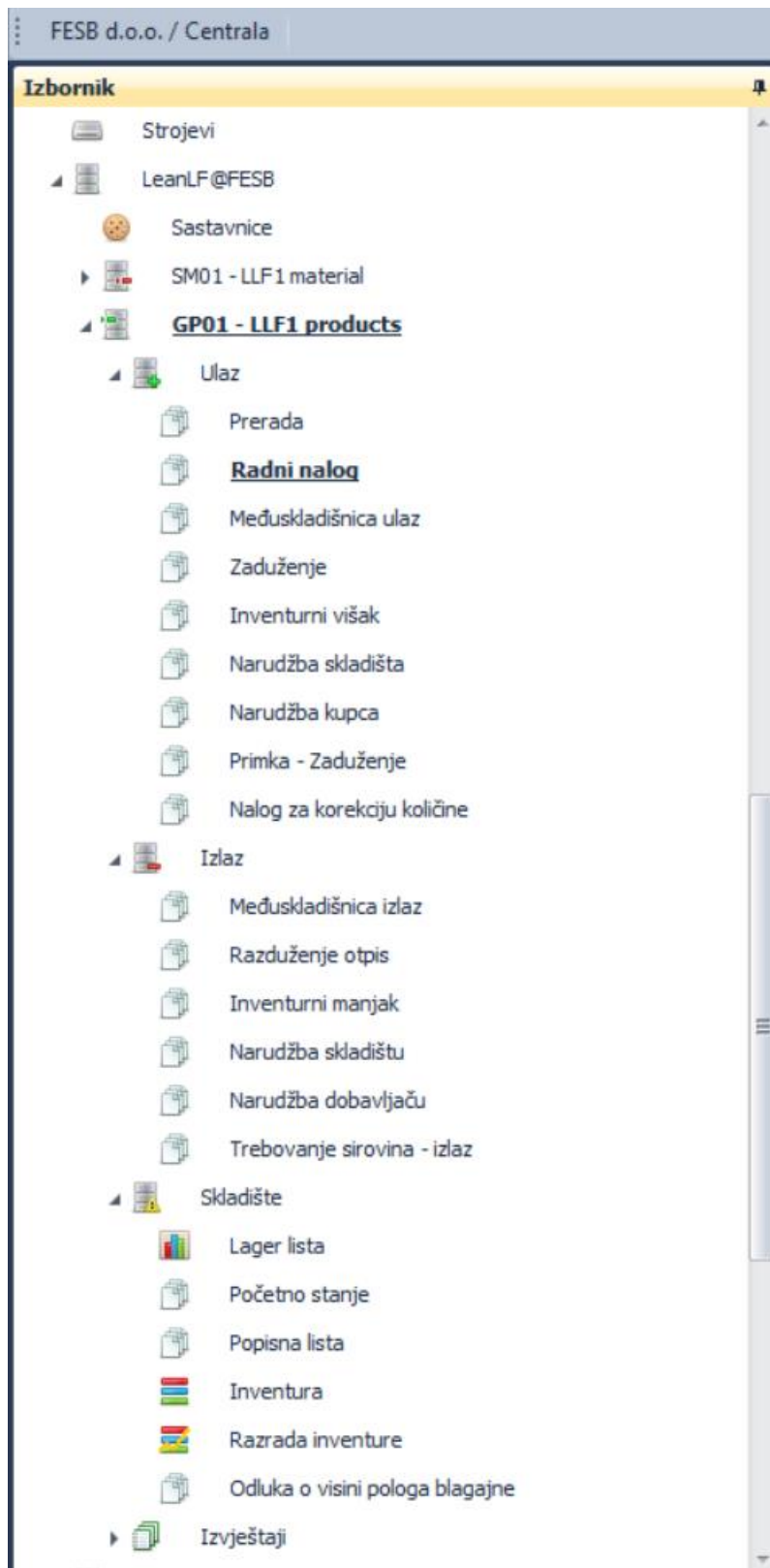


Slika 2.71. Arhitektura podsustava 'Proizvodnja' u VENIO sustavu

Unutar svakog skladišta (Slika 2.72. i Slika 2.73.) događaji se prate **dokumentima**, podijeljenima na *ulazne* i *izlazne* dokumente. Rezultati *stanja* na skladištu kao posljedica ulaza i izlaza vidljivi su unutar funkcije *Skladište*, dok su unutar svakog skladišta dostupni i izvještaji iz dokumenata s tog skladišta (funkcija *Izveštaji*).



Slika 2.72. Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza materijala (LLF1 material)



Slika 2.73. Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza gotovih proizvoda (LLF1 products)

Važno je napomenuti, da je unos ovih dokumenata automatiziran, jer su oni povezani u logične procesne nizove – dovoljno je *generirati* samo početni u nizu. Svi ostali su povezani

nekim *događajima*, tj. zahtijevaju vrlo jednostavne operacije korisnika ili prihvata signala od senzora.

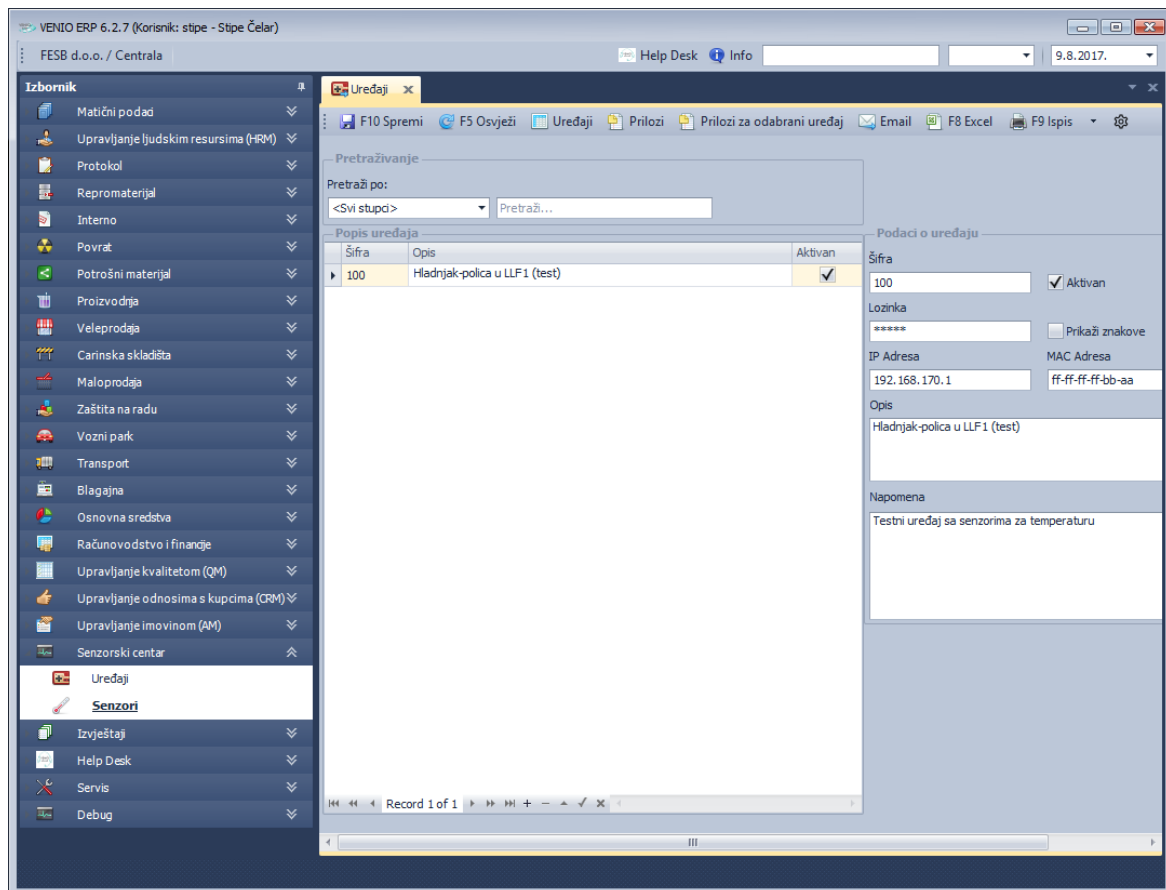
2.3.5.3. Podsustav 'Senzorski centar' – vertikalna 'ulaznica' u CPPS svijet

Podaci o *događajima* i *aktivnostima/operacijama* u poslovnom sustavu upisuju se u *dokumente* na nekoliko načina:

- korisnik ih unosi ručno,
- prenose se iz već postojećeg dokumenta (manje ili više obrađeni/promijenjeni),
- preuzimaju se iz nekog drugog sustava/aplikacije,
- preuzimaju se od nekog izvora podataka (senzora).

Ovaj posljednji način postat će u Industriji 4.0 glavni način unosa podataka u dokumente CPPS-a. Stoga je u VENIO sustavu razvijen podsustav *Senzorski centar* (Slika 2.74.) u kojem se definiraju uređaji i njihovi pripadni senzori. Za senzore je moguće definirati mjerljive parametre (npr. temperaturu, vlažnost i dr.), njihove mjerne jedinice i granice mjerenja, rezolucije mjerenja, tolerancije, i sl. atribute.

Ovime je omogućena vertikalna integracija različitih senzora i uređaja, odnosno integracija njihovih podataka i funkcija u VENIO sustav.



Slika 2.74. Definicija uređaja u podsustavu Senzorski centar

2.4. Upravljanje kvalitetom – sustavi, metode i tehnike

2.4.1. Sustavi upravljanja kvalitetom

Upravljanje kvalitetom (engl. *Quality Management*) je dio funkcije upravljanja organizacijom s obzirom na kvalitetu (ISO 9000:2015).

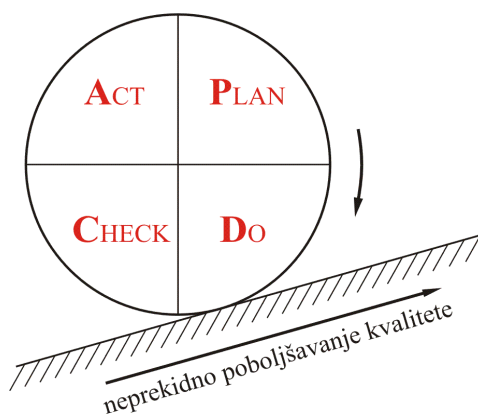
Upravljanje kvalitetom uključuje uspostavljanje **politike kvalitete** i **ciljeva kvalitete**, te procesa za postizanje tih ciljeva kvalitete kroz:

- planiranje kvalitete
- osiguravanje kvalitete
- kontrolu kvalitete te
- poboljšavanje kvalitete.

Modeli upravljanja kvalitetom:

- Niz norma ISO 9001
- *TQM (Total Quality Management)*
- *Six Sigma*.

Modeli upravljanja kvalitetom temelje se na *PDCA* ciklusu (Slika 2.75.).



Slika 2.75. *PDCA* ciklus

1. Planirajte (engl. *Plan*):

- Prepoznajte probleme i formirajte tim za poboljšavanje;
- Razjasnite problem, postavite mjerljive ciljeve/rezultate u skladu sa zahtjevima kupaca/korisnika i politikom organizacije, napravite vremenski plan i troškovnik;
- Utvrdite uzroke problema, rangirajte uzroke problema prema značenju, objasnite uzroke problema. Prikupite i analizirajte podatke;
- Odredite rješenje i razradite plan radnji potrebnih za ostvarivanje ciljeva. Rješenje mora biti takvo da će spriječiti ponavljanje problema, mora biti troškovno učinkovito i primjenjivo u prihvatljivom vremenskom intervalu.

Alati i metode: *7QCT*, *brainstorming*, dijagram srodnosti, dijagram odnosa, stablo dijagram, matrični dijagram

2. Obavite/Provedite (engl. *Do*):

- Organizirajte i provedite potrebnu izobrazbu;
- Primijenite rješenje problema upravo onako kako je planirano.

Alati i metode: obrazovanje, timski rad, rješavanje konflikata

3. Kontrolirajte (engl. *Check*):

- Mjerite rezultate provedenih radnji poboljšavanja i usporedite rezultate s postavljenim ciljevima;
- Potvrdite uklanjanje korijenskih uzroka;
- Prezentirajte menadžmentu dobivene rezultate.

Alati i metode: ispitne liste, ključni pokazatelji učinka (*KPI*)

4. Djelujte/Poboljšajte (engl. *Act*):

- Normirajte rješenja (napišite postupke) kako bi se spriječio povratak na staro;
- Planirajte izobrazbu svih onih koji trebaju raditi na novi način;
- Preispitajte preostale, manje značajne uzroke – tražite i poduzimajte aktivnosti za nova, stalna poboljšavanja učinkovitosti proizvoda, procesa i sustava.

Alati i metode: standardizacija procesa, mapiranje procesa, izvještavanje, Pareto analiza, upravljanje promjenama.

2.4.1.1. Upravljanje kvalitetom prema zahtjevima niza norma ISO 9000

Niz norma ISO 9000:

1. **ISO 9000:2015 *Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*** (HRN EN ISO 9000:2015 *Sustavi upravljanja kvalitetom - Temeljna načela i terminološki rječnik*)
2. **ISO 9001:2015 *Quality management systems – Requirements*** (HRN EN ISO 9001:2015 *Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi*)
3. **ISO 9004:2009 *Managing for the sustained success of an organization - A quality management approach*** (HRN EN ISO 9004:2010 *Upravljanje u svrhu trajne uspješnosti organizacije - Pristup upravljanju kvalitetom*)

Norme koje mogu pomoći organizacijama kada ustanovljuju ili nastoje poboljšati svoje sustave upravljanja kvalitetom, procese ili djelatnosti:

- **ISO 10001 *Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for codes of conduct for organizations*** (Upravljanje kvalitetom – Zadovoljstvo kupca – Smjernice za kodeks ponašanja za organizacije)
- **ISO 10002 *Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for complaints handling in organizations*** (Upravljanje kvalitetom – Zadovoljstvo kupca – Smjernice za postupanje s reklamacijama u organizacijama)
- **ISO 10003 *Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for dispute resolution external to organizations*** (HRN ISO 10003:2009 Upravljanje kvalitetom – Zadovoljstvo kupca – Smjernice za rješavanje sporova izvan organizacija)

- **ISO 10004 Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for monitoring and measuring** (HRN ISO 10004:2016 Upravljanje kvalitetom – Zadovoljstvo kupca – Smjernice za praćenje i mjerenje)
- **ISO 10005 Quality management systems – Guidelines for quality plans** (HRN ISO 10005:2008 Sustavi upravljanja kvalitetom – Smjernice za planove kvalitete)
- **ISO 10006 Quality management systems – Guidelines for quality management in projects** (HRN ISO 10006:2008 Sustavi upravljanja kvalitetom – Smjernice za upravljanje kvalitetom u projektima)
- **ISO 10007 Quality management systems – Guidelines for configuration management** (HRN ISO 10007:2009 Sustavi upravljanja kvalitetom – Smjernice za upravljanje konfiguracijom)
- **ISO 10008 Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for business-to-consumer electronic commerce transactions** (HRN ISO 10008:2016 Upravljanje kvalitetom – Zadovoljstvo kupca – Smjernice za elektroničke trgovinske transakcije za poslovanje s potrošačem)
- **ISO 10012 Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment** (HRN ISO 10012:2003 Sustav upravljanja mjerenjima – Zahtjevi za mjerne procese i mjernu opremu)
- **ISO/TR 10013 Guidelines for quality management system documentation** (HRN ISO/TR 10013:2001 Smjernice za izradu dokumentacije sustava upravljanja)
- **ISO 10014 Quality management – Guidelines for realizing financial and economic benefits** (HRN ISO 10014:2008 Upravljanje kvalitetom – Smjernice za ostvarivanje novčane i gospodarske koristi)
- **ISO 10015 Quality management – Guidelines for training** (HRN ISO 10015:2002 Upravljanje kvalitetom – Smjernice za izobrazbu)
- **ISO/TR 10017 Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000** (HRN ISO/TR 10017:2003 Upute za statističke tehnike za ISO 9001:2000)
- **ISO 10018 Quality management – Guidelines on people involvement and competence** (HRN ISO 10018:2016 Upravljanje kvalitetom – Smjernice o uključenosti i osposobljenosti osoblja)
- **ISO 10019 Guidelines for the selection of quality management system consultants and use of their services** (HRN ISO 10019:2008 Smjernice za odabir i korištenje usluga konzultanata za sustav upravljanja kvalitetom)
- **ISO 19011 Guidelines for auditing management systems** (HRN EN ISO 19011:2012 Smjernice za provođenje audita sustava upravljanja)

Načela upravljanja kvalitetom prema zahtjevima niza norma ISO 9000:

1. Usmjerenost na kupca
2. Vodstvo
3. Angažman osoblja
4. Procesni pristup
5. Poboljšavanje
6. Donošenje odluka na temelju dokaza
7. Upravljanje odnosima

U nastavku će se ukratko opisati zahtjevi koje postavlja norma HRN EN ISO 9001:2015. Moguće prednosti za organizaciju koja primjenjuje sustav upravljanja kvalitetom utemeljen na ispunjavanju zahtjeva norme HRN EN ISO 9001:2015 su:

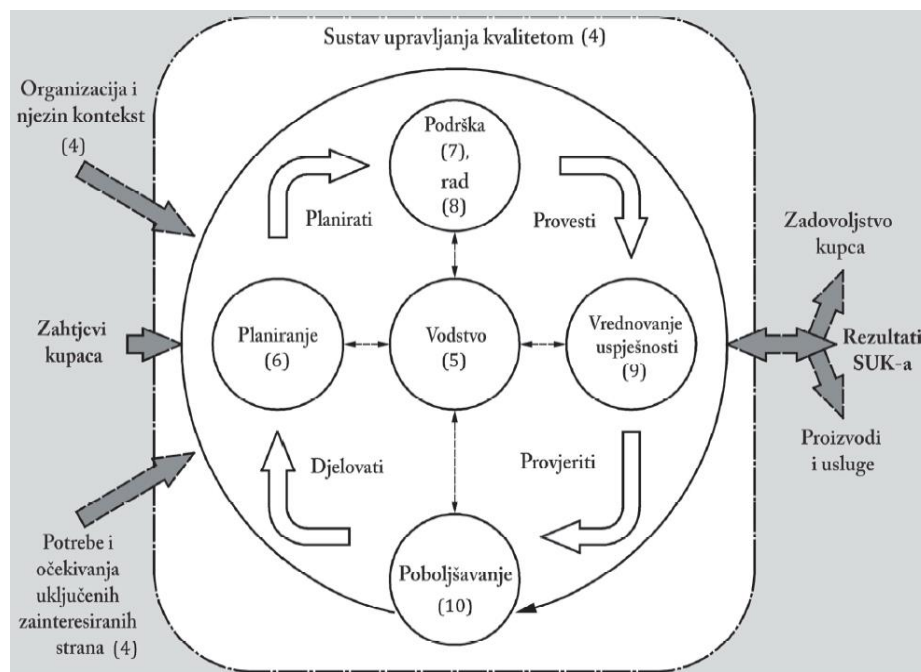
- a) sposobnost dosljedne isporuke proizvoda i pružanja usluga koji ispunjavaju zahtjeve kupaca i primjenjive zahtjeve zakona i propisa
- b) veće prilike za povećanje zadovoljstva kupaca
- c) poduzimanje koraka povezanih s rizicima i prilikama vezanim uz kontekst i ciljeve organizacije
- d) sposobnost dokazivanja sukladnosti s navedenim zahtjevima sustava upravljanja kvalitetom.

Ovu normu mogu primjenjivati unutarnje i vanjske strane.

Norma promiče procesni pristup u razvoju, primjeni i poboljšavanju djelotvornosti sustava upravljanja kvalitetom s ciljem da se poveća zadovoljstvo kupaca ispunjavanjem njihovih zahtjeva.

Procesni pristup uključuje sustavno definiranje i upravljanje procesima i njihovim međudjelovanjima kako bi se postigli predviđeni rezultati u skladu s politikom kvalitete i strateškim usmjerenjem organizacije. Upravljanje procesima i sustavom kao cjelinom može se postići primjenom *PDCA* ciklusa s općenitim težištem na pristupu utemeljenom na rizicima.

PDCA ciklus može se primijeniti na sve procese i na sustav upravljanja kvalitetom kao cjelinu (Slika 2.76.).



Slika 2.76. Sustav upravljanja kvalitetom

U nastavku detaljnije su objašnjene pojedine točke na Slici 2.76.

(4) Kontekst organizacije

Zahtijeva se:

- razumijevanje organizacije i njenog konteksta što znači da organizacija mora odrediti vanjska i unutarnja pitanja koja su bitna za njezinu svrhu i njezino strateško usmjerenje, a koja utječu na sposobnost postizanja predviđenih rezultata njezina sustava upravljanja kvalitetom
- razumijevanje potreba i očekivanja zainteresiranih strana
- određivanje područja sustava upravljanja kvalitetom
- uspostavljanje, primjena, održavanje i neprekidno poboljšavanje sustava upravljanja kvalitetom, uključujući potrebne procese i njihovo međusobno djelovanje u skladu sa zahtjevima ove norme.

(5) Vodstvo

Od najviše uprave organizacije zahtijeva se opredjeljenje i preuzimanje vodeće uloge u definiranju, oblikovanju, razvoju, primjeni, nadzoru i stalnom poboljšanju sustava kvalitete.

Zahtjevi se odnose na:

- utvrđivanje zahtjeva kupaca, zakona i propisa te na održavanje opredjeljenja na povećanje zadovoljstva kupaca
- uspostavu, primjenu i održavanje politike kvalitete
- osiguranje da unutar organizacije budu dodijeljene, priopćene i shvaćene odgovornosti i ovlaštenja za odgovarajuće uloge.

(6) Planiranje

Zahtjevi se odnose:

- na planiranje mjera povezanih s upravljanjem rizicima i prigodama
- na ustanovljavanje ciljeve kvalitete na odgovarajućim funkcijama, razinama i procesima potrebnim za sustav upravljanja kvalitetom te planiranja ostvarivanja tih ciljeva
- na planiranje promjena (svrhu, potrebne resurse, odgovornosti i ovlaštenja).

(7) Podrška

Zahtjevi za podršku organizaciji obuhvaćaju:

- **Resurse:** Organizacija mora odrediti i osigurati resurse potrebne za uspostavu, primjenu, održavanje i neprekidno poboljšavanje sustava upravljanja kvalitetom. Resursi se odnose na osoblje, infrastrukturu, okruženje za odvijanje procesa, resurse za nadzor i mjerenje te znanje u organizaciji.
- **Osposobljenost:** Organizacija mora odrediti i osigurati (na temelju odgovarajućeg obrazovanja, obuke ili iskustva) potrebnu osposobljenost osobe(a) koje rade pod njezinim nadzorom.
- **Svjesnost:** Organizacija mora osigurati da su osobe koje rade pod njezinim nadzorom upoznate s politikom kvalitete, odgovarajućim ciljevima kvalitete, njihovim doprinosom djelotvornosti sustava upravljanja kvalitetom i posljedicama neispunjavanja zahtjeva za sustav upravljanja kvalitetom.

- **Komunikacija:** Organizacija mora odrediti unutarnju i vanjsku komunikaciju važnu za sustav upravljanja kvalitetom.
- **Dokumentirane informacije:** Sustav upravljanja kvalitetom u organizaciji mora uključivati dokumentirane informacije koje zahtijeva ova norma i dokumentirane informacije za koje organizacija utvrdi da su potrebne za djelotvornost sustava upravljanja kvalitetom. *Dokumentirane informacije* zamjenjuje pojmove *dokumentirani postupak* i *zapis* iz norme ISO 9001:2008.

(8) Radni proces

Navedeni su zahtjevi za procese koji se tiču izrade proizvoda i pružanja usluga (proizvodnja i kontrola proizvodnje).

Zahtjevi su dani za:

- **Operativno planiranje i nadzor** - Organizacija mora planirati, provoditi i nadzirati procese potrebne za ispunjavanje zahtjeva za isporuku proizvoda i pružanje usluga
- **Za proizvode i usluge** - Organizacija mora uspostaviti komunikaciju s kupcem, odrediti zahtjevi za proizvode i usluge te osigurati da može ispuniti zahtjeve za proizvode i usluge koje će nuditi kupcima. Organizacija mora prije preuzimanja obveze isporuke proizvoda i pružanja usluga kupcu provesti preispitivanje značajki proizvoda.
- **Projektiranje i razvoj proizvoda i usluga** - Organizacija mora ustanoviti, primijeniti i održavati proces projektiranja i razvoja koji je prikladan za osiguranje narednih isporuka proizvoda i pružanja usluga. Organizacija mora planirati sve faze projektiranja i razvoja.
- **Nadzor nad procesima, proizvodima i uslugama pribavljenim od vanjskih dobavljača** - Organizacija mora odrediti postupke nadzora i osigurati da procesi, proizvodi i usluge pribavljeni od vanjskih dobavljača ispunjavaju zahtjeve.
- **Proizvodnja i pružanje usluga** - Organizacija mora uspostaviti proizvodnju i pružanje usluga pod nadziranim uvjetima (raspoloživost dokumentiranih informacija, raspoloživost i upotrebu prikladnih resursa za praćenje i mjerenje, provedbu praćenja i mjerenja u odgovarajućim fazama itd.). Organizacija mora ispuniti zahtjeve s obzirom na radnje poslije isporuke povezane s proizvodima i uslugama.
- **Puštanje proizvoda i usluga u promet** - Organizacija mora sačuvati dokumentirane informacije o puštanju proizvoda i usluga u promet. Dokumentirane informacije moraju uključivati dokaz sukladnosti s kriterijima prihvatljivosti te sljedivost do osobe(a) koja je odobrila puštanje u promet.
- **Nadzor nad nesukladnim izlazima** - Organizacija mora poduzeti prikladne mjere koje se temelje na prirodi nesukladnosti i njezinu utjecaju na sukladnost proizvoda i usluga. Mjere se primjenjuju i na nesukladne proizvode i usluge otkrivene nakon isporuke proizvoda, za vrijeme ili nakon pružanja usluga.

(9) Vrednovanje mjerljivih rezultata

Vrednovanje obuhvaća različite postupke pregleda i provjera.

- Organizacija mora pratiti doživljaj kupaca u pogledu ispunjenosti njihovih potreba i očekivanja. Organizacija mora odrediti metode za dobivanje, praćenje i preispitivanje tih informacija, te analizirati i vrednovati odgovarajuće podatke i informacije koji proizlaze iz praćenja i mjerenja.

- Organizacija mora u planiranim vremenskim razdobljima provoditi interne audite sustava upravljanja kvalitetom.
- Uprava mora u planiranim vremenskim razdobljima preispitivati sustav upravljanja kvalitetom u organizaciji radi osiguranja trajne prikladnosti, primjerenosti, djelotvornosti i usklađenosti sa strateškim usmjerenjem u organizaciji.

Rezultati ovih provjera imaju za cilj održavanje sustava i procesa unutar ciljanih vrijednosti kako bi se razine kvalitete organizacije trajno održavala i poboljšavala.

(10) Poboljšavanje

Organizacija mora odrediti i odabrati prilike za poboljšavanje i provesti sve potrebne mjere za ispunjavanje zahtjeva kupaca i povećanje njihova zadovoljstva.

Kada se pojavi nesukladnost, organizacija mora:

- a) reagirati na nesukladnost
- b) vrednovati potrebu za radnjama za uklanjanje uzroka nesukladnosti kako se ona ne bi ponovno pojavila ili dogodila negdje drugdje
- c) provesti bilo koju potrebnu radnju
- d) preispitati djelotvornost svake poduzete popravne radnje
- e) kada je potrebno, osuvremeniti podatke o rizicima i prilikama utvrđene tijekom planiranja
- f) kada je potrebno, izvršiti promjene u sustavu upravljanja kvalitetom.

Popravne radnje moraju biti primjerene posljedicama pronađenih nesukladnosti.

Organizacija mora trajno poboljšavati prikladnost, primjerenost i djelotvornost sustava upravljanja kvalitetom.

Za učinkovito uvođenje sustava upravljanja kvalitetom važno je provesti sljedeće:

1. Opredjeljenost i odluka uprave za uvođenje sustava upravljanja kvalitetom
2. Izrada dokumentacije sustava upravljanja kvalitetom
3. Primjena sustava upravljanja kvalitetom u praksi
4. Vrijednovanje sustava upravljanja kvalitetom.

2.4.1.2. TQM

Na Tablici 2.13. prikazane su osnovne razlike između tradicionalnog pristupa kvaliteti i *TQM-a*.

Načela *TQM-a*:

- **Usmjerenost na zadovoljstvo kupaca**
- **Vodstvo (uključenost menadžmenta)**
- **Sudjelovanje svih zaposlenika.** Od zaposlenika se traži i očekuje da aktivno i ravnopravno sudjeluju u poboljšavanju kvalitete. Davanje ovlasti zaposlenicima u donošenju odluka koje će doprinijeti zadovoljstvu kupaca, pokazuje najvišu razinu povjerenja.
- **Timski rad zaposlenika.** Tipični primjer organiziranja timskog rada su *krugovi kvalitete*.

- **Usmjerenost na procese.** S obzirom na to da je kvaliteta proizvoda funkcija kvalitete procesa u kojima se proizvodi realiziraju, *TQM* je usmjeren na ugrađivanje kvalitete u procese.
- **Neprekidno poboljšavanje.** U cilju ispunjavanja zahtjeva i očekivanja kupaca, organizacije neprekidno poboljšavaju procese, ali i sve aspekte poslovanja. Neprekidno poboljšavanje odnosi se i na promjene koje su male i postupne, i na skokovita i brza poboljšavanja.
- **Odlučivanje temeljem činjenica.** Svi napori u *TQM* moraju se argumentirati činjenicama, stoga je nužno prikupljati, analizirati i uspoređivati podatke.
- **Razvoj partnerskih odnosa.** U ostvarivanju zajedničkog cilja organizacije razvijaju partnerske odnose ne samo s kupcima nego i dobavljačima, ali i sindikatima.
- **Društvena odgovornost.** Od organizacije se očekuje da skrbi o poslovnoj etici, zdravlju i sigurnosti zajednice, zaštiti okoliša te pružanju potpore zajednici i profesiji.

Tablica 2.13. Razlika između tradicionalnog pristupa i *TQM*

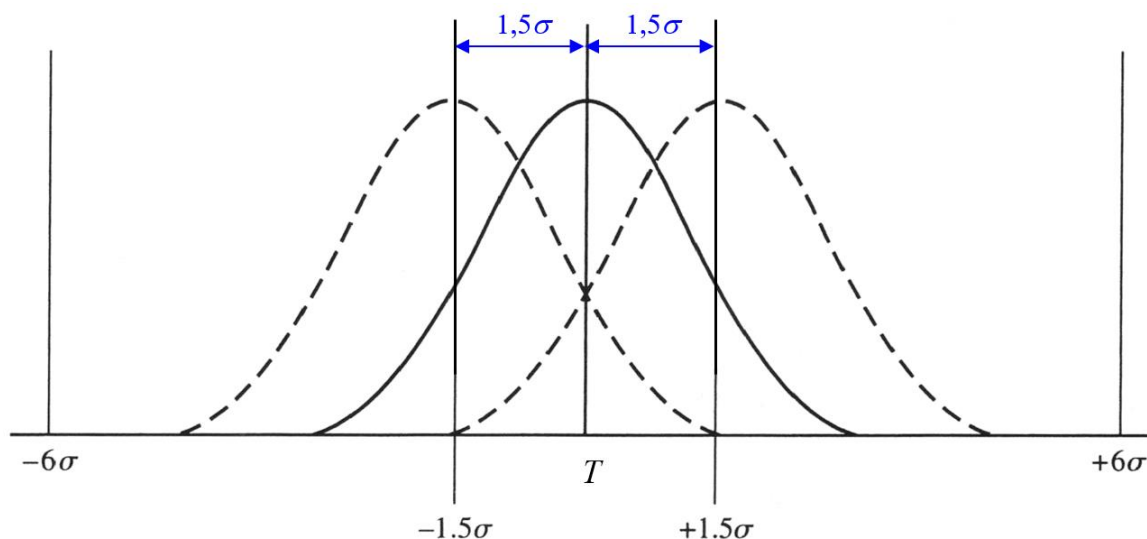
Tradicionalni pristup	<i>TQM</i>
Kvaliteta je tehničko pitanje i svodi se na ispunjavanje zahtjeva iz tehničke dokumentacije.	Kvaliteta je strateško pitanje. Potrebno je zadovoljiti zahtjeve kupaca ali i premašiti njihova očekivanja.
Kvalitetu definira organizacija.	Kvalitetu definira kupac/korisnik.
Kvaliteta se ustanovljuje kontrolom nakon izrade proizvoda. Naglasak je na pronalaženju pogrešaka.	Kvaliteta je određena dizajnom proizvoda i procesa. Naglasak je na preventivnom djelovanju.
Visoka kvaliteta povećava troškove.	Visoka kvaliteta smanjuje troškove.
Odgovornost za kvalitetu je na odjelu za kvalitetu.	Kvaliteta je prožeta kroz cijelu organizaciju. Odgovornost je na svakome u organizaciji.
Cilj je ispuniti zahtjeve.	Cilj je neprekidno poboljšavanje.
Pogreške su neizbježne. Kvaliteta se mjeri prihvatljivom razinom kvalitete (<i>AQL</i>).	Treba težiti radu <i>bez pogrešaka (zero defects)</i> . Kvaliteta se mjeri s <i>ppm</i> .
Kvaliteta i proizvodnost su u konfliktu.	Poboljšavanjem kvalitete raste proizvodnost.
Za lošu kvalitetu krivi su radnici.	Za probleme s kvalitetom krivi su menadžeri.
Zaposlenici slušaju naloge menadžera.	Zaposlenici imaju ovlasti predlagati poboljšavanja.
Organizacije su usmjerene na kratkoročne profite.	Organizacije su usmjerene na dugoročne profite i neprekidno poboljšavanje.
Na odnose s dobavljačima gleda se kratkoročno.	Na dobavljače se gleda kao na partnere.

2.4.1.3. ŠEST SIGMA

2.4.1.3.1. ŠEST SIGMA – Metrika

Kao metrika, *šest sigma* je statistička mjera funkcioniranja procesa. Veličina *sigma*, koja u statistici predstavlja standardno odstupanje, pokazatelj je varijacije procesa te služi za mjerenje razine kvalitete. Kao pokazatelj razine kvalitete kod koncepta *šest sigma* koristi se (Slika 2.77., Tablica 2.14.):

- ili broj pogrešaka na milijun mogućnosti/prigoda (engl. *Defects per Million Opportunities; DPMO*)
- ili broj nesukladnih jedinica proizvoda na milijun (engl. *parts per million; ppm*).



Slika 2.77. Motorolin koncept šest sigma ($T =$ ciljna vrijednost)

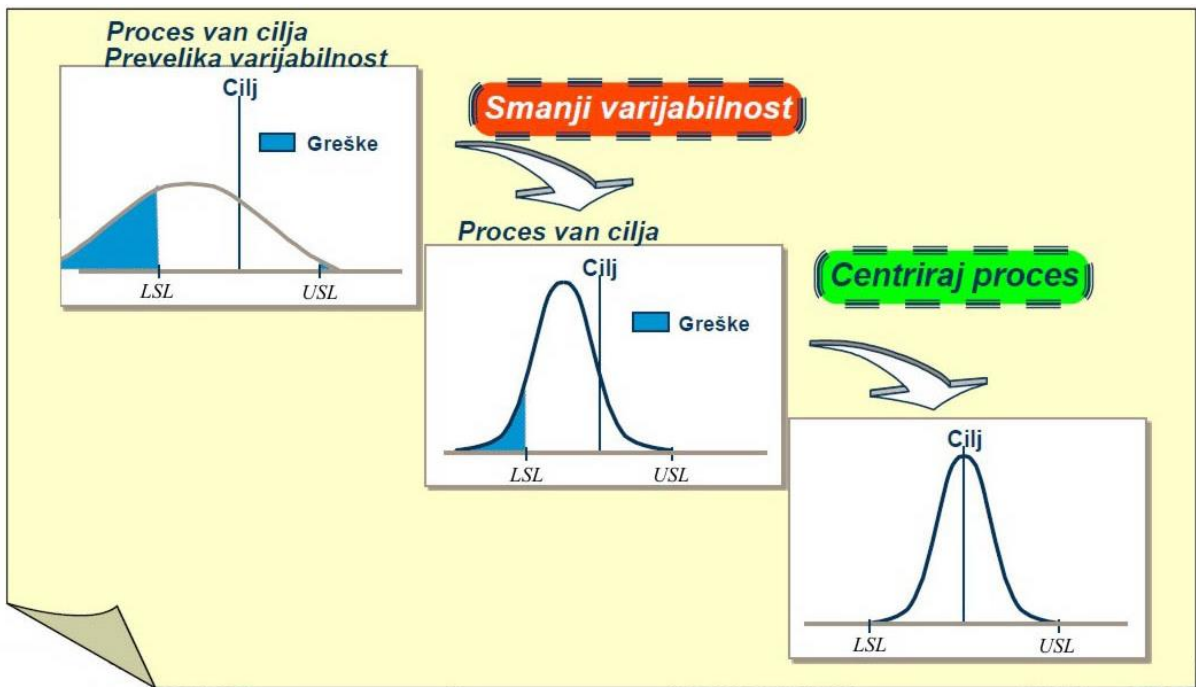
Tablica 2.14. Pokazatelj razine kvalitete kod koncepta šest sigma (C_p - *capability ratio*, hrv. indeks sposobnosti procesa, *ppm* - engl. *parts per million*, hrv. broj nesukladnih jedinica proizvoda na milijun)

Sigma level	Centered process		Shifted ($\pm 1.5\sigma$) process	
	C_p	ppm*	C_{pk}	ppm
3	1	2,700	0.5	66,803
4	1.33	63	0.833	6,200
5	1.67	0.57	1.167	233
6	2	0.002	1.5	3.4

Statistički cilj pristupa *šest sigma* je:

- 1) smanjiti varijabilnost i
- 2) poboljšati centriranost procesa

Na Slici 2.78. prikazan je postupak provođenja *šest sigma*.



Slika 2.78. Postupak provođenja šest sigma

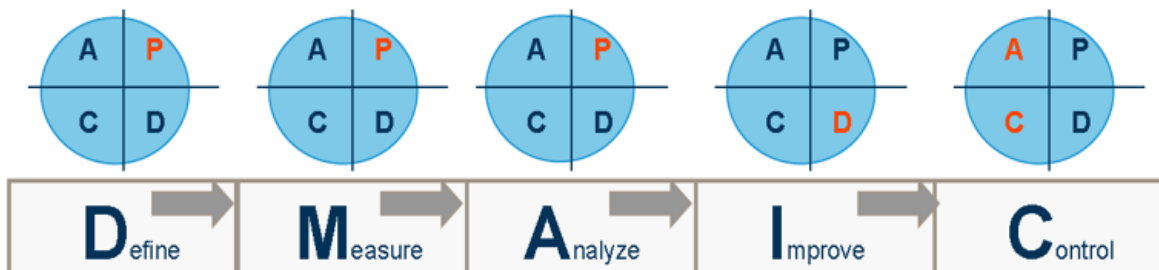
2.4.1.3.2. ŠEST SIGMA – Metodologija

Šest sigma primjenjuje dvije osnovne metodologije potaknute PDCA ciklusom:

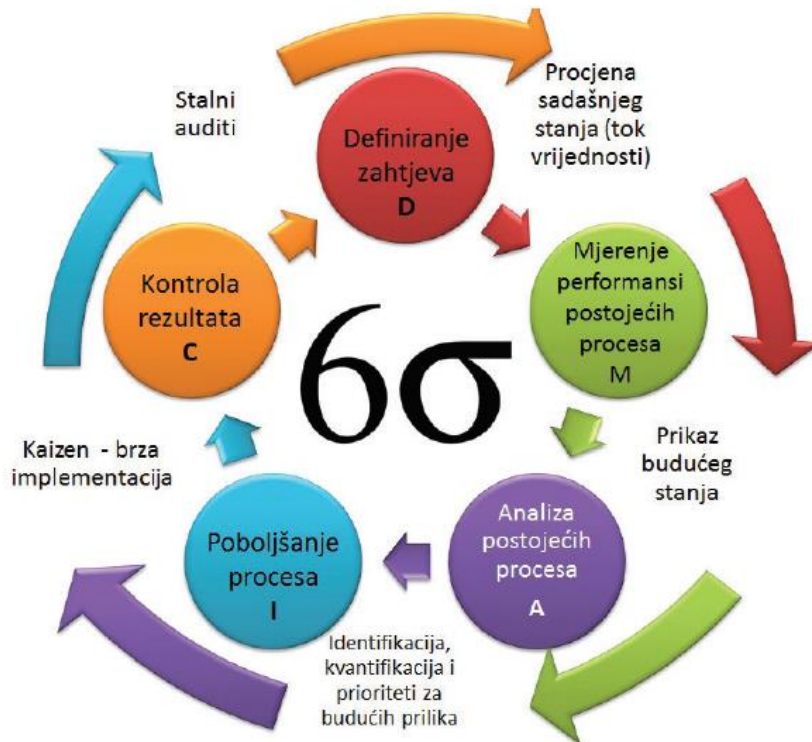
- DMAIC metodologiju i
- DMADV metodologiju.

DMAIC metodologija se realizira u pet faza (Slika 2.79., Slika 2.80.):

1. Definiraj (engl. *Define*)
2. Mjeri (engl. *Measure*)
3. Analiziraj (engl. *Analyze*)
4. Poboljšaj (engl. *Improve*)
5. Kontroliraj (engl. *Control*).



Slika 2.79. DMAIC metodologija i PDCA ciklus



Slika 2.80. Koraci pri provođenju DMAIC

DMADV metodologija se koristi u projektima dizajniranja novih proizvoda ili projektiranja novih procesa sposobnih za dostizanje razine kvalitete od 6σ . DMADV metodologija se još naziva i dizajn za šest sigmu (engl. *Design for Six Sigma; DFSS*).

DMADV metodologija se realizira u pet faza:

1. Definiraj (engl. *Define*)
2. Mjeri (engl. *Measure*)
3. Analiziraj (engl. *Analyze*)
4. Oblikuj/dizajniraj (engl. *Design*)
5. Provjeri (engl. *Verify*).

2.4.1.3.3. ŠEST SIGMA – Sustav upravljanja

Kao sustav za upravljanje kvalitetom koji je usmjeren neprekidnom poboljšavanju ključnih procesa s ciljem ispunjavanja utvrđenih zahtjeva kupaca, šest sigma je sustav za realizaciju poslovne strategije organizacije.

Najvažniji elementi šest sigme:

- Usmjerenost na kupca.
- Upravljanje temeljeno na podacima i dokazima. Na praktičnoj razini šest sigma pomaže menadžerima odgovoriti na dva bitna pitanja koja podupiru odluke i rješenja donesena podacima: Koje podatke ili informacije trebam? Kako mogu najbolje iskoristiti te podatke?
- Stalno poboljšavanje procesa - stvaranje prednosti u odnosu na konkurenciju.

- Proaktivni menadžment - usredotočiti se na prevenciju, a ne na korekciju onog što se već dogodilo.
- Timski rad između svih odjela u organizaciji i suradnja s dobavljačima i kupcima.
- Tolerancija neuspjeha. Nijedna tvrtka neće se približiti *šest sigmi* ako ne proba neke nove ideje i postupke u kojima uvijek postoji neki rizik. Ako se ljudi koji vide sve moguće načine postizanja poboljšavanja preplaše posljedicama, neće nikad isprobati.

Prema stečenim kompetencijama i ulogama u primjeni *šest sigma* postoje sljedeće razine stručnjaka (Slika 2.81.):

- šampioni i/ili sponzori (engl. *Champions and/or Sponsors*)
- majstori crnog pojasa (engl. *Master Black Belts*)
- crni pojasi (engl. *Black Belts*) i
- zeleni pojasi (engl. *Green Belts*).



Slika 2.81. Razine kompetencija u šest sigma metodologiji

2.4.2. Osnovni alati za kontrolu kvalitete

Sedam osnovnih alata za kontrolu kvalitete (*Seven Quality Control Tools; 7QCT*):

1. **Ispitni list** (engl. *Check sheet*)
2. **Histogram** (engl. *Histogram*)
3. **Pareto-dijagram** (engl. *Pareto chart*)
4. **Dijagram uzroka i posljedice** (engl. *Cause-and-effect diagram, Fishbone diagram*)
5. **Dijagram tijeka** (engl. *Flowchart*)
6. **Dijagram rasipanja** (engl. *Scatter diagram*)
7. **Kontrolne karte** (engl. *Control charts*).

U suvremenom pristupu kontroli kvalitete ovima alatima potrebo je dodati još jedan vrlo značajan alat, a to je **plan eksperimenata** (engl. *Design of Experiments; DOE*).

Alati za kontrolu kvalitete koriste se: za organizirano prikupljanje podataka, za analizu proizvodnog procesa, za prepoznavanje glavnih problema i njihovih uzroka, za praćenje promjena u kvaliteti proizvoda itd.

2.4.2.1. Ispitni list

Ispitni ili kontrolni list je obrazac koji služi za brzo i jednostavno prikupljanje podataka o učestalosti određenog događaja u stvarnom vremenu i na mjestu gdje podaci nastaju. Podaci mogu biti kvalitativni i kvantitativni, a mogu se razvrstati u različite kategorije. Kategorije podataka koje se mogu prikupljati ispitnim listovima u području kontrole kvalitete su npr.: broj nesukladnih proizvoda u seriji, izmjere proizvoda, tipovi pogrešaka na proizvodu, uzroci koji utječu na nesukladnost proizvoda itd. (Tablica 2.15.). Podaci se mogu prikupljati mjerenjem, brojenjem, promatranjem i sl. U ispitni list mogu se upisivati i drugi podaci kao npr.: vrijeme nastupanja određenog događaja, tko je primijetio događaj, komentari i sl. (Slika 2.82.). Da bi prikupljeni podaci bili pouzdani, oprema uporabljena za prikupljanje podataka mora biti ispravna, a osoba koja prikuplja podatke mora biti primjereno obrazovana i objektivna.

Tablica 2.15. Ispitni list za atributivne značajke

Tip pogreške	Datum snimanja					Ukupno
	Ponedjelj. 4. 05.	Utorak 5. 05.	Srijeda 6. 05.	Četvrtak 7. 05.	Petak 8. 05.	
Pogreška 1		//	//		/	5
Pogreška 2	/	/		//		4
Pogreška 3	//		//		/	5
Pogreška 4			//	/	///	6
Pogreška 5		/	///	/		5
Pogreška 6	/	/			//	4
Ukupno	4	5	9	4	7	29

Ispitni list: Unutarnji promjer provrta na zupčaniku

Datum: _____ Tokar: _____
Tokarilica: _____ Napomene: _____
Tip noža: _____

List br.: _____

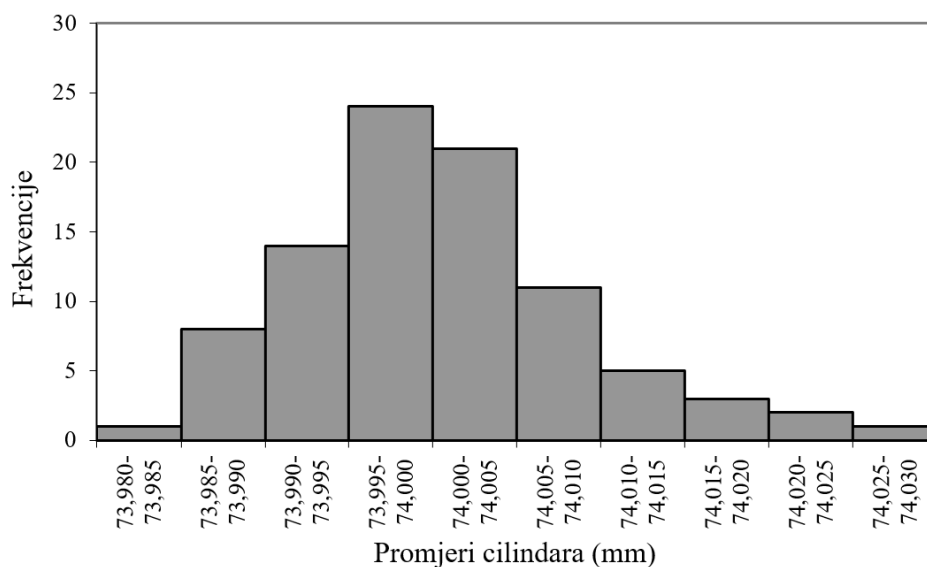
Promjer vratila, mm	Rezultat	Frekvencija
50,02	/	1
50,03	//	2
50,04	###	5
50,05	### ###	10
50,06	### /	6
50,07	///	3
50,08	//	2
50,09	/	1

Slika 2.82. Ispitni list za mjerljive značajke

Podaci prikupljeni ispitnim listovima mogu se prikazati s pomoću histograma ili Pareto-dijagrama.

2.4.2.2. Histogram

Histogram je stupčasti grafikon koji prikazuje distribuciju frekvencija podataka prikupljenih s pomoću ispitnih listova ili kojim drugim načinom. Stupci su u histogramu spojeni, a visine stupaca razmjerne su s odgovarajućom frekvencijom (Slika 2.83.). Baze stupaca histograma naslonjene su na os apscisu na kojoj se nalazi aritmetičko mjerilo za numeričku varijablu. Na ordinati je aritmetičko mjerilo za frekvenciju. Na temelju visine stupaca, moguće je uočiti distribuciju prikupljenih podataka u rasponu od najmanje do najveće vrijednosti numeričkog obilježja i njezine osnovne značajke.



Slika 2.83. Histogram

Analizom histograma mogu se dobiti odgovori na sljedeća pitanja:

- Grupiraju li se podaci simetrično ili asimetrično oko njihove aritmetičke sredine?
- Nalaze li se svi podaci unutar unaprijed specificiranih granica?
- Je li razdioba podataka smještena u sredini specificiranih granica ili je bliža gornjoj, odnosno donjoj granici?

Postupak konstruiranja histograma:

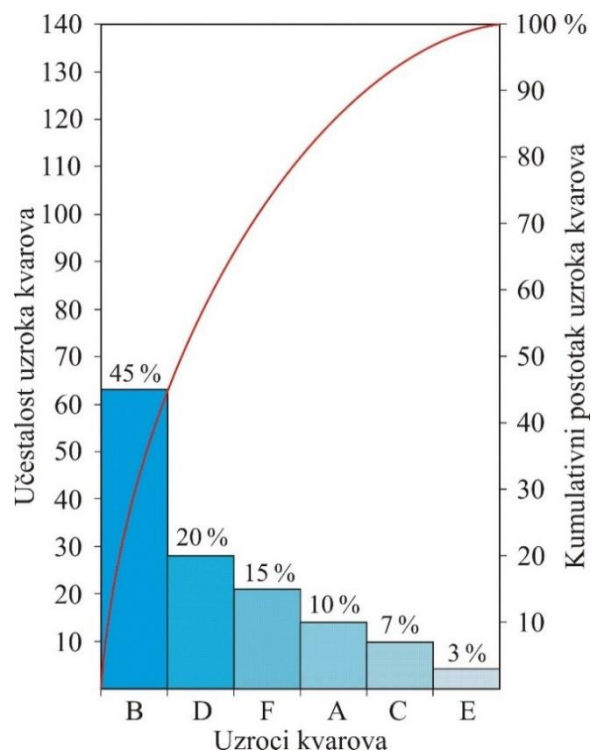
1. Odrediti npr. značajku kvalitete koja će se prikazati histogramom
2. Odrediti vremenski interval za proučavanje
3. Za odabranu značajku prikupiti potrebne brojčane podatke
4. Izračunati raspon, tj. razliku između najvećeg i najmanjeg podatka u skupu
5. Odrediti broj razreda u koji će se grupirati prikupljeni podaci
6. Odrediti veličinu (širinu) razreda kao količnik između raspona i broja razreda
7. Utvrditi granice razreda
8. Izraditi tablicu frekvencija u skladu s brojem razreda i granicama razreda
9. Izraditi histogram na osnovi tablice frekvencija.

2.4.2.3. Pareto-dijagram

Pareto-dijagram (Slika 2.84.) je stupčasti dijagram koji rangira kategorije prikupljenih podataka prema padajućoj frekvenciji pojavljivanja. Primjeri kategorija podataka su: proizvodi na koje kupci imaju najviše reklamacija, pogreške na proizvodu koje najviše smetaju kupcima, uzroci koji rezultiraju najvećim brojem pogrešaka na proizvodima, troškovi zbog loše kvalitete za svaki tip proizvoda u proizvodnom programu i sl. Analizom Pareto-dijagrama razlučuje se bitno od nebitnog.

Uzroci kvarova:

- A - Loš materijal (14)
- B - Neprimjereno rukovanje proizvodom (63)
- C - Pogreške u izradi ili montaži (10)
- D - Neprimjereno održavanje proizvoda (28)
- E - Konstrukcijske pogreške (4)
- F - Loša kvaliteta ugrađenih komponenta isporučениh od kooperanata (21)



Slika 2.84. Pareto-dijagram

Postupak konstruiranja Pareto-dijagrama:

1. Izabrati problem koji će se analizirati.
2. Izabrati normativnu usporednu mjernu jedinicu. To može biti broj kvarova za svaku vrstu kvara, novčani iznos zbog loše kvalitete za svaki tip proizvoda itd.
3. Odrediti vremenski interval u kojem će se prikupljati podaci.
4. Prikupiti potrebne podatke i zbrojiti ih po kategorijama. Na primjer, u promatranom vremenskom intervalu iskaže se ukupan broj kvarova za svaku pojedinačnu vrstu kvara i ukupan broj svih kvarova. Ili, iskaže se ukupni trošak zbog loše kvalitete za svaki pojedini proizvod i ukupni trošak zbog loše kvalitete svih proizvoda.
5. Kategorije poredati od najveće do najmanje frekvencije pojavljivanja.
6. Izračunati pojedinačne postotke svake kategorije i kumulativne postotke.
7. Konstruirati Pareto-dijagram. Na apscisu se poredaju kategorije, slijeva nadesno prema padajućim vrijednostima frekvencije pojavljivanja. Kategorije koje kumulativno imaju vrlo mali postotak mogu se grupirati u jednu kategoriju „ostalo” koja se na apscisu postavlja kao posljednja. Na lijevu ordinatu dijagrama obično se unose stvarni brojevi podaci za kategorije, a na desnu ordinatu kumulativni postoci. Mjerila obiju ordinata moraju biti usklađena tako da ukupnom zbroju vrijednosti na lijevoj ordinati odgovara oznaka 100 % na desnoj ordinati.
8. Iznad svake kategorije nacrtati stupac kojemu visina odgovara frekvenciji. Od vrha najvišeg stupca prema desno i prema gore može se povući kumulativna crta (zbroj vrijednosti promatrane i svih kategorija koje su lijevo od nje). Ta crta daje odgovor na pitanje: Koliko od ukupnog iznosa otpada npr. na prve tri kategorije?

2.4.2.4. Dijagram uzroka i posljedice

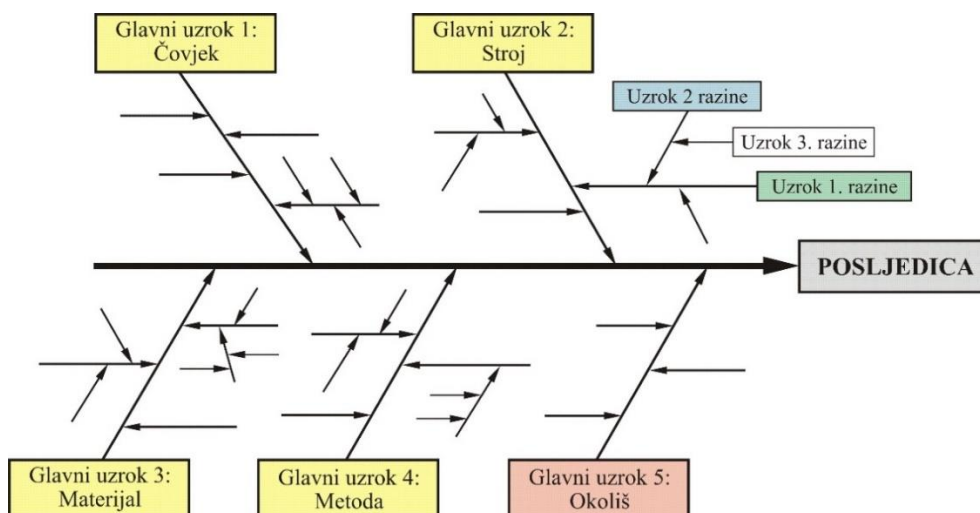
Dijagram uzroka i posljedice naziva se još i Ishikawa dijagram (po autoru K. Ishikawi) ili dijagram *riblja kost* (Slika 2.85.). Dijagram uzroka i posljedice izrađuje tim stručnjaka koji imaju dovoljno saznanja o razmatranom problemu. Članovi tima provode kratke, ali djelotvorne rasprave (*brainstorming*) kojima koordinira voditelj tima. Rezultat *brainstorminga* pretače se u dijagram uzroka i posljedice.

U izradi dijagrama uzroka i posljedice mogu se analizirati različite kategorije glavnih uzroka koje odgovaraju konkretnom slučaju ili pomažu stručnjacima da kreativnije razmišljaju. U proizvodnim organizacijama glavni uzroci problema vezani uz kvalitetu mogu se tražiti:

- u ljudima (engl. *Manpower*)
- u strojevima (engl. *Machine*)
- u metodama rada (engl. *Method*)
- u materijalima (engl. *Material*) i
- u okolišu (engl. *Environment*).

U literaturi se ovi uzroci susreću pod nazivom $4M + 1E$.

S obzirom na to da je tijekom poboljšavanja kvalitete potrebno rješavati uzroke problema, tijekom crtanja dijagrama trebalo bi nastojati ići do najsitnijih mogućih detalja. Međutim, dublje analize značajno kompliciraju rješavanje problema.



Slika 2.85. Struktura dijagrama uzroka i posljedice

Postupak konstruiranja dijagrama uzroka i posljedice:

1. Posljedica ili problem upiše se na desnu stranu dijagrama.
2. Utvrđeni glavni uzroci ucrtaju se na lijevoj strani dijagrama uzduž *kralježnice* dijagrama.
3. Utvrđuju se uzroci prve razine: Svaki se glavni uzrok rastavlja na detaljnije uzroke. Za svaki glavni uzrok postavlja se pitanje: Zašto se događa? Svi mogući odgovori predstavljaju uzroke prve razine i crtaju se kao grane koje se granaju iz glavnih uzroka.
4. Utvrđuju se uzroci druge razine: Uzroci prve razine rastavljaju se na detaljnije uzroke. Za svaki uzrok prve razine postavlja se pitanje: Zašto se događa? Svi mogući odgovori predstavljaju uzroke druge razine i crtaju se kao grančice koje se granaju iz uzroka prve razine.
5. Utvrđuju se uzroci treće razine: Prema potrebi uzroci druge razine rastavljaju se na detaljnije uzroke. Za svaki uzrok druge razine postavlja se pitanje: Zašto se događa? Svi mogući odgovori predstavljaju uzroke treće razine i crtaju se kao grančice koje se granaju iz uzroka druge razine.

Dijagram uzroka i posljedice često se koristi u kombinaciji s drugim alatima: ispitnim listom ili Pareto-dijagramom. Nakon Pareto-analize prepoznaju se najvažniji problemi koji se mogu početi prvi rješavati. Odabere se najvažniji problem, analiziraju se uzroci njegova nastanka te se konstruira dijagram uzroka i posljedice. Na temelju izrađenog dijagrama, mogu se poduzimati popravne radnje, što će rezultirati poboljšanjem kvalitete.

2.4.2.5. Dijagram tijeka

U kontroli kvalitete dijagram tijeka koristi se za grafičko opisivanje procesa. Analizom dijagrama tijeka proces se može ili pojednostaviti ili se mogu utvrditi mjesta nastajanja problema u odvijanju procesa. Zato je dijagram tijeka važan alat za poboljšavanje procesa.

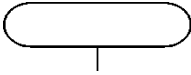

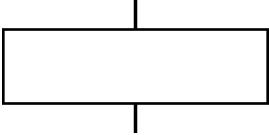
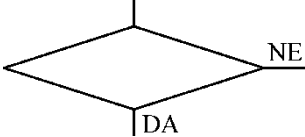
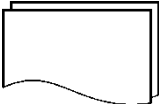


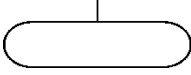
Na Tablici 2.16. prikazani su osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka, a na Slici 2.86. dijagram tijeka završne kontrole kvalitete.

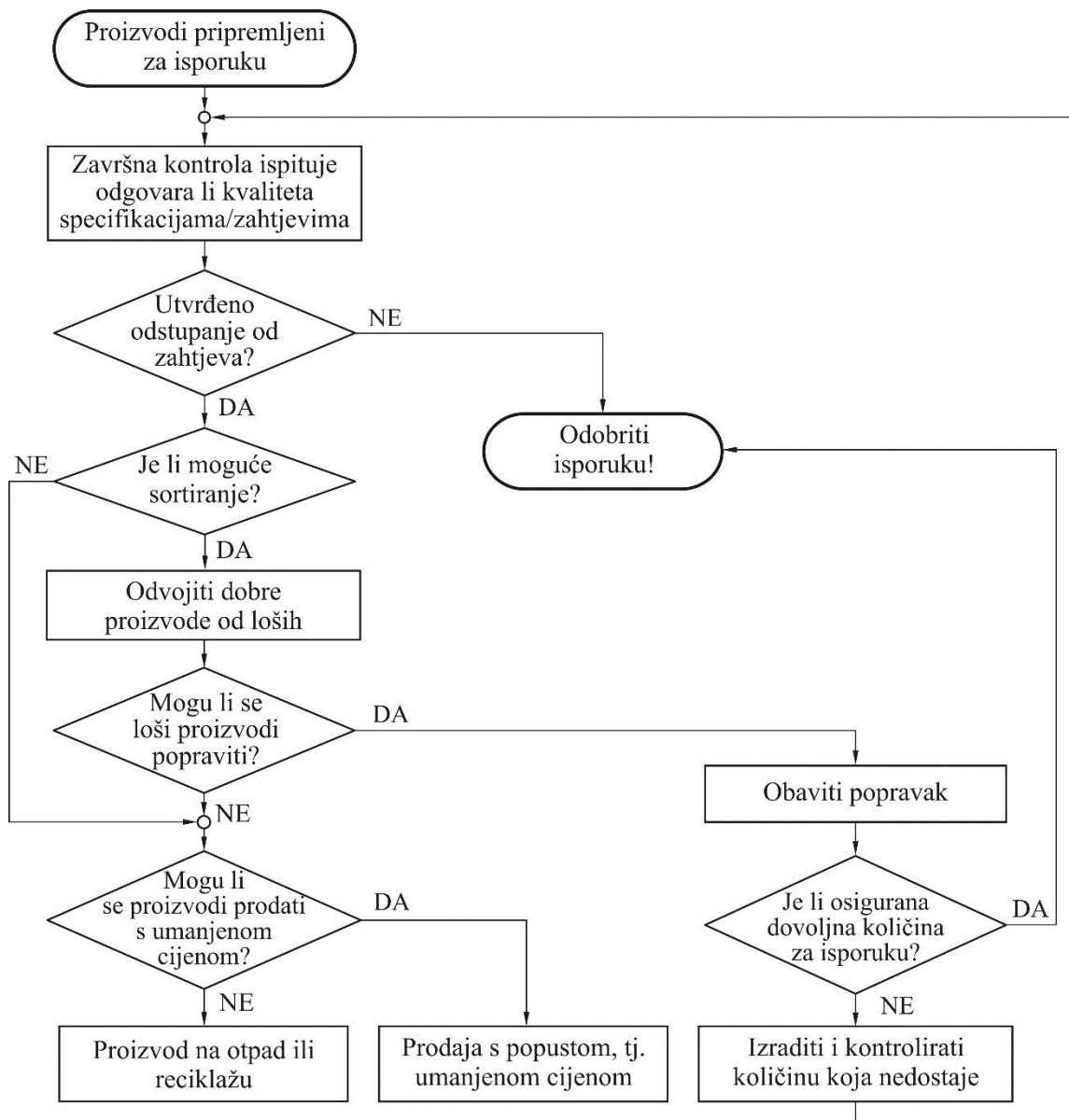
Postupak izrade dijagrama tijeka:

1. Utvrditi proces koji se želi prikazati te odrediti granice procesa (početak i završetak).
2. Raščlaniti proces na aktivnosti.

3. Odrediti slijed aktivnosti.
4. Za svaku aktivnost identificirati ulaze, izlaze, operacije i logiku međusobnog povezivanja te odgovornost.
5. Definirati odgovorne osobe za svaku aktivnost, a naročito za aktivnost kontrole i aktivnosti gdje se donose neke odluke.
6. Povezati aktivnosti s nositeljima aktivnosti.
7. Nacrtati dijagram, odnosno grafički prikazati proces.

Tablica 2.16. Osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka

Faza procesa	Simbol
Početak procesa	
<p>Strelica</p> <p>Pokazuje smjer ili tijek procesa. Križanje strelica može se izbjeći uporabom konektora.</p>	
<p>Radnja</p> <p>U pravokutnik se upisuje zadatak ili aktivnost koja se izvodi tijekom procesa.</p>	
<p>Odluka</p> <p>U romb se upisuje pitanje, a izlazi iz romba su odgovori: da ili ne, može ili ne može, ide ili ne ide i sl.</p>	
<p>Dokument</p> <p>Simbol upućuje na pisanu informaciju u svezi s procesom koja se upisuje u simbol.</p>	
Spoj (Konektor)	
<p>Prekid</p> <p>Krug s upisanim slovom ili brojem označava da je dijagram tijeka prekinut te da se nastavlja npr. na nekom drugom listu.</p>	
Kraj procesa	



Slika 2.86. Dijagram tijeka završne kontrole kvalitete

2.4.2.6. Dijagram rasipanja

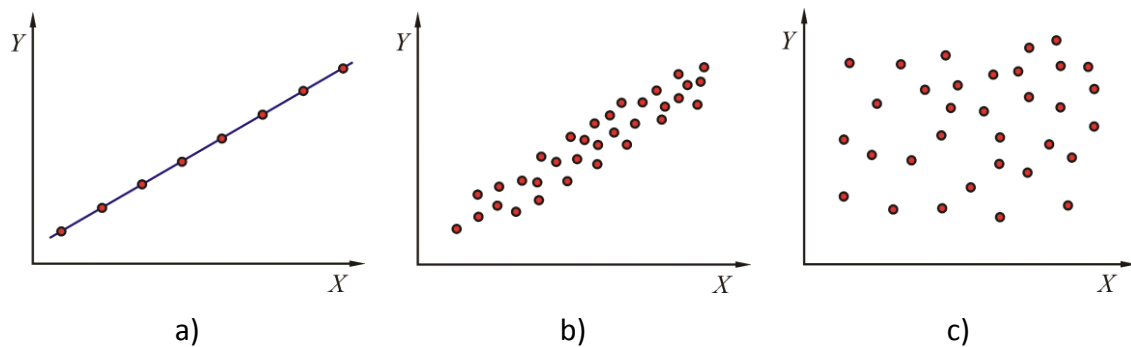
Prikupljene numeričke podatke između dviju pojava, npr. između uzroka i posljedice, moguće je grafički prikazati s pomoću dijagrama rasipanja. Na apscisu dijagrama rasipanja upisuju se podaci o uzročnoj varijabli (X), a na ordinatu podaci o posljedičnoj varijabli (Y). Iz dijagrama se može uočiti smjer (pozitivan ili negativan) i oblik veze (linearan ili nelinearan) između varijabli. Statističkom obradom podataka, moguće je odrediti jakost veze između varijabli te jednadžbu ovisnosti između ovisne i neovisne varijable, tzv. regresijski model.

U matematičkoj statistici obilježja X i Y imaju značajku slučajnih varijabli. Nakon n promatranja dobit će se skup od n parova vrijednosti ovisne i neovisne varijable:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n). \quad (5.1)$$

Grafički prikaz tih n parova s pomoću točaka u koordinatnom sustavu naziva se **dijagram rasipanja** (engl. *scatter diagram*). Iz oblika dijagrama rasipanja može se zaključiti o (Slika 2.87.):

- postojanju ili nepostojanju ovisnosti između varijabli X i Y
- obliku veze i
- smjeru i jakosti veze.



Slika 2.87. Primjeri dijagrama rasipanja

Analizom dijagrama rasipanja može se zaključiti sljedeće:

- Između varijabli X i Y postoji linearna funkcionalna veza.
- Varijable X i Y nisu vezane funkcionalnom vezom, ali nisu potpuno neovisne. Dijagram pokazuje tendenciju izduženja u jednom smjeru. Većim vrijednostima od X pripadaju i veće vrijednosti od Y .
- Varijable X i Y su međusobno neovisne.

Statistička analiza odnosa između dviju i više pojava, odnosno varijabli, provodi se u okvirima deskriptivne i inferencijalne statistike primjenom **regresijske analize** (*jednadžba regresije* i *standardna pogreška regresije*) i **korelacijske analize** (*koeficijent korelacije* i *koeficijent determinacije*).

2.4.2.7. Kontrolne karte

Kontrolna karta je dijagram koji služi za praćenje procesa. Apscisa kontrolne karte predstavlja vrijeme uzorkovanja ili redni broj uzorka uzetog iz praćenog procesa, a na ordinati su podaci o praćenoj značajki kvalitete. Prije početka praćenja procesa, na ordinatu kontrolne karte ucrtaju se središnja linija procesa, gornja i donja statistička kontrolna granica. Kontrolnom kartom prate se odstupanja (varijacije) od ciljnih vrijednosti koja su svojstvena konkretnom proizvodnom procesu. Odstupanja nastaju zbog uobičajenih (slučajnih) i/ili posebnih (sustavnih) uzroka. Stabilni procesi odstupaju slučajno te se njihovi rezultati nalaze unutar kontrolnih granica. Primarna je namjena kontrolnih karata utvrđivanje postojanja posebnih uzroka u procesu. Takvi uzroci na kontrolnoj karti pokazuju trend u odstupanjima praćene značajke kvalitete. Kontrolna karta ne otkriva što je uzrok odstupanja, već se taj problem mora riješiti daljnjim istraživanjem procesa. U konačnici, primjena kontrolnih karata vodi do poboljšanja kvalitete proizvoda.

Kontrolne karte se primjenjuju u serijskoj, velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Kontrolnom kartom prati se jedna značajka proizvoda uzimanjem uzoraka iz procesa tijekom proizvodnje. Nakon mjerenja ili kontrole uzorka, iz dobivenih se rezultata računa jedan ili više statističkih

parametara. Vrijednosti statističkih parametara uzoraka predmet su praćenja primjenom odgovarajuće kontrolne karte.

Osnovni tipovi kontrolnih karata su:

1. **Kontrolne karte za mjerljive značajke kvalitete** ($\bar{x}-R$, $\bar{x}-s$, $\tilde{x}-R$, $x-MR$)
2. **Kontrolne karte za atributivne značajke kvalitete** (p , np , c , u)
3. **Posebne kontrolne karte** (*cusum*, *EWMA*).

Kontrolne karte za mjerljive i atributivne značajke kvalitete još se nazivaju, prema njihovom autoru, Shewhartove kontrolne karte. Matematičko-statistička osnova kontrolnih karata za mjerljive značajke je normalna distribucija, a kontrolnih karata za atributivne značajke binomna, Poissonova ili hipergeometrijska distribucija.

Kontrolna karta ima apscisu i ordinatu. Na linearno podijeljenu apscisu upisuju se ili vremena uzorkovanja iz procesa ili redni brojevi uzoraka (prema vremenskom tijeku odvijanja procesa) uzeti iz procesa. Ordinata predstavlja značajku kvalitete proizvoda koja se prati kontrolnom kartom. Na ordinati kontrolne karte potrebno je odrediti:

- središnju liniju procesa (engl. *Central Line*; *CL*)
- donju kontrolnu granicu (engl. *Lower Control Limit*; *LCL*) i
- gornju kontrolnu granicu (engl. *Upper Control Limit*; *UCL*).

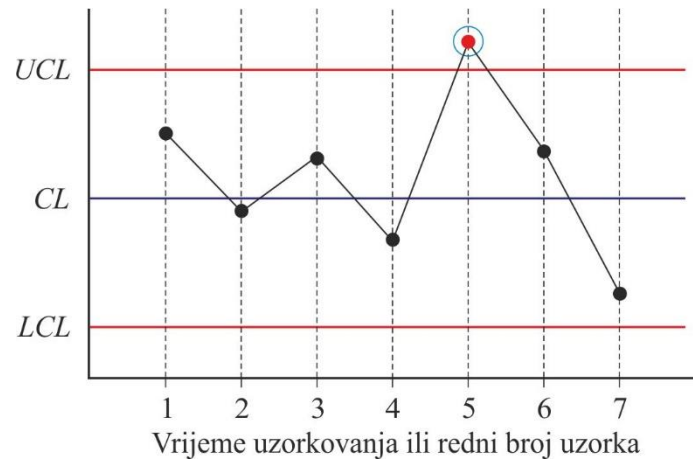
Ordinata se skalira od najmanje do najveće realne vrijednosti značajke kvalitete ili malo iznad gornje kontrolne granice ako postoji sigurnost da će se sve ucrtane točke nalaziti unutar područja omeđenoga kontrolnim granicama.

Središnja linija procesa predstavlja pravac aritmetičke sredine značajke kvalitete (statističkog parametra) koja se prati kontrolnom kartom.

Gornja kontrolna granica predstavlja razinu maksimalno prihvatljivih slučajnih varijacija. *Donja kontrolna granica* predstavlja razinu minimalno prihvatljivih slučajnih varijacija. Način izračuna kontrolnih granica ovisi o tipu kontrolne karte. Na tržištu postoje brojni softveri koji služe za izračun središnje linije i kontrolnih granica, što ubrzava postupak izrade kontrolnih karata. Gornja i donja kontrolna granica postavljaju se na tri standardna odstupanja ($\pm 3\sigma$) od aritmetičke sredine praćene značajke kvalitete, tj. središnje linije. Ako je praćena značajka kvalitete proizvoda normalno distribuirana, kontrolne granice će uključivati 99,73% promatranih slučajnih varijacija.

Nakon dovođenja proizvodnog procesa u stabilno stanje, periodično se uzimaju uzorci, a rezultati kontrole prikazuju se točkama na kontrolnoj karti. Radi boljeg uočavanja eventualnog postojanja trenda, točke se slijedno povežu linijama.

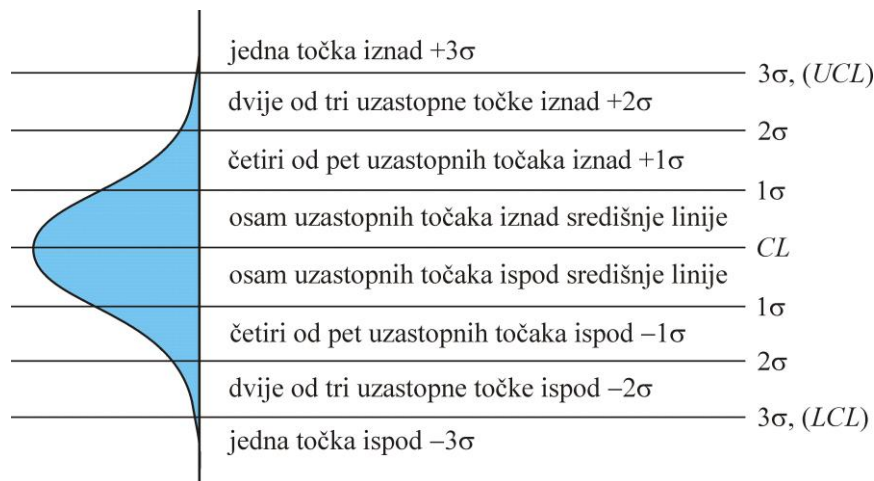
Proces je pod kontrolom ako su njegove prirodne granice unutar dopuštenih granica, tj. ako se sve točke na kontrolnoj karti nalaze unutar statističkih kontrolnih granica (Slika 2.88.). Varijacije u položaju točaka unutar kontrolnih granica znak su da u procesu postoje samo uobičajeni uzroci varijacija. Ako točka padne izvan kontrolnih granica, to je upozorenje da su se u procesu pojavili posebni uzroci varijacije. Proces se zaustavlja, traži se uzrok varijacije te se poduzimaju korektivne radnje. Uklanjanjem varijacija koje su posljedica posebnih uzroka, proces se mora dovesti u stanje pod kontrolom. Međutim, moguće je da proces nije pod kontrolom iako se sve točke nalaze unutar kontrolnih granica jer položaj pojedinih točaka nije slučajan.



Slika 2.88. Kontrolna karta - primjer

U praksi se smatra da je proces izvan kontrole u sljedećim slučajevima (Slika 2.89.):

- ako je barem jedna točka izvan kontrolnih granica, tj. iznad UCL ili ispod LCL
- ako su dvije od tri uzastopne točke izvan $\pm 2\sigma$ granica upozorenja, ali unutar kontrolnih granica
- ako su četiri od pet uzastopnih točaka izvan $\pm 1\sigma$ granice
- ako je osam uzastopnih točaka poredano s jedne strane središnje linije
- ako šest uzastopnih točaka pokazuju trend monotonog rasta ili opadanja (nastaje trajna promjena u procesu)
- ako je najmanje četrnaest uzastopnih točaka naizmjenično (*cik-cak*) smješteno iznad središnje linije i ispod nje, (proces je nestabilan, preosjetljiv).



Slika 2.89. Kontrolne granice i granice upozorenja na kontrolnoj karti

Prije konstruiranja kontrolnih karata potrebno je odrediti veličinu i broj uzoraka. Veličina uzorka ovisi o veličini pomaka koji se želi uočiti kontrolnom kartom. Veći uzorci, općenito, olakšavaju uočavanje malih pomaka u procesu. Kontrolne karte izrađene s manjim uzorcima manje su osjetljive na promjene u procesu. Stoga se, ako je pomak procesa relativno velik, uzimaju manji uzorci. Ako se veličine uzoraka mijenjaju (što je dopušteno samo kod nekih kontrolnih karata), položaj kontrolnih granica na karti od uzorka do uzorka se mijenja. Poželjno je odrediti kontrolne granice procesa s uzorcima konstantne veličine. Veličine

uzoraka ovise i o tipu kontrolne karte. Kontrolne karte za mjerljive značajke zahtijevaju relativno male uzorke u odnosu na kontrolne karte za atributivne značajke jer mjerenje značajke kvalitete daje puno više informacija od kontrole značajke.

2.4.3. Alati za upravljanje kvalitetom

Druga generacija alata kvalitete poznata je pod nazivima sedam alata za upravljanje (engl. *Seven Management Tools; 7MT*) ili sedam alata za upravljanje i planiranje (engl. *Seven Management and Planning Tools*). U ove alate ubrajaju se:

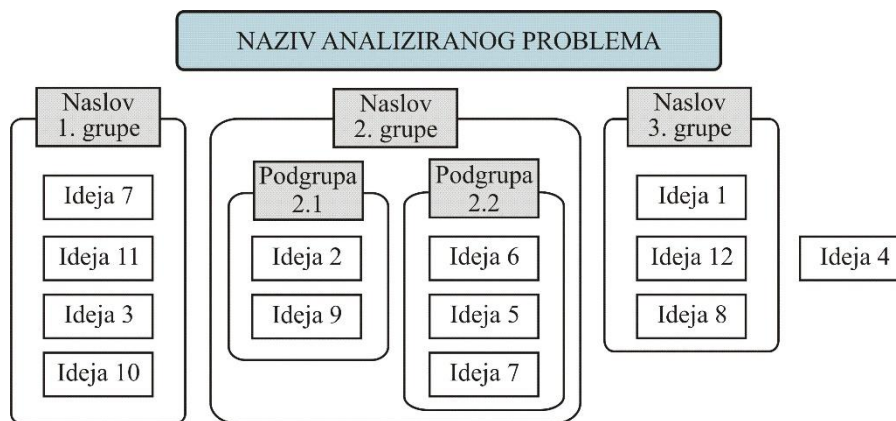
1. **Dijagram srodnosti** (engl. *Affinity Diagram*)
2. **Dijagram odnosa** (engl. *Interrelationship Diagram; Relations Diagram*)
3. **Stablo dijagram** (engl. *Tree Diagram; Hierarchy Diagram; Tree Analysis*)
4. **Matrični dijagram** (engl. *Matrix Diagram; Matrix Chart*)
5. **Matrica prioriteta** (engl. *Prioritization Matrix*)
6. **Program procesnog odlučivanja** (engl. *Process Decision Program Chart*)
7. **Mrežni dijagram** (engl. *Activity Network Diagram; Arrow Diagram; Activity Chart*).

Alati su razvijeni u cilju potpore menadžerima kod donošenja upravljačkih odluka ali i pomoći timovima formiranim u organizaciji tijekom rješavanja konkretnih problema. Alati pomažu u generiranju ideja, sustavnoj organizaciji i obradi verbalnih podataka, brzom smanjivanju pogrešaka i propusta te poboljšavanju planiranja. Uspjeh u rješavanju problema rezultira osjećajem sposobnosti da se i drugi, naizgled nerješivi, problemi ipak mogu riješiti.

Tijekom rješavanja složenog problema ovi alati se često kombiniraju. Na primjer, prvo treba prikupiti kvalitativne podatke o problemu koji je nastupio u procesu za što može poslužiti dijagram srodnosti. Nakon toga treba odabrati alat u cilju utvrđivanja uzroka problema, npr. dijagram odnosa ili matrični dijagram. Pristup i aktivnosti prikazat će hijerarhijski dijagram, a za plan rješavanja problema dobro će poslužiti program procesnog odlučivanja i/ili mrežni dijagram.

2.4.3.1. Dijagram srodnosti

Dijagram srodnosti pomaže u opisivanju složenih i teško razumljivih problema i njihovih simptoma. Primjenjuje se nakon *brainstorminga*, kojim se dobije veći broj neorganiziranih podataka u obliku izjava, ideja, stavova, čimbenika ili ocjena. Ti se podaci čine kaotičnim, a rješavani problem čini se prevelikim i složenim. Stoga je prikupljene podatke potrebno sortirati po nekim zajedničkim značajkama u nekoliko logički odabranih pripadnih kategorija ili grupa, čime se povećava razumijevanje analiziranog problema (Slika 2.90.). Dijagram srodnosti najčešće se koristi u krugovima kvalitete, analizama tržišta, projektiranju kvalitete i eksperimentima. Izrađuje ga tim u kojem bi trebalo biti do šest osoba koje imaju zajedničke ciljeve i interese.



Slika 2.90. Dijagram srodnosti

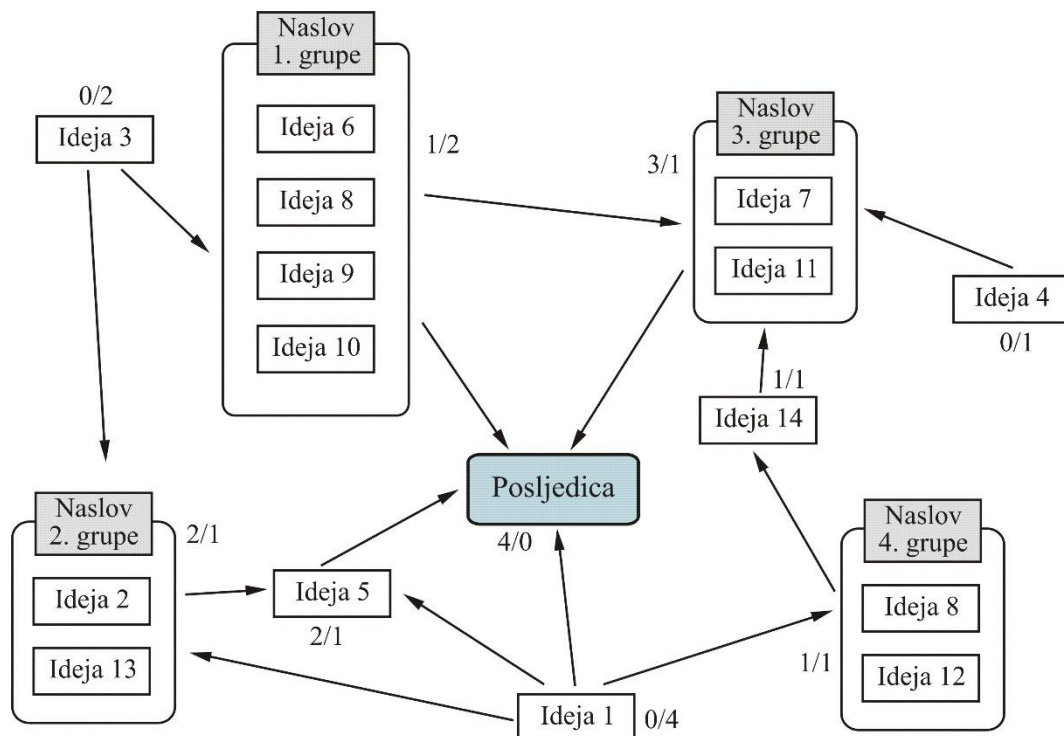
Postupak izrade dijagrama srodnosti može se opisati u sedam koraka:

1. **Opisati problem i cilj koji se želi ostvariti.**
2. **Provesti *brainstorming*.** Svaki član tima samostalno smišlja ideje i zapisuje ih na listiće. Kako bi se osigurala neovisnost, članovi tima ne smiju međusobno komunicirati.
3. **Prikupiti listiće s idejama.** Voditelj tima čita sadržaje listića te ako članovi tima nemaju primjedaba ili zahtjeva za dodatnim objašnjenjima, voditelj zapisuje sadržaje listića (ili lijepi listiće) na ploču. Ako je nešto od zapisanog na listiću potrebno objasniti i ispraviti, to čini vlasnik listića.
4. **Grupirati ideja u srodne grupe.** Voditelj tima grupira listiće na osnovi srodnosti njihova sadržaja. Tako se sve izjave, stavovi ili ocjene dovode u vidno polje pojedinaca, a postupkom grupiranja stvara se mozaik koji jasnije oslikava problem. Nakon sortiranja listići se mogu označiti brojevima kako bi se nakon provedene analize mozaik mogao lako rekonstruirati. Broj grupa ne bi trebao biti ni premalen ni prevelik. Ako je broj grupa (pre)mali, mala je i razlučivost, a ako je broj grupa (pre)velik, gubi se preglednost dijagrama srodnosti. Iako nema pravila, preporuča se da broj grupa bude između četiri i deset. Ako se tijekom grupiranja neki listić ne može dodijeliti ni u jednu grupu, odvaja se i ostavlja postrani. Neki listić dodijelit će se u dvije grupe, ako u timu postoji suglasje da on pripada u obje grupe. Svi članovi tima sudjeluju u grupiranju listića. Ako se utvrdi da postoji čvrsta veza između dviju ili više grupa, takve grupe treba tretirati kao podgrupe jedne veće grupe.
5. **Kreirati naslov svake grupe.** Članovi tima predlažu naslove grupa. Naslovi grupa trebaju biti kratki, trebaju asociirati na temeljnu povezanost ideja koje su grupirane u toj grupi, a upisuju se na listiće koji se zalijepu iznad pripadajuće grupe. Srodne se ideje mogu povezati linijama s naslovom pripadajuće grupe ili se grupe mogu obuhvatiti pravokutnicima. Ako se neka grupa sastoji od podgrupa, podgrupama je, također, potrebno dodijeliti naslove.
6. **Izraditi dijagram srodnosti.** Na vrh dijagrama upisuje se problem ili cilj s kojim je započeo postupak, a ispod se upisuju naslovi pojedinih grupa ideja. Zatim se ispod svakog naslova grupe upisuju same ideje do kojih se došlo provođenjem *brainstorminga*.
7. **Analizirati rezultate.** Procjena značenja svake grupe i samih listića može se obaviti tako da svaki član tima upisuje na listić ocjenu 5, 4, 3, 2 ili 1, gdje 5 predstavlja najveće

značenje, a 1 najmanje. Dobiveni bodovi se zbroje, a grupe se s obzirom na zbroj bodova posebno istaknu.

2.4.3.2. Dijagram odnosa

Dok se dijagramom srodnosti podaci samo logički grupiraju, dijagramom odnosa prepoznaju se logičke povezanosti u složenim uzročno-posljedičnim odnosima. Dijagram odnosa može se koristiti i u opisivanju tijeka događaja koji dovode do problema. Za razliku od dijagrama uzroka i posljedice kod kojeg se svakom uzroku pripisuje utjecaj na samo jednu posljedicu (npr. problem kvalitete), dijagramom odnosa moguće je prikazati kako jedan uzrok utječe na dvije ili više posljedica (Slika 2.91.).



Slika 2.91. Dijagram odnosa

Dijagram odnosa izrađuje tim koji ima svog voditelja. Postupak izrade dijagrama odnosa:

1. **Opisati problem.**
2. **Zapisati posljedicu problema u središte ploče ili velikog papira.**
3. **Generirati ideje, odnosno uzroke problema.** Provodi se *brainstormingom* ili korištenjem podataka iz već postojećih dijagrama srodnosti, dijagrama uzroka i posljedice ili stabla dijagrama. Voditelj tima ideje iznosi pred tim i postavlja pitanja: Je li ova ideja u vezi s drugim idejama?
4. **Nacrtati jednosmjerne strelice od uzroka prema posljedicama.**
5. **Prepoznati ključne uzroke.** Može se provesti na jedan od dvaju načina:
 - a) Prebrojavanjem ulaznih i izlaznih strelica i upisivanjem njihovih frekvencija. Ideja iz koje izlazi najviše strelica predstavlja osnovni uzrok, a ideja u koju ulazi najviše strelica predstavlja ključnu posljedicu, problem ili rezultat (može ih biti više).
 - b) Na temelju iskustva i znanja članovi tima uzrocima pridjeljuju ocjene od 1 do 5. Ocjena 1 predstavlja najmanje značenje, a 5 najveće. Voditelj zbraja ocjene i npr.

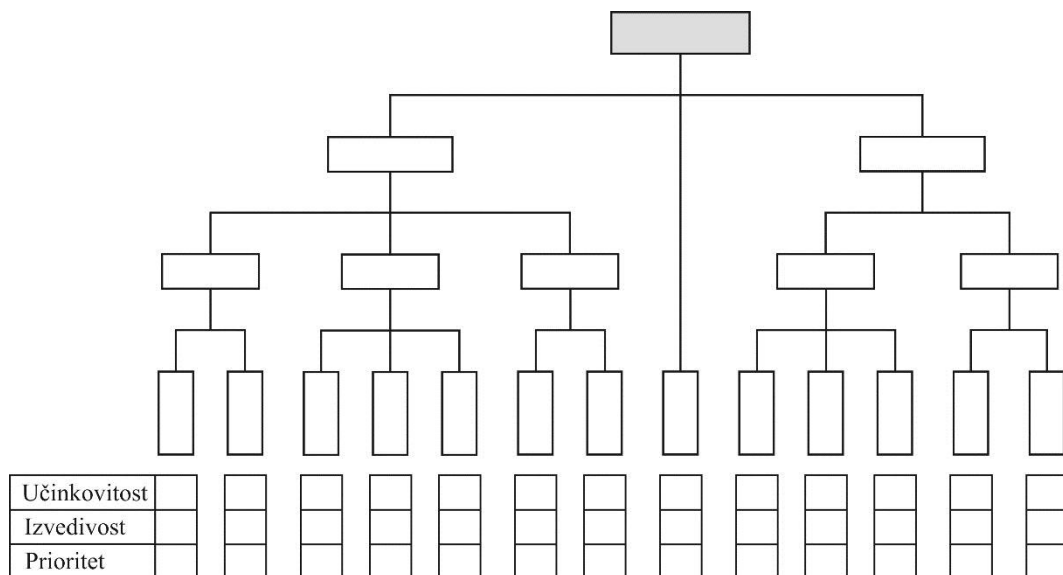
slovom A označi najznačajniji uzrok, slovom B uzrok drugi po značenju, slovom C uzrok koji je treći po značenju.

Nakon prepoznavanja ključnih uzroka planiraju se i provode popravne radnje.

2.4.3.3. Stablo dijagram

Stablo dijagram ili hijerarhijski dijagram je naizgled jednostavan grafički alat koji se može koristiti u prikazivanju hijerarhije uzroka i posljedica, odnosno u prikazivanju hijerarhije radnji i rezultata u fazi sagledavanja i analize utvrđenog problema. Raščlanjujući problem na manje sastavnice, stablo dijagram omogućuje da se razmišljanje postupno orijentira od općenitog prema konkretnom (Slika 2.92.).

Dijagram jasno prikazuje međusobne odnose među sastavnicama. Nazivi koji se koriste u opisivanju ovog dijagrama isti su nazivima koji se koriste u opisivanju prirodnog stabla (korijen, grane, listovi) ili obiteljskog stabla (roditelji, potomci). Grana *potomka* mora imati izravnu vezu s *roditeljskom*, a ne posrednu:



Slika 2.92. Stablo dijagram s matricom procjenjivanja

Stablo dijagram izrađuje se timski. Postupak izrade dijagrama može se opisati u šest koraka:

1. **Odrediti problem i glavne ciljeve koji se žele ostvariti.** O tome se treba suglasiti cijeli tim. Na primjer, tijekom izrade obiteljskog stabla izrijeком se može isključiti ili uključiti izvanbračnu djecu.
2. **Zapisati problem u pravokutnik po sredini lijevog ruba papira ili po sredini vrha papira na kojem će se izrađivati stablo dijagram.**
3. **Brainstormingom problem podijeliti na dvije ili više kategorija drugog reda.** Tijekom provođenja *brainstorminga* voditelj postavlja pitanja, npr.: Kako ćemo riješiti ... ?, Kako ćemo poboljšati ... ?, Kako ćemo dizajnirati ... ?, Zašto se događa ...? Odgovori na postavljena pitanja mogu se pisati na samoljepljive listiće. Listići se mogu lako ukloniti ili premjestiti ako se članovi tima predomisle.
4. **Nastaviti s provođenjem *brainstorminga*.** Kategorije drugog reda dijele se na kategorije trećeg reda, sitnije detalje koji se dodaju na *stablo*. Tako zadaci postaju sve už i specifičniji.

5. **Ponavljati korak 4. dok se sve glavne aktivnosti i podskupine ne razlože na temeljne aktivnosti.** Tijekom izrade plana, može se postaviti pitanje: Može li se ovaj zadatak završiti za manje od tjedan dana? Ako je odgovor potvrđan, možda više nema potreba za daljnjim rastavljanjem.
6. **Kontrolirati dijagram s obzirom na logiku i dovršenost.** Kontrolom se osigurava da svaki podnaslov ima izravnu uzročno-posljedičnu vezu s prethodnim.

Kad se nacrti i prekontrolira stablo dijagram, može se provesti objektivno procjenjivanje na temelju triju kriterija: učinkovitosti, izvedivosti i prioriteta. S učinkovitošću se procjenjuje koliko blizu cilju bi nas dovelo provođenje neke predložene radnje. S izvedivošću se procjenjuje praktičnost neke radnje, ali i procjena potrebnih resursa (vrijeme, financije i dr.). Zatim se odredi prioritet radnjama.

U praktičnoj primjeni stablo dijagram koristi se u:

- izradi organizacijske strukture poduzeća (čime su definirani i istaknuti odnosi u organizaciji)
- oblikovanju novih proizvoda (izrdom dijagrama montaže/demontaže postojećeg proizvoda na sklopove i podsklopove)
- planiranju projekta (tijekom rastavljanja projekta u aktivnosti)
- projektiranju procesa
- planiranju eksperimenata
- upravljanju troškovima itd.

2.4.3.4. Matrični dijagram

Matričnim dijagramom prepoznaju se veze i prikazuju jakosti veza između grupa podataka. Matrični dijagram primjenjuje se tijekom rješavanja različitih problema kao npr.: u dodjeljivanju odgovornosti unutar skupine ljudi, analizi tržišta, kod utvrđivanja koji problemi utječu na koje proizvode ili dijelove opreme, upravljanju kvalitetom, razvoju politika i strategija prodaje i servisiranja nakon prodaje. Koristi se i za procjenu učinkovitosti radnji tijekom rješavanja nekog problema ili za procjenu primjerenosti radnji za postizanje zadanih ciljeva. Prednost matričnog dijagrama je dobra preglednost.

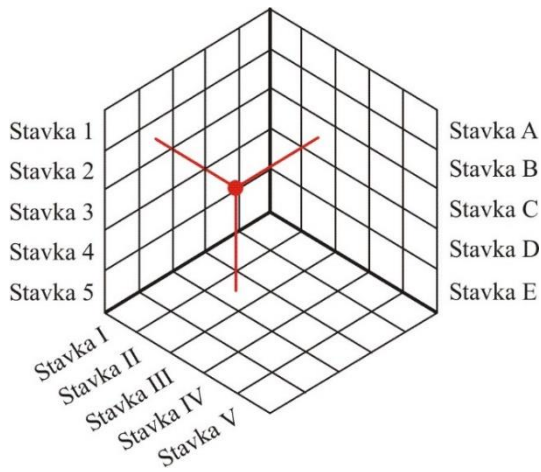
Ovisno o broju grupa podataka i odnosu među tim grupama, mogu se koristiti sljedeći oblici matričnih dijagrama: L, T, C, X, Y i krovni oblik matrice (Slika 2.93.)

	Stavka A	Stavka B	Stavka C	Stavka D	Stavka E
Stavka 1					
Stavka 2					
Stavka 3					
Stavka 4					
Stavka 5					

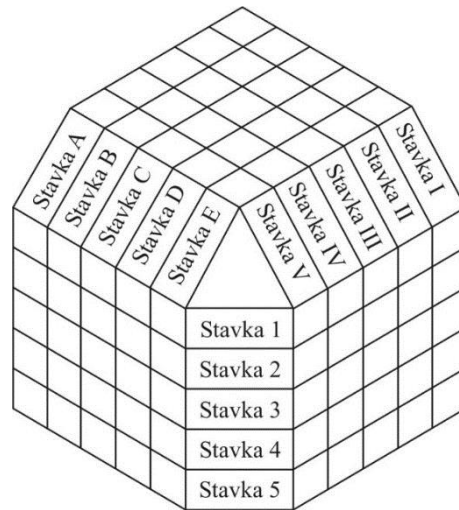
L

Stavka I				
Stavka II				
Stavka III				
Stavka IV				
Stavka V				
	Stavka A	Stavka B	Stavka C	Stavka D
Stavka 1				
Stavka 2				
Stavka 3				
Stavka 4				
Stavka 5				

T



C



Y

			Stavka I		
			Stavka II		
			Stavka III		
Stavka a				Stavka A	
Stavka b				Stavka B	
Stavka c				Stavka C	
			Stavka 1		
			Stavka 2		
			Stavka 3		

X

Slika 2.93. Oblici matičnih dijagrama

Matrični dijagram L oblika predstavlja osnovni oblik matričnog dijagrama, a povezuje dvije grupe stavki. Matrični dijagram T oblika dobije se dodavanjem još jedne matrice matrici L. Povezuje tri grupe stavki, pri čemu su dvije grupe stavki međusobno neovisne, ali su obje povezana s trećom stavkom. Matrični dijagram C ima oblik kocke, a istodobno u tri dimenzije povezuje tri grupe stavki. Matrični dijagram Y oblika povezuje tri grupe stavki koje su sve kružno povezane. Matrični dijagram X oblika povezuje četiri grupe stavki, od kojih je svaka kružno povezana sa još dvije grupe.

Postupak izrade matričnog dijagrama (Slika 2.94.):

1. **Odabrati grupe podataka (stavke) koji će se uspoređivati.** Mogu se koristiti prethodno izrađeni dijagram srodnosti, stablo dijagram, *brainstorming* i sl.
2. **Odabrati prikladni oblik matričnog dijagrama.**
3. **Nacrtati matricu i upisati stavke.**
4. **Odabrati simbole koji će prikazivati odnos ili vezu među stavkama.**
5. **Međusobno usporediti stavke.** U polja matrice upisuju se odgovarajući simboli koji predstavljaju jakosti veza između stavki. Odabranim simbolima se mogu pridijeliti procijenjene numeričke vrijednosti prema unaprijed dogovorenoj ljestvici. Ako su polja u matrici prazna to znači da među promatranim stavkama ne postoji povezanost.
6. **Analizirati matrice.** U posljednjem stupcu i retku zbroje se procijenjene numeričke vrijednosti. Stavka koja ima najveći zbroj ima prednost pred ostalim stavkama.

	Stavka A	Stavka B	Stavka C	Stavka D	Ukupno
Stavka 1		●	○		4
Stavka 2	●	○		●	9
Stavka 3	●	○	●	●	14
Ukupno	10	5	6	6	27

Značenje simbola:

- Jaka veza (5)
- Srednje jaka veza (3)
- Slaba veza (1)

Slika 2.94. Primjer matričnog dijagrama L oblika

2.4.3.5. Matrica prioriteta

Jedna od uobičajenih odluka koje menadžeri moraju donositi jest rangiranje prema prioritetima rješavanja utvrđenih problemi u organizaciji. S istim problemom susreću se i formirani timovi tijekom rješavanja konkretnih problema kada trebaju prepoznati ključne stavke koje uzrokuju analizirani problem. Matrica prioriteta je alat koji, ako se ispravno i objektivno upotrijebi, omogućuje sortiranje utvrđenih problema prema prioritetima. Primjenjuje se zajedno sa stablom dijagramom i matričnim dijagramom za učinkovitu procjenu stavki i usmjeravanje na najpoželjnije ili najučinkovitije opcije.

U svrhu određivanja prioriteta problema potrebno je definirati kriterije odlučivanja, a svaki kriterij ponderirati s obzirom na važnost. Zbroj pondera svih kriterija je 100%. U retke matrice upisuju se rješavani problemi. U stupce matrice upisuju se kriteriji. U sjecištu retka i stupca matrice upisuje se procjena vrijednosti (važnosti) problema (izražena ocjenom od npr.

1 do 10) u odnosu na promatrani kriterij. Ta se ocjena pomnoži s ponderom pripadajućeg kriterija i dobije se ponderirana vrijednost problema u odnosu na promatrani kriterij. U posljednjem stupcu zbroje se sve ponderirane vrijednosti po redcima. Što je veći zbroj ponderiranih vrijednosti, veći je prioritet problema (Tablica 2.17.).

Tablica 2.17. Matrica prioriteta

	Kriterij 1		Kriterij 2		Kriterij 3		Rezultat (zbroj ponderir. vrijedn.)
	Ponder 1 = 50 %		Ponder 2 = 20 %		Ponder 3 = 30 %		
	Vrijednost kriterija	Ponderir. vrijedn.	Vrijednost kriterija	Ponderir. vrijedn.	Vrijednost kriterija	Ponderir. vrijedn.	
Problem 1	3	1,5	4	0,8	5	1,5	3,8
Problem 2	5	2,5	6	1.2	7	2,1	5,8
Problem 3	2	1	2	0,4	3	0,9	2,3
Problem 4	7	3,5	9	1.8	2	0,6	5,9

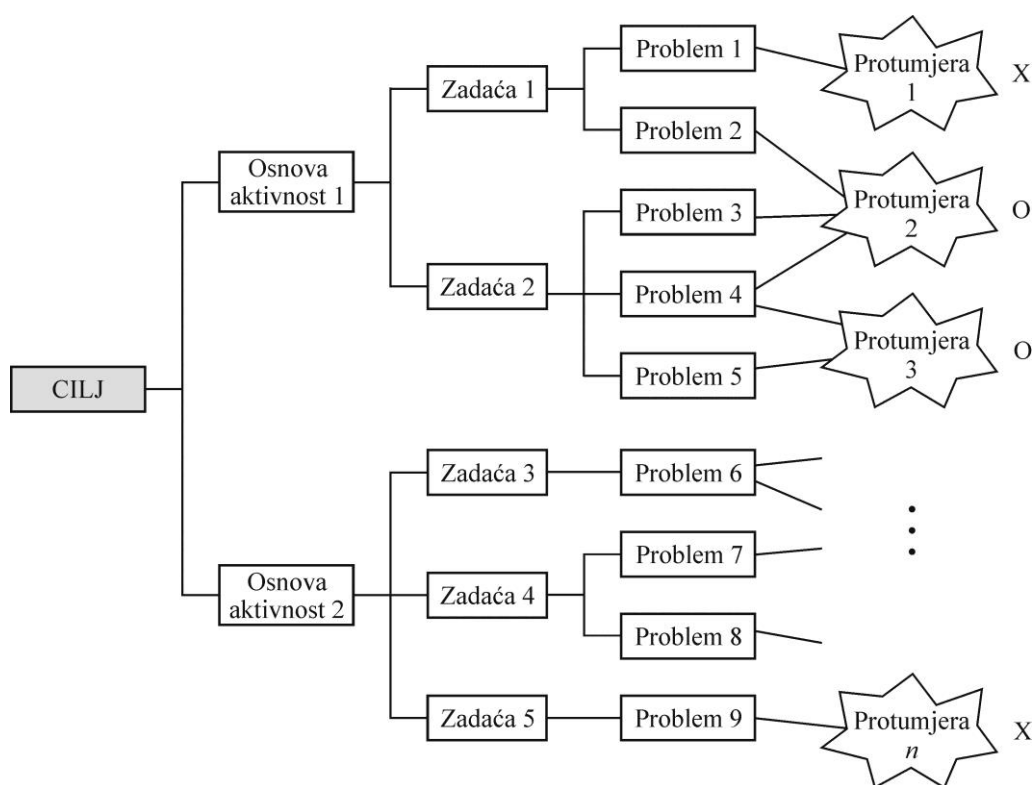
Matrica prioriteta predstavlja vremenski zahtjevan i strog alat odlučivanja. Iznimno je korisna kada su resursi za rješavanje problema (vrijeme, novac ili ljudi) ograničeni.

Postoji više alata i metoda za određivanje prioriteta u donošenju odluka kod rješavanja problema višekriterijalnog (višeatributivnog) odlučivanja. U najpoznatije i najviše korištene metode ubraja se analitički hijerarhijski proces (engl. *Analytic Hierarchy Process*) ili *AHP* metoda.

2.4.3.6. Program procesnog odlučivanja (*PDPC* dijagram)

Svaki se dobro razrađen plan sastoji od popisa aktivnosti, ciljeva, rokova i odgovornosti. Međutim, često se plan ne realizira prema željama onih koji su ga planirali. Program procesnog odlučivanja ili *PDPC* dijagram predstavlja relativno jednostavan i učinkovit alat s kojim se grafički prikazuju planirane aktivnosti, mogući problemi i protumjere koje treba poduzeti kako bi se problem riješio, umanjio ili spriječilo njegovo pojavljivanje (Slika 2.95.). Dakle, *PDPC* dijagram kao i metoda *FMEA* utvrđuju rizike, posljedice lošeg ishoda i moguće protumjere. Međutim, *FMEA* još procjenjuje razine relativnih rizika za svaki mogući loši ishod.

PDPC dijagram bi trebalo koristiti prije primjene složenog i opsežnog plana kod kojega neočekivani događaji mogu uzrokovati visoke troškove. Može se koristiti za revidiranje plana da se izbjegnu ometajući događaji ili za određivanje najboljih protumjera u slučajevima nastupanja tih događaja. *PDPC* dijagram omogućuje da se primjena plana odvija na najbolji način, tj. tako da se djeluje preventivno u odnosu na moguće probleme.



Slika 2.95. PDPC dijagram

Postupak izrade PDPC dijagrama:

1. Izraditi stablo dijagram promatranog plana. Stablo dijagram mora biti visoke razlučivosti, tj. sadržavati najmanje četiri razine. Na prvoj razini se u pravokutnik upiše osnovni cilj.
2. Na drugoj razini upišu se osnovne aktivnosti koje treba planirati za ostvarivanje cilja.
3. Na trećoj razini upišu se zadaće, odnosno aktivnosti kojima se realiziraju osnovne aktivnosti.
4. Za svaku aktivnost na trećoj razini *brainstormingom* se istražuje što bi moglo poći krivo.
5. Analiziraju se svi prikupljeni uzroci/problemi i eliminiraju oni koji su malo vjerojatni ili su im posljedice beznačajne. Ostali uzroci/problemi upisuju se na četvrtu razinu stabla dijagrama.
6. Za svaki mogući uzrok/problem *brainstormingom* se utvrđuju protumjere. Protumjere se prikazuju na petoj razini stabla dijagrama unutar geometrijskih likova u obliku oblačića, zvjezdica i sl.
7. Obavi se razlučivanje pojedinih protumjera s obzirom na učinkovitost koristeći kriterije kao što su: troškovi, vrijeme, ljudski resursi, jednostavnost primjene itd. Nepraktične protumjere označe se sa X, a praktične sa O.

2.4.3.7. Mrežni dijagram

Pod pojmom projekt razumijeva se svaki zadatak koji je predmet planiranja, a potrebno ga je realizirati u nekom vremenskom intervalu. Svaki projekt sastoji se od mnogo zadataka koje treba obaviti u određenoj međusobnoj ovisnosti. Takvi zadaci nazivaju se *aktivnostima*.

Svaka aktivnost ima početni i završeni *događaj*. Događaj je trenutno stanje aktivnosti koje nema vrijeme trajanja, npr.: početak trke, prolazak trkača kroz zamišljenu ciljnu liniju, početak proizvodnje, završetak nekog posla itd.

Do pojave tehnika mrežnog planiranja, planiranje projekata izvodilo je se primjenom gantograma. *Gantogram* (ili Ganttov dijagram) je graf čija apscisa predstavlja vrijeme, a ordinata aktivnosti projekta prema tehnološkome slijedu njihova izvođenja. Planiranje gantogramom prikladno je kada je riječ o projektima s malim brojem aktivnosti i s logički predvidljivim redoslijedom bez cikličkoga ponavljanja istih vrsta aktivnosti. Aktivnosti u gantogramu prikazuju se usporednim linijama. Duljina linija ovisi o trajanju aktivnosti. Planiranje velikih projekata s više od tisuću aktivnosti nije moguće primjenom *gantograma*. Za to postoji više razloga, a dva su osnovna:

- gantogram s velikim brojem aktivnosti gubi svoju najveću prednost – preglednost koju ima kad se sastoji od malog broja aktivnosti
- gantogramom se teško prikazuje više međuovisnosti između aktivnosti.

Za planiranje projekata koriste se različiti mrežni dijagrami aktivnosti, a najviše se koriste tehnike mrežnog planiranja. Tehnike mrežnog planiranja (*TMP*) temelje se na teoriji grafova. *TMP* je skupni naziv za veći broj metoda među kojima su najpoznatije metode CPM (engl. *Critical Path Method*), PERT (engl. *Project Evaluation and Review Technique*) i PDM (engl. *Precedence Diagram Method*).

Kod metoda *CPM* i *PERT* aktivnosti se prikazuju strelicama, a događaji krugovima. Dužina strelice nije u korelaciji s vremenom trajanja aktivnosti. Svaki mrežni dijagram ima jedan početni i jedan završni događaj. Da bi se jednoznačno prikazale određene međusobne ovisnosti među aktivnostima, kod metoda *CPM* i *PERT* koriste se i tzv. prividne aktivnost. Trajanje prividne aktivnosti je nula.

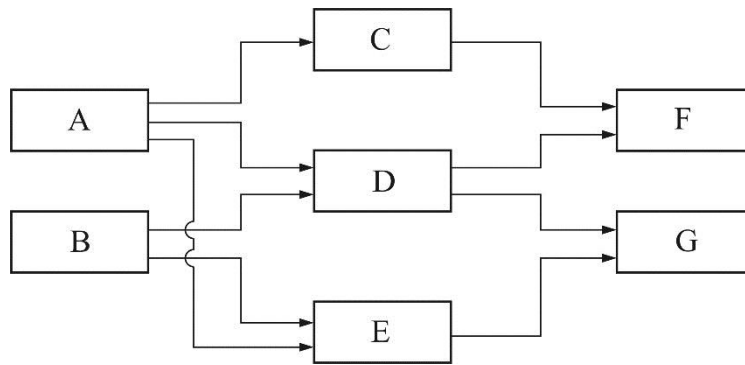
Za crtanje mrežnih dijagrama kod metoda *CPM* i *PERT* postoje određena pravila. Osnovni nedostatak metoda *CPM* i *PERT* jest prikazivanje *vremenskog preklapanja* aktivnosti.

Kod metode *PDM* aktivnosti se prikazuju pravokutnicima. Pravokutnici se povezuju strelicama koje prikazuju međusobne ovisnosti među aktivnostima. Međuovisnosti aktivnosti prikazuju se izravnim vezama s pomoću strelica. Događaji aktivnosti se ne prikazuju.

U odnosu na metode *CPM* i *PERT*, metoda *PDM* je prikladnija u prikazivanju vremenskog preklapanja aktivnosti. *PDM* metoda se služi s četirima tipovima veza među aktivnostima:

1. *Veza početak - početak (SS)*: nakon isteka točno određenog vremena od početka prethodne aktivnosti može započeti iduća aktivnost.
2. *Veza završetak - završetak (FF)*: nakon isteka točno određenog vremena od završetka prethodne aktivnosti može završiti iduća aktivnost.
3. *Veza završetak - početak (FS)*: iduća aktivnost ne može započeti dok ne prođe točno određeno vrijeme od završetka aktivnosti koja joj neposredno prethodi.
4. *Veza početak - završetak (SF)*: iduća aktivnost ne može završiti dok ne prođe točno određeno vrijeme od početka aktivnosti koja joj neposredno slijedi.

PDM dijagram jednoga jednostavnog projekta prikazan je na Slici 2.96. Slovne oznake A, B, ... označavaju aktivnosti projekta.



Slika 2.96. Mrežni dijagram izrađen PDM metodom

Neprekinuti niz aktivnosti u mrežnom dijagramu tvori *put*. Mrežni dijagram na slici 19 sastoji se od sljedećih putova: A-C-F, A-D-F, A-D-G, A-E-G, B-D-F, B-D-G, B-E-G.

Metoda *CPM* koristi se u planiranju projekata o kojima postoji iskustvo, odnosno projekata kod kojih se vremena trajanja aktivnosti mogu precizno odrediti. Metoda *PERT* koristi se za planiranje istraživačkih i razvojnih projekata. Kod metode *PERT* vremena trajanja aktivnosti ne mogu se precizno odrediti, ali se očekivano vrijeme može izračunati na temelju dostupnih podataka o sličnim poslovima i/ili primjenom statistike. Kod metode *PERT*, za svaku se aktivnost procjenjuju tri vremena trajanja:

1. optimističko vrijeme trajanja aktivnosti (t_o)
2. najvjerojatnije vrijeme trajanja aktivnosti (m)
3. pesimističko vrijeme trajanja aktivnosti (t_p).

Na temelju ova tri procijenjena vremena, izračunava se *očekivano vrijeme trajanja aktivnosti* (t_e) s pomoću kojeg se obavljaju daljnji proračuni:

$$t_e = \frac{t_o + 4m + t_p}{6}. \quad (5.2)$$

Druga veličina koju je potrebno izračunati kod analize vremena primjenom metode *PERT* je *varijanca očekivanog vremena trajanja aktivnosti* $\sigma_{t_e}^2$. Ona predstavlja mjeru nesigurnosti kojom je procijenjeno očekivano vrijeme trajanje aktivnosti, a računa se s pomoću izraza:

$$\sigma_{t_e}^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2. \quad (5.3)$$

Primjena tehnike mrežnog planiranja kod planiranja i upravljanja projektima odvija se u četirima koracima:

1. analiza strukture
2. analiza vremena
3. optimiranje troškova
4. planiranje resursa.

Nakon definiranja projektnog zadatka, analiza strukture obuhvaća sljedeće radnje:

- popis aktivnosti koje je potrebno obaviti tijekom realizacije projekta

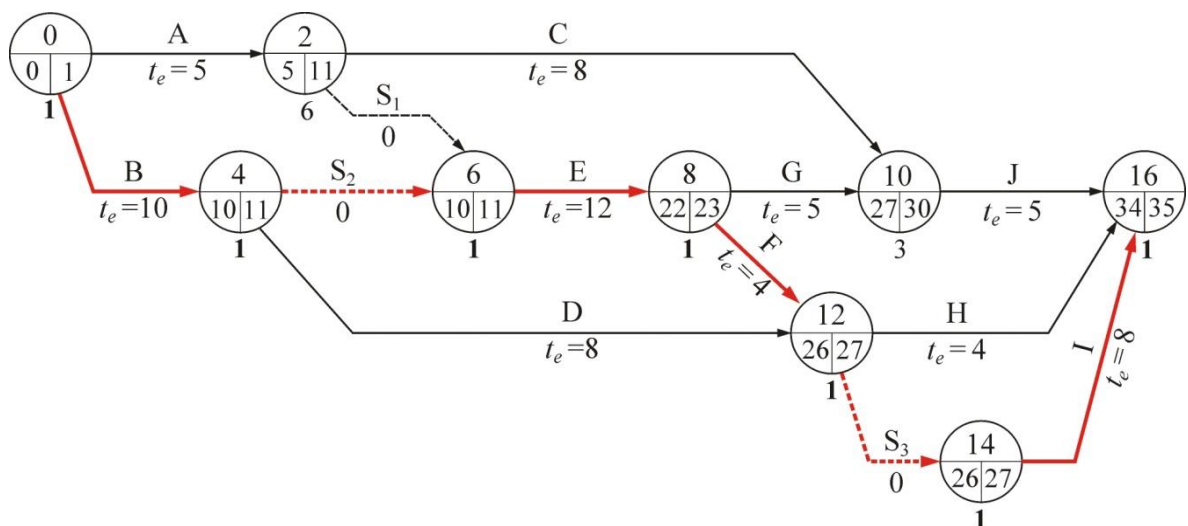
- određivanje logičkog redoslijeda i međusobnih ovisnosti između aktivnosti koje treba obaviti tijekom realizacije projekta (Koje aktivnosti prethode promatranoj aktivnosti? Koje aktivnosti slijede nakon promatrane aktivnosti? Koje se aktivnosti mogu izvoditi neovisno o promatranoj aktivnosti ili istodobno s njom?)
- određivanje vremena trajanja aktivnosti
- određivanje svih potrebnih resursa (ljudi, sredstava za rad, materijala) za realizaciju svake aktivnosti
- određivanje izravnih troškova za izvođenje aktivnosti
- crtanje mrežnog dijagrama.

Analizom vremena odredit će se:

- vremena najranijih mogućih početaka i završetaka svih aktivnosti
- vremena najkasnijih dopuštenih početaka i završetaka svih aktivnosti
- vremenske rezerve za aktivnosti (ukupna i slobodna vremenska rezerva)
- najranije i najkasnije vrijeme završetka projekta u zadanim uvjetima te
- kritični put.

Vrijeme početka realizacije aktivnosti ovisi o završetcima aktivnosti koje prethode. Aktivnosti treba tako složiti da se odvijaju funkcionalnim slijedom, a početak i kraj svake aktivnosti treba vremenski uskladiti kako bi se cijeli projekt realizirao u predviđenom roku.

Pri analizi mrežnih dijagrama posebno se analiziraju tzv. *kritični putovi*. Kritični put je put u mrežnom dijagramu od početnog do završnog događaja, odnosno od početne do završne aktivnosti, koji ima najduže trajanje te svojim trajanjem određuje trajanje cijelog projekta. Drugim riječima, to je put koji se sastoji samo od kritičnih aktivnosti i na njemu nema nikakvih vremenskih rezervi. Kašnjenje bilo koje aktivnosti koja se nalazi na kritičnom putu produljit će trajanje cijelog projekta. U jednom mrežnom dijagramu može postojati više kritičnih putova. Analiza kritičnih putova upućuje na one aktivnosti kojima treba obratiti posebnu pozornost (Slika 2.97.).



Slika 2.97. Primjer mrežnog dijagrama i analize vremena metodom PERT

Optimiranje troškova je postupak određivanja vremena izvođenja projekta za koji su troškovi najmanji. Za rješavanje problema određivanja najmanjih troškova mogu se koristiti heurističke metode *PERT/COST*.

Planiranje potrebnih resursa obuhvaća:

- određivanje vremenskih termina kada su pojedini resursi potrebni
- osiguranje potrebnih resursa.

2.4.4. Važnost kvalitete i primjena alata za kvalitetu prilikom uvođenja HR-ISE modela

Provedeno istraživanje nad 37 hrvatskih poduzeća pokazalo je visok stupanj svijesti o važnosti kvalitete i primjene alata vezanih za kvalitetu. Sve ispitane tvrtke su barem jednom kroz svoje odgovore na postavljena pitanja istaknule važnost kvalitete za njihove sustave. Ukupno upravljanje kvalitetom je vrlo visoko pozicionirano kod odgovora na pitanje vezano za *lean* alate koje koriste poduzeća u svojim proizvodnim sustavima, što također pokazuje važnost kvalitete u ispitanim tvrtkama.

Većina ispitanih tvrtki ima uveden ISO 9001:2015 sustav upravljanja kvalitetom u svojim organizacijama. Ispitane tvrtke su ističu da ne mogu konkurirati na svjetskom tržištu bez međunarodnih normi koje im pomažu da poboljšaju svoje sustave upravljanja kvalitetom i procesima. Načela upravljanja kvalitetom prema ISO normama prikazane su u Tablici 2.18., u kojoj se nalaze poveznice s odgovorima tvrtki koje primjenjuju navedena načela u vlastitom upravljanju kvalitetom.

S obzirom da *šest sigma* primjenjuje dvije osnovne metodologije potaknute *PDCA* ciklusom *DMAIC* i *DMADV*, ispitane tvrtke navedenu metodologiju smatraju vrlo značajnom, te je smatraju nužnom pri uvođenju HR-ISE modela. Ovo prikazuje Slika 2.34., gdje je na desnoj strani vidljiv proces koji nikada ne završava, već se uvijek preispituju i znaju određeni ciljevi, pritom se određuju prioritete, uključuju zaposlenici, uvode nove dodatne *lean* metode, analizira se trenutno stanje i ovisno o rezultatima analize korigiraju ciljevi i ponavlja se cijeli postupak, kako bi se doseglo željeno stanje. Proces na slici predstavlja strategiju organizacije pri čijoj realizaciji pomaže *šest sigma* sustav.

Prilikom uvođenja HR-ISE modela potrebno je paziti na suvremeni pristup i kontrolu uvođenja. Organizirano se trebaju prikupljati podaci, analizirati što se događa s proizvodnim procesima, prepoznati poteškoće prilikom uvođenja, te pratiti utjecaj na proizvod i njegovu kvalitetu pritom.

Jedan od alata koji je vrlo visoko pozicioniran u Tablici 2.18., koja prikazuje alate koje koriste ispitana hrvatska poduzeća, je *Total Quality Management (TQM)*. Poduzeća u Republici Hrvatskoj primjenjuju navedeni model upravljanja kvalitetom. Sve više napuštaju tradicionalni pristup i kreću se prema *TQM*. Iako postoje segmenti u kojima nisu dosegnuti željeni ciljevi, ali prema odgovorima ispitanika jasno je da se poduzeća nalaze u procesu visokog stupnja uvođenja.

Posebno se u odgovorima ističe uključivanje zaposlenika, timski rad, kontinuirano poboljšanje, odlučivanje na temelju činjenica i prikupljenih podataka te razvoj partnerskih odnosa sa dobavljačima, kupcima i svima koji sudjeluju u proizvodnom procesu.

Prema odgovorima poduzeća, vidljiva je visoka važnost kvalitete i primjena alata za upravljanje i poboljšanje kvalitete.

Tablica 2.18. Načela upravljanja kvalitetom prema ispitanim tvrtkama

Načela upravljanje kvalitetom	Odgovori ispitanih poduzeća
Usmjerenost na kupca	Kao najvažniji cilj navodi se zadovoljstvo kupca, čija očekivanja se žele ispuniti i nadmašiti.
Vodstvo	Vodstvo je ključno u uvođenju HR-ISE modela, a ističe se i potreba za edukacijom vodstva, kontinuiranim treninzima, učenju od boljih i dobrim odnosima sa zaposlenicima.
Angažman osoblja	Najvažnije načelo, kako bi se uspješno provelo uvođenje promjena, a zatim nastavilo kvalitetno održavati nove načine rada i uvijek tražiti novije, koji će više doprinijeti radu.
Procesni pristup	Za procesni pristup 19% ispitanika tvrdi kako je <i>PDCA</i> ciklus važan u sustavnom definiranju i upravljanju procesima, također se <i>DMAIC</i> metodologija spominje kroz odgovore poduzeća, ističe se kako ona nedostaje HR-ISE modelu pa je kroz upravljanje kvalitetom uključena u HR-ISE modelu.
Poboljšavanje	Kontinuirano unaprijeđenje čini temelj HR-ISE modela, s čim se slažu i ispitane tvrtke. Podupiru temelje modela koji se odnose na standardizirani rad i kontinuirano unaprijeđenje, gdje se uvijek promatraju potencijalne prilike za unaprijeđenje u bilo kojem dijelu organizacije.
Donošenje odluka na temelju dokaza	Kao što je ranije navedeno, sve metode i njihovo provođenje ide u smjeru digitalizacije. Za većinu metoda koje uvode i provode ispitane tvrtke postoji sakupljanje podataka putem različitih softvera. Cilj je dobiti pravovremene informacije, provesti analize, sastaviti rezultate, interpretirati ih i što je brže moguće provesti radnje koje će poboljšati stanje. Odluke se ne donose na temelju iskustva, već pomoću dokaza.
Upravljanje odnosima	Potrebno je upravljati odnosima kako unutar poduzeća tako i prema okolini. Prema okolini poduzeća su među ostalim prisutni odnosi s kupcima. Tvrtke putem anketiranja prikupljaju podatke o zahtjevima kupaca i na temelju njih rade smjernice za unaprijeđenje kvalitete proizvoda. Također ističu važnost dobre komunikacije među zaposlenicima, kako bi se jasno razumjeli zadaci, rokovi i odgovornosti.

2.5. Razvoj koncepta za implementaciju ERP i xRM sustava

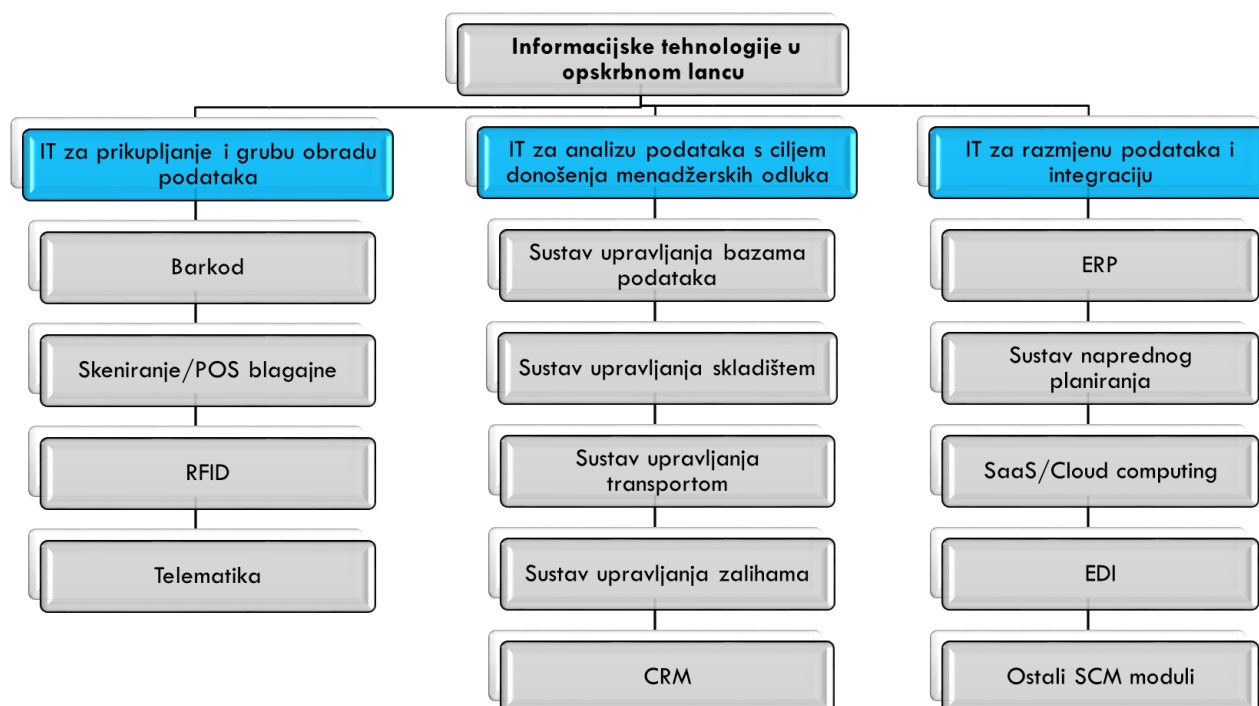
2.5.1. Uvod

Informacijske tehnologije u dobavljačkom lancu se mogu podijeliti na različite načine s obzirom na hijerarhijsku kompleksnost, s obzirom na stupanj razvoja i aplikacije [Shi, Chan, 2010] ili s obzirom na osnovnu zadaću [Shapiro, 2006].

Dakle, informacijske tehnologije u dobavljačkom lancu, odnosno u upravljanju dobavljačkim lancem, mogu se podijeliti na:

- informacijski sustavi za prikupljanje i grubu obradu podataka,
- informacijski sustavi za analizu podataka s ciljem donošenja menadžerskih odluka, i
- informacijski sustavi za razmjenu podataka i integraciju.

Na Slici 2.98. navedene su i svrstane u tri skupine osnovne i najčešće tehnologije koje se koriste u dobavljačkom lancu. Nikako se ne smatra da su to i jedine tehnologije u dobavljačkom lancu. Suvremene informacijske tehnologije trebale bi biti integrativne, odnosno trebale bi uz mogućnosti automatizacije i informiranja, omogućiti računalnu povezanost, koje će u stvarnom vremenu aktivirati mreže ravnopravnih subjekata. Ovim bi se omogućilo da se prebrode funkcionalne barijere i isprepletu zajedničko i specijalizirano znanje, te istraže nove poslovne mogućnosti [Ross, 2016]. Upravo zbog toga je ponekad teško svrstati određenu tehnologiju u samo jednu skupinu [Dujak, Šantorić, Tomašević, 2011].

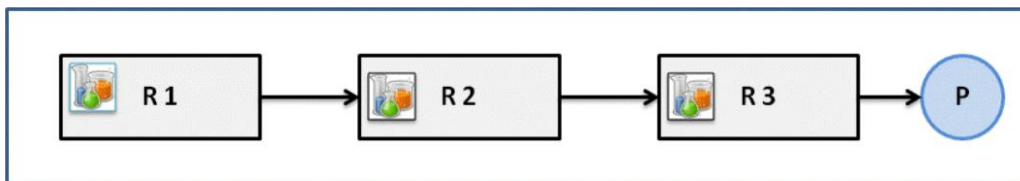


Slika 2.98. Informacijske tehnologije u opskrbnom lancu [Dujak, Šantorić, Tomašević, 2011]

2.5.2. Industrija 4.0 i informacijski sustavi

Da bi razumjeli što se događa uvođenjem Industrije 4.0, bit će predstavljen primjer poduzeća koje proizvodi gel za tuširanje koristeći mogućnosti i funkcije koji su dostupni s Industrijom 3.0. Promatranje je obavljeno s najniže razine - proizvodnje. U tvornici se gel za tuširanje proizvodi, puni u boce, lijepi oznakama i pakira (Slika 2.99.).

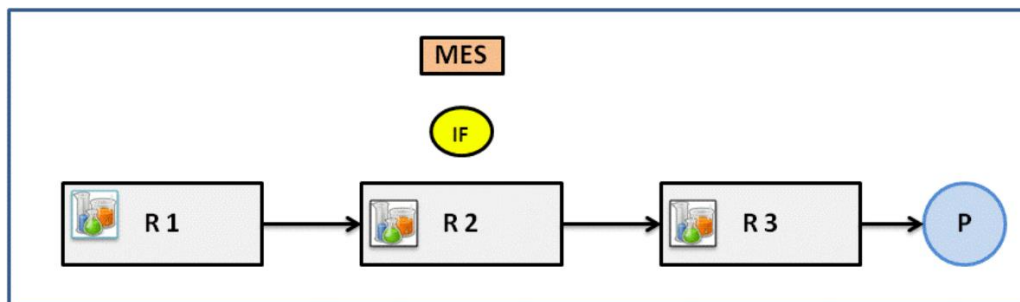
Proces proizvodnje zahtijeva tri resursa, kontrolne sustave i operatere: prvi od tri resursa se koristi za proizvodnju tekućine koja je osnova gela za tuširanje. Dio količine navedene tekućine se pumpa od ovog resursa prema drugom. Tu se događa dodavanje boje i mirisa, da bi se stvorila željena varijanta gela za tuširanje. Treći resurs se koristi za punjenje obrađenog gela za tuširanje u odgovarajuću bocu. Sva tri resursa su raspoređena u nizu u proizvodnoj liniji. Ako jedan od resursa zataji, kompletan proizvodni proces je blokiran. Dinamična prilagodba proizvodnog kapaciteta je zahtjevna.



Slika 2.99. Proizvodna linija

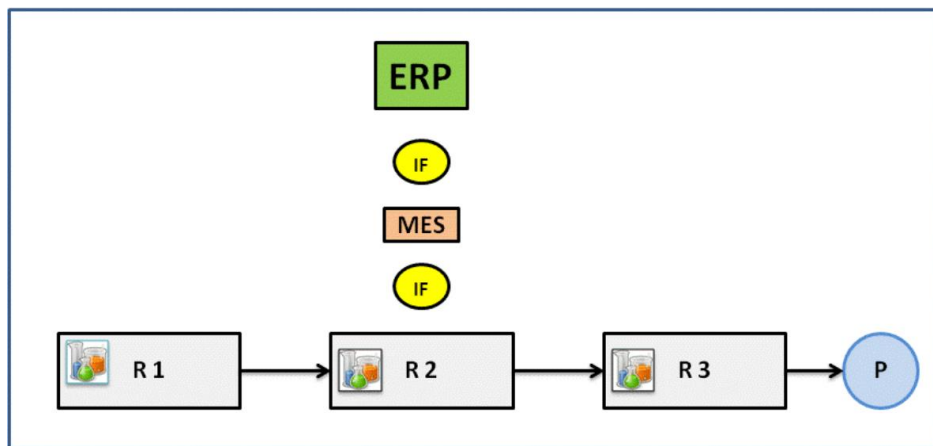
Za fino ugađanje proizvodnih procesa tvornica koristi sustav upravljanja proizvodnjom, koji se naziva sustav izvršenja proizvodnje (eng. *Manufacturing Execution System - MES*). *MES* sustav ima sučelje koje omogućuje razmjenu informacija s proizvodnim resursima. Kontrola proizvodnje je jedna razina iznad razine izrade (Slika 2.100.).

Poslovni procesi u većini poduzeća su upravljani pomoću *ERP* sustava. *ERP* je kratica za planiranje poslovnih resursa (*Enterprise Resource Planning*) i ista se kratica koristi za potrebni softver. *ERP* sustav sadrži aplikacije i programe za obavljanje raznih poslovnih procesa. Tvrtka koristi *on premise* instalaciju *ERP* sustava. Razina *ERP* procesa nalazi jednu razinu iznad razine kontrole proizvodnje.



Slika 2.100. Kontrola proizvodnje proizvodne linije

U ovom primjeru *ERP* sustav obrađuje narudžbe boca gela za tuširanje, koje su naručile prodavaonice. Iz podataka prodajnog naloga izvedene su količine koje će biti proizvedene (Slika 2.101.).



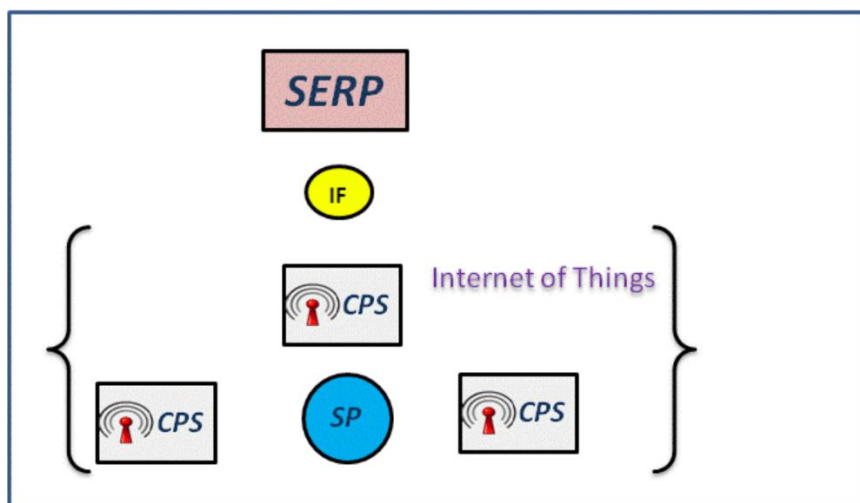
Slika 2.101. Razina *ERP* sustava kontrole proizvodnje proizvodne linije

ERP sustav prenosi ove količine na *MES* sustav pomoću *ERP-MES* sučelja. *MES* sustav pokreće proizvodnju boca gela za tuširanje. On vraća podatke o tijeku proizvodnje kroz *ERP-MES* sučelje *ERP* sustavu.

2.5.2.1. Promjena u informacijskim sustavima s Industrijom 4.0

S Industrijom 4.0, prethodna nefleksibilna tvornica pretvara se u pametnu tvornicu, pametno i vješto projektiran proizvodni objekt.

Prethodno proizvodni resursi su pretvoreni u *CPS* sustave (*CPS* - *Cyber Physical Systems*): glavna karakteristika *CPS-a* je činjenica da oni uključuju ugradbene sustave. *CPS* subjekti komuniciraju međusobno putem *Interneta stvari* koristeći bežičnu radio komunikaciju. *CPS* subjekti su kompleksni, ali inteligentni i imaju sposobnost učenja. Ovo svojstvo osigurava visoko fleksibilnu proizvodnju. *CPS* sustavi mogu brzo izvesti samo-konfiguracije (Slika 2.102.). Pomoću njihovih senzora detektiraju, je li potrebno održavanje.



Slika 2.102. Elementi pametne tvornice

Bivša proizvodna linija s fiksnim rasporedom proizvodnih resursa je zamijenjena s mrežom *CPS* resursa: ova *CPS* mreža brzo reagira na *uska grla* zbog svoje fleksibilnosti. Ukoliko jedan *CPS* otkáže, drugi *CPS* iz mreže će preuzeti njegove zadatke. Ova samo-dovoljna *CPS* jedinica dopušta prebacivanje zadataka koji su obrađeni na razini upravljanja proizvodnjom na razinu proizvodnje. U najbolje slučaju nema potrebe za korištenjem *MES* sustava i odgovarajućeg sučelja.

Klasični proizvod će se pretvoriti u inteligentni, pametni proizvod. On poznaje svoj trenutni status, sljedeći korak u proizvodnji koji mora proći itd. Povezan je s *CPS-om*, pa se može brzo i precizno kretati kroz korake proizvodnog procesa.

Razmjena podataka između pametnih proizvoda i proizvođača je moguća čak i nakon napuštanja proizvodnog pogona. Razmijenjeni podaci omogućuju zaključke o distribuciji i korištenju proizvoda. Za razliku od gela za tuširanje iz navedenog primjera (koji nije toliko pametan), automobili i traktori su već danas sposobni za prediktivno održavanje: uz pomoć senzora proizvod detektira u slučaju da se dogodi neka pogreška. U ovom slučaju, proizvod aktivira odgovarajuće servis ili aktivnost održavanja izravno od proizvođača. Pouzdanost inteligentnih proizvoda je povećana, što dovodi do smanjenja troškova od strane korisnika.

Tako je nastala inteligentna tvornica (pametna tvornica): moguća je brza i fleksibilna izmjena proizvodnih procesa u bilo kojem vremenu. Povezivanje preko *IoT* (Internet of Things) također povećava transparentnost proizvodnog procesa: trenutnu lokaciju i stanje inteligentnih proizvoda je jednostavno identificirati. Poduzetničke odluke se sada mogu donositi na osnovu trenutnih podataka s razine proizvodnje. Postojeći *ERP* sustavi se pretvaraju u pametne *ERP* sustave (*SERP* – *smart ERP*) koji su sposobni biti podrška pametnoj tvornici [Dittes, 2015].

2.5.3. Koncept implementacije *ERP/xRM* sustava

Implementacija informacijskog sustava u poduzeće predstavlja za njega veoma značajan projekt. Ovakav projekt predstavlja ne samo značajno angažiranje potrebnih resursa poduzeća već i značajan rizik za ekonomsku uspješnost samog projekta. Iz tog razloga je neophodno posvetiti posebnu pažnju planiranju ovakvih projekata.

Početak je u izboru strategije za implementaciju projekta. U osnovi postoje dvije moguće strategije implementacije:

- postupno uvođenje,
- jednovremeno uvođenje.

Pored izbora strategije i standardnih čimbenika uspjeha jednog projekta značajan utjecaj na rezultat projekta ima:

- Tip izabranog programskog rješenja sa aspekta
 - funkcionalnosti programskog rješenja,
 - ugleda proizvođača programskog rješenja,
 - pouzdanosti programskog rješenja,
 - upotrebe referentnih modela,

- tehnološke dovršenosti i suvremenosti rješenja,
- prilagođenost rješenja poslovnoj praksi,
- Izvođači projekta sa aspekta
 - iskustva pri uvođenju programskih rješenja,
 - partnerskog odnosa poduzeća i dobavljača (izvođača),
 - povjerenje korisnika u sposobnost izvođača projekta,
- Poduzeće u koje se uvodi novi IS s gledišta
 - potpore vrhovnog vodstva,
 - usklađenosti informatike i projekta sa strategijom poduzeća,
 - široke potpore projektu,
 - transparentnosti podataka i postupaka u organizaciji,
 - razine informacijske tehnologije i informatičkog znanja unutar poduzeća,
 - upotrebe suvremenih oblika komunikacije i rada u timovima,
 - poznavanje tehnike vođenja projekata,
 - kvalitete osposobljenosti korisnika,
 - trajanje projekta.

Koncept implementacije opisuje i općenito regulira cjelokupni proces od iniciranja preko provođenja do završetka projekta. Obzirom da postoji čitav niz različitih vrsta projekata implementacije informacijskih sustava postoji i čitav niz koncepata implementacije opisanih u literaturi. Od klasičnih modela vodopada, ili spiralnog modela do individualnih koncepata implementacije ponuđenih od strane proizvođača standardnih *ERP* i *CRM* sustava.

2.5.3.1. Koncept uvođenja informacijskog sustava

Implementacija informacijskog sustava se odvija u dva dijela.

1. implementacija sustava u cijelom poduzeću uz postizanje osnovne funkcionalnosti sustava
2. implementacija sustava od dostignute razine u prvom dijelu implementacije do željene razine sustava primjenom standardnih alata za poboljšanje poslovnih procesa.

Prvi dio podrazumijeva implementaciju sustava u cijelom poduzeću kroz dvije forme opisivanja problema. Jednom formom se definiraju faze uvođenja novog informacijskog sustava u poduzeću, a drugom formom se definira referentni organizacijski model poduzeća koji je prilagođen individualnim potrebama procesa tog poduzeća.

Ovaj dio uvođenja informacijskog sustava se dijeli u pet faza:

1. Projekt menadžment
2. Analiza postojećeg stanja
3. Razvoj koncepta koji odgovara potrebama poduzeća
 - a. Referentni modeli
 - b. Modeli unutar *ERP/CRM* sustava
4. Instalacija informacijskog sustava
5. Faza implementacije

U fazi projekt menadžmenta vrši se definiranje cilja, izrada projektnog plana, formiranje projektnog tima i ostale aktivnosti neophodne za realizaciju i provođenje projekta.

U drugoj fazi analize postojećeg stanja vrši se postupak intervjuiranja i dokumentiranja tokova procesa i definiranja konkretnih vrijednosti mjerenih veličina, koje će biti dalje obrađivane kroz analizu uskih grla u procesu.

U trećoj fazi (Razvoj koncepta koji odgovara potrebama poduzeća) analizirani procesi se unutar projektnog tima diskutiraju i donosi se odluka o izmjenama koje je neophodno izvršiti. U okviru razvoja koncepta postoje razvijeni referentni modeli (*ARIS-Toolset*). Ove modele je moguće s jedne strane prilagoditi funkcionalnosti softverskog paketa i njegovim modulima. S druge strane, ovi referentni modeli nude transparentni prikaz poslovnih procesa koji mogu biti prilagođeni individualnim potrebama poduzeća i jednovremeno poslužiti kao osnova za prilagodbu softvera potrebama poduzeća. Drugi način je da se postojeći poslovni procesi prilagode poslovnim procesima pred definiranim unutar standardnog softverskog rješenja. Naime, kod većine standardnih *ERP/CRM* sustava je unutar sustava integriran širok spektar pokrivenosti poslovnih procesa s razvijenim varijacijama koje predstavljaju specifičnosti pojedine branše i njenih posebnosti unutar branše. Ova karakteristika *ERP/CRM* sustava predstavlja potencijal znanja ugrađen u standardni *ERP/CRM* sustav koja se može iskoristiti pri implementaciji informacijskog sustava.

U četvrtoj fazi uređuju se odnosno podešavaju parametri informacijskog sustava. U posljednjoj petoj fazi, možda i najvažnijoj, vrši se implementacija softvera kao i sistemsko i organizacijsko dokumentiranje. U fazi implementacije je neophodno obratiti pažnju na redoslijed realizacije pojedinih koraka s ciljem brzog postizanja rezultata uvođenja novog informacijskog sustav. Povrat uloženi sredstava u ovoj fazi ima vrlo visoki prioritet.

Prvi korak u ovoj petoj fazi implementacije pored onih osnovnih koji su vezani za matične podatke su upravljanje skladišnim poslovanjem i pripadajuće aktivnosti pisanja narudžbi, obrada naloga kupaca i obrada naloga za proizvodnju. Ove poslove je neophodno u prvom koraku kompletno provesti. U drugom koraku je neophodno izvršiti optimiranje odvijanja poslova unutar pojedinih odjela. U trećem koraku potrebno je realizirati funkcije koje nudi softverski paket u odnosu na statistike, izvješća i drugih veličina koje nastaju kao rezultat rada sa softverskim paketom. Standardni *port ARIS-Toolseta* omogućuje prenošenje koncepta razvijenog ovim alatom u *MS-Project* čime se omogućuje formiranje projektnog plana s potrebnim resursima i terminima izvođenja pojedinih aktivnosti.

Nakon provedene implementacije informacijskog sustava neophodno je krenuti u drugi dio implementacije uz korištenje standardnih alata za poboljšanje poslovnih procesa (*Total Cycle Time, kaizen, Six Sigma*). U ovom dijelu implementacije informacijskog sustava je veliki sudjelovnje djelatnika poduzeća uz minimalnu angažiranost konzultanata odnosno programera. Kroz drugi korak implementacije informacijskog sustava i jednovremenu primjenu metoda za poboljšanje poslovnih procesa postiže se više učinaka. Prvim korakom implementacije informacijskog sustava postavljeni su informacijski i podatkovni preduvjeti za uspostavu sustava kontrolinga za procese, što predstavlja preduvjet za implementaciju metoda za poboljšanje poslovnih procesa. U procesu implementacije metoda za poboljšanje poslovnih procesa trebali bi sudjelovati svi djelatnici. Poboljšanja bi se trebala integrirati u

informatijski sustav, čime bi se ostvarila dodatna kvaliteta i brzina unutar poslovnih procesa [Stojkić, 2008].

2.5.3.2. Zahtjevi Industrije 4.0 u razvoju ERP sustava

U cilju što kvalitetnije pripreme za Industriju 4.0, proizvođači *ERP-a* se udaljavaju od prethodno izgrađenih sučelja i formula, kako bi razvili visoko povezane sustave za provođenje operacija na razini proizvodnih linija. Ovim donosioci odluka imaju na raspolaganju potrebne podatke u stvarnom vremenu. *ERP* sustav kompatibilan s Industrijom 4.0 u potpunosti će se integrirati sa sustavom za izvršenje proizvodnje (*MES*). Kao rezultat toga, bit će moguće pratiti i dokumentirati transformaciju od sirovina do gotovih proizvoda.

Ako se kao primjer uzmu proizvođači automobila, svaki će automobil imati *RFID* čip za proizvodni proces. On će sadržavati sve informacije o proizvodu od boje šasije prema vrsti materijala na sjedalima, kao i o svim prilagođenim značajkama ili pojedinostima. Kad šasija dosegne prvu radnu stanicu u proizvodnoj liniji, *RFID* čip šalje poruku *MES-u*, koje će strojeve usmjeriti da oboje tijelo u naručenoj nijansi koju zahtijeva kupac. Nakon završetka procesa bojanja, aktivnost će biti registrirana na *RFID* čipu i automobil će se transportirati na sljedeću radnu stanicu. Ovaj proces omogućava zadovoljavanje individualnih zahtjeva kupaca, uz održavanje učinkovitosti proizvodnog procesa. Budući da je tako dinamična, Industrija 4.0 omogućuje *last minute* promjene u proizvodnji, tako da proizvođači mogu fleksibilno reagirati na poremećaje, promjene u narudžbi ili pogreške dobavljača.

Bitno je da proizvođači odgovore na pitanje, hoće li njihovo postojeće *ERP* okruženje podržati razinu integracije s *MES-om* kada započnu put prema Industrij 4.0. U daljnjem tekstu nalaze se pet pitanja, na koja bi svaki proizvođač trebao dati odgovore o svom *ERP* sustavu, kako bi se uspješno pripremio za Industriju 4.0.

Pitanje 1: Je li vaš ERP sustav fleksibilan?

Industrija 4.0 je putovanje, a ne jednokratni projekt. Proizvođači će stoga imati najviše koristi od *ERP* softvera koji ima fleksibilne opcije implementacije. To će im omogućiti da se prilagode novim poslovnim i uslužnim mogućnostima, novim procesima, tokovima rada, podatkovnim mrežama i decentraliziranim lokacijama, sve u realnom vremenu dok njihovo poslovanje raste u međusobno povezanom svijetu. Bez obzira je li *ERP* rješenje smješteno u vašem podatkovnom centru, u oblaku, u lokalnoj mreži ili u kombinaciji, trebalo bi biti moguće jednostavno mijenjati procese i prilagoditi se novim načinima rada kako bi održali poslovnu agilnost.

Pitanje 2: Je li vaš MES kompatibilan s vašim ERP sustavom i može funkcionirati s više lokacija?

Najbolja *ERP* rješenja sljedeće generacije mogu se učinkovito integrirati s *MES* rješenjem (*Manufacturing Execution Systems*). To je važno, jer omogućuje *MES-u* povezivanje s *ERP* rješenjem za razmjenu podataka u stvarnom vremenu. Za proizvođače u rastu, njihov *MES* bi se trebao baviti s pojedinim postrojenjima, ali i sa centraliziranim upravljanjem višestrukih proizvodnih lokacija. To će im omogućiti slobodu koju trebaju da integriraju svoje proizvode

linije s poslovnim procesima na višoj razini, korak po korak, sukladno njihovim strateškim planovima, bez ugrožavanja krajnjeg rezultata.

Pitanje 3: Je li vaš ERP softver sposoban za centralno upravljanje podacima?

Kako bi bio spreman za Industriju 4.0, ERP softver bi trebao zadovoljiti tri ključna kriterija. Prvo, trebao bi ponuditi tvrtkama modularnu platformu, koja se temelji na uslužno orijentiranoj (*service-oriented*) arhitekturi. Na taj se način poslovni procesi mogu lako prilagoditi bez mijenjanja softverskog koda, osiguravajući put za buduće tehnološke razvoje ili *puštanje updatea*. Drugo, ERP softver bi trebao omogućiti središnje upravljanje glavnim podacima. Treće, trebao bi ponuditi obradu podataka u stvarnom vremenu, omogućujući svim zainteresiranim stranama u tvrtki pristup najnovijim i najtočnijim podacima u stvarnom vremenu.

Ta tri kriterija čine snažnu kombinaciju kada je riječ o točnom poslovnom odlučivanju. Omogućuje svim stranama da pregledaju iste informacije o projektima, kupcima, sirovinama ili lokacijama, pomažući proizvođačima da poboljšaju svoje korisničko iskustvo i brzinu na tržištu.

Pitanje 4: Da li vaš ERP sustav olakšava mobilnost i društvenu suradnju?

Dok dijeljenje podataka postaje sinonim za Industriju 4.0, one će omogućiti i fleksibilniju suradnju u odjelima, od pogona (*shop floor*) do najviše razine. U sklopu ove fleksibilne komunikacije, za proizvođače *postaje sve važniji user-friendly* pristup informacijama ERP-a putem tableta i/ili pametnih telefona. ERP rješenja koja uključuju intuitivne nadzorne ploče i odgovaraju svim veličinama zaslona bit će ključna za tvrtke koje prihvaćaju etiku Industrije 4.0 ažuriranja i dijeljenja informacija u mobilnom svijetu. Ta rješenja bi također trebala imati potrebnu mobilnu infrastrukturu kako bi se osigurala sinkronizacija podataka u realnom vremenu. Društvena suradnja postaje sve važnija, a ERP rješenja sljedeće generacije integriraju društvene sposobnosti kako bi pomogle vanjskim partnerima, dobavljačima i kupcima da postanu dio poslovnog procesa. Ugrađeni u ERP sustav, informacije iz tih neformalnih rasprava središnje se pohranjuju u kontekstu s ERP podacima, umjesto da budu pokopane u sustavima treće strane.

Pitanje 5: Jeste li spremni iskoristiti snažnu analitiku i poslovnu inteligenciju povezanu s industrijom 4.0?

Snažne funkcije planiranja i upravljanja u sljedećoj generaciji ERP sustava mogu osigurati da učinci inteligentne proizvodnje dotiču sva relevantna područja tvrtke. U svijetu Industrije 4.0, sofisticirani alati za analizu, na primjer, pomažu u provjeravanju planiranja, izvršavanja i evaluacije novih poslovnih modela; testiraju što će se raditi, te omogućuju menadžerima donošenje odluka temeljenim na informacijama i pomažu im da se prilagode zahtjevima tržišta ili kupaca.

Jasno je da će za proizvođače rast u okruženju Industrije 4.0 biti povezan s poslovnim ERP sustavom. Oni s ERP rješenjima sljedeće generacije bit će u povoljnijoj poziciji da zadovolje

brze i povezane zahtjeve Industrije 4.0. Naravno, ograničenja između proizvodnje i upravljanja moraju nestati, a *ERP* i *MES* sustavi moraju osigurati integriranu cjelinu, ako tvrtke žele razumjeti mogućnosti rasta koje predstavlja inteligentna proizvodnja. Kritički pogledati postojeće *IT* okruženje u vašem poslovanju prvi je korak prema razumijevanju koliko ste spremni za Industriju 4.0 (<https://www.linkedin.com/pulse/your-erp-system-industry-40-compatible-excelanto-technologies>).

2.5.4. Primjena informacijskih sustava na primjeru inteligentnog montažnog sustava

U ovom poglavlju bit će opisana primjena informacijskih tehnologija u logistici na primjeru inteligentnog montažnog sustava u Laboratoriju za industrijsko inženjerstvo na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu (FESB). Zadatak je projektirati *Inventory control sustav* koji će se koristiti za upravljanje skladištem (samoposlugom) za potrebe inteligentnog montažnog sustava na FESB-u. U prvom poglavlju je opisana primjena informacijskih tehnologija u procesu logistike.

2.5.4.1. Kibernetско-fizički sustavi u prikupljanju, analizi i obradi podataka

Tijekom proteklog desetljeća, brzi napredak informacijskih i komunikacijskih tehnologija (*ICT*) je potaknuo razvoj naprednih senzora, sustava za dobavljanje podataka, bežičnih komunikacijskih uređaja i distribuiranih računalnih rješenja. Takve tehnologije su integrirani u novi sustav pod nazivom *Cyber-fizički sustav (CPS)*. *CPS* je sustav za suradnju računalnih entiteta koje su u intenzivnoj vezi s okolnim fizičkim svijetom i njegovim nadolazećim procesima, pružajući i koristeći, u isto vrijeme, usluge pristupa podacima i usluge obradu podataka dostupne na *Internetu* [Monostori, 2014].

- **CPS arhitektura za inteligentnu proizvodnju**

Slika 2.103. prikazuje *CPS* arhitekture u pogonu (*shop floor*) za inteligentnu proizvodnju i uključuje tri sloja, tj. sloj fizičke veze, međuprogramski sloj i računalni sloj. Objašnjenje svakog sloja su navedena u sljedećim točkama.

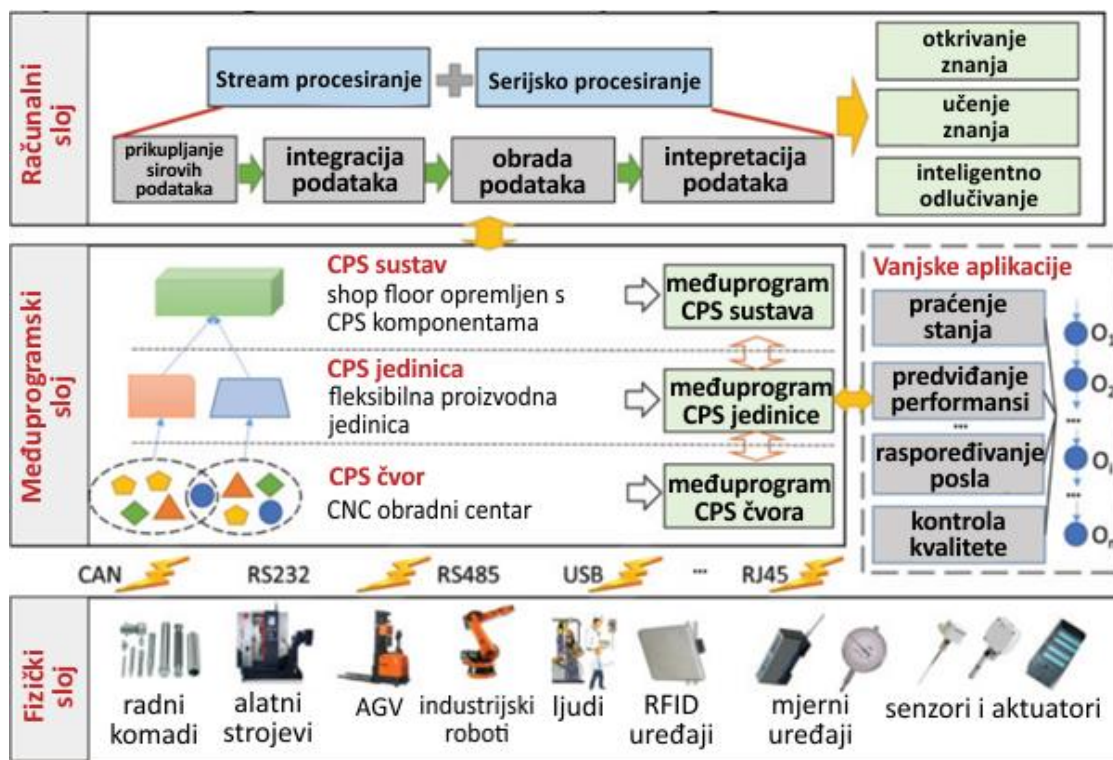
- **Sloj fizičke veze**

Senzori su sučelje stroja za osjećanje njegovog fizičkog okruženja. Koristeći odgovarajuću instalaciju senzora, mogu biti očitani razni signali kao što su vibracije, tlak, temperatura i dr.

Dakle, prvi korak implementacije *CPS* u pogonu je ugradnja komponenti poput senzora, *RFID* uređaja i mjernih uređaja na proizvodnim resursima i njihova distribucija u proizvodnom okruženju. Tada je grupa strojeva povezana jedna s drugima putem *fieldbus* tehnologije i/ili industrijske mreže. U ovom sloju treba uzeti u obzir pitanja o protokolu, obradi, lokaciji, udaljenosti i pohrani kada se odabire ugradbena komponenta. Na primjer, treba definirati jedinstvene i robusne veze između heterogenih fizičkih entiteta (npr. proizvodnji resursi, senzori, aktuatori, mjerni uređaji i dr.); izabrati odgovarajuće senzore (vrsta i specifikacija) koji trebaju biti raspoređeni na odgovarajućim mjestima s niskim troškovima i visokom učinkovitosti na temelju povijesti strojnih zadataka [Liu, Jiang, 2016].

- **Međuprogramski sloj**

Ovaj sloj ima za cilj prijenos podataka prikupljenih od ugrađenih dijelova na središnji poslužitelj (server) za analizu i slanje proizvodne naredbe dane od strane računalnog sloja ili vanjske aplikacije (npr. praćenje stanja, dinamičko raspoređivanje posla, kontrola kvalitete i dr.) kontrolorima za kontrolu (Slika 2.103.).



Slika 2.103. CPS arhitektura za inteligentnu proizvodnju [Liu, Jiang, 2016]

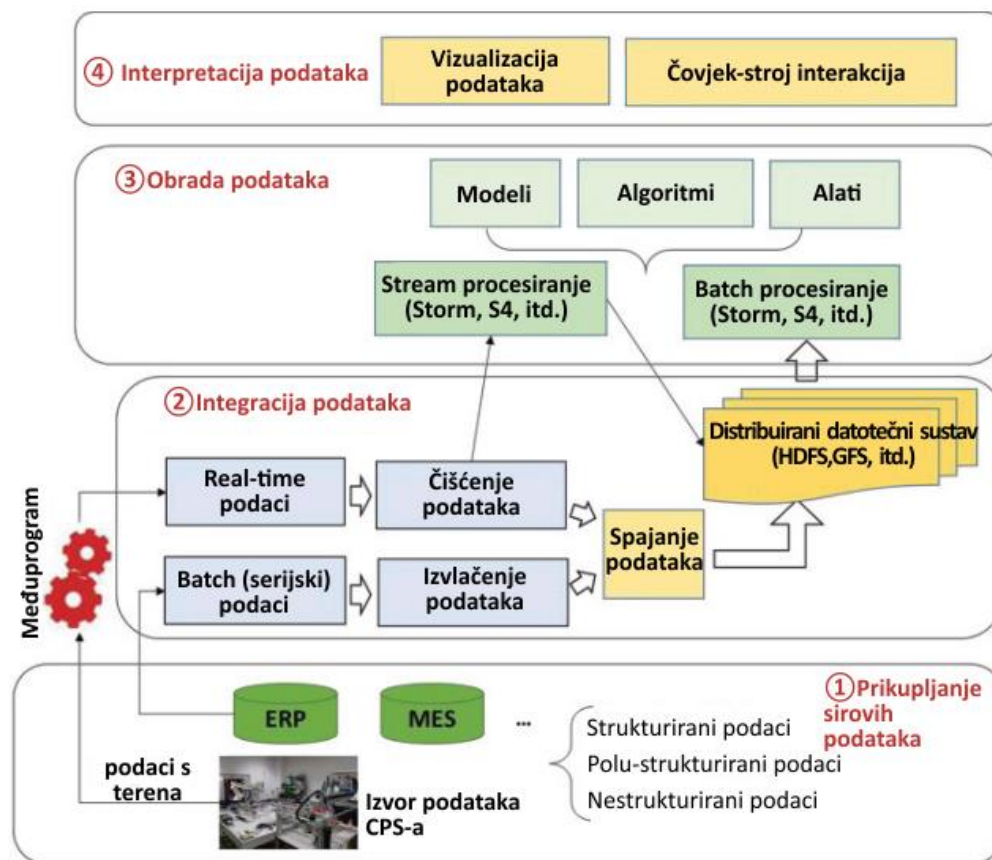
- **Računalni sloj**

Velika količina podataka u stvarnom vremenu - *online* ili povijesni - *offline* se prikuplja od strane raznih senzora/RFID uređaja/mjernih uređaja, ili je dobivena od poslovnih informacijskih sustava (*EIS - Enterprise Information Systems*), kao što su *ERP, MES* i *SCM*. Posebni modeli, algoritmi i alati moraju se koristiti za izdvajanje obrazaca koje pružaju bolji uvid nad radnim uvjetima strojeva, kvalitetom izratka, proizvodnim procesima itd. Nakon serijskog i strujnog procesiranja, rezultati se prenose na strojnu lokaciju za kontrolu rada/procesa i održavanje. Dakle, ovaj sloj djeluje kao nadzorna kontrolu kako bi učinio strojeve ili proizvodni postupak samoprilagodljivim i samosvjesnim.

- **Analiza Big data za proizvodni proces**

Prikupljeni podaci mogu pružiti mogućnosti za daljinski nadzor, dijagnostiku i kontrolu kvalitete osiguravajući holističku perspektivu prošlog i sadašnjeg stanja strojeva i proizvodnih procesa. Međutim, postoji mnogo izazova kod *CPS-a* i *Big Date* [Gao i dr., 2015]. Količina podataka je velika, ali kvaliteta je niska i podaci su heterogeni. Osim toga, proizvodni proces zahtjeva velike brzine i odgovore u stvarnom vremenu na promjene (npr. kvar stroja i sl.) u

proizvodnom okruženju. Okvir analize industrijskih *Big Data* za proizvodni proces predlaže da se otkriju potencijalno korisni uzorci i izrazi skriveni podaci. Okvir se sastoji od četiri koraka, kako je prikazano na Slici 2.104. [Liu, Jiang, 2016].



Slika 2.104. Razvoj općenitog međuprograma [Liu, Jiang, 2016]

- **Prikupljanje sirovih podataka**

Kao što je navedeno prije, sirovi podaci imaju više-izvorna (*multi-source*) i heterogena obilježja, što znači da se ti podaci mogu dobiti od *CPS-a*, *ERP-a*, *MES-a* itd., a dobiveni podaci mogu biti strukturirani, polu-strukturirani, pa čak i potpuno nestrukturirani.

- **Integracija podataka**

Zbog ograničenja u propusnosti mreže, nepraktično je izravno prenositi sirove oblike podataka sa pojedinačnih strojeva do centra za pohranu. Dakle, prije prijenosa se mora koristiti ekonomičan pristup za uklanjanje bezvrijednih podataka. Kao što je prikazano na Slici 2.104., podaci se u stvarnom vremenu dobivaju od senzora/*RFID* uređaja/mjernih uređaja preko međuprograma, a zatim se provodi čišćenje podataka i eliminacije buke zbog dupliciranih, nedostajućih i nedovršenih zapisa. S druge strane, izvlače se serijski (*batch*) podaci iz *ERP-a*, *MES-a*, itd., a zatim se spajaju s podacima u stvarnom vremenu. Spojeni podaci se prenose u distribuirani datotečni sustav, kao što je *Hadoop Distributed File System (HDF-ovi)* i *Google File System (GFS)* za obradu podataka.

- **Obrada podataka**

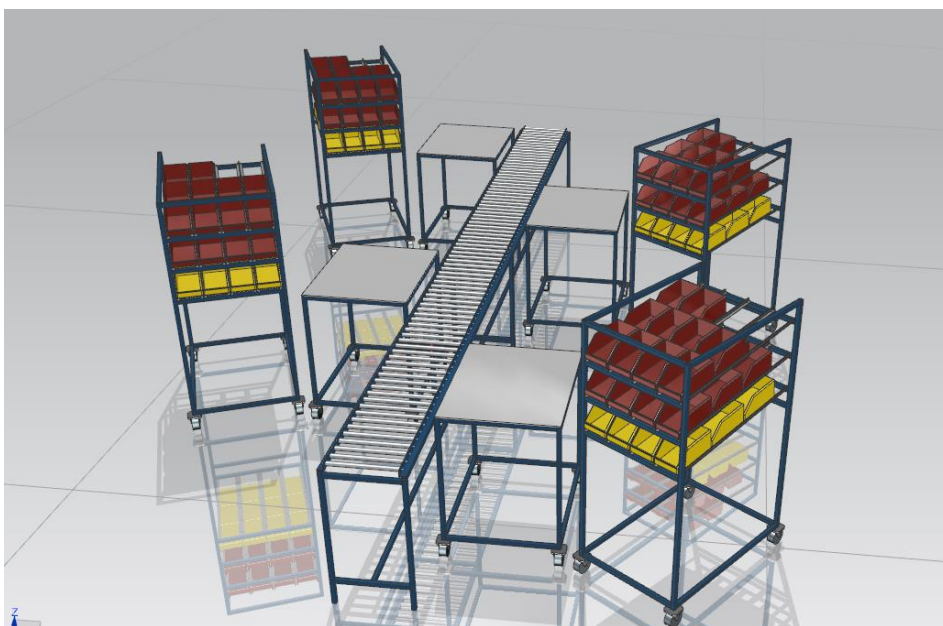
Postoje dvije vrste obrade *Big data*, strujna (*stream*) i serijska (*batch*). Strujna obrada se koristi za obradu podataka u stvarnom vremenu s mjesta proizvodnje; tipična primjena je praćenje stanja strojeva. Serijsko procesiranje obrađuje velike količine podataka iz prošlosti, čime može biti otkriveno skriveno znanje. Tipična primjena serijske obrade je rudarenje *Pravila raspoređivanja*. S druge strane, u ovom koraku se razmatraju specifični modeli, algoritmi i alati. Modeli su apstrakcija konkretnih problema koje treba riješiti. Na primjer, da bi se predvidio preostali korisni vijeka trajanja (*RUL*) reznih alata, treba se proučiti mehanizam trošenja u rezanju metala. Algoritmi su dizajnirani za rješavanje modela. U okolišu industrijskih *Big data*, tradicionalni algoritmi za rudarenje podataka se trebaju modificirati tako da zadovolje široke zahtjeve računarstva. Trenutno su na *Internetu* dostupni mnogi *open-source* alati za podršku analizi industrijskih *Big data*, kao što su *Storm*, *Spark* i *Hadoop*.

- **Interpretacija podataka**

Kako bi se rezultati jasno i učinkovito prenijeli krajnjim korisnicima (operaterima, menadžerima i sl.), koriste se tehnologije za vizualizaciju podataka kao što su statistički grafikoni, grafovi, informacijske grafike, tablice i grafikoni. Tehnologija interakcije čovjek-stroj se koristi kako bi se pomoglo korisnicima da bolje razumiju prezentirane rezultate.

2.5.4.2. Inteligentni montažni sustav i opis problema

U Laboratorija industrijsko inženjerstvo na FESB-u se nalaze 4 samoposluge s po 3 police, a na svakoj polici se može smjestiti maksimalno 12 kutija s različitim dijelovima za montažu mjenjačke kutije na pokretnoj traci. Raspored kutija po polici je 4x3, kutije su raspoređene u 4 stupca sa 3 retka. Slika 2.105. prikazuje raspored samoposluga u laboratoriju. Pored svake samoposluge, nalazi se po jedan montažni stol gdje se odvija montaža dijelova mjenjačke kutije automobila [Stojkić, Gjeldum, Bošnjak, 2017].



Slika 2.105. 3D prikaz montažnog sustava

U kutijama na policama se nalaze dijelovi mjenjačke kutije, dok njena glava dolazi preko montažne trake, *conveyora*, te se na svakom montažnom stolu odvija montaža dijelova (Slika 2.106. i Slika 2.107.).



Slika 2.106. Glava mjenjačke kutije na pokretnoj traci

Potrebno je u stvarnom vremenu pratiti stanje (broj) kutija kroz vrijeme na različitim policama te vremensku sliku montaže dijelova mjenjačke kutije na pokretnoj traci (Tablica 2.19.).



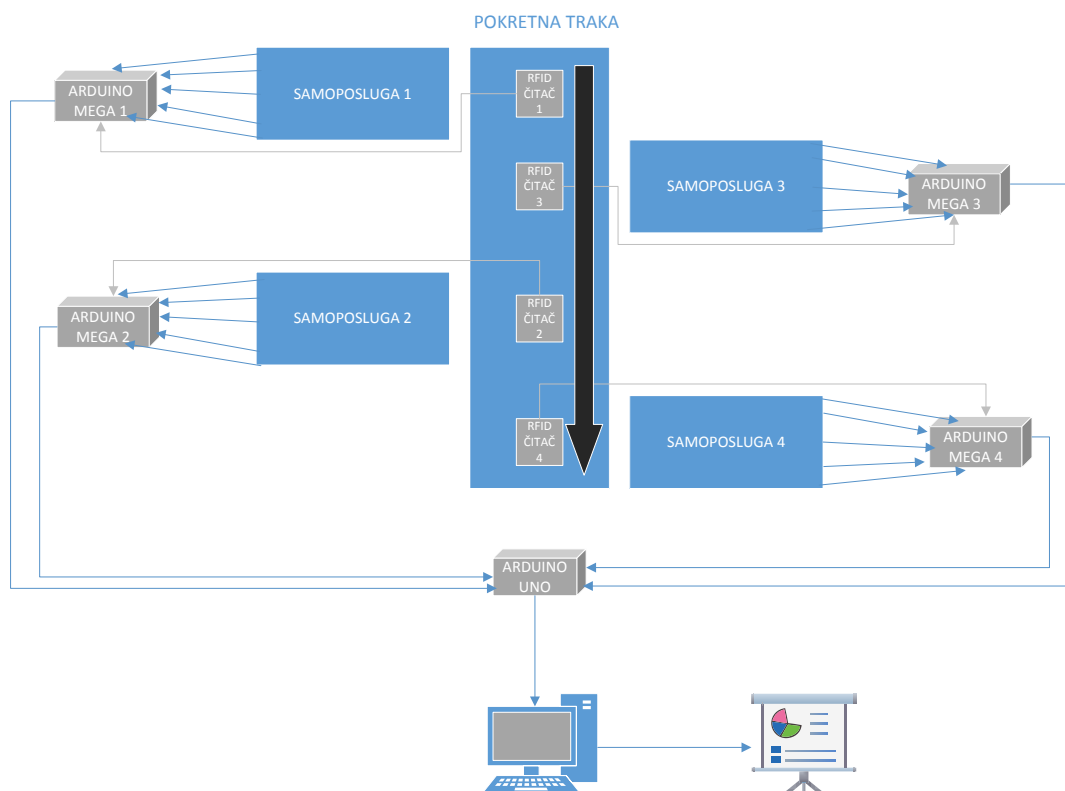
Slika 2.107. Prikaz stola za montažu dijelova na montažnom stolu

Tablica 2.19. Prikaz rasporeda kutija po polici/samoposluzi

Broj samoposluga u laboratoriju	Broj policama po samoposluzi	Maksimalan broj kutija po polici	Maksimalan broj kutija po samoposluzi	Maksimalan broj kutija u čitavom laboratoriju
4	3	12	36	144

2.5.4.3. Prijedlog rješenja

Prijedlog je korištenje Arduino mikrokontrolera s popratnim sensorima (*RFID* senzor, ultrazvučni senzor). Na svakoj polici je potrebno instalirati ultrazvučni senzor koji će biti isprogramiran da prepozna broj kutija na polici na osnovu udaljenosti od najbližeg objekta. Svaka samoposluga sa svojim sensorima bi bio vezan s jednim Arduino mikrokontrolerom (Arduino Mega), a taj mikrokontroler bi bio vezan za Arduino Uno koji bi izravno komunicirao s računalom. Na pokretnoj traci će biti instalirana 4 *RFID* čitača koji će očitavati položaj mjenjačke kutije u funkciji vremena. Slika 2.108. prikazuje shematski izgled inteligentnog montažnog sustava sa svim elementima.



Slika 2.108. Shema inteligentnog montažnog sustava

2.5.5. Zaključak

Na osnovu rezultata iz prvog perioda izvještavanja, jasno je da poduzeća u Republici Hrvatskoj nemaju dovoljno visoku razinu primjene *ICT-a* u svakodnevnom poslovanju, počevši od korištenja *ERP/PLM* sustava, integriranja informacijskih rješenja na razini proizvodnog pogona pa do *Internet* poslovanja i poslovanja u oblaku. Kroz ovo istraživanje je data preporuka koncepta implementacije *ERP/xRM* sustava kako bi se u što kraćem roku prevladao jaz između trenutnog stupnja razvoja *ERP/xRM* sustava u poduzećima i stanja tehnologije u području *ERP/xRM* sustava.

Za vrijeme druge godine izvještavanja, prilikom sastanaka s nekim od najbolje ocijenjenih hrvatskih poduzeća, uočeno je da je integracija između različitih sustava na različitim razinama (*ERP*, *MES*, *shop floor*) predstavlja jedan od većih problema i izazova s kojima se susreću poduzeća u Republici Hrvatskoj. Oni koriste sustave od različitih proizvođača, koja su

većinom i rađena u različitim tehnologijama/platformama što je jedan od glavnih uzroka tog problema. U ovom dijelu istraživanja dan je osvrt na utjecaj koncepta Industrije 4.0 na buduće pravce razvoja ERP/xRM sustava.

2.6. Literatura

Acatech (2011) *Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production* (acatech POSITION PAPER), Heidelberg et al.: Springer Verlag. ISSN 2192-6, ISBN 978-3-642-29089-3, ISBN 978-3-642-29090-9 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-29090-9

Acatech (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, National Academy of Science and Engineering, Frankfurt/Main.

Dennis A., Haley Wixom B., Roth R. (2006) *Systems Analysis and Design*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Babić Z., Veža I., Banduka, N. (2017) *Assessment of Industrial Maturity Level by Multy Criterial Analysis*, Proceeding of The 9th International Working Conference TQM, Beograd, str. 192-196.

Babić Z., Veža I., Pavić I. (2016) *Ranking of Enterprises with Regard to Industrial Maturity Level Using AHP and TOPSIS*, ISAHP 2016, London, str. 124-125.

Beck K., Beedle M., van Bennekum A., Cockburn A., Cunningham W., Fowler M. (2001) *The Agile Manifesto*, <http://www.agileAlliance.org>

Berger Roland strategy consultants (2014) *Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will succeed*

Bilić B. (2016) *Kvaliteta – planiranje, analiza i upravljanje*, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

Brahmawar S. (2016) *The Internet of Manufacturing – a catalyst for digital transformation*. World Manufacturing Forum, Barcelona

Boehm A., Turner R. (2003) *Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.

Čelar S., Turić M., Dragičević S., Veža I., (2016) *Digital Learning Factory at FESB – University of Split*, ZBORNIK RADOVA YU INFO 2016, Beograd: Društvo za informacione sisteme i računarske mreže, str. 001-006.

Dennis A., Wixom B.H., Roth R. (2006). *Systems Analysis and Design*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Dittes U. (2015) *Technical and Operational Solutions for Industry 4.0 in ERP Systems*, SAP SE

Dragičević S.; Čelar S., Turić M. (2017) Bayesian network model for task effort estimation in agile software development. *Journal of systems and software*. 127, str. 109-119

Dujak D., Šantorić I., Tomašević, V. (2011) *Implementacija RFID tehnologije u logističke i supply chain aktivnosti maloprodaje*. Ekonomski fakultet u Osijeku.

Gao R, Wang L, Teti R, Dornfeld D, Kumara S, Mori M, et al. (2015) *Cloud enabled prognosis for manufacturing*. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 64(2): str. 749-772

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_column-oriented_DBMSes

<https://www.linkedin.com/pulse/your-erp-system-industry-40-compatible-excelanto-technologies> (dostupno 02.07.2017.)

<http://panorama.himolde.no/2016/06/23/industry-4-0-pandoras-box-or-a-fuzzy-concept>, (dostupno: 01-07-2016.)

Helmy A., Kamel W., Hegazy O. (2012) *Requirements Engineering Methodology in Agile Environment*, *IJCSI '12*, Vol. 9, Issue 5, No 3, str..293-300, ISSN (Online): 1694-0814

HRN EN ISO 9000:2015 (2008) *Sustavi upravljanja kvalitetom – Temeljna načela i terminološki rječnik* (ISO 9000:2015; EN ISO 9000:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

HRN EN ISO 9001:2015 (2009) *Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi* (ISO 9001:2015; EN ISO 9001:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

HRN EN ISO 9004:2010 (2010) *Upravljanje u svrhu trajne uspješnosti organizacije - Pristup upravljanju kvalitetom* (ISO 9004:2009; EN ISO 9004:2009), Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

HRN EN ISO 19011:2012 (2012) *Smjernice za provođenje audita sustava upravljanja* (ISO 19011:2011; EN ISO 19011:2011), Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

HRN EN ISO 14001:2015 (2015) *Sustavi upravljanja okolišem – Zahtjevi s uputama za upotrebu* (ISO 14001:2015; EN ISO 14001:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. (2013) *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.

Beck K., Beedle M., van Bennekum A., Cockburn A., Cunningham W., Fowler M., idr. (2001) *The Agile Manifesto*, <http://www.agileAlliance.org>.

Kolberg D., Zühlke D. (2015) Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48 (3), str. 1870-1875.

Kovačec M. (2015) *Model učinkovitog upravljanja proizvodnog sustava*. doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Monostori L., idr. (2016) Cyber-physical systems in manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65, str. 621–641

Lazibat T. (2009), *Upravljanje kvalitetom*, Znanstvena knjiga d.o.o., Zagreb

Liker J. K. (2004) *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill, New York.

- Lillebrygfjeld Halse L. (2016) *Report on EurOMA special session on Industry 4.0*
- Liu C., Jiang P. (2016). *A Cyber-physical System Architecture in Shop Floor for Intelligent Manufacturing*. *Procedia CIRP*, 56, str. 372-377.
- McKinsey (2015) *How to navigate digitization of the manufacturing sector*
- Montgomery D. C. 2009), *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley and Sons, Inc.
- Monostori L. (2014) *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. *Procedia CIRP*, 17, str. 9-13.
- Monostori L. idr. (2016), *Cyber-physical systems in manufacturing*, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65, str. 621–641
- Netland T. H. (2013) *Company specific production systems: Managing production improvement in global firms*, University of Science and Technology Management Department of Industrial Economics and Technology Management, Trondheim, Norveška
- Nawrocki J., Jasiński M., Walter B., Wojciechowski, A. (2002) *Extreme Programming Modified: Embrace Requirements Engineering Practices*, Proc. IEEE Joint Int'l Conf. Requirements Eng., IEEE CS Press, str. 303–310
- Oettinger G.H., Bieńkowska E., Moedas C. (2016) *Digitising European Industry*. *European Commission, DGCONNECT, UNIT A3 ML, Bruxelles*
- Ohno T. (1988) *Toyota production system: beyond large-scale production*. Productivity Press, New York, USA.
- Oslić I. (2008), *Kvaliteta i poslovna izvrsnost – pristupi i modeli*, M. E. P. Consult, Zagreb
- Poppendieck M., Poppendieck, T. (2003) *Lean Software Development*, Addison-Wesley
- Poppendieck M., Cusumano A. (2012) *Lean Software Development: A Tutorial*, IEEE Software, Volume 29 Issue 5, str. 26-32
- Ross D. F. (2016). *Introduction to supply chain management technologies*. CRC Press.
- Saaty T.L. (2005) *Theory and Application of the Analytic Network Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- Shah R., Ward P. T. (2003) *Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance*. *Journal of Operations Management* 21, 2, str. 129-149.
- Shapiro J. (2006) *Modeling the supply chain*. Nelson Education.
- Shi X., Chan, S. (2010) *Information systems and information technologies for supply chain management*. *GLOBAL LOGISTICS*, 208.

Sillitti A., Succi G. (2005) *Requirements Engineering for Agile Methods Engineering and Managing Software Requirements, Part 2*, Springer Berlin Heidelberg, str. 309-326, DOI: 10.1007/3-540-28244-0_14

Stojkić Ž. (2008) *Utjecaj stupnja razvijenosti integriranih informacijskih sustava na kvalitetu poslovnih procesa*, doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru

Stojkić Ž., Gjeldum N., Bošnjak I. (2017) *Primjena informacijskih sustava u procesu logistike na primjeru inteligentnog montažnog sustava*, KODIP 2017. Mašinski fakultet, Podgorica, str. 88-93.

Tague N. R. (2005), *Quality Toolbox*, ASQ Quality Press, Milwaukee

Veža I., Gjeldum N., Mladineo M., Babić Z., Bilić B., Čelar S., Stojkić Ž., Peko I., Špar. I. (2015) Projektni izvještaj (RP 1): *Analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split.

Veža I., Mladineo M., Gjeldum, N. (2016) Selection of the Basic Lean Tools for development of Croatian Model of Innovative Smart Enterprise. Tehnički vjesnik: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku. 23, 5; str. 1317-1324

Veža I., Mladineo M., Gjeldum, N. (2016) *Evaluation of Industrial Maturity Level: A Case Study of Croatia*, The 26th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing, Korea Science and Technology Center, Seoul, str. 467-473

Veža I., Gjeldum, N., Mladineo M., Čelar S., Peko I., Ljumović P., Stojkić Ž. (2017) Development of Assembly Systems in Lean Learning Factory at the University of Split. *Procedia Manufacturing*. 9. Str. 49-56

Williams L. (2010) *Agile Software Development Methodologies and Practices*, Advances in Computers, Vol. 80, str. 1-44, DOI: 10.1016/S0065-2458(10)80001-4

Womack J. P., Jones D. T. (1996) *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press, New York, USA.

3. TVORNICA ZA UČENJE (*LEARNING FACTORY*)

3.1. Koncept Tvornice za učenje

3.1.1. Uvod

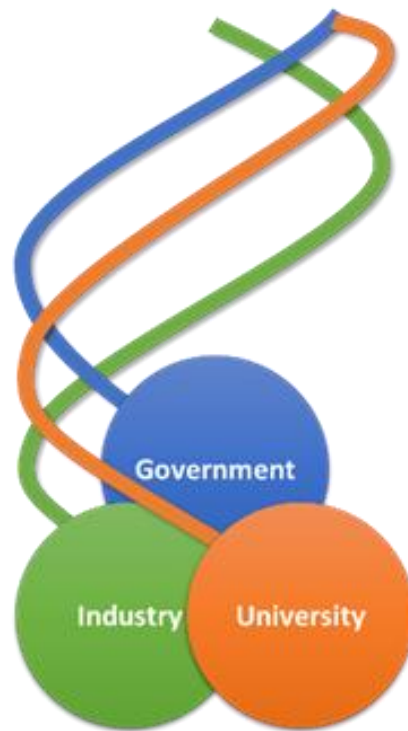
Tvornica za učenje je koncept nastao uslijed potrebe što boljeg povezivanja teoretskog i praktičnog znanja, bilo da se radi o studentima ili stručnjacima iz industrije. Kreiranje tvornice za učenje podrazumijeva okruženje u kojem će se moći na konkretnim primjerima naučiti kako poboljšati proizvodni proces na različite načine, primjenom 3D modeliranja i simulacija u dizajnu proizvoda, skeniranjem proizvoda, zatim proizvodnjom i montažom, te uvođenjem uređaja koji su sposobni prikupljati i analizirati podatke, te ih prikazati korisniku. Robusna i fleksibilna informacijsko-komunikacijska tehnologija (*ICT*) se uvodi kako bi poboljšala svaki segment životnog ciklusa proizvoda, a uz to pojačala suradnju unutar tvrtke, jednako tako i s vanjskim suradnicima. Digitalne tehnologije općenito predstavljaju novu sintezu tehnologije i sustava za razvoj proizvoda i procesa, te učinkovitijeg upravljanja životnim ciklusom proizvoda. Korisnik u određenom trenutku može donijeti odluke na temelju stvarnih podataka. Prema svim naznakama (razvoju strojeva, računalnih programa, robotike i sl.) dolazi u primjenu proizvodni sustav koji udružuje svoje *pametne* strojeve, sustave skladištenja i proizvodna postrojenja u oblik kibernetičko-fizikalnog proizvodnog sustava (*engl. CPS - Cyber-Physical Systems*). Takav proizvodni sustav će autonomno razmjenjivati informacije, pokretati aktivnosti i neovisno vršiti kontrolu. Četvrta industrijska revolucija se temelji na konceptu Pametne tvornice. Pametne tvornice imaju potpuno novi pristup proizvodnji koji karakterizira:

- Pametan personalizirani proizvod s fleksibilnošću i visokom razinom *ICT* integracije u proizvodni sustav, što je ostvarivo kroz rekonfigurabilni proizvodni sustav [Koren, 2010] ili Pametnu tvornicu Industrije 4.0 [Kagermann, Wahlster, Helbig, 2013].
- Pružanje usluga kroz proširene proizvode, gdje su proizvod i usluga integrirani u pojedinačni proizvod, što je ostvarivo putem specijaliziranih *Internetskih* portala i *Cloud* tehnologije [Maier, Roy, Seliger, 2010], primjerice uz proizvod se ponudi usluga servisa putem *Interneta*.
- Visoka razina suradnje od razvoja proizvoda, njegove proizvodnje preko svih ostalih procesa koji se tiču dodavanja vrijednosti, što se može ostvariti kroz vertikalnu ili horizontalnu integraciju.

Ti novi izazovi i uvjeti zahtijevaju bolju suradnju, ne samo na globalnoj razini već i na regionalnim razinama. Uspjeh umrežene regije rezultat je kontinuirane suradnje između gospodarstva, istraživačkih institucija i regionalne uprave, koja nadilazi granice. U tom procesu gospodarstvo je koncentrirano na razvoj specifičnih faktora konkurentnosti (specijalizacija dobavljača, obrazovanje radne snage, uvođenje informacijske mreže, pružanje odgovornog upravljanja i dr.).

S druge strane, regionalna uprava je odgovorna za osiguravanje jače institucionalne i administrativne potpore gospodarstvu, osobito kada se donose neke odluke o ulaganju u

obrazovanje i infrastrukturu ili kada se neki unutarnji regionalni problemi moraju zajednički riješiti. *Triple helix model* [Etzkowitz, 2002] je empirijski model koji povezuje ova tri segmenta i koji pretpostavlja prijelaz prema društvu temeljenom na znanju (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Triple helix model za povezivanje vlade, industrije i sveučilišta

Kako bi se kvalitetno definirala međusobna povezanost između institucionalnog znanja, gospodarstva i regionalne uprave (općenito govoreći, to može biti i vlada), potrebno je usredotočiti se na poboljšanje lokalnih inovativnih razvojnih uvjeta povezujući istraživačke aktivnosti s drugim inovativnim aktivnostima.

3.1.2. Razlozi razvoja Tvornica za učenje

Tvornica za učenje (*engl. Learning Factory - LF*) je okruženje za učenje, gdje se procesi i tehnologije temelje na stvarnom industrijskom pogonu, koji omogućuje izravan pristup procesu razvoja i proizvodnje nekog proizvoda. Tvornice za učenje temelje se na didaktičkom konceptu kod kojeg se potiče učenje na konkretnom problemu, te eksperimentalno učenje. Filozofija kontinuiranog unaprijeđenja se ostvaruje vlastitim djelovanjem, te interaktivnim uključivanjem sudionika.

Tvornica za učenje je rezultat Partnerstva za edukaciju u području proizvodnog inženjerstva (*engl. Manufacturing Engineering Education Partnership - MEEP*), koje je osnovano u siječnju 1995. godine [Lamancusa, Jorgensen, Zayas-Castro, 2007] kao rezultat potpore Agencije za reviziju sustava provedbe programa Europske unije (ARPA). Tada je donesena odluka o investiranju u obrazovanje u području proizvodnog inženjerstva. MEEP se sastoji od Sveučilišta Penn State, Sveučilišta Puerto Rico - Mayagüez, Sveučilišta u Washingtonu, Sandia National Labs i industrijskih poduzeća. Ukupno 43 fakulteta sudjelovalo je u programima menadžmenta, definiranja kolegija, razvoja tvornice za učenje ili koordinaciji industrijskog

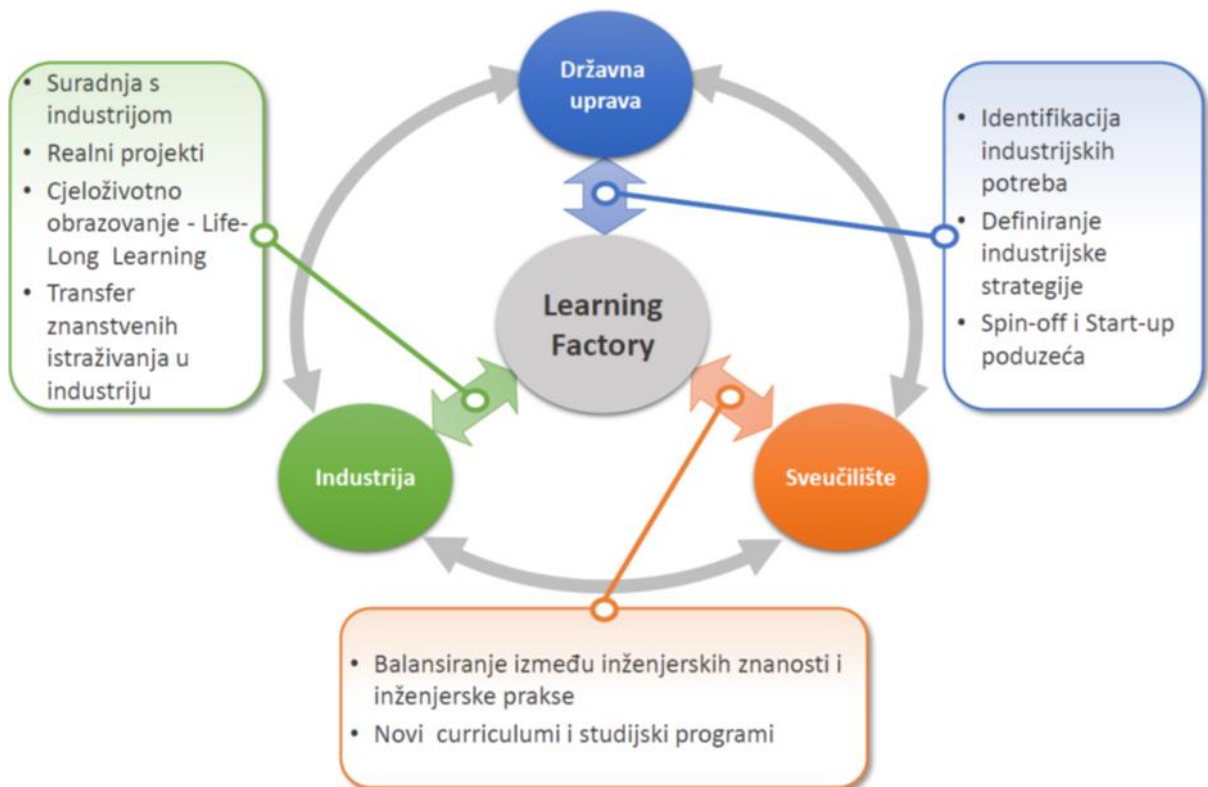
savjetodavnog odbora. Specifični ciljevi bili su provedba [Lamancusa, Jorgensen, Zayas-Castro, 2007]:

- Kurikuluma proizvodnog inženjerstva temeljenog na praksi - koji uravnotežuje analitičko i teorijsko znanje s proizvodnjom, projektiranjem, stvarnim slučajevima u poslovanju i stručnim vještinama.
- Realizacija Tvornice za učenje u svakoj partnerskoj instituciji - integralno povezane s nastavnim planom i programom, za praktično iskustvo u projektiranju, proizvodnji i realizaciji proizvoda.
- Snažne suradnje s industrijom - kroz savjetodavne odbore i projekte koji su sponzorirani od strane industrije.
- Diseminacija - u druge akademske institucije, vladu i industriju.

Misija Tvornice učenja je integrirati dizajn, proizvodnju i poslovnu stvarnost u inženjerski program. To se postiže pružanjem ravnoteže između inženjerske znanosti i inženjerske prakse [Rentzos i dr., 2014; Wagner i dr., 2015].

Međutim, ponekad postoji veza koja nedostaje u modelu *Triple helix*, primjerice institucija ili organizacija koja bi uistinu uspostavila odnos između sveučilišta, vlade i industrije. Kroz Tvornicu za učenje, pomoću praktičnog kurikuluma i projekata u stvarnom životu, može se uspostaviti veza između sveučilišta i industrije.

Odnos akademskog okruženja i političkog odlučivanja sličan je odvojenosti između politike i znanosti [Slaus, 2003]. Teško je stvoriti okvir u kojem se sinergija između sveučilišta i vlade može stvoriti kroz akcije i interakcije državnih službenika (s ograničenim mandatom i funkcioniranjem u više ili manje birokratskim institucionalnim strukturama), predstavnicima gospodarskog okruženja (sa svojim temeljnim interesima za maksimiziranje profita) i članova akademske zajednice (koji se više bave idejama, inovacijama i najnovijim metodologijama, a zatim se upoznaju s propisima javnih institucija i specifičnim ograničenjima poslovnog svijeta). Međutim, pomoću diseminacije različitih aktivnosti Tvornice učenja, odnosno projektnih rezultata, moguće je uspostaviti vezu između sveučilišta i državne uprave, kako bi se identificirale potrebe industrijskih poduzeća i definirala industrijska strategija, a na taj način istodobno, uspostavila veza između državne uprave i industrije, Slika 3.2.



Slika 3.2. Način povezivanja u Triple helix modelu

Novi pristup moguće je započeti anketiranjem ljudi unutar industrije, koji će kroz ankete iskazati svoje mišljenje o studentima koji dolaze sa sveučilišta u stvarni poslovni svijet. Time se može vidjeti u čemu su dobri studenti koji završe studij, a gdje je potrebno poboljšanje.

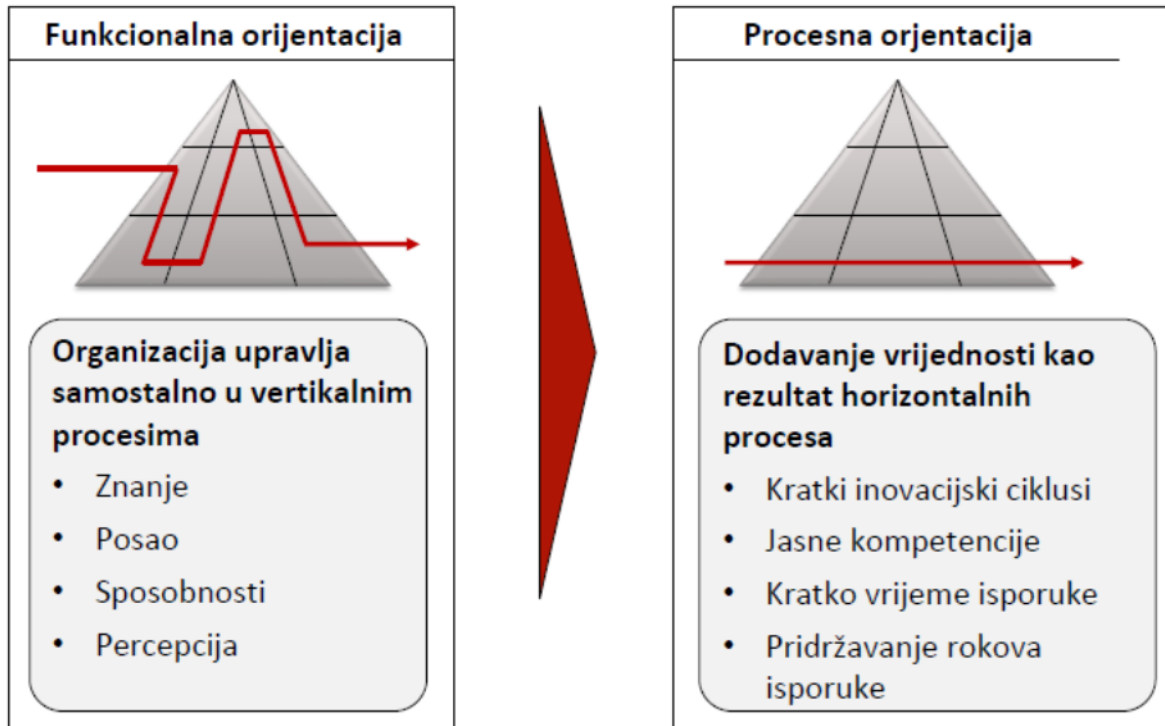
Primjer je anketiranje na Tehničkom sveučilištu u Darmstadt, gdje su ispitani menadžeri te zaposlenici [Abele, Cachay, 2011]:

1. U čemu su dobri diplomanti Tehničkog sveučilišta Darmstadt?
2. Gdje je potrebno poboljšanje?

Rezultat je pokazao:

1. 70% bivših studenata rade u odjelima proizvodnje, razvoja ili osiguranja kvalitete, gdje ostvaruju dobre rezultate
2. Znanje koje bi trebali imati budući zaposlenici u proizvodnji:
 - Znanje o procesima i *lean* metodama (Slika 3.3.)
 - Vještine u uspostavi i prilagodbi proizvodnih sustava
 - Percepciju idealnog toka rada u proizvodnji i entuzijazam za kontinuirano poboljšanje

Sposobnosti studenata moraju u budućnosti biti usmjerene na organizaciju usmjerenu prema procesima.



Slika 3.3. Procesna orijentacija

Učenjem kroz iskustvo u pogonu stječe se znanje i vještine:

- 10% od onoga što čitamo
- 20% od onoga što slušamo,
- 30% od onoga što vidimo
- 50% od onoga što čujemo i vidimo,
- 70% od onoga što govorimo,
- 90% od onoga što radimo.

Inicijativu za osnivanje Europske tvornice za učenje pokrenuo je prof. E. Abele s Tehničkog sveučilišta u Darmstadtu, na kojem su 2011. god. Inicijativu potpisali predstavnici sljedećih europskih sveučilišta:

- Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation, Njemačka
- Technische Universität Wien, Austrija
- University of Patras, Laboratory for Manufacturing Systems and Automation (LMS), Patras, Grčka
- Instituto Politecnico de Setubal, Portugal
- KTH Stockholm, Švedska
- ESB Business School der Hochschule, Reutlingen, Njemačka
- University of Budapest, Computer & Automation Research Inst., SZTAKI, Budimpešta, Mađarska
- Technische Universität München, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Njemačka

- Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska

U međuvremenu se koncept Tvornice za učenje proširio diljem svijeta, tako da je danas veliki broj sveučilišta uključen u globalnu mrežu, Slika 3.4.



Slika 3.4. Koncept Tvornice za učenje diljem svijeta

Četiri su konkretna cilja Inicijative:

1. Uspostava europske suradnje između sveučilišta i instituta koji djeluju kao pioniri u ovom području.
2. Razmjena znanja i modula učenja između:
 - studenata,
 - stručnjaka iz industrije,
 - menadžera iz industrije.
3. Postavljanje standarda za treninge kako bi se postigla učinkovitost za:
 - obuku koju pružaju instituti i sveučilišta,
 - globalno orijentirane industrije.
4. Izgradnja centara za kompetencije za određene teme:
 - vodstvo instituta i sveučilišta u jednoj temi,
 - drugi partneri-institucije mogu podijeliti specifične treninge.

Primjena Tvornice za učenje:

- u obrazovanju (sveučilišta, stručni studiji, poduzeća),
- za napredne treninge (grupe zaposlenika, mala i srednje velika poduzeća, ljudi koji traže posao itd.).

Svojstva Tvornice za učenje:

- kreiranje platforme znanja (inovacije, testiranje okoline, primjena),
- povezivanje u mreže (tvornica za učenje, industrija, sveučilišta, visokih škola),

- razvijanje didaktike (metodologija, tehnika, organizacija),
- eksperimentalni rad (realni proizvodi, strojevi, montaža),
- vizualizacija (prezentacije, didaktične stanice, simulacije),
- motivirani djelatnici (istraživači, treneri, osoblje tvornica za učenje).

Osnovne značajke Tvornice za učenje:

- fleksibilnost, adaptivnost, mogućnost rekonfiguracije,
- najsuvremenija oprema, suvremeni sadržaji slični industrijskom okruženju,
- interdisciplinarnost, višenamjenska djelatnost.

Na razini Europske tvornice za učenje usvojeni osnovne značajke Tvornice za učenje (osnivač, osnovne aktivnosti, ciljane grupe, veličina, vrsta industrije i dr.) Slika 3.5. i područja interesa (procesi poboljšanja, dijagnostika, dizajn, kvaliteta, tok materijala i dr.) Slika 3.6.

Operator	Industry	Consulting	University	Technical college	Professional school	...
Type of use	Education, Training		Research	Further industrial use		...
Industrial target groups	Operational staff		Engineer	Manager		...
Academical target group	Students		Research staff / Postgraduates		...	
Other target groups	Lean-Experts / -specialists		Other consultants		...	
Selected industries	Mechanical and plant engineering		Automobile industry		Insurance co., banks, administration	
	Chemical industry		Electronics industry		...	
Product	Real product		Imaginary product		...	
Production process	Machining	Assembly	Logistics	IT	Indirect departments	Production control
Curriculum (see also the following slide)	Process improvement		Diagnosis	System design		Quality control
	Quality		Material flow	Techn. Optimization		Lean Transfer
Learning Factory size	< 300 sqm		300 – 2000 sqm		2000 – 10.000 sqm	
Number of course participants	< 5		5 - 10		10 - 20	
Duration of module (per training module)	< 2 h		2 - 5 h		5 - 10 h	
Integrated departments	Production	Distribution	Purchasing	Ideas mgmt.	Design/Development	Prod.planning/-control

Integrated learning systems	Presentation	Discussion		Demonstration		Case Study
	Role play	Web-based learning		Experimental game		Simulation game
					Tutorial	
					...	

Slika 3.5. Karakteristike Tvornice za učenje [Abele, Cachay, 2011]

Process improvement	Problem solving	CIP	Coaching	Production system docum.	Improvement / Idea mgmt.	...
Diagnosis	Need for lean principles		Waste	Value stream analysis	OEE	...
System design	1x1-Flow	Pull-Principle	In-takt	Value stream design	Workplace design, Ergonomics	...
Quality	Poka Yoke	Prob. Solv. (techniques)	Andon-Cord	Andon-Board	Jidoka	Low-Cost Autom. ...
Quality control	System analysis by measurement		Machine capability	Process capability	SPC	...
Material flow	Just-in-Time	Pull-Systems	Kanban	Supermarket	Heijunka	Flex. Line Design Yamazumi ...
Techn. Optimization	SMED	Maintenance	TPM	techn. Parameter opt.	Energy- and resource-eff. prod.techn	...
Lean Transfer	Mind-set Lean (Awareness)		Moderation techniques	Workshop design
...

Slika 3.6. Područja interesa Tvornica za učenje [Abele, Cachay, 2011]

3.2. Tvornica za učenje na FESB-u

3.2.1. Koncept tvornice za učenje na FESB-u

Tvornica za učenje na FESB-u podrazumijeva edukacijski laboratorij sa stvarnim industrijskim okruženjem, stoga u konačnici izgleda kao stvarna tvornica.

Laboratorij C417 na FESB-u se transformirao u *Lean Learning Factory* kroz različite istraživačke projekte (EU-TEMPUS MAS-PLM, DAAD NIL, EU-LDV LOPEC, HRZZ INSENT). Laboratorijem dominiraju dvije montažne linije s ukupno osam radnih stanica za dva stvarna industrijska proizvoda.

Tvornica za učenje na FESB-u ima sljedeću viziju, misiju i glavne ciljeve.

Vizija *Lean Learning Factory* na FESB-u je biti mjesto gdje se susreću sveučilište, gospodarstvo i državna uprava, te razmjenjuju svoje potrebe i očekivanja uz rad na zajedničkim projektima.

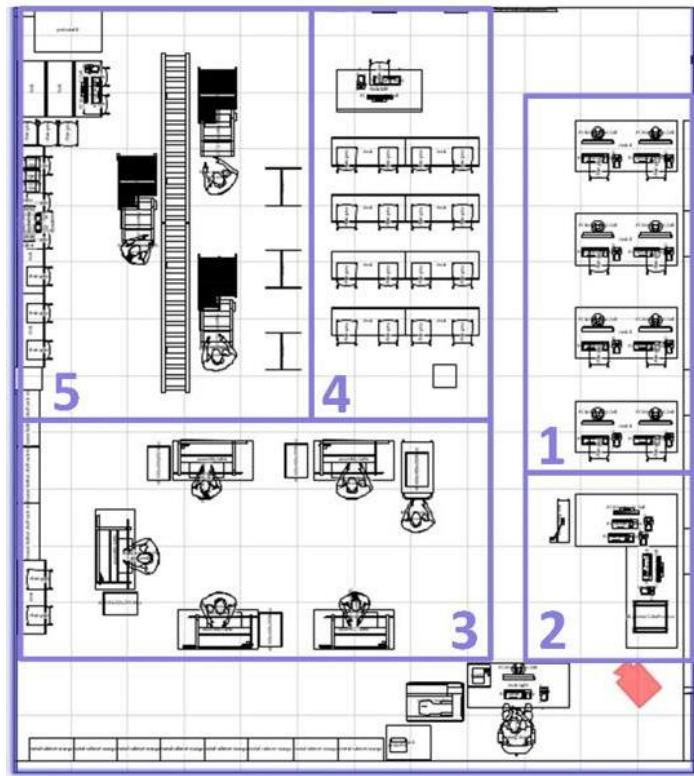
Misija *Lean Learning Factory* na FESB-u je dovesti stvarni svijet u predavaonicu pružajući stvarna praktična iskustva studentima, transferirati najnovija istraživanja i znanja u industriju kroz zajedničke projekte i cjeloživotno učenje, te pomoći državnoj upravi u identificiranju potreba industrijskih poduzeća.

Glavni cilj je postati *živi* laboratorij utemeljen na *Learning Factory* konceptu, a to se razvija kroz projekte NIL (DAAD projekt) i INSENT (HRZZ projekt).

Raspored prostora u laboratoriju prikazan je na Slici 3.7. Kao što se može vidjeti prostor je podijeljen u pet funkcionalnih dijelova:

1. Server s 8 PC-a i Siemens PLM
2. 3D skener i 3D printer

3. Montažna linija *kareta*
4. Učionica s *lean* alatima i simulacijama
5. Montažna linija mjenjačke kutije



Slika 3.7. Tlocrt tvornice za učenje na FESB-u

Slika 3.8. prikazuje Tvornicu za učenje snimljenu s digitalnim fotoaparatom, te animaciju dizajniranu softverskim paketom *VisTable*.



Slika 3.8. 3D model laboratorija u softveru *VisTable*

Tvornica za učenje je jedna od članica Europske tvornice za učenje (*IALF - International Association of Learning Factories*) [IALF, 2017].

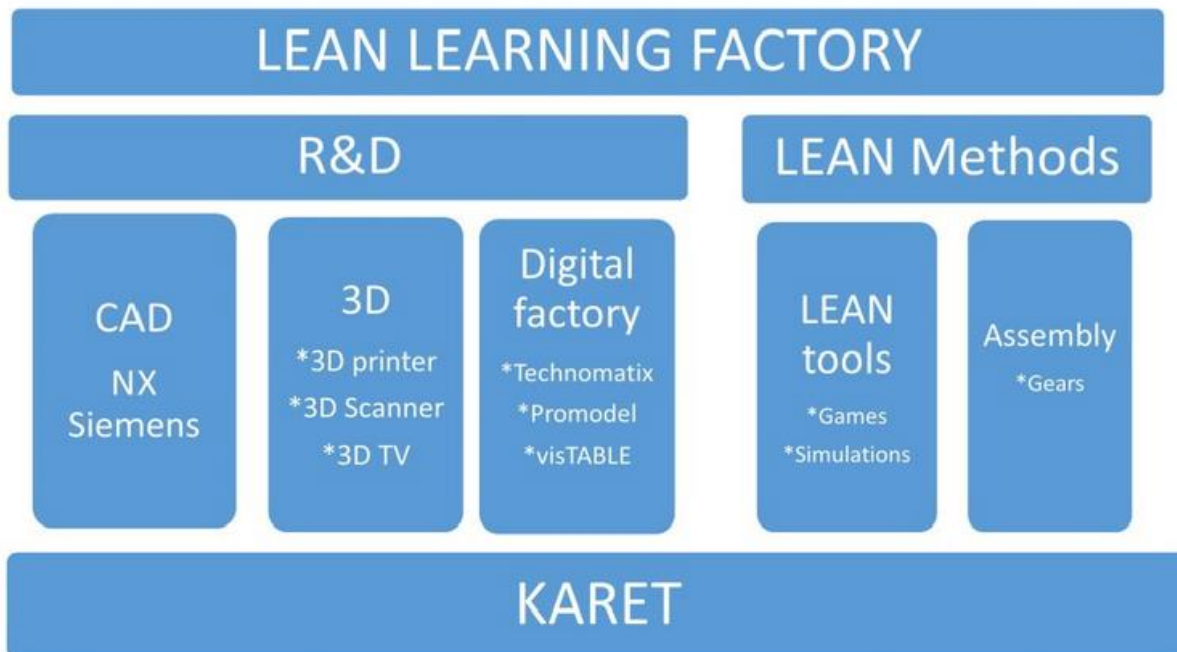
Na temelju definirane tipologije od IALF (Poglavlje 3.2.2.) određena je tipologija *Lean Learning Factory* na FESB-u (Slika 3.9).

Characteristic	Features					
Operating organization	industry	consulting	university	technical college	professional school	
Type of use	education / training		research		further industrial use	
Industrial target groups	operational staff		engineer		manager	
Academic target groups	students			research stuff / post graduated		
Other target groups	lean experts / lean specialist			other consultants		
Selected industries	machine building	automotive industry	chemical industry	electrical industry	insurance, banks, etc.	
Product	real products			imaginary (didactic) product		
Production process	machining	assembly	logistic	IT	indirect	production
Module content	process improvement		diagnosis	system design		quality control
	quality		material flow	technology optimization		lean transfer
Integrated departments	production	distribution	purchasing	ideas mgmt.	design / develop.	prod. plan. and control
Integrated teaching methods	presentation	demonstration	tutorial	web-based training	simulation game	
	discussion	case study	role play	experimental game	...	
Learning factory size	< 300 sqm		300 – 2000 sqm	2000 – 10000 sqm	> 10000 sqm	
Number of course participants	< 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	> 30	
Duration of module	< 2 h	2 – 5 h	5 – 10 h	10 – 20 h	> 20 h	

Slika 3.9. Tipologija Tvornice za učenje na FESB-u

Cjelokupan koncept Tvornice za učenje prikazan je na Slici 3.10.

Kao što se može vidjeti aktivnosti Tvornice za učenje su podijeljene u dvije osnovne grupe: istraživanje i razvoj, te razvoj i primjena *lean* metoda i alata.



Slika 3.10. Koncept Lean Learning Factory na FESB-u

Istraživanje i razvoj:

- Na serveru je instaliran *PLM* od tvrtke Siemens. Može se koristiti 80 licenca softvera *NX* (za razvoj i konstrukciju proizvoda), *Technomatix* (digitalna simulacija proizvodnih sustava), te *Team Center*. Osim softvera *Technomatix* za simulaciju koriste se softveri *VisTable*, te *Promodel*. Time su postavljeni temelji za razvoj modela digitalne tvornice odnosno *Digitalni twin*. Ovaj model se odnosi na digitalnu repliku fizički resursa (fizičke blizine), procesa i sustava koji se mogu koristiti za različite svrhe [Deloitte, 2017]. Digitalna reprezentacija pruža elemente i dinamiku djelovanja uređaja *Internet of Things* i može se koristiti kroz cijeli životni ciklus. Sadrži tri glavna dijela: fizički proizvodi u stvarnom prostoru, virtualni proizvodi u virtualnom prostoru, i veze podataka i informacija koje povezuje virtualne i stvarne proizvode.
- Brza izrada prototipova (*Rapid Prototyping*). *Lean Learning Factory* na FESB-u nudi podršku pri istraživanju i razvoju novih proizvoda, s naglaskom na brzju izradi prototipova. Opremljen je sa svim potrebnim softverom i hardverom: 3D skener, 3D printer, *CAD/CAM* softver, *PLM* softver, simulacijski softver, softver za modeliranje i optimizaciju proizvodnih sustava itd.

Unaprijeđenje procesa:

- *Lean Learning Factory* na FESB-u nudi podršku, obuku i projekte iz područja unaprijeđenja procesa, utemeljene na simulaciji i optimizaciji proizvodnih sustava, *lean* menadžment alatima, itd.
- Nudi skup metoda i alata *lean* menadžmenta, simulacijski softver, softver za modeliranje i optimizaciju proizvodnih sustava, te didaktičke igre.

Unutar *Lean Learning Factory* na FESB-odvijaju se sljedeće aktivnosti:

1. Edukacija
2. Implementacija *lean* i *green* koncepta u gospodarstvo
3. Znanstveno-istraživačke aktivnosti

Primarni zadatak je edukacija studenata preddiplomskih, diplomskih i poslijediplomskih studenata na FESB-u, kao i gostujućih studenata (posebno na programu ERASMUS):

- Predavanja na preddiplomskom studiju: studij rada i vremena, organizacija poslovnih sustava
- Završni (*Bachelor*) radovi
- Predavanja na diplomskom studiju: proizvodne tehnologije, projektiranje, planiranje i optimiranje proizvodnih sustava,
- Diplomski radovi
- Predavanja na poslijediplomskom studiju, kolegiji Modeliranje i simulacija, Računalom integrirana proizvodnja, Optimizacija logistike
- Doktorske disertacije
- Predavanja na stručnom studiju: Planiranje i upravljanje proizvodnjom
- Završni stručni radovi

Osim toga laboratorijske koristi za edukaciju djelatnika iz poduzeća u sklopu koncepta cjeloživotnog obrazovanja. *Lean Learning Factory* na FESB-u nudi cjeloživotno učenje zaposlenicima iz industrijske prakse, iz područja operacijskog managementa, *lean* menadžmenta, upravljanja projektima, *Six Sigma* itd. Također nudi mogućnost razvoja i uspostave *Learning Factory* koncepta unutar industrijskog poduzeća (tzv. *Industrijska Learning Factory*).

Djelatnici Tvornice za učenje sudjelovali su u brojim domaćim i inozemnim projektima od kojih su najznačajniji navedeni u nastavku ovog poglavlja.

3.2.2. Znanstveni radovi Tvornice za učenje na FESB-u

3.2.2.1. TEMPUS Joint Project titled Master Studies and Continuing Education Network in Product Lifecycle Management with Sustainable Production (MAS-PLM)

Katedra za industrijsko inženjerstvo je sudjelovala od 2008 do 2013. godine na projektu *Tempus Joint Project titled Master Studies and Continuing Education Network in Product Lifecycle Management with Sustainable Production (MAS-PLM)* [Gečevska i dr., 2010].

U okviru međunarodnog TEMPUS projekta, kompatibilni *PLM* diplomski studiji razvijeni su na sveučilištima u Skoplju, Zagrebu i Novom Sadu na osnovu kojih je formirana mreža *PLM* centara izvrsnosti (*PLM Centres of Excellence*) na kojima je također moguće u okviru studentske razmjene odslušati i položiti željene kolegije.

Studijski program *PLM (Product Lifecycle Management)*, Upravljanje životnim ciklusom proizvoda je razvijen u suradnji s Politehničkim sveučilištem u Torinu, Sveučilištem u Mariboru i Sveučilištem u Solunu, te sadrži sljedeće značajke:

- akreditiran je prema Bolonjskom sporazumu i priznat u Europi;

- literatura korištena na studijama je aktualna i suvremena;
- u nastavi se koristi najnovija verzija programskog paketa *Siemens PLM Software - Teamcenter®*.

Usmjerenje *PLM* u trajanju od dva semestra (60 ECTS) studentima omogućava:

- da se upoznaju s novom paradigmom razvoja i upravljanja životnim ciklusom proizvoda,
- da steknu potrebna stručna znanja, kao i sposobnost integracije znanja koje mogu primijeniti u svakom konkretnom slučaju,
- da ovladaju primjenom suvremenih softverskih paketa za podršku *PLM-u (Siemens PLM Software - Teamcenter)*
- da tokom realizacije studijskog programa, kroz realne probleme iz prakse budu uvedeni u istraživački, samostalni i timski rad.
- *PLM* diplomski studij mogu upisati studenti koji su završili prvu godinu sveučilišnog diplomskog studija industrijskog inženjerstva.

Prednosti *PLM* sustava:

- *PLM* omogućava upravljanje svim podacima vezanim uz proizvod, počevši od ideje, preko projektiranja, konstruiranja, razrade tehnologije, do servisa, održavanja i odlaganja proizvoda na kraju životnog vijeka.
- *PLM* obuhvaća ljude, podatke, procese i poslovne sustave osiguravajući visoku produktivnost i kvalitetu timskog rada.
- *PLM* je koncept koji će na najbrži i najtočniji način odgovoriti na specifične zahtjeve kupca, česte izmjene na proizvodima, načinu proizvodnje i drugim zahtjevima okoline.
- *PLM* je podržan softverskim paketom za upravljanje životnim ciklusom proizvoda

Studij se provodi na FESB-u od akademske godine 2013/2014.

3.2.2.2. EU Leonardo da Vinci projekt LOPEC

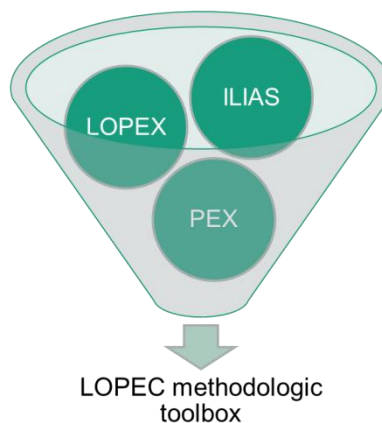
Europski projekt programa Leonardo da Vinci *Logistics Personal Excellence by continuous Self-Assessment LOPEC* (hrv. Izvršnost logističkog osoblja uz pomoć kontinuirane samo-procjene) ciljao je na razvoj i korištenje specijalizirane obuke za *lean* logistiku i temeljna znanja, za kvalificirane radnike na razini proizvodnog pogona. Zadatak je bio transferirati znanje potrebno za svladavanje današnjih izazova u logistici. Stoga je unutar projekta LOPEC unaprijeđenje ljudskih sposobnosti postavljeno kao ključ za cjeloživotno kontinuirano učenje povećanjem razine zrelosti *osobne logističke izvrsnosti*. Definirano je zajedničko europsko viđenje *osobne logističke izvrsnosti* za kvalificirane radnike, što je osiguralo da je završni proizvod projekta otvoren svima. Kao rezultat projekt LOPEC nudi module za obuku za post-srednjoškolsko obrazovanje u području *lean* logistike i temeljnih znanja, te transparentnost po pitanju procjene osobne izvrsnosti.

Fokus ovog istraživanja je bio postizanje sljedećih znanstvenim ciljevima na strateškoj perspektivi:

- Promicanje zajedničkog europskog stajališta o *osobnoj logističkoj izvrsnosti*.
- Razvoj obrazovnog okruženja za *lean* logistici kako bi se omogućilo prijenos znanja s razine menadžmenta na operativnu razinu.
- Definiranje puta učenja koja omogućuje kvalificiranim radnicima sudjelovanje u visokom obrazovanju.
- Integracija inovativnog pristupa obučavanju Tvornice za učenje za cjeloživotno učenje za kvalificirane radnike u logističkom sektoru.
- Razvoj novog pristupa samovrjednovanja i strategije treniranja korisnika prema *Osobnoj izvrsnosti u lean logistici*.

Na temelju znanstvenih ciljeva, na operativnoj razini projekt LOPEC je ujedinio tri važna aspekta u jednom sustavu putem posebnog metodološkog alata (Slika 3.11.):

1. Moduli za učenje kako bi pružili tehničku, lingvističku, metodičku i socijalnu kompetenciju u okviru opsežnih pokušaja *lean* logistike za izvrsnog stručnog radnika,
2. modula potrebnih osnovnih znanja za pristup terciarnom obrazovanju (ILIAS i LOPEX),
3. nova razvijena metoda za kontinuiranu samoprocjenu *osobne izvrsnosti* temeljenu na filozofiji EFQM (PEX).



Slika 3.11. Metodološki alati LOPEC projekta [Gjeldum, 2015]

U projektu su sudjelovali istraživački partneri iz javnog i privatnog sektora s dobrim iskustvom za strukovno obrazovanje i osposobljavanje: EBS Sveučilište Reutlingen, Fraunhofer Beč Austrija, Sveučilište u Splitu (Katedra za industrijsko inženjerstvo na FESB-u), Sveučilište u Dortmundu, Euro Fortis SA iz Rige i IBK-Management Solution GmbH. Projekt LOPEC trajao je od 01. listopada 2012. do 30. rujna 2014. godine, a vrijednost projekta iznosila je 3.000.000 kuna. Rezultati istraživanja projekta LOPEC, odnosno moduli za cjeloživotno obrazovanje u području logistike i *lean* menadžmenta, primijenjeni su i unutar dva hrvatska poduzeća: Brodotrogir d.d. i Dalstroj d.o.o.

3.2.2.3. Network innovative Learning Factories - NIL

Osnova za pokretanje projekta Mreža inovativnih Tvornica za učenje (*NIL – Network Innovative Learning Factories*) bila je povezivanje pojedinih Tvornica za učenje u cilju poboljšanja upravljačkih koncepcija, metoda i instrumenata naprednog industrijskog

inženjerstva, metoda i instrumenta operativne izvrsnosti, alata za digitalni i virtualni inženjering i primjena *lean* metode u proizvodnji, administracije, logistike i dobavljačkog lanca i pripadajućeg intenzivne kombinacija teorije planiranja i prakse [FESB, 2014].

Nakon provedene analize i zaključka da ova vrsta treninga u istraživačkom okruženju Tvornice za učenje postaje sve važnija, predstavnici vodećih sveučilišta u Europi, za vrijeme sastanka na *CIRP* konferenciji u Pisi dana 26. kolovoza 2010. godine su raspravljali o ideji zajedničkih aktivnosti. Povodom godišnjeg sastanka Glavne skupštine *CIRP-a* u Parizu 27. siječnja 2011. god., ovi predstavnici odlučili su osnovati *Inicijativu o europskim Tvornicama za učenje*. Osnivački sastanak i potpisivanje ugovora dogodili su se na 1. konferenciji Tvornice za učenje 12. svibnja 2011. na Tehničkom sveučilištu u Darmstadtu. U mrežu europskih instituta na bili su predstavnici sljedećih sveučilišta: Sveučilište u Beču, Tehničko sveučilište Darmstadt, Tehničko sveučilište u Münchenu, KTH Stockholm, Mađarska akademija znanosti iz Budimpešte, Sveučilište u Splitu - FESB, Sveučilište u Patrasu, Polytechnic Institute Setúbal i Business School Reutlingen University ESB. Pored razmjene znanja i iskustva, specijalistička mreža teži se održivoj integraciji istraživanja i poučavanja, poboljšava obrazovanje studenata i stručnjaka i menadžera iz industrije. Razvoj i uspostavljanje zajedničkih standarda trebao bi pridonijeti povećanju kvalitete svih Tvornica za učenje.

Partneri na *NIL* projektu su bili:

1. Reutlingen-University, ESB Business School, Professor Vera Hummel, Professor Harald Augustin Learning Factory: ESB Logistics Learning Factory:
2. Technische Universität Darmstadt, Institute Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), Professor Eberhard Abele: Lernfabrik: CiP Fabrik
3. Technische Universität München, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), Professor Gunther Reinhart Lernfabrik: Lernfabrik für Energieproduktivität (LEP)
4. Royal Institute of Technology KTH, Schweden; Professor Bengt Lindberg, Lernfabrik: XPRESS lab
5. Technische Universität Wien, Institute of Management Science (imw); Prof. Wilfried Sihn und Institute for Production Engineering and Laser Technology (IFT); Prof. Friedrich Bleicher
6. Polytechnics Institute of Setúbal IPS, School of Technology Portugal Professor Pedro Cunha Lernfabrik: CENI Learning Factory
7. MTA SZTAKI in Kooperation Budapest University of Technology and Economics; Ungarn, The Computer and Automation Research Institute; Professor Laszlo Monostori
8. Universität Split, Kroatien, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, Professor Ivica Veza Lernfabrik: Lean Manufacturing; Lean Production
9. Universität Patras, Griechenland, Laboratory for Manufacturing Systems & Automation; Professor George Chrysolouris Lernfabrik: Formula Student

Unutar *NIL* projekta unutar mreže partnera, suradnja za nastavnike, istraživače i studente može se opisati na sljedeći način:

- Suradnja vodećih međunarodnih sveučilišta i institucija, koji se bave nastavnim i istraživačkim djelatnostima, kroz stalnu razmjenu u navedenim područjima istraživanja u nekoliko zemalja, što omogućuje studentima detaljan uvid u sustave proizvodnje, logistike, te stvarnog i virtualnog multinacionalnog okruženja. Istraživačima se nude mogućnosti integracije različitih istraživačkih područja kao i njihove specifične obrade. Nastavnici su predstavljeni novim spektrom nastavnih metoda i njihovom neposrednom primjenom. Partneri unutar mreže također imaju koristi od razmjene putem *System Model Factory* pronaći odgovore na pitanje koje optimizacija mogućnosti koje se nude ovdje.
- Korištenje najsuvremenijih tvornica i laboratorija za učenje, koje omogućuju neovisnu komunikaciju i planiranje, izgradnju i dizajn. Moguće je modeliranje i organiziranje na svim lokacijama.
- Stručnost u integraciju inovativnih metoda učenja u praksi i studija okruženju Tvornice za učenje i njihovu integraciju u studijskim programom i izvedbenim planom, uključujući sustav prijenosa ECTS bodova.
- Mogućnost razmjene postojećih modula učenja u tvornicama za učenje i spremnost na suradnju razvijanja novih, a time i koristi od sinergijskih učinaka
- Razvoj novih nastavnih planova i programa koji zadovoljavaju izazove međunarodnog poslovanja u smislu tehnološke i organizacijske inovacije, održivosti i prilagodljivosti. Povećanje didaktičke vještine u sve težem okruženju oskudnih resursa i kapaciteta za inovacije.
- Provedbu zajedničkih aktivnosti za osiguravanje i unaprijeđivanje učenja, a time i podizanje standarda kvalitete.
- Provedbi zajedničkih projekata unutar mreže Tvornice za inovativno učenje
- Povezivanje sa programima kao što su *Bachelor DAAD-Plus* i dvostruki stupanj programa, uz jaču vezu između teoretske i praktične nastave, te studiranje u zajedničkom sustavu Tvornica za učenje ili bilateralnom multilateralnom kontekstu.

Akcijski plan uključivao je niz različitih mjera:

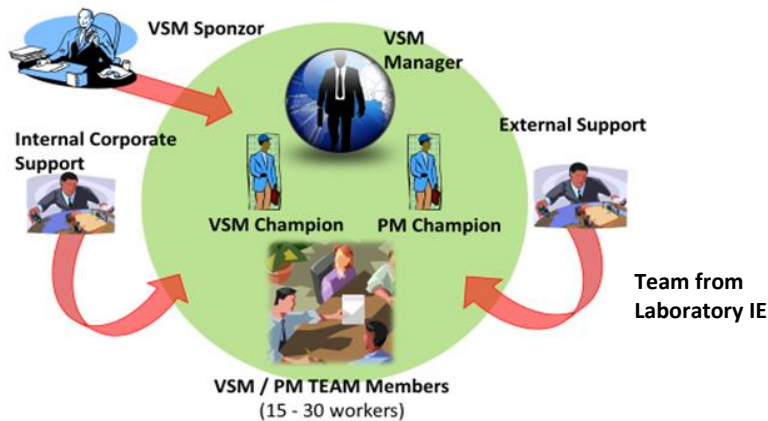
1. Upravljanje poslovanjem i popratna istraživanja
2. Sastanke voditelja u cilju definiranja strategije
3. Razne radionice
4. Kratke posjete i pozvana predavanja
5. Studijski i znanstveni boravci unutar članova mreže
6. Sudjelovanje na konferencijama *European Learning Factories*
7. Organizacija ljetnih škola
8. Razvoj *web* sustava
9. Objavljivanje zajedničkih publikacija (knjige, članci, skripta, filmova i dr.)

Projekt je financiran od strane *DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst - German Academic Exchange Service)* i *BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung - Federal*

Ministry of Education and Research Germany) u periodu od 2013. do 2017. godine u iznosu od 775.000 Eura.

3.2.3. Implementacija *Lean i Green* koncepta u gospodarstvo

Iskustvo pokazuje da poduzetnici znatno više ulažu u nabavu nove opreme nego na restrukturiranje poduzeća i povećanje kompetentnosti svojih zaposlenika. Uvođenje *lean i green* koncepta može za ista sredstva umnogome podignuti konkurentnost tvrtke. Osnova koncepta uvođenja je aktivno uključivanje svih djelatnika u proces restrukturiranja ili poboljšanja. Tipična organizacijska shema za provođenje projekta uvođenja *lean i green* koncepta u poduzeća prikazana je na Slici 3.12. Najprije je potrebno da menadžment poduzeća podrži uvođenje *lean i green* koncepta i da bude glavni sponzor. Sljedeći korak je obrazovanje djelatnika, te izbor kako voditelja na razini poduzeća, tako i voditelja svakog alata koji se uvodi. Obrazovanje se provodi za desetak posto djelatnika sa ciljem da daljnje obrazovanje preuzmu voditelji pojedinih alata. Svaki sudionik procesa obrazovanja treba izraditi svoj zadatak.



Slika 3.12. Organizacijska shema uvođenja Lean koncepta u gospodarstvo

Za uspješnu implementaciju Lean koncepta edukacija zaposlenika se odvija u tri koraka (Slika 3.13.) [Gjeldum, Mladineo, Veža, 2016]:

- U prvom koraku zaposlenici se upoznaju s osnovama *leana*
- U dogovoru s menadžmentom se izradi plan uvođenja osnovnih alata *leana*. Preporuka je da se počne s alatima *5S* i *kaizen* (proces kontinuiranog poboljšanja), jer su oni osnova kuće *Toyota Production System*
- S obzirom da je *lean* jedan sasvim drugi način razmišljanja nužno je raditi na promjeni kulture rada i komunikacije. Tome služe posebni seminari o *lean* menadžmentu, *katama*, *Hoshin Kanri* i dr.

1. korak: Osnove <i>leana</i>	2. korak: Elementi <i>leana</i>	3. korak: <i>Lean</i> način razmišljanja
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Toyota Production System</i> • <i>Lean</i> principi • Standardizacija rada • 7+1 vrsta rasipanja • Osiguravanje kvalitete • Didaktičke igre (<i>lego</i> autići, <i>beer game</i> i dr.) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Just-in-Time</i> • <i>Heijunka</i> (balansiranje linije) • <i>Push-Pull</i> proizvodnja • Jednokomadni tok • Brze izmjene kalupa (<i>SMED</i>) • Takt • <i>Supermarket</i> • <i>Kanban</i> • <i>Kaizen</i> • Mapiranje toka vrijednosti (<i>VSM</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Lean</i> vodstvo • <i>Lean</i> u svim područjima (administracija, zdravstvo, državna uprava, itd.) • <i>Hoshin Kanri</i> • <i>Kata</i> za unaprijeđenje • Vizualni menadžment (<i>Obeya</i>)

Slika 3.13. Koraci edukacije zaposlenika za uspješnu implementaciju *Lean* koncepta

Neke od poduzeća i kojima je uveden *lean* koncept su:

- Brodogradilište Brodotrogir d.d., Trogir
- Dalekovod d.d., Velika Gorica
- FEAL d.o.o., Široki Brijeg, Bosna i Hercegovina
- Feromont Novi d.o.o., Donji Kraljevac
- Jadranska banka d.d., Šibenik
- Klinički bolnički centar Rebro, Zagreb
- Otp banka d.d., Zadar
- Potomac d.o.o., Zagreb
- Končar Energetski transformatori d.d., Zagreb
- Standard a.d., Prnjavor, Bosna i Hercegovina
- Vodovod i odvodnja d.o.o., Zagreb
- Županijske ceste Zagrebačke županije d.o.o., Zagreb

Svaka članica Europskih tvornica za učenje ima svoj proizvod, tako npr. TU Beč se bavi montažom i utrkama minijaturnih modela formule 1, KTH iz Stockholma bolid formule student, TU Bochum zatvarač za boce, TU Darmstadt pneumatski cilindar, EBS iz Reutlingena skateboard itd. Na FESB- je razvijen novi proizvod, specifičan za grad Split – *karet*. *Karet* je vozilo bez pogona, kočnice i sigurnosnih elemenata; generacijama omiljena ulična igračka za spust u Splitu (Slika 3.14.).



Verzija originalnog kareta

*Poboljšan kareta na
FESB-u*



Slika 3.14. Proizvod Tvornice za učenje na FESB-u - kareta

U sljedećim poglavljima biti će detaljnije prikazane pojedine aktivnosti unutar Tvornice za učenje na FESB-u.

3.3 Računalom podržani dizajn, aditivna proizvodnja i 3D skeniranje proizvoda

3.3.1. Uvod

Globalizacija tržišta i time neizbježan porast konkurencije, rivalstva i borbe za opstanak, razlog su zašto poduzeća danas kontinuirano moraju raditi na poboljšanju, ne samo svojih proizvoda ili usluga koje su njihov krajnji *output*, već i svih svojih procesa, tj. kompletnih proizvodnih i poslovnih sustava koji vode do tog *outputa*. U ovakvom turbulentnom i nestabilnom tržištu opstaju jedino poduzeća koja su istovremeno uspjela minimizirati ukupne troškove, koja su inovativna i hrabra, tj. voljna riskirati i tržištu ponuditi nove proizvode/usluge, te ona koja su spremna savladati sve izazove s kojima se susreću. Kako bi mogli držati korak sa konkurencijom, izazovi s kojima se poduzeća moraju uhvatiti u koštac podrazumijevaju skraćenje životnog ciklusa proizvoda, veću zahtijevanu kvalitetu i diverzificiranost proizvoda, nepredvidiva tržišta sa stalnim promjenama u tehnologiji, u odnosima ponude i potražnje, ali i trendovima potražnje [Kamrani, Nasr, 2010]. Potrebe i želje kupaca neprestano se mijenjaju. Ono što danas predstavlja vrijednost za kupca za koju je spreman izdvojiti određeni novac, sutra već može doživjeti slom. Jednostavna definicija vrijednosti, odnosno kvalitete proizvoda poput, kvaliteta proizvoda je *sukladnost sa specifikacijama* [Shane, Tu, 2011], više ne vrijedi. Ona je postala ponešto složenija. Kvaliteta se danas može definirati kao *ispunjavanje potreba i očekivanja kupaca* [Shane, Tu, 2011]. Drugim riječima, kvaliteta proizvoda za kupca podrazumijeva posjedovanja onih značajki i

funkcija koje kupac jasno i nedvosmisleno želi i treba imati u proizvodu kojeg stječe (temeljna korist proizvoda), kao i onih karakteristika za koje kupac pretpostavlja da su svojstvene proizvodu, te da nije nužno naglasiti da ih proizvod treba imati, jer se to podrazumijeva.

Kvalitetan dizajn proizvoda jedan je od ključnih koraka životnog ciklusa proizvoda. Ono uvelike utječe na kasniji proces proizvodnje i montaže proizvoda, te se može reći da predstavlja najvažniji čimbenik u određivanju društvene vrijednosti i komercijalnog uspjeha proizvoda. Bez obzira koliko je proizvod dobro tehnološki proizveden, ako je njegov dizajn loš (ne zadovoljava potrebe i očekivanja ciljanog tržišta), proizvod neće mnogo doprinijeti dobrobiti tvrtke koja ga je proizvela, već može rezultirati nezadovoljstvom kupaca koje može dovesti do gubitka njihovog *povjerenja i lojalnosti*, do gubitka konkurentnosti poduzeća, a time i do neophodnog gubitka tržišnog udjela. Ukoliko je dizajn proizvoda dobar, uvijek se postavlja pitanje ekonomske učinkovitosti njegove proizvodnje.

3.3.2. Računalom podržano konstruiranje (eng. *Computer Aided Design, CAD*)

Sve više poduzeća shvatilo je da je sposobnost za brzim razvojem i kreiranjem novog proizvoda na ekonomičan i učinkovit način, od kritične važnosti za njihovu egzistenciju, razvoj te za povećanje tržišnog udjela i profitabilnosti. Kako bi se smanjilo vrijeme razvoja proizvoda, nepotrebni troškovi (materijala, vremena i dr.), nezadovoljstvo kupaca te povećala produktivnost dizajnera, kvaliteta dizajna te točnost proračuna uz stvaranje baze podataka za proizvodnju, poduzeća su primorana unaprijediti proces kreiranja, modifikacije, analize i optimiranja dizajna proizvoda. Za unaprijeđenje spomenutih procesa, u današnjem tehnološki razvijenom svijetu, nužno je uvesti računalom podržano konstruiranje. Računalom podržano konstruiranje (eng. *Computer Aided Design - CAD*) podrazumijeva bilo koju vrstu dizajnerske aktivnosti koja koristi računalo za razvoj, analizu ili modificiranje inženjerskog dizajna proizvoda [Shane, Tu, 2011; Lalit, Malikarjuna, Sarcar, 2008].

Suvremeni *CAD* sustavi zasnivaju se na interaktivnoj komunikaciji *CAD* računalnih softvera i korisnika. Softver s korisnicima komunicira preko računalnog zaslona. Korisnici su dizajneri i inženjeri koji unosom/odabirom odgovarajućih podataka i naredbi, preko ulaznih uređaja, pozivaju željene softverske potprograme (alate) kako bi kreirali *sliku* na zaslonu [Lalit, Malikarjuna, Sarcar, 2008]. Slika predstavlja dinamički 3D i virtualni model proizvoda koji vrlo detaljno i realistično prikazuje geometriju i značajke proizvoda, te sadrži brojne dodatne informacije o njemu. Najčešći oblik njegovog razvoja je parametarsko modeliranje i modeliranje pomoću značajki.

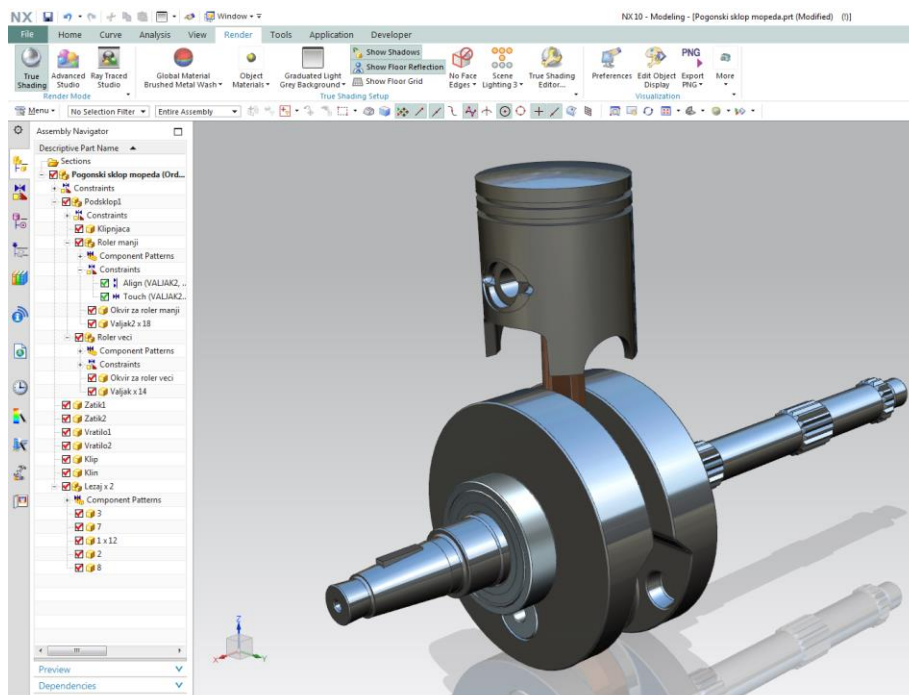
Geometrijsko modeliranje bavi se matematičkim opisom geometrije (oblika i dimenzija proizvoda) u obliku koji je razumljiv računalu. Izdavanjem naredbi i unošenjem podataka o obliku i dimenzijama proizvoda, inženjer dizajnira parametarski geometrijski model proizvoda. U parametarskom modeliranju, pored osnovnog geometrijskog modela i ostali modeli poput modela za strukturnu analizu, modela za generiranje tehničke dokumentacije, modela za sklapanje i montažu, modela za proizvodnju itd., također se parametarski opisuju i to u funkciji istih onih parametara kojima je opisan osnovni model proizvoda. Na taj način se svaka izmjena na geometrijskom modelu proizvoda automatski prenosi na ostale modele

preračunavajući ih za nove vrijednosti parametara. Modeliranje pomoću značajki uvedeno je iz nekoliko razloga:

- radi jednostavnije parametrizacije modela proizvoda; svaka značajka može biti opisana s unaprijed definiranim skupom parametara, čiji je broj mnogo manji nego u slučaju korištenja volumenskih elementarnih tijela,
- značajke su praktične za projektiranje; zasnivaju se na provjerenim i prihvaćenim konceptima; lakše je razmišljati u vidu translatornih i rotacijskih oblika, utora, rupa, rebara i zaobljenja nego u smislu geometrijskih elemenata poput krugova, lukova, linija; značajke već sadrže znatne informacije o obliku čime oslobađaju inženjera dizajnera značajnog dijela aktivnosti za vrijeme modeliranja proizvoda,
- značajke su pogodne za dodjeljivanje i negeometrijskih informacija o proizvodu poput postupka izrade ili cijene koštanja te time predstavljaju zgodno sredstvo za sveukupan opis proizvoda,
- značajke su inteligentni alati koji unaprijed shvaćaju namjere inženjera i dizajnera.

Prema načinu kreiranja značajke se dijele na profilne i aplikacijske. Profilne značajke se kreiraju translacijom ili rotacijom ravninskih skica ili pomicanjem 2D profila duž neke složenije, prostorne putanje. U njih spadaju primjerice translacijske značajke (eng. *Extrude*), rotacijske (eng. *Rotate*), kombinirane (eng. *Loft*, *Sweep*), rupe (eng. *Hole*), rebra (eng. *Rib*), itd., dok aplikacijske značajke uključuju zaobljenja (eng. *Fillet/Round*), skošenja (eng. *Chamfer*), ljuske (eng. *Shell*), nagibe (eng. *Draft*), itd. Aplikacijske značajke ne zahtijevaju skice nego se nanose direktno na geometriju tijela. Tako se duž odabranih bridova može nanijeti zaobljenje ili skošenje ili se pak puni model može automatski pretvoriti u ljuskastu formu otvarajući ga s odabrane strane. Ove značajke se umjesto skicama opisuju parametrima, kao što je radijus zaobljenja, debljina stjenke kod ljuskaste forme, itd. [Kutz, 2015].

Postupak modeliranja 3D CAD modela čuva se u vidu strukturnog stabla modela (eng. *Tree*). Ono omogućava pregled povijesti stvaranja modela, tj. prikazuje sve skice, geometrijske značajke, sastavne dijelove i ostale entitete na kojima se temelji model (Slika 3.15).



Slika 3.15. Računalom podržani dizajn proizvoda sa stablom značajki

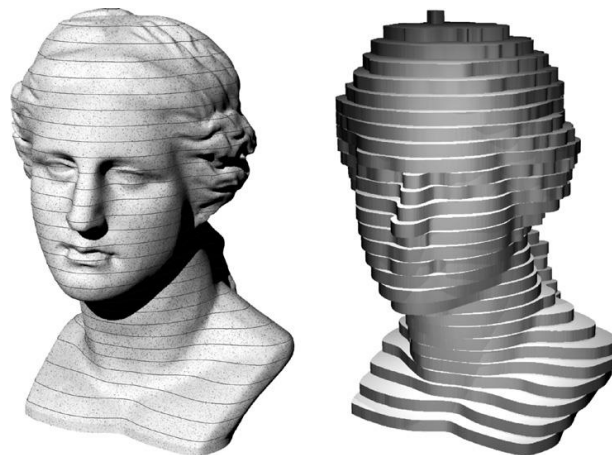
Brojni CAD softveri sadrže različite analitičke alate za računalne simulacije (analize). Kreirani 3D modeli proizvoda služe kao baza za računalne analize, poput metode konačnih elemenata (engl. *Finite Element Method – FEM*) analize, statičke i dinamičke analize, kinematičke analize. Korištenje tih alata spada u domenu računalom podržanog inženjerstva (eng. *Computer Aided Engineering - CAE*). Osim toga, 3D modeli koriste se i za brzu izradu prototipova, te 2D nacrtā koji se dalje printaju i koriste prilikom strojne obrade i u proizvodnim operacijama [Kamrani, Nasr, 2010; Shane, Tu, 2011].

3.3.3. Aditivna proizvodnja

Suvremeni brzi tempo razvoja novih proizvoda i sve veći zahtjevi globalnog tržišta nameću nove trendove u različitim industrijskim granama. Uz primjenu CAD softvera, danas se kao neizostavan inženjerski alat u fazi razvoja proizvoda podrazumijeva upotreba tehnologije aditivne proizvodnje. Ovisno o autorima, u brojnim literaturnim izvorima osim naziva aditivna proizvodnja, koriste se još i termini poput *Brza izrada prototipa*, *Generativna proizvodnja*, *Aditivna slojevita proizvodnja* i mnogi drugi [Gebhardt, 2011].

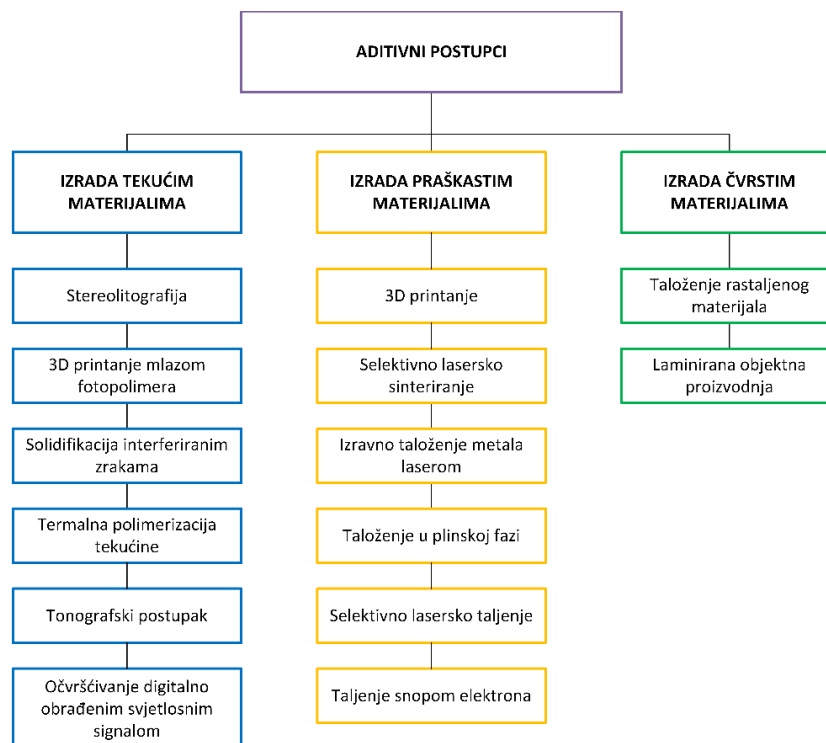
Tehnologija aditivne proizvodnje omogućava brzu izradu prototipa ili osnovnog modela proizvoda u relativno kratkom vremenu, bez obzira na složenost njegove geometrije. Definira se kao automatizirani proces proizvodnje 3D fizičkih modela izravno iz 3D CAD podataka (virtualni model proizvoda) nanošenjem dvodimenzionalnih slojeva jednakih debljina. Rezultat takvog slaganja je trodimenzionalni oblik modela sa stepenastim izgledom površine (Slika 3.16.). Svaki nanoseni sloj predstavlja tanki poprečni presjek generiranog 3D modela u nekom od 3D CAD softvera. Očito je da u stvarnom fizičkom svijetu, svaki sloj mora imati određenu debljinu, zbog toga će izradak biti aproksimacija originalnog modela. Što su

slojevi nanesenog materijala tanji i gušće složeni, izradak će biti sličniji originalnom modelu [Kurz, 2015; Gibson, Rosen, Stucker, 2010; Gebhardt, Heotter, 2016].



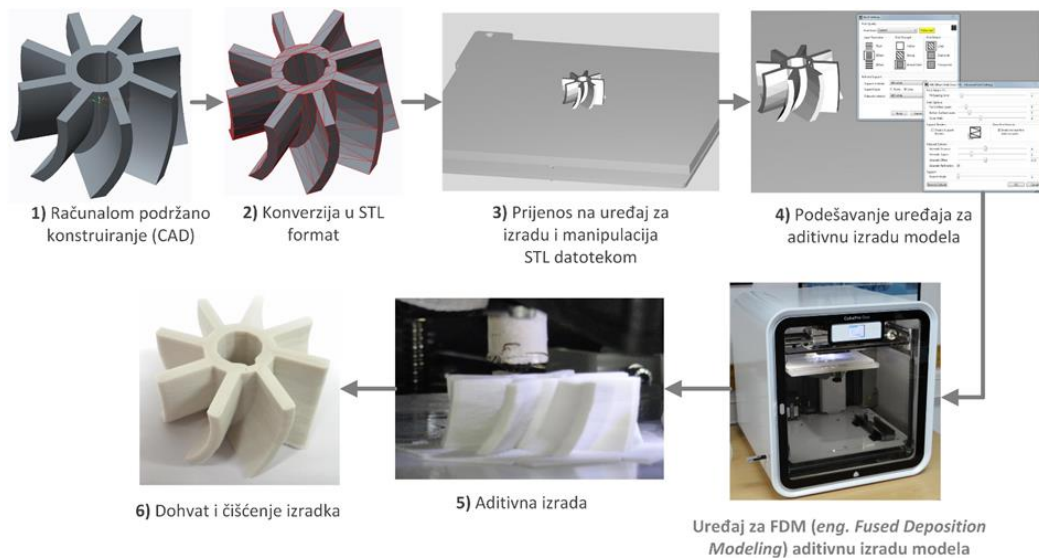
Slika 3.16. Prikaz modela rastavljenog na slojeve [Gebhardt, Heotter, 2016]

Primjena aditivnih postupaka proizvodnje u današnjem svijetu raste neslućenim brzinama, stoga uz već veliki broj prisutnih različitih aditivnih postupaka, iscrpno se radi na pronalasku novih materijala i boljih načina izrade. Ove postupke karakterizira jednostavnost upotrebe i mogućnost izrade kompliciranijih i zahtjevnijih geometrijskih oblika. Razlikuju se prema postupku oblikovanja sloja i obliku gotove tvorevine, vrsti materijala za potrebnu tvorevinu, te prema izvoru energije [Pilipović, 2012]. Najčešće se dijele s obzirom na vrstu materijala koju koriste. Na Slici 3.17. prikazani su najčešće korišteni postupci aditivne proizvodnje, ali u ovom poglavlju bit će obrađen samo po jedan predstavnik iz svake skupine materijala. U kasnijem tekstu koristit će se termin aditivni postupci.



Slika 3.17. Podjela postupaka aditivne proizvodnje [Mateljak, Mihanović, Veža, 2017]

Aditivna proizvodnja odvija se kroz nekoliko osnovnih faza koje u konačnici dovode do krajnjeg modela (Slika 3.18.). U svim postupcima proizvodnje modela redosljed faza je jednak.



Slika 3.18. Faze procesa aditivne proizvodnje [Matelj, Mihanović, Veža, 2017]

Prvi i temeljni korak aditivne proizvodnje je modeliranje 3D modela. Do 3D modela najčešće se dolazi izravnim dizajniranjem u nekom od 3D CAD softvera kojim se opisuje geometrija proizvoda. Drugi način je korištenje reverzibilnog inženjerstva i 3D skeniranja. Dizajnirani čvrsti model iz CAD datoteke konvertira se u STL (eng. *stereolithography*) format kojim se pojednostavljuje opisivanjem geometrije 3D CAD modela. STL datotekom se aproksimirane površine modela prikazuje nizom trokutastih elemenata. Svaki trokut opisan je s pomoću tri točke koje predstavljaju vrhove trokuta, te orijentacijom [Gebhardt, 2011]. Ovisno o vrsti programskog sustava koja se koristi, umjesto STL datoteke može se koristiti AMF (eng. *Additive Manufacturing File*) datoteka. Za razliku od STL datoteke koja nema boje, AMF datoteka može dati opis materijala i boje pojedinog volumena, boju svakog trokuta u mreži, a osim toga ima mogućnost kreiranja zakrivljenih rubova trokuta koji pridonose boljoj aproksimaciji geometrije, te smanjenu količinu podataka uz održavanje iste razlučivosti geometrije [Kutz, 2015]. Nakon što je STL datoteka pripremljena, direktno se šalje na uređaj za aditivnu proizvodnju. Softver uređaja za izradu očitavanjem STL datoteke pruža korisniku vizualni prikaz modela unutar komore. Osim toga, omogućava korisniku manipulaciju određenim postavkama modela, poput promjenu položaja modela na radnoj površini, promjenu orijentacije modela, odabira potrebnih broja komada za izradu, skaliranje veličine modela itd.

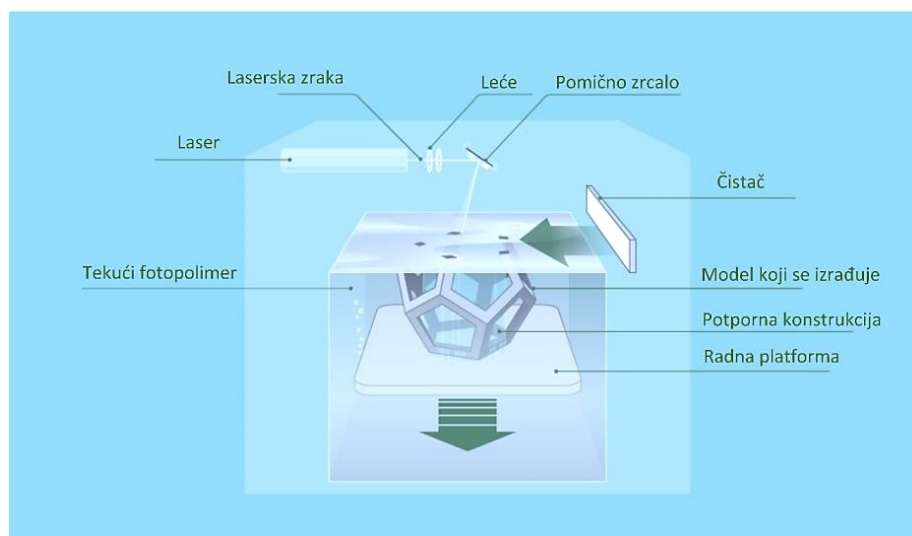
Svaki uređaj za aditivnu izradu ima neki specifičan parametar koji je svojstven samo tom stroju ili postupku izrade. Ti parametri su primjerice debljina slojeva koji se nanose, vrsta materijala koja se upotrebljava, brzina nanošenja slojeva itd. Jednom kada su potrebni parametri podešeni, slijedi računalom kontrolirana izrada prototipa. Svi uređaji za aditivnu proizvodnju, imat će sličan redosljed nanošenja slojeva. Nanošenje slojeva se uglavnom vrši

pomoću vertikalno podesive platforme na kojoj se generira uzorak, taloženjem materijala i formiranjem sloja po sloja poprečnog presjeka izratka, idući od dna prema vrhu modela.

Nakon nanošenja zadnjeg sloja slijedi odvajanje gotovog izratka od pokretne platforme i odstranjivanje potpornog materijala. Idealno bi bilo kada bi materijal odmah nakon izrade bio spreman za upotrebu, ali nažalost to se rijetko događa. Slijedi naknada dorada koja obično uključuje završno brušenje, poliranje i premazivanje izratka ovisno o njegovoj primjeni. Završetkom faze naknadne dorade, izradak je spreman za stvarnu upotrebu.

3.3.4. Stereolitografija (eng. *Stereolithography, SL*)

Stereolitografija (Slika 3.19.) je najstariji, ali još uvijek i najprecizniji postupak aditivne proizvodnje razvijen od tvrtke 3D Systems 1987. godine. Kod ovog postupka fizički model kreira se lokalnom polimerizacijom fotosjetljivih tekućih polimera (akrilata ili epoksida) zbog utjecaja laserskog UV zračenja na gornju površinu tekućine (Slika 3.20). Drugim riječima, zbog osjetljivosti tekućine na UV zračenje koje nastaje djelovanjem lasera, dolazi do skrutnjavanja sloja polimera. Nakon kreiranja jednog sloja, radna platforma, na kojoj se nalazi skrućeni dio, pomiče se vertikalno prema dolje za debljinu idućeg sloja, te slijedi formiranje novog sloja polimera na jednak način. Postupak se ponavlja sve dok se ne izradi posljednji sloj. Ovim postupkom proizvod *raste* od dna prema vrhu u slojevima. Debljine slojeva, ovisno o postavkama, kreću se od 0,05 do 0,15 mm. Nakon što je proces izrade završen, slijedi faza čišćenja i potpunog otvrdnjavanja u UV komori [Gebhardt, 2011].



Slika 3.19. Stereolitografski postupak [Additively, 2015-1]

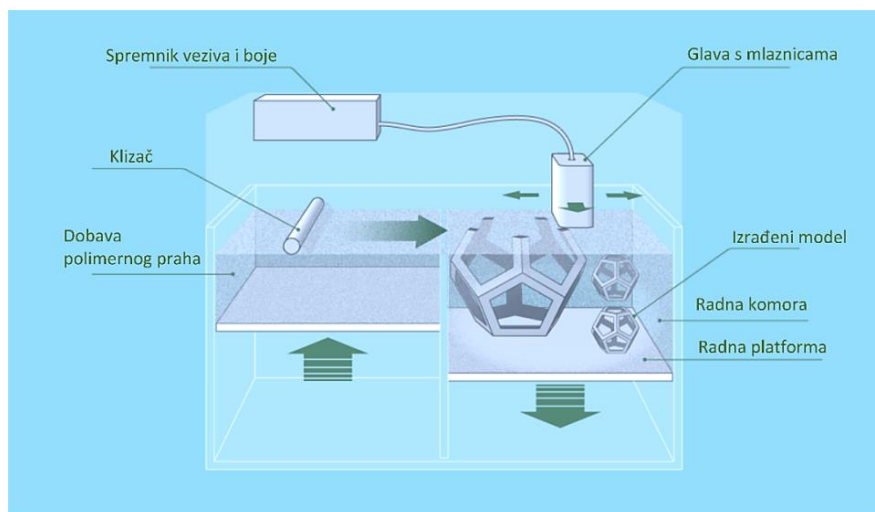


Slika 3.20. Proizvod dobiven stereolitografskim postupkom [Solidfill. 2015]

Prema [Gebhardt, 2011; Gebhardt, Heotter, 2016] neke od prednosti kojima se proces odlikuje su: potpuna automatiziranost procesa, precizna izrada, nema geometrijski ograničenih oblika, pouzdan postupak, kvalitetno izrađena površina. Dok su nedostaci: ograničen broj materijala, lošija mehanička svojstva, potrebna je naknadna obrada izratka, prilikom izrade modela komplicirane geometrije potrebna je podrška, problem skladištenja gotovih proizvoda (u maloj mjeri fotosenzitivni akrilati apsorbiraju kisik dok su epoksidne smole higroskopne), visoka cijena uređaja i materijala itd.

3.3.5. 3D printanje (end. 3D printing, 3DP)

3DP (Slika 3.21. i Slika 3.22.) je postupak brze izrade prototipa koji je patentiran od strane je MIT (eng. *Massachusetts Institute of Technology*). [Gibson, Rosen, Stucker, 2010] Uređaj za 3D printanje omogućuje izradu 3D proizvoda pomoću računalnih programa kojima se STL format izrezuje na stotine digitalnih poprečnih presjeka koji se potom izrađuju, sloj po sloj. Uređaj se sastoji od radne platforme na koju se, uz pomoć klizača, nanosi sloj polimernog praha. Sloj praha selektivno se skenira glavom s injet mlaznicama koje nanose sloj tekućeg veziva na prah, na točno određeno mjesto, kako bi se prah povezao i stvorio jedan sloj proizvoda. Glava s mlaznicama pomiče se po x i y osi, dok se radna podloga pomiče po z osi. Kada je kreiran jedan sloj, podloga se spušta za visinu jednog sloja. Potom klizač ponovo nanosi materijal i postupak se ponavlja sve dok se ne izradi konačan model. Nakon što je model izrađen, višak praha iz komore se usisava u spremnik te se može ponovo upotrijebiti. Model se kratko ostavlja u komori s prahom da postigne određenu čvrstoću. Nakon toga se vadi van i propuhuje komprimiranim zrakom. Moguća je i naknadna obrada kako bi se modelu dodatno povećala elastičnost i čvrstoća (infiltriranje voska, epoksida, cijanoakrilata).



Slika 3.21. Postupak 3D printanja [Additively, 2015-2]



Slika 3.22. Proizvodi dobiveni postupkom 3D printanja [Peaklic, 2015]

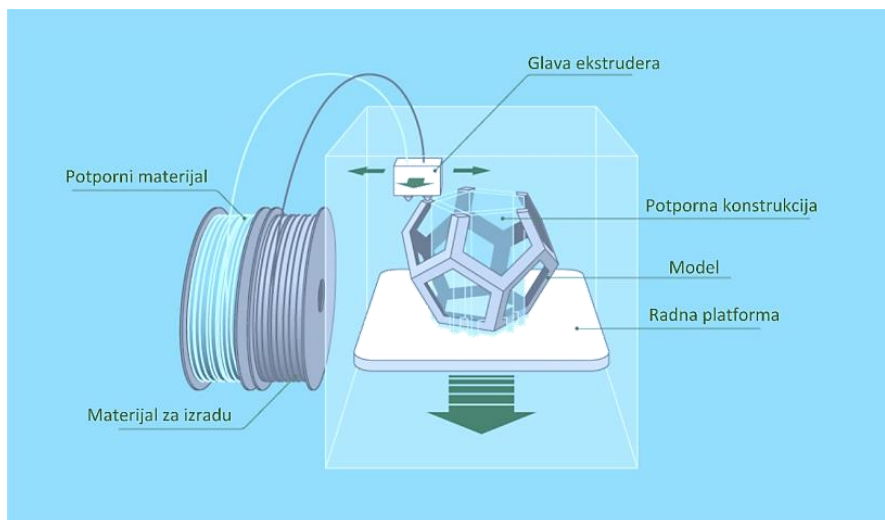
Prednosti ovakvog postupka su: relativno niska cijena materijala, ponovna upotreba suvišnog materijala, moguće je dodatno očvrnuti modele, visoka preciznost izrade, nema potrebe za izradom strukturnog oslonca, mogućnost proizvodnje prototipa u boji, mali gabariti, netoksični gradivni materijali, jednostavnost upotrebe itd. Dok su nedostaci primjerice ograničen broj primjenjivih materijala, visok udio ručnog rada, ograničene dimenzije izratka, mogućnost oštećenja modela prilikom rukovanja, ograničena funkcionalnost dijelova, potreba naknadne obrade itd. [Kutz, 2015; Topčić, Tufekčić, Cerjaković, 2012].

3.3.6. Taložno očvršćivanje materijala (eng. *Fused Deposition Modeling, FDM*)

FDM je registrirano, zaštićeno ime za postupak taložnog očvršćivanja materijala kojeg je tržištu ponudila tvrtka Stratasys Company početkom 90-ih godina Slika 3.23. i Slika 3.24. Danas, ovaj postupak je široko rasprostranjen i njegov udio na tržištu brze izrade prototipova prelazi 50%. *FDM* uređaj sastoji se od komore u kojoj se nalazi glava ekstrudera i radne platforme. Glava ekstrudera pomiče se u x-y ravnini. Materijal za izradu je polimerni materijal u obliku žice koji je namotan i spremljen u spremnik iz kojeg se kontinuirano dovodi do ekstruzijske glave. Prolaskom polimernog materijala kroz ekstruzijsku glavu, materijal se dovodi u djelomično rastaljeno stanje zahvaljujući ugrađenom električnom grijaču. Potom rastaljeni materijal prolazi kroz mlaznicu ekstruzijske glave čiji promjer definira debljinu sloja. Pri sobnoj temperaturi rastaljeni materijal brzo očvršćuje, pa je u komori u kojoj se izvodi cijeli proces potrebno održavati temperaturu malo iznad temperature očvršćivanja

rastaljenog materijala. Po izlasku iz mlaznice rastaljeni materijal se slaže i lijepi na podlogu ili prethodno formirani sloj. Putanja mlaznice je kontrolirana od strane programskog sustava za upravljanje [Gebhardt, 2011]. Nakon izrade prvog sloja, platforma se spušta po z osi za debljinu novog sloja i ekstrudira se iz mlaznice novi sloj. To je kontinuirani proces koji se ponavlja sve dok se ne isprinta traženi model. Kod izrade modela složenije geometrije potrebna je potporna konstrukcija. Tada se upotrebljava dvostruka glava ekstrudera, pri čemu se jedna koristi za protok materijal za izradu, dok se druga upotrebljava za potporni materijal. Potporni materijal je lomljiviji od materijala za izradu ili je pak topljiv u vodi. Stoga, potporna konstrukcija može se brzo ukloniti bez oštećenja modela i bez potrebnog alata.

Materijal koji se upotrebljava u ovom postupku je najčešće su: ABS, PC/ABS, PC, PPSF/PPSU, PP, PE-HD, PE-LD, elastomer na osnovi poliestere i vosak za lijevanje.



Slika 2.23. Postupak taložnog očvršćivanja materijala [Additively, 2015-3; Proto, 2015]



Slika 3.24. Replika komada kulturno povijesne baštine dobivena postupkom taložnog očvršćivanja materijala (lijevo)

Prema [Kamrani, Nasr, 2010; Topčić, Tufekčić, Cerjaković, 2012; Abdel, Hofy, 2005] prednosti ove metode su: tihi rad, jednostavna instalacija, uredski su prihvatljivi jer ne koriste toksične materijale, mogućnost izrade višebojnih predmeta korištenjem ABS-a u boji, male dimenzije uređaja, ne koristi laserski snop, ne zahtjeva posebnu ventilaciju i hlađenje, pristupačna

cijena, zanemarivo rasipanje materijala i mnoge druge. Ograničenja, odnosno nedostaci su: ograničeni broj materijala, loša kvaliteta površine, niska dimenzijska točnost, potrebna je naknadna obrada, vrlo često potrebna je potporna konstrukcija, nemogućnost izrade objekata kompliciranije geometrije, dugo vrijeme ispisa itd.

3.3.7. 3D skeniranje

3D skeniranje je postupak kojim se sakupljaju prostorni podaci o geometriji promatranog 3D objekta pomoću uređaja koji se naziva 3D skener, koji se potom konvertiraju u digitalne signale. U suštini, 3D skener analizira promatrani geometrijski model i rekonstruira ga u virtualni 3D model. 3D sken stoga predstavlja vezu između realnog objekta i njegovog CAD modela. Opće je poznata klasifikacija 3D skenera na kontaktne i beskontaktne.

Kontaktni skeneri (eng. *Coordinate measuring machine - CMM*) su uređaji koji dodirnom sondom (tikalom) dohvaćaju podatke o koordinatama točaka modela na kojem se primjenjuju (Slika 3.25). Pri tome model se mora nalazi na ravnoj podlozi i/ili mora biti pričvršćen kako se ne bi pomicao. Glavna prednost ovakvih sustava je njihova točnost. Veliki nedostatak je sporost prikupljanja podataka i to što zahtijevaju kontakt sa objektom koji se skenira pri čemu objekt mogu deformirati ili oštetiti. Ova stavka je izuzetno važna pri skeniranju osjetljivih i vrijednih predmeta kao što su npr. arheološki spomenici [Kutz, 2015].

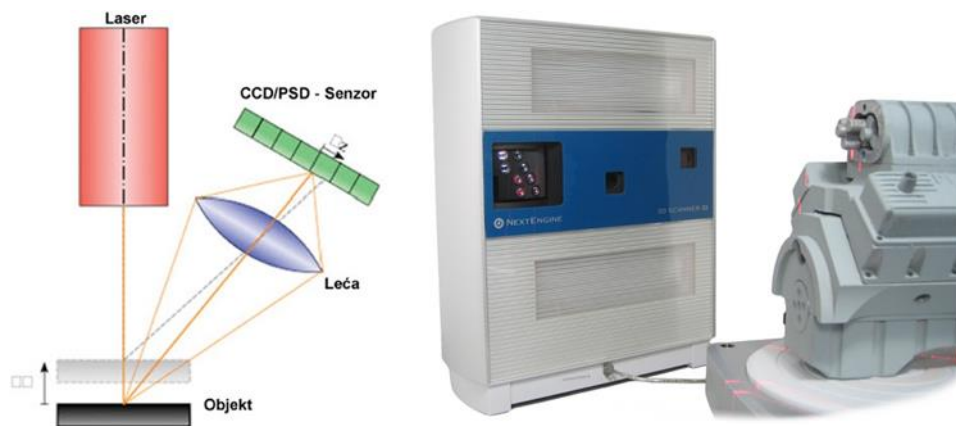


Slika 3.25. Kontaktno skeniranje [Renishaw, 2016]

Beskontaktne skeneri mogu se podijeliti u dvije kategorije, aktivne i pasivne beskontaktne skenere. Aktivni beskontaktne skeneri emitiraju neku vrstu radijacije ili svjetlosti i detektiraju njezino odbijanje kako bi odredili geometriju objekta. Mogući tipovi emisija koji se koriste uključuju svjetlosne zrake, rendgenske zrake ili ultrazvuk. Tipični primjeri ove vrste skenera su *Time of light* skeneri, triangulacijski skeneri, skeneri sa strukturiranim svjetlom i mnogi drugi [Kutz, 2015]. Beskontaktne pasivni skeneri ne emitiraju nikakvu vrstu zračenja već se umjesto toga oslanjaju na otkrivanje reflektiranog ambijentalnog zračenja. U njih se ubraja fotogrametija, stereoskopski sustavi i siluetne tehnike [Um3d, 2018]. Najčešće primjenjivani beskontaktne skeneri pri razvoju i dizajnu proizvoda zbog svoje robusnosti i jednostavnosti primjene su triangulacijski skeneri, te skeneri sa strukturiranim svjetlom koji, kako je već

rečeno, spadaju u aktivne beskontaktno skenere [Mateljak, Mihanović, Veža, 2017] (Slika 3.26.).

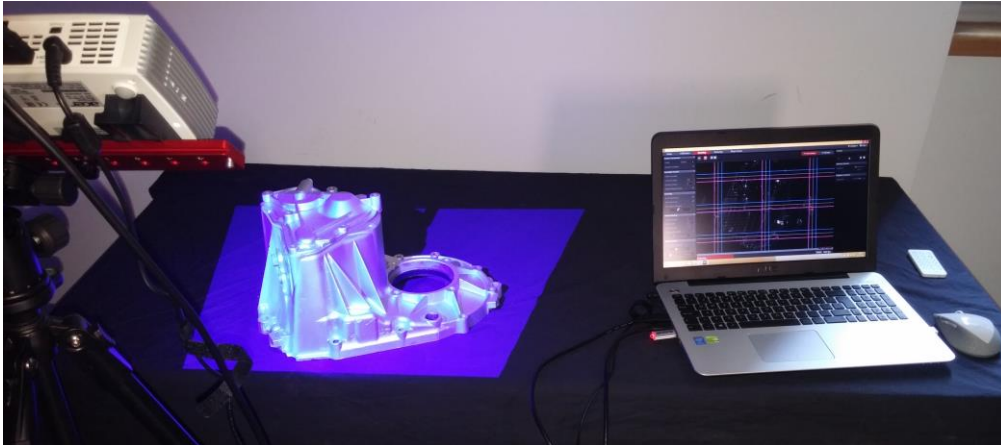
Triangulacijski laserski skeneri sastoje se od laserske zrake, te objektiva i zaslona na koji se najčešće projicira reflektirana zraka. Objektiv je postavljen na konstantnoj udaljenosti i pod konstantnim kutom s obzirom na zraku (snop zraka). Sukladno tome, pomicanjem objekta dolazi do pomicanja reflektirane zrake na zaslonu. Iz ovih poznatih veličina (kut objektiva i zrake te udaljenost objektiva od zrake) i pozicije reflektirane zrake na zaslonu određuje se nepoznata udaljenost objekta. Češće se ne radi samo o jednoj zruci, već o laserskom snopu, čime se očitava pozicija čitave linije točaka, a prelaskom snopa preko objekta, čitava površina [Krstulović Opara, Domazet, 2009].



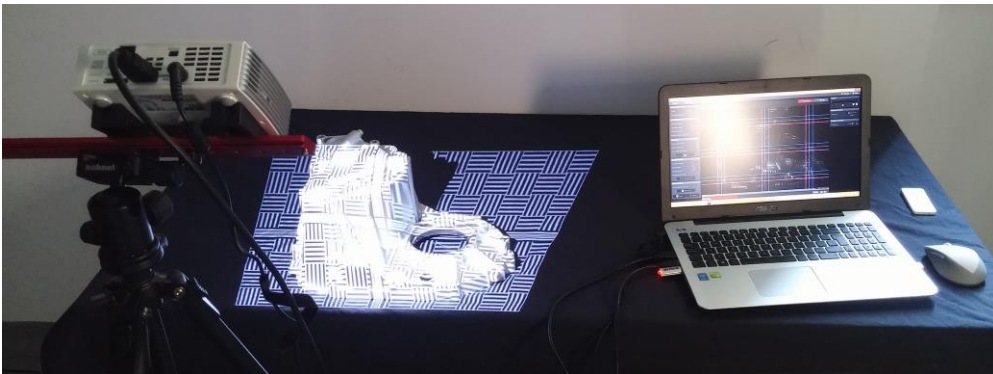
Slika 3.26. Princip triangulacije laserske zrake i triangulacijski laserski 3D skener NextEngine [Miler idr., 2007; Integratedconsultants, 2016]

Skeneri sa strukturiranim svjetlom su vjerojatno najpoznatiji i najrasprostranjeniji načini 3D skeniranja poznati i pod nazivom *White light* skeneri. Temelje se sa principu projiciranja crta bijelog svjetla, te očitavanju dobivenih projekcija, najčešće CCD (eng. *Charge-coupled device*) kamerama. Obično se sustavi temelje na dvjema CCD kamerama, koje pod istim kutom obzirom na projektor među njima, softverski razaznaju rub između svjetla i tame projicirane linije, te se na osnovi poznatog kuta gledanja, određuje udaljenost. Prednost ove metode je ta što se mogu vrlo brzo projicirati uzorci s linijama te se, znatno brže od triangulacijskih laserskih skenera, može očitati geometrija objekata. Mana im je ta što im je ograničeno korištenje pri dnevnom svjetlu, te prostorije u kojima se vrši skeniranje treba zatamniti, odnosno skeniranje na otvorenom vršiti u sumrak ili noću. Što je projektor kojim se vrši projiciranje jači, a samim time i skuplji, to je ovaj problem manje izražen [Krstulović Opara, Domazet, 2009].

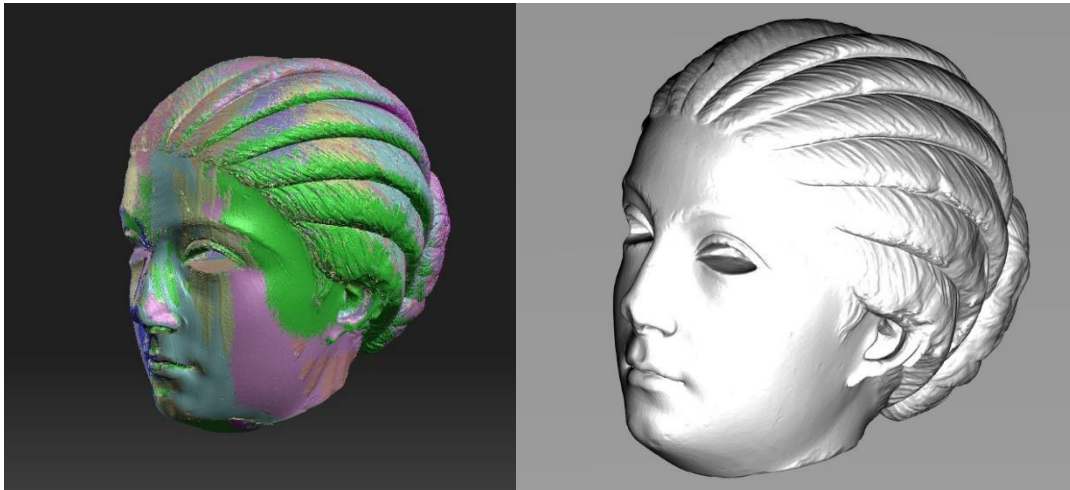
Na slikama od Slike 3.27. do Slike 3.30. prikazani su neki primjeri skeniranja i 3D printanja primjeraka kulturno povijesne baštine u Tvornici za učenje na FESB-u (Solinjanka i Kaligula).



Slika 3.27. Skeniranje komada s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom



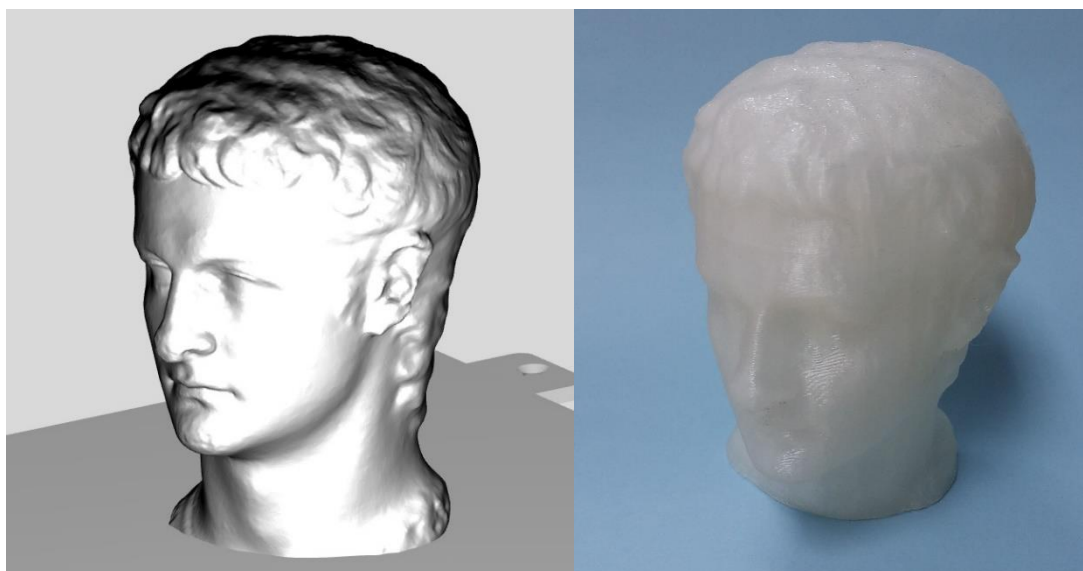
Slika 3.27. Skeniranje komada s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom (nastavak)



Slika 3.28. Primjer komada kulturno povijesne baštine (Solinjanka) skeniranog s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom



Slika 3.29. Replika komada kulturno povijesne baštine (Solinjanka) izrađena aditivnim postupkom taložnog očvršćivanja materijala



Slika 3.30. Replika komada kulturno povijesne baštine (glava rimskog cara Kaligule) skenirana i izrađena aditivnim postupkom taložnog očvršćivanja materijala

3.3.8. Zaključak

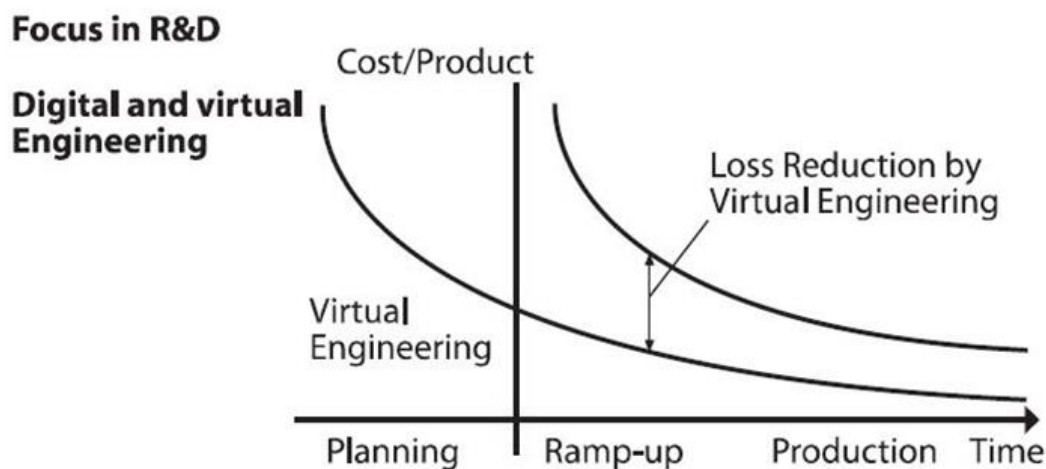
U uvjetima suvremenog, turbulentnog i kompleksnog globalnog tržišta, čije su glavne karakteristike svakodnevne promjene ponude i potražnje, većina poduzeća osuđena je na svakodnevnu borbu i prilagođavanje zahtjevima tržišta razvijanjem novih proizvoda. Klasični postupci razvoja i dizajna proizvoda danas, ne mogu u potpunosti odgovoriti zahtjevima tržišta kao što su kraće vrijeme izrade proizvoda, veća zahtijevana kvaliteta i diverzificiranost proizvoda, manji troškovi proizvodnje, manji gubitak materijala i niz drugih, stoga poduzeća trebaju mijenjati način svog poslovanja.

Od ključne važnosti za opstanak poduzeća, bitno je osigurati da novi proizvod što prije dođe na tržište kako bi se vratio uloženi kapital. Zbog težnje za kraćim vremenom razvoja i snižavanjem troškova, te paralelnim povećanjem sveukupne složenosti proizvoda, poduzeća danas trebaju tražiti nove efikasne načine realizacije svih aktivnosti koje su povezane s procesima dizajniranja i razvoja proizvoda. Osim toga, bitno je u što ranijim fazama razvoja proizvoda dobiti kvalitetan prototip na temelju kojeg će se moći odvijati daljnji razvoj proizvoda. Napretkom u tehnologiji, te razvojem tzv. računalom podržanih alata dizajna proizvoda (CAD), 3D skeniranja i aditivne tehnologije uvelike su se olakšale aktivnosti konstruiranja, simulacije i optimizacije proizvoda. Njihova primjena odrazila se na smanjenje vremena razvoja potrebnog za kreiranje od početne ideje do konačnog proizvoda, na značajno povećanje efikasnosti, te sniženje troškova što je u konačnici dovelo i do povećanja kompetitivnosti poduzeća koju ju primjenjuju.

3.4. Digitalna tvornica – simulacija

3.4.1 Uvod

Virtualna realnost predstavlja tehnologiju potpomognutu od strane računalnih sustava, čime se omogućuje 3D prikaz stvarnosti [Mujber, Szecsi, Hashmi, 2004]. Simulacijom u računalu omogućava se modeliranje stvarnog procesa iz različitih sustava. Za tehničko područje simulacije su doprinijele mnogo posebice u područjima dizajna proizvoda, proizvodnih sustava, montaže, razmatranja procesa, te njihova optimizacije. Nastanak simulacija vezuje se za pojavu računala, gdje se pomoću simulacije omogućava istraživanje stvarnog procesa i proizvoda unutar njihovih modela na računalu. Primjena simulacija u tvornici može utjecati na otklanjanje gubitaka unutar proizvodnog sustava, što danas predstavlja način da se unaprijedi sustav, te bude konkurentniji svojim rezultatima. Digitalne tehnologije općenito predstavljaju novu sintezu tehnologije i sustava za razvoj proizvoda i procesa, te upravljanja životnim ciklusom na globalnoj razini, što tvrtkama donosi mnogo prednosti [Mourtiz, 2016]. Primjerice virtualno inženjerstvo doprinosi uvelike povećanju učinkovitosti kroz svoje pristupe uz pomoć virtualnog prikaza [Manufuture, 2004]. Na Slici 3.31. je prikazana prva faza koja se odnosi na planiranje i dizajn, gdje značajnu ulogu ima istraživanje i razvoj, a uz njih i potpora digitalnog i virtualnog inženjerstva. Nakon što započne proizvodnja, vidljivo je smanjenje gubitaka zbog korištenja virtualnog pristupa.



Slika 3.31. Virtualno inženjerstvo pruža uštede [Manufuture, 2004]

3.4.2. Digitalna tvornica

Digitalna tvornica je koncept koji označava simulaciju proizvodnog sustava uključujući kombinaciju virtualnog inženjerstva (CAD/CAM/CAE/CAPP) i grafičkog 3D prikaza cijele tvornice sa svim njenim elementima poput radnih mjesta, strojeva, radnika, materijala i dr. (Slika 3.32.), te baza podataka koji odlaze prema optimizacijskim modelima (pripremljenim unutar računala), koji zatim daju rezultate optimiranja.



Slika 3.32. Grafički prikaz, 3D model proizvodnog sustava

Uspjeh ili neuspjeh digitalne tvornice ovisi o nekoliko pitanja [Bracht, Masurat, 2005]:

- Koji je trenutni status razvoja digitalne tvornice?
- Koji su se ciljevi postavili?
- Što digitalna tvornica predstavlja za poduzeće?

Glavni cilj digitalne tvornice je dobiti podatke prije nego započne proizvodnja u stvarnom okruženju. Time se osigurava [Gregor i dr., 2009]:

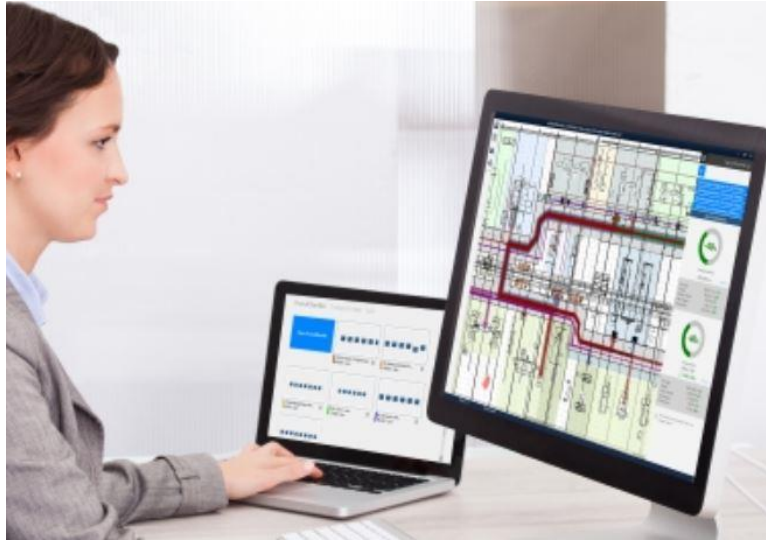
- provjera procesa prije nego započne proizvodnja,
- mogućnost *virtualnog posjeta* radnim stanicama,
- optimizacija proizvodnog procesa (putem optimizacije rada strojeva, kretanja ljudi i materijala),
- analiza uskih grla proizvodnje,
- ergonomska analiza, te
- brza izmjena.

Podaci koji proizlaze iz simulacija služe kako bi se uštedjelo vrijeme, novac i izbjegla neefikasna rješenja. Primjer ušteda uslijed korištenja prednosti digitalne tvornice [Gregor i dr., 2009]:

- uštede smanjenjem imovine oko 10%,
- uštede optimiranjem rasporeda unutar tvornice oko 25%,
- uštede troškova boljim korištenjem resursa oko 30%,
- uštede u optimizaciji tokova materijala oko 35%,
- smanjenje broja strojeva, alata i ranih mjesta oko 40%,
- ukupno smanjenje troškova oko 13%,
- smanjenje vremena izlaska proizvoda na tržište oko 30%,
- rast volumena proizvodnje oko 15%.

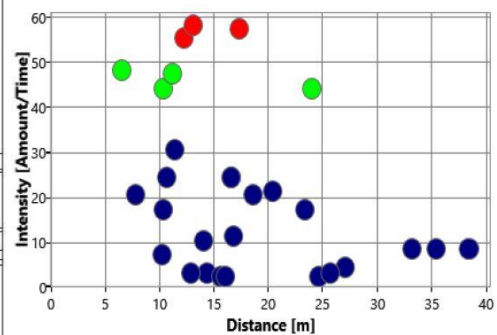
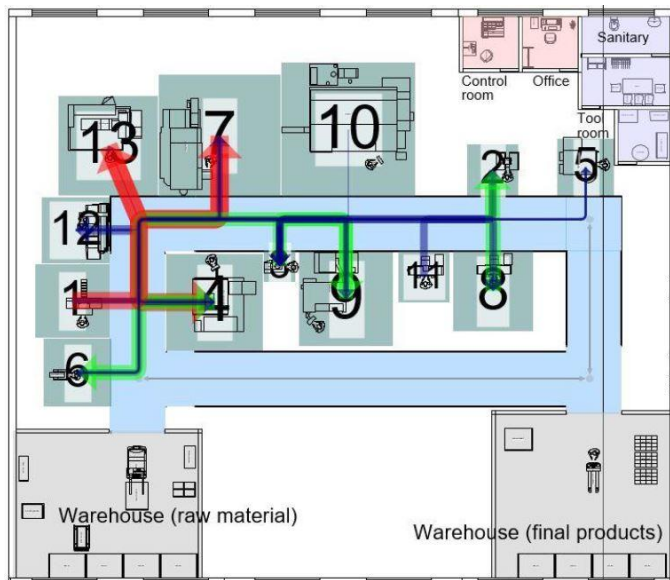
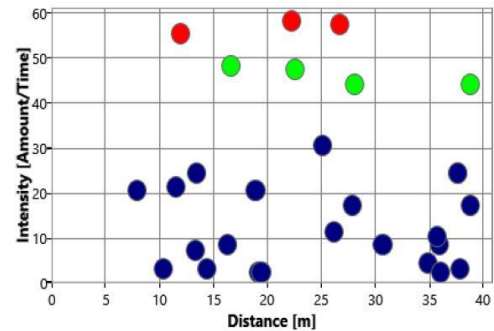
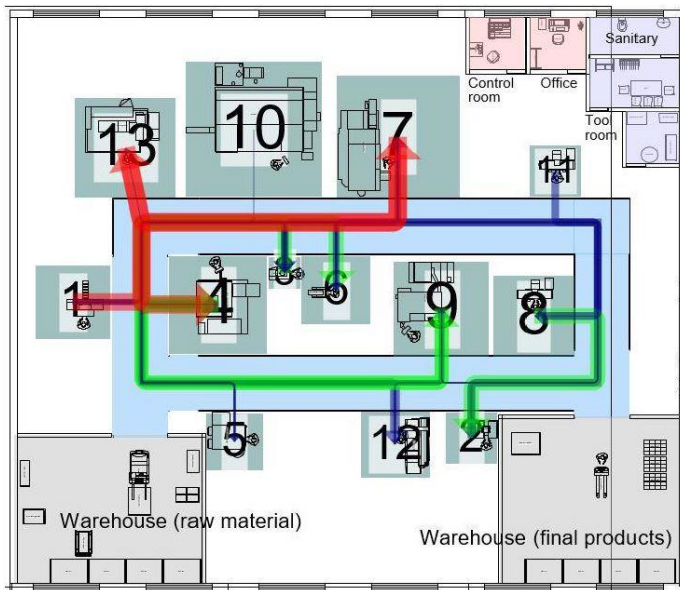
3.4.3. Programska podrška *visTABLE*

Unutar Tvornice za učenje, s ciljem razmatranja boljeg rasporeda tvornice i njegove optimizacije, za vizualizaciju i optimizaciju koristi se *visTABLE* program (Slika 3.33.).



Slika 3.33. Program visTABLE, za vizualizaciju i optimizaciju rasporeda proizvodnog sustava [Plavis, 2017]

VisTABLE program je alat za podršku kod virtualne realnosti, primarno namijenjen za optimiranje rasporeda unutar tvornice. Prikladan je za tvorničko planiranje, optimizaciju, evaluaciju, te vizualizaciju. Program sadrži integriranu funkciju planiranja za trenutno vrednovanje rasporeda. Također ima primjenu u optimizaciji tokova materijala, mapiranje toka vrijednosti, te planiranju montaže. Arhitektura programa omogućava korištenje programa putem *Interneta*, što je korisno kod grupnog planiranja i modeliranja [Mueller, Spanner-Ulmer, 2006]. Kod planiranja rasporeda radnih mjesta digitalne tvornice, takvo radno mjesto se vizualizira i procjenjuje. Radom u 2D, program automatski ažurira 3D prikaz. Unutar programa postoji zbirka modela koji se povuku i ispuste na mjesto za crtanje. Postojeća zbirka se može proširiti sa vlastitim modelima, ubacivanjem 3D modela unutar planiranog rasporeda tvornice. Primjer napravljen pomoću *visTABLE* programa prikazan je na Slici 3.34., a tiče izrade početnog stanja i optimiranog stanja kod kretanja materijala unutar nekog proizvodnog sustava.



Slika 3.34. Primjer početnog stanja i optimiranog stanja kod kretanja materijala

Na Slici 3.34. vidljivo je da se s novim stanjem otvara slobodan prostor između skladišta materijala i skladišta gotovih proizvoda, što tvrtka sada može koristiti za novu namjenu. Optimiranjem i analizom toka materijala softver procjenjuje novo stanje rasporeda radnih mjesta i utjecaj na troškove rukovanja materijalom za svaku izmjenu. Upotrebom dijagrama udaljenost – intenzitet (dijagrami na desnoj strani Slike 3.34.) otkrivaju se nedostaci u postojećem rasporedu i identificiraju se tokovi, te analiziraju troškovi.

3.4.5. Programska podrška Tecnomatix

U Tvornici za učenje koristi se i Tecnomatix, proizvod tvrtke Siemens PLM Software, koja svojom platformom pokriva cijeli životni ciklus proizvoda (Slika 3.35.) i sastoji se od nekoliko modula.

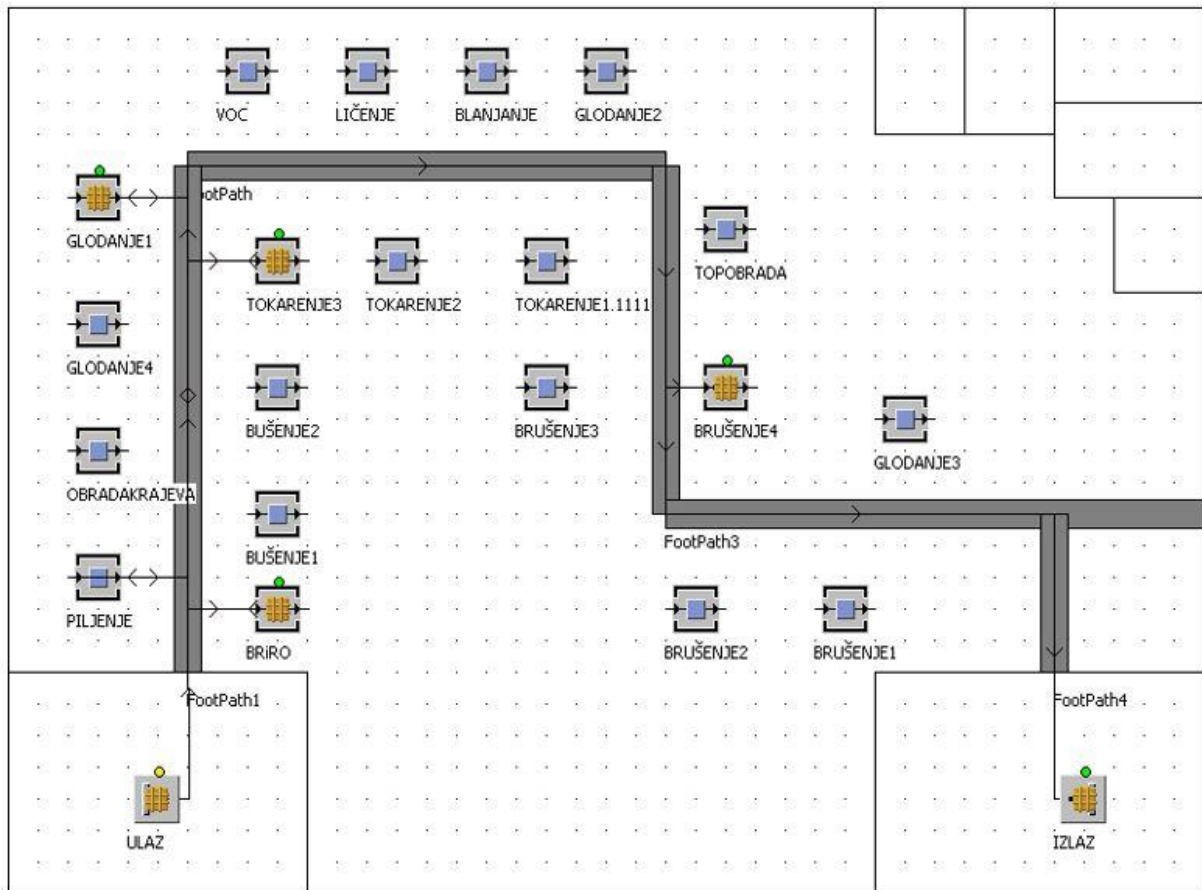


Slika 3.35. Platforma tvrtke Siemens PLM Software, koja pokriva cijeli životni ciklus proizvoda

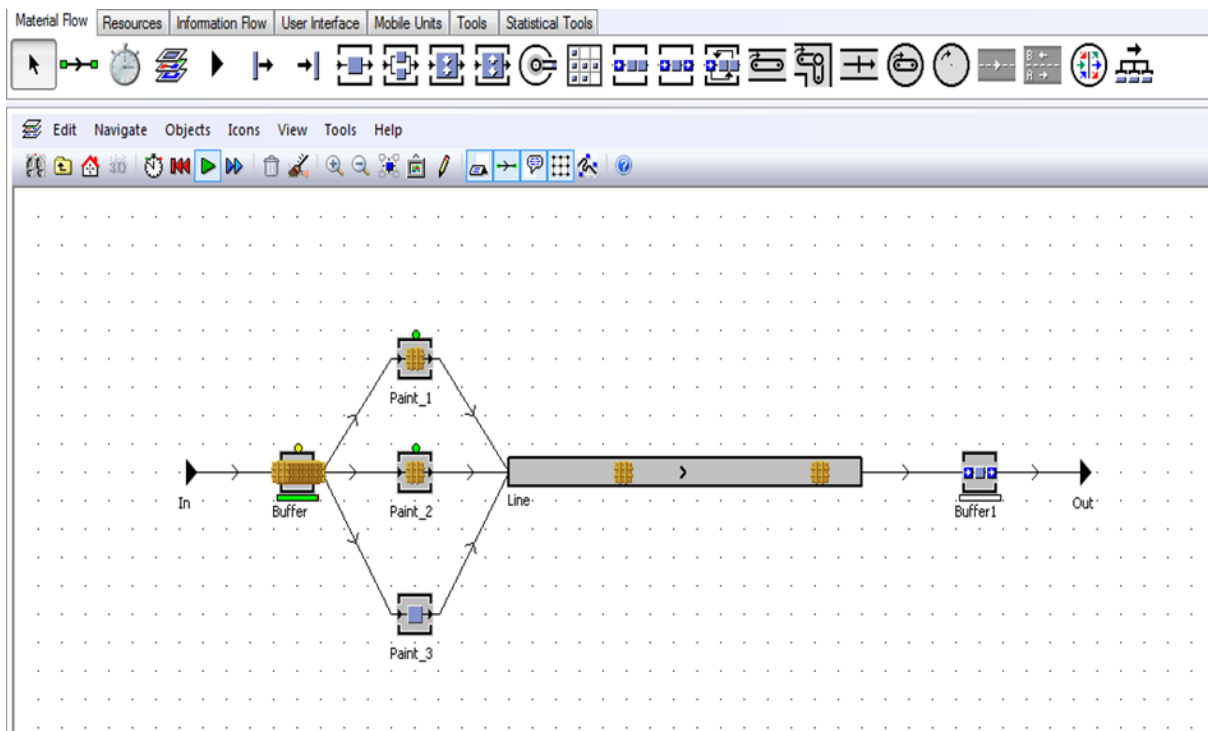
Tecnomatix kao jedan dio platforme uključuje alat za simulaciju proizvodnog sustava, te alate za analizu uskih grla unutar proizvodnog sustava, optimizacije pomoću genetskih algoritama, gantograme za planiranja proizvodnje, te dizajn rasporeda tvornice. Pruža sve potrebne funkcionalnosti za modeliranje, analizu i održavanje velikih i složenih sustava na učinkovit način. Stvaranje modela provodi se u nekoliko koraka [Borojević, Jovišević, Jokanović, 2009]:

- generacija 2D ili 3D modela prema tehnološkim sustavima, uređajima, transportu materijala, ulazima i izlazima,
- određivanje prostorne raspodjele radnih jedinica,
- povezivanje odgovarajućih tehnoloških cjelina u proizvodne linije,
- podešavanje parametara za svaki od odabranih tehnologija jedinica, koja je dio odgovarajućih proizvodnih tokova,
- određivanje odgovarajućeg objekta u obliku dijagrama, tablice, a koji imaju funkciju praćenja rezultata simulacije procesa proizvodnje,
- ispitivanje simulacije modela (ukoliko rezultati nisu zadovoljavajući model simulacije ispravlja unos parametara dok se ne generira model koji daje zadovoljavajući rezultat simulacije).

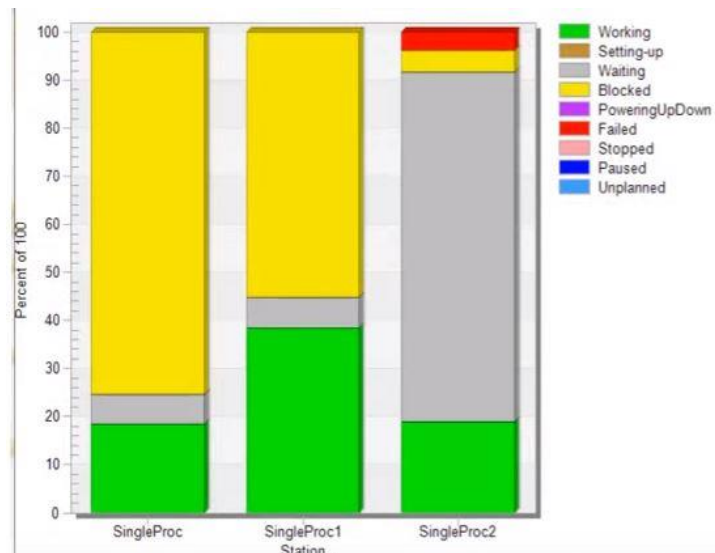
Tecnomatix otkriva i otklanja probleme u proizvodnim sustavima koji u stvarnosti zahtijevaju puno vremena i troškova, smanjuje vremena za planiranje zadataka i njihove troškove. Dijeljenjem i analizom podataka u digitalnom okruženju pruža uvid u različite faze razvoja procesa i utjecaja tih procesa. Može se prilagoditi zahtjevima kupaca, te smanjiti kapitalna ulaganja i povećati dugoročni povrat ulaganja kroz povećanu točnost planiranja i učinkovitost [Siemens, 2017]. *Tecnomatix* osim prikaza cijele proizvodnje (Slika 3.36.), ima mogućnost svaku radnu stanicu prikazati i optimirati (Slika 3.37.), prikazujući pritom dijagrame na kojima je vidljivo koliko se vremena troši na rad ili gubi na čekanje i greške (Slika 3.38.).



Slika 3.36. Prikaz proizvodnog sustava

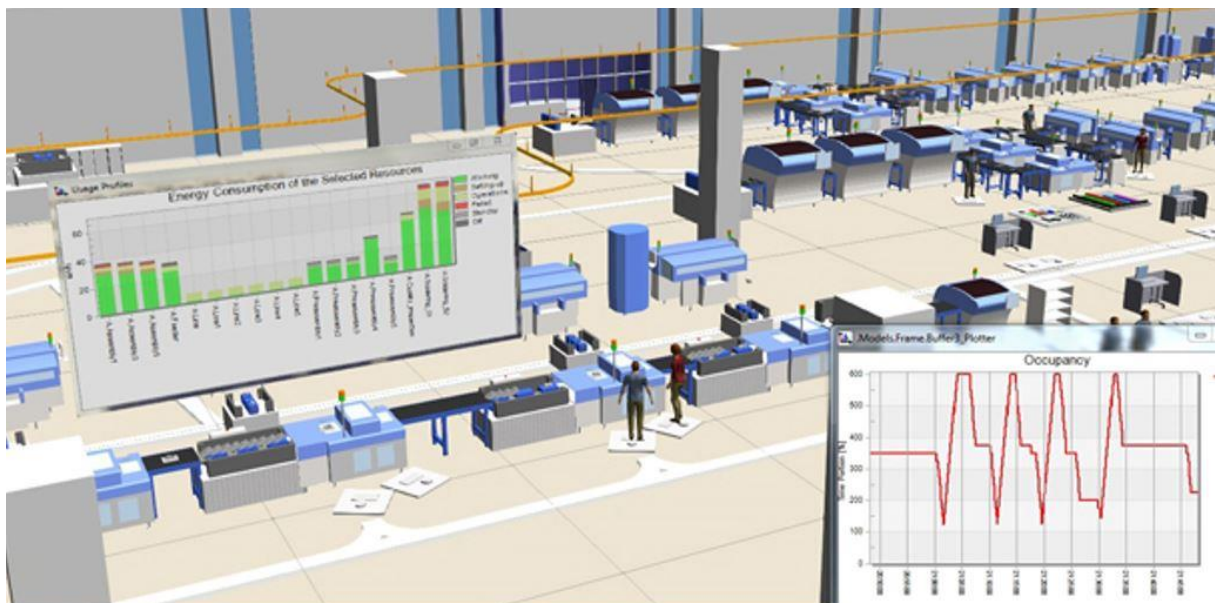


Slika 3.37. Prikaz jedne radne stanice



Slika 3.38. Dijagram radne stanice, prikaz trošenja vremena po različitim segmentima (rad, čekanje i ostalo)

Crtaњem modela tvornice unutar *Tecnomatixa*, dobiva se virtualni prikaz, gdje se postavljajući parametre proizvodnje, dobiju dijagrami, ovisno o dijelu koji se želi analizirati. Na Slici 3.39. je prikazan primjer proizvodnje, gdje je vidljiv dijagram potrošnje energije unutar proizvodnog sustava.



Slika 3.39. Prikaz 3D proizvodnog sustava te dijagrama za potrošnju energije

Kroz navedene primjere moguće je približiti mogućnosti programskih podrški za proizvodne sustave, a koji su trenutno korišteni u Tvornici za učenje.

3.4.6. Zaključak

Digitalne tehnologije danas predstavljaju snažnu potporu proizvodnim sustavima i ide se sve više ka digitalizaciji proizvodnje i korištenju svih dobrobiti koje ona ima za proizvodni sustav. Razmatrajući navedene primjere iz ovog poglavlja vidljiva je primjena CAD modela za

vizualizaciju, u kombinaciji s optimizacijskim metodama i algoritmima za optimizaciju. Navedeno predstavlja spoj koji omogućava proizvodnim sustavima, da u kratkom vremenu dobiju prikaz vlastitih nedostataka i gubitaka putem dijagrama i konkretnih izračuna, te na temelju dobivenog mogu donijeti odluke u kojem smjeru dalje ići, koji su prioriteta u djelovanju, a sve s ciljem otklanjanja gubitaka unutar sustava. Sustav na taj način postaje otporniji na vanjske utjecaje poput čestih izmjena narudžbi kupaca, gdje se brzo može prilagoditi, a da se pritom odmah uoče potencijalni problemi. Također sustav svojim radom postaje učinkovitiji, otklanjajući vrlo brzo gubitke. Sve navedeno daje i ulazne podatke za sva buduća planiranja proizvoda, gdje dolaskom istog proizvoda u proizvodni sustav, a na temelju ranijih analiza, se može izvršiti planiranje koje će biti najpogodnije za tu vrstu ponovljenog proizvoda.

3.5. Montažna linija mjenjačke kutije u sklopu Tvornice za učenje

3.5.1. Uvod

Vrijeme kao resurs ima veoma veliko značenje i ulogu u ostvarenju uspješnosti pojedinog poduzeća. Upravljanje vremenom može pomoći da se vrijeme kvalitetno planira, da se postave ciljevi, te da se na što efikasniji i brži način oni ispune. Cilj svake organizacije je vrlo jasan: živjeti i uspjeti, a to znači proizvoditi ono što tržište želi, uz visoku kvalitetu, pristupačnu tržišnu cijenu i rokove isporuke koje zahtijeva tržište, uz kontinuirano zadovoljavanje kupca i ostalih zainteresiranih strana.

Osnovu svakog rada (fizičkog ili intelektualnog) čini upravljanje vremenom. Iskorištenje vremena je podjednako važno kako za menadžerske tako i za druge administrativne strukture. Naime, smatra se da je efektivnost rada svakog pojedinog sudionika u procesu rada direktno povezana s njegovim upravljanjem vlastitim vremenom [Pavlović, Arsić, Todorović, 2016].

Ovaj dio se odnosi na uravnoteženju i optimizaciji montažne linije složenog proizvoda, te je upravo mjerenje vremena na svakoj pojedinoj montažnoj stanici bila osnova za postupak provedbe procesa balansiranja. Balansiranjem parametara, poput vremena montaže, rasporeda radnih stanica i iskorištenja vremena radnika postižu se tehnički i ekonomski prihvatljiva rješenja. Balansiranje montažne linije je izvedeno u laboratoriju Tvornice za učenje na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, u Laboratoriju za industrijsko inženjerstvo. Ova studija slučaja je uzela u obzir ograničenja prostora, te činjenicu da se laboratorij koristi i u nastavne svrhe. Osnovni preduvjet za nabavkom i instalacijom didaktičke ili realne industrijske opreme, kako bi se postigla zadovoljavajuća simulacija radnog okruženja kao da se radi o stvarno industrijskom pogonu je niska cijena opreme. Donacijama je nabavljena oprema, koja je kroz INSENT projekt instalirana, unaprijeđena, te iskorištena u postupku učenja studenata u sklopu aktivnosti Tvornice za učenje.

Filozofija kojom se vodilo pri provođenju postupaka optimizacije i uravnoteženja bila je filozofija *lean* menadžmenta [Piškor, Kondić, 2016], gdje se teži napraviti što više sa što manje napora i gubitaka. Pod pojmom manje, smatra se manje ljudskog napora, opreme,

vremena i prostora, s time da proizvod bude napravljen tako da potpuno zadovolji zahtjeve kupca.

U ovom slučaju postojeća montažna linija namijenjena je montaži mjenjačke kutije koja predstavlja konačni složeni proizvod kojeg zahtjeva kupac, odnosno tržište. S obzirom da se radi o neprekinutom, odnosno linijskom procesu montaže vodilo se računa i o postizanju što boljeg principa prelaska predmeta rada s jednog zahvata na drugi, u svrhu ostvarivanja kontinuiranog toka procesa montaže. Cilj je isporučiti proizvod na vrijeme, a da bi se to postiglo, treba dobro organizirati proizvodni proces. Dobro organizirati proizvodni proces znači ukloniti sve moguće gubitke, uska grla i zastoje unutar proizvodnje, koji uzrokuju proizvodne troškove, a istovremeno održati kvalitetu i raznolikost ponudu.

3.5.2. Montažna linija mjenjačke kutije u sklopu Tvornice za učenje

Tijekom razvoja Tvornice za učenje na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u obzir je uzeto ograničenja prostora, činjenicu da se laboratorij koristi u nastavne svrhe, te postojeća informatička oprema financirana od prethodnih znanstveno istraživačkih projekata, te različitih drugih izvora. Osnovni preduvjet za nabavkom i instalacijom didaktičke ili realne industrijske opreme, kako bi se postigla zadovoljavajuća simulacija radnog okruženja kao da se radi o stvarno industrijskom pogonu je niska cijena opreme.

Stoga je tijekom proteklih godina nabavljena didaktička oprema kao što su *Ozbiljne lean igre*, u što spada *Pivska igra* i *Lean Lego Flowcar*. Obje didaktičke igre služe za primjenu *lean* alata u dobavljačkom lancu, te montažnom procesu. Uz ove igre, korišteni su još jeftiniji didaktički osmišljeni alati, kao papirnati avioni, veliki autići i kamioni za montažu i simulacijske tablice. Cilj je bio korištenje što više organizacijskih metoda u edukacijskom procesu, kako zaposlenika iz industrije, tako i studenata na preddiplomskim i diplomskim studijima.

Međutim, povratne informacije koje su pristizale prvenstveno od strane zaposlenika iz industrije, su pokazale odbojnost zaposlenika prema igrama, tj. igračkama koja se koristi kao didaktička oprema. Izuzetni rezultati koji se postižu ovim igrama u procesu edukacije, te ukazana analogija sa stvarnim industrijskim pogonom, teško mogu razuvjeriti zaposlenike da se ne radi o igrama, te da se stečeno znanje može neposredno primijeniti na bilo koje proizvodne, montažne ili uslužne procese.

Stoga su se, s početkom INSENT projekta, počele planirati dvije linije, jedna proizvodna i montažna za potrebe novo razvijenog proizvoda, *kareta*. *Karet* je izvorno vozilo za zabavu, koji služi za vožnju niz strme ulice, a koje nema kočnica ni nikakve sigurnosne opreme. Razvijen je novi *karet*, koji ima u svojim varijantama dodatnu opremu, i bio bi proizveden od različitih materijala. Nabavljena je proizvodna oprema i elektronični elementi koji su omogućili potpun proces proizvodnje većine ugradbenih elemenata *kareta*. Donacija tvrtke BeeWaTec, koja se sastojala od četiri ručna montažna stola s policama, je omogućila zaokruživanje cjelokupnog proizvodnog procesa, te prikladnu studiju slučaja za uvođenje elemenata koncepta Industrije 4.0 kako bi se oformila inteligentna montažna linija.

Pošto je *karet* ipak modularno strukturiran proizvod, s malim udjelom elemenata rada na istom baznom sklopu, te je broj ugradbenih elemenata i modula relativno mali, nije moguće

značajnije balansiranje montažnog procesa bez promjene dizajna proizvoda. S druge strane, proizvod je napravljen u maloj seriji kako bi služio u svrhu edukacije, te je postignuta niska razina kvalitete ugradbenih elemenata, uz upitnu zamjenjivost dijelova. Međutim, *karet* kao studija slučaja je izvrsno poslužio za ugradnju i testiranje *MES* sustava spojenog na *ERP*.

Paralelno s razvojem *kareta*, Laboratoriju su donirana još četiri montažna radna mjesta, s pripadajućim samoposlugama, te dodatnim elementima koji služe za izradu individualno oblikovanih radnih mjesta. Donator je opet bila tvrtka BeeWaTec iz Reutlingena, Njemačka. Pošto se radi o stvarnoj industrijskoj opremi, koja se koristi diljem svijeta u raznim industrijskim primjenama, odlučeno je da se postavi druga montažna linija za proizvod s više razina montaže od *kareta*. Stoga je odabran stvaran proizvod, mjenjačka kutija automobila. Količina od ukupno 16 rabljenih mjenjačkih kutija je također donirana Laboratoriju. Mjenjačke kutije su očišćene, detaljno se provjerila kvaliteta ugradbenih elemenata, te se izvršilo bojanje kućišta, prije nego se pristupilo formiranju, a kasnije i balansiranju montažne linije.

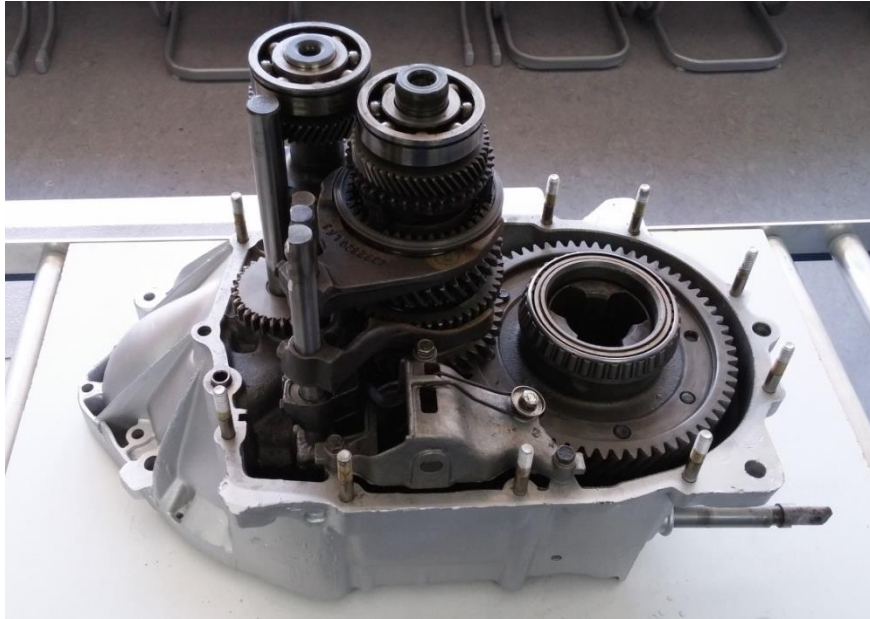
3.5.3. Mjenjačka kutija

Mjenjačka kutija je mehanička naprava, koja je dio prometnog vozila, kojom se energija prenosi s jednog sustava na drugi, te se koristi kako bi se smanjenjem brzine vrtnje pogonskog motora povećao okretni moment na kotačima. Mjenjačku kutiju čini veliki broj različitih zupčanika koji se pomoću poluga dovode u željene međusobne odnose. Tako, pomicanjem ručice mjenjača po definiranoj putanji, poluge pokreću vilice koje preko nazubljenih diskova, uz pomoć uređaja za sinkronizaciju, povezuju odgovarajući zupčanik i izlaznu osovinu. Različiti položaji ručice mjenjača rezultiraju prijenosima vrtnje preko različitih parova zupčanika, te se tako ostvaruju promjene u prijenosnim omjerima [Čotić, 2016].

Na Slici 3.40. i Slici 3.41. prikazani su vanjski i unutarnji izgled mjenjačke kutije.



Slika 3.40. Vanjski izgled mjenjačke kutije



Slika 3.41. Unutrašnjost mjenjačke kutije

Prethodno prikazana i opisana mjenjačka kutija, na čijem primjeru je u daljnjem tekstu opisan proces montaže, a zatim i postupak balansiranja, dio je automobila, modela Zastava 101 i 128, te Yugo Koral 45, 55 i 65. Proizvedene su u tvornici *Crvena zastava* u Kragujevcu, a bazirane su na izvornoj mjenjačkoj kutiji Fiata model 128. Model 128 se pojavio davne 1969. godine, kao prvi Fiatov model s prednjim pogonom, a proizvodnja popularnog *Stojadina*, tj. Zastave 101 je započela 1971. godine u Kragujevcu, a prestala je ne tako davne 2008. godine, s minimalnim izmjenama detalja mjenjačke kutije. Vrlo slična mjenjačka kutija je korištena u modelima Zastava 128, te Yugo Koral 45 i 55. Donirane mjenjačke kutije su rabljene, te proizvedene u različitim godinama, ali imaju minimalne razlike u dizajnu pojedinih dijelova.

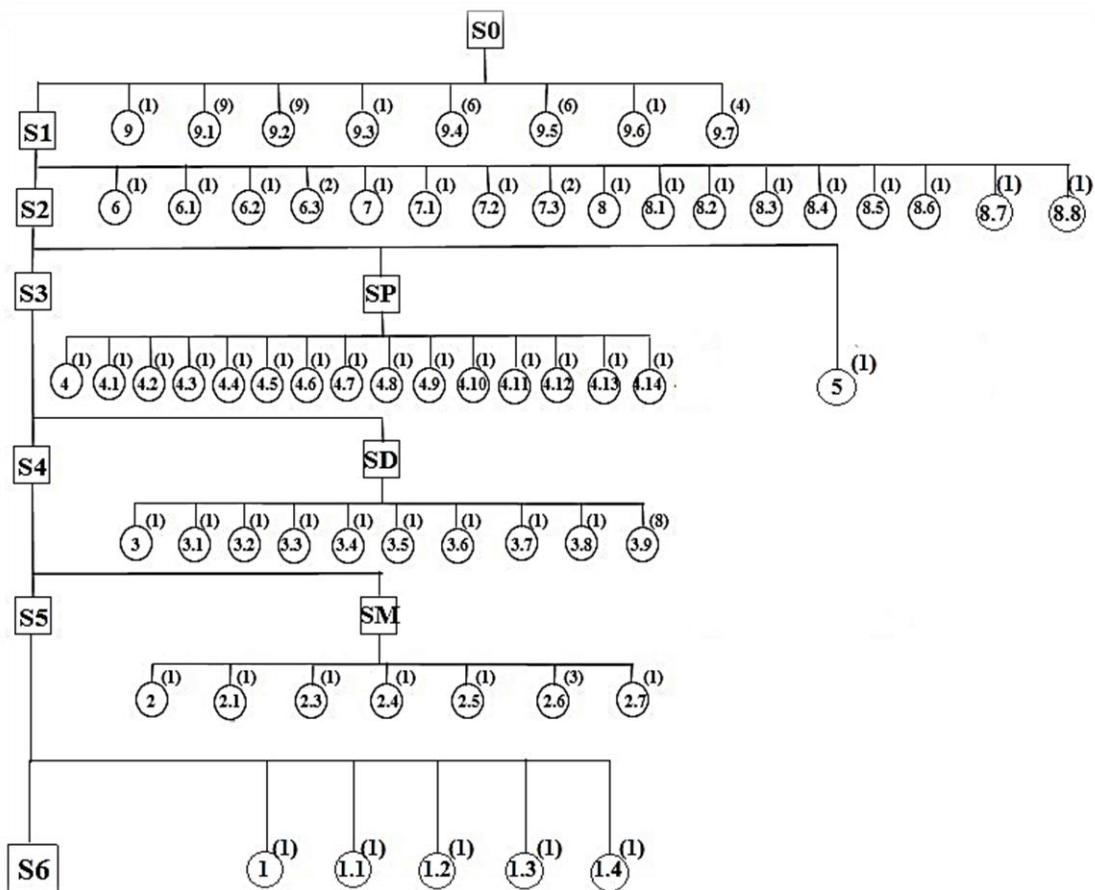
3.5.4. Grafički prikaz početnog plana montaže prema strukturi proizvoda

Prije provedbe samog procesa balansiranja potrebno je izraditi početni plan procesa montaže. Plan je zamišljeni niz aktivnosti kojima se iz početnog stanja postiže ciljano stanje. U procesu montaže, početno stanje predstavlja skup ugradbenih elemenata (dijelovi, sklopovi, bezoblične tvari i dr.), a ciljano stanje je sklop (proizvod). Montažnim operacijama se ugradbeni elementi dovode u uzajamni odnos kojim se ostvaruje napredak u kompletiranju proizvoda. Ukupni obujam potrebnog rada za montažu proizvoda dijeli se na niz ograničenih koraka koji se izvršavaju na jednom ili više radnih mjesta. A kako je već i spomenuto, sam tok izvođenja rada određen je redoslijedom sklapanja ugradbenih elemenata, odnosno njihovim prostornim rasporedom.

Najveći stupanj podjele rada dobiva se podjelom procesa na najmanje elemente rada. Podjelom montažnog procesa na elemente rada, utvrđuje se točan sadržaj rada i vremena za njegovo izvođenje, te se mogu definirati točne upute za izvršenje rada i odrediti troškovi montažnog procesa. Grupiranjem najmanjih elemenata rada po radnim mjestima oblikuju se montažni koraci.

Nakon analize strukture proizvoda i definiranja elemenata rada, dizajniran je i grafički prikaz strukture proizvoda za montažu prikazane pomoću stabla izgradnje. Općenito, strukturom proizvoda se opisuje raspored ugradbenih elemenata i njihovi međusobni odnosi unutar proizvoda, te se definira dubina podjele samog proizvoda, broj sklopova i njihova zavisnost. Cilj postupka strukturiranja je da se obrati pozornost na mogućnost tvorbe sklopova, u svrhu podjele rada kojom se postiže vremenski i prostorno nezavisne procese montaže.

Na Slici 3.42. je prikazano početno stablo izgradnje mjenjačke kutije, kojim se prikazuje struktura proizvoda. Mjenjačka kutija je, kako je vidljivo i sa slike, višestupnjevani proizvod. To znači da se proces montaže odvija u više koraka. U ovom slučaju stupnjeva ugradnje je šest, što znači da se proces montaže mjenjačke kutije odvija u šest koraka na šest radnih stanica. Kvadrati označavaju sklopove, krugovi dijelove, odnosno ugradbene elemente, a zagrade pored svakog dijela količine ugradbenih elemenata. Tako, na primjer, S0 označava gotov proizvod, sastavljenu mjenjačku kutiju nultog stupnja ugradnje. S1 u ovom slučaju predstavlja sastavljenu mjenjačku kutiju bez poklopca i ostalih dijelova koji su naznačeni u krugovima brojevima od 9 do 9.7, gdje svaki broj predstavlja redoslijed montaže ugradbenih elemenata.



Slika 3.42. Početno stablo izgradnje mjenjačke kutije

Uz grafički prikaz strukture proizvoda za montažu, na svakoj radnoj stanici, radi lakšeg izvođenja i razumijevanja toka montaže, nalaze se i slike s pripadajućim ugradbenim elementima i oznakama redoslijeda montaže, koje su povezane s prethodno definiranim

stablom izgradnje. Na Slici 3.43. prikazan je početni izgled montažne linije, na kojoj je vidljiv raspored radnih stanica s pripadajućim slikama ugradbenih elemenata.



Slika 3.43. Prikaz početne montažne linije

3.5.5. Postupak balansiranja i unaprjeđenja montažne linije

Zadatak u sklopu Tvornice za učenje bio je uravnotežiti postojeću montažnu liniju sa ciljem postignuća veće iskorištenosti radnika, sinkronizacije trajanja vremena izvođenja pojedinačnih operacija, koliko god je to moguće, uz postojeća ograničenja. U ovom slučaju, postupak balansiranja se ne provodi s obzirom na takt kupca, već na ograničen broj radnih stanica koje se mogu smjestiti na postojeću dužinu pokretne trake.

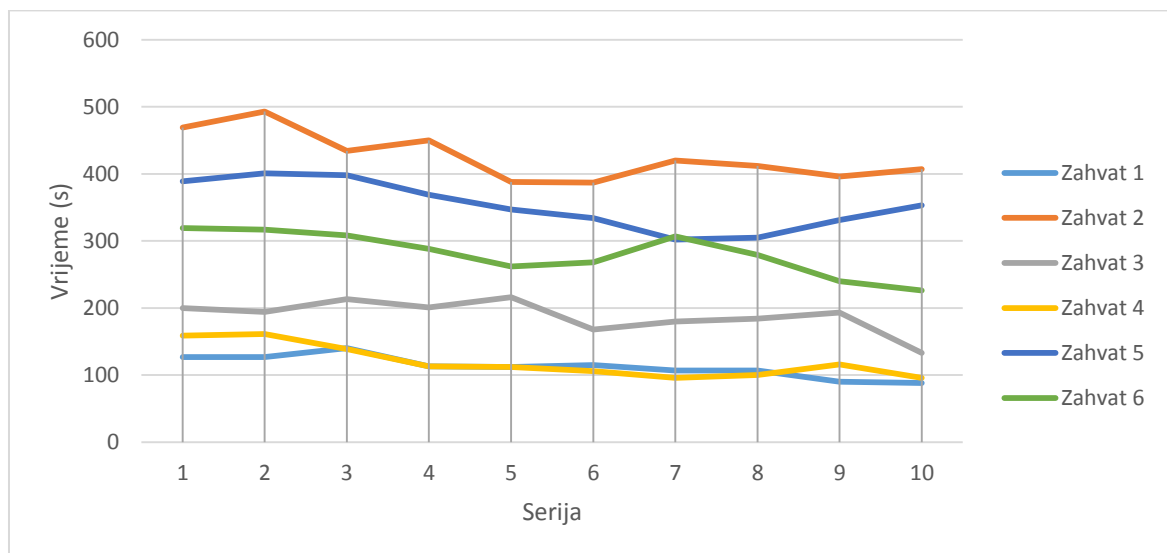
Prvi korak postupka balansiranja je određivanje vremena montaže na pojedinim montažnim stanicama. Proces montaže se izvodi u šest koraka na pojedinačnim montažnim stanicama koje su smještene duž linije. Prebacivanje mjenjačke kutije se izvodi ručno, sa stanice na stanicu. Tok procesa montaže je definiran redoslijedom sklapanja ugradbenih elemenata.

Postupak snimanja vremena proveden je mjernom urom na seriji od 13 poluproizvoda na svakoj stanici. Dobivena vremena u sekundama su prikazana u Tablici 3.1.

U Tablici 3.1., prva tri mjerenja su označena crvenom bojom, te se njih se odbacuje, a za daljnji proračun se koristi serija od 10 narednih proizvoda. Razlog tomu je velika razlika u vremenima trajanja prvih nekoliko snimanja u odnosu na ostala vremena. Takva pojava se pripisuje uhodavanju radnika na pojedinim radnim stanicama. Na osnovu prethodno dobivenih vremena, nacrtan je graf prikazan na Slici 3.44. iz kojeg je jasno vidljivo kako s porastom serije vrijeme pojedinih zahvata i dalje opada, izrazito kod prvih nekoliko zahvata. To je indikator da nije postignut zadovoljavajući standardiziran proces montaže, niti je postignuto ustaljeno vrijeme montaže na montažnim koracima.

Tablica 3.1. Vremena procesa montaže prije postupka balansiranja

Broj snimanja	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak	6. korak
1.	155	693	250	169	483	374
2.	143	583	396	166	449	373
3.	124	580	276	192	444	432
4.	127	469	200	159	389	319
5.	127	493	194	161	401	317
6.	140	434	213	139	398	308
7.	113	450	201	113	369	288
8.	112	388	216	112	347	262
9.	115	387	168	106	334	268
10.	107	420	180	96	302	307
11.	107	412	184	100	305	279
12.	90	396	193	116	331	240
13.	80	407	133	96	353	226



Slika 3.44. Prikaz promijene vremena montaže s porastom rednog broja komada u seriji

Daljnjom analizom dobivenih vremena izračunato je prosječno vrijeme trajanja rada na svakom zahvatu, odstupanje uzorka od aritmetičke sredine u obliku standardne devijacije

kao i sam postotak varijabilnosti. Tako formula za srednje (prosječno) vrijeme trajanja svakog pojedinog zahvata glasi:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (3.1)$$

gdje je:

\bar{t} – srednje (prosječno) vrijeme uzorka

t_i – i -to vrijeme uzorka ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

n – broj elemenata u uzorku,

Dobiveni rezultati prethodne formule dani su u Tablici 3.2. zajedno s rezultatima postotka varijabilnosti i standardnom devijacijom, koja se računa prema formuli:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}}{n} \quad (3.2)$$

Koeficijent varijabilnosti pokazuje koliki postotak aritmetičke sredine iznosi standardna devijacija, te je proporcionalan standardnoj devijaciji, a obrnuto proporcionalan aritmetičkoj sredini, a računa po formuli:

$$V = \frac{\sigma \times 100}{\bar{t}} \% \quad (3.3)$$

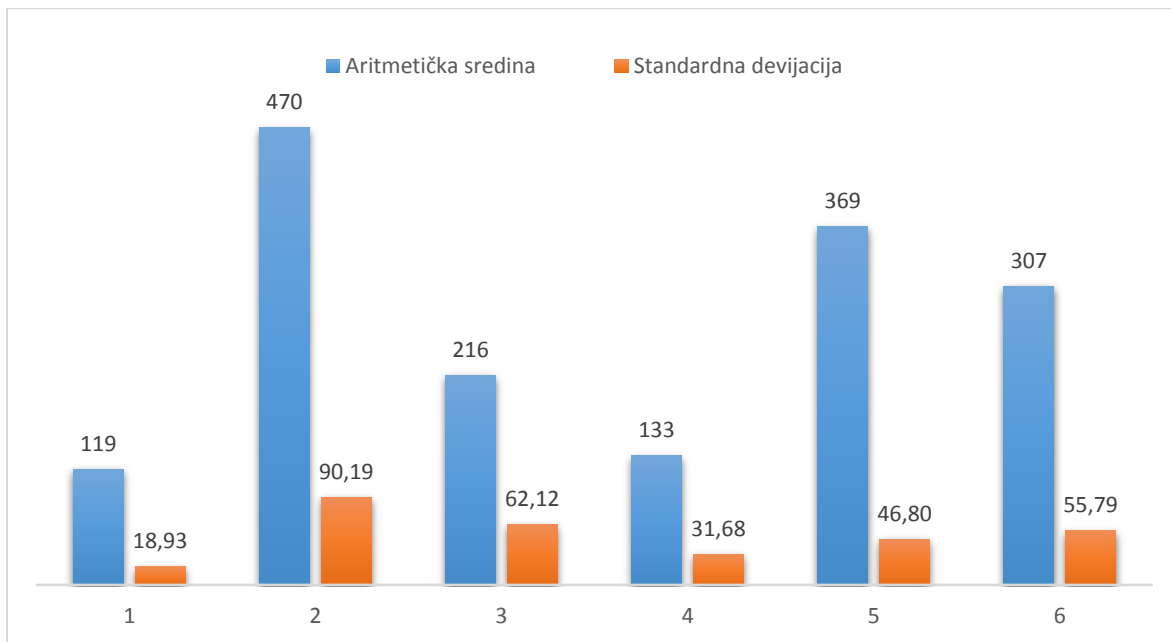
Tablica 3.2. Iznosi aritmetičkih sredina, standardnih devijacija, te postotka varijabilnosti prije balansiranja

	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak	6. korak
Prosječno vrijeme (\bar{t})	119	470	216	133	369	307
Standardna devijacija (σ)	18,93	90,19	62,12	31,68	46,80	55,79
Postotak varijabilnosti (V)	16%	19%	29%	24%	13%	18%

Dobiveni rezultati su prikazani i grafički na Slici 3.45.

Na temelju prethodno dobivenih podataka, prikazanih u Tablici 3.2. i grafu prikazanom na Slici 3.45., gdje su prikazana prosječna vremena zahvata procesa montaže jedne mjenjačke kutije, uočena je znatna neuravnoteženost vremena procesa montaže među postojećim montažnim stanicama. Donesen je zaključak o potrebi provedbe postupka balansiranja montažne linije, kako bi se što je moguće više ujednačila vremena rada pojedinih radnika. Time bi se izbjeglo da, primjerice, radnik u drugom koraku treba odraditi previše elemenata

rada, dok radnik u prvom koraku ima značajno manje. U ovom slučaju, kao što je i vidljivo na prikazanim grafovima, iskorištenost svih radnika na liniji je daleko ispod željenih 100%. Takt linije u ovakvom stanju je prosječno 470 sekundi, što odgovara najdugotrajnijem drugom koraku, tj. uskom grlu.



Slika 3.45. Prikaz aritmetičke sredine i standardnog odstupanja uzorka od aritmetičke sredine prije balansiranja

Tijekom pripreme za postupak balansiranja donesena je i odluka da se paralelno s postupkom balansiranja izvede i postupak unaprijeđenja postojeće montažne linije, a sve u svrhu postizanja željenog uravnoteženja, te skraćivanja vodećeg vremena montaže. Na Slici 3.46. prikazan je izgled montažne linije nakon provedenog postupka poboljšanja.

Prijedlozi poboljšanja i balansiranja kojima se postiglo željeno uravnoteženje su sljedeći:

1. smanjenje broja radnih stanica sa postojećih 6 na 5, pripajanjem 1. i 3. radne stanice s obzirom na njihova mala opterećenja u odnosu na druge radne stanice,
2. prebacivanje montaže kugličnog ležaja sa 5. radne stanice na 4., odnosno na sadašnju 3. stanicu, kako bi se smanjilo njeno opterećenje i postigla približna željena ujednačenost,
3. uvođenje pneumatskog odvijača na drugoj i zadnjoj stanici kako bi se smanjilo vrijeme ručnog pritezanja velikog broja vijaka,
4. uvođenje pokretne trake između radnih stanica sa ciljem olakšavanja transportiranja objekta montaže s jedne radne stanice na drugu,
5. raspored radnih stanice s obje strane pokretne trake, na način da se vodi računa o tome da svi ugradbeni elementi koji se montiraju na kućište s lijeve strane budu na lijevoj strani pokretne trake, dok svi ugradbeni elementi koji se montiraju na kućište s desne strane budu na desnoj strani pokretne trake, čime bi se postigao olakšan i nesmetan rad, ali i preglednost cijele linije.



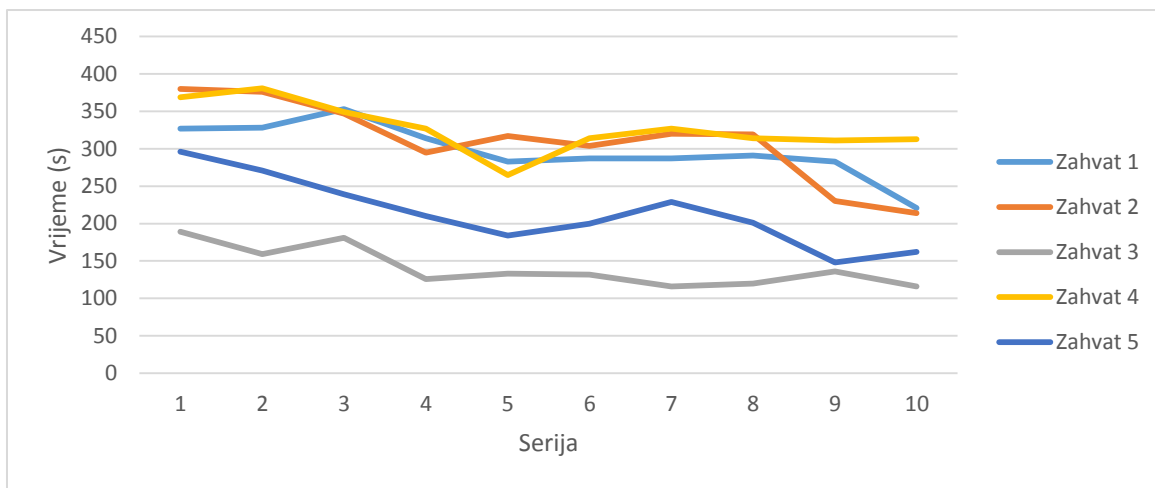
Slika 3.46. Prikaz montažne linije nakon poboljšanja

Nakon usvojenih prijedloga za poboljšanje i provedenog postupka balansiranja, ponovno je provedeno snimanje vremena pojedinih zahvata. Nova dobivena vremena u sekundama dana su u Tablici 3.3.

Tablica 3.3. Prikaz dobivenih vremena nakon postupka balansiranja

Broj snimanja	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak
1.	327	376	189	369	296
2.	283	380	159	381	271
3.	353	347	181	394	210
4.	314	295	133	327	239
5.	283	317	126	349	184
6.	328	304	132	314	200
7.	287	320	116	285	229
8.	291	230	120	314	162
9.	283	319	136	311	201
10.	221	214	116	313	148

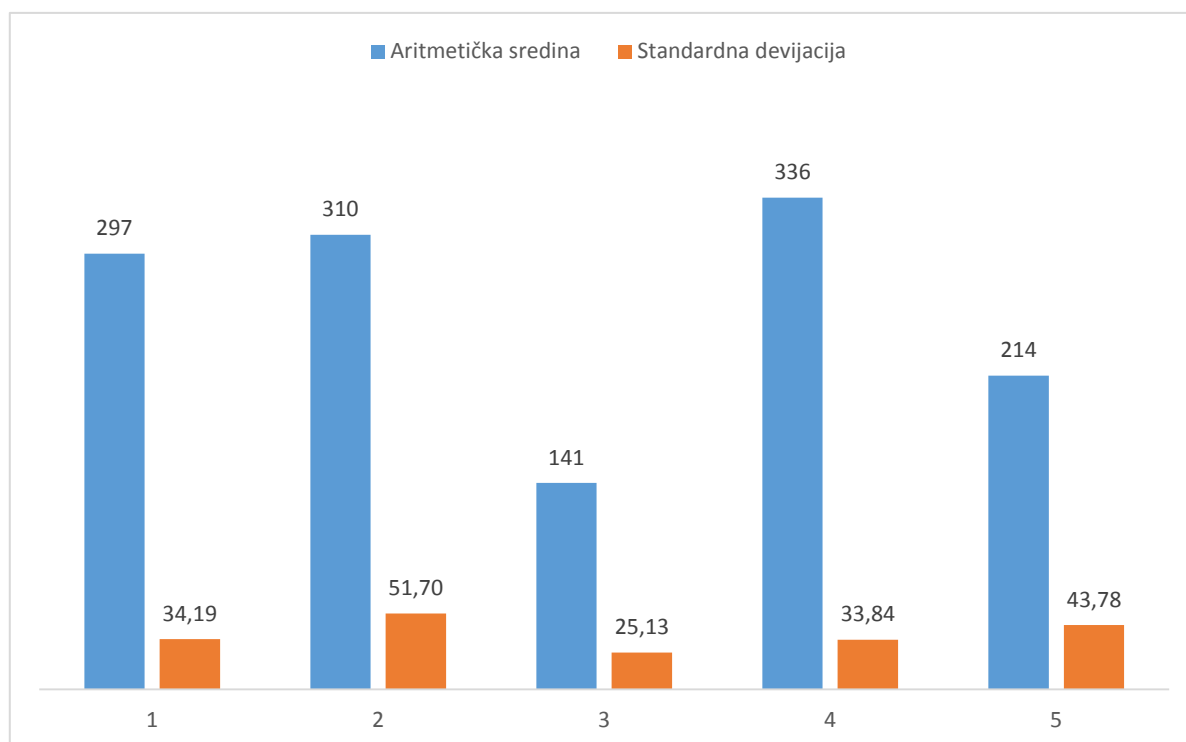
Na isti način kao i u prethodnom mjerenju, na osnovu dobivenih vremena izračunata su srednja (prosječna) vremena, vrijednosti standardne devijacije, kao i postoci varijabilnosti nakon provedenog postupka balansiranja. Njihove vrijednosti dane su u Tablici 3.4. Isto tako, ponovno je nacrtan graf s prikazom promjene vremena s porastom serije (Slika 3.47.) i graf (Slika 3.48.) s prikazom prosječnog vremena trajanja pojedinih zahvata procesa montaže nakon provedenog postupka balansiranja, s prikazom standardnog odstupanja uzorka od aritmetičke sredine.



Slika 3.47. Prikaz promijene vremena montaže kod rednog broja komada u seriji nakon balansiranja

Tablica 3.4. Iznosi aritmetičkih sredina, standardnih devijacija, te postotka varijabilnosti nakon balansiranja

	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak
Prosječno vrijeme (\bar{t})	297	310	141	336	214
Standardna devijacija (σ)	34,19	51,70	25,13	33,84	43,78
Postotak varijabilnosti (V)	11%	17%	18%	10%	20%



Slika 3.48. Prikaz aritmetičke sredine i standardnog odstupanja uzorka od aritmetičke sredine nakon balansiranja

Na grafičkom prikazu vremena zahvata nakon provedenog postupka balansiranja vidljiva je značajna razlika u odnosu na prijašnja vremena. Postignuta je i približna ujednačenost, što pokazuje da je iskoristivost potencijala radnika sad puno bliža željenom ostvarenju, nego što je to slučaju u prethodnom primjeru prije samog postupka balansiranja. Takt linije u ovakvom stanju je prosječno 336 sekundi, što odgovara vremenski najdužem četvrtom koraku, tj. uskom grlu.

No, usprkos znatnom poboljšanju, može se primijetiti kako su postotci varijabilnosti, čiji su iznosi dani u Tablici 3.4., iako smanjeni u odnosu na vrijednosti prije samo postupka balansiranja, i dalje dosta visoki. Naime, izvedena snimanja na seriji od 10 proizvoda predstavljaju pokusno snimanje, kojim su prikupljeni potrebni podatci približnog trajanja vremena svakog zahvata, ali i čitave operacije montaže. Nakon toga su izračunati koeficijenti stabilizacije radnog mjesta (K_s) i na osnovu njih potrebni broj snimaka za vrijeme snimanja, odnosno veličine uzorka (n). Potrebni broj snimaka je funkcija pouzdanosti procijene s kojom se želi utvrditi aritmetička sredina vremena u uzorku, točnost izračunavanja aritmetičke sredine vremena, te aritmetičke sredine i standardne devijacije vremena uzorka. Potrebni broj snimaka ovisi o vremenu trajanja pojedinog zahvata ili operacije i rasipanju vrijednosti vremena pojedinog zahvata. U studiji vremena ono zadovoljava točnost od $\pm 5\%$ uz pouzdanost od 95,45%. Pri kraćem trajanju vremena, odstupanja snimljenih podataka relativno su veće nego za duža vremena trajanja rada, dok se pri dužem radu njegova odstupanja poništavaju, a takt rada radnika teži k prosjeku [Bilić, 2017-1]. Pokusni uzorci (brojevi snimaka) mogu biti različitih veličina. U ovom slučaju, kako je već i spomenuto, veličina uzorka je $n_p = 10$. Prema tome se izračunava koeficijent stabilizacije radnog mjesta K_s prema formuli 3.4:

$$K_s = \frac{t_{max} - t_{min}}{\bar{t}} \quad (3.4)$$

gdje je:

t_{max} - najveće vrijeme očitavanja u probnom snimku

t_{min} - najmanje vrijeme očitavanja u probnom snimku

\bar{t} - srednje vrijeme očitavanja probnog snimka.

Dobiveni rezultati dani su u Tablici 3.5. gdje se na osnovu njih dalje izračunava potreban broj snimaka (n).

Tablica 3.5. Koeficijenti stabilizacije radnih mjesta

	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak
Koeficijent stabilizacije (K_s)	0,44	0,74	0,52	0,24	0,69

Manji K_s označava bolje stabilizirano radno mjesto, a što je koeficijent stabilizacije radnog mjesta veći, to će se morati više puta snimiti izvođenje operacije, i obratno. S dobivenim

brojkama prikazanim u Tablici 3.5., u Tablici 3.6. se iščitava potreban broj snimaka n , kako je označeno za primjer $K_s=0,52$.

Tablica 3.6. Potrebni broj snimaka (očitanja) n [Bilić, 2017-2]

TABLICA POTREBNOG BROJA OČITANJA n UZ 5%-TNU PRECIZNOST IZRAČUNAVANJA SREDNJEG VREMENA OČITANJA I 95,45%-TNU POUZDANOST PROCJENE ZA $n_p = 5$ i $n_p = 10$					
$K_s = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_0}$	Pokusno snimanje		$K_s = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_0}$	Pokusno snimanje	
	$n_p = 5$	$n_p = 10$		$n_p = 5$	$n_p = 10$
0,10	3	2	0,56	93	53
0,12	5	3	0,58	100	57
0,14	6	4	0,60	107	61
0,16	8	5	0,62	114	65
0,18	10	6	0,64	122	70
0,20	12	7	0,66	129	74
0,22	15	9	0,68	137	79
0,24	17	10	0,70	145	83
0,26	20	12	0,72	154	88
0,28	24	14	0,74	162	93
0,30	27	16	0,76	171	98
0,32	31	18	0,78	180	103
0,34	35	20	0,80	190	109
0,36	39	22	0,82	199	114
0,38	43	25	0,84	209	120
0,40	48	27	0,86	219	125
0,42	53	30	0,88	230	131
0,44	58	33	0,90	240	137
0,46	63	36	0,92	251	143
0,48	69	39	0,94	262	150
0,50	74	43	0,96	273	156
0,52	81	46	0,98	285	163
0,54	87	50	1,00	296	169

Dobiveni rezultati potrebnog broja snimaka (n), dani su u Tablici 3.7.

Tablica 3.7. Dobiveni rezultati potrebnog broja snimaka (n)

	1. korak	2. korak	3. korak	4. korak	5. korak
Potrebni broj snimaka (n)	33	93	46	10	81

Iz prethodno dobivenih rezultata primjećuje se kako su dobivene brojke potrebnih snimaka dosta veće u odnosu na broj pokusnog snimanja, te je potrebno radi dobivanja što preciznijih i točnijih rezultata taj broj povećati, kako bi se dobila odgovarajuća veličina uzorka. Razlog tome su već spomenute prevelike varijacije u vremenima trajanja pojedinih zahvata, ali i

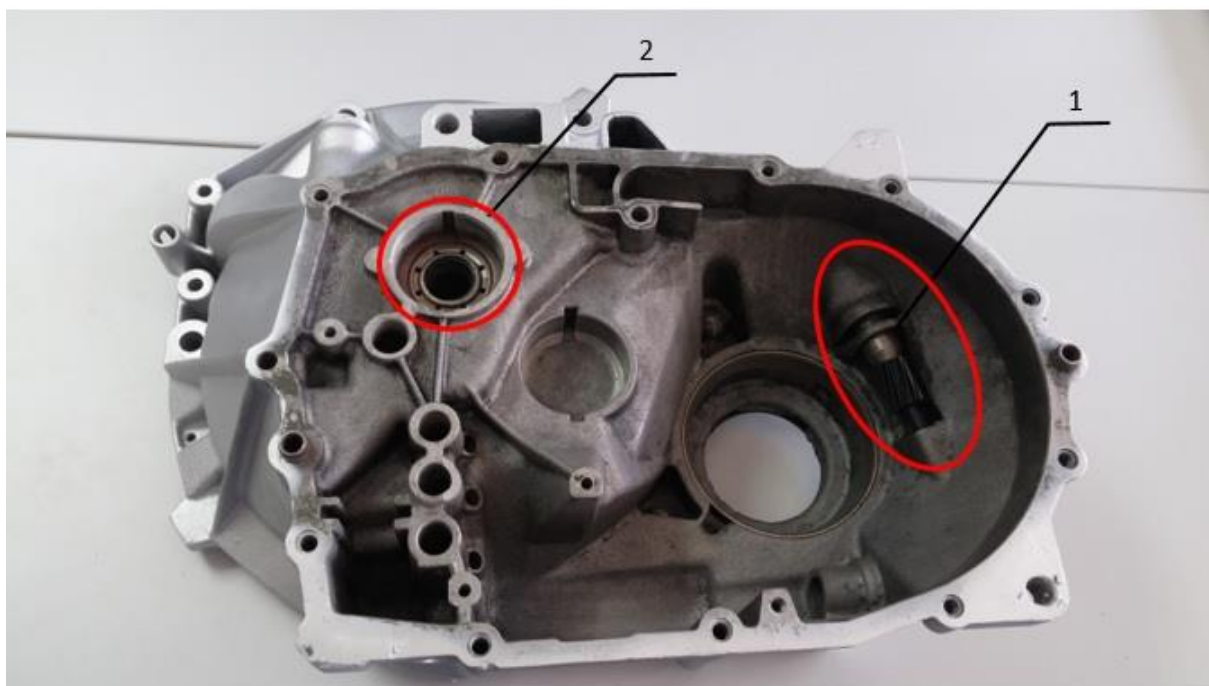
relativno kratko vrijeme pojedinog zahvata ili operacije. Što je vrijeme pojedinog zahvata kraće, potrebni broj snimaka bit će veći, jer pri kraćem trajanju vremena, odstupanja snimljenih podataka relativno su veće nego za duža vremena trajanja procesa. No, treba napomenuti i to da su svi dijelovi, odnosno ugradbeni elementi, koji su korišteni u ovom postupku montaže, već rabljeni, što je također uzrok ovakvim vremenskim varijacijama. Uz to, česta zapinjanja se javljaju i kod pritezanja vijaka, gdje je neke moguće pritegnuti rukom, a za neke su potrebni alati zbog javljanja velikih sila otpora. Također treba voditi računa i o kutovima i površinama skošenja kod pojedinih ugradbenih elemenata, gdje se zbog veće ili manje površinske hrapavosti javljaju problemi kod ugradnje. S obzirom da se prethodno prikazani i opisani proces montaže mjenjačke kutije održava u laboratoriju namijenjenom za edukaciju studenata, tendencija je da se koristi što manje ulja za podmazivanja pojedinih ugradbenih elemenata, radi lakšeg održavanja čistoće, te zaštite ljudske kože, što pak dovodi do zapinjanja i kod pojedinih dosjeda, a sve to opet do pojave varijacija u vremenima montaže.

Može se zaključiti kako je u svrhu smanjenja varijacija, uz već spomenuto povećavanje broja snimaka, potrebna i još bolja organizacija radnih mjesta. To podrazumijeva pristupačnost ugradbenih elemenata (elementi moraju biti na dohvat ruke radniku), pristupačnost potrebnih alata, jasno organizirani i raspoređeni ugradbeni dijelovi po kutijama prema redoslijedu ugradnje pojedinog elementa, uvođenje posebnih kutija za sitne dijelove kao što su vijci, matice i podlošci itd. Također su potrebne i različite naprave za uvlačenje koje se koriste kod ugradbenih elemenata koje je teško ručno montirati na određeno mjesto.

Paralelnim provođenjem i postupka unaprijeđenja uz balansiranje postojeće montažne linije, ipak je postignut vidljiv rezultat kod prosječnog trajanja montaže jedne mjenjačke kutije, koje nakon postupka balansiranja iznosi 22 minute, dok je prije samog postupka iznosilo oko 27 minuta. Smanjenje od 5 minuta je postignuto upravo boljom organizacijom i preraspodjelom ugradbenih elemenata po radnim stanicama, zamjenom ručnog pretezanja vijaka pneumatskim alatima za pritezanje i uvođenjem pokretne trake radi lakšeg prijenosa objekta montaže s jedne radne stanice na drugu.

Naime, poznato je kako kod procesa montaže masa i obujam objekta montaže raste s montažnim operacijama. U početnom stanju, montažna linija je bila organizirana tako da su radne stanice bile poredane jedna do druge u liniju, te su radnici dodavali jedni drugima objekt montaže nakon završetka svake pojedine operacije. S obzirom da se radi o mjenjačkoj kutiji koja je dosta robusna i teška, prebacivanje kućišta s jedne radne stanice na drugu bilo je dosta otežano i radnicima je predstavljalo dodatno opterećenje. Upravo zbog težine kućišta mjenjačke kutije i njenog otežanog rukovanja, a pogotovo okretanja, prije procesa montaže, na kućište je već prethodno montiran zupčanik za mjerenje brzine i nosač ležaja.

Na Slici 3.49. prikazani su prethodno spomenuti ugradbeni elementi. Zupčanik za mjerenje brzine označen je brojem 1, a nosač ležaja brojem 2.

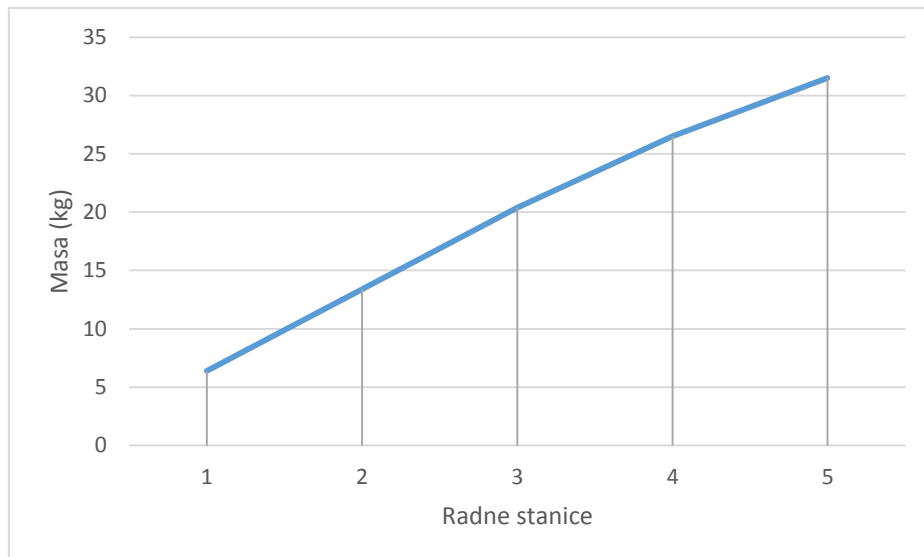


Slika 3.49. Ugradnja zupčanika za mjerenje brzina i nosača ležaja na donje kućište

U Tablici 3.8. su dane veličine ukupne mase nakon svake pojedine radne stanice, gdje se jasno zaključuje kako masa i obujam objekta montaže rastu s porastom ugradbenih elemenata. Dok se na grafu prikazanom na Slici 3.50. uočava nagli porast mase nakon prve radne stanice. Razlog je ugradnja diferencijala koji se nalazi na drugoj radnoj stanici, a koji sam ima masu približno 7 kg, nakon čega slijedi ugradnja takozvane piramide zupčanika koju čini veliki broj zupčanika, te ona kao i diferencijal sama ima masu oko 7 kg.

Tablica 3.8. Veličine masa i broj ugradbenih elemenata na pojedinim radnim stanicama

Radna stanica	Masa (kg)	Broj dodanih ugradbenih elemenata po stanici
0	4,9	0
1	6,4	14
2	13,4	17
3	20,4	18
4	26,5	17
5	31,5	37

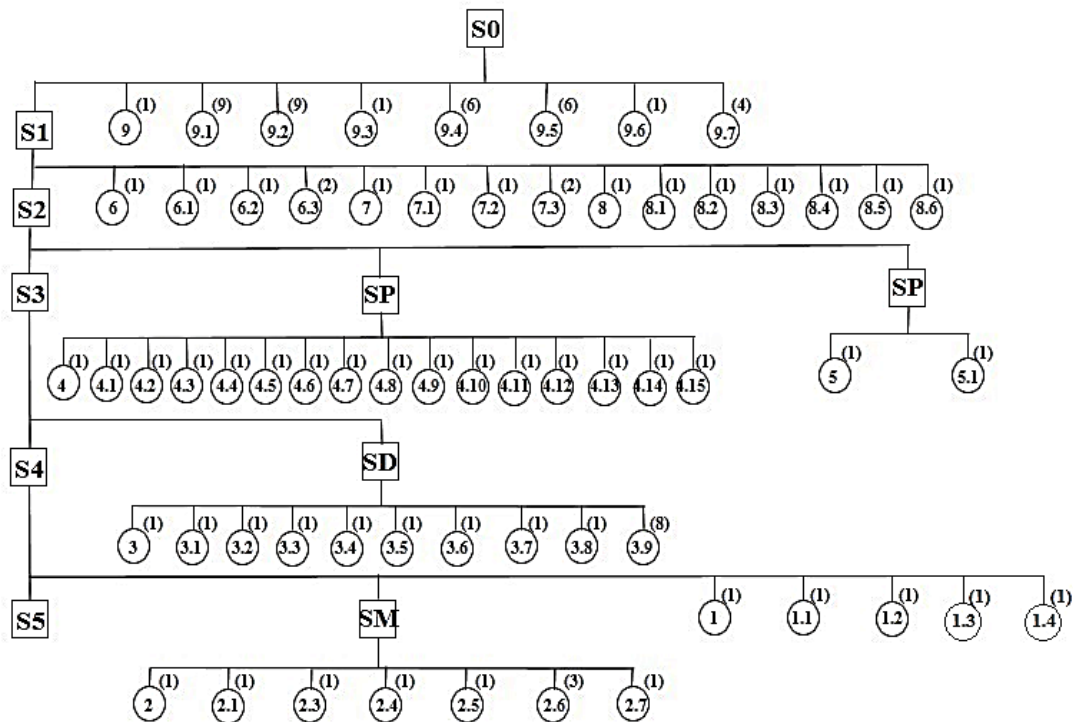


Slika 3.50. Prikaz porasta mase s porastom broja ugrađenih ugradbenih elemenata

3.5.6. Izrada uputa za montažu za sve montažne stanice

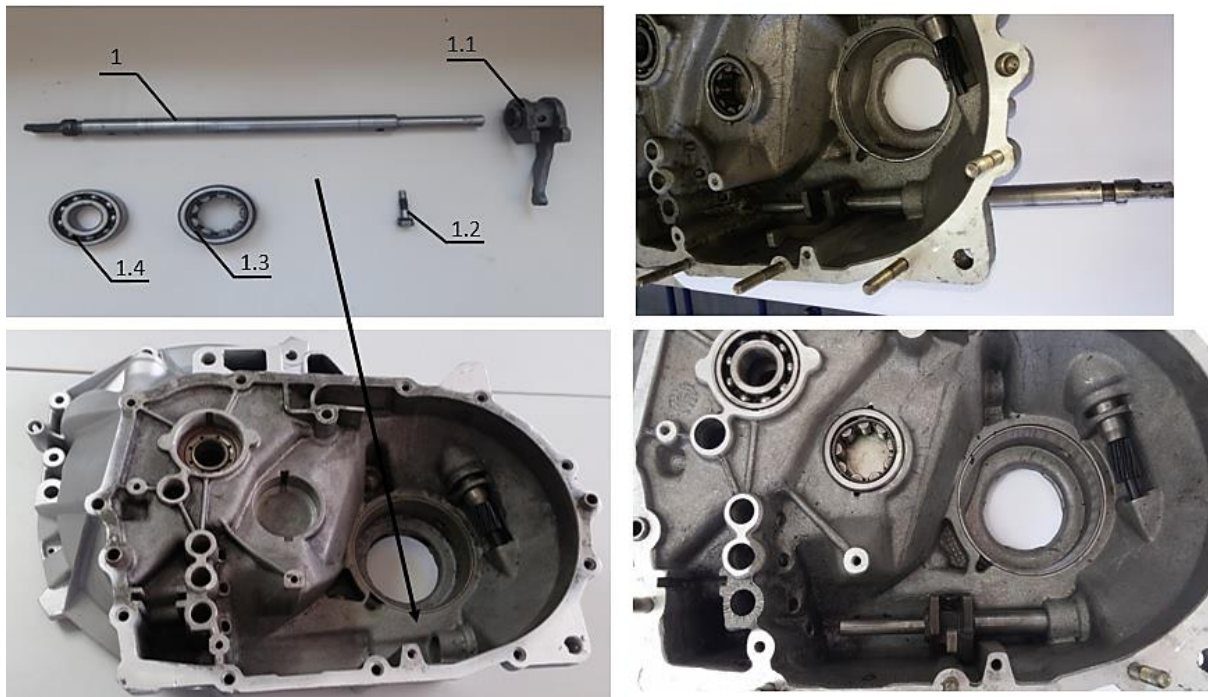
Nakon provedenog postupka balansiranja i unaprjeđenja, nacrtano je novo stablo izgradnje mjenjačke kutije kojim je prikazana struktura proizvoda nakon spomenutih provedenih postupaka. Naime, ono što je promijenjeno jesu stupnjevi ugradnje kojih sada ima 5, što znači da se proces montaže mjenjačke kutije sada nakon provedenih postupaka odvija u 5 koraka na 5 radnih stanica.

Slika 3.51. prikazuje novo stablo izgradnje mjenjačke kutije sa pripadajućim oznakama sklopova, ugradbenih elemenata i količinama pojedinih dijelova.

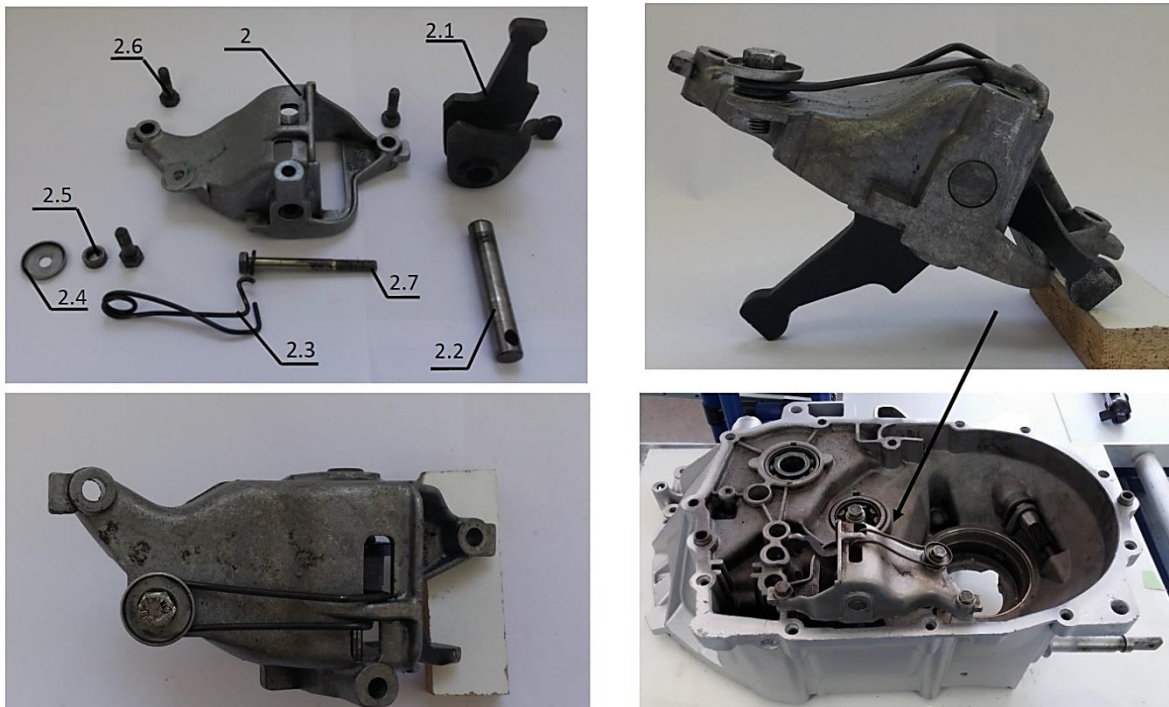


Slika 3.51. Novo stablo izgradnje mjenjačke kutije

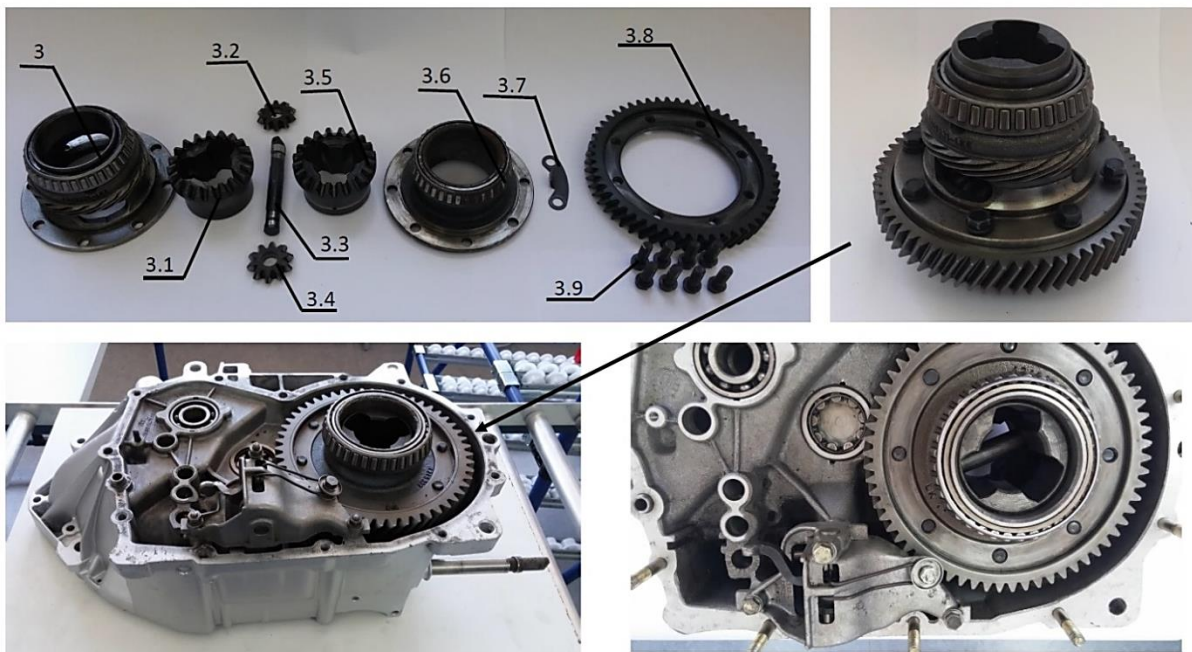
Uz novi prikaz strukture mjenjačke kutije, napravljene su i nove slike s pripadajućim ugradbenim elementima i oznakama redoslijeda montaže koje su povezane s prethodno definiranim stablom izgradnje. Na fotografijama (od Slike 3.52. do Slike 3.61.) koje predstavljaju zahvate procesa montaže mjenjačke kutije, kao i pojedine korake tih istih zahvata, prikazani su ugradbeni elementi pojedinih sklopova koji su smješteni u lijevom kutu slike zajedno sa pripadajućim oznakama redoslijeda sklapanja pojedinog dijela, dok su na desnoj strani prikazani gotovi, sastavljeni sklopovi zajedno s kućištem, a strelicom je dodatno označeno mjesto ugradnje pojedinog sastavljenog sklopa.



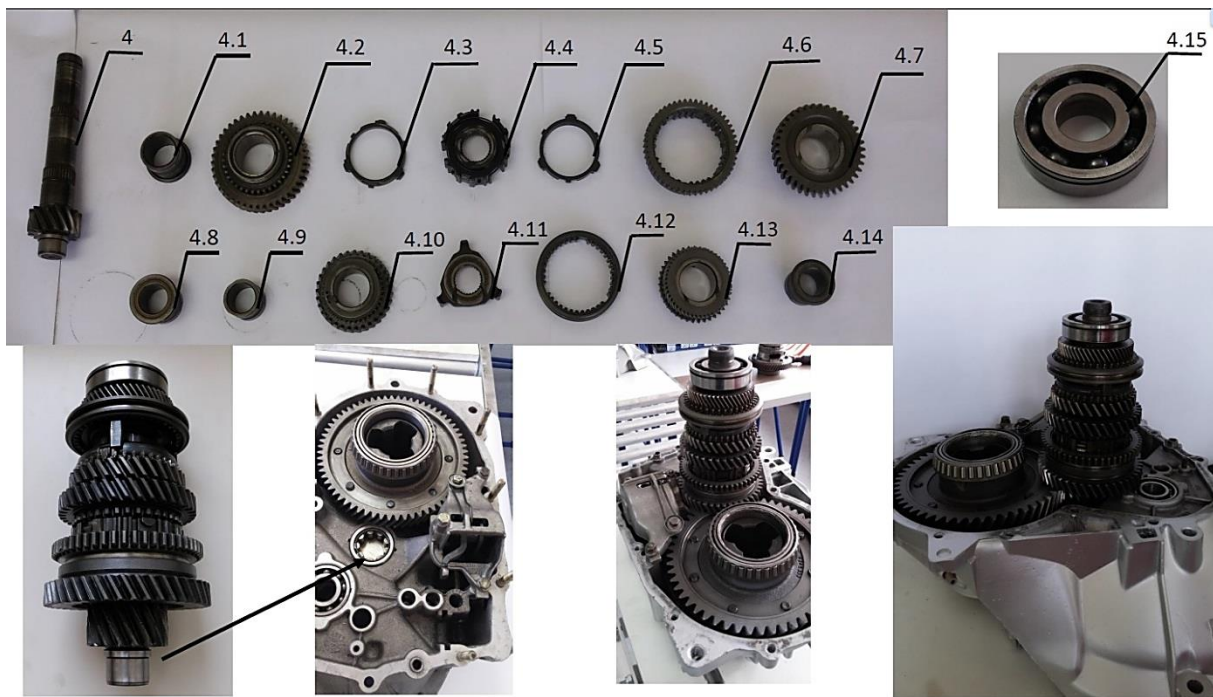
Slika 3.52. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela prvog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



Slika 3.53. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela prvog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



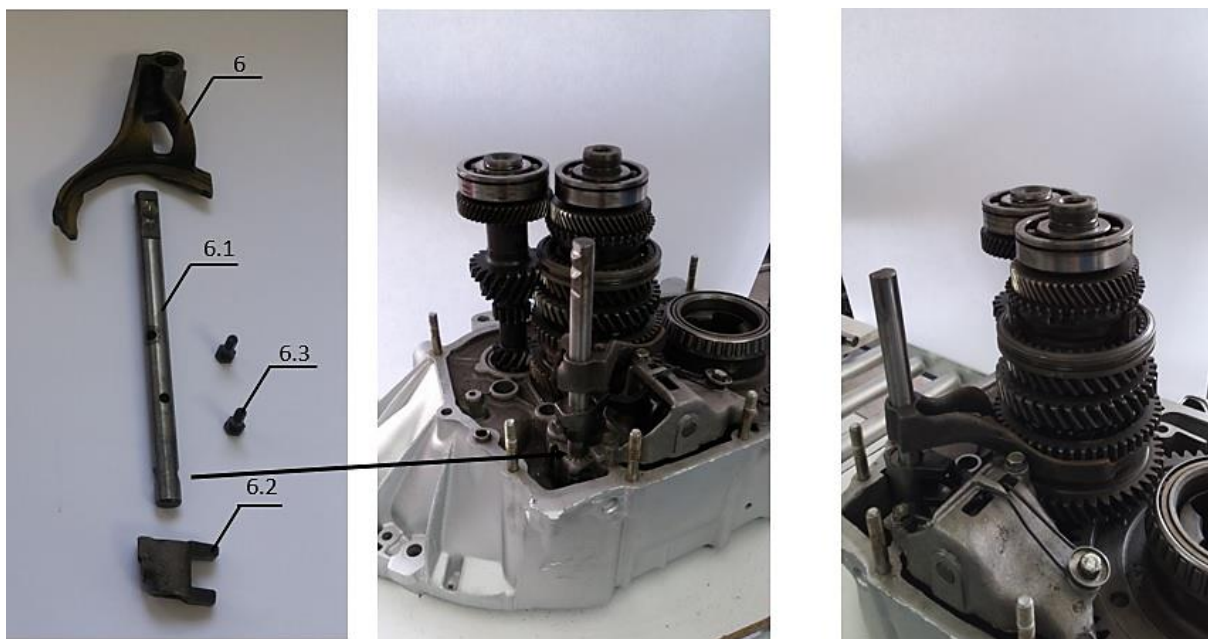
Slika 3.54. Prikaz ugradbenih elemenata drugog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



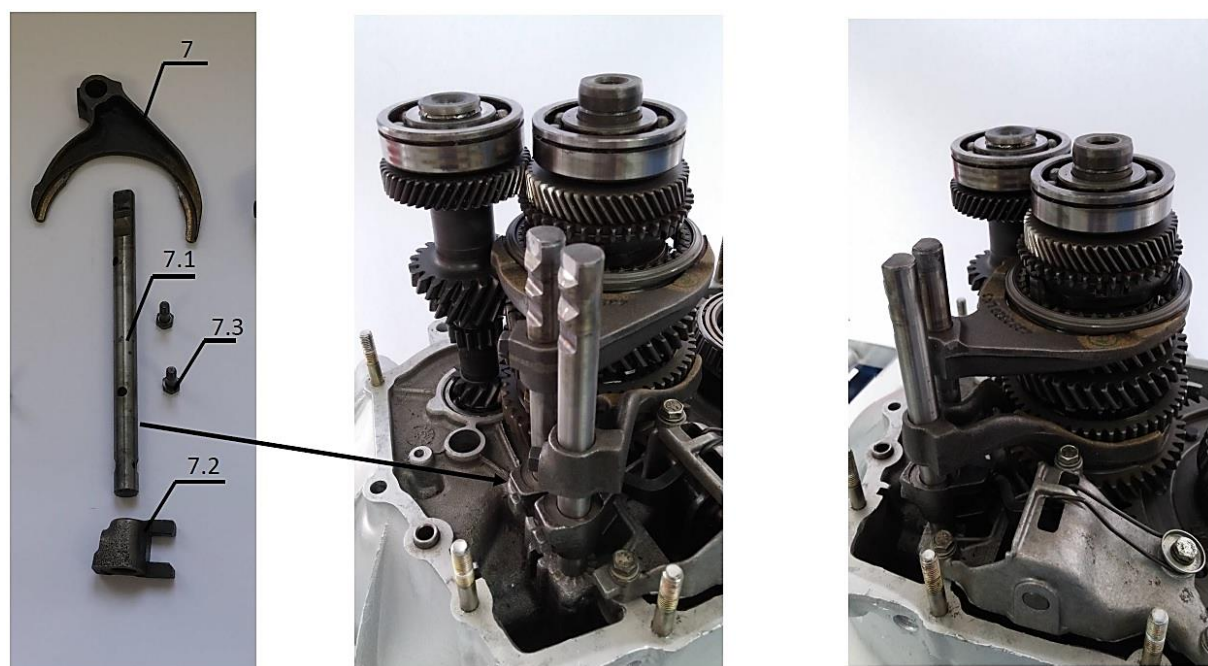
Slika 3.55. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela trećeg koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



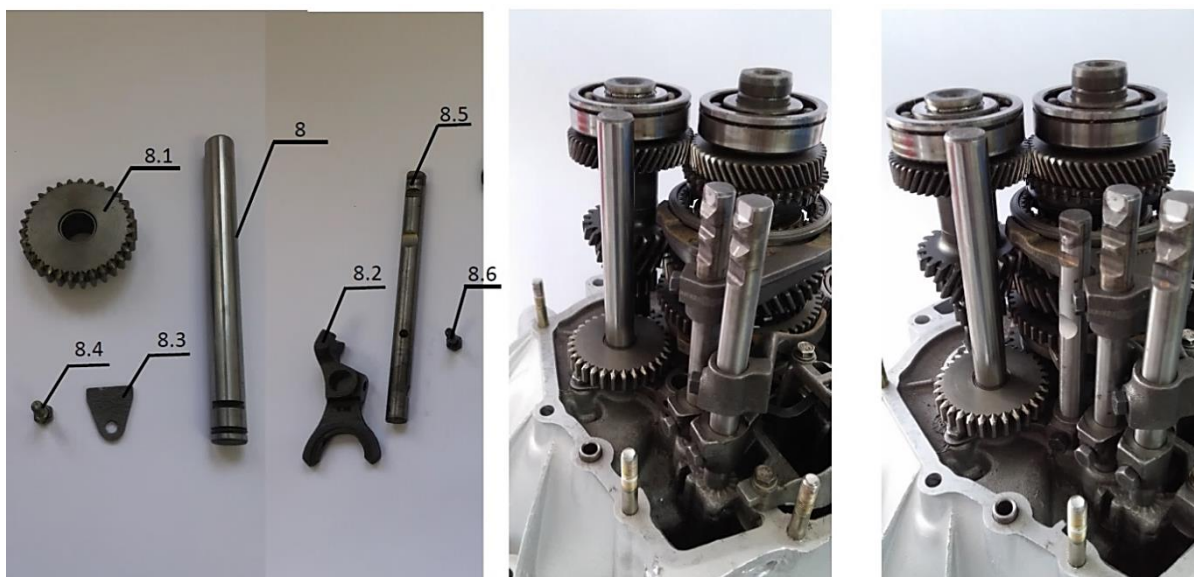
Slika 3.56. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela trećeg koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



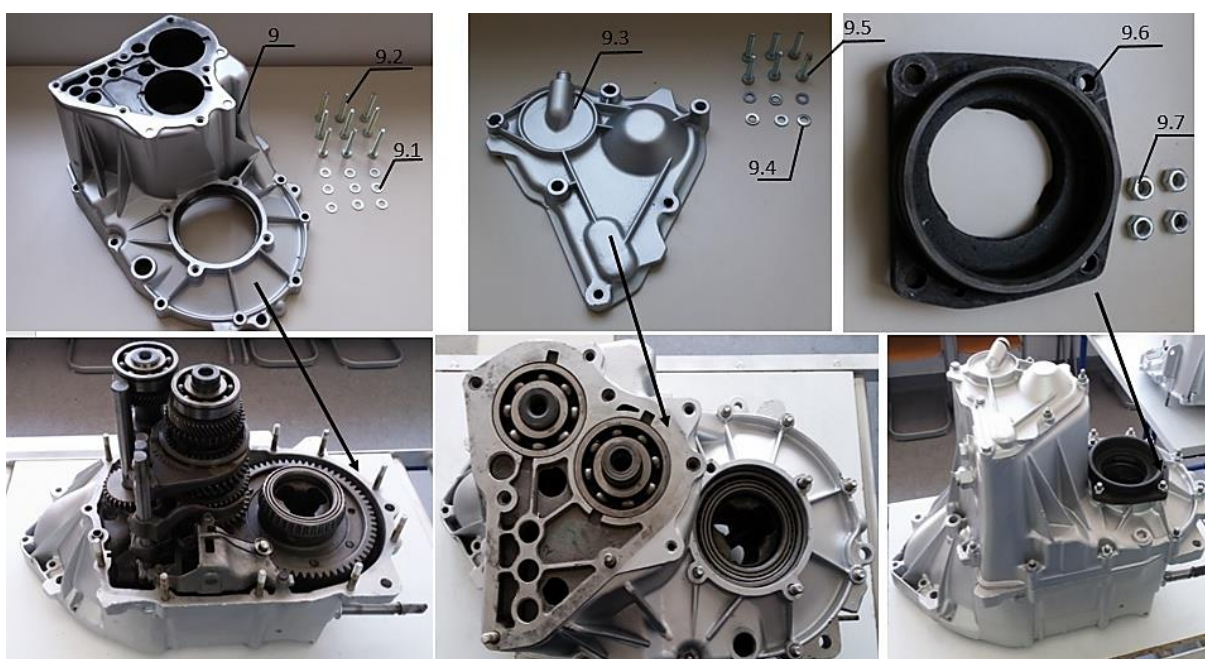
Slika 3.57. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



Slika 3.58. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



Slika 3.59. Prikaz ugradbenih elemenata trećeg dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta



Slika 3.60. Prikaz ugradbenih elemenata petog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta

3.5.7. Zaključak

Montaža ima veoma veliku ulogu u projektiranju tehnološkog procesa nekog složenog proizvoda u smislu procjene vremena trajanja operacija. Upravljanje vremenom može pomoći da se vrijeme kvalitetno planira, da se postave ciljevi, i da se oni ispune na što efikasniji i brži način.

No, uz upravljanje vremenom, koje ima veoma veliku ulogu i značenje u ostvarivanju uspješnosti pojedinog poduzeća, tu je i dobra organizacija montažnog procesa kojom se

postiže kvalitetna i efikasna proizvodnja, a što je još najvažnije i ekonomska učinkovitost, jer cilj svake organizacije jest proizvoditi ono što tržište želi, uz visoku kvalitetu, pristupačnu tržišnu cijenu i rokove isporuke koje zahtijeva tržište, uz kontinuirano zadovoljavanje kupca i ostalih zainteresiranih strana.

Kod primjera montažne linije mjenjačke kutije, glavni problem je bio postizanje željene uravnoteženosti u vremenima trajanja operacija na pojedinim radnim mjestima. S obzirom da se radi o neprekinutom, odnosno linijskom procesu montaže trebalo je voditi računa i o postizanju što boljeg principa prelaska predmeta rada s jednog zahvata na drugi, u svrhu ostvarivanja kontinuiranog toka procesa montaže. Postojeća neuravnoteženost u vremenima i opterećenjima na pojedinim stanicama dovodi do neiskorištenosti ljudskih potencijala u montažnom procesu, što pak dovodi do povećanja trajanja procesa proizvodnje, nezadovoljstva samih radnika, a što se kasnije odražava i na kvalitetu proizvoda, a time i na zadovoljstvo kupaca. Na taj način se gubi konkurentnost na tržištu i rastu troškovi, a istovremeno dolazi do pada učinkovitost i profitabilnost.

Provedbom postupka balansiranja postignuta je približno željena uravnoteženost, približno jednako opterećenje na radnim stanicama, kao i očekivana veća iskorištenost ljudskih resursa. Time je smanjena mogućnost pojave uskih grla i nezaposlenost montažera na pojedinim stanicama. Također je smanjeno i vrijeme ukupnog trajanja procesa montaže za 5 minuta, uz smanjenje broja radnika sa 6 na 5 radnika.

Zaključeno je kako je uz postupak balansiranja poželjno, kad god je to moguće, paralelno provoditi i postupak unaprijeđenja montažne linije. Samo boljom organizacijom i balansiranjem svih parametara, poput vremena montaže, rasporeda radnih stanica, troškova i gubitaka i mnogih drugih, postižu se tehnički i ekonomski prihvatljiva rješenja.

Ova studija slučaja je izrađena u okviru Tvornice za učenje na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, u Laboratoriju za industrijsko inženjerstvo. Snimanje početnog stanja, balansiranje montažne linije, te predložena i provedena unaprijeđenja su bila dio procesa učenja studenata preddiplomskih i diplomskih studija u Tvornici za učenje, na stvarnoj proizvodnoj opremi i na stvarnom proizvodu. Ova studija slučaja je rezultirala s jednim diplomskim radom, jednim završnim radom, te više objavljenih znanstvenih članaka na međunarodnim konferencijama. U ovakvom stanju, ova studija slučaja služi u edukaciji studenata kroz kolegije na preddiplomskom i diplomskom studiju, ali ima i veliki potencijal za daljnji rad studenata kroz unaprijeđenja, te istraživanje i implementaciju elemenata u konceptu Industrije 4.0.

3.6. Inteligentna montažna linija

3.6.1. Vertikalna integracija proizvodnog sustava za transparentu i efikasnu proizvodnju

Suradnja unutar neke organizacije temeljno znači razmjenu podataka i informacija između sudionika nekog procesa, što je često ključ uspjeha efikasnog odvijanja procesa, kao i njegove transparentnosti, jer upravo imati sve informacije o nečemu, garancija je transparentnosti. Budući da sudionici procesa podacima i informacijama opisuju najrazličitija

zbivanja u tim procesima (podaci o zahtjevima kupaca, planovima nabave i proizvodnje, nabavljenim materijalima, cijenama rada i materijala, realiziranim prihodima, i sl.), te podatke i informacije potrebno je organizirati i učiniti ih uvijek ažurnima i uvijek dostupnima. To podrazumijeva: strukturirati podatke poradi njihove lakše obrade, spremanja i prezentiranja, učinkovito spremati podatke u baze podataka, učinkovito dohvaćati podatke za potrebe obrada i izvještavanja, čuvati podatke od neovlaštenog pristupa, pravovremeno dostavljati podatke onima kojima su potrebne, te ispravno tumačiti i obrađivati podatke. Govoreći s aspekta primjene u praksi, potrebno je imati kvalitetan i dobro organiziran ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*) sustav.

Treba naglasiti da nije bitno samo imati *ERP* sustav, nego je bitno da on stvarno prati organizaciju cjelokupnog poduzeća, što znači da virtualna organizacija unutar *ERP* sustava mora biti identična vanjskoj organizaciji. Kvalitetno praćenje proizvodnje unutar *ERP* sustava podrazumijeva da sva skladišta (ulazna, izlazna, ili međuskladišta), svi proizvodni pogoni i proizvodni procesi poduzeća koji postoje u stvarnosti moraju postojati i virtualno, odnosno unutar *ERP* sustava. Dakle, podaci i informacije u bazama podataka moraju odgovarati stvarnom stanju u potpunosti (100%). Kvalitetan *ERP* sustav omogućava maksimalno iskorištavanje funkcija pojedinih organizacijskih odjela, koje proizlaze iz njihova područja kompetencija, stvarnim praćenjem informacija i podataka o toku novca, materijala i dokumenata, a rezultat su transparentni i efikasni procesi, odnosno transparentna i efikasna proizvodnja.

Nadalje, zbog promjene svijesti čovječanstva o negativnim utjecajima različitih tehnologija na okoliš, ljude i ekonomiju, više nisu glavne optimizacijske paradigme skratiti brzinu izrade ili povećati količinu proizvodnje po danu, odnosno proizvoditi brže i više, već nove optimizacijske paradigme idu za smanjenjem emisije CO₂, manjom potrošnjom vode, minimiziranjem negativnih utjecaja na okoliš i zdravlje ljudi, te čak minimiziranje negativnih utjecaja na stabilnost ekonomije neke regije ili države.

Zbog svega toga, tehnološka modernizacija koju podrazumijeva Industrija 4.0 ide prvenstveno u smjeru unaprijeđenja organizacije proizvodnog procesa. Stoga je prvenstveno potrebno izraditi kibernetско-fizički proizvodni sustav (eng. *Cyber-Physical Production System – CPPS*), što pretpostavlja međusobnu integraciju realnog (fizičkog) svijeta (proizvodni pogon) i virtualnog (kibernetскоg) svijeta (informacijski sustavi poduzeća). To znači da bi trebala postojati virtualna kopija proizvodnog pogona koja prikuplja uživo (*real-time*) sve podatke o proizvodnom procesu (stanje strojeva, količina u zalihama, trajanje ciklusa proizvodnje, i sl.), te ih vizualno prikazuje osobama odgovornima za donošenje ključnih odluka u proizvodnji [Monostori, 2014]. Dakle, uživo praćenje izvršavanja proizvodnje u *MES* (eng. *Manufacturing Execution System*) sustavu direktno povezanim s *ER* sustavom omogućuje donošenje kvalitetnih i brzih odluka na samoj razini proizvodnog pogona. Za realizaciju ove ideje u praksi, potrebno je provesti vertikalnu integraciju proizvodnog sustava; od razine izvršavanja operacija (senzorski sustavi) i razine upravljanja strojevima (*PLC* jedinice), te razine tehnološkog procesa (*HMI* i *SCADA* sučelja), preko razine praćenja proizvodnje unutar pogona (*MES* sustav), sve do razine cjelokupnog poduzeća (*ERP* sustav).

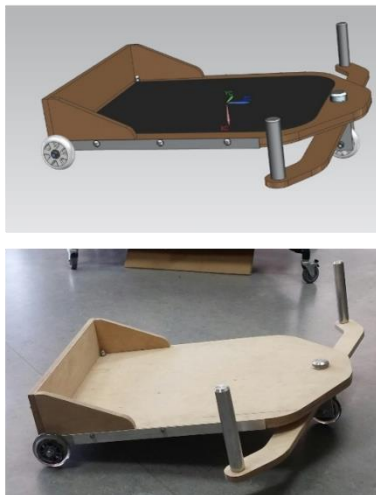
U konačnici, cilj Industrije 4.0 je postići jednokomadnu proizvodnju jednako ekonomski isplativom kao i velikoserijsku proizvodnju [Kagermann, Wahlster i Helbig, 2013]. A to se postiže upravo kroz modernizaciju tehnologije za omogućavanje vrlo detaljnog praćenja proizvoda kroz proizvodni pogon pri čemu se svi potrebni podaci zapisuju i na sami proizvod (*RFID* sustavi). Uz pomoć svih tih, ali i ostalih dostupnih informacija donose se brze i kvalitetne odluke. Sve skupa rezultira vrlo organiziranom proizvodnjom, koja djeluje vrlo isplanirana, a zapravo je riječ o fleksibilnom i kratkotrajnom (dnevnom) planiranju proizvodnje bez rigidnih dugoročnih planova.

3.6.2. Oblikovanje Inteligentne montažne linije kroz vertikalnu integraciju

Današnja proizvodnja razvija se u smjeru *Smart Factory* koncepta, koji omogućuje planiranje i praćenje proizvodnje jednog komada proizvoda, a time ostvaruje i novu proizvodnu paradigmu: osobna proizvodnja. No, osobna proizvodnja uvjetuje praćenje proizvoda na razini jednog komada, a ne samo na razini serije (*lota*). Svaki proizvod osim *LOT* oznake, mora imati i svoj jedinstveni *ID* (eng. *Identification Device*). Praćenje proizvoda na razini jednog komada, zahtjeva inteligentno praćenje proizvodnje, odnosno praćenje proizvodnog procesa uživo (*real-time*). Upravo takav *Smart Factory* koncept, omogućen kroz vertikalnu integraciju proizvodnog sustava, htjelo se demonstrirati kroz Inteligentnu montažnu liniju oblikovanu i postavljenu u laboratoriju na FESB-u.

Inteligentna montažna linija, kao dio *Learning Factory* na FESB-u, predstavlja demonstraciju vertikalne integracije proizvodnog sustava. Sastoji se od četiri suvremene radne stanice za montažu na kojima se ručnim postupcima sastavlja proizvod *karet* (Slika 3.61.).

Proizvod:



Proizvodni (montažni) proces:

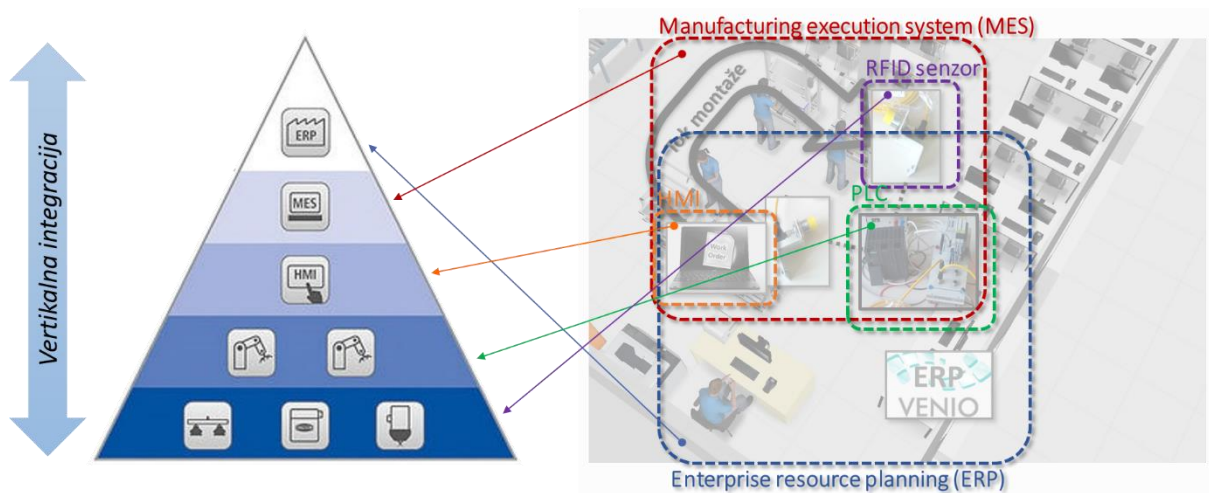


Slika 3.61. Dizajn proizvoda i proizvodnog procesa Inteligentne montažne linije

Proizvodnjom se upravlja putem *ERP* sustava *Venio ERP* instaliranom na računalnom serveru unutar laboratorija. U svrhu ispunjavanja preduvjeta za omogućavanje vertikalne integracije, montažna linija nadograđena je sa sljedećom opremom:

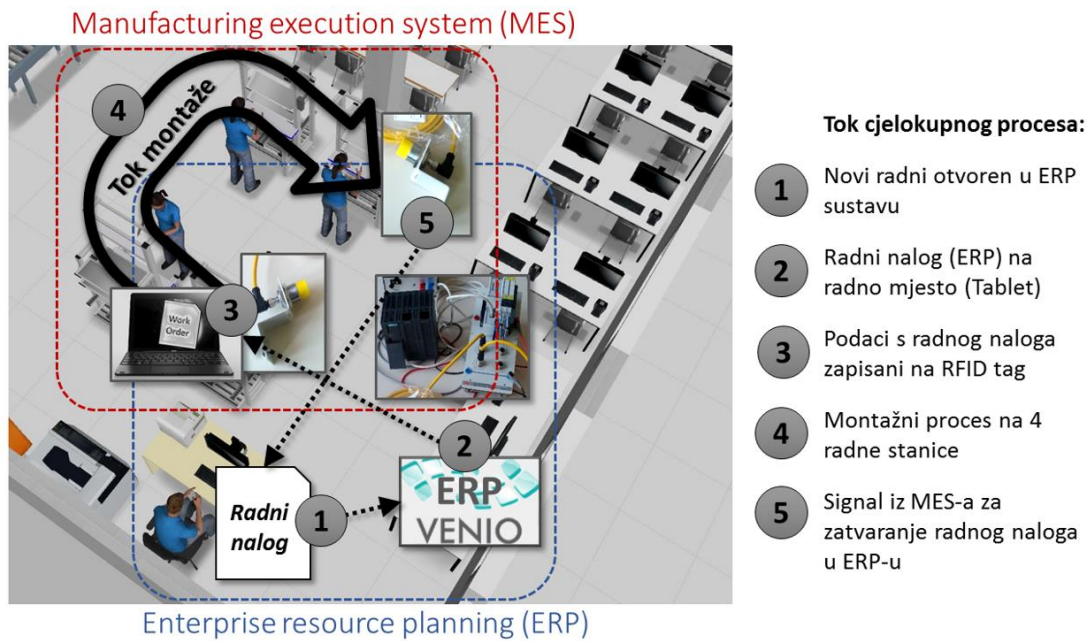
- *RFID* sustav Turck (13.56 MHz, ISO 15693), koji se sastoji od dvije *RFID* glave (antene) za zapisivanje i čitanje podataka s *RFID tag-a*, čvorišta (*gateway*) na koji se spajaju do 4 *RFID* glave, te *PROFINET* veze prema *PLC* uređaju.
- *PLC* uređaj Siemens (S7-1200), koji u sebi ima integrirani *JavaScript Web server*.
- *Windows* tablet Lenovo (Win 8.1), koji služi kao sučelje sustava (*HMI*).

Ova oprema omogućava oblikovanje osnovnih funkcija sustava za praćenje proizvodnje (*MES*) koji je utemeljen na *RFID* tehnologiji praćenja proizvoda - tzv. *RFID-enabled MES*. *MES* je vrlo bitna komponenta vertikalne integracije, jer je poveznica između *ERP* sustava i razine proizvodnog pogona (Slika 3.62., Slika 3.63.).

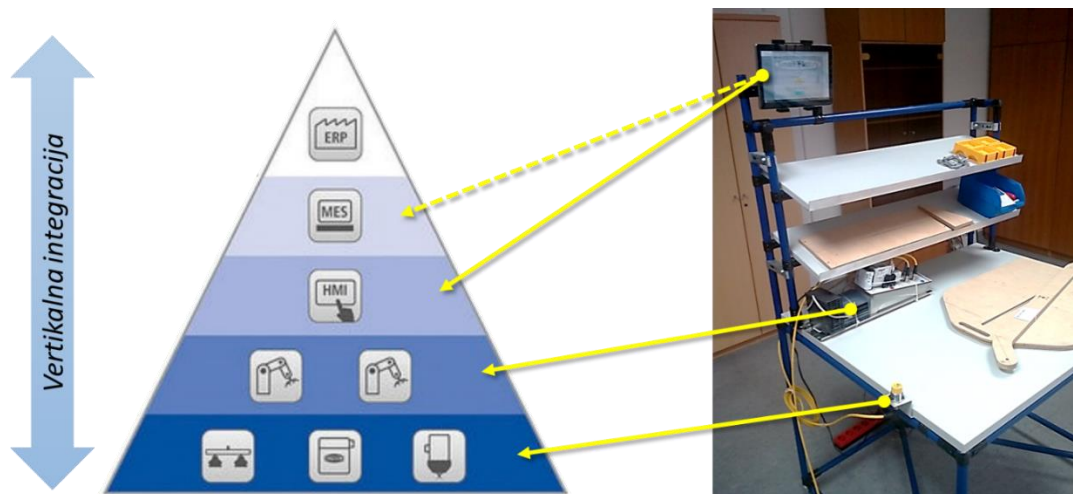


Slika 3.62. Dizajn vertikalne integracije Inteligentne montažne linije

Dva ključna radna mjesta ove montažne linije su prvo i posljednje (četvrto) i na te radne stanice se postavlja *RFID* oprema (Slika 3.63. i Slika 3.64.), čime se postiže vertikalna integracija, uz napomenu da je u ovom slučaju *MES* razvijen do najniže razine, odnosno samo se prati početak i završetak proizvodnog procesa za određeni radni nalog. Naime, sami *MES* ili *MOM* (eng. *Manufacturing Operations Management*) prema literaturi obuhvaća znatno šire zadaće definirane, između ostalog, i međunarodnim standardom *ISA-95* [ISA, 2017].



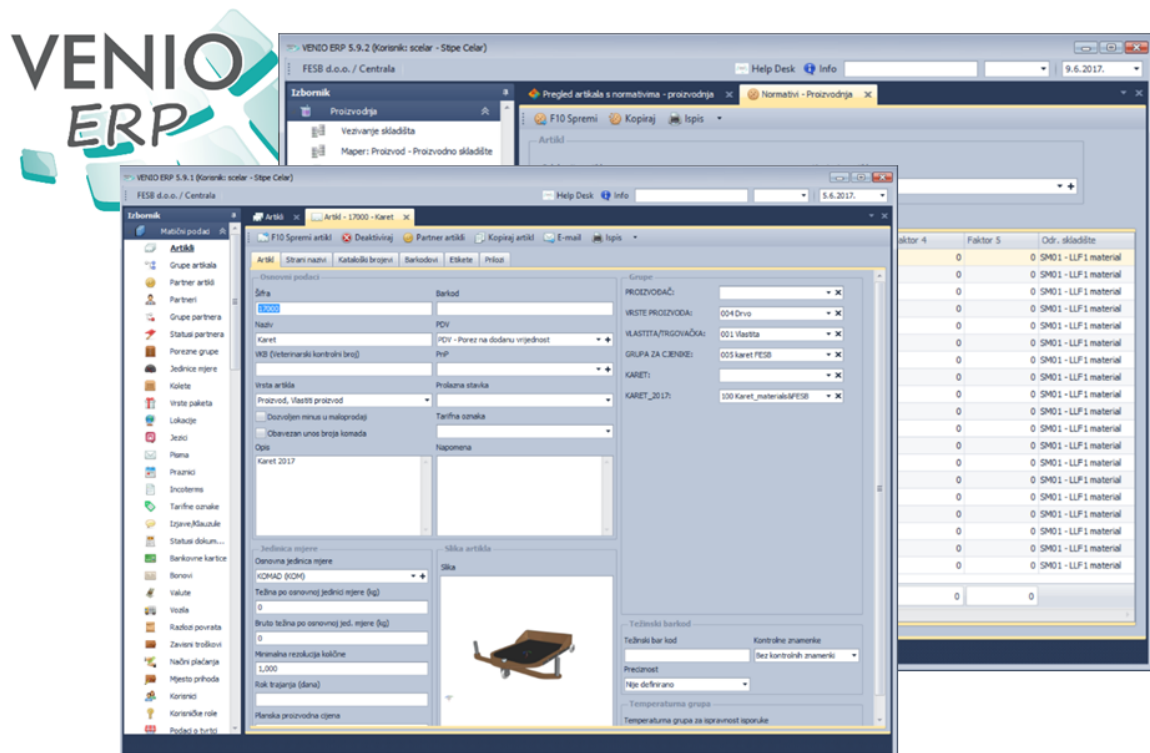
Slika 3.63. Tok cjelokupnog procesa Inteligentne montažne linije



Slika 3.64. Prikaz opreme ugrađene na radnu stanicu za montažu, s pripadajućom razinom unutar proizvodnog sustava

Nadalje, kao ERP sustav na računalni server u laboratoriju instaliran je Venio ERP (Slika 3.65.), u koji su uneseni svi podaci o proizvodu (sastavnica proizvoda, dijelovi na zalihama, itd.). Kao sučelje između radnika i PLC uređaja (HMI) odabran je Windows Tablet povezan sa Java Script web serverom na Siemens-ovom PLC, umjesto standardnog Siemensovog HMI panel. Naime, to je ekonomičnije rješenje, a web server kroz HTML pruža nebrojene mogućnosti kao što su da na sučelju ne mora biti samo sadržaj iz PLC-a, nego istovremeno i podaci s bilo kojeg drugog server, pri čemu su najbitniji podaci s ERP servera. Takva HTML/JavaScript aplikacija može omogućiti pozivanje određenih podataka iz ERP-a (npr. otvoreni radni nalogi), ali može slati podatke u ERP (npr. zatvoriti radni nalog). Nadalje, prednost je što se aplikacija može sinkronizirano prikazivati i na više uređaja (pametni

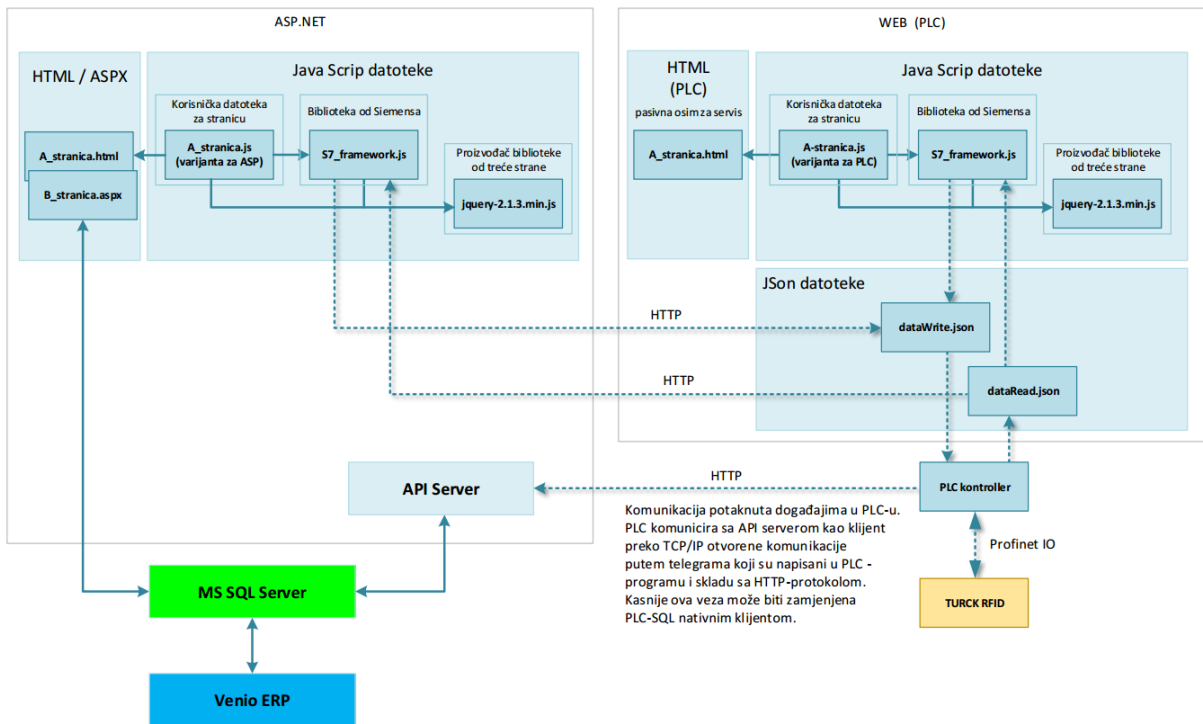
telefon, tablet, PC, TV i dr.), pa bilo tko u poduzeću može u danom trenutku na svom pametnom telefonu provjeriti što se događa u upravljanju proizvodnjom.



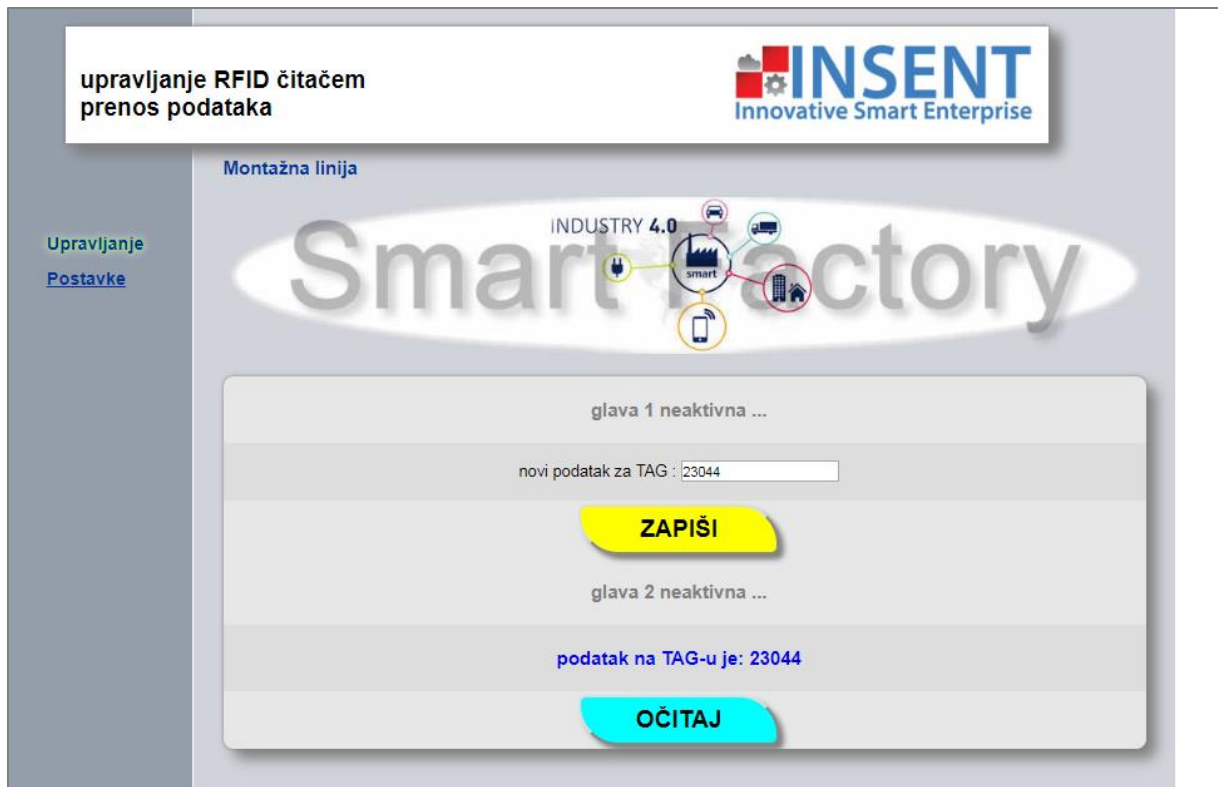
Slika 3.65. ERP sustav Inteligentne montažne linije – VENIO ERP

Shema integracije komunikacija predstavljena na Slici 3.66. predstavlja osnovnu funkcionalnost MES sustava, praćenje proizvoda kroz proizvodni proces, a samim time i evidenciju početka i završetka proizvodnog procesa. Ta evidencija je vrlo bitan, jer na taj način ERP postaje *svjestan* da je određeni radni nalog odrađen, te se može zatvoriti. U suprotnom, sve radne naloge mora *ručno* zatvarati operater ERP sustava.

Pomoću dvije testne Web aplikacije testirana je osmišljena komunikacija. Kao web aplikacija na PLC uređaju koja upravlja RFID sustavom (Slika 3.67.) korištena je HTML/JavaScript aplikacija, a omogućuje uključivanje i isključivanje pojedinih RFID glava, prikaz podataka očitanih s RFID tag-a, te definiranje podataka koji će se zapisati na RFID tag. Kao web aplikacija koja očitava podatke iz VENIO ERP sustava (Slika 3.68.) korištena je ASP.NET aplikacija, a omogućuje očitavanje radnih naloga u određenom vremenskom periodu.



Slika 3.66. Shema integracije mogućih komunikacija između ERP-PLC-RFID sustava



Slika 3.67. Prikaz web aplikacije na PLC uređaju koja upravlja RFID sustavom

Radni nalozi

Odaberi vremensko razdoblje:		lipanj 2017							prosinac 2017						
		pon	uto	sri	čet	pet	sub	ned	pon	uto	sri	čet	pet	sub	ned
		29	30	31	1	2	3	4	27	28	29	30	1	2	3
		5	6	7	8	9	10	11	4	5	6	7	8	9	10
		12	13	14	15	16	17	18	11	12	13	14	15	16	17
		19	20	21	22	23	24	25	18	19	20	21	22	23	24
		26	27	28	29	30	1	2	25	26	27	28	29	30	31
		3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7

Id	Šifra	Datum	Vrijeme	Partner/Skladište	Vezni dokument	Napomena
1308	GP012417000008	27.06.2017	13:48:15	SM01-LLF@FESB material		Select
1309	GP012417000009	08.11.2017	15:42:30	SM01-LLF@FESB material		Select

Id	pozicija	Artikl	Komada	Količina	Nabavna cijena	Iznos nabavni	Lot broj
1309	1	Drive modul	0,000	3,000	-42,6679	-128,0037	000009
1309	2	Stražnji nosač	0,000	-3,000	7,6191	-22,8573	
1309	3	Inbus vijak M8x60	0,000	-6,000	-2,0953	12,5718	
1309	4	Samokočna matica M8	0,000	-6,000	-1,0477	6,2862	
1309	5	Podloška za M8	0,000	-6,000	-1,0477	6,2862	
1309	6	Kotač 100	0,000	-6,000	-15,7143	94,2858	
1309	7	Kuglični ležaj 7x22x7	0,000	-12,000	-1,0477	12,5724	
1309	8	Distancer između ležajeva	0,000	-6,000	-1,0477	6,2862	
1309	9	Samokočna matica M6	0,000	-6,000	-1,0477	6,2862	

Slika 3.68. Prikaz Web aplikacije koja očitava podatke iz VENIO ERP sustava

3.6.3. Zaključak i daljnji razvoj

Cilj izrade ove Inteligentne montažne linije je bio demonstrirati vertikalnu integraciju proizvodnog sustava u svrhu postizanja transparentne i efikasne proizvodnje. Može se zaključiti da je cilj postignut, a sami postupak prikazane vertikalne integracije pokazuje da nije riječ o nečem suviše zahtjevnom, uz uvjet da se sve konceptualno posloži na pravi način, posebno kad je riječ o komunikaciji.

Daljnji razvoj ove Inteligentne montažne linije ide u stvaranja tzv. *dashboard* sučelja za praćenje proizvodnog procesa uživo, jer sada su sve komunikacijske pretpostavke ostvarene. Konkretno to znači da će se postojeći TV uređaj u laboratoriju koristiti za prikaz analitike montažnog procesa, prikazujući parametre, kao što su: vrijeme izrade, broj otvorenih radnih naloga, broj završenih radnih naloga, itd.

3.7. Tvornica za učenje na Fakultetu strojarstva, računarstva i elektrotehnike - FSRE u Mostaru

3.7.1. Koncept *Learning Factory* na FSRE-u

Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike (FSRE) Sveučilišta u Mostaru je pokrenuo projekt FSRE Tvornice za učenje – FSRE *Learning factory*, a na osnovu dosadašnjih iskustava iz suradnje s fakultetima iz regije, a prvenstveno s FESB-om, te na osnovu potrebe tržišta za različitim načinom izvođenja nastave na Fakultetu.

U sklopu projekta *Povećanje konkurentnosti malih i srednjih poduzeća kroz stvaranje udruženja poduzeća i uspostavljanje tvornice za učenje – Learning Factory*, sufinanciranog od strane Europske Unije i implementiranog od strane GIZ-a, FSRE ima mogućnost, odnosno dobio je određeno sredstva, za razvijanje koncepta Tvornice za učenje na FSRE u prostorijama radionice.

U ovom projektu FSRE je voditelj, a partneri su devet lokalnih poduzeća iz metalne i plastične industrije (SIK d.o.o. Mostar, Škutor d.o.o. Mostar, TT Kabeli d.o.o. Široki Brijeg, TEM Mandeks d.o.o. Široki Brijeg, Feal d.o.o. Široki Brijeg, Bilton d.o.o. Grude, Weltplast d.o.o. Posušje, Miviko d.o.o. Posušje i Femis d.o.o. Posušje), grad Široki Brijeg i općina Posušje.

Uloga fakulteta u projektu, pored same uloge vodećeg aplikanta, je realizacija koncepta Tvornice za učenje uz suradnju s poduzećima, te izrada nastavnih planova i programa i podrška poduzećima u području edukacije i istraživanja. Uloga poduzeća u projektu je doprinos u izgradnji nastavnih planova i programa cjeloživotnog učenja, kao i prijenos znanja u području praktične edukacije u Tvornici za učenje. Uloga lokalne zajednice je podrška izgradnji infrastrukture, poticanje bolje suradnje između akademske zajednice i malih i srednjih poduzeća, ali i povećanje svijesti o inovacijama među građanima kroz aktivnosti i radionice na projektu. FSRE se u trenutku pisanja ovog teksta nalazi u fazi definiranja proizvoda i proizvodnog procesa za FSRE Tvornicu za učenje.

3.7.2. Opis problema

Kroz prethodne projekte realizirane u regiji i provedene analize u okviru tih projekata je vrlo često ukazivano na nekoliko problema koji su predmet i ovog projekta.

1. Problem nepostojanja formalnog oblika udruživanja poduzeća metalnog sektora na području Hercegovine.
2. Nedostatak seminara, predavanja i radionica u različitim područjima ovisno od zajedničkih potreba svih poduzeća sektora metala.
3. Nedovoljna praktična znanja studenata koji završavaju fakultete.

Područje djelovanja projekta i projektne ideje je suradnja javnog i privatnog sektora za unaprijeđenje konkurentnosti, inovativnosti i inovativnih pristupa u privatnom sektoru. Ovim se osigurala potrebna infrastruktura i suradnja privatnog i javnog sektora na zajedničkom rješavanju navedenih problema, a u cilju postizanja rezultata u zajedničkom interesu kako poduzeća tako i Sveučilišta u Mostaru i lokalne zajednice.

3.7.3. Cilj projekta

Jačanje konkurentnosti, a time i održivo povećanje zapošljavanja iziskuje suradnju svih razina vlasti u prihvaćanju europskih normi, čime se istodobno doprinosi unaprijeđenju unutarnjeg ekonomskog prostora, te ulasku u regionalne i europske ekonomske tokove. Situacija u razvijenim zemljama je takva, da je evidentna *tranzicija* znanstveno-istraživačkih sustava prema novom modelu *proizvodnje znanja*, koji podrazumijeva heterogenost, interdisciplinarnost i umrežavanje, s naglaskom na kooperativna istraživanja u suradnji znanosti i gospodarstva. U središte istraživačke i tehnološke politike dolazi inovacija, a napori se usmjeruju prema uspješnom iskorištavanju i komercijalizaciji znanja i rezultata istraživanja u proizvodnom sektoru.

Cilj projekta je stvaranje infrastrukture za suradnju poduzeća (formalno udruživanje poduzeća sa definiranjem misije, vizije i strategije) i izgradnju inovativne infrastrukture za edukaciju istraživanje i inovacije koja bi bila na raspolaganju za djelatnike poduzeća i studenata fakulteta (Tvornica za učenje). Ove aktivnosti će se realizirati kroz prijenos znanja i iskustava s poduzećima, institutima i sveučilištima iz regije.

3.7.4. Analiza postojećeg stanja i faze razvoja Tvornice za učenje na FSRE

Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike u Mostaru raspolaže dijelom infrastrukture za realizaciju koncepta *Learning Factory* (Tvornica za učenje). Kroz projekt *Povećanje konkurentnosti poduzeća u metalnom sektoru kroz uvođenje Lean alata i osnivanjem Centra za kompetencije iz leana* biti će izgrađen dio infrastrukture za područje *leana*. Jedan od dodatnih ciljeva ovog projekta je uspostavljanje osnovnog koncepta Tvornice za učenje na FSRE uz maksimalno korištenje postojeće opreme i infrastrukture, a uz suradnju s fakultetima iz Njemačke i Hrvatske, lokalnim poduzećima partnerima na projektu i lokalnom zajednicom. Realizacijom ovog projekta bi se postavila platforma i početni preduvjeti za zajedničko djelovanje na polju edukacije, istraživanja i treninga u realnom okruženju.

Trenutno stanje u vezi strojeva na FSRE-e nije na zadovoljavajućoj razini, većina strojeva su stari preko 50 godina ili nisu u funkciji. Planira se otpis nepotrebnih strojeva, te one koji su još u funkciji dovesti u najbolje moguće stanje. Površina prostora radionice je cca 250 m².

Na Slici 3.69. i Slici 3.70. prikazane su fotografije trenutnog stanja u radionici i nekih strojeva u radionici.



Slika 3.69. Fotografije trenutnog stanja u radionici



Slika 3.70. Prikaz stanja nekih strojeva u radionici

U trenutku pisanja ovog teksta počeli su građevinski radovi na objektu radionice (fasada, otvori, vrata, podovi i sl.). Također se radi na rashodovanju nepotrebnih strojeva, te analizi novog layouta.

Planirano je koristiti neki od softvera za izradu unutarnjeg layouta tvornice (*visTable*, *Autodesk*, *CATIA* i sl.).

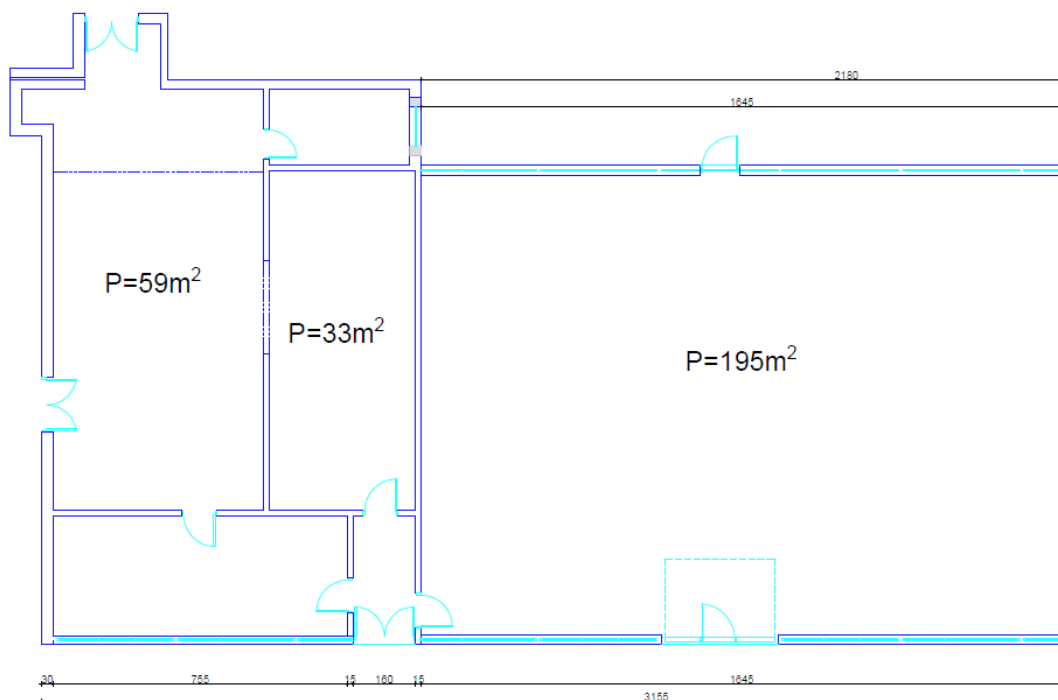
Na Slici 3.71. i Slici 3.72. može se vidjeti trenutno stanje radionice izvana i budući izgled radionice nakon radova, dok Slika 3.73. prikazuje layout radionice.



Slika 3.71. Trenutni izgled radionice s vanjske strane

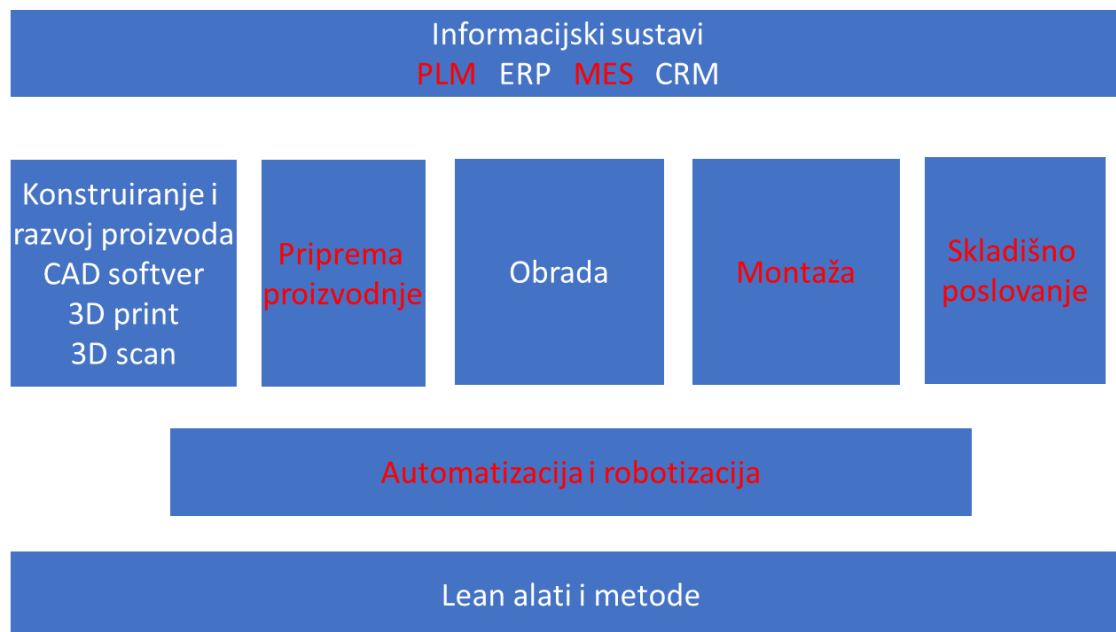


Slika 3.72. Budući izgled radionice



Slika 3.73. Tlocrt radionice

FSRE, pored opreme i prostora kao početnih preduvjeta za Tvornicu za učenje, posjeduje i određenu infrastrukturu koja se može uklopiti u čitav koncept. Struktura FSRE Tvornice za učenje prikazna je na Slici 3.74.



Slika 3.74. Struktura Tvornica za učenje na FSRE Mostar

FSRE ima znanja i iskustvo, te potrebnu infrastrukturu za funkcioniranje *ERP* i *CRM* poslovnih informacijskih sustava, koji bi bili podrška čitavom konceptu Tvornice za učenje. U sklopu laboratorija za informacijske sustave nalaze se razni senzori, popratna mikroročunala (Arduino, Raspberry Pi i slične izradbe), te *PLC* kontroleri potrebni za automatizaciju procesa.

Fakultet ima dugu tradiciju iz područja konstruiranja i razvoja proizvoda, te potrebna znanja i opremu (CAD softveri, 3D printeri, 3D skener i ostali alati)

Što se tiče obrade (obrada materijala, poluproizvoda i proizvoda), Fakultet zapošljava školovani kadar i određenu opremu za obradu odvajanjem čestica i za obradu zavarivanjem.

Kroz projekt *Povećanje konkurentnosti poduzeća u metalnom sektoru kroz uvođenje Lean alata i osnivanjem Centra za kompetencije iz leana*, na FSRE-u je uspostavljen Centar za *lean* koji se sastoji od ljudi, infrastrukture i nastavnih planova i programa za daljnju edukaciju iz područja *lean* metodologije. Fakultet ima dugogodišnje iskustvo u implementaciji *lean* alata u poduzećima iz regije i jako dobru suradnju s visokoškolskim institucijama i institutima koji se također bave uvođenjem *leana* u poduzeća/organizacije.

Kao što se vidi na Slici 3.74., u cijelom konceptu nedostaju elementi informacijskih sustava (*PLM* i *MES*), priprema proizvodnje, montaža i skladišno poslovanje.

Fakultet planira u sljedeće dvije godine ispraviti navedene nedostatke. U ovom trenutku vodi se proces nabave montažnih mjesta sa samoposlugama (Slika 3.75.), koji će biti opremljeni sa sustavom koji će omogućiti automatizaciju procesa montaže i skladištenja (*Pick by light* sustav – Slika 3.76.). U sklopu ovog projekta je obavljena posjeta ESB Reutlingen Logistik *Lernfabrik*, koji već imaju navedenu opremu, te je izvršena analiza i modelirana radna mjesta i samoposluge za FSRE Tvornica za učenje.

Fakultet već posjeduju određenu opremu (mobilnog robota i *PLC* kontrolere), ali postoji plan i nabaviti robotsku ruku koja će omogućiti automatizaciju procesa proizvodnje

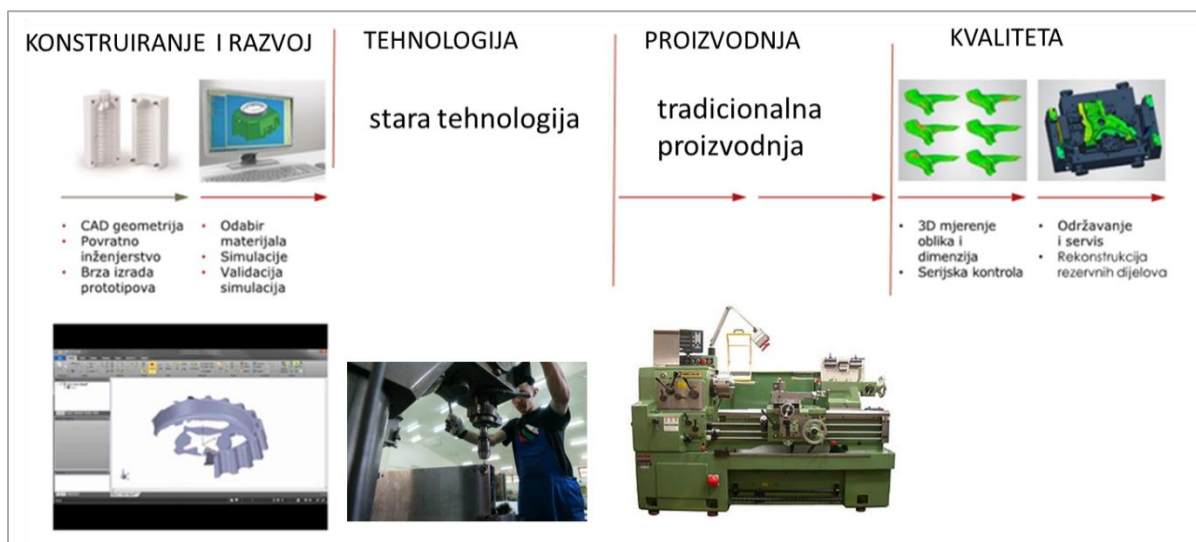


Slika 3.75. Montažna mjesta sa samoposlugama [Ergonomic, 2018]



Slika 3.76. Pick by light sustav [PTL, 2018]

Na Slici 3.77. i Slici 3.78. je prikazan koncept trenutnog i budućeg stanja procesa od razvoja proizvoda, tehnološke pripreme, proizvodnje i osiguranja kvalitete proizvoda Tvornice za učenje na FSRE.



Slika 3.77. FSRE Tvornica za učenje - Postojeće stanje

Na Slici 3.77. je prikazano postojeće stanje na FSRE. Trenutno se koriste alati (softver) za konstrukciju i razvoj proizvoda. Tehnologija koja koristi je većinom zastarjela, kao i strojevi, na kojima je moguće izvršavati samo tradicionalnu proizvodnju. Što se tiče kontrole kvalitete, tu trenutno ne postoji adekvatna oprema niti mogućnosti.



Slika 3.78. FSRE Tvornica za učenje - Buduće stanje

U sklopu planiranog drugog projekta, FSRE će dobiti opremu za mjeriteljstvo, čime bi se upotpunio čitav koncept od projektiranja, izrade tehnologije, proizvodnje i na kraju kontrola kvalitete.

3.7.5. Proizvod Tvornice za učenje na FSRE

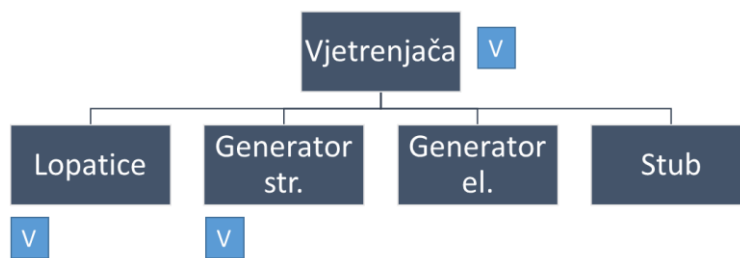
FSRE se nalazi u fazi odabir proizvoda i procesa koji bi se radio unutar Tvornice za učenje. Budući da je projekt *Povećanje konkurentnosti poduzeća u metalnom sektoru kroz uvođenje Lean alata i osnivanjem Centra za kompetencije iz leana vremenski ograničeni*, donesena je odluka da se u prvoj fazi razvije tzv. demo proizvod, model mini vjetrenjače.

Na Slici 3.79. nalazi se demo proizvod vjetrenjače, koji se može izraditi u različitim konfiguracijama, ovisno o potrebama kupca. Fakultet posjeduje sastavne dijelove za navedeni proizvod i određene edukacijske materijale.



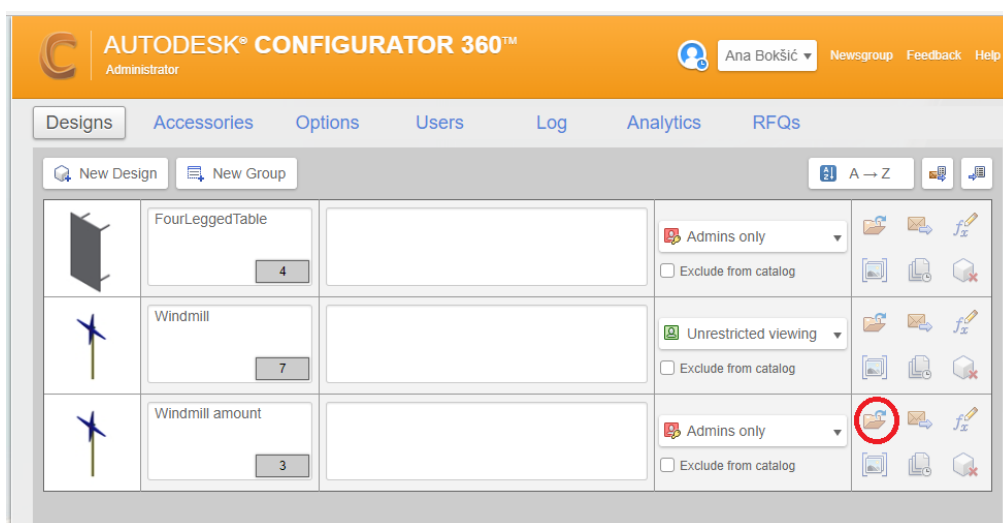
Slika 3.79. Izgled demo proizvoda – vjetrenjača

Planirano je razvijati proizvod s različitim konfiguracijama, različitim verzijama lopatica i generatora za struju, u cilju dizajna većeg broja konfiguracija (Slika 3.80.). Plan je koristiti *Autodesk 360 Configurator* za dizajn različitih konfiguracija proizvoda, a na osnovu prethodno zadanih karakteristika. Kupac bi imao mogućnost sam izabrati konfiguracije putem *web* sučelja.



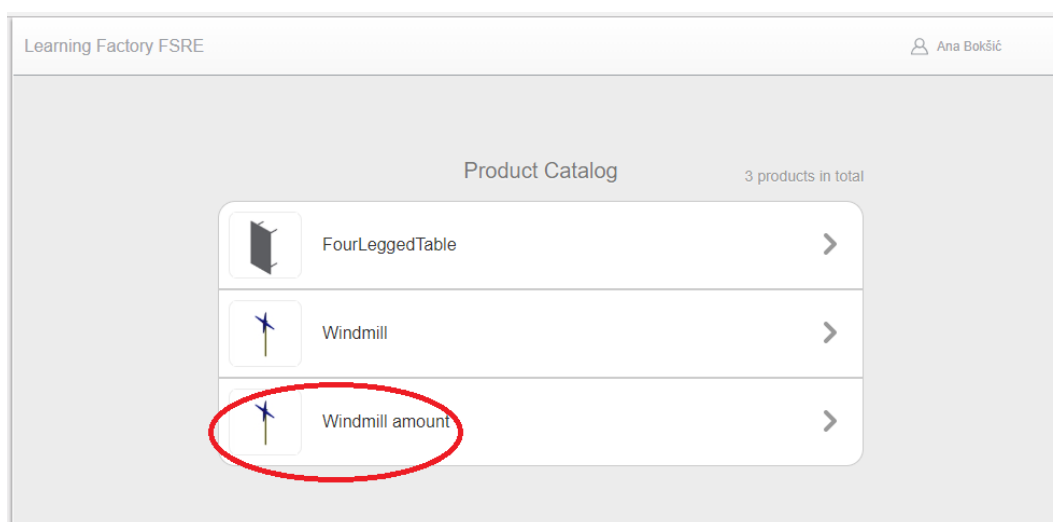
Slika 3.80. Konfiguracija demo proizvoda

Pri logiranju na softver *Autodesk Configurator 360*, administrator ima mogućnost *uploadati* svoj dizajne, mijenjati njihove karakteristike, te izrađivati kataloge proizvoda i slati ih potencijalnim kupcima (Slika 3.81.).



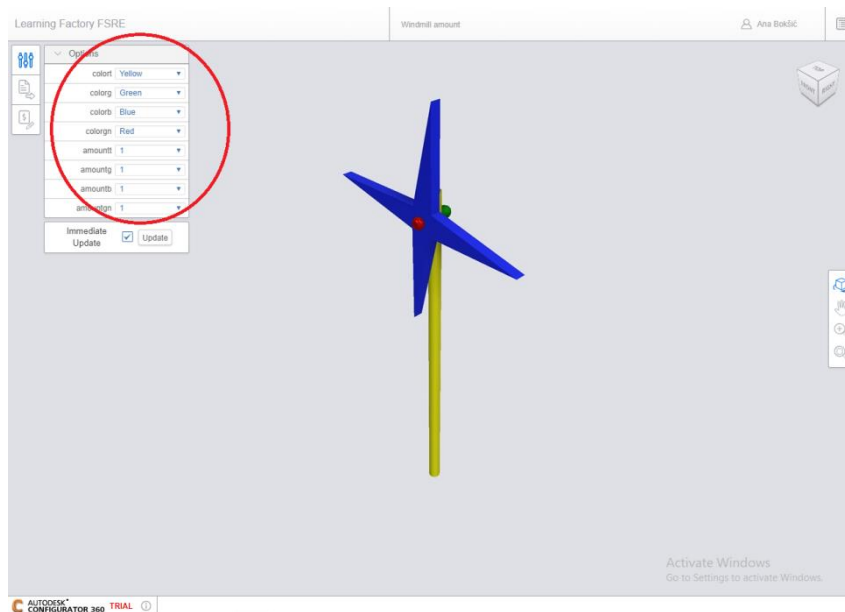
Slika 3.81. Panel administratora konfiguratora

Kupac, nakon što dobije *link*, pomoću njega pristupa katalogu proizvoda i bira onaj koji želi konfigurirati prema svojim potrebama (Slika 3.82.).



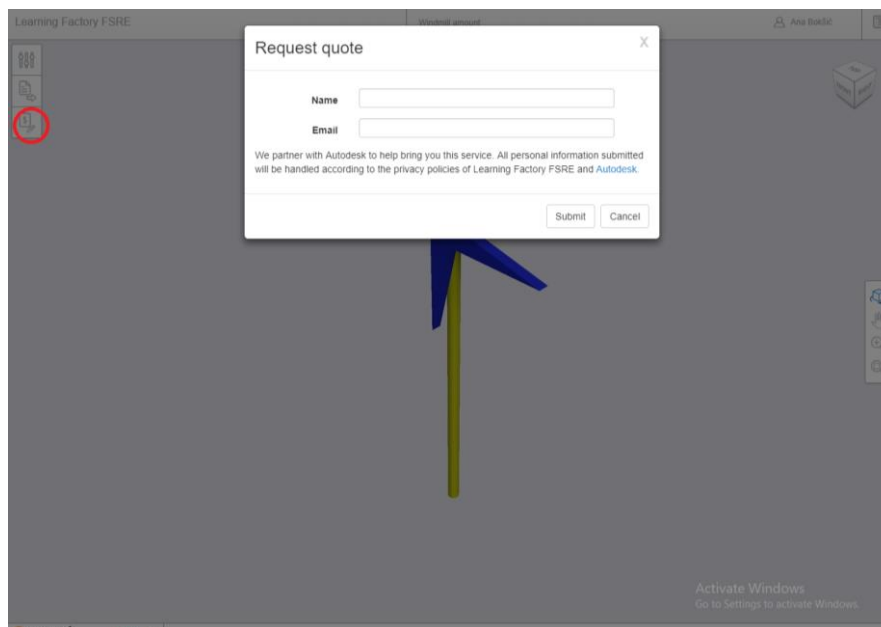
Slika 3.82. Katalog proizvoda dostupan kupcima

Otvora se 3D model proizvoda i u izborniku s lijeve strane se bira dugme s parametrima (*Options*), te određuje željene verzije stupa, lopatica, generatora, te broj pojedinih dijelova (Slika 3.83.).



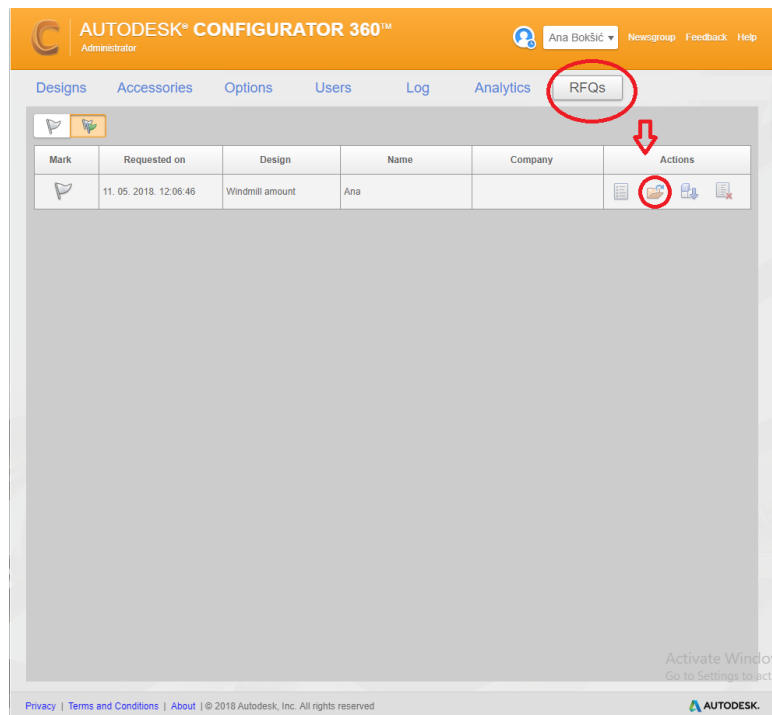
Slika 3.83. Odabir parametara proizvoda

Nakon što je odabran svoj model, bira se dugme za slanje zahtjeva (*Request quote*), ispunjavaju podaci i šalje se zahtjev proizvođaču (Slika 3.84.).



Slika 3.84. Slanje zahtjeva za proizvodnju

Zahtjev kupca stiže administratoru, koji u prozoru za pregled zahtjeva (*RFQs*) može izvršiti pregled 3D modela zahtjeva kupca i preuzeti ga u tekstualnom obliku (*PDF*) Slika 3.85.



Slika 3.85. Administrator pregledava zahtjev za proizvodnju

Preuzimanje tekstualnog oblika vrši se na dugme Izlazi → zahtjev (*Outputs* → *quotation*) (Slika 3.86.).

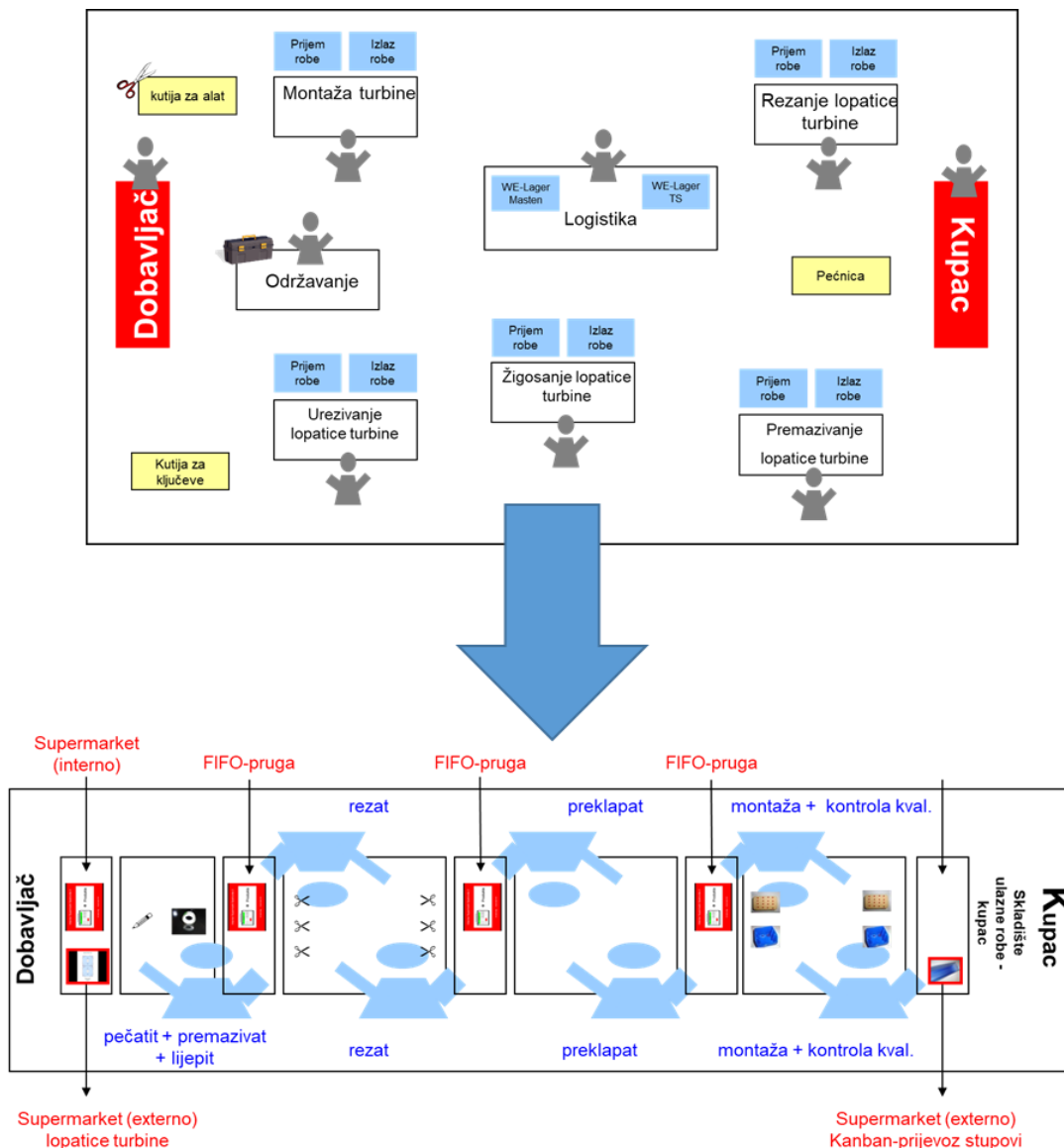


Slika 3.86. Generiranje zahtjeva za proizvodnju

Zahtjev za proizvodnju se generira u obliku *PDF* dokumenta ili po potrebi u drugim formatima (*CSV*; *txt* i sl.).

Planirano je korištenje *ERP* sustava za planiranje i upravljanje proizvodnjom i uz integraciju s konfiguratorom proizvoda i *CAD* softverom. *CRM* sustav će se integrirati s *ERP* sustavom.

Za navedeni proizvod Fakultet je pripremio određene edukacijske materijale za primjenu *lean* alata u procesu proizvodnje vjetrenjače. Na Slici 3.87. se vidi reinženjering procesa proizvodnje vjetrenjače koristeći različite *lean* alate (*Just in time*, *5S*, *lean* inženjering i dr.).



Slika 3.87. Prikaz moguće promjene layouta primjenom različitih *lean* alata

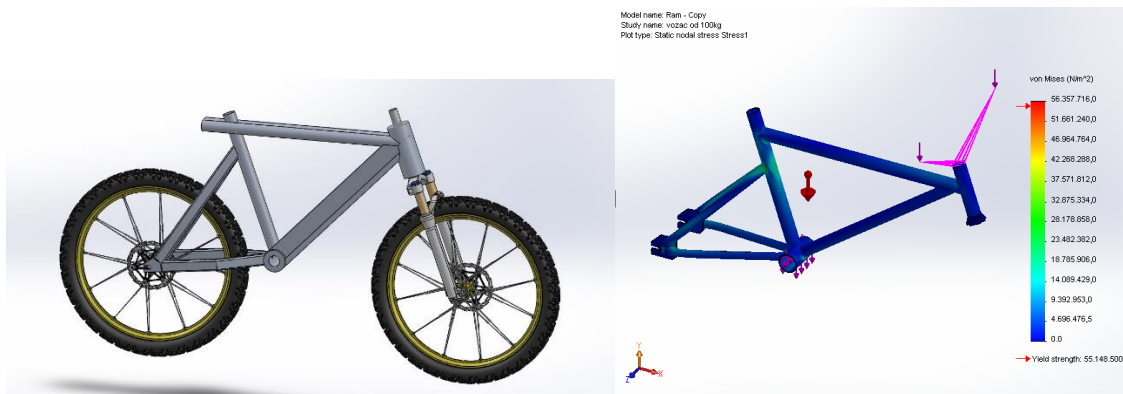
Nakon razvijanja koncepta demo proizvoda, plan je započeti s razvojem koncepta stvarnog proizvoda. To bi se odvijalo u dvije faze:

1. Izrada prototipa stvarnog proizvoda
2. Stvarni proizvod

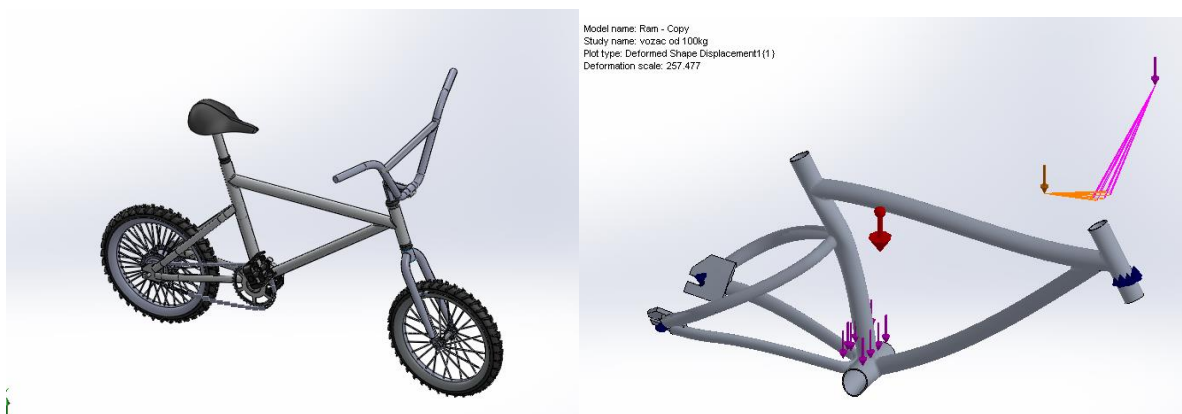
Prva faza (prototip stvarnog proizvoda) uključuje faze konstruiranja i razvoj proizvoda (izrada konstrukcije, proračuna), pripreme za proizvodnju i samu proizvodnju prototipa proizvoda.

Ideja je proizvesti električni bicikl. U vezi toga su već obavljene neke aktivnosti (izrada različitih modela prototipova, proračun, specifikacija potrebne opreme idr.), Slika 3.88. i Slika 3.89.

Na temelju razvijenog proizvoda bi se izradio *curriculum* iz područja razvoja proizvoda uz korištenje odgovarajućih *CAD* alata, iz područja pripreme za proizvodnju, montaže i drugih faza potrebnih za razvoj gotovog proizvoda.



Slika 3.88. 3D model bicikla i proračun opterećenja



Slika 3.89. 3D model bicikla i proračun deformacija

3.7.6. Zaključak

U ovom tekstu je prikazan pregled inicijative Tvornica za učenje na Fakultetu strojarstva, računarstva i elektrotehnike - FSRE Sveučilišta u Mostaru.

Analizirano je postojeće stanje na Fakultetu u pogledu stanja opreme, prostora i infrastrukture. Zaključeno da je stanje nije na zadovoljavajućoj razini, te da je potrebno nabaviti novu opremu kako bi se realizirao koncept Tvornice za učenje. U trenutku pisanja ovog teksta odvijaju se aktivnosti u cilju nabave dijela potrebne opreme. Predstavljen je koncept demo proizvoda i prijedlog stvarnog proizvoda.

U daljnjim koracima planira se organizacija radionica i sastanaka s partnerima iz ESB Reutlingen, FESB Split i poduzećima partnerima u projektu, gdje će se dalje razrađivati koncept FSRE Tvornice za učenje. Također su planirane posjete Tvornicama za učenje u Njemačkoj (Bochum, Friedberg i Darmstadt), te u Hrvatskoj (FESB Split), čime bi se osigurao transfer iskustava i znanja iz već razvijenih koncepata, ali i ostvarile veze za moguću buduću suradnju.

3.8. Studije slučaja uvođenja HR-ISE modela

3.8.1. Končar - Energetski transformatori d.d. (engl. Končar Power Transformers – KPT)

Proizvodnja transformatora započela je 1945. god. u sklopu tvrtke “Rade Končar” u Zagrebu. Danas tvrtka Končar - Energetski transformatori je u mješovitom vlasništvu tvrtki Končar – Elektroindustrija d.d. i Siemens AG. U posljednjih pet godina 96% prihoda tvrtke potječe iz izvoza proizvoda i usluga u više od 90 zemalja u svijetu. Proizvodni program tvrtke sadrži (Slika 3.90.):

- Generatorski transformatori (snage do 1000 MVA, napona do 550 kV)
- Veliki prijenosni transformatori i autotransformatori (snage do 1000 MVA, napona 145 kV do 550 kV)
- Transformatori za istosmjerni prijenos (HVDC), (napona do 550 kV)
- Transformatori za posebne namjene, pećni i ispravljački transformatori, transformatori za željeznice
- Servis i revitalizacija transformatora, korisnička podrška, dijagnostika i održavanje



Generatorski transformatori
snage do 1000 MVA
napona do 550 kV



Veliki prijenosni transformatori i autotransformatori
snage do 1000 MVA
napona 145 kV do 550 kV



Transformatori za istosmjerni prijenos (HVDC)
napona do 550 kV



Transformatori za posebne namjene
pećni i ispravljački transformatori,
transformatori za željeznice

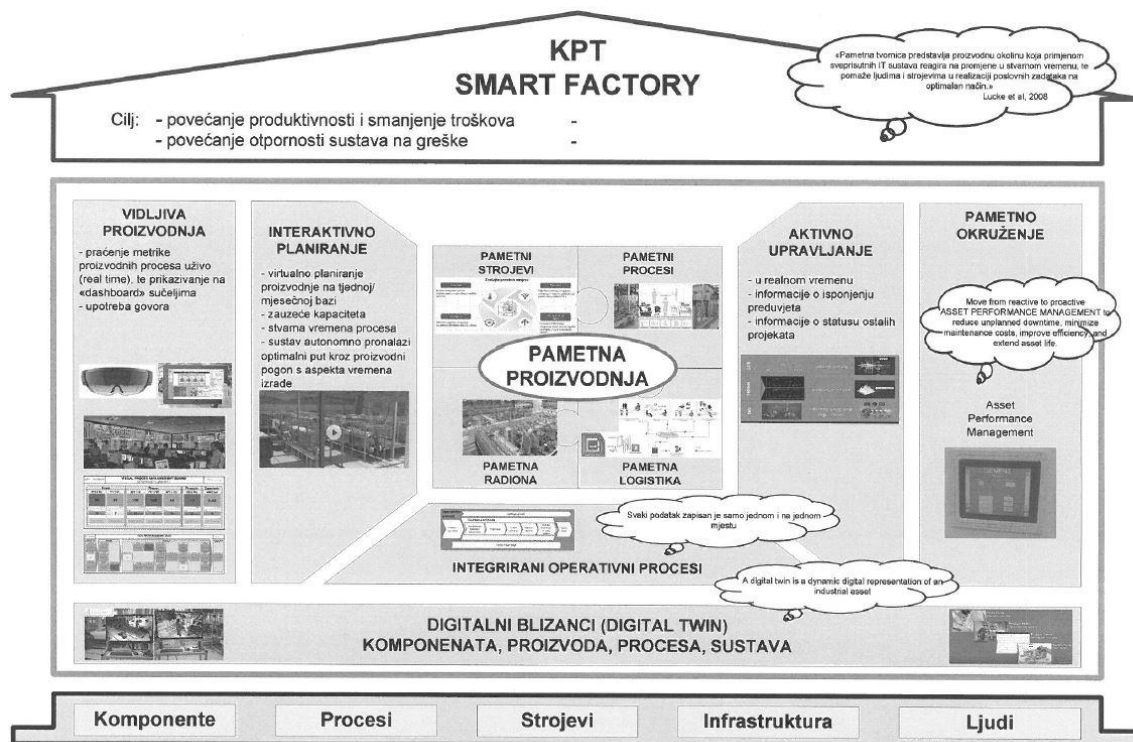


Servis i revitalizacija transformatora
korisnička podrška
dijagnostika i održavanje

Slika 3.90. Proizvodni program tvrtke KPT [KPT, 2017]

Tvrtka kontinuirano ulaže u svoje zaposlenike, njihova znanja i razvija vlastitu sposobnost da odgovori na sve izazove koje donosi tržište na transparentan i održiv način. Glavni cilj je razvijati vještine zaposlenika i njihovo znanje s ciljem ostvarenja bolje produktivnosti i efikasnosti kroz cijeli životni ciklus. Izazovi na globalnom tržištu, kao što je snižavanje cijene proizvoda, porast cijena materijala i sve više konkurencije, se stalno mijenjaju. Mogući odgovor na pritisak promjenjivog tržišta je porast efikasnosti svih operacija unutar tvrtke. Uprava tvrtke KPT je 2011. godine donijela odluku o unaprijeđenjima i promjenama postojećih operacija. Svi zaposlenici su bili uključeni te se od njih zatražilo da prihvate promjene i da ih aktivno podrže. Posebna pažnja je bila usmjerena na promjene ponašanja zaposlenika. Dugi projekt pod naivom *SVE 5* (Sustav visoko učinkovitih procesa proizvodnje energetskih transformatora) je započeo. Projekt se temeljio na primjeni *lean* metodologije i kulture u svim postojećim operacijama. Uključivao je implementaciju metoda i alata kao što su analiza toka, mapiranje procesa, implementacija predloženih unaprijeđenja i sustav nagrađivanja. Općenito u svim koracima fokus je bio na ljudima, jer je potrebno investirati u njihovo znanje i vještine. S druge strane, tvrtka je investirala u razvoj upravljanja životnim ciklusom proizvoda, digitalizaciju u proizvodnom sustavu te automatizaciju. Sve navedeno se

nalazi na Siemensovoj platformi *Team center*. Njihov koncept pametne tvornice je poput HR-ISE modela. Nekoliko radionica je bilo između istraživačke grupe projekta INSENT i KPT zaposlenika. KPT je uveo *lean* alate koji se nalaze u HR-ISE modelu i idući korak je daljnja digitalizacija u proizvodnim procesima. KPT-ov koncept Pametne tvornice prikazan je na Slici 3.91.



Slika 3.91. Strategija za izradu pametne tvornice KPT [Pavić, Zagorec, 2017]

Cijeli proces je bio vrlo uspješan i danas postoji novo stanje s kontinuiranim poboljšanjima. Provedbom svakog područja upravljaju osobe zadužene za implementaciju. Tablica 3.9. prikazuje primjere koji su praćeni i mjereni u jednoj godini u odnosu na prethodnu godinu.

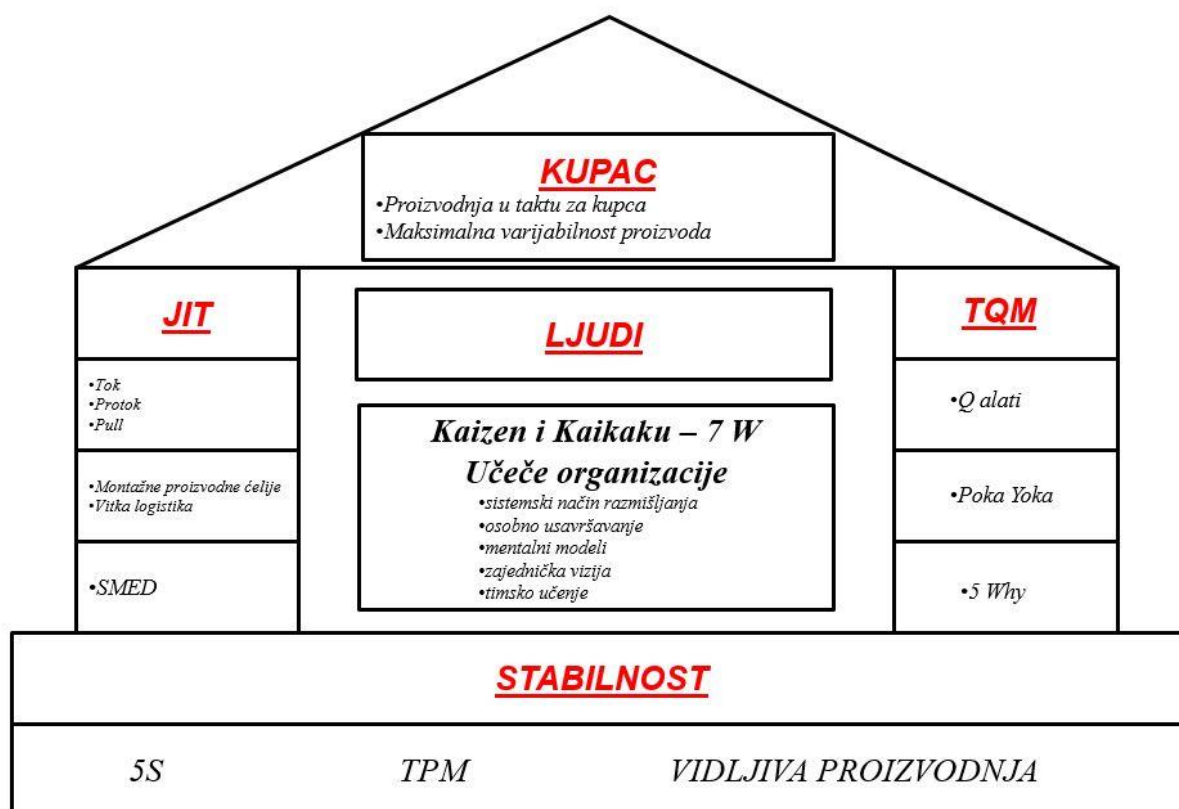
Tablica 3.9. Mjerenja nekoliko aktivnosti kako bi se pokazalo trenutno stanje

Br.	Aktivnost	Mjerna jedinica	Referentna točka	Dugoročni cilj	Srednjoročni cilj (3 godine)	Kratkoročni cilj (1 godina)	Trenutno stanje
1.	Isporuka upravo na vrijeme (JIT)	%	99	99,5	99	98	97,8
2.	Edukacija zaposlenika - Lean	%	100	100	50	30	20
3.	Mapiranje toka vrijednosti	%	100	100	90	85	80
4.	Implementacija Pull sustava	%	100	80	50	30	20
5.	Smanjenje troškova proizvodnje	%	90	85	93	97	100

Ova studija prikazana za tvrtku KPT prikazuje primjer tvrtke koja ide prema Industriji 4.0, prvo kroz *lean* implementaciju, što predstavlja izvrsnu bazu za uvođenje digitalizacije.

3.8.2. Oprema d.d.

Osnovna djelatnost tvrtke Oprema d.d. je proizvodnja rashladne i ventilacijske opreme za kućanstava. Postoje i drugi proizvodi kao što su rashladni uređaji s primarnom proizvodnjom rashladnog sredstva za hlađenje i raspodjelu piva, uređaji za hlađenje i izdavanje bezalkoholnih pića ili vode. Najznačajniji dio proizvodnog asortimana, više od 75%, su uređaji za hlađenje i ispuštanje piva [Oprema, 2017]. Glavni procesi unutar tvrtke Oprema d.d. su proizvodnja, istraživanje i razvoj, konstrukcija, dizajn, razvoj tehnologije, marketing i prodaja. Osnovni cilj je imati proizvode s visokim performansama, kvalitetom i modernim dizajnom. Glavni ciljevi postižu se privlačenjem novih kupaca, kao i čuvanjem starih, što je vidljivo kroz konstantan godišnji rast proizvodnje i prodaje od oko 10%. Tvrtka je na globalnom tržištu dugi niz godina i unutar 5 najvećih proizvođača uređaja za hlađenja i izdavanja pića u svijetu. Za njih je također vrlo važno poboljšati znanje svih zaposlenika [Crnjac, Mladineo, Veža, 2017]. Temeljni prioriteti tvrtke su poboljšanja i rad na uklanjanju gubitaka procesa. Razvijen je model poput HR-ISE modela, za provedbu *lean* metodologije, prikazan je na Slici 3.92.



Slika 3.92. Model za unaprijeđenja unutar tvrtke Oprema d.d.

Tvrtka se usredotočuje na zadovoljstvo kupaca analizom potreba kupaca i analizom tržišta. Podržava inovacije posebno na razvoju pametnog i energetski učinkovitog proizvoda. Također potiče *lean* implementaciju u proizvodnim procesima. Započela je *lean* implementacija, te će se mjeriti realizacija planiranih aktivnosti, kako bi se vidjela realizacija

modela. Model HR-ISE je djelomično ostvaren i potrebno je održati ovaj model u proizvodnji, ali i u drugim procesima unutar tvrtke. Njihovi novi planovi usmjereni su na digitalizaciju proizvodne linije i drugih koraka prema Industriji 4.0.

3.8.3. Zaključak

Predstavljene su dvije studije slučaja tvrtki koje su veoma uspješne na globalnom tržištu. One žele slijediti nove trendove i ulažu napore kako bi se kretale prema Industriji 4.0. Svi rezultati istraživanja vezanih za HR-ISE model su temeljeni na istraživanjima trenutnih potreba hrvatskih tvrtki. Razmatrajući primjenu modela HR-ISE u ove dvije tvrtke, može se uočiti da je moguće uvesti ovaj model, ali ga je potrebno učiniti održivim. Najbolji način je educirati zaposlenike o *lean* metodologiji i digitalnim vještinama, te stvoriti pozitivan stav prema cijelom procesu uvođenja HR-ISE modela. Smisljeno uvođenje modela HR-ISE predstavlja za većinu tvrtki vrlo veliki izazov, ali na primjerima je vidljivo da je ostvarivo.

3.9. Literatura

Abdel H., El Hofy G. (2005) *Advanced Machining Processes*, McGraw-Hill.

Abele E., Cachay J. (eds.) (2011), :*Proceedings of the 1st. Conference on Learning Factories, CiP, Learning Factory CiP at the Technische Universität Darmstadt ; Darmstadt*

Additively (2015-1) s Interneta, <https://www.additively.com/en/learn-about/stereolithography>, 2.2.2015.

Additively (2015-2) s Interneta, <https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting>, 5.2.2015.

Additively (2015-3) s Interneta, <https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling>, 7.2.2015.

Bilić B. (2017-1) *Studij rada i vremena; Metode za određivanje vremena izrade*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, predavanja s e-learning portal,

Bilić B. (2017-2) *Studij rada i vremena (formule, dijagrami, obrasci)* Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, predavanja s e-learning portala

Borojevic S., Jovisevic V., Jokanovic S. (2009) *Modeling, simulation and optimization of process planning*. *Journal of Production Engineering*, 12(1), str. 87-90.

Bracht U., Masurat T. (2005) *The Digital Factory between vision and reality*. *Computers in Industry*, 56(4), str. 325-333.

Crnjac M., Mladineo M. Veža I. (2017) *The Croatian model of innovative smart enterprise (HR-ISE model)*, CIM 2017. Zadar. str. 81-88.

Čotić M. (2016) *Izrada grafa prethodnosti i montažnih crteža složenog proizvoda*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, završni rad

Deloitte (2017)

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-digital-twin-technology-en-171215.pdf>

Ergonomic (2018) Ergonomic Pivoting Flow Rack - YouTube. [Online]. s Interneta <https://www.youtube.com/watch?v=59k7LuamSY4>. 16.05.2018.

Etzkowitz H. (2002) The Triple Helix of University-Industry-Government: Implications for Policy and Evolution. Working paper 11.

FESB (2014) s Interneta <https://www.fesb.unist.hr/novosti/252/Odrzana-radionica-u-okviru-projekta-Network-Innovation-Learning-Factories-NIL>

Gebhardt A. (2011) Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, Hanser Verlag, Muenchen.

Gebhardt A., Heotter J.S. (2016) Additive Manufacturing. 3D Printing for Prototyping and Manufacturing, Hanser Gardner Publications.

Gečevska V., Lombardi F., Čuš F., Anišić, Z.; Angelidis D., Veža I., Popovska Vasilevska S., Čosić, P. (2010) PLM-Product Lifecycle Management Strategy for Innovative and Competitive Business Environment, Innovative Production Systems Key to Future Intelligent Manufacturing, Čuš, Franc ; Gečevska, Valentina (ur.). Maribor: Univerza v Mariboru.

Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. (2010) Additive Manufacturing Technologies_Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer Verlag.

Gjeldum N. (2015) Cjeloživotno obrazovanje "LOPEC - Logistics personnel excellence by continuous self-assessment", Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji, Split.

Gjeldum N., Mladineo M., Veža I. (2016) Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory, Procedia CIRP, 54, str. 158-163

Gregor M., Medvecky S., Matuszek J., Stefánik A. (2009) Digital factory. Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems, 3, str. 123-132.

IALF (2017) s interenta <http://www.ialf-online.net/>

integratedconsultants (2016) S Interneta, ICI Integrated Consultants, <http://integratedconsultants.com/img/3dScanner.png>, 13.4.2016.

ISA (2007) International Standard ISA-95, <https://isa-95.com/>, 2017.

Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. (2013) Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Berlin: Heilmeyer und Sernau.

Kamrani A. K., Nasr E. A. (2010) Engineering Design and Rapid Prototyping, Springer Verlag, Berlin.

Koren Y. (2010) The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems. New York: John Wiley & Sons.

KPT (2017) S interneta, <http://kpt.hr/en/>, 20.01.2017.

Krstulović Opara L., Domazet Ž. (2009) 'Dizajn industrijskih proizvoda, skripta, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split.

Kutz M. (2015) Mechanical Engineers Handbook, Volume 2, Design, Instrumentation and Controls, John Wiley & Sons.

Lalit Narayan K., Malikarjuna Rao K., Sarcar, M.M.M. (2008) Computer Aided Design and Manufacturing, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.

Lamancusa J, Jorgensen J, Zayas-Castro J. (1997) The Learning Factory – A new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum. Journal of Engineering Education, 86; str. 103-112.

Manufuture (2004) A vision for 2020, report of the high-level group, http://www.manufuture.org/documents/manufuture_vision_en%5B1%5D.pdf, 29.04.2016.

Mateljak Ž., Mihanović D., Veža I. (2017) Upravljanje proizvodnjom, poglavlje "Suvremeni dizajn i razvoj proizvoda za računalom integriranu proizvodnju", Sveučilište u Splitu, Split.

Meier H, Roy R, Seliger G. (2010) Industrial Product-Service Systems - IPS2. CIRP Annals – Manufacturing Technology; 59; str. 607-627.

Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved, I. (2007) Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, 10, str. 35-38.

Monostori, L. (2014) *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. Procedia CIRP, 17, str. 9-13.

Mourtizis D. (2016) Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing network sin the mass customisation era, published on Springerlink.com.

Mujber T. S., Szecsi T., Hashmi, M. S. (2004) Virtual reality applications in manufacturing process simulation. Journal of materials processing technology, 155, str. 1834-1838.

Müller E., Spanner-Ulmer B. (2006) Vernetzt planen und produzieren VPP 2006. Tagungsband Technische Universität, Kaiserslautern.

Oprema (2017) S interneta, <https://www.oprema.com/>, 28.01.2017.

Pavić D., Zagorec I. (2017) Strategy Industry 4.0. 7. GALP conference, Book of Proceedings, Zagreb, str. 105-108.

Pavlović A., Arsić, S., Todorović M. (2016): Primena softvera flexible line balancing u optimizaciji proizvodne linije kompanije Scs.plus, sa Interneta, http://menadzment.tf.bor.ac.rs/wp-content/uploads/2015/06/1_1_1-12.pdf, 17.4.2016.

Peaklic (2015) s Interneta, <http://peakllc.net/main/3d-printing/colorjet-printing/>, 5.2.2015.

Pilipović A. (2012) Aditivna proizvodnja, Polimeri 33, 3-4, str. 134 – 135, s Interneta, <https://hrcak.srce.hr/file/147943,04.03.2018>.

Piškor, M., Kondić V. (2016) Lean production kao jedan od načina povećanja konkurentnosti Hrvatskih poduzeća na globalnom tržištu, sa Interneta, <http://hrcak.srce.hr/85887>, 17.4.2016.

Plavis (2017) Plavis visTABLE® touch – Factory layout planning software, <http://www.vistable.de>

Proto (2015) s Interneta, <http://proto3000.com/news/2013/12/06/3dprinting/nylon-12-3d-printing-material-fdm-stratasys-canada>, 7.2.2015.

PTL (2018) Pick To Light (PTL) [Online]. s Interenta <https://www.gebhardt-foerdertechnik.de/en/software/order-picking/pick-to-light-ptl/>. 16.05.2018.

Renishaw (2016) s Interneta, RENISHAW, <http://www.renishaw.com/en/software--32075>, 12.4.2016.

Rentzos L, Doukas M, Mavrikios D, Mourtzis D, Chryssolouris G. (2014) Integrating manufacturing education with industrial practice using teaching factory paradigm: A construction equipment application, *Procedia CIRP*, 17; str. 189-194.

Shane S. Q. X., Tu Y. (2011) *Rapid One of a kind Product Development, Strategies, Algorithms and Tools*, Springer Verlag, Berlin.

Siemens (2017) Siemens Technomatix, Technomatix – Software for digital simulation, www.plm.automation.siemens.com/en_us/

Slaus I. (2003) Political Significance of Knowledge in Southeast Europe, *Croatian Medical Journal*, 44; str. 3-19.

Solidfill (2015) s Interneta, <http://solidfill.com/bg/Stereolitografija/#prettyPhoto>, 3.2.2015.

Topčić A., Tufekčić Dž., Cerjaković E. (2012) *Razvoj proizvoda*, OFF SET Štamparija Tuzla.

Um3d (2018) s Interneta, <http://um3d.dc.umich.edu/wp-content/uploads/2015/10/3D-Scanning-Novice.pdf>, 15.03.2018.

Wagner U, Al Geddayy T, El Maraghy H, Müller E. (2014) Product family design for changeable learning factories, *Procedia CIRP*, str. 195-200.

4. ZAKLJUČAK

Projekt HRZZ-1353 Inovativno poduzeće sadržavao je četiri radna paketa.

Cilj Radnog paketa 1. bio je analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća. Na temelju odgovora na upitnik koji je dobiven od 161 hrvatskih industrijskih poduzeća, te posjetima i razgovorima s menadžmentom 30 poduzeća u Republici Hrvatskoj i susjednoj Bosni i Hercegovini, razvijenom originalnom metodologijom došlo se do rezultata da se hrvatska industrijska poduzeća nalaze na razini Industrije 2,15. Ovo predstavlja veliku razliku u odnosu na njemački model Industrije 4.0. Pri tome je zaključeno da se model Industrije 4.0 ne može direktno preslikati na hrvatsku industriju.

Na temelju gornjih postavki zaključeno je da je potrebno razviti originalni hrvatski model pametnog poduzeća, što je bio cilj Radnog paketa 2. Istraživanja na ovom radnom paketu trajala su dvije godine.

U okviru Radnog paketa 2. postignuti su sljedeće rezultati:

- Razvijen je koncept univerzalnog konfiguratora proizvoda i predstavljen je na događanjima *Dani FESB-a 2017.* i na tri održana seminara *Pametna proizvodnja.* U suradnji s IT poduzećem razvijen je i *web* prototip konfiguratora. Ono što je jedan od ključnih zahtjeva za konfigurator proizvoda je svakako robusnost. S jedne strane dizajn proizvoda mora biti robusan, na način da sprječava pojavu nesukladnosti na proizvodu, ali i da sprječava da kupac naruči proizvod čije bi funkcionalne performanse bile vrlo niske kvalitete. S druge pak strane, proizvodni proces mora biti robusan, na način da sprječava bilo kakvu pojavu nesukladnosti u proizvodnom procesu, zbog koje bi kupac mogao dobiti proizvod koji nije naručio ili pak proizvod s greškom. Kao odgovor na ovaj zahtjev, potrebno je imati razvijen sustav za upravljanje nesukladnostima, i to nesukladnostima svake vrste. Najučinkovitije rješenje, koje ujedno prati i trendove Industrije 4.0 je razviti takav sustav u obliku *web* aplikacije, što je i napravljeno.
- Za svako unaprijeđenje proizvodnog sustava i cijelog proizvodnog poduzeća, polazište je razmatranje trenutnog stanja u kojem se nalazi proizvodni sustav. Literatura koja je pretražena, poslužila je kako bi se pronašli strateški programi i načini funkcioniranja uspješnih proizvodnih sustava i utvrdili načini kako postići poboljšanja u manje razvijenim proizvodnim sustavima. Utvrđivanje stanja izvršeno je pomoću upitnika i izravnih kontakata sa direktorima poduzeća. Analiza prikupljenih odgovora od 37 poduzeća pružila je sliku o stvarnom stanju hrvatskih industrijskih poduzeća, što je bila motivacija za kreiranje HR-ISE modela koji se svojim metodama prilagođava specifičnoj organizacijskoj tradiciji, načinu proizvodnje i razine obrazovanja u hrvatskim poduzećima, a sve u cilju poboljšanja. Kao najveći izazov preostaje implementacija HR-ISE modela u stvarnim uvjetima, a već su određene tvrtke započele s procesom implementacije. HR-ISE model je vrlo važan temelj za rad proizvodnog sustava, prema ocjenama ispitanih tvrtki na području Hrvatske. Kako bi bio što jasniji i jednostavniji za implementaciju, model se prilagođava i veličini poduzeća, pa za svaku veličinu postoji

specifičnost u modelu. S obzirom na važnost digitalizacije, HR-ISE model treba biti ugrađen u informacijski sustav kroz razne aplikacije, gdje će se automatizirano prikupljati podaci i dobivati izvještaji kao korisne informacije. Stoga se pripremaju aplikacije, kako bi poduzeća koja su spremna mogla koristiti i HR-ISE model ugrađen u svoj informacijski sustav. U namjeri da se rangiraju hrvatska poduzeća u smislu njihove industrijske zrelosti, odnosno njihove sposobnosti da se što prije uključe u koncept Industrije 4.0, korištene su dvije metode višekriterijalne analize: analitički hijerarhijski proces (*AHP*) i *TOPSIS* metoda. Razmatrajući tri glavne grupe kriterija: tehniku, organizaciju i osoblje kao i petnaest podkriterija 38 hrvatskih poduzeća rangirani su u odnosu na njihov indeks relativne bliskosti izračunat pomoću *TOPSIS* metode.

- Razvijen je VENIO sustav koji omogućuje praćenje stanja poslovnog sustava, te u okviru VENIO sustava realizirano je praćenje procesa proizvodnje prema modelu PLAS modula.
- Analizirane su sve najbitnije metode upravljanja kvalitetom (niz normi ISO 9001, *TQM* i *Six Sigma*), sedam osnovnih alata za kontrolu kvalitete (Ispitni list, Histogram, Pareto-dijagram, Dijagram uzroka i posljedice, Dijagram tijeka, Dijagram rasipanja i Kontrolne karte) i sedam alata za upravljanje i planiranje (Dijagram srodnosti, Dijagram odnosa, Stablo dijagram, Matrični dijagram, Matrica prioriteta, Program procesnog odlučivanja i Mrežni dijagram). Date su smjernice za njihovu primjenu u hrvatskim industrijskim poduzećima.
- Date su preporuke koncepta implementacije *ERP/xRM* sustava kako bi se u što kraćem roku prevladao jaz između trenutnog stupnja razvoja *ERP/xRM* sustava u poduzećima i stanja tehnologije u području *ERP/xRM* sustava.

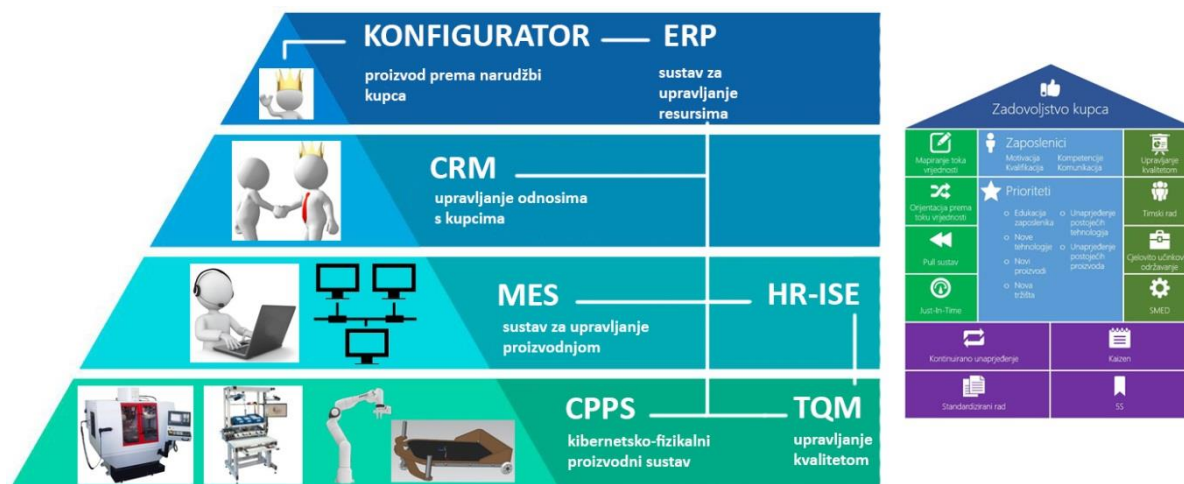
S obzirom na gore navedene rezultate istraživanja definiran je model Inovativnog pametnog poduzeća, koji je prikazan na Slici 4.1.

Na temelju zahtjeva kupca se u konfiguratoru proizvoda generira proizvod preko razvijenog softvera. Razvijeni *CAD* model je povezan s *ERP* sustavom (*Venio*), te se razvija sastavnica proizvoda, tehnologija obrade/montaže, informacije za planiranje i upravljanje proizvodnjom i dr.

U odnosu na postojeće *ERP/MES* sustave u kojima se odvija centralizirano planiranje i upravljanje proizvodnjom [Morlock idr., 2016], razvijeni model sadrži novi koncept planiranja i upravljanja proizvodnjom, koji se odvija izravno do svakog radnog mjesta (obrada, roboti, montažna linija i dr.). Isto tako odvijanje radnog naloga se prati preko *RFID* tehnologije *on-line* na svakom radnom mjestu, što omogućava dobivanje informacija o stanju pojedinog radnog naloga: stupanj gotovosti, kvaliteta i dr.).

Sustav *ERP/MES* je povezan s razvijenim *lean* modelom Inovativnog pametnog poduzeća, koji koristi definirane *lean* i zelene management alate, ciljeve i prioritete.

Da bi cjelokupan proizvodni sustav mogao učinkovito funkcionirati nužno je koristiti model odnosa s kupcima (eng. *CRM – Customer Relationship Management*), te metode upravljanja kvalitetom (npr. *TQM – Total Quality Management*).



Skraćenice:

CPPS – *Cyber-physical Production System (Kibernetско-fizikalni proizvodni sustav)*

CRM – *Customer Relationship Management*

ERP – *Enterprise Production System*

HR-ISE – *Hrvatski model – Innovative Smart Enterprise*

MES – *Manufacturing Execution System*

TQM – *Total Quality Management*

Slika 4.1. Shematski prikaz razvijenog Inovativnog pametnog poduzeća modela

Značajke razvijenog modela su:

- Sinkronizacija poslovnih procesa prema kupcima (**CRM**), smanjenje svih vrsta rasipanja (Toyotinih 8 rasipanja – *waste*) i osiguranje kontinuiranog poboljšanja (*Hoshin Kanri* i *kaizen*) u cilju postizanja održivog razvoja,
- HR-ISE model služi za osiguranje postojećeg i porast konkurentnosti poduzeća na domaćem i svjetskom tržištu,
- Osiguranje kontinuirane promjene mentaliteta osoblja na svim organizacijskim razinama.

U posljednjoj, četvrtoj godini istraživanja završene su dvije aktivnosti na Radnom paketu 3.: razvoj HR-ISE *Learning Factory* (Tvornice za učenje) i primjena razvijenog modela Inovativnog pametnog poduzeća u hrvatska industrijska poduzeća.

Razvoj Tvornice za učenje odvija se na FESB-u već sedam godina i ona je član svjetske *International Association of Learning Factories (IALF)*. U okviru Tvornice odvijaju se aktivnosti u području obrazovanja (studenata i cjeloživotno), znanstvenih istraživanja i suradnje s gospodarstvom. Rezultati istraživanja objavljeni su na europskim konferencijama *Learning Factories*, Tvornica za učenje FESB-a sudjelovala je i u europskom projektu *NIL Network Innovative Learning Factories*. Iz sredstava HRZZ, FESB-a i vlastitom djelatnosti razvijen je respektabilan laboratorije za *CAD/CAM*, *lean* metode, adaptivne tehnologije (skeniranje i 3D printanje, digitalizaciju proizvoda i proizvodnje, te konvencionalnu (mjenjačka kutija) i inteligentnu montažu (vozilo *karet*). Tvornica koja uči na FESB-u ima međunarodnu suradnju s nizom europskih sveučilištima, te sveučilištima iz Japana, Južne Koreje i Brazila.

Posjetima poduzećima Hrvatske (od Dubrovnika do Slavonskog Broda) i Bosne i Hercegovine (od Posušja do Jajca) članovi istraživačkog tima upoznali su odgovorne (CEO i menadžere) s projektom INSENT-1353, kao i s rezultatima istraživanja. Poduzeća su izrazila interes za suradnju i primjenu rezultata istraživanja, posebno hrvatskog modela Inovativnog pametnog poduzeća HR-ISE. U radu su dane osnovne informacije o uvođenju HR-ISE modela u: Oprema d.d. iz Ludbrega, Končar Energetski transformatori d.d. iz Zagreba, a nekoliko poduzeća planira primjenu.

U narednom periodu planira se intenziviranje već započetih aktivnosti na uvođenju VENIO sustava u *Lean Learning Factory* i diseminacija među tvrtkama sudionicima na projektu i šire. U tijeku je također daljnji razvoj *Senzorskog centra* kao i samog VENIO sustava, te uvođenje kolaborativnog robota na inteligentnoj liniji montaže *kareta*.

Literatura:

Morlock F., Wienbruch T., Leineweber S., Kreimeier D., Kuhlenkötter B. (2016), *Industrie 4.0-Transformation für produzierende Unternehmen*. ZWF, 111, 5, str. 1-4.

5. Prilozi

Kazalo slika i tablica

Kazalo slika

Slika 1.1. Razvoj industrijskih revolucija [Acatech, 2013]	1
Slika 1.2. Odnos između udjela industrije u BDP-u i spremnosti na uvođenje Industrije 4.0 europskih država [Berger, 2014]	2
Slika 1.3. Glavni cilj projekta INSENT [Veža, Mladineo, Peko, 2015]	3
Slika 1.4. Udio broja ispitanika koji su ispunili upitnik	4
Slika 1.5. Raspodjela poduzeća koji su dali odgovore prema regijama	5
Slika 1.6. Reprerentativnost uzorka	5
Slika 1.7. Raspodjela odgovora prema veličini poduzeća	6
Slika 1.8. Detaljnija raspodjela odgovora prema veličini poduzeća.....	6
Slika 1.9. Uspješnost tvrtke prema visini godišnjih prihoda	7
Slika 1.10. Vrsta proizvoda u proizvodnom sustavu tvrtke.....	7
Slika 1.11. Rangiranje odgovora	9
Slika 1.12. Pozicioniranje poduzeća prema pojedinim razinama industrije	9
Slika 1.13. Razina industrijske zrelosti za određene segmente proizvodnje i cjelokupne industrije u Hrvatskoj [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016]	11
Slika 1.14. Industrijska zrelost tvrtki	11
Slika 1.15. Upravljanje Kibernetičko-fizikalnim proizvodnim sustavom (CPPS).....	13
Slika 1.16. Paradigme oblikovanja proizvodnih sustava	13
Slika 1.17. Paradigme oblikovanja proizvodnih sustava	14
Slika 1.18. Rezultati ocjene tehnike, organizacije i osoblja.....	16
Slika 1.19. Rezultati ocjene tehnike, organizacije i osoblja u postocima.....	16
Slika 1.20. Pitanja i odgovori o PLM sustavu (161 odgovor)	19
Slika 1.21. Pitanja i odgovori o ERP sustavu (161 odgovor)	19
Slika 1.22. Odnos kompleksnosti, opsega prilagodbe i primjene softvera	21
Slika 1.23. Položaj nekih od analiziranih poduzeća s obzirom na industrijsku zrelost tehnike, organizacije i osoblja	22
Slika 1.24. Usklađenost vektora napretka poduzeća s vektorom napretka prema Industriji 4.0	23
Slika 2.1. Promjene proizvodnih paradigmi kroz povijest	26
Slika 2.2. Vizualni prikaz analize web reprezentativnosti proizvodnih poduzeća s istaknuta četiri poduzeća koja imaju web konfigurator proizvoda	28
Slika 2.3. Primjer web konfiguratora izgleda proizvoda.....	29
Slika 2.4. Primjer web konfiguratora svojstava proizvoda	30
Slika 2.5. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod kareta.....	31
Slika 2.6. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod kareta.....	31
Slika 2.7. Unos preferencija određenih svojstava proizvoda kao ulaza web servisa za odabir optimalne konfiguracije proizvoda	34

Slika 2.8. Primjer dekodiranja rezultata (varijanti proizvoda) web servisa za konfiguriranje proizvoda	34
Slika 2.9. Prototip web aplikacije 'Konfigurator proizvoda'	35
Slika 2.10. Odabir proizvoda i količine narudžbe	35
Slika 2.11. Definiranje preferencija kupca.....	36
Slika 2.12. Odabir proizvoda i količine narudžbe	36
Slika 2.13. Administracijsko sučelje aplikacije.....	38
Slika 2.14. Izgled aplikacije na desktop računalu / tabletu i na mobitelu	38
Slika 2.15. Pregled nesukladnosti prema prioritetima	39
Slika 2.16. Prikaz metodologije istraživanja [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016]	40
Slika 2.17. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 1,7.....	41
Slika 2.18. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 3,4.....	41
Slika 2.19. Najveći tehnološki skok sa 2. na 3. industrijsku revoluciju [McKinsey, 2015].....	42
Slika 2.20. Rezultati istraživanja i buduća kretanja	42
Slika 2.21. Primjeri hrvatskih poduzeća u odnosu na veličinu i vrstu proizvodnje	43
Slika 2.22. Hipoteza o postojanju pružatelja i korisnika Industrije 4.0	43
Slika 2.23. Kretanje prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0	44
Slika 2.24. Kretanje korisnika i opskrbljivača	44
Slika 2.25. Budući različiti pristupi prema veličini poduzeća	45
Slika 2.26. Volvo model proizvodnog sustava	46
Slika 2.27. Porsche model proizvodnog sustava	46
Slika 2.28. Lego model proizvodnog sustava	47
Slika 2.29. MAN model proizvodnog sustava.....	47
Slika 2.30. Mercedes model proizvodnog sustava	48
Slika 2.31. Bosch model proizvodnog sustava.....	48
Slika 2.32. XPS – proizvodni sustav za poduzeće X [Netland, 2013]	51
Slika 2.33. Usporedba važnosti odabranih lean alata za hrvatska i globalna poduzeća [Veža, Mladineo, Gjeldum, 2016].....	53
Slika 2.34. Generički model HR-ISE kuće s osnovnim lean alatima definiran kroz istraživanja literature i koraci za detaljnu definiciju modela	54
Slika 2.35. Faze istraživanja za kreiranje HR-ISE modela.....	54
Slika 2.36. Istraživanjem je obuhvaćeno 37 hrvatskih poduzeća	55
Slika 2.37. Različite djelatnosti poduzeća obuhvaćenih istraživanjem	55
Slika 2.38. Broj zaposlenih u poduzećima obuhvaćenim istraživanjem.....	56
Slika 2.39. HR-ISE model.....	63
Slika 2.40. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za veliko poduzeće	64
Slika 2.41. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za srednje poduzeće.....	64
Slika 2.42. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za malo poduzeće	65
Slika 2.43. Implementacija osnovnih elemenata u Kibernetičko-fizičkom proizvodnom sustavu	66
Slika 2.44. Kretanje prema Industriji 4.0	66
Slika 2.45. Primjer automatizacije Lean alata u kontekstu Industrije 4.0 [Kolberg, Zühlke, 2015].....	67

Slika 2.46. HR-ISE model kao skup računalnih aplikacija različite namjene povezanih s jedinstvenim informacijskim sustavom.....	68
Slika 2.47. Primjer web aplikacije za kaizen kao dio informacijskog sustava poduzeća u kontekstu HR-ISE modela	68
Slika 2.48. Hijerarhijski prikaz modela odlučivanja	69
Slika 2.49. Osnovni AHP model s ciljevima, kriterijima i alternativama.....	70
Slika 2.50. Težine glavne grupe kriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017].....	74
Slika 2.51. Hijerarhijski prikaz težina kriterija i podkriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017].....	76
Slika 2.52. Konačne težine podkriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]	76
Slika 2.53. Internet of Things i Internet of Services [Kagerman i dr., 2013]	80
Slika 2.54. Internet of Things and Services – umrežavanje ljudi, objekata i sustava [Kagerman i dr., 2013]	81
Slika 2.55. Horizontalni lanci vrijednosti [Kagerman i dr., 2013]	82
Slika 2.56. Vertikalna integracija IT sustava, od senzora i aktuatora do ERP sustava [Google, 2013].....	82
Slika 2.57. Povezanost CS, ICT i proizvodnih sustava [Monostori i dr., 2016]	84
Slika 2.58. Temeljni i potporni procesi proizvodnih tvrtki	84
Slika 2.59. Uobičajeno stanje informatizacije procesâ u proizvodnim tvrtkama.....	86
Slika 2.60. Kompatibilnost tehnologija i poslovnih segmenata	88
Slika 2.61. Uobičajena okruženje u mnogim tvrtkama	91
Slika 2.62. Kontekstualni model informacijskog sustava za Industriju 4.0	92
Slika 2.63. Konceptualni model informacijskog sustava za Industriju 4.0	93
Slika 2.64. Arhitektura VENIO sustava	94
Slika 2.65. Primjer dijela podataka o artiklu karet u podsustavu Matični podaci.....	95
Slika 2.66. Priložena dokumentacija o artiklu karet u Matičnim podacima (CAD, jpg i dr.)	96
Slika 2.67. Faze proizvodnje u podsustavu Proizvodnja.....	97
Slika 2.68. Dio konfiguratora VENIO sustava	98
Slika 2.69. Konceptualni model PLAS modula	100
Slika 2.70. Najvažniji koncepti za praćenje proizvodnje (ugrađeni u podsustav HRM)	101
Slika 2.71. Arhitektura podsustava 'Proizvodnja' u VENIO sustavu	102
Slika 2.72. Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza materijala (LLF1 material).....	103
Slika 2.73. Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza gotovih proizvoda (LLF1 products)	104
Slika 2.74. Definicija uređaja u podsustavu Senzorski centar	105
Slika 2.75. PDCA ciklus.....	106
Slika 2.76. Sustav upravljanja kvalitetom.....	109
Slika 2.77. Motorolin koncept šest sigma (T = ciljna vrijednost).....	114
Slika 2.78. Postupak provođenja šest sigma	115
Slika 2.79. DMAIC metodologija i PDCA ciklus	115
Slika 2.80. Koraci pri provođenju DMAIC	116
Slika 2.81. Razine kompetencija u šest sigma metodologiji.....	117
Slika 2.82. Ispitni list za mjerljive značajke.....	119
Slika 2.83. Histogram.....	119
Slika 2.84. Pareto-dijagram	120
Slika 2.85. Struktura dijagrama uzroka i posljedice	122

Slika 2.86. Dijagram tijeka završne kontrole kvalitete	124
Slika 2.87. Primjeri dijagrama rasipanja	125
Slika 2.88. Kontrolna karta - primjer	127
Slika 2.89. Kontrolne granice i granice upozorenja na kontrolnoj karti.....	127
Slika 2.90. Dijagram srodnosti.....	129
Slika 2.91. Dijagram odnosa	130
Slika 2.92. Stablo dijagram s matricom procjenjivanja	131
Slika 2.93. Oblici matičnih dijagrama	133
Slika 2.94. Primjer matičnog dijagrama L oblika	134
Slika 2.95. PDPC dijagram.....	136
Slika 2.96. Mrežni dijagram izrađen PDM metodom	138
Slika 2.97. Primjer mrežnog dijagrama i analize vremena metodom PERT	139
Slika 2.98. Informacijske tehnologije u opskrbnom lancu [Dujak, Šantorić, Tomašević, 2011]	142
Slika 2.99. Proizvodna linija.....	143
Slika 2.100. Kontrola proizvodnje proizvodne linije.....	143
Slika 2.101. Razina ERP sustava kontrole proizvodnje proizvodne linije	144
Slika 2.102. Elementi pametne tvornice	144
Slika 3.1. Triple helix model za povezivanje vlade, industrije i sveučilišta.....	161
Slika 3.2. Način povezivanja u Triple helix modelu	163
Slika 3.3. Procesna orijentacija.....	164
Slika 3.4. Koncept Tvornice za učenje diljem svijeta	165
Slika 3.5. Karakteristike Tvornice za učenje [Abele, Cachay, 2011]	166
Slika 3.6. Područja interesa Tvornica za učenje [Abele, Cachay, 2011]	167
Slika 3.7. Tlocrt tvornice za učenje na FESB-u	168
Slika 3.8. 3D model laboratorija u softveru VisTable	168
Slika 3.9. Tipologija Tvornice za učenje na FESB-u	169
Slika 3.10. Koncept Lean Learning Factory na FESB-u.....	170
Slika 3.11. Metodološki alati LOPEC projekta [Gjeldum, 2015]	173
Slika 3.12. Organizacijska shema uvođenja Lean koncepta u gospodarstvo	176
Slika 3.13. Koraci edukacije zaposlenika za uspješnu implementaciju Lean koncepta.....	177
Slika 3.14. Proizvod Tvornice za učenje na FESB-u - karet	178
Slika 3.15. Računalom podržani dizajn proizvoda sa stablom značajki.....	181
Slika 3.16. Prikaz modela rastavljenog na slojeve [Gebhardt, Heotter, 2016]	182
Slika 3.17. Podjela postupaka aditivne proizvodnje [Matelj, Mihanović, Veža, 2017]	182
Slika 3.19. Stereolitografski postupak [Additively, 2015-1]	184
Slika 3.20. Proizvod dobiven stereolitografskim postupkom [Solidfill. 2015]	185
Slika 3.21. Postupak 3D printanja [Additively, 2015-2].....	186
Slika 3.22. Proizvodi dobiveni postupkom 3D printanja [Peaklic, 2015].....	186
Slika 2.23. Postupak taložnog očvršćivanja materijala [Additively, 2015-3; Proto, 2015].....	187
Slika 3.24. Replika komada kulturno povijesne baštine dobivena postupkom taložnog očvršćivanja materijala (lijevo).....	187
Slika 3.25. Kontaktno skeniranje [Renishaw, 2016]	188

Slika 3.26. Princip triangulacije laserske zrake i triangulacijski laserski 3D skener NextEngine [Miler idr., 2007; Integratedconsultants, 2016].....	189
Slika 3.27. Skeniranje komada s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom.....	190
Slika 3.27. Skeniranje komada s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom (nastavak)	190
Slika 3.28. Primjer komada kulturno povijesne baštine (Solinjanka) skeniranog s David SLS 3D skenerom sa strukturiranim svjetlom	190
Slika 3.29. Replika komada kulturno povijesne baštine (Solinjanka) izrađena aditivnim postupkom taložnog očvršćivanja materijala	191
Slika 3.30. Replika komada kulturno povijesne baštine (glava rimskog cara Kaligule) skenirana i izrađena aditivnim postupkom taložnog očvršćivanja materijala.....	191
Slika 3.31. Virtualno inženjerstvo pruža uštede [Manufuture, 2004].....	193
Slika 3.32. Grafički prikaz, 3D model proizvodnog sustava.....	194
Slika 3.33. Program visTABLE, za vizualizaciju i optimizaciju rasporeda proizvodnog sustava [Plavis, 2017]	195
Slika 3.34. Primjer početnog stanja i optimiranog stanja kod kretanja materijala	196
Slika 3.35. Platforma tvrtke Siemens PLM Software, koja pokriva cijeli životni ciklus proizvoda	197
Slika 3.36. Prikaz proizvodnog sustava.....	198
Slika 3.37. Prikaz jedne radne stanice	198
Slika 3.38. Dijagram radne stanice, prikaz trošenja vremena po različitim segmentima (rad, čekanje i ostalo).....	199
Slika 3.39. Prikaz 3D proizvodnog sustava te dijagrama za potrošnju energije.....	199
Slika 3.40. Vanjski izgled mjenjačke kutije	202
Slika 3.41. Unutrašnjost mjenjačke kutije	203
Slika 3.42. Početno stablo izgradnje mjenjačke kutije	204
.....	205
Slika 3.43. Prikaz početne montažne linije.....	205
Slika 3.44. Prikaz promijene vremena montaže s porastom rednog broja komada u seriji ..	206
Slika 3.45. Prikaz aritmetičke sredine i standardnog odstupanja uzorka od aritmetičke sredine prije balansiranja.....	208
Slika 3.46. Prikaz montažne linije nakon poboljšanja	209
Slika 3.47. Prikaz promijene vremena montaže kod rednog broja komada u seriji nakon balansiranja	210
Slika 3.48. Prikaz aritmetičke sredine i standardnog odstupanja uzorka od aritmetičke sredine nakon balansiranja	210
Slika 3.49. Ugradnja zupčanika za mjerenje brzina i nosača ležaja na donje kućište	214
Slika 3.50. Prikaz porasta mase s porastom broja ugrađenih ugradbenih elemenata	215
Slika 3.51. Novo stablo izgradnje mjenjačke kutije.....	215
Slika 3.52. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela prvog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta	216
Slika 3.53. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela prvog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta	217

Slika 3.54. Prikaz ugradbenih elemenata drugog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	217
Slika 3.55. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela trećeg koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	218
Slika 3.56. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela trećeg koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	218
Slika 3.57. Prikaz ugradbenih elemenata prvog dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	219
Slika 3.58. Prikaz ugradbenih elemenata drugog dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	219
Slika 3.59. Prikaz ugradbenih elemenata trećeg dijela četvrtog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	220
Slika 3.60. Prikaz ugradbenih elemenata petog koraka zajedno s njihovim položajem unutar kućišta.....	220
Slika 3.61. Dizajn proizvoda i proizvodnog procesa Inteligentne montažne linije.....	223
Slika 3.62. Dizajn vertikalne integracije Inteligentne montažne linije.....	224
Slika 3.63. Tok cjelokupnog procesa Inteligentne montažne linije.....	225
Slika 3.64. Prikaz opreme ugrađene na radnu stanicu za montažu, s pripadajućom razinom unutar proizvodnog sustava.....	225
Slika 3.65. ERP sustav Inteligentne montažne linije – VENIO ERP.....	226
Slika 3.66. Shema integracije mogućih komunikacija između ERP-PLC-RFID sustava.....	227
Slika 3.67. Prikaz web aplikacije na PLC uređaju koja upravlja RFID sustavom.....	227
Slika 3.68. Prikaz Web aplikacije koja očitava podatke iz VENIO ERP sustava.....	228
Slika 3.69. Fotografije trenutnog stanja u radionici.....	230
Slika 3.70. Prikaz stanja nekih strojeva u radionici.....	231
Slika 3.71. Trenutni izgled radionice s vanjske strane.....	231
Slika 3.72. Budući izgled radionice.....	231
Slika 3.73. Tlocrt radionice.....	232
Slika 3.74. Struktura Tvornica za učenje na FSRE Mostar.....	232
Slika 3.75. Montažna mjesta sa samoposlugama [Ergonomic, 2018].....	233
Slika 3.76. Pick by light sustav [PTL, 2018].....	234
Slika 3.77. FSRE Tvornica za učenje - Postojeće stanje.....	234
Slika 3.78. FSRE Tvornica za učenje - Buduće stanje.....	235
Slika 3.79. Izgled demo proizvoda – vjetrenjača.....	235
Slika 3.80. Konfiguracija demo proizvoda.....	236
Slika 3.81. Panel administratora konfiguratora.....	236
Slika 3.82. Katalog proizvoda dostupan kupcima.....	236
Slika 3.83. Odabir parametara proizvoda.....	237
Slika 3.84. Slanje zahtjeva za proizvodnju.....	237
Slika 3.85. Administrator pregledava zahtjev za proizvodnju.....	238
Slika 3.86. Generiranje zahtjeva za proizvodnju.....	238
Slika 3.87. Prikaz moguće promjene layouta primjenom različitih lean alata.....	239
Slika 3.88. 3D model bicikla i proračun opterećenja.....	240
Slika 3.89. 3D model bicikla i proračun deformacija.....	240

Slika 3.90. Proizvodni program tvrtke KPT [KPT, 2017].....	241
Slika 3.91. Strategija za izradu pametne tvornice KPT [Pavić, Zagorec, 2017]	242
Slika 3.92. Model za unaprijeđenja unutar tvrtke Oprema d.d.	243
Slika 4.1. Shematski prikaz razvijenog Inovativnog pametnog poduzeća modela.....	250

Kazalo tablica

Tablica 1.1. Pitanja u upitniku u odnosu na razine industrije	10
Tablica 1.2. Prosjek ukupne i pojedinačne industrijske zrelosti odabranih poduzeća	23
Tablica 1.3. Usporedba vizije napretka analiziranih poduzeća s napretkom potrebnim za dosegnuti Industriju 4.0	24
Tablica 2.1. Trideset ispitanih tvrtki kroz istraživanja Netlanda [Netland, 2013]	49
Tablica 2.2. Dvanaest lean principa koji su najzastupljeniji među ispitanim tvrtkama [Netland, 2013].....	50
Tablica 2.3. Referentni okvir za XPS temeljen na TPS i literaturi na području lean-a.....	52
Tablica 2.4. Rangiranje značaja lean i zelenih alata prema analizi 176 hrvatskih industrijskih poduzeća [Kovačec, 2015].....	53
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika	57
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	58
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	59
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	60
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	61
Tablica 2.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	62
Tablica 2.6. Saatyeva skala važnosti i njen opis [Saaty, 2005]	71
Tablica 2.7. Geometrijske sredine za glavnu grupu kriterija [Babić, Veža, Banduka, 2017]	74
Tablica 2.8. Geometrijske sredine – Tehnika [Babić, Veža, Banduka, 2017]	75
Tablica 2.9. Geometrijske sredine – Organizacija [Babić, Veža, Banduka, 2017]	75
Tablica 2.10. Geometrijske sredine – Osoblje [Babić, Veža, Banduka, 2017].....	75
Tablica 2.11. Matrica odluke	77
Tablica 2.11. Matrica odluke (nastavak)	78
Tablica 2.12. Konačan poredak dobiven TOPSIS metodom (Babić, Veža & Banduka, 2017)..	79
Tablica 2.13. Razlika između tradicionalnog pristupa i TQM	113
Tablica 2.14. Pokazatelj razine kvalitete kod koncepta šest sigma (Cp - capability ratio, hrv. indeks sposobnosti procesa, ppm - engl. parts per million, hrv. broj nesukladnih jedinica proizvoda na milijun).....	114
Tablica 2.15. Ispitni list za atributivne značajke	118
Tablica 2.16. Osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka	123
Tablica 2.17. Matrica prioriteta.....	135
Tablica 2.18. Načela upravljanja kvalitetom prema ispitanim tvrtkama	141
Tablica 2.19. Prikaz rasporeda kutija po polici/samoposluzi	154
Tablica 3.1. Vremena procesa montaže prije postupka balansiranja	206
Tablica 3.2. Iznosi aritmetičkih sredina, standardnih devijacija, te postotka varijabilnosti prije balansiranja	207
Tablica 3.3. Prikaz dobivenih vremena nakon postupka balansiranja	209

Tablica 3.4. Iznosi aritmetičkih sredina, standardnih devijacija, te postotka varijabilnosti nakon balansiranja	210
Tablica 3.5. Koeficijenti stabilizacije radnih mjesta	211
Tablica 3.6. Potrebni broj snimaka (očitanja) n [Bilić, 2017-2]	212
Tablica 3.7. Dobiveni rezultati potrebnog broja snimaka (n).....	212
Tablica 3.8. Veličine masa i broj ugradbenih elemenata na pojedinim radnim stanicama ...	214
Tablica 3.9. Mjerenja nekoliko aktivnosti kako bi se pokazalo trenutno stanje	242

Popis oznaka i kratica

7MT - Seven Management Tools (Sedam upravljačkih alata)
7QCT - Seven Basic Tools of Quality (Sedam osnovnih alata za kvalitetu)
A⁺ - Idealna alternativa
A⁻ - Antiidealna alternativa
AHP – Analytic Hierarchy Process (Analitički hijerarhijski proces)
AQL - Acceptable Quality Limit (Prihvatljiva granica kvalitete)
ARIS – Express Free Modeling Software (Software za modeliranje)
CI - Indeks konzistencije
CL – Central Line (Centralna linija)
CNC – Computer Numerical Control (Numerička kontrola računalom)
CPM - Critical Path Method (Metoda kritičnog puta)
CPPS – Cyber-physical Production System (Kibernetičko-fizikalni proizvodni sustav)
C_p – capability ratio (indeks sposobnosti)
CR - Omjer konzistencije
CRM – Customer Relationship Management (Upravljanje odnosima s kupcima)
D - Matrica odluke
DMADV - Define, Measure, Analyze, Design, Verify (Definirati, Izmjeriti, Analizirati, Provjeriti)
DMAIC - Define, Measure, Analyze, Improve and Control (Definirati, Izmjeriti, Analizirati, Pobojšati i Kontrolirati)
DPMO - Defects per Million Opportunities (Broj pogrešaka na milijun mogućnosti/prigoda)
EDI – Electronic Data Interchange (Elektronička razmjena podataka)
EIS – Enterprise Information Systems (Informacijski sustav poduzeća)
ERP - Enterprise Resource Planning (Planiranje poslovnih resursa)
FMEA - Failure Mode and Effects Analysis (Analiza utjecaja i posljedica pogrešaka)
HR-ISE – Croatian Innovative Smart Enterprise (Hrvatsko inovativno pametno poduzeće)
HUMANT – HUMANT (HUMANoid ANT)
ICT - Information and Communications Technology (Informacijska i komunikacijska tehnologija)
INSENT - Innovative Smart Enterprise (Inovativno pametno poduzeće)
JIT – Just in Time (Upravo na vrijeme)
LCL – Lower Control Limit (Donja granica kontrole)
M – mrav
m - najvjerojatnije vrijeme trajanja aktivnosti
MES - Manufacturing Execution System (Sustav izvršenja proizvodnje)
M2M – Machine to Machine (komunikacija stroj-stroj)
n – broj kriterija

OEM – Original Equipment Manufacturing (Proizvodnja originalne opreme)
 PDCA- Plan Do Check Act (Planiraj, Napravi, Projveri, Djeluj)
 PDM - Precedence Diagram Method (Precedence metoda za mrežno planiranje projekata)
 PERT - Project Evaluation and Review Technique (Tehnika pregledavanja i ocjenjivanja projekta)
 PLM - Product Lifecycle Management (Upravljanje životnim ciklusom proizvoda)
 PROMETHEE II - Preference ranking organization method for enrichment evaluation (Promethee metoda za višekriterijsko odlučivanje)
 TMP - Tehnike mrežnog planiranja
 p_{ij} - Vjerojatnost odabira kandidata korištenjem PROMETHEE II metode
 ppm - parts per million (broj nesukladnih jedinica proizvoda na milijun)
 RCi - Indeks relativne bliskosti
 RFID - Radio-frequency identification (identifikacija radijskom frekvencijom)
 RI - Slučajni indeks
 s^{id} - Idealni optimum
 SCM – Supply Chain Management (Upravljanje opskrbnim lancem)
 S_{i+} - Euklidska udaljenost pozitivnog ideala
 S_{i-} - Euklidska udaljenost negativnog ideala
 SMED - Single-Minute Exchange of Die (Izmjena alata unutar kratkog vremena)
 SOAP - Simple Object Access Protocol (Jednostavan protokol pristupa objektu)
 TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS metoda za višekriterijsko odlučivanje)
 t_o - optimističko vrijeme trajanja aktivnosti
 t_p - pesimističko vrijeme trajanja aktivnosti
 TPS - Toyota Production System (Toyota proizvodni sustav)
 TQM - Total Quality Management (Potpuno upravljanje kvalitetom)
 UCL – Upper Control Limit (Gornja granica kontrole)
 VPS – Volvo Production System (Volvo proizvodni sustav)
 XPS – X Production System (X proizvodni sustav)
 xRM - extended Relationship Management (prošireno upravljanje odnosima)
 α i β - Parametri algoritma
 τ_{ij} - Količina feromonskog traga na segmentu puta (i, j)
 Φ'_{ij} - Izvršnost čvora j odnosno segmenta puta (i, j)
 $\Pi(X_{ij}, X_{ik})$ - Pozitivni tok indeksa preferencije
 $\Pi(X_{ik}, X_{jk})$ - Negativni tok indeksa preferencije
 $\Delta\tau_{ij}$ - Nova količina feromona
 $\Pi(x, s^{id})$ - Pozitivni tok indeksa preferencije
 $\Pi(s^{id}, x)$ - Negativni tok indeksa preferencije
 $\sigma_{t_e}^2$ - varijanca očekivanog vremena trajanja aktivnosti
 $\tau_{ij}(t)$ - Količina feromonskog traga u trenutku t
 $\tau_{ij}(t + n)$ - Količina feromonskog traga u trenutku t + n
 ρ - Parametar algoritma
 τ_{min} - Najmanja dopuštena količina feromonskog traga
 τ_{max} - Najveća dopuštena količina feromonskog traga
 λ_{max} – Eigen values (kod AHP)
 x - Pronađeno rješenje

Ostali prilozi i dokumentacija:

Prilog 1. Upitnik za analizu razine industrijskih poduzeća



Na putu prema četvrtoj industrijskoj revoluciji: UPITNIK ZA TVRTKE

Početak ovog stoljeća obilježava uvođenje Interneta stvari i usluga u proizvodnju, što predstavlja četvrtu industrijsku revoluciju: Industrija 4.0. Ova nova vrsta industrije temelji se na modelu Pametne tvornice (Smart Enterprise).

Od 01. rujna 2014. god. istraživački tim s Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje FESB, Sveučilišta u Splitu radi na četverogodišnjem znanstveno-istraživačkom projektu „Pametna, inovativna tvornica“, koji financira Hrvatska zaklada za znanost. Glavni cilj ovog projekta je razviti hrvatski model inovativnog pametnog poduzeća (HR-ISE Croatian model of Innovative Smart Enterprise).

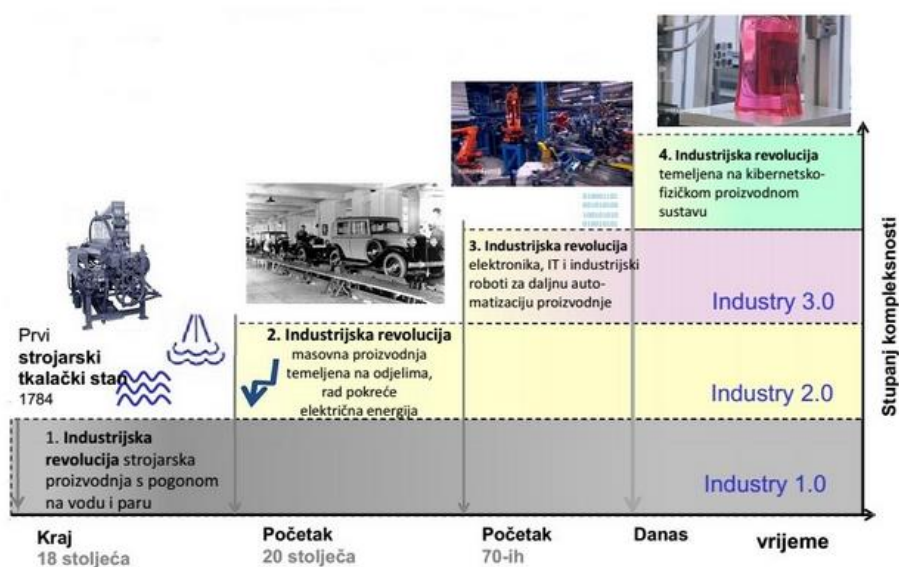
Prvi radni paket projekta sadrži analizu stanja hrvatskih poduzeća. Ovaj upitnik služi kako bi mogli analizirati postojeće stanje naših industrijskih poduzeća, čiji bi rezultati pomogli u definiranju modela HR-ISE.

Po završetku ove analize planira se organizacija radionice na FESB-u u Splitu. Radionica će predstaviti osnove Industrije 4.0, te prikazati analize rezultata istraživanja. Na Okruglom stolu razgovarali bi o uvjetima uvođenja Industrije 4.0 u hrvatska poduzeća.

Uvodna napomena:

Svi prikupljeni pojedinačni podaci bit će anonimni te će se skupno obrađivati u znanstvene svrhe. Autori upitnika obvezuju se da prikupljene pojedinačne podatke i informacije o sudionicima ankete neće prosljeđivati trećoj strani.

Od Industrije 1.0 prema Industrij 4.0



Pitanje 1:

Odaberite glavnu djelatnost svoje tvrtke:

Pitanje 2:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje veličinu Vaše tvrtke:

- Tvrtka ima manje od 10 djelatnika
- Tvrtka ima 10 – 19 djelatnika
- Tvrtka ima 20 – 49 djelatnika
- Tvrtka ima 50 – 99 djelatnika
- Tvrtka ima 100 – 249 djelatnika
- Tvrtka ima 250 – 499 djelatnika
- Tvrtka ima 500 – 999 djelatnika
- Tvrtka ima 1.000 – 4.999 djelatnika
- Tvrtka ima više od 5.000 djelatnika

Pitanje 3:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje uspješnost Vaše tvrtke:

- Godišnji prihod tvrtke iznosi manje od 1 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 1 – 2 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 2 – 7 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 7 – 10 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 10 – 20 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 20 – 50 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 50 – 100 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 100 – 250 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi 250 – 500 milijun €
- Godišnji prihod tvrtke iznosi više od 500 milijun €

Pitanje 4:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje proizvode u Vašem proizvodnom sustavu:

- Serijska / velikoserijska proizvodnja za nepoznatog kupca (za skladište)
- Pojedinačna i maloserijska proizvodnja za poznatog kupca
- Modularni proizvodi / upotreba platformi; proizvodnja za poznatog kupca
- Mogućnost konfiguracije proizvoda preko Weba, kupac sam definira svoj unikatan proizvod

Pitanje 5:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje razvoj proizvoda u Vašem proizvodnom sustavu:

- Razvoj proizvoda odvija se pomoću CAD sustava
- Upotreba Digitalne tvornice (Digital Factory) i simulacije pri razvoju proizvoda
- Pri razvoju proizvoda koriste se Virtualna stvarnost (Virtual Reality), 3D skeniranje i Brzi razvoj prototipova (Rapid Prototyping)

Pitanje 6:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje tehnologiju koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Ručna (bravarska) obrada i/ili ručna montaža
- CNC obradni strojevi i/ili automatizirana proizvodna linija
- Moderni obradni centri s automatiziranim transportom i/ili robotske stanice na automatiziranoj proizvodnoj liniji

Pitanje 7:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje upravljanje radnim nalogima koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Usmena komunikacija čovjek – čovjek (rukovoditelj objašnjava radni nalog radnicima)
- Pismena komunikacija čovjek – čovjek (rukovoditelj predaje pisani radni nalog radniku)
- Komunikacija čovjek – stroj (radnik upravlja CNC obradnim strojevima) ili proizvodnom linijom
- Komunikacija stroj – stroj (machine to machine - M2M)
- Intranet komunikacija (putem vlastite računalne mreže)

Pitanje 8:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje praćenje sljedivosti proizvodnje koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Nema evidencije o prolasku proizvoda kroz proizvodni proces
- Proizvod ili transportni sanduk ima pričvršćen papir na koji se zapisuje kada i što je rađeno
- Proizvod ili transportni sanduk ima zalijepljen barkod koji se ručno očitava na svakom radnom mjestu
- Proizvod ili transportni sanduk ima RFID-tag koji se automatski očitava na svakom radnom mjestu

Pitanje 9:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje upravljanje zalihama materijala (zalihama u ulaznom skladištu i zalihama nedovršene proizvodnje) koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom skladištu te pojedinim međuskladištima u proizvodnji
- U bazi podataka na računalnom serveru možete očitati koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom skladištu te pojedinim međuskladištima u proizvodnji
- U aplikaciji na svom smartphone ili tablet uređaju možete očitati koliko sirovine, dijelova i proizvoda trenutno imate u ulaznom skladištu te pojedinim međuskladištima u proizvodnji

Pitanje 10:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje upravljanje zalihama gotovih proizvoda koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Na temelju dostupnih podataka možete donekle procijeniti koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom skladištu
- U bazi podataka na računalnom serveru možete očitati koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom skladištu
- U aplikaciji na svom smartphone ili tablet uređaju možete očitati koliko gotovih proizvoda trenutno imate u izlaznom skladištu

Pitanje 11:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje osiguranje kvalitetom koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

- Kontrola proizvoda na kraju proizvodnog procesa
- Međufazna kontrola (samokontrola) tijekom cjelokupnog procesa
- Upravljanje kvalitetom prema konceptu Cjelokupnog upravljanja kvalitetom (Total Quality Management – TQM)
- Upravljanje kvalitetom prema sustavu norma ISO 9000
- Upravljanje kvalitetom prema konceptu Six Sigma

Pitanje 12:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje upravljanje životnim ciklusom proizvoda (Product Lifecycle Management – PLM) u Vašem proizvodnom sustavu:

- Prisutna je podjela u odjele prema funkcijama (PC i softveri se nalaze u pojedinim odjelima (CAD, CAM, CAD, PPC))
- Pojedni odjeli su povezani preko Računalom integrirane proizvodnje (Computer Integrated Manufacturing – CIM)
- Integracija PLM, Planiranje resursa poduzeća (Enterprise Resource Planning – ERP) i (Management Execution System – MES) preko Informacijske okosnice (Information Backbone) i Oblaka (Cloud)

Pitanje 13:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje PLM software (Product Lifecycle Management) koji koristite u Vašem proizvodnom sustavu:

- PLM software koji koristimo u proizvodnom sustavu uradak je naše interne informatičke službe (ili informatičke službe unutar grupacije/koncerna)

- PLM software koji koristimo u proizvodnom sustavu nabavljen je od domaće informatičke tvrtke

Navedite ime tvrtke i sustava:

- PLM software koji koristimo u proizvodnom sustavu nabavljen je od inozemne informatičke tvrtke

Navedite ime tvrtke i sustava:

Pitanje 14:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje Vaš ERP software (Enterprise Resource Planning):

- Software koji koristimo u proizvodnom sustavu ne zadovoljava karakteristike ERP sustava (sastoji se od mnoštva neintegriranih aplikacija)
- ERP koji koristimo u proizvodnom sustavu uradak je naše interne informatičke službe
- ERP koji koristimo u proizvodnom sustavu nabavljen je od domaće informatičke tvrtke

Navedite ime tvrtke i sustava:

- ERP koji koristimo u proizvodnom sustavu nabavljen je od inozemne informatičke tvrtke

Navedite ime tvrtke i sustava:

Pitanje 15:

Odaberite jedan od odgovora koji najbolje opisuje primjenu Toyota Production System TPS, odnosno Green and Lean Production GALP (Zelena i Vitka proizvodnja) koncepta u Vašem proizvodnom sustavu:

- Ne koristi se ni TPS ni GALP principi
- Koriste se pojedini elementi TPS i GALP (npr. Kaizen, 5S, Just-in-Time - Upravo na vrijeme, Value Stream Mapping - Dijagram toka vrijednosti, Jidoka i dr.)
- TPS i GALP principi uvedeni su kroz cjelokupan poslovni proces – tzv. Lean Management 2.0 (npr. softverska aplikacija za Kaizen preko smart mobitela)

Pitanje 16:

Odaberite radno mjesto na kojem ste zaposleni unutar tvrtke:

- Uprava
- Nabava i prodaja
- Financije i računovodstvo
- Istraživanje i razvoj
- Odjel konstrukcije
- Odjel tehnologije
- Proizvodnja i logistika
- Odjel planiranja i upravljanja proizvodnjom
- Osiguravanje kvalitete
- Ostalo:

Pitanje 17:

Navedite svoje zanimanje:

Pitanje 18:

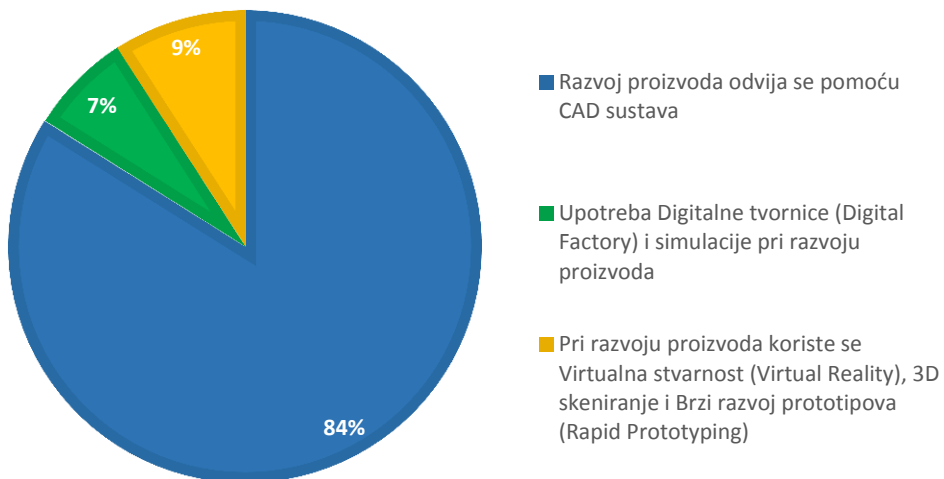
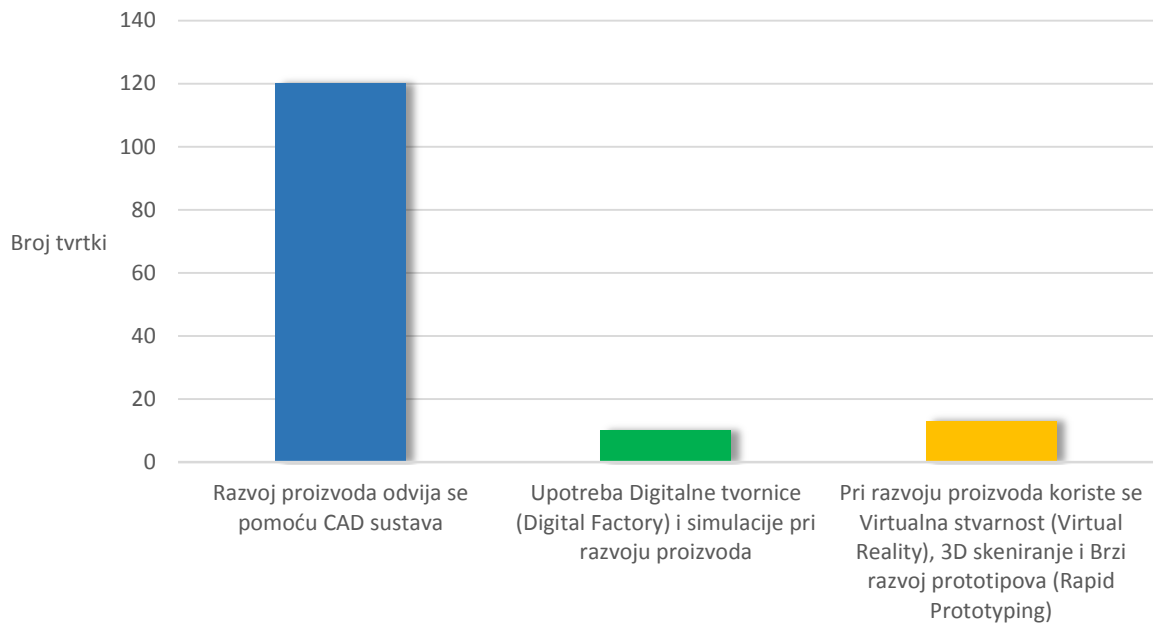
Navedite mail na koji Vam možemo poslati rezultate provedenog istraživanja:

Pitanje 19:

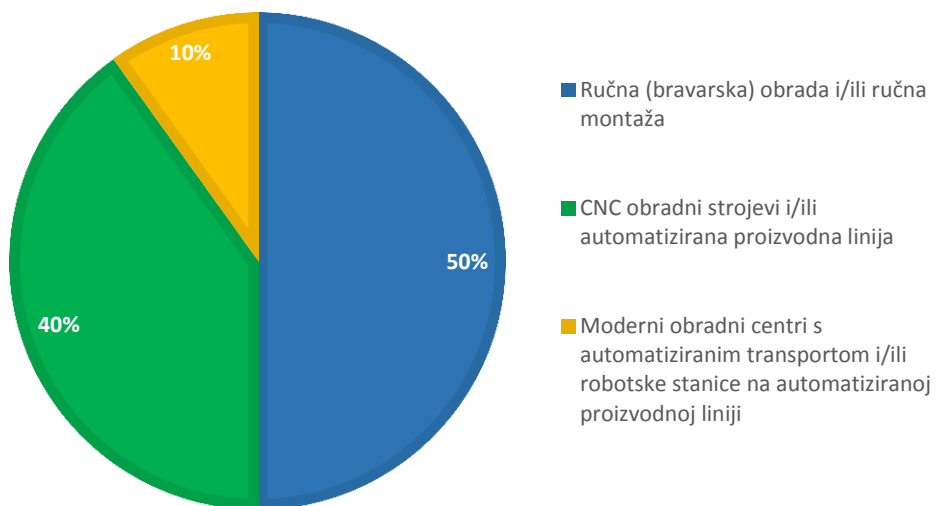
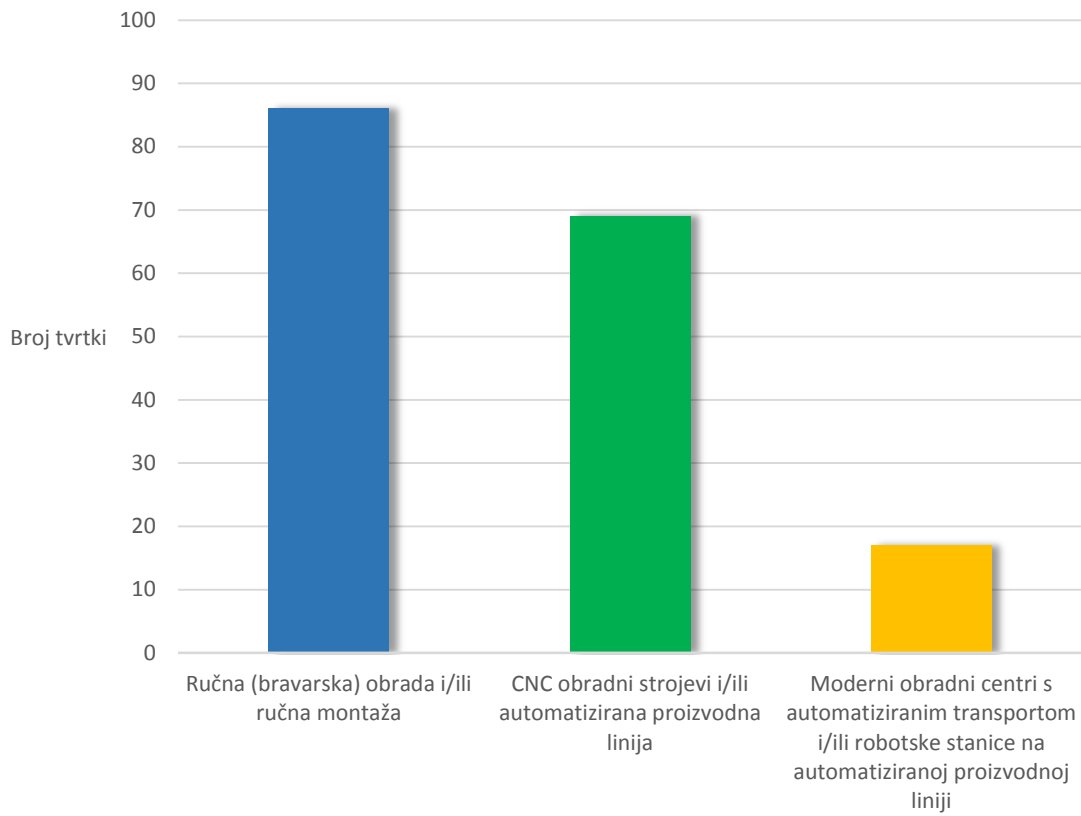
Molimo navedite ono što smatrate bitnim za Vašu tvrtku, a nije obuhvaćeno ovim upitnikom:

Prilog 2. Odgovori na pitanja o razini industrije

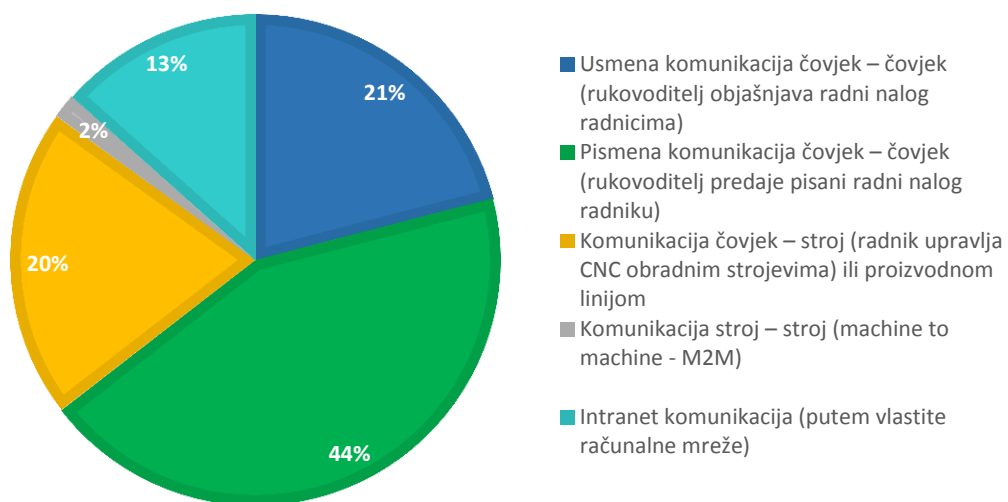
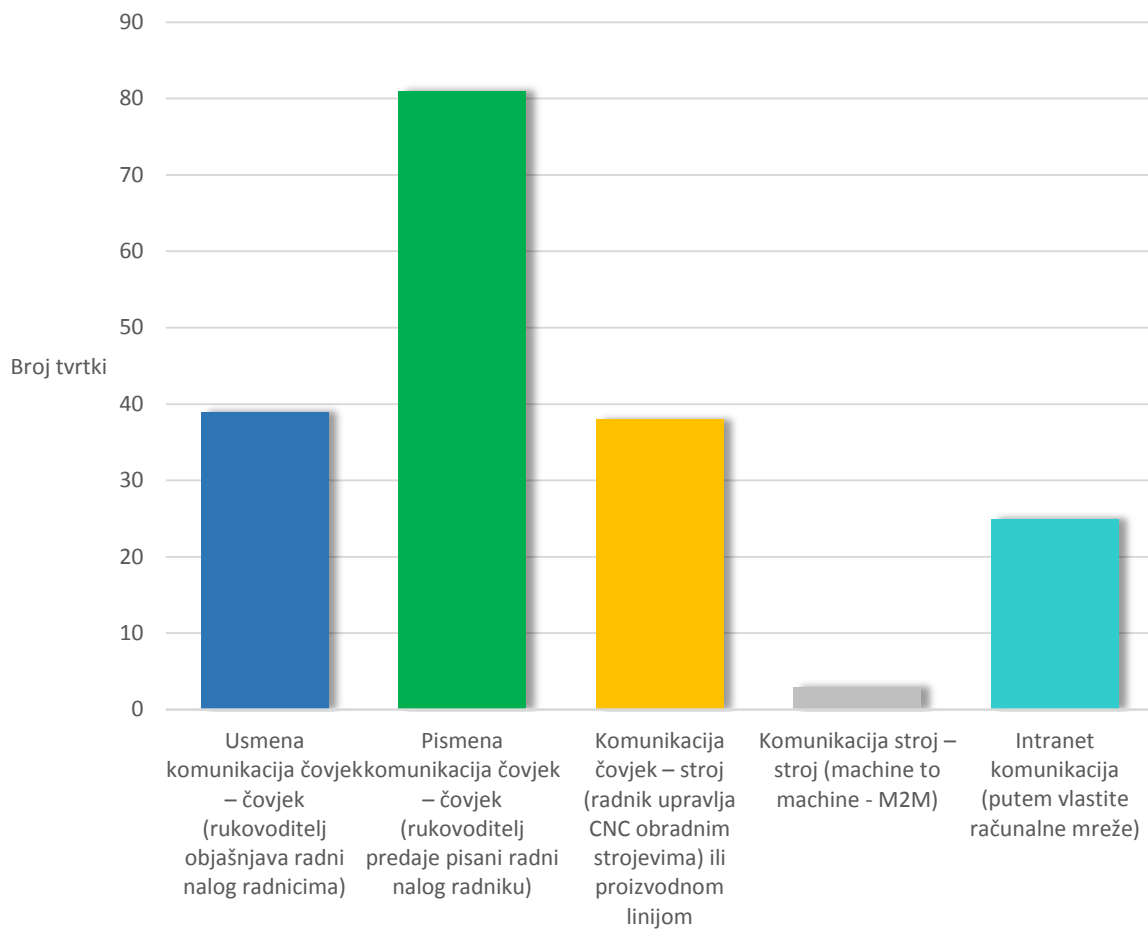
Pitanje 1: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje razvoj proizvoda u Vašem proizvodnom sustavu



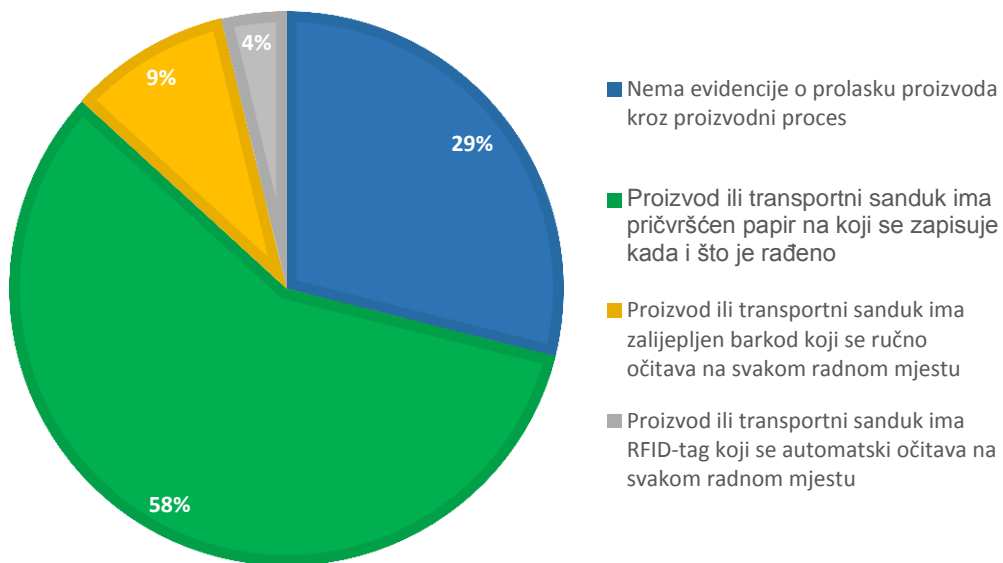
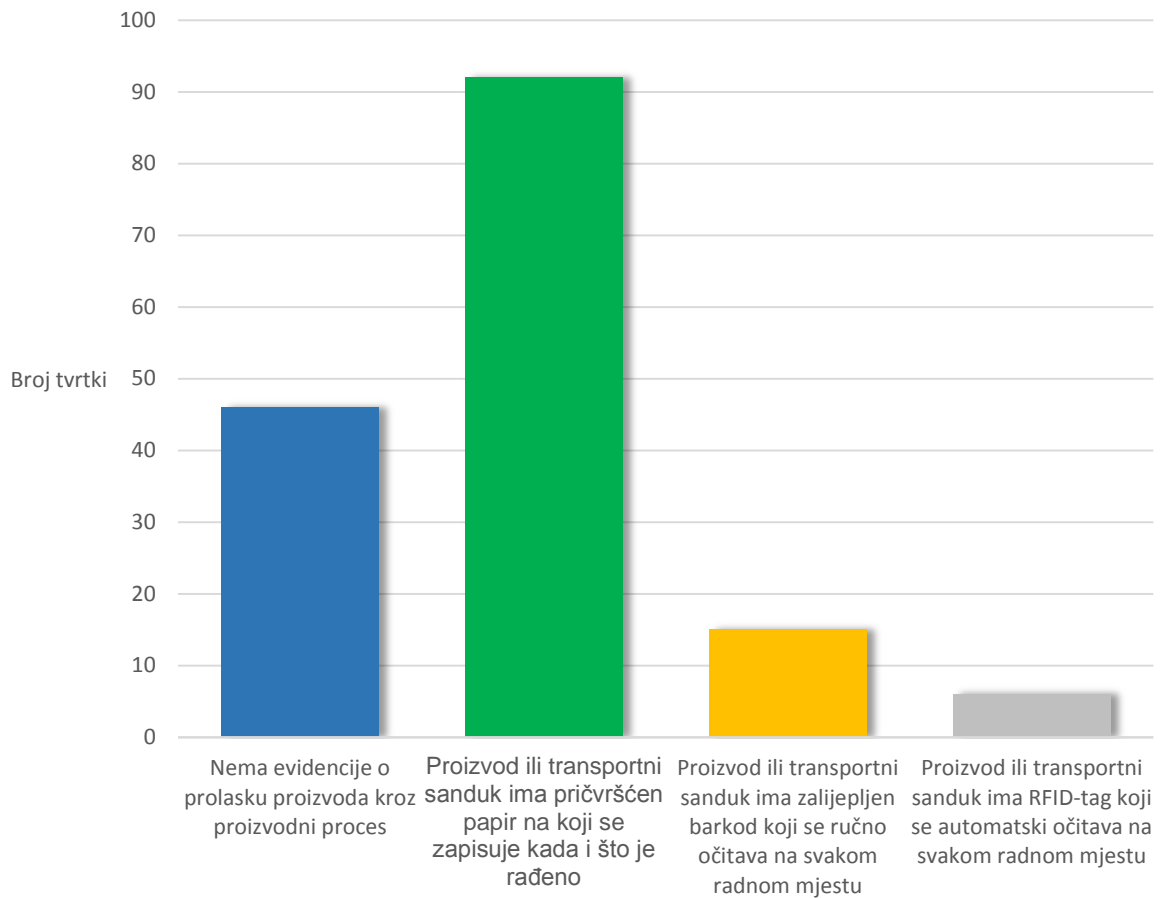
Pitanje 2: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje tehnologiju koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu



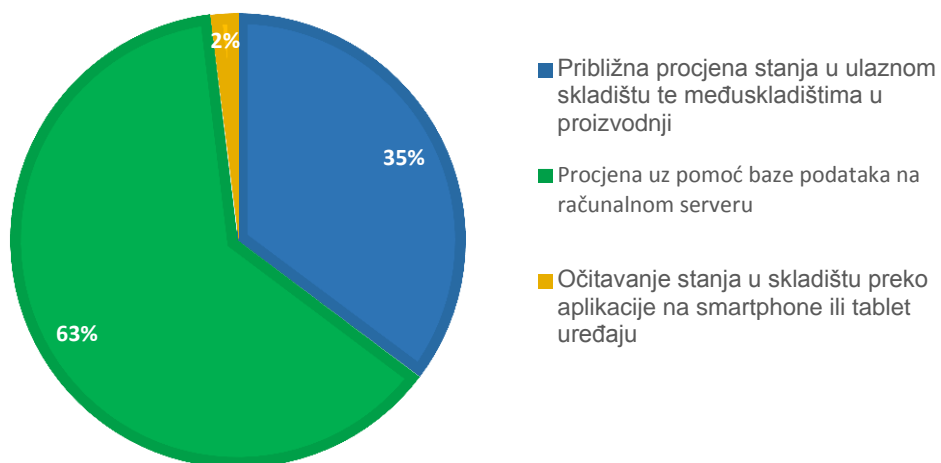
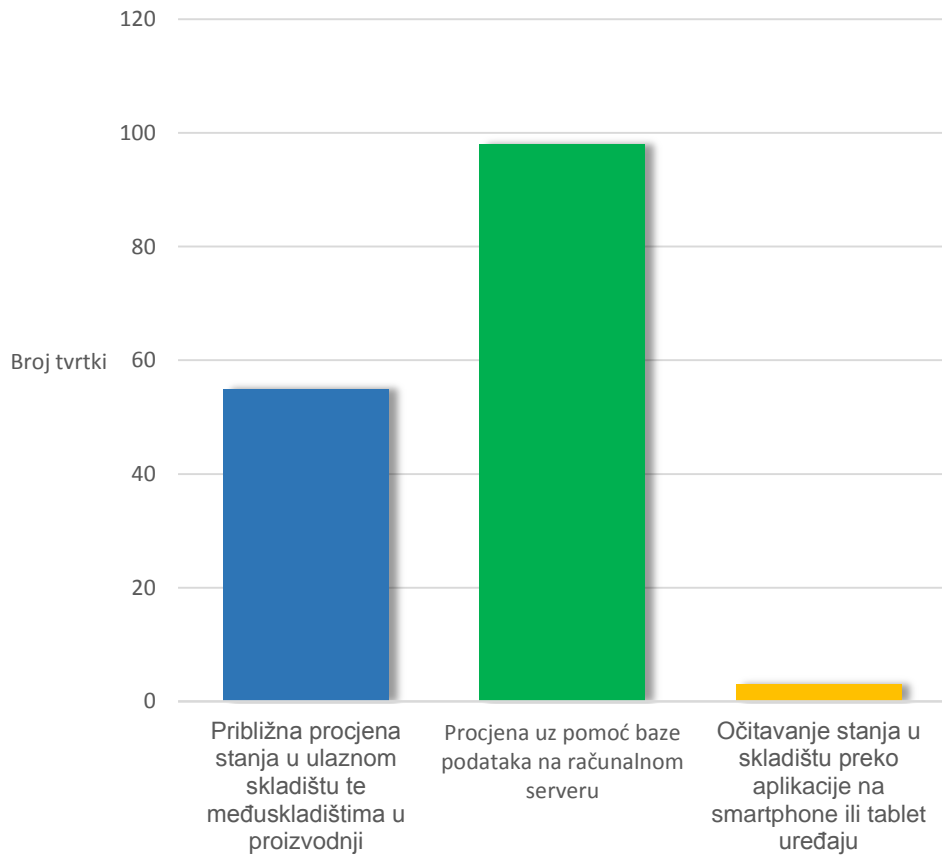
Pitanje 3: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje upravljanje radnim nalogima koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu



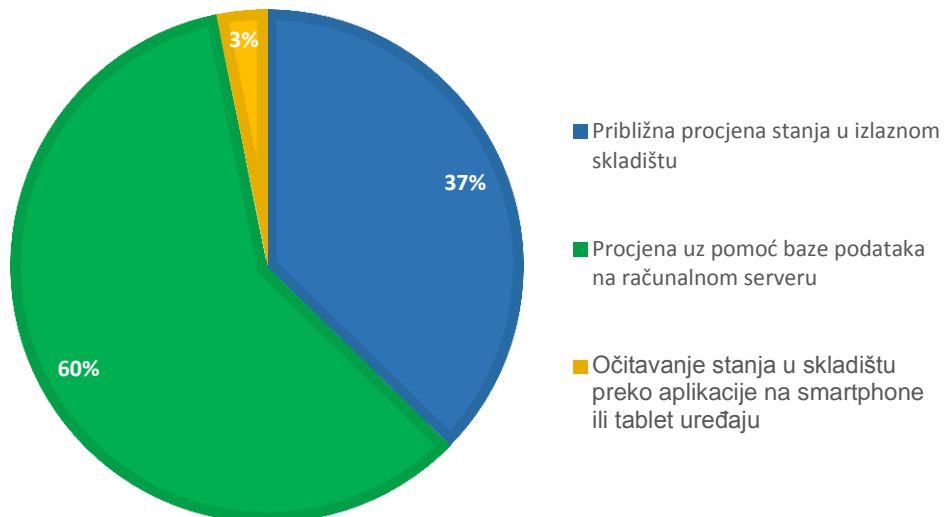
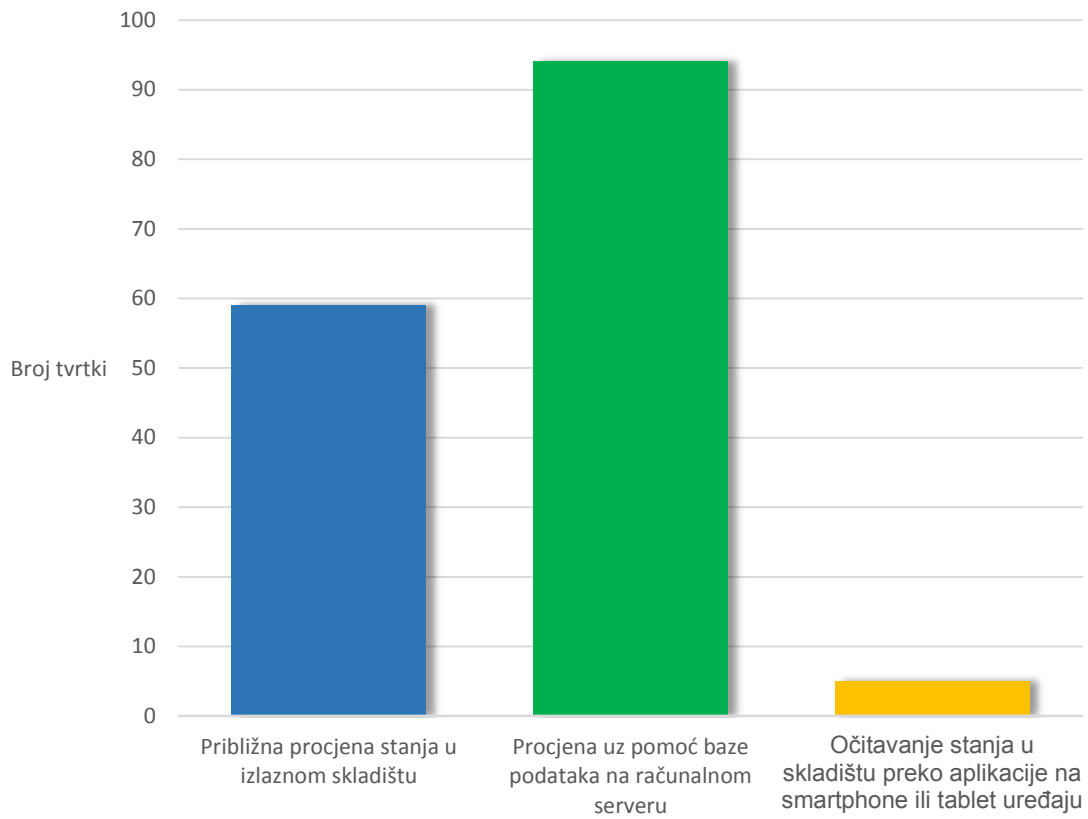
Pitanje 4: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje praćenje sljedivosti proizvodnje koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu



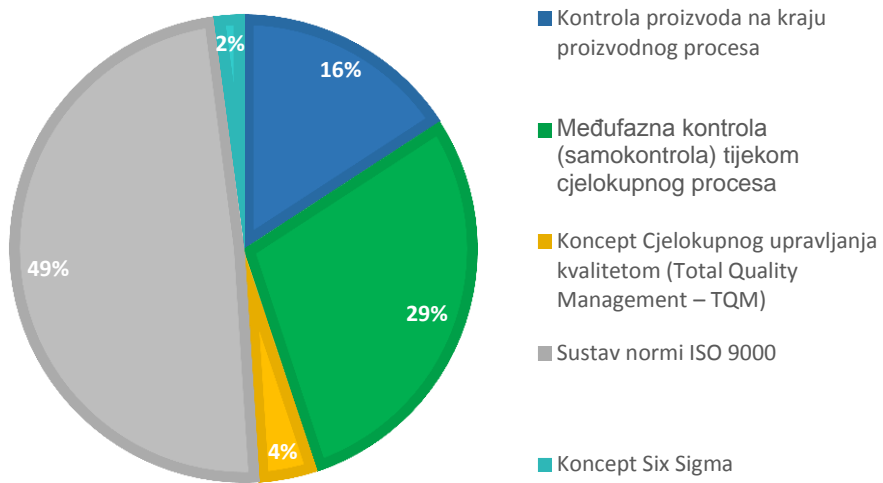
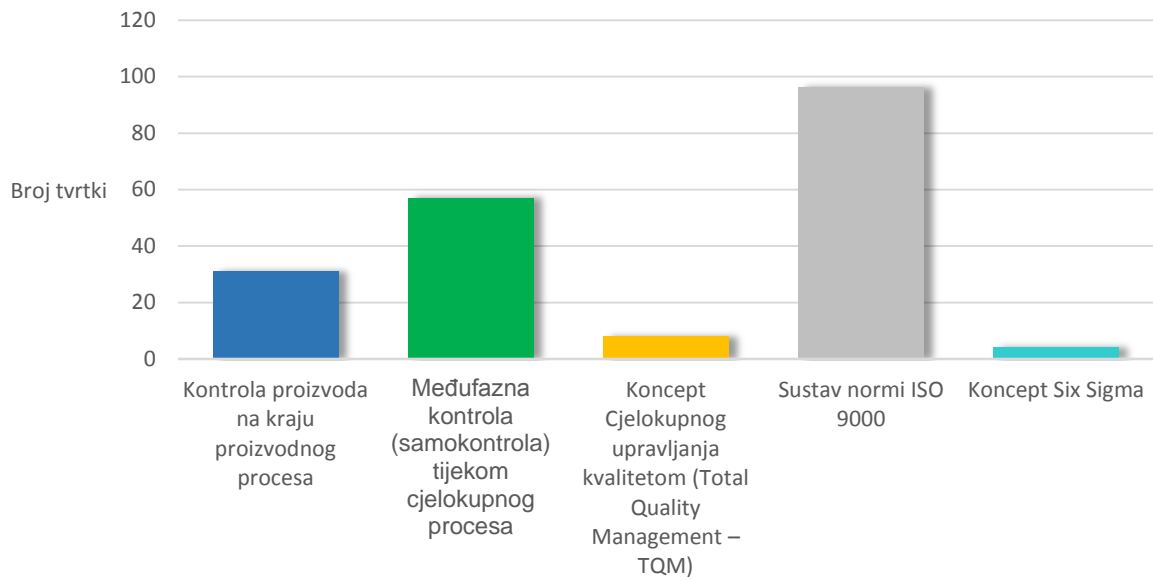
Pitanje 5: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje upravljanje zalihama materijala (zalihama u ulaznom skladištu i zalihama nedovršene proizvodnje) koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu



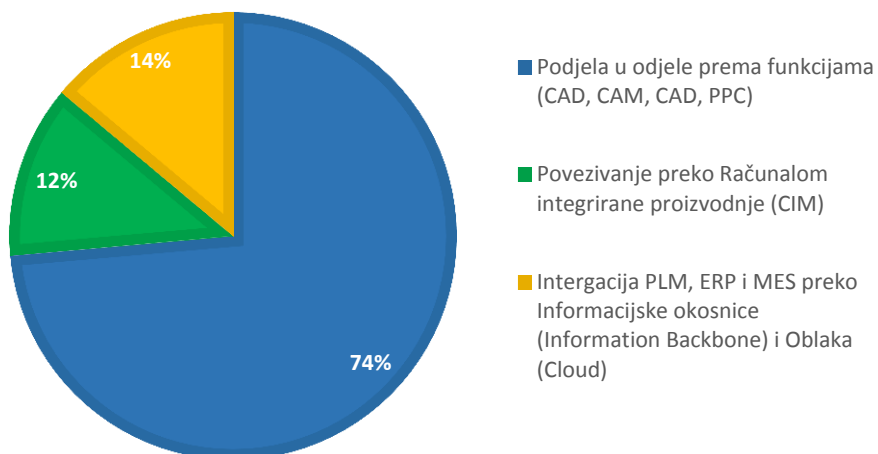
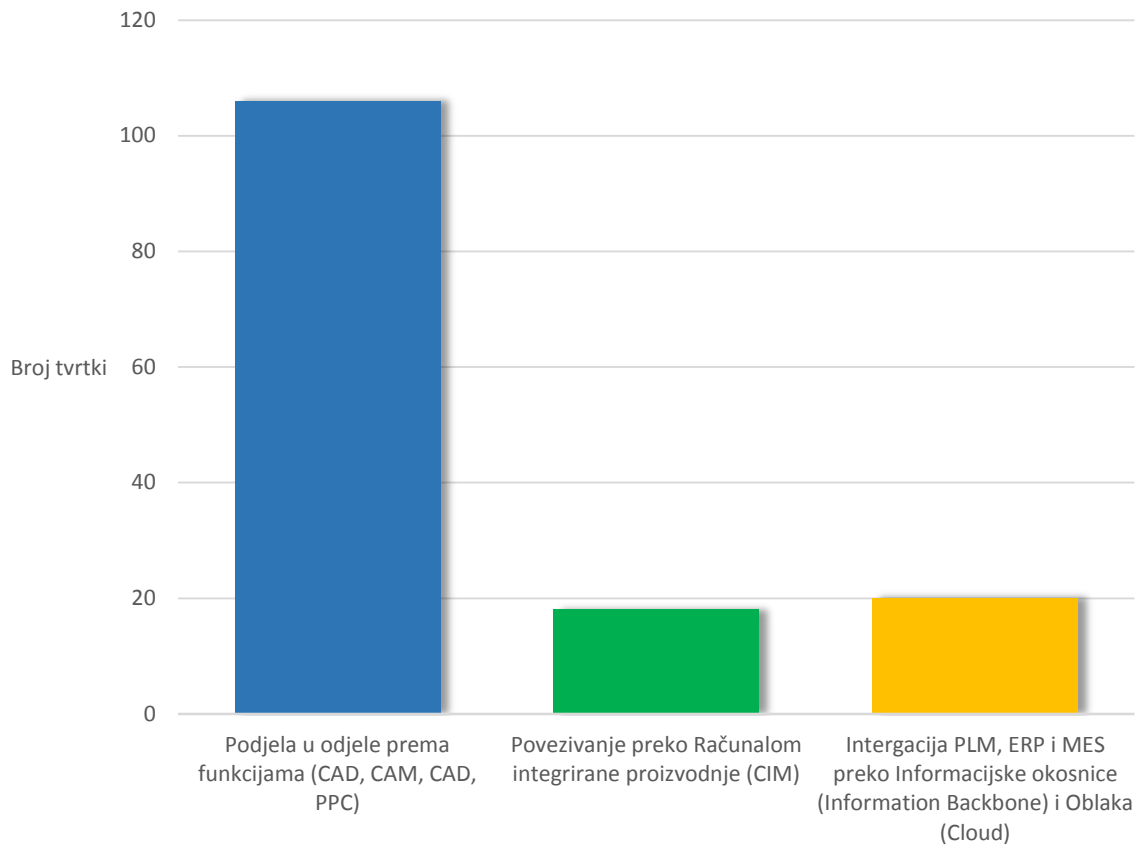
Pitanje 6: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje upravljanje zalihama gotovih proizvoda koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu



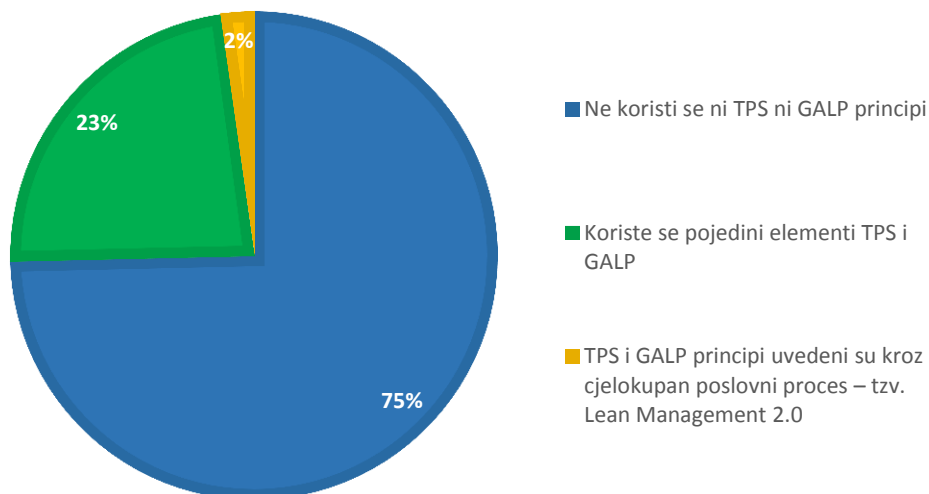
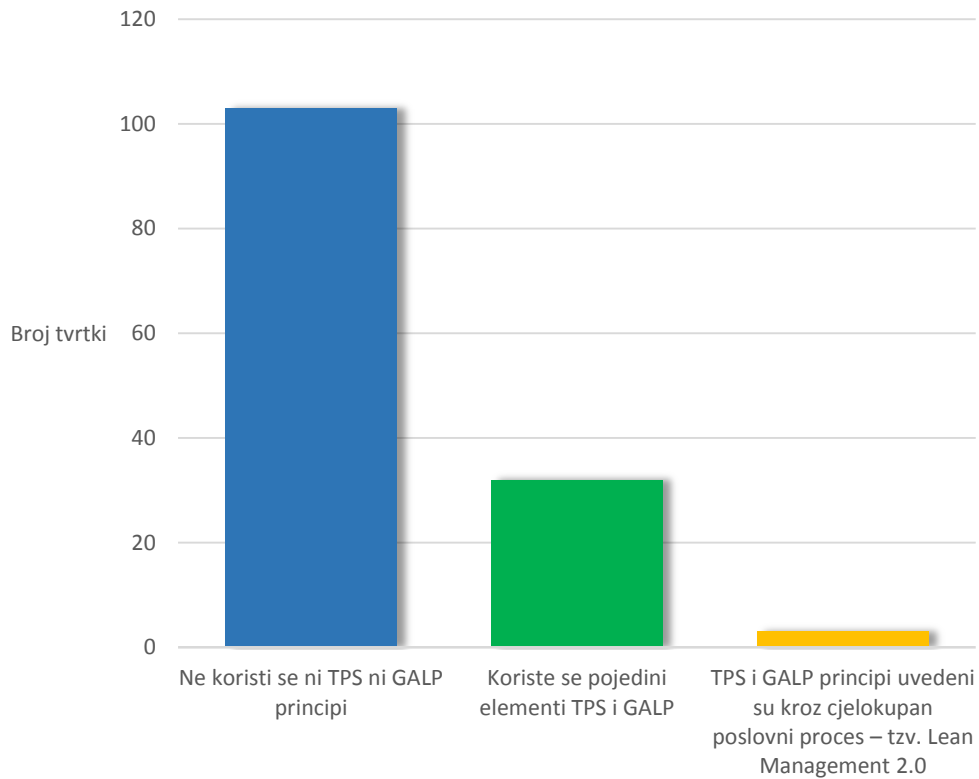
Pitanje 7: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje osiguranje kvalitetom koja dominira u Vašem proizvodnom sustavu



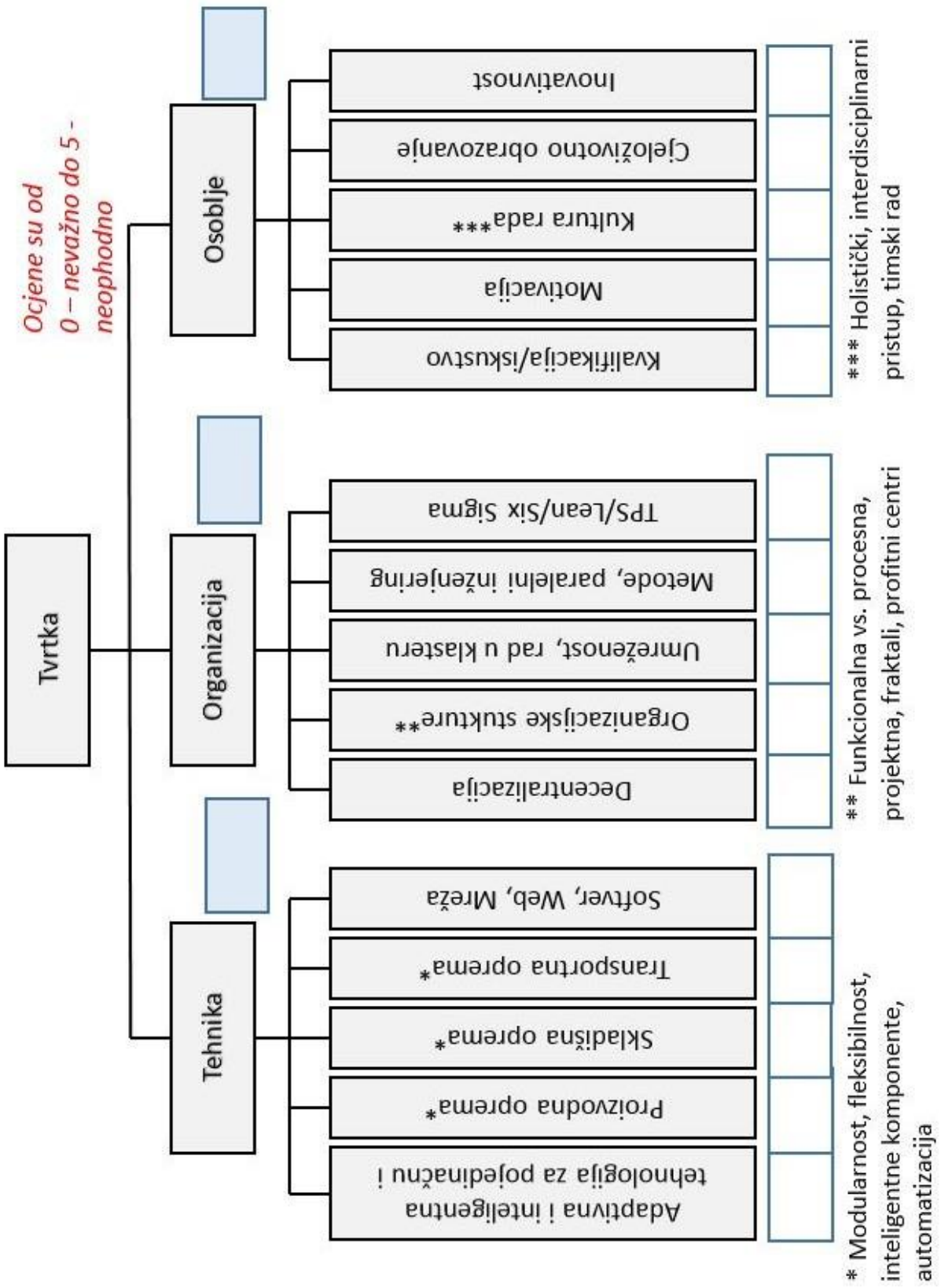
Pitanje 8: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje upravljanje životnim ciklusom proizvoda (Product Lifecycle Management – PLM) u Vašem proizvodnom sustavu



Pitanje 9: Odaberite odgovor koji najbolje opisuje primjenu *Toyota Production System TPS*, odnosno *Green and Lean Production GALP* (Zelena i Vitka proizvodnja) koncepta u Vašem proizvodnom sustavu



Prilog 3. Analiza odnosa između tehnike, organizacije i osoblja



Prilog 4. Analiza osoblja

UPITNIK ZA POSJETE TVRTKAMA

Dodatna pitanja:

Koliko je postotak lohn poslova (rad po licencama drugih)?

Jeste li koristili sredstva poticaja RH ili EU fondova

Dodatna pitanja:

Koji je tip organizacije u vašem poduzeću: funkcionalni, procesni, projektni ili neki drugi?

Koliki je postotak outsourcinga, kooperacije?

Jeste li član nekog klastera? Kako ste zadovoljni radom u klasteru? Koje su po vašem mišljenju prednosti, a koji nedostaci rada u klasteru?

Koliko je prisutan timski rad u vašem poduzeću?

Imate li službu razvoja?

ZAPOSLENICI

Približna dobná struktura vaših zaposlenika (u postocima)

18-30

31-45

46-60

više od 61

Razina kvalifikacije

Koliki je postotak zaposlenika s magisterijem, doktoratom ili visokim obrazovanjem?

Koliko zaposlenika radi u razvoju?

Nudite li stipendije?

Koja vrsta znanja/kompetencija vam nedostaju?

Motivacija

Koji su načini motivacije zaposlenih?

Inovativnost

Imate li službu koja prati inovativnost zaposlenika?

Koliko imate prijedloga za poboljšanje po zaposleniku godišnje?

Postoji li sustav nagrađivanje za inovacije/kontinuirana poboljšanja?

Kolike su godišnje uštede s prijedlozima zaposlenika?

Life Long Learning

Koliki je prosječni broj dana godišnje koji zaposlenici provedu na seminarima, konferencijama ili nekim drugim vidovima LLL?

Koja su područja važna za cjeloživotno obrazovanje vaših zaposlenika?

Pratite li kompetencije vaših zaposlenika i prema njima određujete plan dodatnog obrazovanja?

Imate li sustavno riješenu prekvalifikaciju zaposlenika?

Koristite li samostalno učenje preko interneta (e-learning)?

Kultura rada

Koliki je postotak bolovanja?

Prilog 5. Procesi, cloud softver i Internet poslovanje



www.insent.fesb.hr

Procesi, cloud softver i Internet poslovanje

UPITNIK ZA TVRTKE

1.	Opća pitanja o poslovanju.....	2
2.	Proces planiranja	2
3.	Artikli, proizvodi, materijali, ... – detaljnije	3
3.1.	Proizvod	3
3.2.	Materijali i sirovine.....	4
3.3.	Artikal.....	5
3.4.	Strojevi i alati	6
3.5.	Osnovna sredstva	7
4.	E-poslovanje	8
5.	CLOUD SW (poslovanje 'preko SW na Internet oblaku')	9

Sugovornik/sugovornici:

Funkcija/odjel sugovornika:

Tvrtka: _____

Datum: _____

Travanj 2015.

1. Opća pitanja o poslovanju

mp1 Lokacije, skladišta, partneri, artikli

Na koliko fizičkih lokacija (međusobno udaljenih) tvrtka posluje?

(unesi broj)

Na koliko od tih fizičkih lokacija je organizirana proizvodna djelatnost?

(unesi broj)

S koliko fizičkih skladišta materijala, proizvoda i ostale robe tvrtka posluje?

(unesi broj)

S koliko logičkih skladišta (programskih, definiranih u softveru) tvrtka posluje?

(unesi okvirni broj)

S koliko partnera (kupaca i dobavljača) tvrtka posluje?

(unesi okvirni broj)

S koliko artikala (materijal, proizvod, trgovački artikl) tvrtka posluje?

(unesi okvirni broj)

2. Proces planiranja

Planiranje

p1 Radite li godišnje (financijske i robne) planove u ERP-u?

p2 Radite li mjesečne (financijske i robne) planove u ERP-u?

p3 Radite li korekcije mjesečnih i godišnjih planova (financijskih i robnih) u ERP-u ili u excelu?

p4 U kojem softveru radite planiranje tjednih i dnevnih radnih naloga za proizvodnju?

3. Artikli, proizvodi, materijali,... – detaljnije

3.2. Materijali i sirovine

Novi (repro)MATERIJAL/SIROVINA

a2 Koji odjel/proces definira naziv i šifru NOVOG (repro)materijala/sirovine?

- Konstrukcija
- Tehnologija
- Istraživanje i razvoj
- Komercijala (Prodaja i nabava)
- Proizvodnja
- Logistika
- Planiranje
- QA
- IT
- Računovodstvo i financije
- Uprava
- _____

Dodatna pitanja:

a) U kojem softveru se to definira?

(naziv
softvera) _____

b) Je li to JEDINI softver u kojem se on definira (DA/NE)?

DA NE

Ako nije, u kojem se još softveru on mora unositi (definirati) i tko to obavlja?
(naziv softvera i
izvršitelj) _____

Ako se materijal unosi (definira) u više softvera, ima li on u svim tim evidencijama ISTI naziv i ISTU šifru?

DA NE

Ako se materijal unosi (definira) u više SW, **kako se kontrolira** ima li on u svim tim evidencijama ISTI naziv i ISTU šifru?
(kratki opis) _____

c) Je li materijal **odmah** po unosu dostupan ostalim softverima u tvrtki?

- Da, korisnici se samo trebaju spojiti na svoju bazu podataka.
- Ne, potreban je zahvat administratora ili druge stručne osobe.
- Ne, potrebna je sinhronizacija sustavâ na kraju dana.
- _____

3.4. Strojevi i alati

Novi STROJ/ALAT (oprema)

a4 Koji odjel/proces definira naziv i šifru NOVOG stroja/alata?

- Konstrukcija
- Tehnologija
- Istraživanje i razvoj
- Komercijala (Prodaja i nabava)
- Proizvodnja
- Logistika
- Planiranje
- QA
- IT
- Računovodstvo i financije
- Uprava
- _____

Dodatna pitanja:

a) U kojem softveru se to definira?

(naziv
softvera) _____

b) Je li to JEDINI softver u kojem se on definira (DA/NE)?

DA NE

Ako nije, u kojem se još softveru on mora unositi (definirati) i tko to obavlja?
(naziv softvera i
izvršitelj/odjel) _____

Ako se alat unosi (definira) u više softvera, ima li on u svim tim evidencijama ISTI naziv i
ISTU šifru?

DA NE

Ako se alat unosi (definira) u više softvera, **kako se kontrolira** ima li on u svim tim evidencijama ISTI
naziv i ISTU šifru?
(kratki opis) _____

c) Je li alat **odmah** po unosu dostupan ostalim softverima u tvrtki?

- Da, korisnici se samo trebaju spojiti na svoju bazu podataka.
- Ne, potreban je zahvat administratora ili druge stručne osobe.
- Ne, potrebna je sinhronizacija sustavâ na kraju dana.
- _____

4. E-poslovanje

Interno e-poslovanje

e1 Koji dokumenti se između odjela razmjenjuju u elektronskom obliku?

- Sve je u jedinstvenom, INTEGRIRANOM informacijskom sustavu i razmjenjuje se elektronski.
- Poslovanje odjelâ se obavlja u više softvera i neki se dokumenti između njih razmjenju elektronski: navedite te dokumente i oblike razmjene (txt, XML, excel, EDI2000, JSON)

Koliko ima takvih dokumenata (mjesečno ili godišnje)?

- Poslovanje odjelâ se obavlja u više softvera i neki dokumenti se razmjenjuju PAPIRNATO između tih odjela: navedite te dokumente

Koliko ima takvih dokumenata (mjesečno ili godišnje)?

E-poslovanje s partnerima

e2 SLANJE dokumenata partnerima u elektronskom obliku?

Koji su to dokumenti?

Oblik slanja (txt, XML, excel, EDI2000, JSON)

Broj partnera kojima se šalju e-dokumenti?

Koliko ima takvih dokumenata (dnevno/mjesečno ili godišnje)?

e3 ZAPRIMANJE dokumenata od partnera u elektronskom obliku?

Koji su to dokumenti?

Oblik zaprimanja (txt, XML, excel, EDI2000, JSON)

Broj partnera od kojih se zaprimaju e-dokumenti?

Koliko ima takvih dokumenata (dnevno/mjesečno ili godišnje)?

5. CLOUD softver (poslovanje 'preko softvera na Internet oblaku')

Koristite li CLOUD softver (softver u oblaku) za neki segment poslovanja?

c1 Koji su bili RAZLOZI za takvu odluku a koji su BENEFITI ostvareni?

RAZLOZI koji su Vas motivirali za odluku _____

BENEFITI ostvareni _____

Gdje (u kojoj državi/regiji) su pohranjeni Vaši PODATCI? (**moгуće je više odgovora**)

- u Hrvatskoj, u vlastitom podatkovnom centru u oblaku (cloudu)
- u Hrvatskoj, u nekom podatkovnom centru/centrima ponuditelja SW
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **EU**
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **USA**
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **Azije**
- ne znam
- za tvrtku to nije naročito bitno, prepustili smo odluku ponuditelju softvera (IT odjelu)
- _____

c2 Što smatrate PREDNOSTIMA i NEDOSTATCIMA primjene CLOUD softvera (softver u oblaku)?

PREDNOSTI primjene CLOUD SW _____ (koje očekujete od buduće primjene cloud softvera)

_____ smanjenje SW troškova

_____ smanjenje administrativnih troškova (manje zaposlenih)

_____ unaprijeđenje poslovanja _____ veća funkcionalnost SW

NEDOSTATCI primjene CLOUD SW _____ (koje vidite kao ZAPREKU primjene cloud softvera)

_____ sigurnost podataka _____ strah od nedostupnosti sustava

_____ nemogućnost kontrole verzija

c3 Planirate li u budućnosti prelazak na CLOUD SW (poslovanje 'preko SW na Internet oblaku')?

- da, za 1-2 god
- da, za 3-5 god
- da, za 5-10 god
- ne, nismo razmatrali tu opciju
- ne, na ovom horizontu to ne vidimo kao izgledno
- _____

c4 Gdje (u kojoj državi/regiji) biste pohranili svoje PODATKE u slučaju korištenja CLOUD SW?

- u Hrvatskoj, u vlastitom podatkovnom centru u oblaku (cloudu)
- u Hrvatskoj, u nekom podatkovnom centru/centrima ponuditelja SW
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **EU**
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **USA**
- u podatkovnom centru/centrima u zemljama **Azije**
- ne znam
- za tvrtku to nije naročito bitno, prepustili smo odluku ponuditelju SW (IT odjelu)
- _____

Prilog 6. Popis objavljenih radova

Objavljeni radovi, izvor: Hrvatska znanstvena bibliografija (CROSB)

Inovativno pametno poduzeće (HRZZ-IP-2013-11-1353), kolovoz, 2018.

- **Autorske knjige (1)**

1. Babić, Zoran. Models and methods of business decision-making. Split, Ekonomski fakultet, Split, 2017.

- **Poglavlja u knjizi (1)**

1. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Lean Learning Factory, The Learning Factory - An Annual Edition from the Network of Innovative Learning Factories, Frankfurt am Main, Next Level Interactive UG, 2015. str. 74-78.

- **Udžbenici i skripta (1)**

1. Bilić, Boženko. Kvaliteta - Planiranje, analiza i upravljanje, Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2016.

- **Izvorni znanstveni i pregledni radovi u CC časopisima (7)**

1. Mladineo, M.; Celar, S.; Celent, L.; Crnjac, M. Selecting manufacturing partners in push and pull-type smart collaborative networks. Advanced engineering informatics. 38 (2018), 291-305.

2. Banduka, N.; Tadić, D.; Mačužić, I.; Crnjac, Marina. Extended process failure mode and effect analysis (PFMEA) for the automotive industry: The FSQC-PFMEA. Advances in production engineering & management. Volume 13 (2018) , No. 2; 206-215.

3. Banduka, Nikola; Mladineo, Marko; Eric, Milan. Designing a layout using a Schmigalla method combined with software tool visTable. International journal of simulation modelling. 16 (2017), 3; 375-385.

4. Dragičević, Srdjana; Čelar, Stipe; Turić, Mili. Bayesian network model for task effort estimation in agile software development. Journal of systems and software. 127 (2017); 109-119.

5. Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina; Bilić, Boženko. Simulation of Bullwhip Effect in a Supply Chain for Lean Learning Factory Purposes. International journal of simulation modelling. 16 (2017), 4; 576-589.

6. Mladineo, Marko; Veza, Ivica; Gjeldum, Nikola. Solving partner selection problem in cyber-physical production networks using the HUMANT algorithm. *International journal of production research*. 55 (2017), 9; 2506-2521.

7. Banduka, Nikola; Veža, Ivica; Bilić, Boženko. An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry. *Advances in Production Engineering & Management*. 11 (2016) , 4; 355-365.

- **Znanstveni radovi u drugim časopisima (12)**

1. Babic, Zoran; Veza, Ivica; Balic, Andjela; Crnjac, Marina. Application of De Novo Programming Approach for Optimizing the Business Process. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Industrial and Systems Engineering*. 12 (2018), 5; 519-524.

2. Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Crnjac, Marina; Veza, Ivica; Aljinovic, Amanda. Performance analysis of the RFID system for optimal design of the intelligent assembly line in the learning factory. *Procedia Manufacturing*. 1 (2018), 1.

3. Peko, Ivan; Gjeldum, Nikola; Bilić, Boženko. Application of AHP, Fuzzy AHP and PROMETHEE method in solving additive manufacturing process selection problem. *Tehnički vjesnik – Technical Gazette*. 25 (2018), 2; 453-461.

4. Peko, Ivan; Nedić, Bogdan; Đorđević, Aleksandar; Veža, Ivica. Modeling of kerf width in plasma jet metal cutting process using ANN approach. *Tehnički vjesnik – Technical Gazette*. 25 (2018), 2; 401-406.

5. Babić, Zoran Babić; Veža, Ivica; Banduka, Nikola. ASSESSMENT OF INDUSTRIAL MATURITY LEVEL BY MULTI-CRITERIAL ANALYSIS. *International Journal "Advanced Quality"*. 45 (2017), 4; 13-16.

6. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Čelar, Stipo; Peko, Ivan; Ljumović, Petar; Stojkić, Željko. Development of Assembly Systems in Lean Learning Factory at the University of Split. *Procedia Manufacturing*. 9 (2017); 49-56.

7. Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Veža, Ivica. Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory. *Procedia CIRP*. 54 (2016) ; 158-163.

8. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Selection of the Basic Lean Tools for development of Croatian Model of Innovative Smart Enterprise. *Tehnički vjesnik*. 23 (2016), 5; 1317-1324.

9. Mladineo, Marko; Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola. Single-Objective and Multi-Objective Optimization using the HUMANT algorithm. Croatian Operational Research Review (CRORR). 6 (2015); 459-473.

10. Veža, Ivica; Čelar, Stipo; Peronja, Ivan. ompetences-based Comparison and Ranking of Industrial Enterprises using PROMETHEE Method. Procedia Engineering. 1 (2015); 445-449.

11. Veza, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko. Lean Learning Factory at FESB – University of Split. Procedia CIRP. 32 (2015); 132-137.

12. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Peko, Ivan. Analiza postojećeg stanja hrvatske industrije u odnosu na Industriju 4.0. Zavarivanje. 58 (2015); 133-138.

- **Ostali radovi u drugim časopisima (1)**

1. Veža, Ivica. Hrvati ulaze u treću, a svijet u četvrtu industrijsku revoluciju. Slobodna Dalmacija. 2015 (2015); 24-25.

- **Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunar.rec. (30)**

1. Crnjac Marina, Mladineo Marko, Veža Ivica. Innovative smart enterprise-case studies, 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE DESIGN AND PRODUCTION, ESKİŞEHİR- TURKEY 2018. 3-14.

2. Mladineo, Marko; Veza, Ivica; Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina. Web Information System for Sustainability Optimization of Production Networks, ICIL 2018 - Conference Proceedings, Beer-Sheva, Israel, 2018. 137-144.

3. Veža, Ivica; Crnjac, Marina; Mladineo, Marko. THE CROATIAN MODEL OF INNOVATIVE SMART ENTERPRISE FOR DIFFERENT SIZES OF ENTERPRISE, Proceedings of 18th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, Kairo, 2018.

4. Banduka, Nikola; Peko, Ivan; Crnjac, Marina; Bošnjak, Igor; Đurić, Stefan. Linear layout design using a software tool visTABLE, Proceedings of The 15th Annual Industrial Simulation Conference (ISC'2017).

5. Babić, Zoran; Veža, Ivica; Banduka, Nikola. ASSESSMENT OF INDUSTRIAL MATURITY LEVEL BY MULTI-CRITERIAL ANALYSIS, Proceeding of The 9th International Working Conference TQM, Belgrade, Serbia, 2017. 192-196.

6. Banduka, Nikola; Veža, Ivica; Bilić, Boženko; Mačužić, Ivan; Radojičić, Miroslav. Using cost-based mathematical model and principle 80/20 to improve decision making for risk priority at FMEA, Proceedings, XVII International Scientific Conference on Industrial Systems IS'17, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2017. 318-323.

7. Crnjac, Marina; Gjeldum, Nikola; Bilić, Boženko; Mladineo Marko. The application of Taguchi method for choosing the optimal table construction, 7th International conference Mechanical Technologies and Structural Materials 2017. Split, 2017.
8. Crnjac, Marina; Mladineo, Marko; Veža, Ivica. The Croatian model of Innovative Smart Enterprise (HR-ISE model), 16th International Scientific Conference on Production Engineering (CIM 2017) Zagreb. 2017. 81-88.
9. Gjeldum, Nikola; Bilić, Boženko; Tomić, Zvonimir. OPTIMIZATION OF CHASSIS DESIGN FOR ASSEMBLY LINE FEEDER USING PROMETHEE AND TAGUCHI METHODS, 16th International Scientific Conference on Production, Zagreb, 2017. 93-98.
10. Mladineo, Marko; Banduka, Nikola; Peko, Ivan. Using Cyber-Physical System and Virtual Reality for improvement of Factory Layout, CCGIDIS 2017 - Bergamo, Italy, 2017. 1-10.
11. Mladineo, Marko; Veza, Ivica; Gjeldum, Nikola. Management of Cyber-Physical Production Networks through Virtual Enterprise Information System, CCGIDIS 2017 - Bergamo, Italy, 2017. 1-10.
12. Mladineo, Marko; Veža, Ivica; Jurčević, Slavica; Znaor, Ivan. Performance analysis of the RFID-enabled Manufacturing Execution System, Proceedings of International Conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 77-82.
13. Peko, Ivan; Krolo, Jure; Bagavac, Petra; Đurić, Stefan; Kostić, Nikola; Bašić, Andrej. Modeling and Optimization of Tensile Strength of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modeling Process, Conference Proceedings International conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 2017. 103-110.
14. Stojkić, Željko; Gjeldum, Nikola; Bošnjak, Igor. Primjena informacijskih sustava u procesu logistike na primjeru inteligentnog montažnog sustava, Zbornik XIV Konferencije održavanja i proizvodni inženjering - KODIP 2017. Podgorica, 2017. 88-93.
15. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko. Integrating Digital Factory, Lean Management and Industry 4.0 into the Learning Factory – Case Study at University of Split, Proceedings of the ICEAI, Kyoto, Japan, 2017. 237-249.
16. Babić, Zoran; Veža, Ivica; Pavić, Ivan. Ranking of enterprises with regard to industrial maturity level using AHP and TOPSIS, ISAHP 2016, London, 2016. 124-125.
17. Banduka, Nikola; Mučuzić, Ivan; Stojkić, Željko; Bošnjak, Igor; Peronja, Ivan; Veža, Ivica. USING 80/20 PRINCIPLE TO IMPROVE DECISION MAKING AT PFMEA, Proceedings of 27TH DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM, Beč, 2016. 487-492.

18. Banduka, Nikola; Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola. Supply chain model based on management principles of supply chain key elements and on Lean principles, CONFERENCE PROCEEDINGS of International conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 2016. 1-9.
19. Čagalj, Ante; Markovina, Roko; Veža, Ivica. INTEGRACIJSKI PROCESI U BRODOGRADNJI, Zbornik radova XXII. Simpozij Sorta 2016, Zagreb, 617-626.
20. Čelar, Stipe; Turić, Mili; Dragičević, Srdjana; Veža, Ivica. Digital Learning Factory at FESB – University of Split, ZBORNIK RADOVA YU INFO 2016, Beograd, 2016. 001-006.
21. Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola; Veža, Ivica. Lifelong Learning in Learning Factory, 23rd EurOMA Conference. Trondheim, Norveška, 2016. 1-8.
22. Mladineo, Marko; Horvat, Djerdj; Veža, Ivica. Case Study of Croatian manufacturing industry: Industry 4.0 Providers or Users? Proceedings of International Conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 2016. 107-112.
23. Park, Hong Seok; Dang, Duc Viet; Lee, Gyu Bong; Veža, Ivica: DESIGN AND SIMULATION OF A FLEXIBLE CUTTING MACHINE FOR ROLL FORMING PRODUCT, Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, Beč, 2016. 633-644.
24. Stojkić, Željko; Veža, Ivica; Bošnjak, Igor. CONCEPT OF INFORMATION SYSTEM IMPLEMENTATION (CRM AND ERP) WITHIN INDUSTRY 4.0, Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium, Beč, 2016. 912-919.
25. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Evaluation of Industrial Maturity Level: A Case Study of Croatia, The 26th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. Seoul, Korea, 2016. 467-473.
26. Gjeldum, Nikola; Bilić, Boženko; Bošnjak, Nino. Investigation on CWEDT process limitations and irregularity occurrence, Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Production Engineering - CIM'2015, Zagreb, 2015. 105-110.
27. Peko, Ivan; Bajić, Dražen; Veža, Ivica. Selection of additive manufacturing process using the AHP method, Conference Proceedings International conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 2015. 119-129.
28. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Managing Innovative Production Network of Smart Factories, 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Ottawa, 2015. 589-594.

29. Veza, Ivica; Mladineo, Marko; Peko, Ivan. Analysis of the current state of Croatian manufacturing industry with regard to Industry 4.0, Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Production Engineering - CIM'2015, Zagreb, 2015. 249-254.

30. Veza, Ivica; Bilic, Bozenko; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko. Model of Innovative Smart Enterprise, Proceedings of 6th International Conference on Mass Customization and Personalization in Central Europe (MCP-CE 2014), Novi Sad, 2014. 224-229.

- **Drugi radovi u zbornicima skupova s recenzijom (1)**

1. Peko, Ivan; Špar, Ivan; Bašić, Andrej. Rapid Prototyping of Mechanical Measurement Level Device, Conference Proceedings International conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 2016. 113-118.

- **Neobjavljena sudjelovanja na skupovima (21)**

1. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko. Model inovativnog pametnog poduzeća: HR-ISE model, 3. seminar Pametna proizvodnja 2018, FESB, Split, 2018.

2. Veža, Ivica. Inovativno pametno poduzeće. Okrugli stol „Kibernetско-fizikalni sustavi i Interent stvari“, Hrvatska akademija tehničkih znanosti, Zagreb, 2018.

3. Veža, Ivica. Razvoj inovativnog, pametnog poduzeća u grafičkoj industriji. Konferencija PRINT 2018, Zagreb, 2018.

4. Veža, Ivica. Innovative Smart Enterprise. Deseta međunarodna konferencija „Nauka i visoko obrazovanje u funkciji održivog razvoja – SED 2017“, Drvengrad, 2017.

5. Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina. Innovative Smart Enterprise. Workshop Ruhr University of Bochum – University of Split, FESB, FESB, Split, 2017.

6. Veža, Ivica. Lean Learning Factory. Workshop Ruhr University of Bochum – University of Split, FESB, FESB, Split, 2017.

7. Čelar, Stipo; Turić, Mili. LEAN_LEARNING_FACTORY@fesb: Information System Development in Industry 4.0, Zbornik radova 2. seminara Pametna proizvodnja 2017, FESB, Split, 2017.

8. Mladineo, Marko. Lean Learning Factory @ FESB: Inteligentna montažna linija, Zbornik radova 2. seminara Pametna proizvodnja 2017, FESB, Split, 2017.

9. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Crnjac, Marina. Koncept Inovativnog pametnog poduzeća HR-ISE, Zbornik radova 2. seminara Pametna proizvodnja 2017, FESB, Split, 2017.

10. Čelar, Stipe. Digital_Learning_Factory@fesb, Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, FESB, Split, 2016. 80-99.
11. Gjeldum, Nikola. Lean Learning Factory (Tvornica koja uči) na FESB-u, Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, FESB, Split, 2016. 61-79.
12. Veža, Ivica. Projekt Inovativno pametno poduzeće (INSENT), Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, Split, FESB, 2016. 5-42.
13. Veža, Ivica. Industrija 4.0 (R)evolucija – Hrvatska platforma Industrije 4.0, 2. LEAN Spring Summit: Lean menadžment i Industrija 4.0, pokretači ubrzanog razvoja hrvatskog gospodarstva i društva, Zagreb, 2016. 15-25.
14. Veža, Ivica. Innovative Smart Enterprise -Case study of Croatia, Conference ENEGEP, Joao Pessoa, Brasil, 2016.
15. Veža, Ivica. Inovativno pametno poduzeće zasnovano na Leanu, Zbornik radova 6. GALP konferencije, Zagreb, 2016. 30-40.
16. Gjeldum, Nikola. Cjeloživotno obrazovanje "LOPEC - Logistics personnel excellence by continuous self-assessment", Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2016.
17. Mladineo, Marko. Obrazovanje u Learning Factory, Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2016.
18. Veža, Ivica. Promjena kulture rada s Toyota Kata, Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2016.
19. Veža, Ivica. Human Centered Production in Cyber-Physical Production Systems - Case study Croatia, 37th Annual AIM Conference, Beč, 2015.
20. Veža, Ivica. Uloga leadershipa u Lean transformaciji poduzeća , Zbornik 5. konferencije o Lean i green proizvodnji i uslugama, Zagreb, 2015. 14-29.
21. Veža, Ivica. Lean u svakodnevnom poslovanju, Zbornik prezentacija Lean Spring Summit 2015, Zagreb, 2015. 4-27.

- **Disertacije (3)**

1. Banduka, Nikola. Improvement of product reliability during the production process in the automotive industry using improved FMEA analysis, doktorska disertacija. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 27.09. 2018, 126 str. Voditelj: Veža, Ivica.

2. Peko, Ivan. Utjecaj faktora procesa rezanja plazmenim mlazom na kvalitetu reza kod aluminijskih legura, doktorska disertacija. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 27.09. 2018, 502 str. Voditelj: Veža, Ivica.

3. Krstić-Vukelja, Elizabeta. Simulacijski model određivanja kvalitete usluga pomoću agenata, doktorska disertacija. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 29.09. 2017, 163 str. Voditelj: Veža, Ivica.

- **Diplomski radovi (5)**

1. Mucić, Ivan. Analiza uvođenja robota u proizvodni sustav, diplomski/integralni studij. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 17.07.2018, 60 str. Voditelj: Veža, Ivica.

2. Jurčević, Slavica. Upravljanje montažom kareta s RFID tehnologijom, diplomski/integralni studij. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 07.09.2017, 47 str. Voditelj: Veža, Ivica.

3. Znaor, Ivan. Planiranje i upravljanje pomoću ERP sustava unutar pametnog poduzeća, diplomski/integralni studij. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 07.09. 2017, 57 str. Voditelj: Veža, Ivica.

4. Raguž, Krešimir. Industrijska revolucija 4.0 i razvoj android mobilne aplikacija, diplomski/integralni studij. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 22.12. 2015, 53 str. Voditelj: Veža, Ivica.

5. Tonković, Zrinka. Upotreba RFID tehnologije u montažnom procesu, diplomski/integralni studij. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 17.07. 2015., 54 str. Voditelj: Veža, Ivica.

- **Druge vrste radova (10)**

1. Crnjac Marina, Mladineo Marko. Inovativno pametno poduzeće - model, Dani FESB-a 2018. FESB, Split, 2018.

2. Mladineo, Marko; Crnjac, Marina. Innovative Smart Enterprise: Konfigurator proizvoda, Dani FESB-a 2017. FESB, Split, 2017.

3. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Čelar, Stipo; Babić, Zoran; Bilić, Boženko; Stojkić, Željko. Hrvatski model inovativnog pametnog poduzeća, 2017. (izvješće za HRZZ).

4. Mladineo, Marko. Lean Learning Factory @ FESB: Smart Factory Project, Dani FESB-a, FESB, Split, 2016.

5. Veža, Ivica. Na putu prema inovativnom i pametnom poduzeću, Dani slobodne nastave Ekonomske i birotehničke škole, Bjelovar, 2016.
6. Veža, Ivica. Industrija 4.0 – novi strojarski izazov, Strojarski izazov 2016., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2016.
7. Veža, Ivica. Uloga leadershipa u Lean transformaciji poduzeća, Konferencija GALP 2016, Zagreb, 2016.
8. Veža, Ivica. Hrvatska industrija na putu prema Industriji 4.0, Seminar Industrija 4.0, Culmena, Zagreb, 2016.
9. Veža, Ivica. Industrija 4.0, Hrvatska gospodarska komora, Varaždin, 2015.
10. Veža, Ivica; Babić, Zoran; Bilić, Boženko; Čelar, Stipo; Stojkić, Željko; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Peko, Ivan; Špar, Ivan. Analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća, 2015. (izvješće za HRZZ).