

Projektni izvještaj (RP 2):

**HR-Innovative Smart Enterprise (HR-ISE) model
Hrvatski model inovativnog pametnog poduzeća**

Split, srpanj 2017.

Publikacija:

Projektni izvještaj za Radni paket 2 (RP 2): „HR-Innovative Smart Enterprise (HR-ISE) model Hrvatski model inovativnog pametnog poduzeća“

Projekt:

HRZZ-1353 Innovative Smart Enterprise (INSENT)

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 i računarstva Mostar

Ivan Peko, doktorand, FESB Split

Ivan Špar, doktorand, FESB Split

Nikola Banduka, doktorand, FESB, Split

Mili Turić, doktorand, FESB, Split

Elizabeta Krstić Vukelja, doktorand, FESB Split

Igor Bošnjak, doktorand, Fakultet strojarstva i računarstva Mostar

Marina Crnjac, doktorand, FESB Split

Izdaje:

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB), Sveučilište u Splitu, Split

Srpanj 2017.

Sadržaj

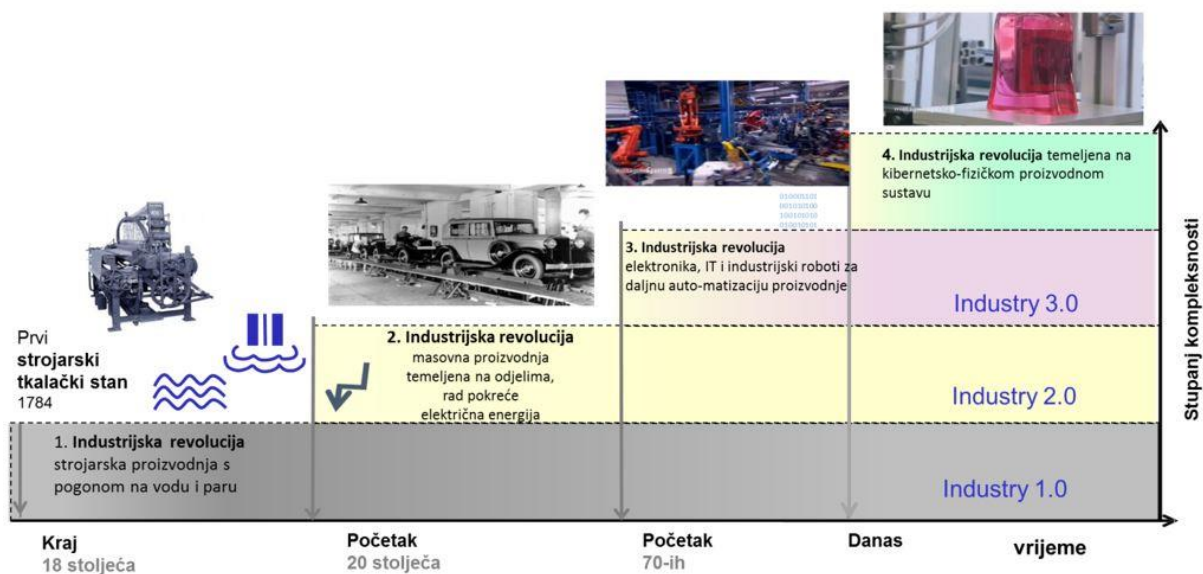
1. Uvod	1
2. Razvoj konfiguratora proizvoda	6
2.1. Masovna prilagodba i konfigurator proizvoda	6
2.2. Analiza web reprezentativnosti hrvatskih proizvodnih poduzeća	7
2.3. Optimiranje konfiguracije proizvoda prema kupčevim željama	8
2.4. INSENT web konfigurator proizvoda	13
2.5. INSENT web aplikacija za upravljanje nesukladnostima	17
3. Razvoj modela tvornice temeljenog na lean i zelenim principima	20
3.1. Metodologija istraživanja i analiza dobivenih rezultata	20
3.2. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na leanu	27
3.3. Primjena višekriterijalne analize za određivanje razine zrelosti hrvatskih poduzeća u smislu približavanja konceptu Industrije 4.0	50
3.3.1. Uvod	50
3.3.2. Pregled korištenih višekriterijalnih metoda	51
3.3.2.1. Analitički Hijerarhijski Proces (AHP)	51
3.3.2.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	54
3.3.3. Primjena višekriterijalne analize na procjenu industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća	56
3.3.4. Zaključak	60
4. Razvoj asistentskog modula PLAS	62
4.1. Industrija 4.0 i informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT)	62
4.1.1. Internet, CPS, CPPS i IoT i I4.0	62
4.1.2. Horizontalna i vertikalna integracija u I4.0	64
4.1.3. Industrija 4.0 – konvergencija virtualnog i fizičkog svijeta	65
4.2. Informatizacija procesâ u tvrtkama	68
4.2.1. Informatička zrelost hrvatskih tvrtki	68
4.2.2. Paradoks sposobnosti prilagodbe softvera (programskog rješenja)	70
4.3. Metodologija razvoja softvera	72
4.3.1. Metodologije razvoja softvera	72
4.3.2. Agilne metode/metodologije razvoja softvera	73
4.3.3. Lean & agile: Manifest agilnog razvoja softvera	74
4.4. Arhitektura VENIO Sustava za praćenje poslovnih procesa	74
4.4.1. Integracija sustava ili integracija funkcija	74

4.4.2. Kontekstualni model VENIO sustava	75
4.4.3. Konceptualni model VENIO sustava	76
4.4.4 Realizacija softvera (IS-a) za praćenje poslovnih procesa – VENIO sustav	77
4.5. PLAS – modul za planiranje i raspoređivanje (PLAS)	83
4.5.1. Konceptualni model PLAS modula	83
4.5.2 Praćenje proizvodnje na temelju vezanih dokumenata (temeljeno na OAGIS i UN/CEFACT).....	85
4.5.3 Podsustav 'Senzorski centar' – vertikalna 'ulaznica' u CPPS svijet	89
5. Upravljanje kvalitetom – sustavi, metode i tehnike	90
5.1. Sustavi upravljanja kvalitetom.....	90
5.1.1. Upravljanje kvalitetom prema zahtjevima niza norma ISO 9000	91
5.1.2. TQM	97
5.1.3. ŠEST SIGMA	98
5.1.3.1. ŠEST SIGMA – Metrika.....	98
5.1.3.2. ŠEST SIGMA – Metodologija	99
5.1.3.3. ŠEST SIGMA – Sustav upravljanja	101
5.2. Osnovni alati za kontrolu kvalitete	102
5.2.1. Ispitni list	102
5.2.2. Histogram	103
5.2.3. Pareto-dijagram	104
5.2.4. Dijagram uzroka i posljedice	105
5.2.5. Dijagram tijeka	106
5.2.6. Dijagram rasipanja	108
5.2.7. Kontrolne karte	109
5.3. Alati za upravljanje kvalitetom	112
5.3.1. Dijagram srodnosti	112
5.3.2. Dijagram odnosa	114
5.3.3. Stablo dijagram	115
5.3.4. Matrični dijagram	116
5.3.5. Matrica prioriteta	118
5.3.6. Program procesnog odlučivanja (PDPC dijagram).....	119
5.3.7. Mrežni dijagram.....	120
5.4. Važnost kvalitete i primjena alata za kvalitetu prilikom uvođenja HR-ISE modela.....	124
6. Razvoj koncepta za implementaciju ERP i xRM sustava	127
6.1. Uvod.....	127
6.2. Industrija 4.0 i informacijski sustavi	128

6.2.2 Promjena u informacijskim sustavima s Industrijom 4.0	129
6.3. Koncept implementacije ERP/xRM sustava	130
6.3.1 Koncept uvođenja informacijskog sustava	131
6.3.2. Zahtjevi Industrije 4.0 u razvoju ERP sustava	133
6.4. Primjena informacijskih sustava na primjeru inteligentnog montažnog sustava	135
6.4.1. Kibernetско-fizički sustavi u prikupljanju, analizi i obradi podataka	135
6.4.2. Inteligentni montažni sustav i opis problema	138
6.4.3. Prijedlog rješenja	140
6.5. Zaključak	141
7. Zaključak	142
Literatura	146
Kazala slika i tablica	150

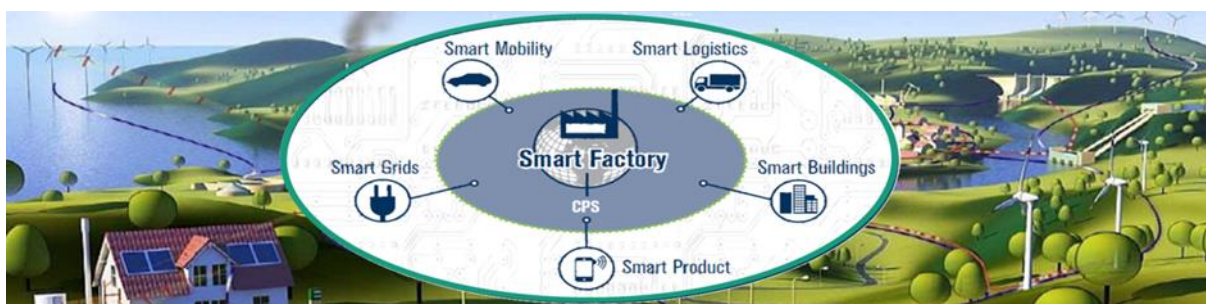
1. Uvod

Među velikim konkurentima u svjetskoj industriji danas se govori o vrlo aktualnoj temi pod nazivom Industrija 4.0. Prema svim naznakama (razvoju strojeva, računalnih programa, robotike i sl.) uskoro će se pojaviti globalne poslovne mreže koje će udružiti svoje „pametne“ strojeve, sustave skladištenja i proizvodna postrojenja u oblik kibernetko-fizikalnog proizvodnog sustava (engl. CPPS - Cyber-Physical Production Systems), Slika 1.1. Takav proizvodni sustav će autonomno razmjenjivati informacije, pokretati aktivnosti i neovisno vršiti kontrolu.



Slika 1.1. Industrijske revolucije kroz vrijeme (Acatech, 2013)

Četvrta industrijska revolucija se temelji na konceptu Pametne tvornice, Slika 1.2. Pametne tvornice imaju potpuno novi pristup proizvodnji.



Slika 1.2. Koncept pametne tvornice (Acatech, 2013)

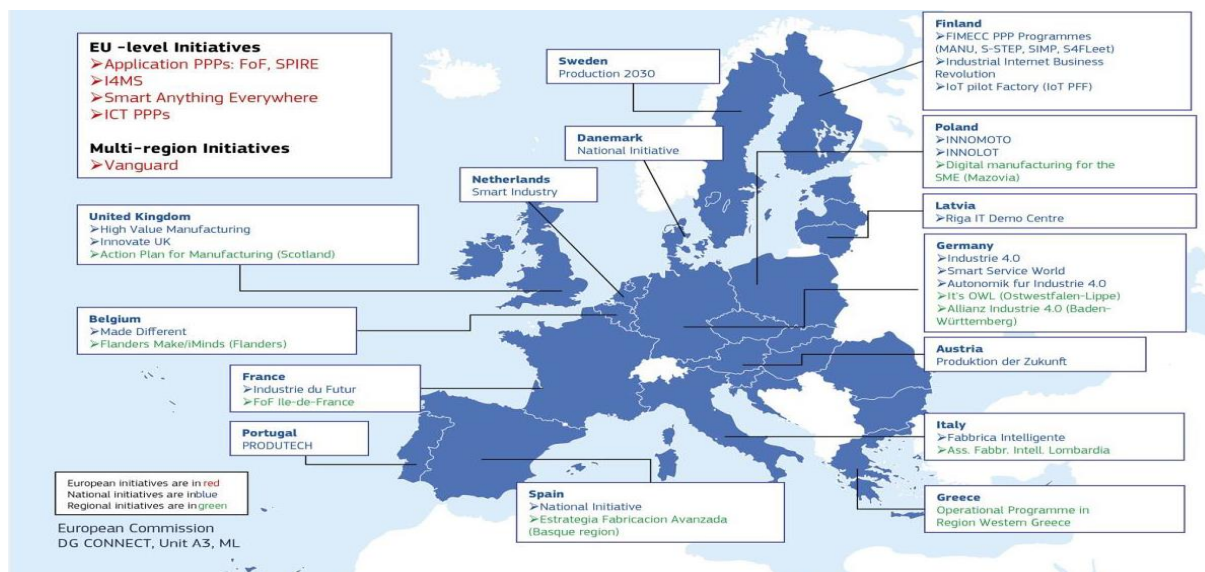
Pametni proizvodi se uvijek mogu identificirati, locirati i u svako vrijeme se zna njihova prošlost, trenutni status i buduće aktivnosti koje su potrebne da bi dobio konačan izgled. Važne su kvalitetno pripremljene baze podataka, iz kojih se mogu filtrirati potrebni izvještaji, radi pravodobnih i korisnih informacija. Koriste se prednosti virtualnog svijeta koji omogućava simulacije različitih slučajeva. Kontinuirano se radi na optimizaciji proizvoda, procesa te cijelog dobavljačkog lanca. "Industrija 4.0" obuhvaća integraciju suvremenih informacijsko komunikacijskih tehnologija (ICT) s konvencionalnom fizičkom proizvodnjom i

procesima, što omogućuje razvoj novih tržišta i poslovnih modela. Proizvodi, transportna sredstva i alati „surađuju“ kako bi najbolje odradili svaki sljedeći proizvodni korak, što dovodi do povezivanja virtualnog svijeta i fizičkih objekata u stvarnom svijetu. "Industrija 4.0" je time usmjerena na pitanje kako ta integracija može pružiti individualnom kupcu korist, koju je on spreman platiti. Novi pristup omogućava proizvodnju prema individualnim zahtjevima kupca, bez obzira što je riječ o jedinstvenom proizvodu moguće je ostvariti profit. Glavni cilj je da se proizvodni sustav može oduprijeti svim dinamičnim poslovnim procesima jer ga karakterizira fleksibilnost koja će odgovoriti na poremećaje različitog porijekla. Važno je da menadžeri u tvrtkama razumiju što je Industrija 4.0 i kako ona izgleda u stvarnosti. Pronalaskom odgovarajućeg modela, uz snažnu podršku razvoja, može se kreirati vizija i put prema Industriji 4.0, što je specifično za određenu tvornicu. Ideju Industrije 4.0 treba povezati sa specifičnim područjem kojim se bavi određena tvornica. Industriju 4.0 se ne može promatrati „izolirano“ već kao brojna područja na kojima je potrebno djelovati da se stvore uvjeti karakteristični za Industriju 4.0. Treba ju primjenjivati interdisciplinarno, usko vezati različita područja.

Zemlje diljem svijeta, posebno razvijene zemlje, u svoju strategiju na razini države uključuju četvrtu industrijsku revoluciju kao vrlo važan dio strategije jer se on tiče njihove industrije, Slika 1.3. (Berger Roland, 2014). Njemačka je zemlja sa dubokim industrijskim korijenima i već je vodeća zemlja u razvoju tehnologija za povezivanje sustava, što čini tehnološku osnovu za Industriju 4.0. Njemačka se vodi dualnom strategijom za budućnost, nastavlja poboljšavati svoju poziciju zemlje sa razvijenom industrijom zahvaljujući inovativnim konceptima pametne tvornice i primjenama Industrije 4.0, a također je jedna od vodećih u proizvodnji tehnologije za tvrtke koje uvode Industriju 4.0. Slika 1.4. prikazuje zemlje u Europi koje su definirale svoje strategije razvoja industrije i ciljeve za budućnost.

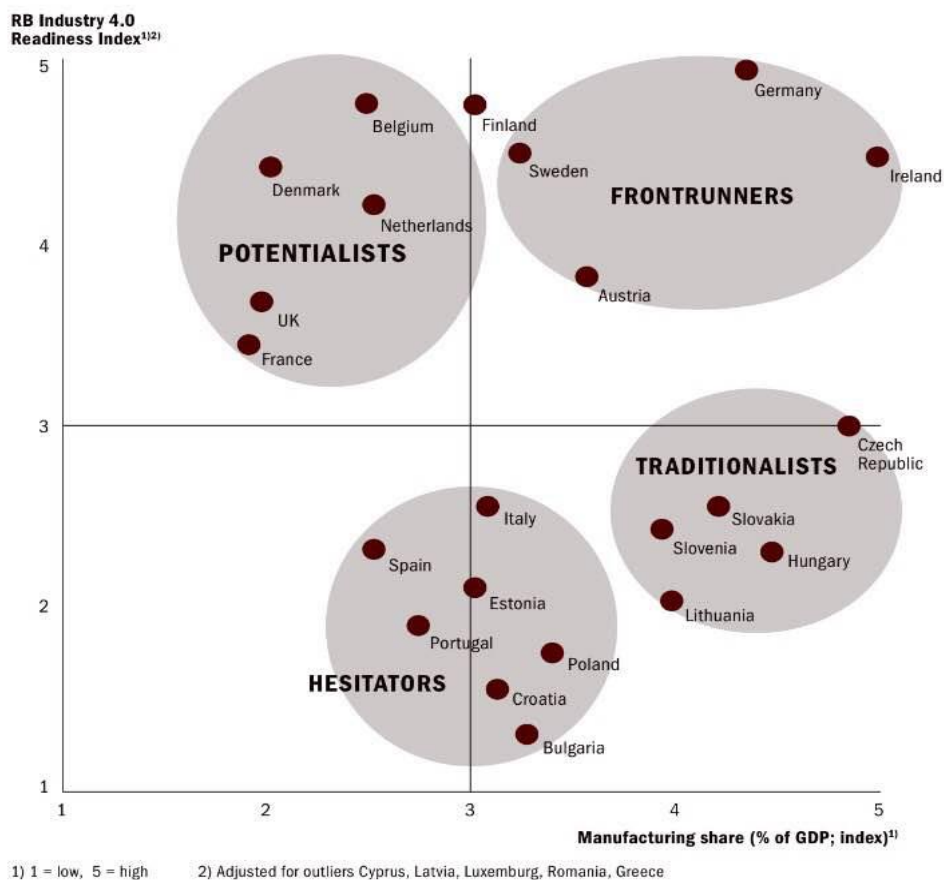


Slika 1.3. Inicijative diljem svijeta ubrzavaju četvrtu industrijsku revoluciju (Brahmawar, 2016)



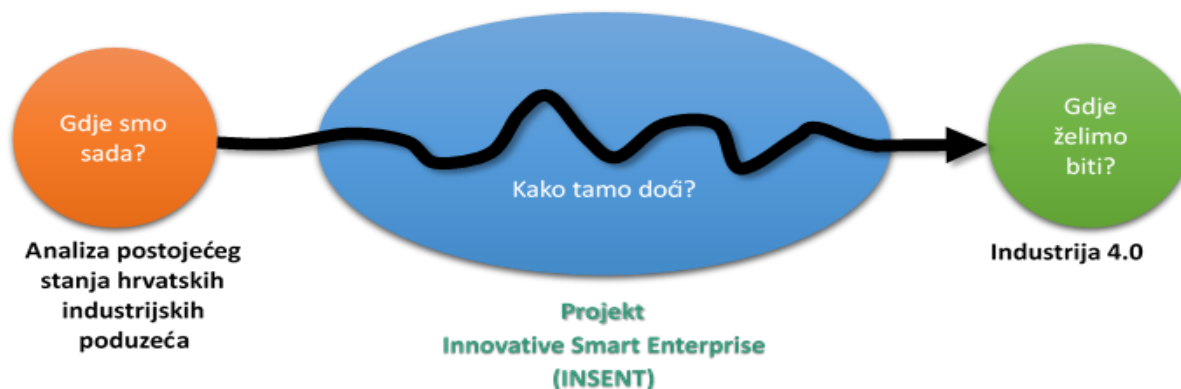
Slika 1.4. Strategije industrijskog razvoja u zemljama Europe (Oettinger, Bieńkowska & Moedas, 2016)

Konzultantska tvrtka Roland Berger kroz svoja istraživanja kako se pojedina zemlja kreće prema Industriji 4.0, svrstava Hrvatsku među zemlje „oklijevala“ po pitanju kretanja prema Industriji 4.0, što je vidljivo na Slici 1.5.



Slika 1.5. Kretanje zemalja prema Industriji 4.0 (Berger Roland, 2014)

Glavni cilj projekta INSENT je razviti Hrvatski model Inovativnog pametnog poduzeća (HR-ISE model). Cilj je napraviti regionalnu prilagodbu modela odnosno uskladiti model Inovativnog pametnog poduzeća sa specifičnim regionalnim načinom razmišljanja, proizvodnjom i organizacijskom tradicijom te specifičnom edukacijom. HR-ISE model može pomoći hrvatskim poduzećima premostiti razliku između njihovih kompetencija i kompetencija i mogućnosti EU poduzeća. S obzirom na razinu razvijenosti hrvatskih poduzeća, postavlja se pitanje gdje hrvatska poduzeća žele biti u budućnosti, ako je cilj ostvariti Industriju 4.0, onda slijedi pitanje kako ostvariti željeni cilj. Projekt Inovativno pametno poduzeće se bavi pitanjem kako pomoći hrvatskim poduzećima da dosegnu razinu Industrije 4.0, Slika 1.6.



Slika 1.6. Pitanje kojim se bavi projekt INSENT (Veža i dr., 2015)

Kroz radne pakete cilj je unaprijediti znanstveno razumijevanje hrvatskog proizvodnog poduzeća promicanjem empirijskih istraživanja procesa te organizacijske inovacije. Istraživanja procesa i organizacijskih inovacija uključuju uvođenje novih proizvodnih tehnologija, integraciju ICT s procesima, nove organizacijske koncepte u proizvodnji kao što su grupni rad ili preseljenje proizvodnje, ali i novim proizvodima koji proizlaze iz procesnih i organizacijskih inovacija, kao što su usluge povezane s proizvodom.

Radni paket 1: Analiza postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća

Istraživanja na ovom radnom paketu provedena su u 1. godini istraživanja. Tijekom istraživanja poslana su ankete i obavljeni intervjui s managerima u pojedinim poduzeća. Nakon što su prikupljeni podaci, provedena je analiza za opisivanje trenutnog stanja hrvatskog proizvodnog poduzeća i dobiveni su rezultati da je razina hrvatskih proizvodnih poduzeća je 2,15, što daje odgovor na pitanje se trenutno nalazi hrvatska industrija (Veža i dr., 2015). Hrvatska industrija pripada drugoj industrijskoj generaciji.

Radni paket 2: Razvoj Hrvatskog modela inovativne pametne tvornice (HR-ISE model)

Poduzeća koja djeluju u različitim sektorima zahtijevaju sofisticirane modele organizacija, modele koji uključuju metode optimizacije i koji su u stanju oduprijeti se novim situacijama na tržištu. Često se mora se donijeti uravnotežena odluka, primjerice pronaći ravnotežu između zadovoljstva kupaca i troškova. S obzirom na globalnu konkurenciju, jedini način na koji će hrvatsko poduzeće moći preživjeti je pružanje visokokvalitetnih i prilagođenih proizvoda s prilagođenim uslugama, uz odgovarajuće cijene i kratke rokove isporuke. Poduzeće mora biti u mogućnosti nositi se sa sve raznovrsnijim i složenijim zahtjevima

kupaca, obično s vrlo suženim proizvodnim programima. Stoga hrvatsko poduzeće mora odgovoriti na potražnju za složenim proizvodima i uslugama s velikim stupnjem prilagodbe. Još jedna zapreka za prevladavanje prilagođene male serije je individualizacija proizvoda. Individualni proizvod predstavlja najčešće modifikaciju temeljenu na trenutnoj ponudi proizvoda ili potpuno novom proizvodu. Da bi se riješio taj izazov, valja razviti djelotvornu i modularnu metodu brzog oblikovanja strukture proizvoda i brzu promjenu proizvodnje za nove proizvode. S obzirom na činjenicu da je poduzetnička infrastruktura relativno kruta, povećanje i smanjenje kapaciteta vrlo je dugotrajan i skup proces, fleksibilnost mora biti generirana poboljšanim organizacijskim modelom. Dizajn optimiziranog i održivog poduzeća posebno je zahtjevno za hrvatsku industriju, kojoj je potrebno u strategiju rasta u proizvodnji uvrstiti prilagodbu za proizvodnju složenih proizvoda s visokim stupnjem specifičnosti za klijente. Navedeno je razlog zbog kojeg sustavi moraju biti vrlo fleksibilni kako bi se omogućilo mijenjanje potražnje korisnika i omogućila proizvodnja na zahtjev. Teško je predvidjeti ponašanje, trendove i zahtjeve različitih tržišta u budućnosti, ali izdržati sve trendove i zahtjeve je moguće uz bolji organizacijski model. Svaki globalni proizvođač ima svoj jedinstveni proizvodni sustav (primjerice Toyota, Mercedes, Bosch i drugi). Neke zemlje razvijaju svoj vlastiti jedinstveni model poduzeća (poput Njemačke - Industrie 4.0). Model je usklađen s vizijom, strategijom, vrijednostima i kulturom. Hrvatska nije razvila vlastiti model poduzeća. Model razvijen u ovom projektu je originalan i jedinstveni model koji se može provesti osobito u malim i srednjim poduzećima.

Radni paket 3: Eksperimentalno testiranje HR-ISE modela na Tvornici koja uči (Learning Factory) - Transfer pametne tvornice u poduzeća

Posebno okruženje za učenje realizirano je kroz laboratorij koji je načinjen poput male tvornice, u kojoj se može simulirati proizvodnja i montaža proizvoda pomoću specijalizirane opreme. Tvornica koja uči (engl. Learning factory) približava stvarni proces proizvodnje nekog proizvoda od trenutka konstrukcije do montaže proizvoda. U laboratoriju se koriste 3D programi za modeliranje u početnoj fazi konstrukcije proizvoda, zatim se vrši proizvodnja pomoću tokarskog stroja, glodalice, 3D printera, sve što je napravljeno se montira na montažnim linijama, a cijeli proces je praćen putem software-a za praćenje proizvodnje, temeljenog na novim tehnologijama, koji generira sve popratne dokumente potrebne u proizvodnji. Na taj način se vrši realan prikaz proizvodnje, kako bi korisnicima bio što jasniji proizvodni proces uz pomoć novih tehnologija. Uz sve navedeno vrlo važan je pristup organizaciji proizvodnje, kojoj se pridaje veliki značaj i laboratorij predstavlja mjesto za obrazovanje studenata i inženjera iz industrijskih poduzeća odnosno mjesto za transfer razvijenog HR ISE modela na gospodarstvo.

Radni paket 4: Diseminacija

Diseminacija projekta se vrši kroz pisanje znanstvenih i stručnih radova u časopisima te radova na domaćim i inozemnim konferencijama.

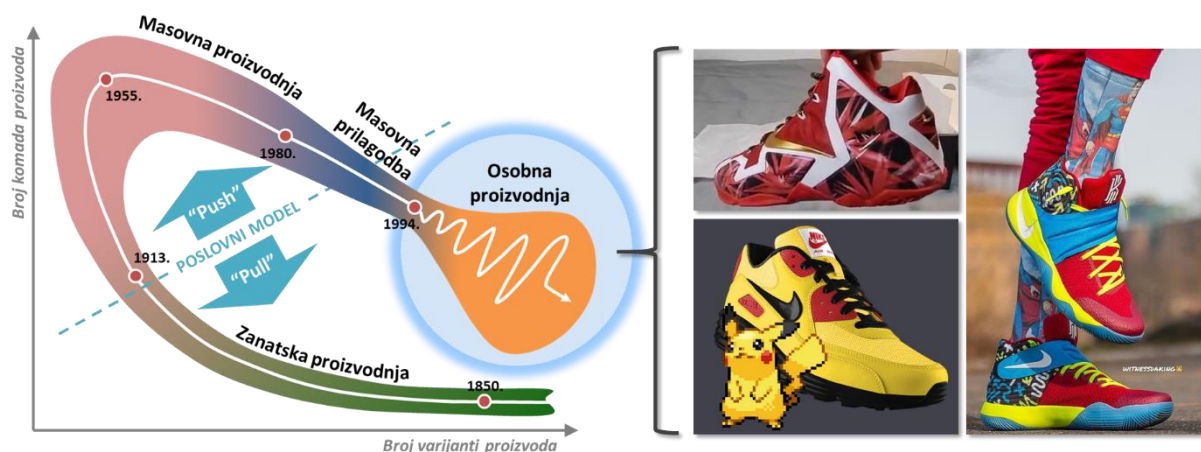
U ovom izvješću biti će prikazani rezultati dvogodišnjeg istraživanja na Radnom paketu 2: Razvoj Hrvatskog modela inovativne pametne tvornice (HR-ISE model).

2. Razvoj konfiguratora proizvoda

2.1. 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.

2.2. Analiza web reprezentativnosti hrvatskih proizvodnih poduzeća

Istraživanje udjela poduzeća u Hrvatskoj koja koriste web stranice i Internet konfiguratore pokazalo je da od 2300 ispitanih tvrtki s 5 ili više zaposlenih konfigurator posjeduju samo 4 poduzeća (Slika 2.2.). To su: MARLEX do.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 direktno prići s osnovne web stranice poduzeća. Međutim, 9 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 1656 tvrtki odnosno oko 72%, dok sastavne dijelove ili asortiman proizvoda posjeduje 1265 tvrtki odnosno 55%.

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

Kod tvrtki MARLEX do.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 4 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.

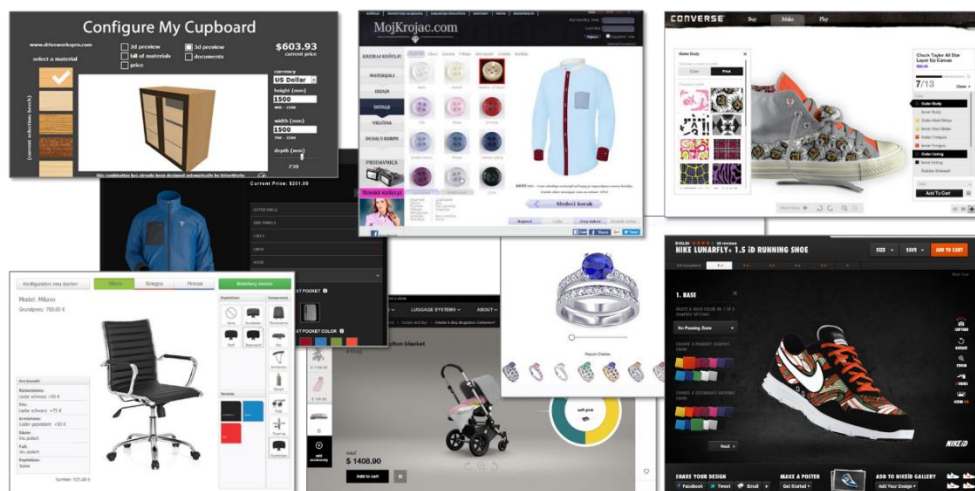
Stoga se u ovom projektu razmatrao razvoj konfiguratora koji bi sa stajališta kupca nudion veće mogućnosti što se tiče povratnih informacija tijekom samog slaganja konfiguriranog proizvoda, te neposredno nakon završetka konfiguracije.

2.3. 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.

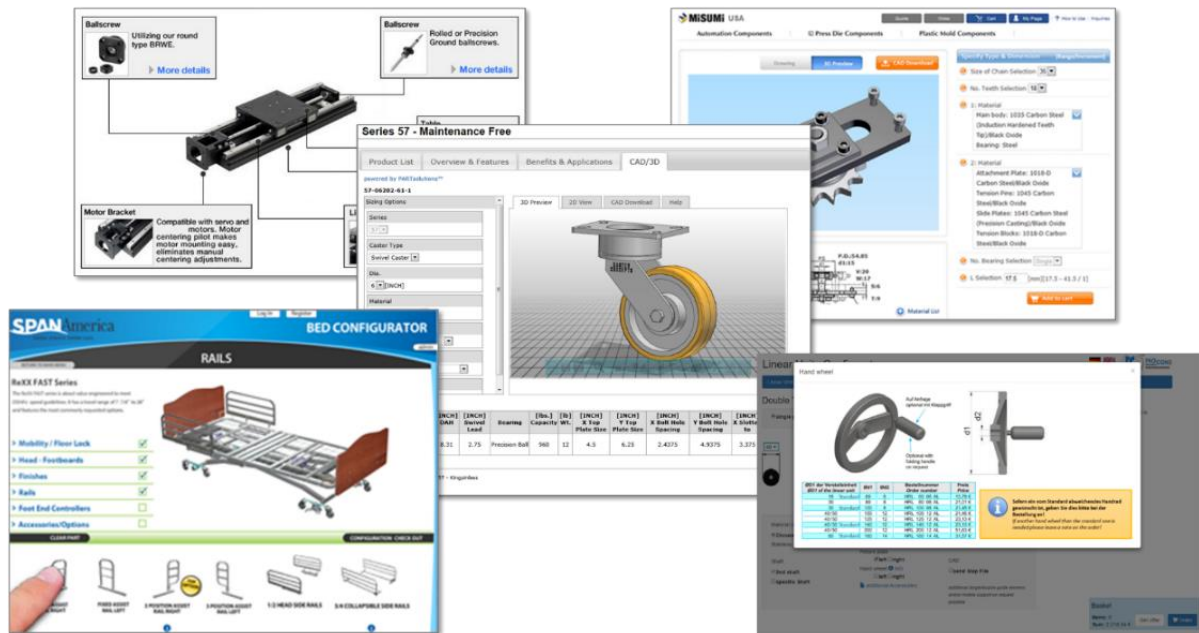
U 99% slučajeva riječ je o montaži prema narudžbi, a ne proizvodnji prema narudžbi. Poduzeća minimiziraju ukupni broj mogućih varijanti proizvoda ograničavanjem izbora, te primjenom modularnog dizajna. Ovakav konfigurator proizvoda kao web aplikacija usko je povezan s tehničkim mogućnostima i napretkom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



Slika 2.3. Primjer Web konfiguratora izgleda proizvoda

- **Web konfiguratori svojstva proizvoda** – kod kojih kupac odabire vrijednosti svojstva 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 zahtjeva inteligentne web servise za optimizaciju odabira konfiguracije proizvoda.



Slika 2.4. Primjer Web konfiguratora svojstava proizvoda

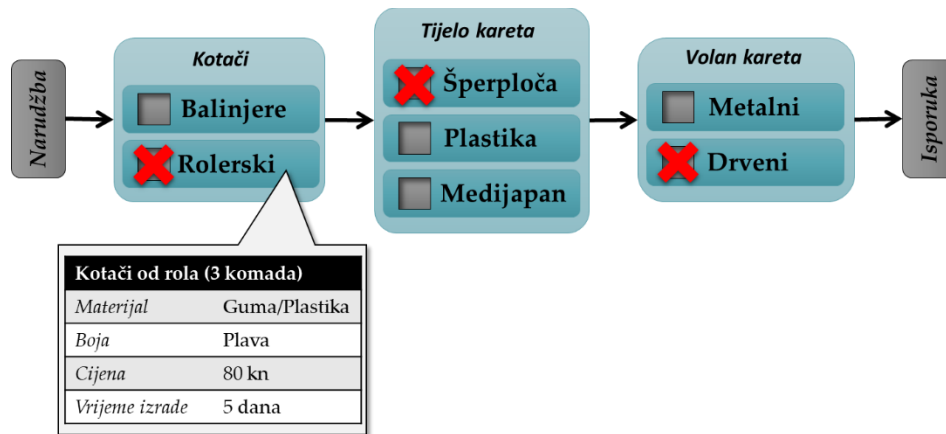
Nadalje, osim web aplikacije dostupne kupcu, konfigurator proizvoda zahtjeva integraciju s informacijskim sustavima poduzeća, kao što je ERP sustav. Na taj način se postiže da je cjelokupan proces, od narudžbe proizvoda putem konfiguratora do njegove isporuke, transparentan i točan, tj. ne može se dogoditi 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 (*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 WP3. Prvi dizajn kareta je razvijen, može se proizvesti iz više različitih materijala, te se na njega mogu ugraditi različiti kotači i sklopovi volana.

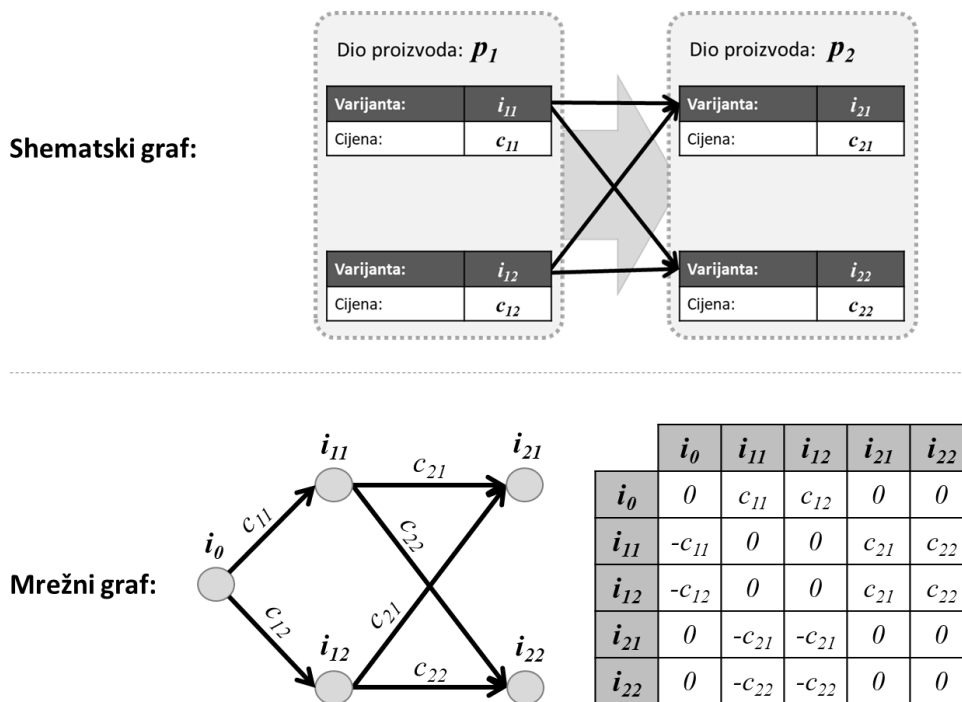
Problem odabira optimalne konfiguracije proizvoda po želji kupca svodi se na odabiranje jedne varijante za svaki dio proizvoda uzimajući pritom u obzir preferencije kupca (Slika 2.5.).



Slika 2.5. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod 'karet'

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 metode, broj kriterija može bit 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 'karet'

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 prema izrazu (26) 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

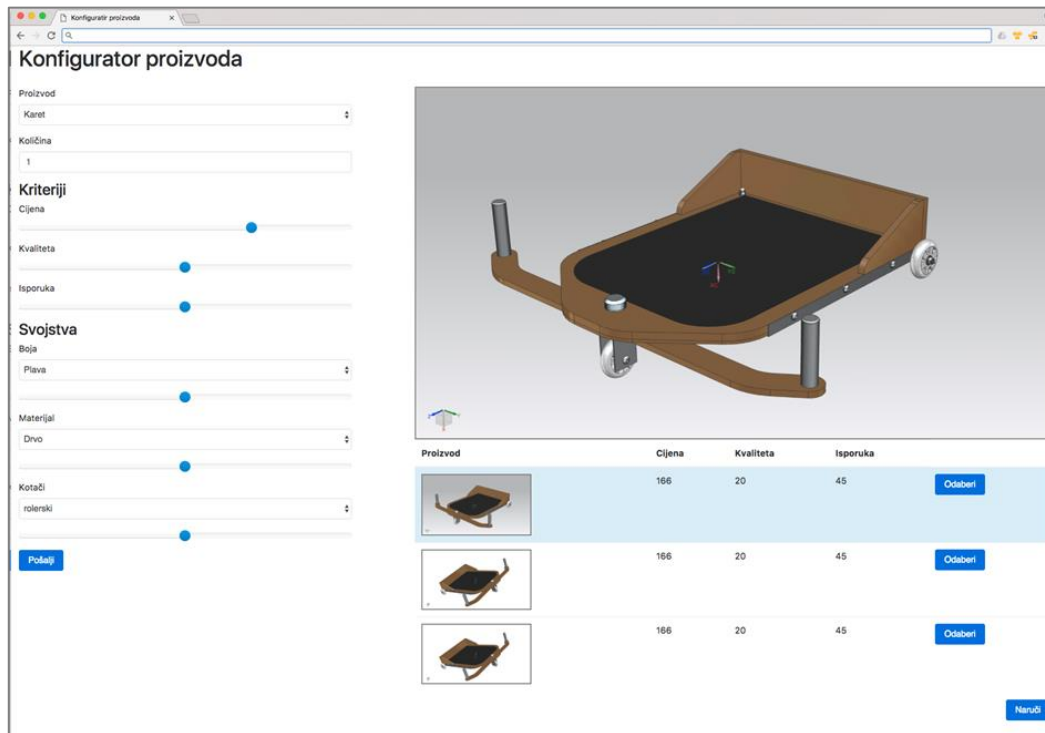
Treba još napomenuti da nije dokazano je li bolje korištenje principa globalno najboljeg mrava ili iteracijski najboljeg mrava za osvježavanje feromonskog traga, već to varira ovisno o vrsti optimizacijskog problema. Općenito, princip globalno najboljeg mrava bi trebao imati nešto bržu konvergenciju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

2.4. INSENT web konfigurator proizvoda

Prototip INSENT web konfiguratora komunicira s web servisom (Web Service) koji u sebi sadrži optimizacijski algoritam za odabir optimalne varijante proizvoda. Komunikacija se vrši putem POST ili SOAP zahtjeva pri čemu se za određeni proizvod šalju preferencije kupca, odnosno ponderi za kriterije i svojstva (Slika 2.7.).

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 sljedećoj slici vidljiv je prototip web aplikacije 'Konfigurator proizvoda' (Slika 2.9) 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).

Konfigurator proizvoda

Proizvod

Količina

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

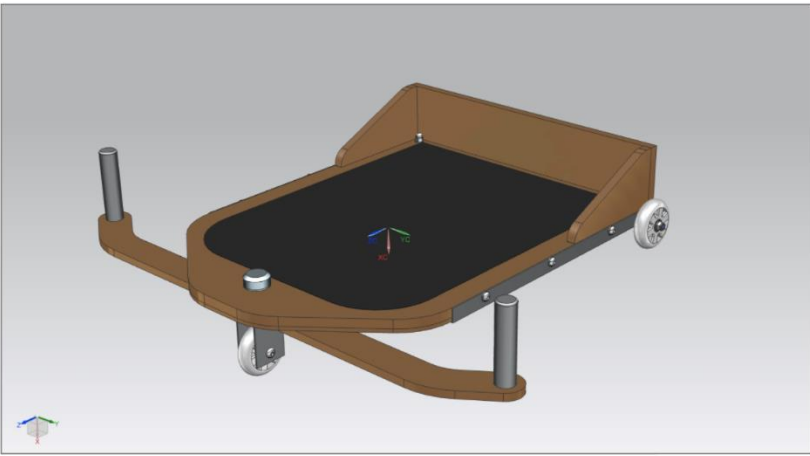
Kotači




rolerski

Pošalji

Slika 2.11. Definiranje preferencija kupca

Nakon odabira i pritiska na gumb '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

[Naruči](#)

Slika 2.12. Odabir proizvoda i količine narudžbe

Klikom na gumb 'Odaberi' u gornjem dijelu prikazuje se odabrana varijanta proizvoda. Dok se klikom na gumb '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.

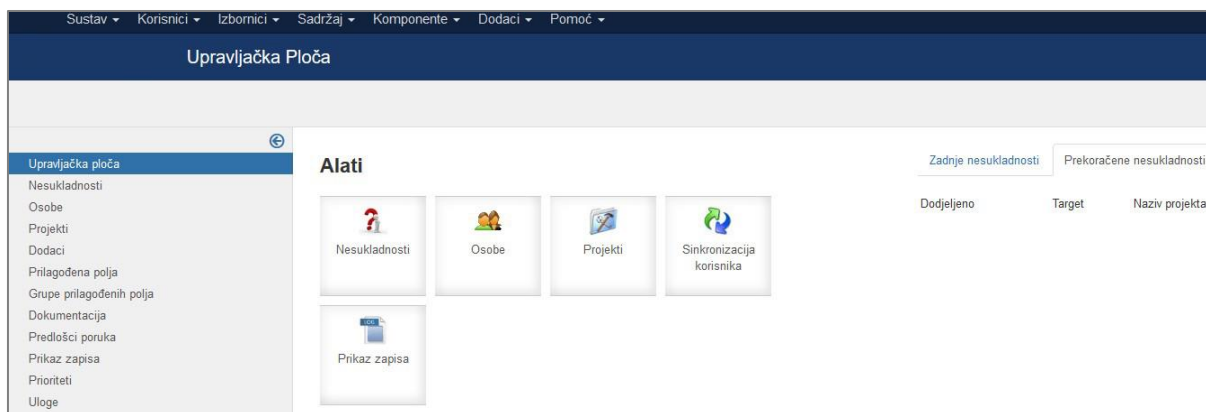
2.5. INSENT web aplikacija za upravljanje nesukladnostima

Ono što je jedan od ključnih zahtjeva za konfigurator proizvoda je svakako robusnost. S jedne strane dizajn proizvoda mora biti 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 razvijeni 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.

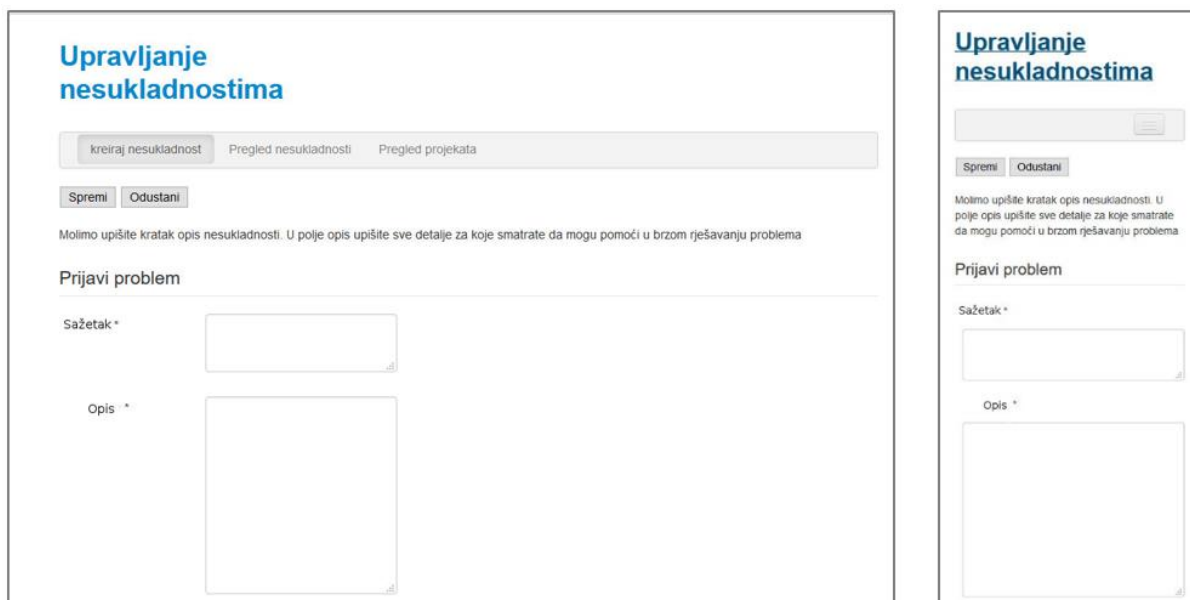
Osnovna namjena razvijene web aplikacije je upravljanje nesukladnostima i poremećajima koji se mogu javiti u bilo kojem složenom sustavu. No, s druge strane, aplikaciju je moguće koristiti i za upravljanje unaprjeđenima prema Kaizen principu. Ako nesukladnost i ne postoji, ali zaposlenici uoče element 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 unaprjeđenja, tako i za definiranje potreba za većim unaprjeđenjima 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 unaprjeđenjem proizvoda ili procesa.

Aplikacija se sastoji od korisničkog sučelja 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 (Slika 2.14).



Slika 2.13. Administracijsko sučelje aplikacije

Kod definiranja nesukladnosti ili potreba za unaprjeđenjem 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 brojeva oznaka od 1-100, koja određuje i boju prioriteta. (npr. 1 plava, 100 crvena). Za svaki prioritet određujemo 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

Upravljačka ploča
Nesukladnosti
Osobe
Projekti
Dodaci
Prilagođena polja
Grupe prilagođenih polja
Dokumentacija
Predlošci poruka
Prikaz zapisa
Prioriteti
Uloge
Statusi
Podrška
Vrste

Filter:

	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

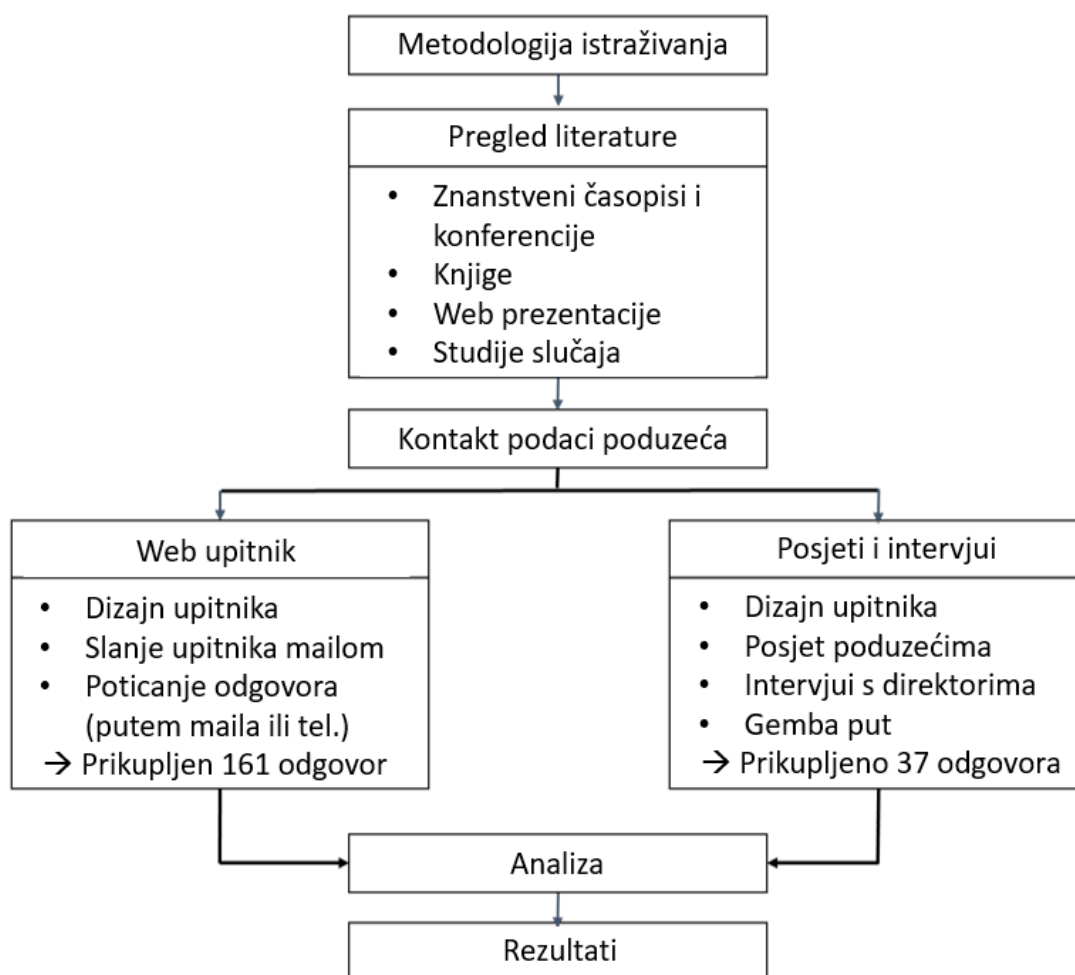
Filter:

Slika 2.15. Pregled nesukladnosti prema prioritetima

3. Razvoj modela tvornice temeljenog na lean i zelenim principima

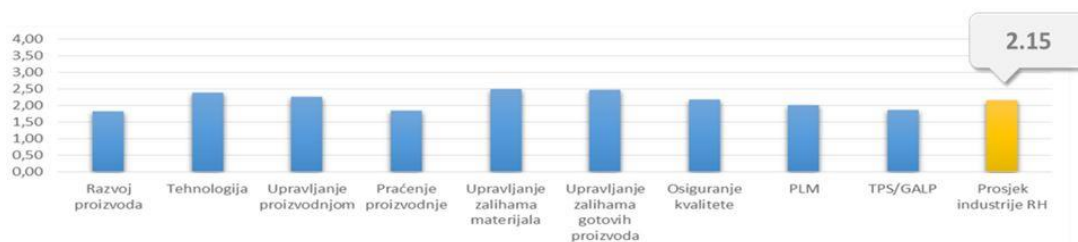
3.1. Metodologija istraživanja i analiza dobivenih rezultata

Istraživanje je započelo detaljnim pregledom literature, zatim je ostvaren kontakt s poduzećima na području Hrvatske. Da bi se napravila analiza trenutnog stanja hrvatskih industrijskih poduzeća u okviru Radnog paketa 1, web upitnik je poslan hrvatskim poduzećima i prikupljen je 161 odgovor. Za Radni paket 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 3.3. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na lean-u. Metodologija istraživanja prikazana je na Slici 3.1.



Slika 3.1. Prikaz metodologije istraživanja (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016)

Rezultati istraživanja provedenih na projektu potvrđuju da se Hrvatska sporo kreće prema Industriji 4.0, što pokazuje Slika 3.2., gdje je vidljiva trenutna razina zrelosti hrvatske industrije, koja iznosi 2,15 prema istraživanju, što označava pripadnost drugoj industrijskoj generaciji.



Slika 3.2. Razina industrijske zrelosti za određene segmente proizvodnje i cjelokupne industrije u Hrvatskoj (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016)

Rezultati prikazani na Slici 17. dobiveni su analizom odgovora prikupljenih putem anketa koje su sadržavale pitanja o razvoju proizvoda, tehnologiji, upravljanju proizvodnjom, praćenju proizvodnje, upravljanju zalihama materijala, upravljanje zalihama gotovih proizvoda, osiguranja kvalitete, PLM-u i TPS-u. Primjer pitanja prikazan je na Slici 3.3.

Odaberite odgovor koji najbolje opisuje **upravljanje radnim nalogima** koje dominira u Vašem proizvodnom sustavu:

Industrijska generacija

1. Usmena komunikacija čovjek - čovjek (rukovoditelj objašnjava radni nalog radnicima)
2. Pismena komunikacija čovjek - čovjek (rukovoditelj predaje pisani radni nalog radniku)
3. Komunikacija čovjek – stroj (radnik upravlja CNC strojevima ili linijom)
4. Komunikacija stroj – stroj (M2M)
4. Intranet komunikacija (Cloud)

Bodovi: 2.5

Slika 3.3. Primjer pitanja određivanja industrijske zrelosti poduzeća (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016)

U Hrvatskoj su brojni primjeri poduzeća sa vrlo niskim stupnjem industrijske zrelosti, primjer poduzeća sa stupnjem industrijske zrelosti 1,7 je na Slici 3.4.



Slika 3.4. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 1,7

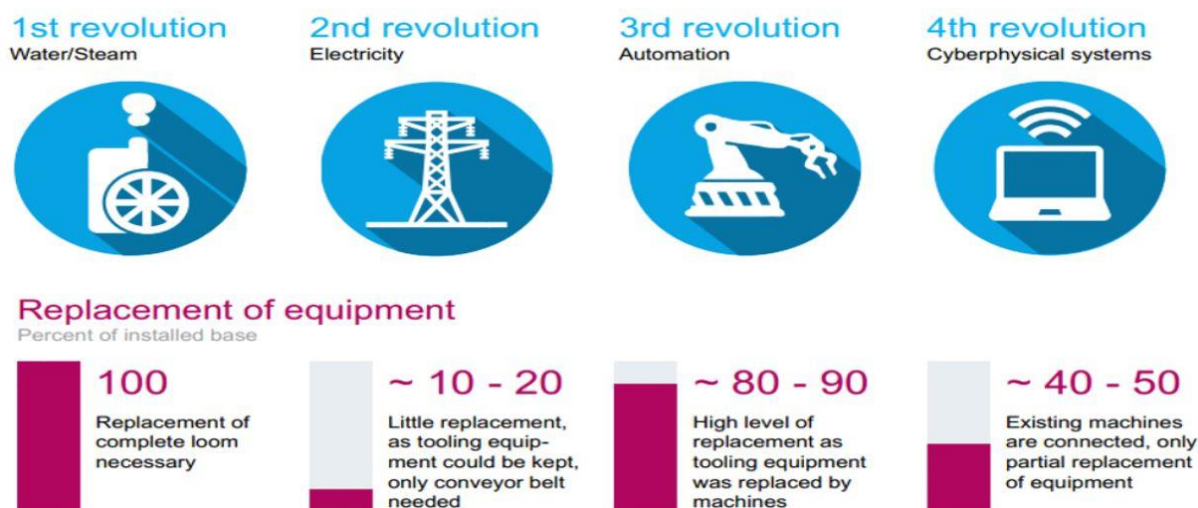
Postoje i primjeri poduzeća sa višim stupnjevima zrelosti, koja se kreću prema Industriji 4.0, primjer je prikazan na Slici 3.5.



Slika 3.5. 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 3.6. 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.

Pitanje je: „Je li moguće napraviti skok sa 2. industrijske revolucije na 4. odnosno skok preko jedne cijele industrijske generacije?“



Slika 3.6. Najveći tehnološki skok sa 2. na 3. industrijsku revoluciju (McKinsey, 2015)

Pitanje koje je uslijedilo nakon analize stanja hrvatskih proizvodnih poduzeća je: „Trebali li ići prema Industriji 3.0 ili Industriji 4.0?“, s obzirom da je prosjek hrvatske industrije na razini druge industrijske generacije, Slika 3.7.



Slika 3.7. Rezultati istraživanja i buduća kretanja

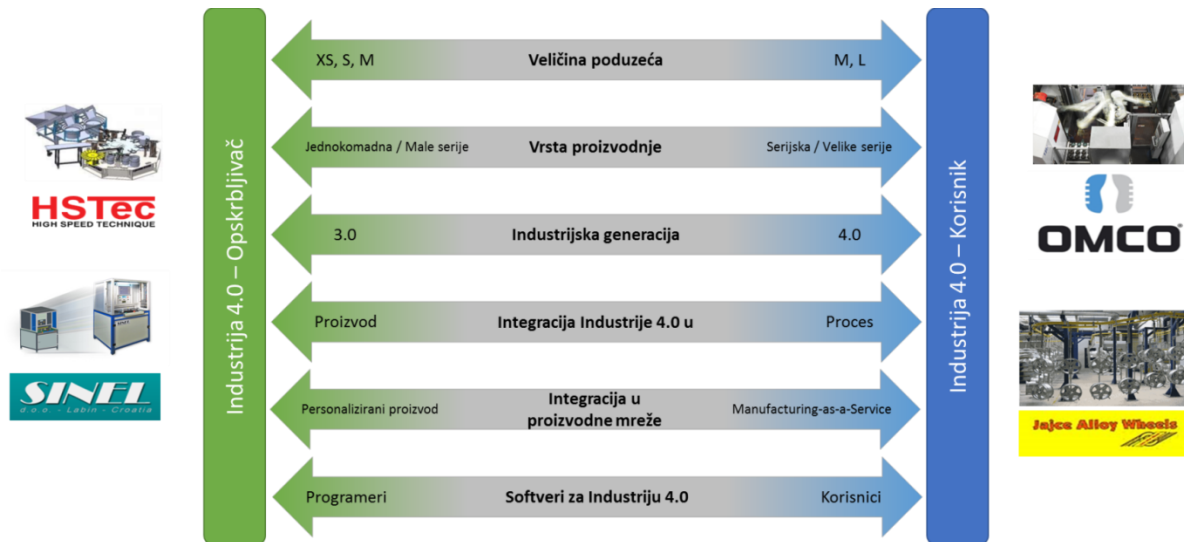
Većina hrvatskih prerađivačkih poduzeća ima manje od 100 zaposlenih i uglavnom proizvode u malim serijama ili jednodijelne proizvode za druga poduzeća (tj. dobavljači su), Slika 3.8. Stoga nemaju visoki interes za Industriju 4.0.



Slika 3.8. Primjeri hrvatskih poduzeća u odnosu na veličinu i vrstu proizvodnje

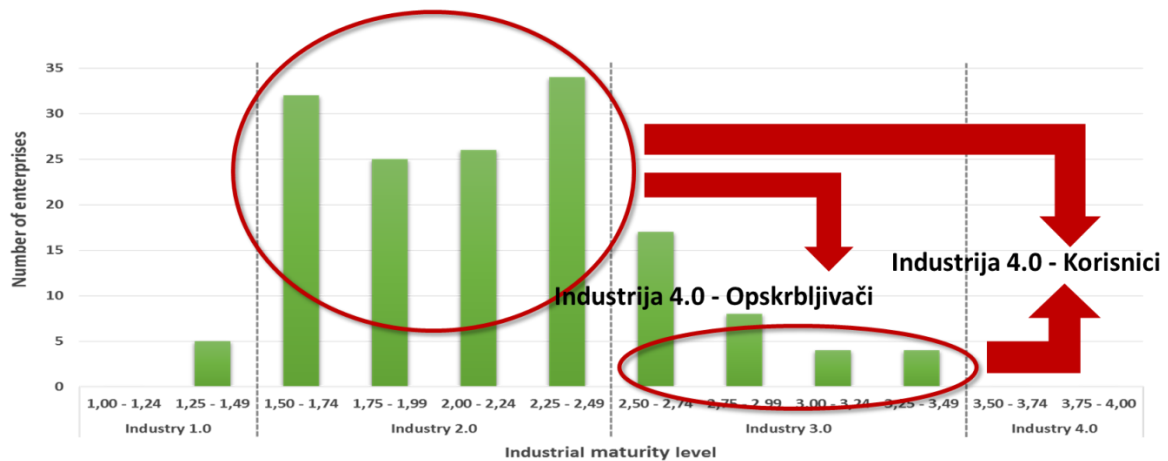
U ovom je istraživanju dana sinteza analize hrvatske industrije u odnosu na Industriju 4.0. Općenito, određena je hipoteza o trenutnom položaju hrvatskih proizvodnih poduzeća u odnosu na Industriju 4.0. Glavno pitanje je: „Može li poduzeće preživjeti na tržištu bez uzimanja strateških smjernica prema Industriji 4.0 do 2020. godine?“. Posebno pitanje vrijedi ako je poduzeće OEM, 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 samo među stručnjacima u industrije, već i u znanstvenoj zajednici. 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 s 30 izvršnih direktora proizvodnih poduzeća. Te su hipoteze prikazane na Slici 3.9., a nastale su kao zaključci iz intervju s 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.



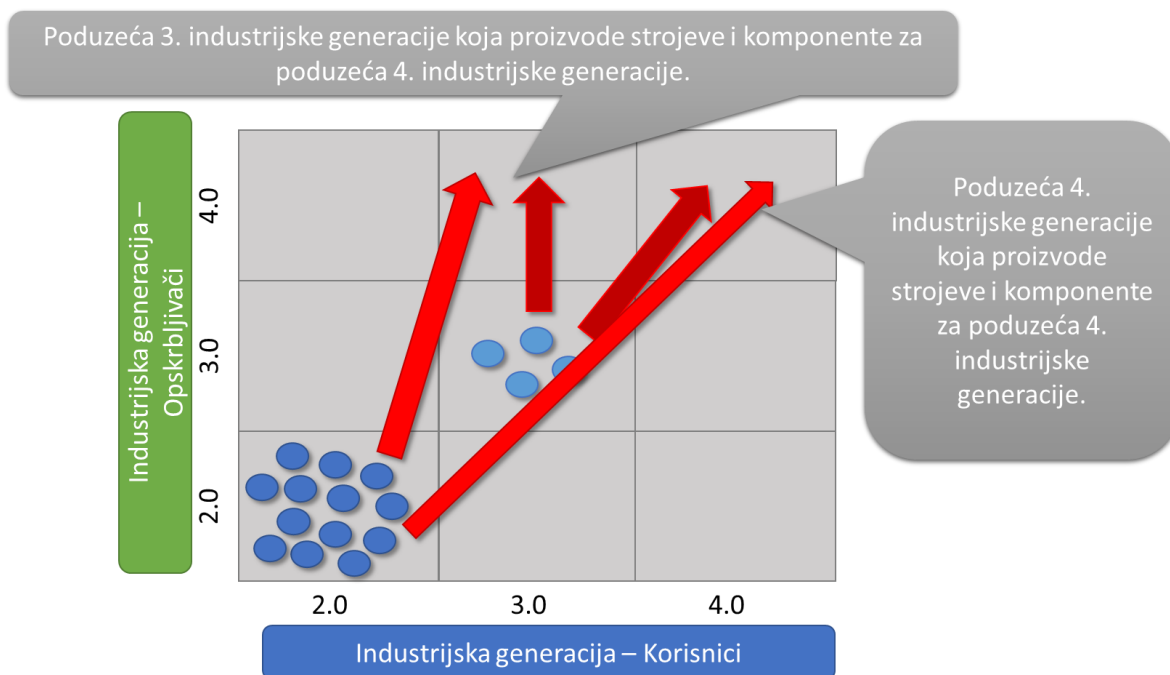
Slika 3.9.7 Hipoteza o postojanju pružatelja i korisnika Industrije 4.0 (I4.0)

Odgovor na pitanje „Trebalo li ići prema Industriji 3.0 ili Industriji 4.0?“ je da bi trebalo oboje (Slika 3.10).



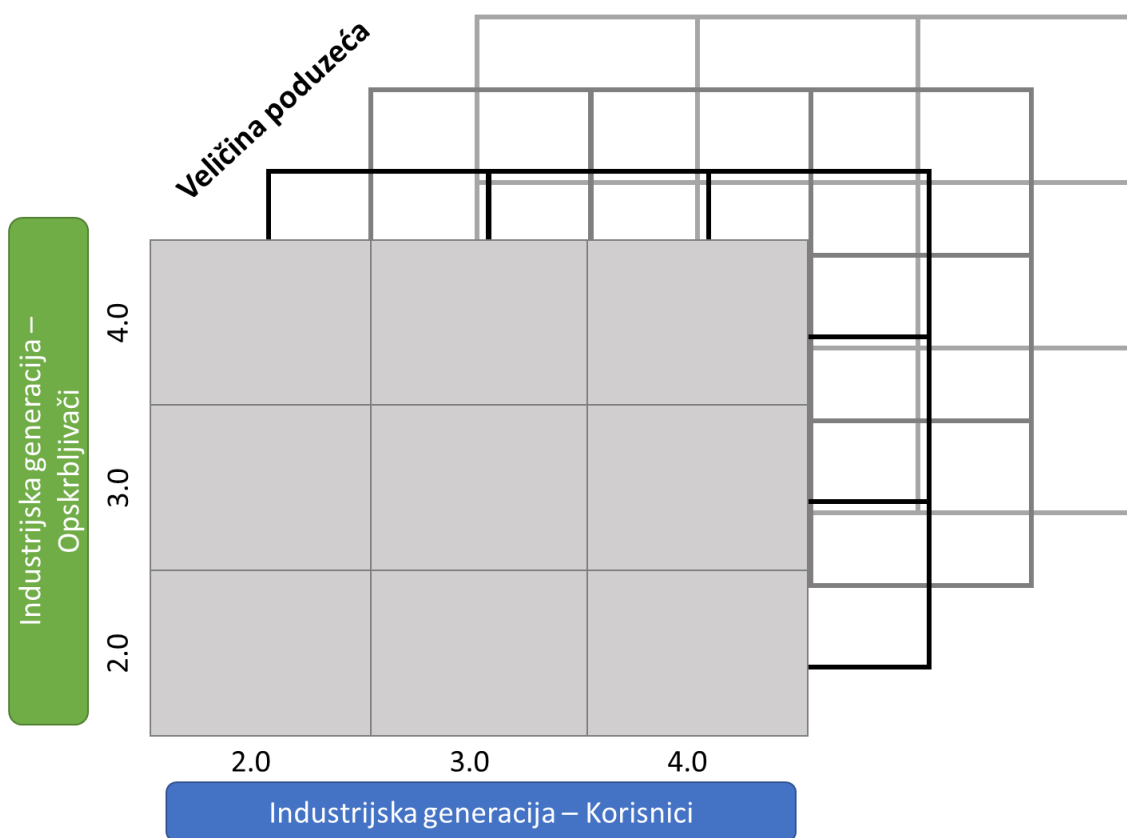
Slika 3.10. Kretanje prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0

S obzirom na poziciju hrvatskih poduzeća, na Slici 3.11. je prikazano kretanje korisnika i opkrbljivača prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0.



Slika 3.11. Kretanje korisnika i opskrbljivača

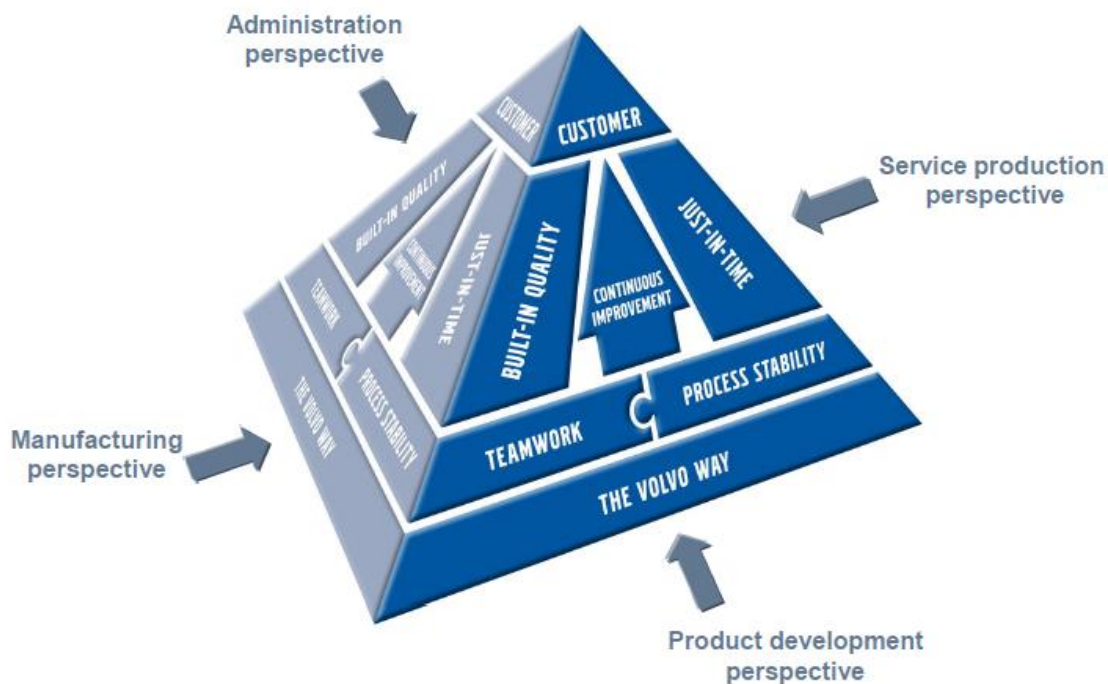
Da bi se u potpunosti prilagodio model, vršiti će se daljnja istraživanja prema veličini tvrtke, što može imati utjecaja na modifikacije modela, Slika 3.12.



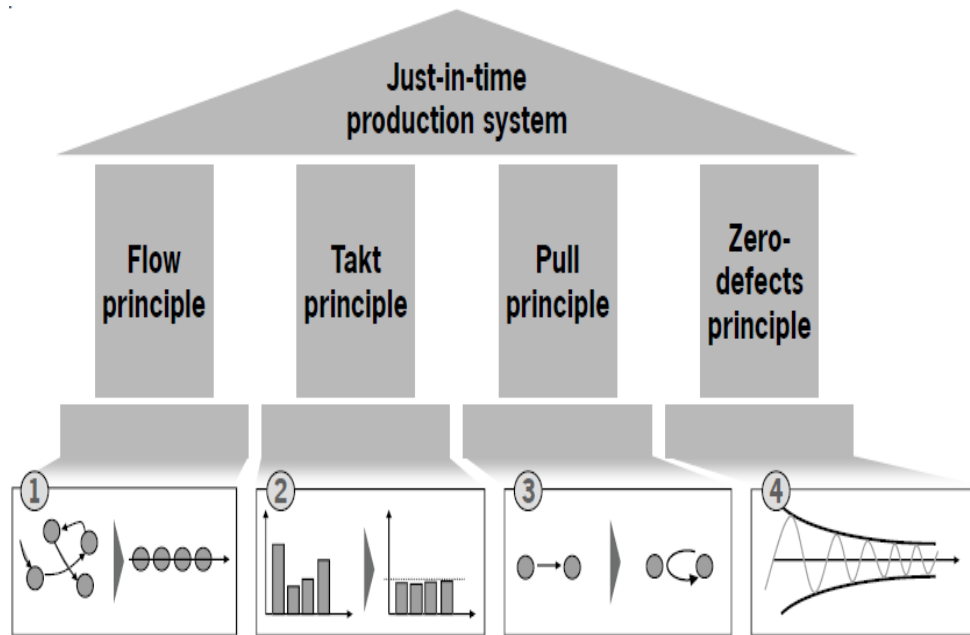
Slika 3.12. Budući različiti pristupi prema veličini poduzeća

3.2. Razvoj Inovativnog pametnog poduzeća temeljenog na leanu

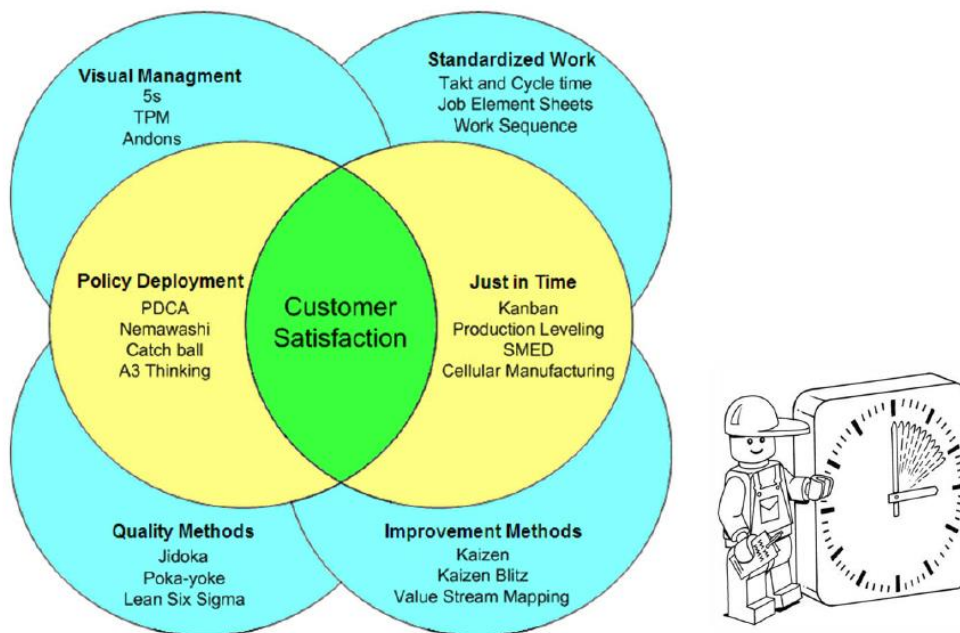
Projektni zadatak je razviti Inovativno pametno poduzeće zasnovano na leanu! Iz pregleda literature je vidljivo da multinacionalne kompanije predlažu razvoj strateških programa za unaprjeđenje proizvodnje jer žele da se njihove tvrtke, koje su raspršene po svijetu, koriste jednakim programom, a ne da se same brinu za rješavanje problema koji nastaju u njihovim proizvodnim sustavima. Prema Netlandu (Netland, 2013) „X“ proizvodni sustav je program kontinuiranog i sistematiziranog unaprjeđenja proizvodnje te nema ograničenog vremena trajanja. Multinacionalne tvrtke nude „X“ proizvodne sustave (XPS), gdje „X“ označava program pojedine tvrtke. „X“ proizvodni sustav nije općenit već je karakterističan za pojedinu tvrtku. Većina XPS je slična, ali „X-faktor“ označava prilagodbu programa unaprjeđenja 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 3.13.), Porsche proizvodni sustav (Slika 3.14.), LEGO proizvodni sustav (Slika 3.15.), MAN proizvodni sustav (Slika 3.16.), Mercedes proizvodni sustav (Slika 3.17.), Bosch proizvodni sustav (Slika 3.18.), te brojni drugi. Navedeni primjeri predstavljaju osnovu sustava i dijele se na brojne module, gdje svaki modul opisuje točno načine provođenja.



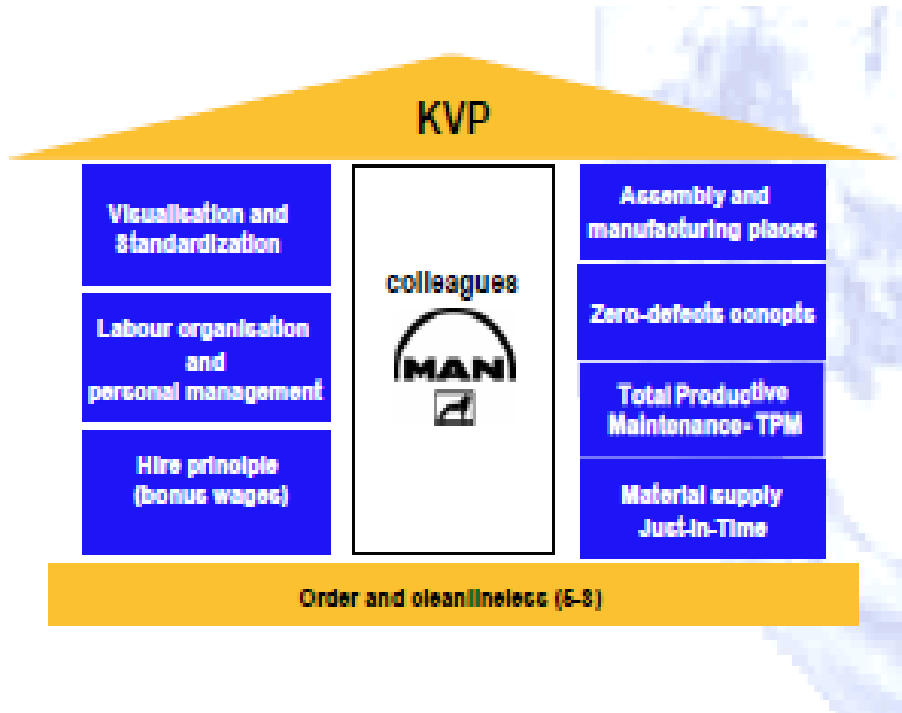
Slika 3.13. Volvo model proizvodnog sustava



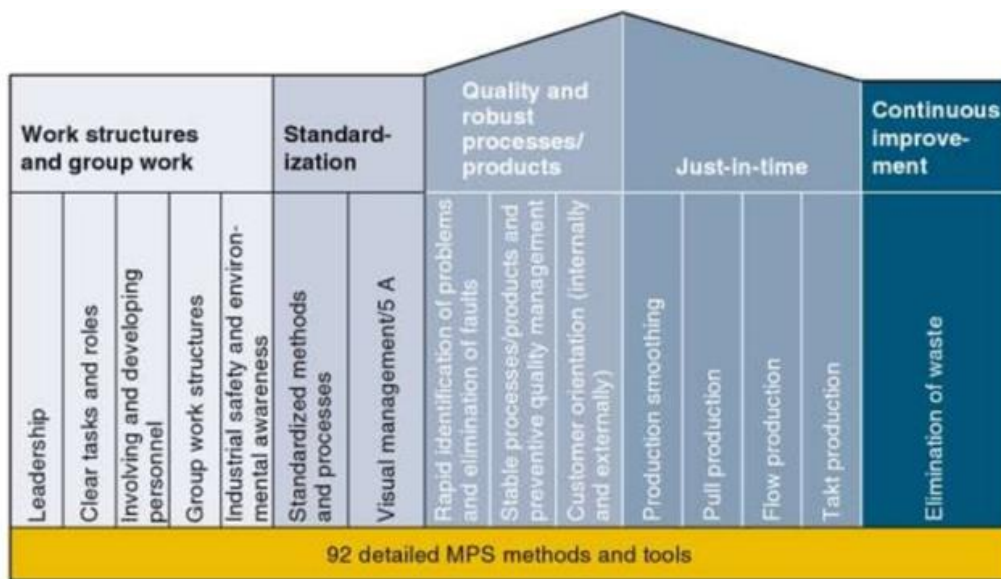
Slika 3.14. Porsche model proizvodnog sustava



Slika 3.15. Lego model proizvodnog sustava



Slika 3.16. MAN model proizvodnog sustava



Slika 3.17. Mercedes model proizvodnog sustava



Slika 3.18. Bosch model proizvodnog sustava

Prema Netlandu (Netland, 2013) istraživanja potvrđuju da se principi na kojima se zasniva TPS i lean proizvodnja pojavljuju u većini XPS. Trideset ispitanih XPS sustava, Tablica 3.1., pripadaju vodećim tvrtkama u svijetu, ono što je zanimljivo tvrtke su iz različitih industrijskih grana i različitih zemalja. Od tvrtki koje se bave proizvodnjom automobila, namještaja, aviona, sve do onih koje proizvode igračke. XPS predstavlja pristup najboljeg vlastitog puta unaprjeđenja, a ujedno i jedinstvenog puta unaprjeđenja. Razlog tome je što tvrtke često koriste jednake principe prilikom razvijanja programa vlastitog puta unaprjeđenja, ali ipak takvi programi sadrže neke specifičnosti tvrtke, što čini njihov jedinstveni put unaprjeđenja. 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 unaprjeđenja. 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 unaprjeđenju.

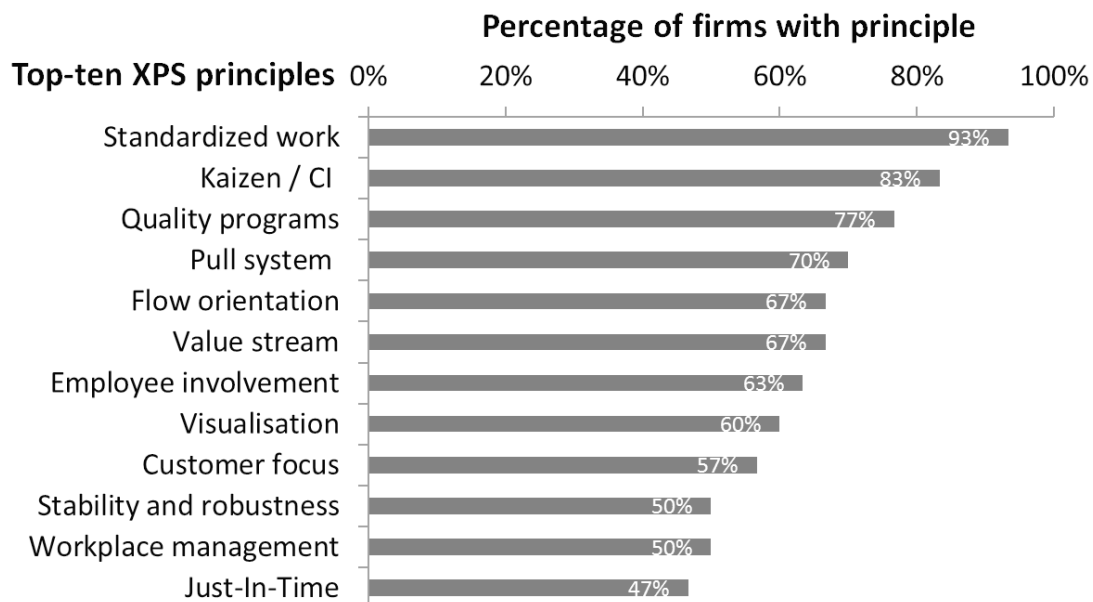
Tablica 3.1. Trideset ispitanih tvrtki kroz istraživanja Netlanda (Netland, 2013)

#	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	cLean	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)

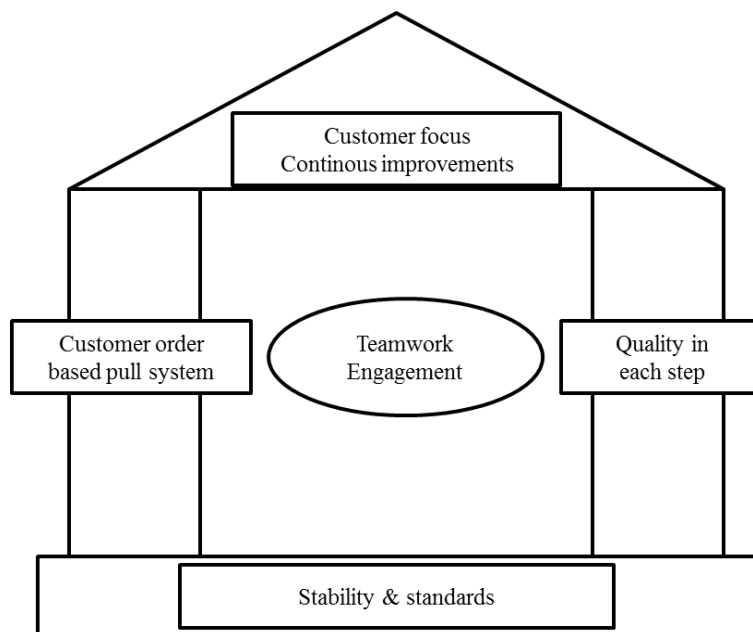
Strateški programi unaprjeđenja se zasnivaju na pristupima kao što su standardizirani rad, Kaizen, programi unaprjeđenja kvalitete, sustavi povlačenja, usmjerenost prema tokovima, mapiranje toka vrijednosti, uključenost zaposlenika, vizualizacija, stabilnost i robusnost, upravljanje radnim mjestom, upravo na vrijeme (JIT-just in time), 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 1.2. prikazuje deset najvažnijih lean principa koji su najzastupljeniji među ispitanim tvrtkama.

Tablica 3.2. 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 3.19.



Slika 3.19. XPS – proizvodni sustav za poduzeće „X“ (Netland, 2013)

Slijedeći korak bio je napraviti analizu primjene Lean alata, sličnih Netlandu. Referentni okvir, prikazan Tablicom 1.3., je napravljen kao sažetak 34 principa Ohnoovog "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.

Tablica 3.3. Referentni okvir za XPS temeljen na TPS i literaturi na području lean-a

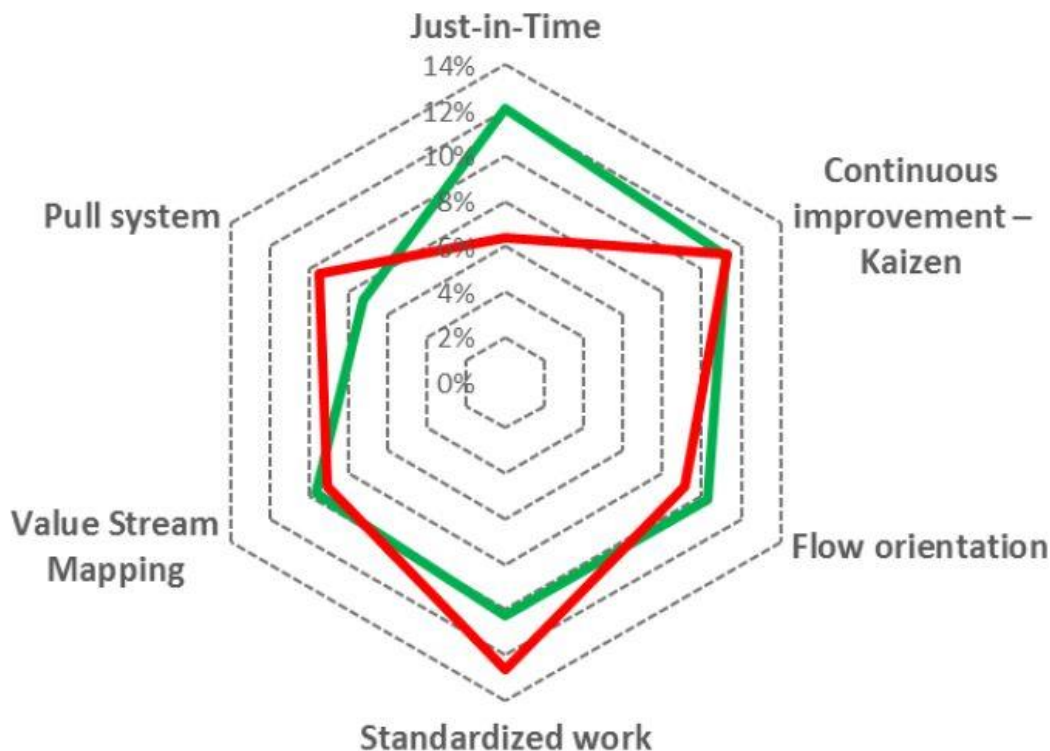
<i>TPS /Lean principle</i>	<i>Ohno</i>	<i>Womack & Jones</i>	<i>Shah & Warg</i>	<i>Liker</i>	<i>Kovačec</i>
Jidoka / automation	X			X	X
Value stream	X	X		X	X
Performance measurement	X		X		
Flow orientation	X	X	X		X
Continuous improvement / Kaizen	X	X	X	X	X
Just-in-time (JIT)	X		X	X	X
Total quality	X		X	X	
Leadership / Genchi genbutsu	X			X	
Cross functional training	X		X	X	
Employee involvement	X			X	
Teamwork	X		X	X	
Flexibility	X				
Heijunka / Levelled production	X		X	X	
Profit-making industrial engineering	X		X		
New and effective technology	X			X	
Visualisation	X				
Communication	X		X	X	X
Quick change-over SMED	X		X		
Reduction of batch size	X			X	X
Standardised work	X				
Inventory management	X			X	X
Takt time	X		X		X
Maintenance (TPM)		X	X	X	X
Pull system		X			
Customer focus			X		
Competitive benchmarking			X		
Focused factory production			X		
Order and material planning			X		
Health, Safety and Environment (HSE)				X	
Lean supply chain				X	
Stability and robustness					X
Vision, culture and values					X
Workplace management					
Poka Yoke					

Kovačec je u svojoj analizi koristio tri koraka Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) kako bi rangirao zelene i lean alate, kako je prikazano u Tablici 1.4. 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 3.4. Rangiranje značaja lean i zelenih alata prema analizi 176 hrvatskih industrijskih poduzeća (Kovačec, 2015)

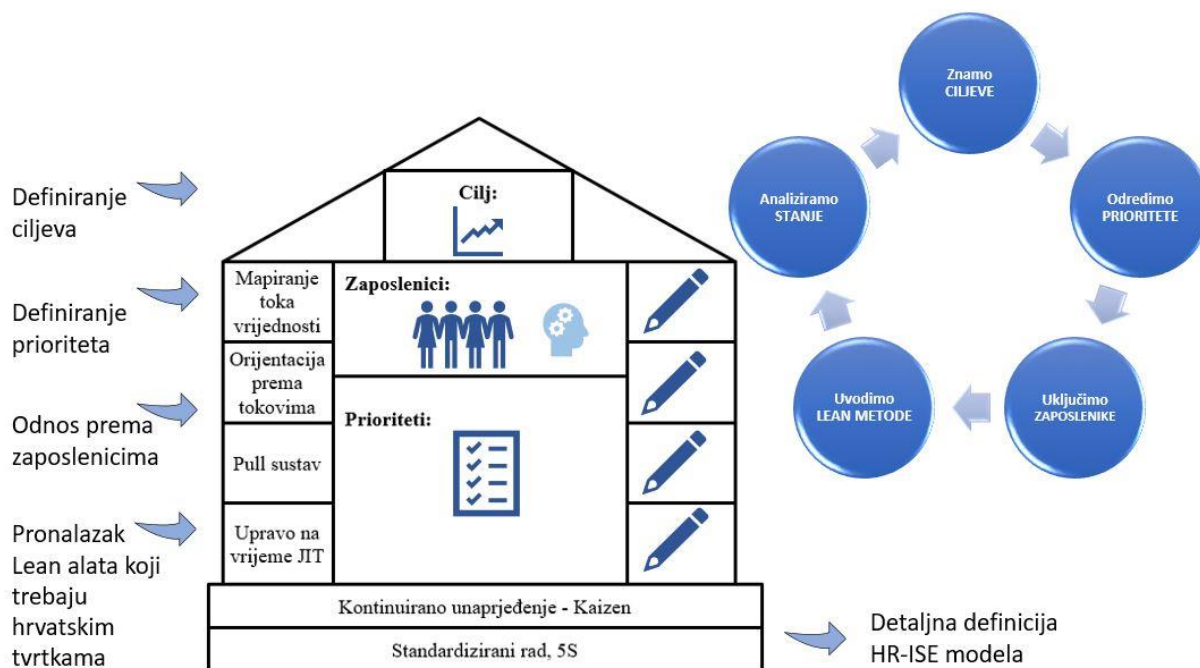
Redoslijed	Princip	Značaj %
1	Upravo na vrijeme, Just-in-Time	12,07%
2	Kontinuirano poboljšanje – <i>Kaizen</i>	11,17%
3	Orijentacija na tok	10,26%
4	Standardizirani rad	10,23%
5	Mapiranje toka vrijednosti - <i>Value Stream Mapping</i>	9,68%
6	Cjelokupno produktivno održavanje (<i>TPM</i>)	9,11%
7	Sustav povlačena - <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 3.20. Za globalna poduzeća pojavljivanje nekog alata je pretvoreno u ocjenu važnosti. Na Slici 3.20., 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.



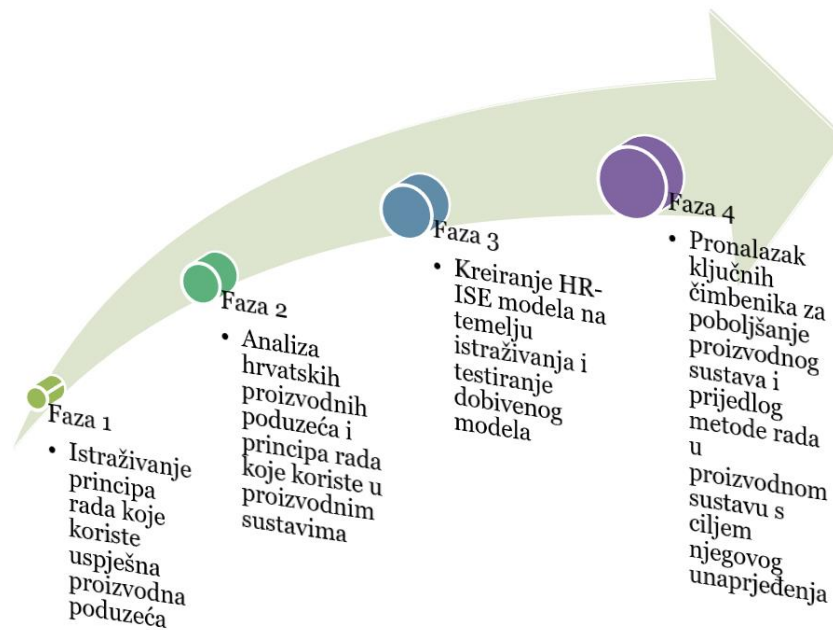
Slika 3.20. Usporedba važnosti odabranih Lean alata za hrvatska i globalna poduzeća (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016)

Nakon definiranog generičkog modela za hrvatska proizvodna poduzeća, prikazanog na Slici 3.21., provedena su istraživanja kako bi se model u potpunosti definirao. Istraživanje je provedeno kroz nekoliko faza, Slika 3.22.



Slika 3.21. 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.



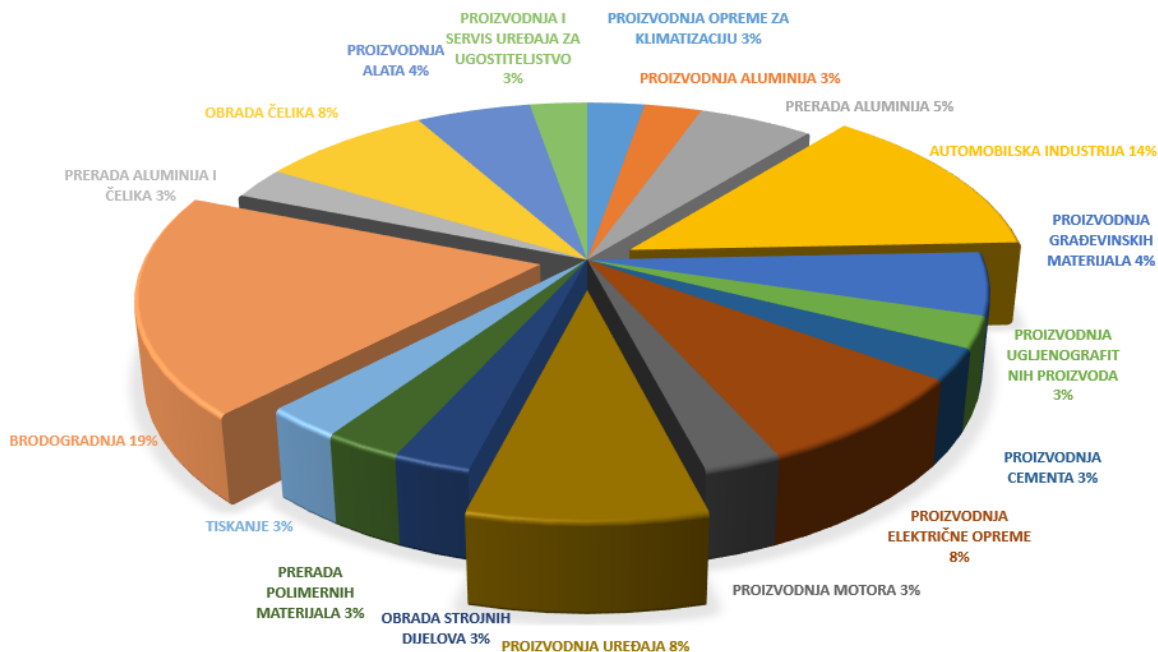
Slika 3.22. Faze istraživanja za kreiranje HR-ISE modela

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 3.23.



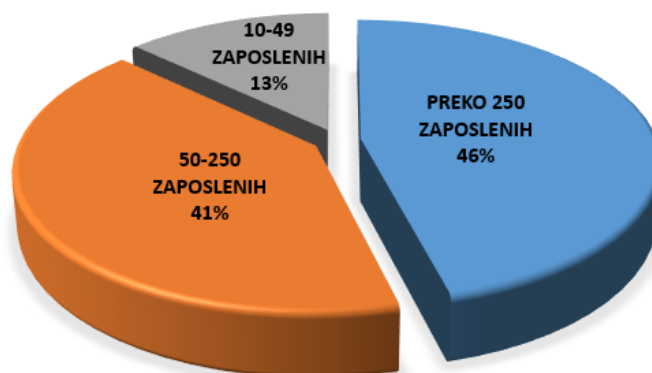
Slika 3.23. Istraživanjem je obuhvaćeno 37 hrvatskih poduzeća

Poduzeća koja su odgovorila na pitanja se bave različitim djelatnostima, što prikazuje Slika 3.24. Najviše poduzeća potječe iz brodogradnje i automobilske industrije.



Slika 3.24. Različite djelatnosti poduzeća obuhvaćenih istraživanjem

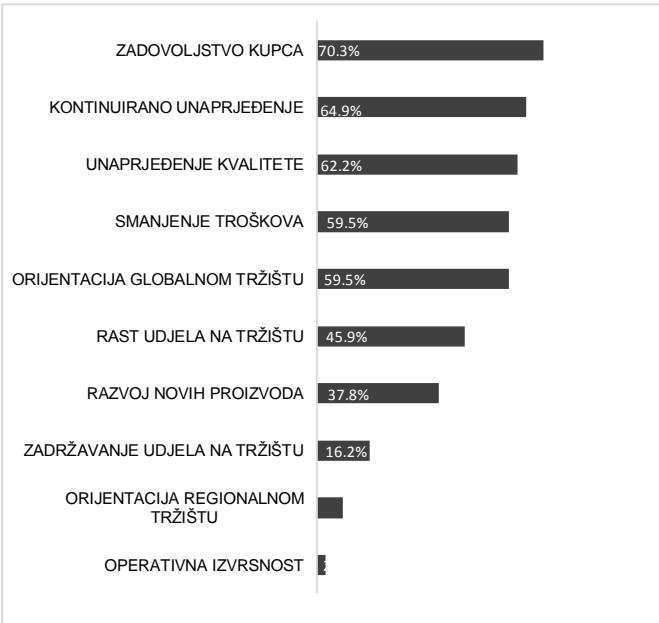
Slika 3.25. prikazuje broj zaposlenih unutar tvrtki koje su obuhvaćene istraživanjem, 46% ispitanih poduzeća ima preko 250 zaposlenih, 41% ima od 50 do 250 zaposlenih, dok 13% ima od 10 do 49 zaposlenih.



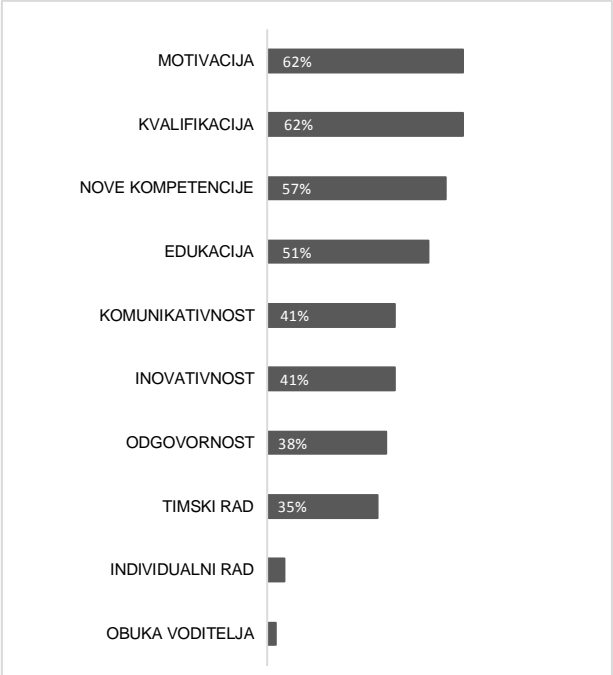
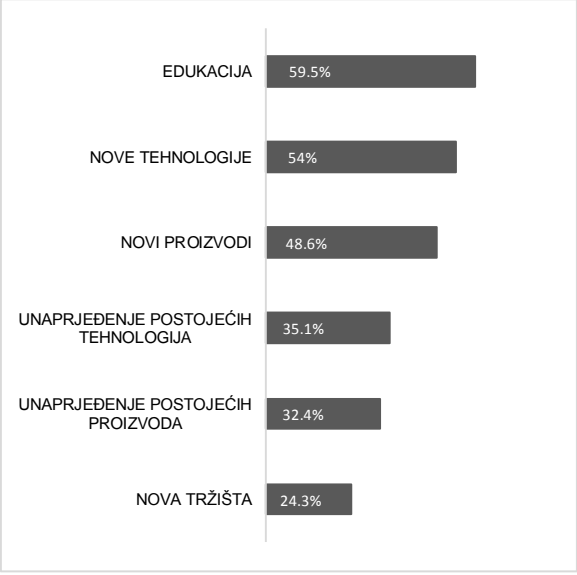
Slika 3.25. Broj zaposlenih u poduzećima obuhvaćenim istraživanjem

Anketa koja je poslana proizvodnim poduzećima u Hrvatskoj sadržavala je generički model, prikazan na Slici 3.21. i 22 pitanja. Pitanja i rezultati su prikazani u Tablici 3.5.

Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA
Kako Vi vidite predloženi HR-ISE model (molimo Vas opišite osobnim riječima)?	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 unaprjeđenju. 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 „Lean“, a pogotovo kako koristiti „Lean alate“. Važno im je da model pomogne u usmjeravanju tvrtke prema unaprjeđenju, gdje tvrtka neće rasipati novac zbog vlastitog neznanja, već će ga potrošiti na ono što joj može donijeti unaprjeđenje. Unaprjeđenje mora imati svoj smisleni redoslijed u svakom dijelu tj. procesu koji se odvija unutar tvrtke, što ovaj model preporuča.
Što ne pokriva HR-ISE?	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 „učenje od boljih“.
Jeste li ranije imali nešto slično HR-ISE?	Nikada prije većina ispitanih tvrtki nije imala ništa slično HR-ISE modelu na razini tvornice, ali 15% ispitanih uvodi Lean metode već nekoliko godina, dok samo jedan ispitanik ima definiran svoj model za koji se može reći da je sličan HR-ISE modelu.
Koji su osnovni ciljevi Vašeg poduzeća?	 <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 razmjesta i organizacije.</p>

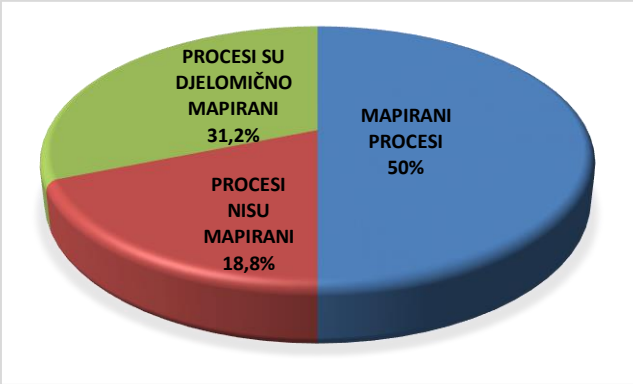
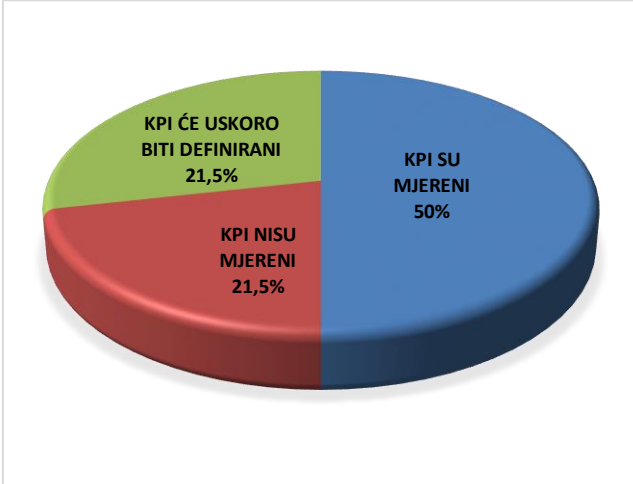
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA
<p>Koji su zahtjevi na osoblje poduzeća (kvalifikacija, motivacija, inovativnost, cjeloživotno obrazovanje i dr.)?</p>	 <p>Poseban naglasak na leadership training-u. Poseban problem sa otporom zaposlenika uvođenju nečeg što je novo.</p>
<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. te dio posvetiti znanjima o novim tehnologijama i radu na novim software-ima. Tražiti industrije koje su već uspješne u provođenju Lean metoda i ponešto naučiti od njih.</p>
<p>Koji su osnovni prioriteti Vašeg poduzeća?</p>	

Tablica 3.5. 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 lean 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 neovisnog 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.

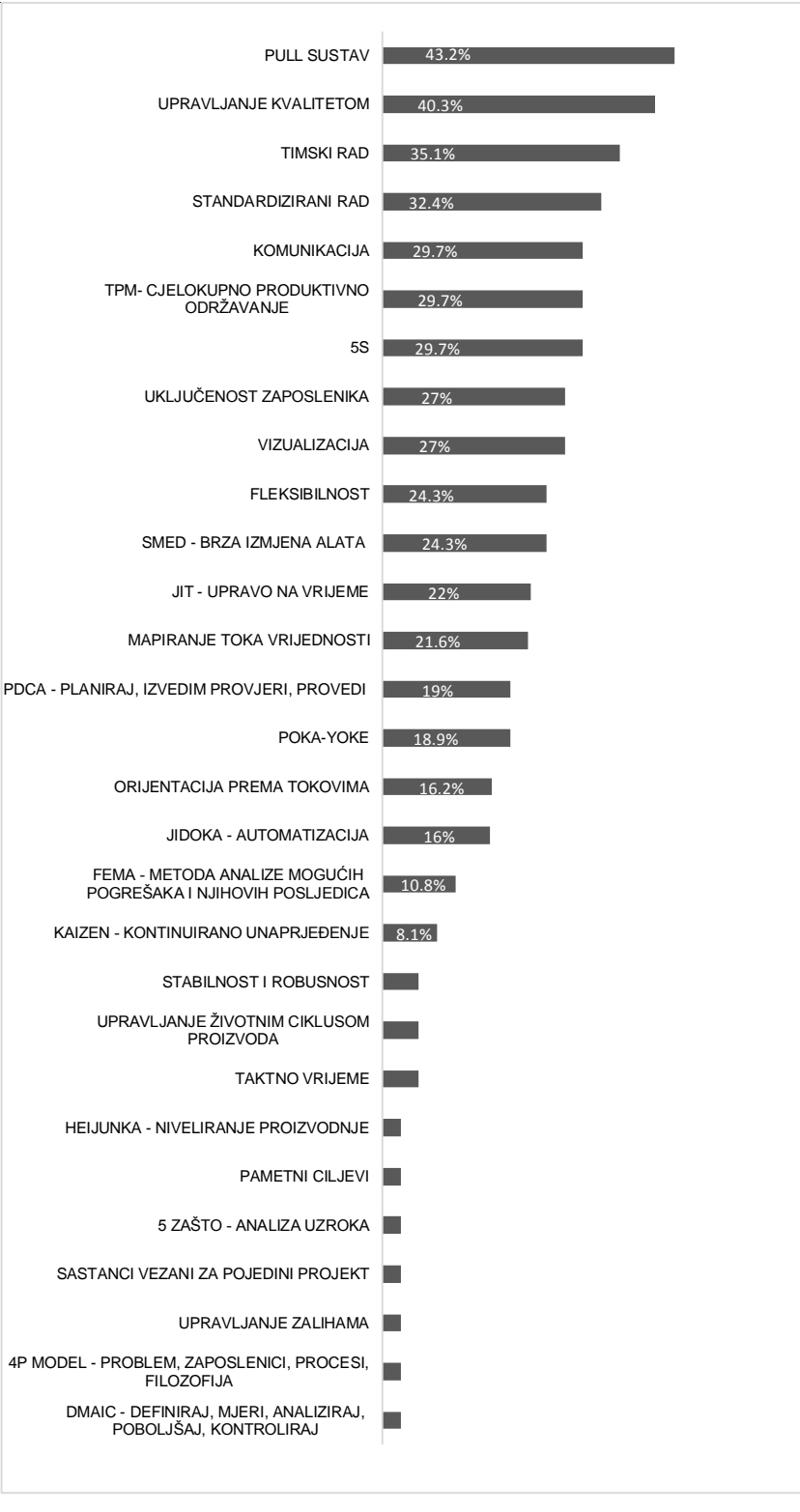
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA								
Jeste li mapirali procese?	 <table border="1" data-bbox="643 349 1278 730"> <thead> <tr> <th>Kategorija</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MAPIRANI PROCESI</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>PROCESI SU DJELOMIČNO MAPIRANI</td> <td>31,2%</td> </tr> <tr> <td>PROCESI NISU MAPIRANI</td> <td>18,8%</td> </tr> </tbody> </table>	Kategorija	Postotak	MAPIRANI PROCESI	50%	PROCESI SU DJELOMIČNO MAPIRANI	31,2%	PROCESI NISU MAPIRANI	18,8%
Kategorija	Postotak								
MAPIRANI PROCESI	50%								
PROCESI SU DJELOMIČNO MAPIRANI	31,2%								
PROCESI NISU MAPIRANI	18,8%								
Mjerite li KPI (Ključni indikator uspješnosti)?	 <table border="1" data-bbox="649 797 1284 1279"> <thead> <tr> <th>Kategorija</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KPI SU MJERENI</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>KPI ĆE USKORO BITI DEFINIRANI</td> <td>21,5%</td> </tr> <tr> <td>KPI NISU MJERENI</td> <td>21,5%</td> </tr> </tbody> </table>	Kategorija	Postotak	KPI SU MJERENI	50%	KPI ĆE USKORO BITI DEFINIRANI	21,5%	KPI NISU MJERENI	21,5%
Kategorija	Postotak								
KPI SU MJERENI	50%								
KPI ĆE USKORO BITI DEFINIRANI	21,5%								
KPI NISU MJERENI	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 lean alata (o čemu svjedoče brojni primjeri u svijetu) te Triple-helix modelom. Lean 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>								

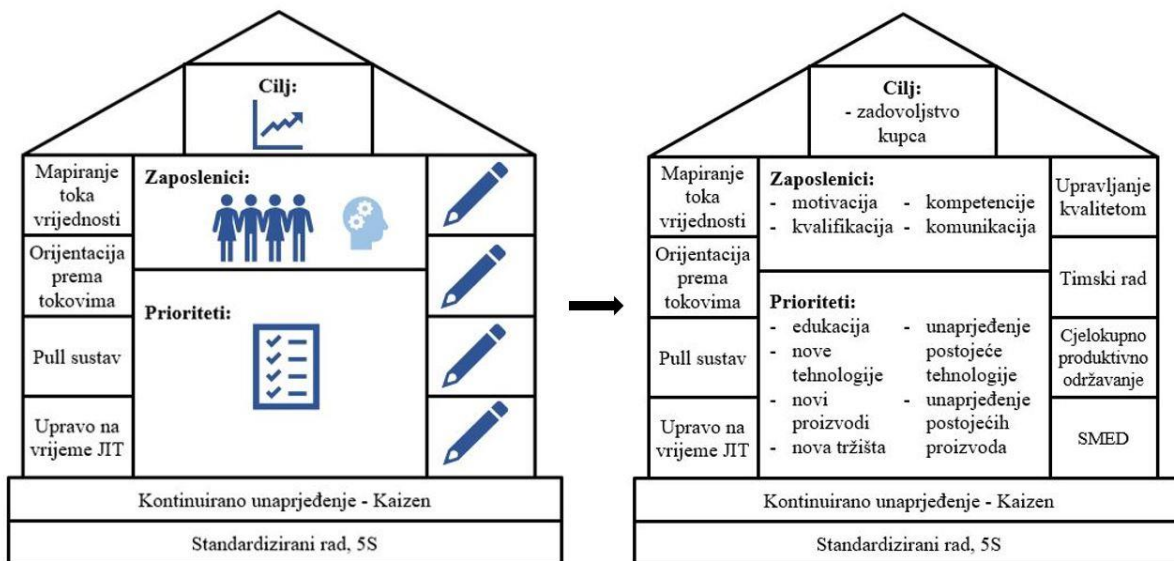
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

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 lean 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 Lean proizvodnja slični, a u kojem pogledu različiti?	Lean 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 sa 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 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)

PITANJE	ODGOVORI ISPITANIKA																																																												
<p>Koje bi po Vašem mišljenju alate i metode lean-a trebalo postaviti u HR-ISE model?</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alat/Model</th> <th>Postotak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PULL SUSTAV</td><td>43.2%</td></tr> <tr><td>UPRAVLJANJE KVALITETOM</td><td>40.3%</td></tr> <tr><td>TIMSKI RAD</td><td>35.1%</td></tr> <tr><td>STANDARDIZIRANI RAD</td><td>32.4%</td></tr> <tr><td>KOMUNIKACIJA</td><td>29.7%</td></tr> <tr><td>TPM- CJELOKUPNO PRODUKTIVNO ODRŽAVANJE</td><td>29.7%</td></tr> <tr><td>5S</td><td>29.7%</td></tr> <tr><td>UKLJUČENOST ZAPOSLENIKA</td><td>27%</td></tr> <tr><td>VIZUALIZACIJA</td><td>27%</td></tr> <tr><td>FLEKSIBILNOST</td><td>24.3%</td></tr> <tr><td>SMED - BRZA IZMJENA ALATA</td><td>24.3%</td></tr> <tr><td>JIT - UPRAVO NA VRIJEME</td><td>22%</td></tr> <tr><td>MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI</td><td>21.6%</td></tr> <tr><td>PDCA - PLANIRAJ, IZVEDIM PROVJERI, PROVEDI</td><td>19%</td></tr> <tr><td>POKA-YOKE</td><td>18.9%</td></tr> <tr><td>ORIJENTACIJA PREMA TOKOVIMA</td><td>16.2%</td></tr> <tr><td>JIDOKA - AUTOMATIZACIJA</td><td>16%</td></tr> <tr><td>FEMA - METODA ANALIZE MOGUĆIH POGREŠAKA I NJIHOVIH POSLJEDICA</td><td>10.8%</td></tr> <tr><td>KAIZEN - KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE</td><td>8.1%</td></tr> <tr><td>STABILNOST I ROBUSNOST</td><td></td></tr> <tr><td>UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA</td><td></td></tr> <tr><td>TAKTNO VRIJEME</td><td></td></tr> <tr><td>HEIJUNKA - NIVELIRANJE PROIZVODNJE</td><td></td></tr> <tr><td>PAMETNI CILJEVI</td><td></td></tr> <tr><td>5 ZAŠTO - ANALIZA UZROKA</td><td></td></tr> <tr><td>SASTANCI VEZANI ZA POJEDINI PROJEKT</td><td></td></tr> <tr><td>UPRAVLJANJE ZALIHAMA</td><td></td></tr> <tr><td>4P MODEL - PROBLEM, ZAPOSLENICI, PROCESI, FILOZOFIJA</td><td></td></tr> <tr><td>DMAIC - DEFINIRAJ, MJERI, ANALIZIRAJ, POBOLJŠAJ, KONTROLIRAJ</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Alat/Model	Postotak	PULL SUSTAV	43.2%	UPRAVLJANJE KVALITETOM	40.3%	TIMSKI RAD	35.1%	STANDARDIZIRANI RAD	32.4%	KOMUNIKACIJA	29.7%	TPM- CJELOKUPNO PRODUKTIVNO ODRŽAVANJE	29.7%	5S	29.7%	UKLJUČENOST ZAPOSLENIKA	27%	VIZUALIZACIJA	27%	FLEKSIBILNOST	24.3%	SMED - BRZA IZMJENA ALATA	24.3%	JIT - UPRAVO NA VRIJEME	22%	MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI	21.6%	PDCA - PLANIRAJ, IZVEDIM PROVJERI, PROVEDI	19%	POKA-YOKE	18.9%	ORIJENTACIJA PREMA TOKOVIMA	16.2%	JIDOKA - AUTOMATIZACIJA	16%	FEMA - METODA ANALIZE MOGUĆIH POGREŠAKA I NJIHOVIH POSLJEDICA	10.8%	KAIZEN - KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE	8.1%	STABILNOST I ROBUSNOST		UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA		TAKTNO VRIJEME		HEIJUNKA - NIVELIRANJE PROIZVODNJE		PAMETNI CILJEVI		5 ZAŠTO - ANALIZA UZROKA		SASTANCI VEZANI ZA POJEDINI PROJEKT		UPRAVLJANJE ZALIHAMA		4P MODEL - PROBLEM, ZAPOSLENICI, PROCESI, FILOZOFIJA		DMAIC - DEFINIRAJ, MJERI, ANALIZIRAJ, POBOLJŠAJ, KONTROLIRAJ	
Alat/Model	Postotak																																																												
PULL SUSTAV	43.2%																																																												
UPRAVLJANJE KVALITETOM	40.3%																																																												
TIMSKI RAD	35.1%																																																												
STANDARDIZIRANI RAD	32.4%																																																												
KOMUNIKACIJA	29.7%																																																												
TPM- CJELOKUPNO PRODUKTIVNO ODRŽAVANJE	29.7%																																																												
5S	29.7%																																																												
UKLJUČENOST ZAPOSLENIKA	27%																																																												
VIZUALIZACIJA	27%																																																												
FLEKSIBILNOST	24.3%																																																												
SMED - BRZA IZMJENA ALATA	24.3%																																																												
JIT - UPRAVO NA VRIJEME	22%																																																												
MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI	21.6%																																																												
PDCA - PLANIRAJ, IZVEDIM PROVJERI, PROVEDI	19%																																																												
POKA-YOKE	18.9%																																																												
ORIJENTACIJA PREMA TOKOVIMA	16.2%																																																												
JIDOKA - AUTOMATIZACIJA	16%																																																												
FEMA - METODA ANALIZE MOGUĆIH POGREŠAKA I NJIHOVIH POSLJEDICA	10.8%																																																												
KAIZEN - KONTINUIRANO UNAPRJEĐENJE	8.1%																																																												
STABILNOST I ROBUSNOST																																																													
UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA																																																													
TAKTNO VRIJEME																																																													
HEIJUNKA - NIVELIRANJE PROIZVODNJE																																																													
PAMETNI CILJEVI																																																													
5 ZAŠTO - ANALIZA UZROKA																																																													
SASTANCI VEZANI ZA POJEDINI PROJEKT																																																													
UPRAVLJANJE ZALIHAMA																																																													
4P MODEL - PROBLEM, ZAPOSLENICI, PROCESI, FILOZOFIJA																																																													
DMAIC - DEFINIRAJ, MJERI, ANALIZIRAJ, POBOLJŠAJ, KONTROLIRAJ																																																													

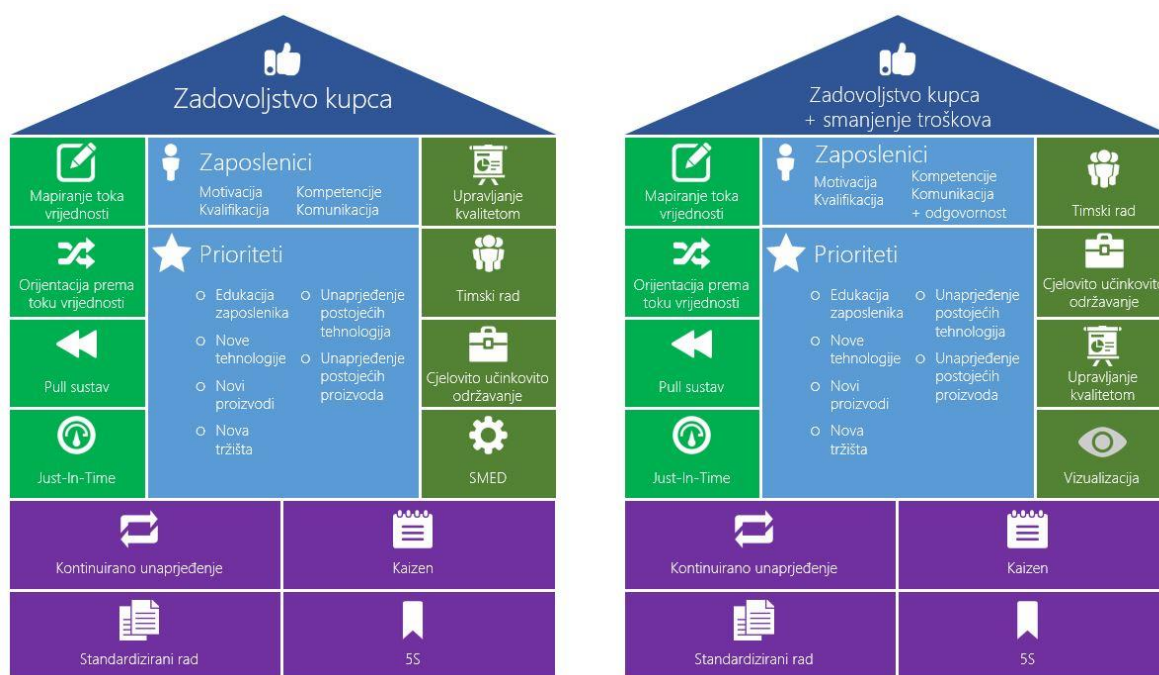
Nakon provedene analize, dobiven je HR-ISE model, prikazan na Slici 3.26.



Slika 3.26. HR-ISE model

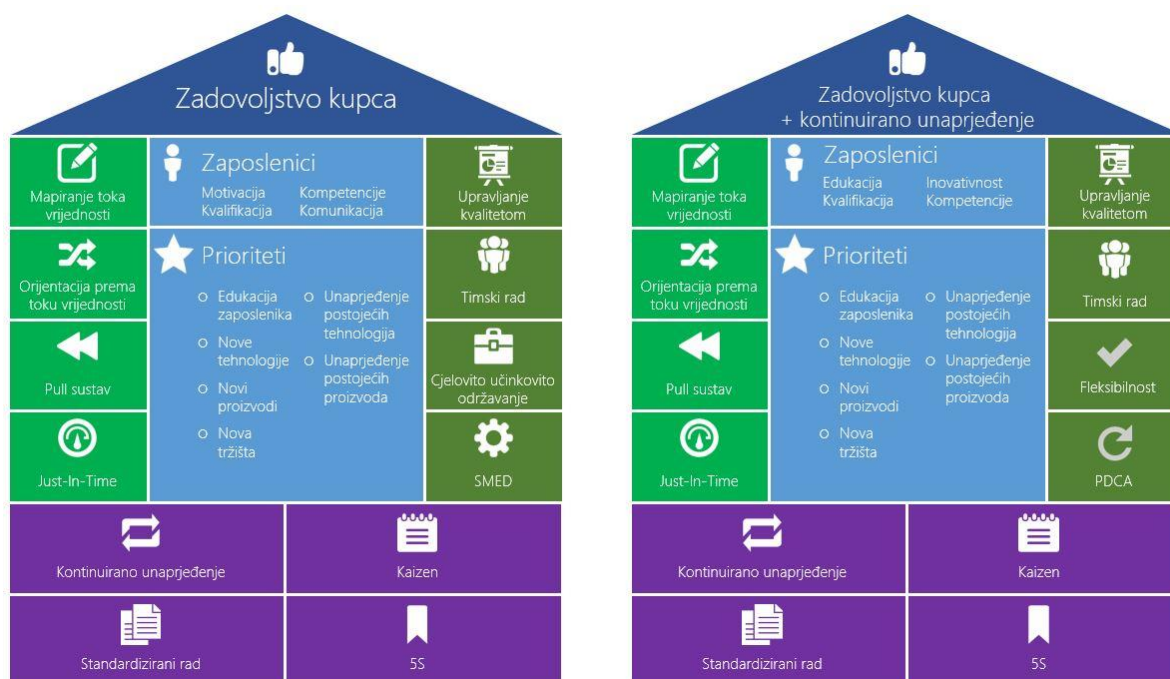
Definiran HR-ISE model sadrži najvažniji cilj, važne pravce za zaposlenike, prioritete te dodatne lean metode u odnosu na generički model. S obzirom da 46% ispitanih poduzeća ima preko 250 zaposlenih, 41% ima od 50 do 250 zaposlenih, a 13% ima od 10 do 49 zaposlenih, modeli su razmotreni i ovisno o veličini 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 3.27). 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 menadžmenta, koji je posebno važan velikim poduzećima radi pravovremenih izmjena informacija, zato se po poretku nalazi ispred SMED metode.



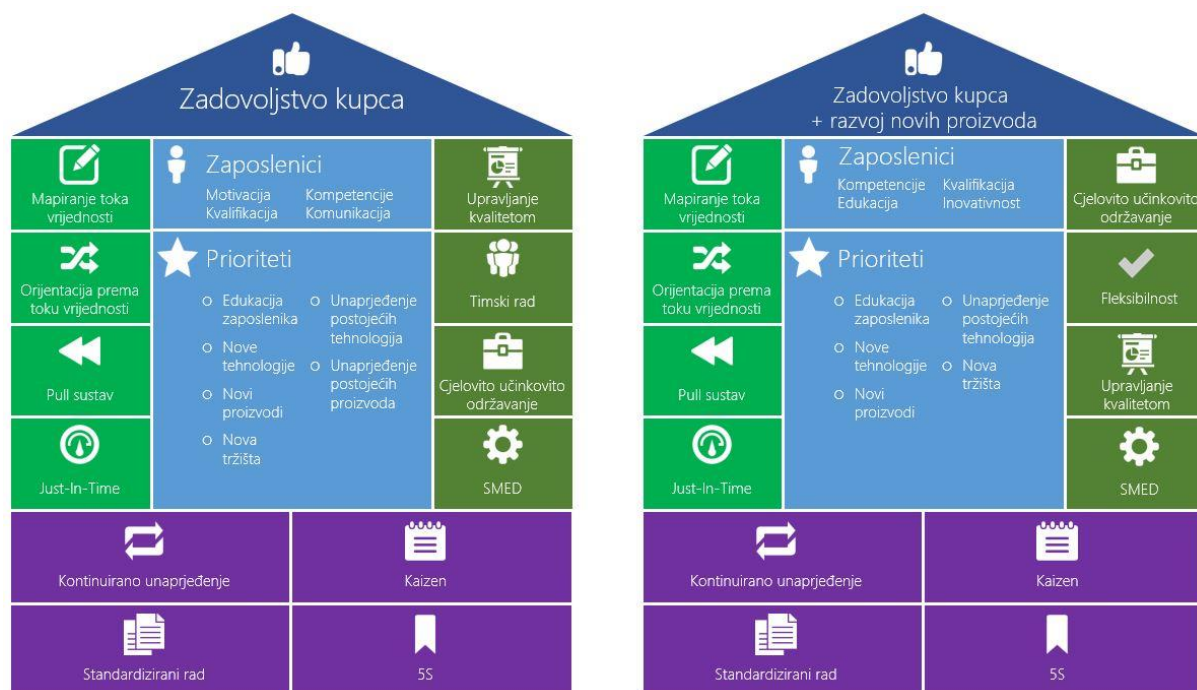
Slika 3.27. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za veliko poduzeće

Kod srednjih poduzeća se kao cilj ističe kontinuirano unaprjeđenje uz zadovoljstvo kupca (Slika 3.28). 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 ciklus kao metode koji su im potrebni u modelu.



Slika 3.28. 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 3.29). 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.

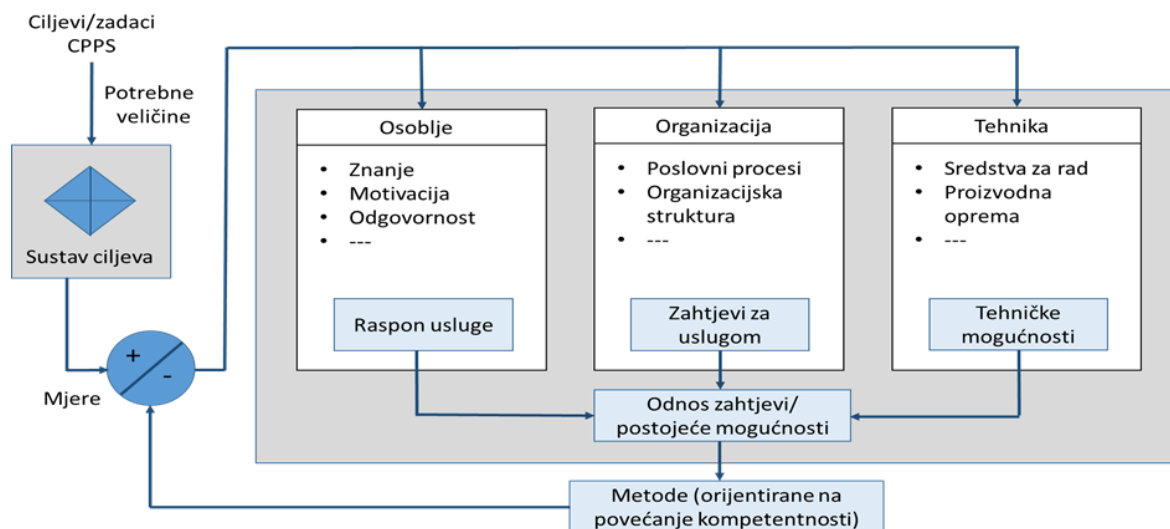


Slika 3.29. Usporedba HR-ISE modela i HR-ISE modela za malo poduzeće

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 unaprjeđenje, 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 jednak prioritet.

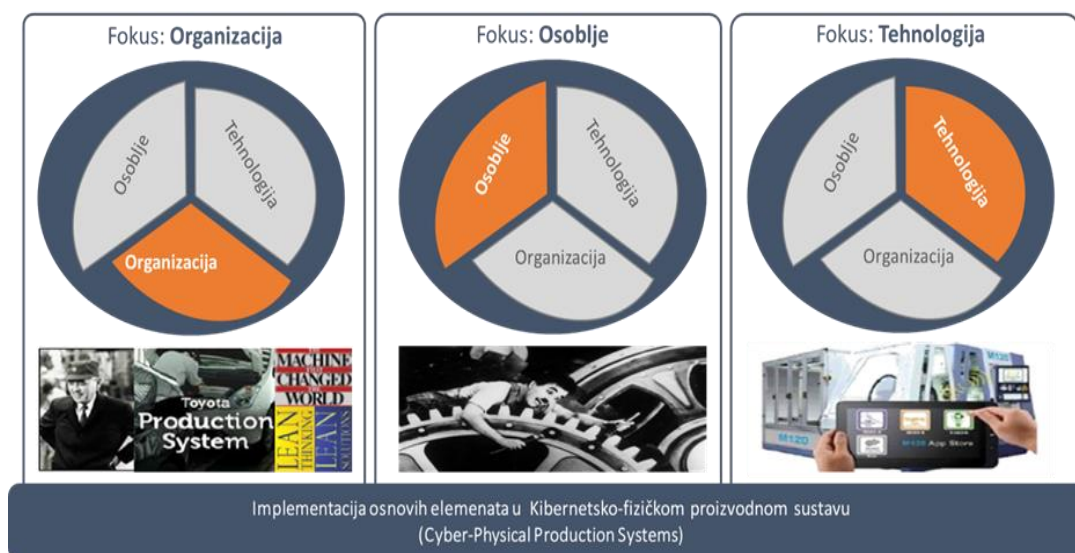
Ako se izvrši prilagodba modela po veličini poduzeća, onda je potrebno obratiti pozornost na lean metode koje će se uvoditi. One se vrlo malo razlikuju od metoda HR-ISE modela, ali služe da bi se model više prilagodio veličini poduzeća.

Daljnja istraživanja pokazuju kako razmatrati razinu zrelosti poduzeća kroz tri grupe kriterija osoblje, organizacija i tehnika, Slika 3.30. Odabiru se poduzeća za analizu i primjenjuje se višekriterijska analiza za određivanje industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća.



Slika 3.30. Razmatranje poduzeća kroz osoblje, organizaciju i tehniku

Daljnja istraživanja potaknuta su pitanjima o tome što i u kojem omjeru treba mijenjati, kako bi se poduzeća što više približavala Industrij 4.0, Slika 3.31.



Slika 3.31. Implementacija osnovnih elemenata u Kibernetско-fizičkom proizvodnom sustavu

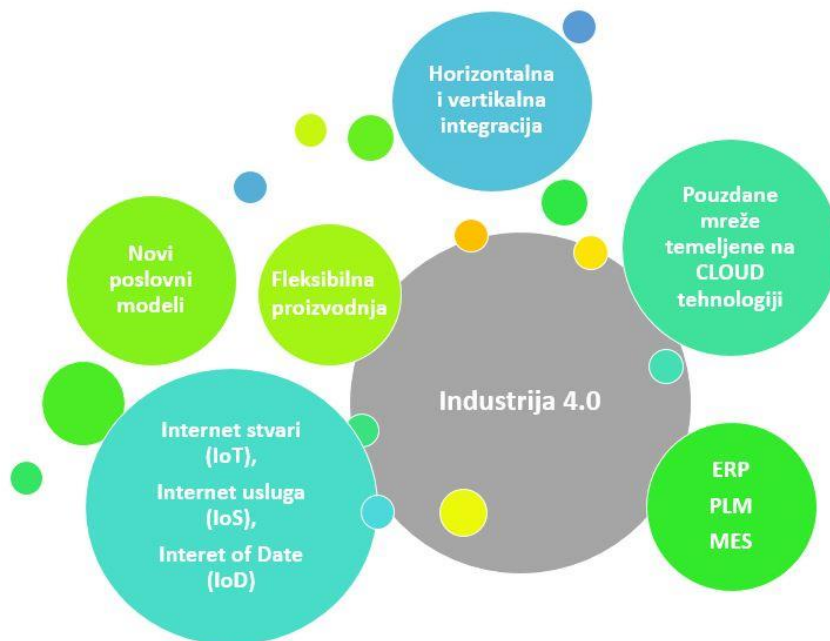
Samo uvođenje i korištenje novih tehnologija ne znači put prema Industrij 4.0 jer bi to bio vrlo sužen pristup. Napredna tehnologija i zastarjela organizacija ne idu zajedno.

Iske-ov zakon:

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

„Konzracija isključivo na tehniku je siguran put za vrlo skup neuspjeh.”** Rad na organizaciji proizvodnje i uvođenje lean metoda je pretpostavka za kretanja prema Industrij 4.0. Tko nije završio svoj domaći zadatak na temu Lean i Green, 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 konkurentske kompetencije i kretanje prema Industriji 4.0, Slika 3.32.



Slika 3.32.8 Kretanje prema Industriji 4.0

Pristup unaprijeđenja 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 3.33).

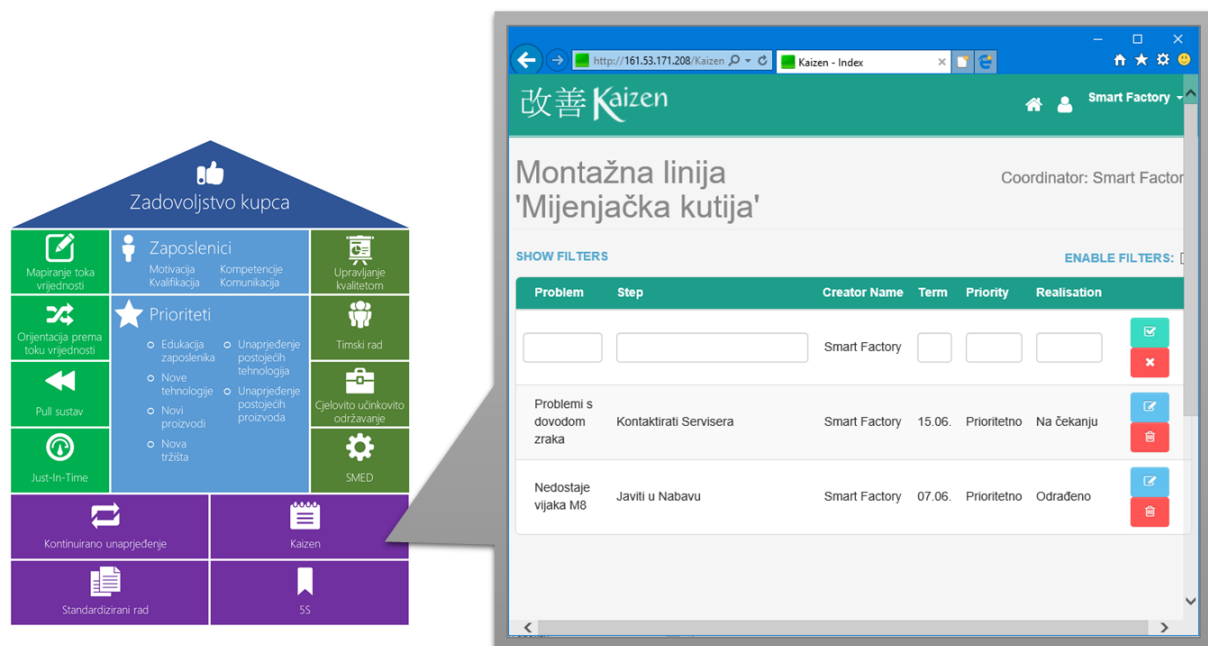
Stoga i HR-ISE model treba gledati kao skup Lean alata i principa podržanih od informacijskog sustava poduzeća, za koji bi poželjno bilo da je jedinstven, a s kojim su povezane računalne aplikacije za različitu primjenu (Slika 3.34). Aplikacije mogu biti razvijene kao univerzalne Web aplikacije ili pak 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 3.35. 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	Lean proizvodnja	
	Princip: Just In Time	Princip: Jidoka
	Metoda: Kanban sustav	Metoda: Andon
Pametni operater	Zaposlenik dobiva informacije o preostalom vremenu ciklusa putem proširene stvarnosti	Prijenosni računalni sustavi dobivaju infomracije o kvarovima i prikazuju ih u realnom vremenu zaposleniku
Pametni proizvod	Pametni proizvod sadrži informacije Kanbana kako bi izvršio proizvodnju orijentiranu prema narudžbi	-
Pametni stroj	Strojevi nude standardizirana sučelja za primanje i slanje Kanbana	Strojevi šalju informacije o kvarovima izravno operaterima i zovu druge sustave da se poduzmu aktivnosti vezane za popravak kvara
Pametno planiranje	IT sustavi rade rekonfiguraciju proizvodnih linija i ažuriraju nove informacije o Kanbanu prema novoj konfiguraciji	-

Slika 3.33.9 Primjer automatizacije Lean alata u kontekstu Industrije 4.0 (Kolberg & Zühlke, 2015)



Slika 3.34. HR-ISE model kao skup računalnih aplikacija različite namjene povezanih s jedinstvenim informacijskim sustavom

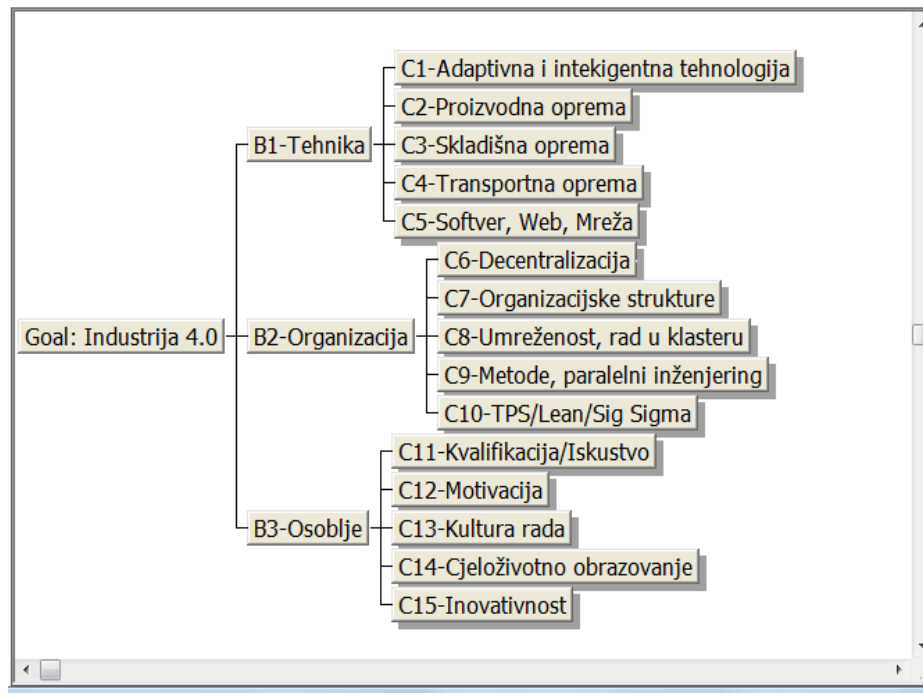


Slika 3.35.10 Primjer Web aplikacije za Kaizen kao dio informacijskog sustava poduzeća u kontekstu HR-ISE modela

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

3.3.1. 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 3.36. gdje se vidi hijerarhijski prikaz modela odlučivanja.



Slika 3.36. 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.

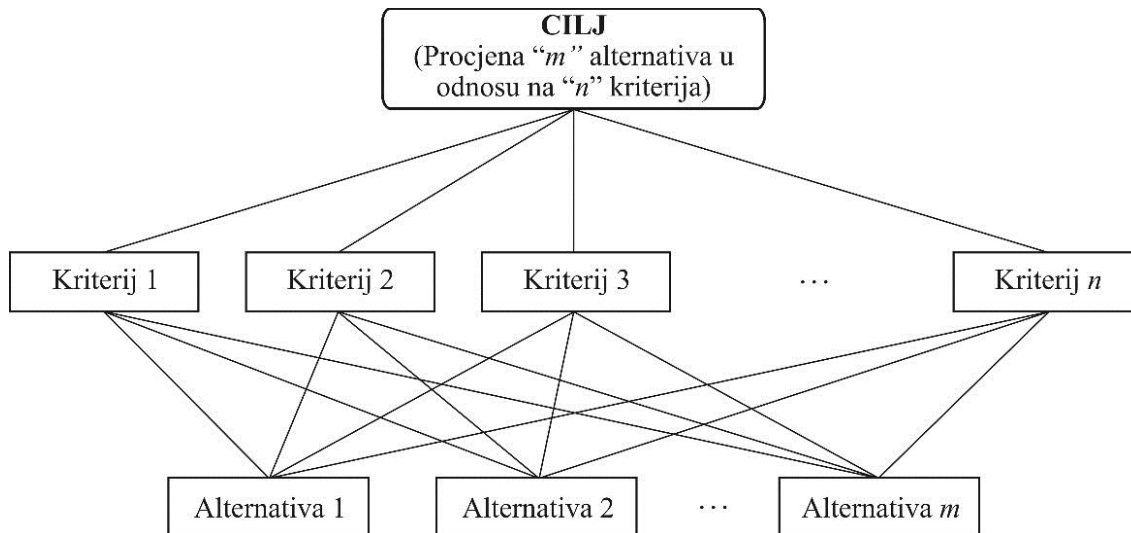
3.3.2. Pregled korištenih višekriterijalnih metoda

3.3.2.1. 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 3.37.).

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



Slika 3.37. 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 3.6.

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 danom nivou.

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 3.6. 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:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.1)$$

i omjera konzistencije CR :

$$CR = CI / RI, \quad (3.2)$$

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 nivoa 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.

3.3.2.2. 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 :

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.3.)$$

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 radi prema sljedećem algoritmu.

Korak 1. Odrediti idealno i antiidealno rješenje

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

$$A^+ = \{ (\max x_{ij} | j \in J), (\min x_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \} = \{ x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+ \} \quad (3.4.),$$

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

Antiidealna alternativa (negativni ideal) je s druge strane

$$A^- = \{ (\min x_{ij} | j \in J), (\max x_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \} = \{ x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^- \}. \quad (3.5.)$$

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:

$$\overline{X}_j = \frac{X_j}{\|X_j\|} = \frac{X_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.6.)$$

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

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

$$\overline{A}_i = (t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}) = \left(\frac{x_{i1}}{\|X_1\|}, \frac{x_{i2}}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_{in}}{\|X_n\|} \right), \text{ za } i = 1, \dots, m \quad (3.7.)$$

Analogno vrijedi i za idealnu i "antiidealnu" alternativu

$$\overline{A}^+ = (t_1^+, t_2^+, \dots, t_n^+) = \left(\frac{x_1^+}{\|X_1\|}, \frac{x_2^+}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_n^+}{\|X_n\|} \right) \quad (3.8.)$$

$$\overline{A}^- = (t_1^-, t_2^-, \dots, t_n^-) = \left(\frac{x_1^-}{\|X_1\|}, \frac{x_2^-}{\|X_2\|}, \dots, \frac{x_n^-}{\|X_n\|} \right) \quad (3.9.)$$

Korak 3. Izračunavanje udaljenosti

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

$$W = \{ w_1, w_2, \dots, w_n \}. \quad (3.10)$$

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

$$S_{i+} = d(A_i, A^+) = \left\| W \cdot (\overline{A}_i - \overline{A}^+) \right\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j \cdot (t_{ij} - t_j^+)]^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j (x_{ij} - x_j^+)}{\|X_j\|} \right]^2} \quad (3.11.)$$

Slično udaljenost od negativnog ideala dana je sa

$$S_{i-} = d(A_i, A^-) = \left\| W \cdot (\overline{A}_i - \overline{A}^-) \right\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j \cdot (t_{ij} - t_j^-)]^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j (x_{ij} - x_j^-)}{\|X_j\|} \right]^2} \quad (3.12)$$

Korak 4. Izračunavanje relativne bliskosti s idealnim rješenjem

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

$$RC_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}} \quad (3.13.)$$

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.

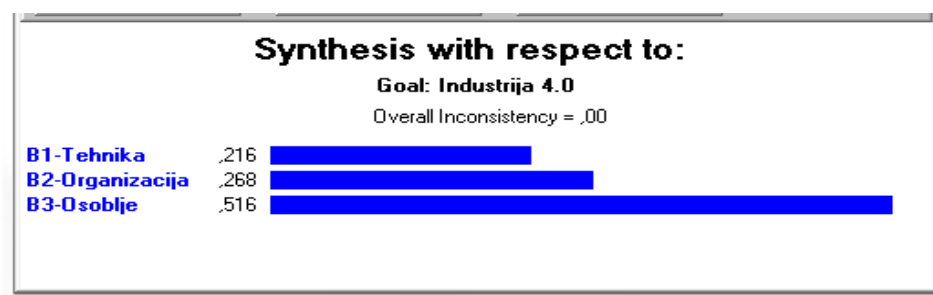
3.3.3. Primjena višekriterijalne analize na procjenu industrijske zrelosti hrvatskih poduzeća

U svakom od 38 razmatranih poduzeća na temelju anketa sa 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 3.7.

Tablica 3.7. 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 3.38.



Slika 3.38. Težine glavne grupe kriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017)

Lako je uočljivo da je za odgovorne osobe (CEO-s) 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 (t.j. 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. sve zajedno dobiveno je $38 \times 3 = 114$ matrica međusobnih usporedbi.

Za svaku grupu podkriterija (C1 – C5, C6 – C10, C11 – C15) izračunate su geometrijske sredine tih 38 matrica i te matrice su ulazni podaci za program Expert Choice. Te matrice prikazane su u Tablicama 3.8., 3.9 i 3.10.

Tablica 3.8. 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

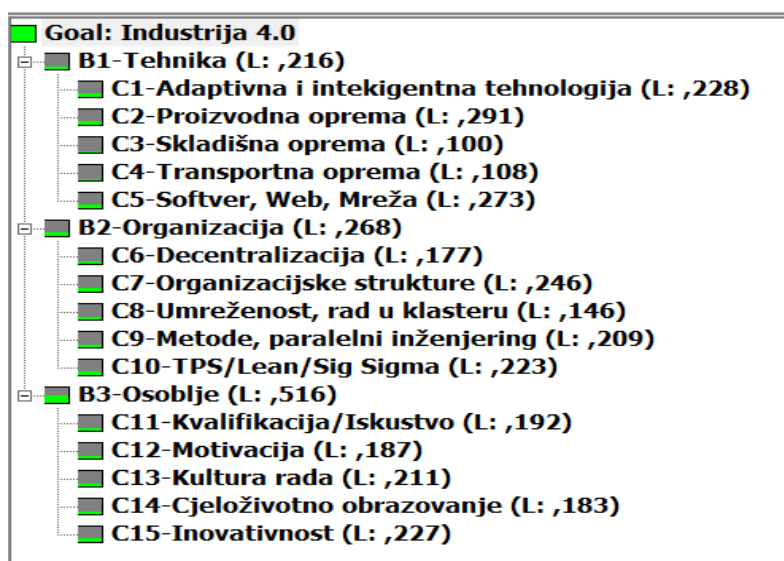
Tablica 3.9. Geometrijske sredine – Organizacija (Babić, Veža & Banduka, 2017)

	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

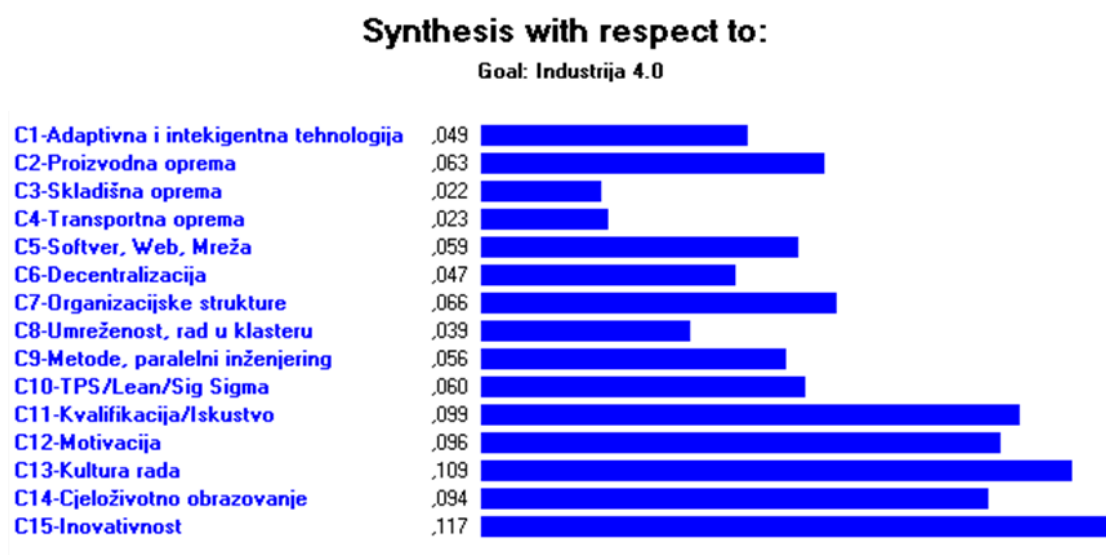
Tablica 3.10. Geometrijske sredine – Osoblje (Babić, Veža & Banduka, 2017)

	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 3.39. 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 3.40. težine svih podkriterija raspoređene tako da njihova ukupna suma bude jednaka jedinici.



Slika 3.39. Hijerarhijski prikaz težina kriterija i podkriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017)



Slika 3.40. Konačne težine podkriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017)

Sa Slike 3.40. 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 3.11.

Tablica 3.11. 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 3.11. 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 3.12.

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.

3.3.4. 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 process (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 3.12. 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			

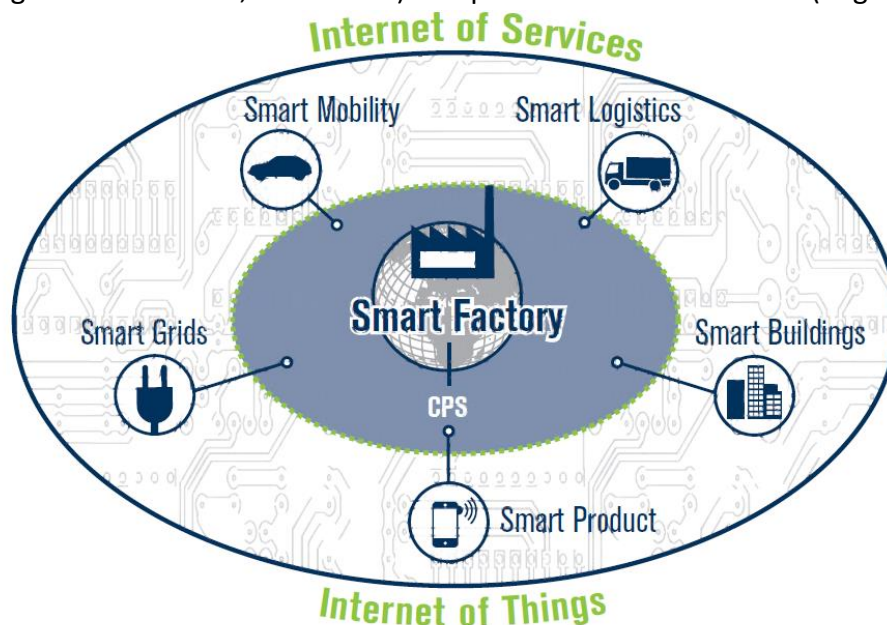
4. Razvoj asistentskog modula PLAS

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

4.1.1. Internet, CPS, CPPS i IoT i I4.0

Prve 3 industrijske revolucije rezultat su mehanizacije, elektrifikacije i informatizacije. Posljednja industrijska revolucija, Industrija 4.0 (I4.0), 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 – Cyber-Physical Production Systems (CPPS). Dakle, Industrija 4.0 rezultat je umrežavanja stvari i usluga (Internet of Things and Services, Slika 4.1) u proizvodnim sustavima (Kagerman et al, 2013).

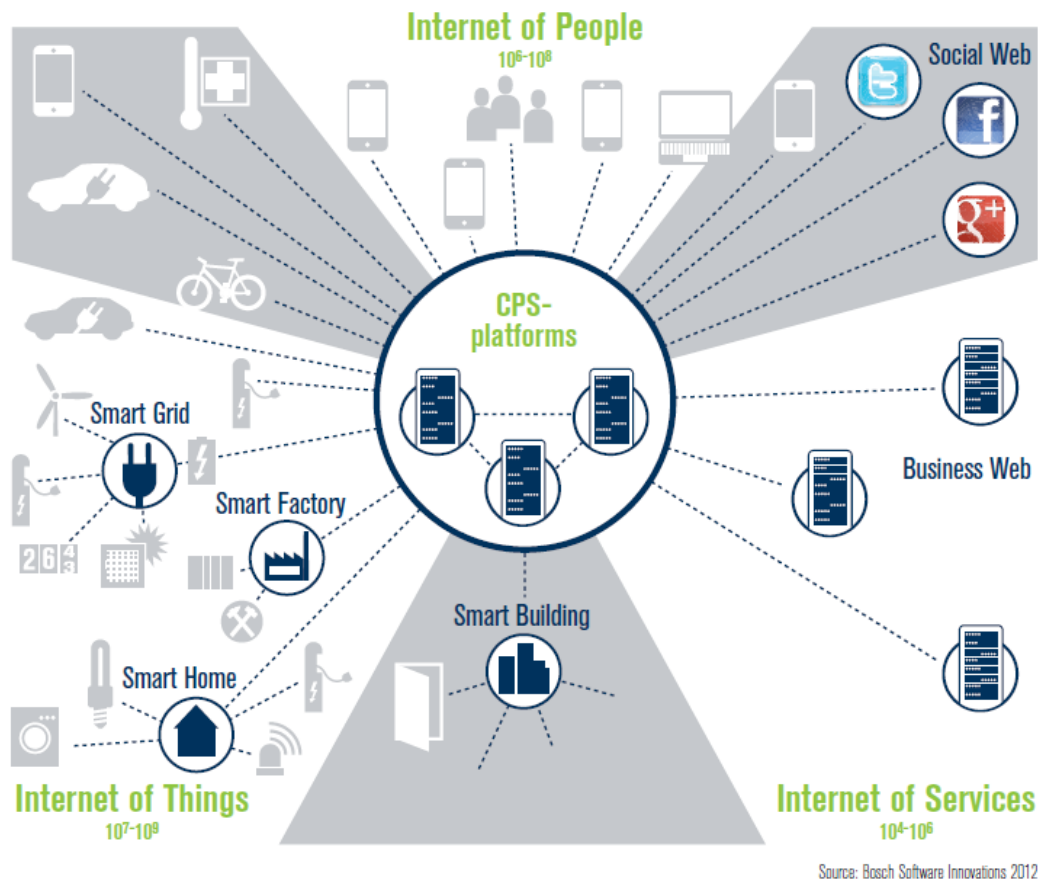


Slika 4.1. Internet of Things i Internet of Services (Kagerman et al, 2013)

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 et al, 2013)

Utjecaj I4.0 prelazi okvire proizvodnih sustava i okruženja i zahvaća cjelokupno suvremeno društvo i suvremeni način rada i življenja (Slika 4.2).



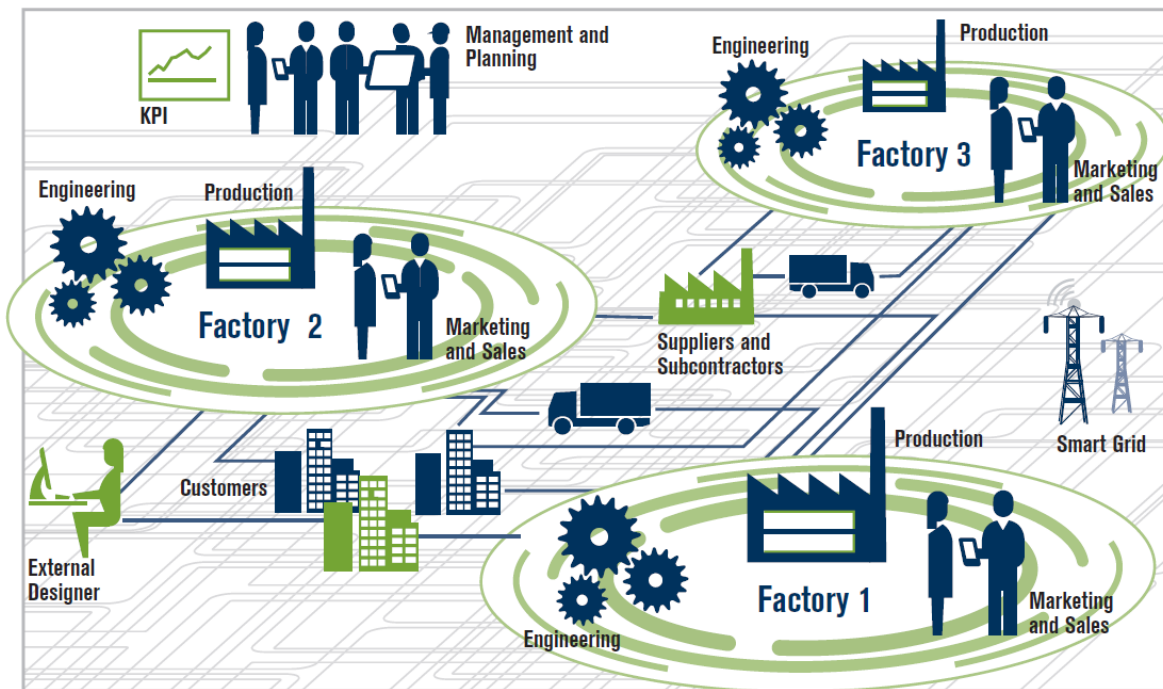
Slika 4.2. Internet of Things and Services – umrežavanje ljudi, objekata i sustava (Kagerman et al, 2013)

Treba naglasiti tri glavna obilježja CPPS-a (Monostori et al 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.

4.1.2. Horizontalna i vertikalna integracija u I4.0

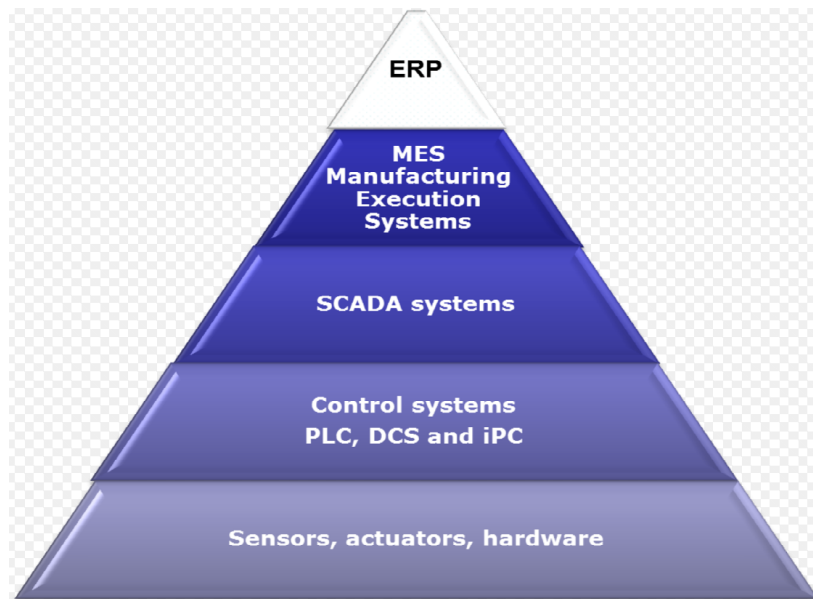
U područjima proizvodnje, automatizacije i IT-a, **horizontalna integracija** odnosi se na integraciju različitih IT sustava koji se koriste u različitim fazama procesa proizvodnje i poslovnog planiranja koji uključuju razmjenu materijala, energije i informacija unutar tvrtke (npr. ulazne logistike, proizvodnje, izlazne logistike, marketinga) i između nekoliko različitih tvrtki (vrijednosti mreža, Slika 4.3.). Cilj ove integracije je pružiti end-to-end rješenje. (Kagerman et al, 2013)



Source: Hewlett-Packard 2013

Slika 4.3. Horizontalni lanci vrijednosti (Kagerman et al, 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, Slika 11.4) kako bi isporučiti end-to-end rješenje. (Kagerman et al, 2013)



Slika 11.4. Vertikalna integracija IT sustava, od senzora i aktuatora do ERP sustava (Google)

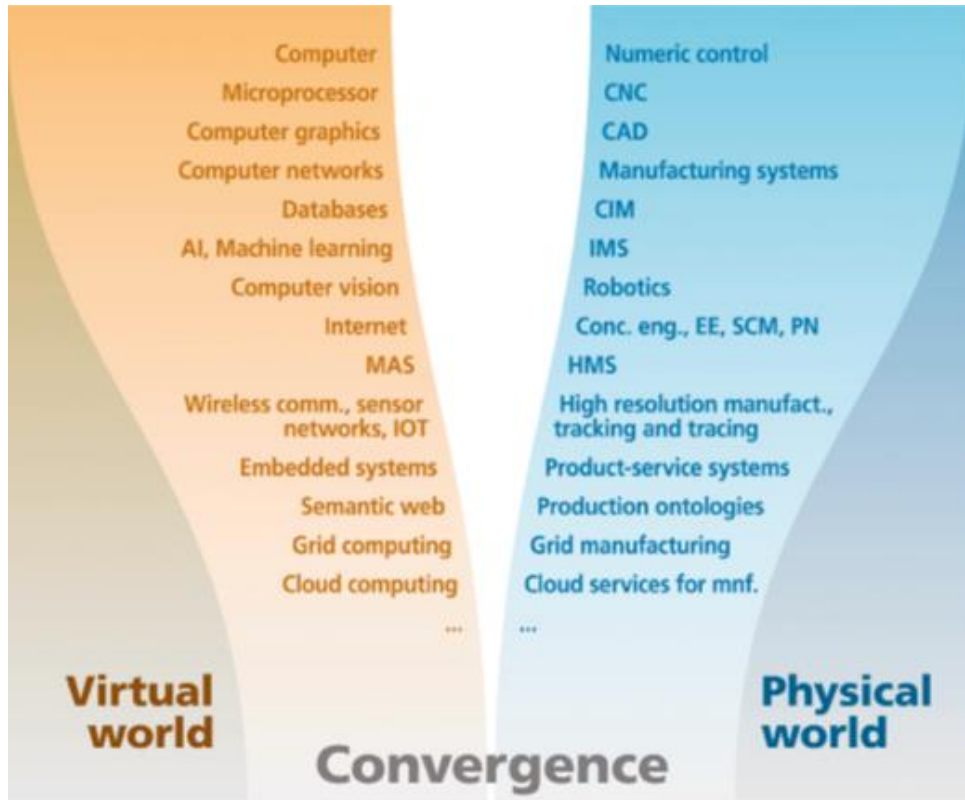
4.1.3. Industrija 4.0 – konvergencija virtualnog i fizičkog svijeta

Razvoj računalnih znanosti (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 4.5.) te je u posljednjim godinama došlo do sve veće konvergencije virtualnog i fizičkog svijeta (Monostori et al, 2016).

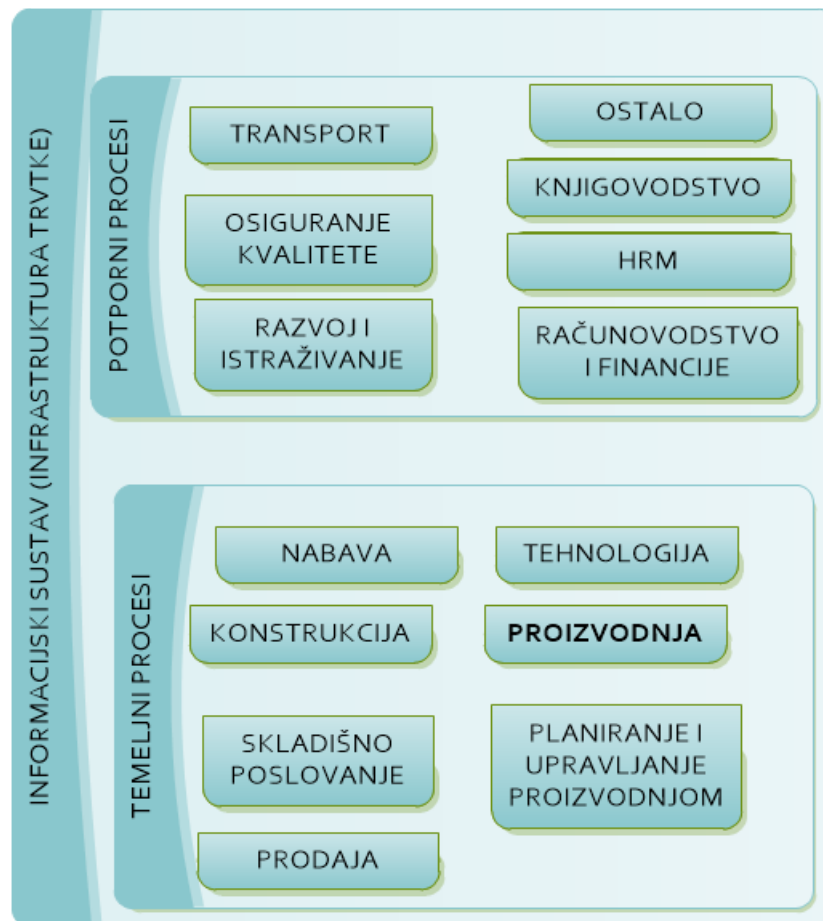
Nova industrijska revolucija, Industrija 4.0, predstavlja novi način organiziranja i kontrole cjelokupnog sustava dodane vrijednosti i značajno utječe na sve procese tvrtke. Međutim, bitno je naglasiti da u novoj tehnološkoj revoluciji sve značajniju ulogu preuzimaju informacijske tehnologije (CS & ICT) pa bi se i Porterov klasični model temeljnih i potpornih procesa u lancu vrijednosti proizvodne tvrtke mogao prikazati kao na donjoj slici (Slika 4.6.). 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 4.5. Povezanost CS, ICT i proizvodnih sustava (Monostori et al, 2016)



Slika 4.6. 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,...). 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.

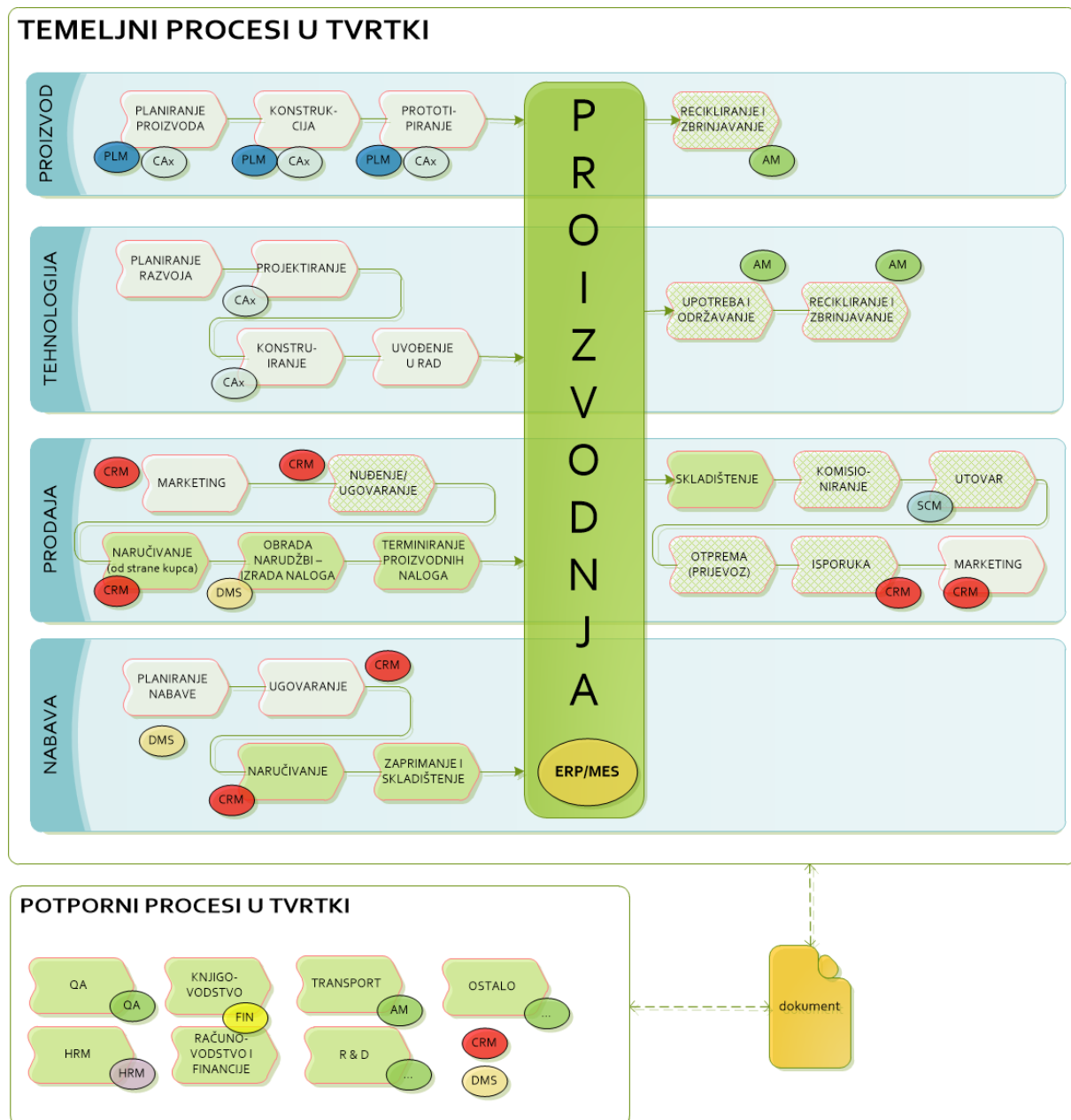
4.2. Informatizacija procesâ u tvrtkama

4.2.1. Informatička zrelost hrvatskih tvrtki

Prosječna industrijska zrelost 161 tvrtke koja je odgovorila na poslane upitnike je 2,15 (ocjene 1-4) (Veža et al, 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.

Pogreška! Izvor reference nije pronađen. prikazuje pokrivenost poslovnim procesa odgovarajućim programskim rješenjima. Važno je naglasiti slijedeće činjenice (uočene naročito u osobnim posjetama 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 informatizirale 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 smo vidjeli uživo bile su napravljene u Excelu).



Slika 4.7. Uobičajeno stanje informatizacije procesâ u proizvodnim tvrtkama

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

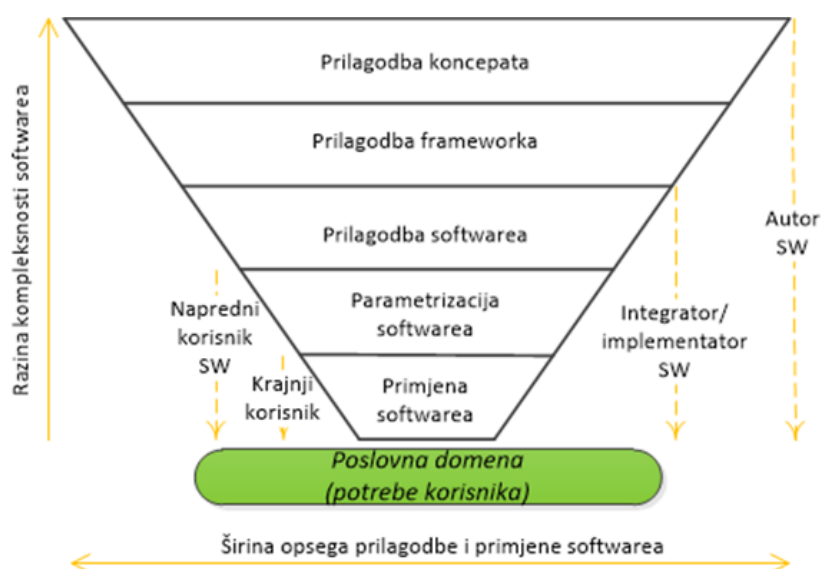
- Ako tvrtka kojoj ICT nije core poslovanje ne izdvađa za ICT proces (hardver, softver, komunikacije, vlastite djelatnike i njihovo usavršavanje, eksterne usluge,...) kontinuirano cca 1% svojih prihoda, ne može očekivati da joj ICT unaprijedi poslovanje.

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. opstojnost) tvrtke.

4.2.2. 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 par 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 4.8). Većina proizvodnih tvrtki smatra da su ICT rješenja čisto infrastrukturni resurs pa sve što je s tim povezano gledaju samo s gledišta troška 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 I4.0, naime, znatno se proširila poslovna domena, odnosno potrebe korisnika (Slika 4.8), 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).



Slika 4.8. Paradoks opsega prilagodbe softvera potrebama poslovanja

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 'našim 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.

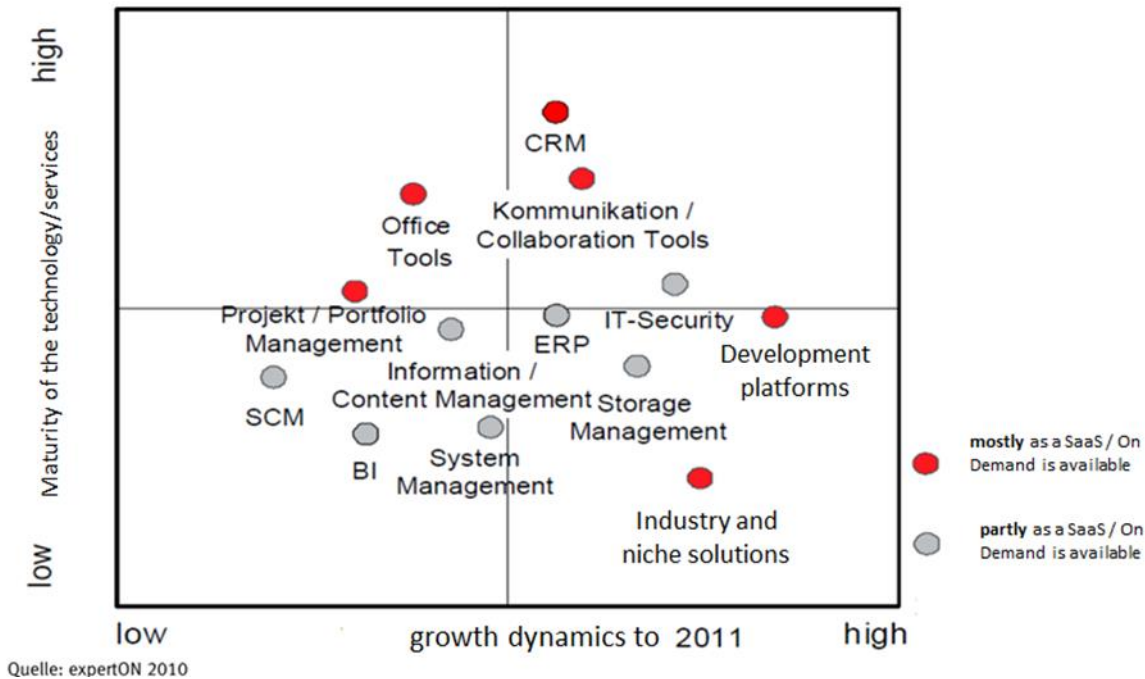
Postoje i rješenja koja se mogu prilagoditi naraslim potrebama korisnika te zadovoljavaju njihove trenutne (pa i kratkoročne) potrebe ali dublja ICT analiza pokazuje da se dugoročno ne isplati ulagati u takve softvere. Razlozi mogu biti višestruki:

- 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, ...),

- neadekvatna arhitektura

- o uočljivo je da sustavi koji 'rastu' kroz 10-ak 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,

- o neki sustavi koriste suvremene tehnologije (web tehnologije) čak i kada one nisu najprimjerenije (Slika 4.9), što ima za posljedicu lošije funkcioniranje nekih poslovnih procesa (npr. otežano prikupljanje i obrada podataka u distribuiranim poslovnim okruženjima).



Slika 4.9. Kompatibilnost tehnologija i poslovnih segmenata

4.3. Metodologija razvoja softvera

Kako uspjeh ne dolazi slučajno, tako ni softver (IS) kakav je potreban za suvremenu I4.0 ne može nastati niti slučajno niti od gomile postojećih (pa makar i pojedinačno dobrih) softvera. Za I4.0 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.

4.3.1. 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 et al 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).

4.3.2. 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 et al, 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 et al 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 sama po sebi i uključuje sve aktivnosti razvojnog ciklusa, od analize zahtjeva do prihvaćanja kupaca i završava s (internim) aplikacijskim izdanjem. Nepotrebna dokumentacija je uklonjena (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 et al, 2005), (Helmy et al, 2012), (Nawrocki 2002), (Dragičević et al, 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.

4.3.3. Lean & agile: Manifest agilnog razvoja softvera

Izraz "Lean Production" prvi je put upotrijebljen sredinom 1980-ih kako bi se opisao organizacijski sustav korišten u Toyota 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 et al, 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* formuliravši sljedeće izjave (Beck et al, 2001), (Boehm and 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>Reagiranje na promjenu</i>	<i>nego ustrajanje na planu.</i>

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

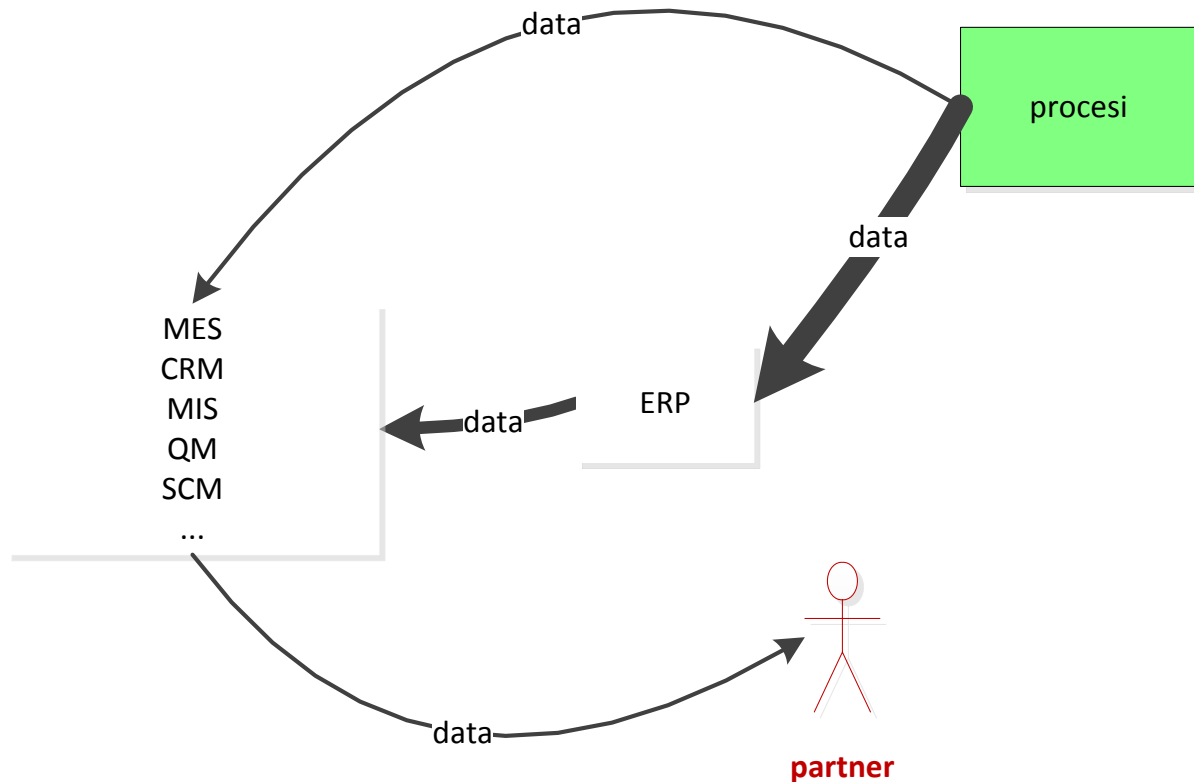
Ove misli potrebno je imati kao orijentir pri ozbiljnim analizama/odabirima postojećih, odnosno prilikom odluka o izradi novih informacijskih sustava (softvera).

4.4. Arhitektura VENIO Sustava za praćenje poslovnih procesa

U nastavku je opisana arhitektura integriranog informacijskog sustava VENIO, koji zadovoljava zahtjeve I4.0 i koji se konstantno razvija (počevši od 2011. godine) u skladu sa zahtjevima koje informacijske sustave postavlja Industrija 4.0.

4.4.1. Integracija sustava ili integracija funkcija

Slika 4.10 prikazuje okruženje većine tvrtki, koje imaju više specijaliziranih, međusobno više ili manje dobro integriranih aplikativnih rješenja. Usljed toga, tvrtke se susreću s već spomenutim problemima (v. 4.2 Informatizacija procesâ u hrvatskim tvrtkama).



Slika 4.10 Uobičajena okruženje u mnogim tvrtkama

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

- s adekvatnom arhitekturom,
- s adekvatnom tehnologijom,
- funkcionalan i nadogradiv,

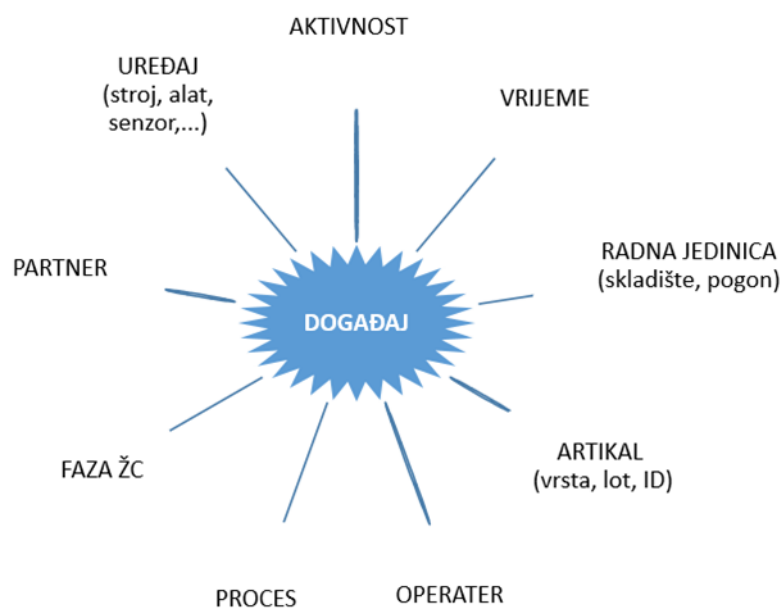
tj. ako je kvalitetan i ispunjava zahtjeve kvalitete za I4.0. Upravo ovaj princip integracije potrebnih funkcija u VENIO sustav jest jedan od temeljnih postulata razvoja VENIO sustava.

4.4.2. Kontekstualni model VENIO sustava

Sustav se obično definira kao skup elemenata koji su povezani nekakvim odnosima, tj. relacijama. Takav odnos elemenata i njihovih veza možemo nazvati stanjem sustava. Svaki sustav koji promatramo/pratimo 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 nekomvremenskom trenutku.

Događaj može nastupiti zbog nekoliko razloga. Jedan razlog 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 4.11), početak ili završetak međudjelovanja elementa s okolinom (npr. suradnja s partnerom) ili drugim elementima samog sustava (npr. uređaj, operater, faza životnog ciklusa, ...).

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 (Slika 4.11) uz što manje ometanje samog poslovnog sustava. Tj. 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).

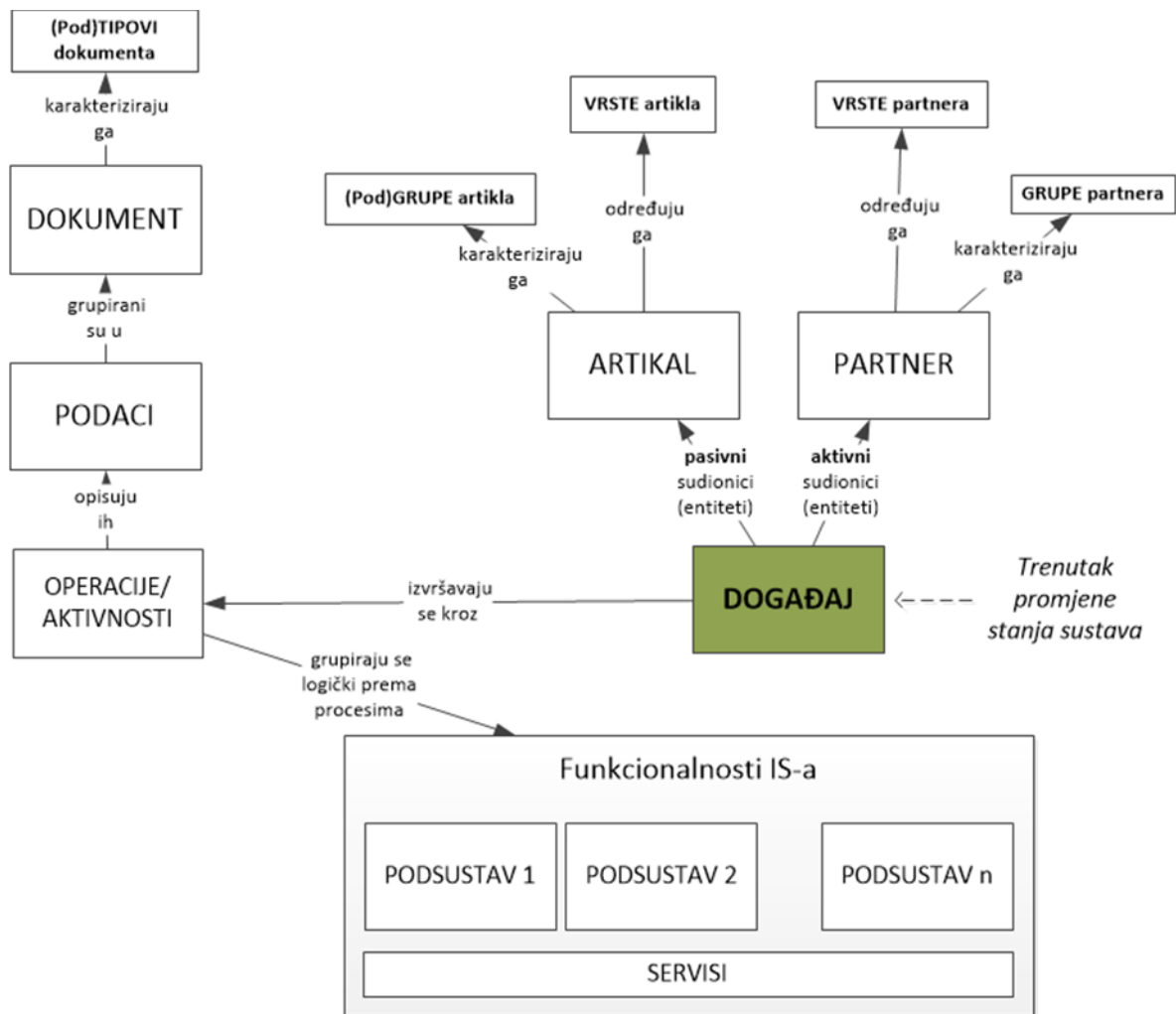


Slika 4.11 Kontekstualni model IS-a za I4.0

4.4.3. Konceptualni model VENIO sustava

Slika 4.12 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 (procesu) kroz koje sustav prolazi.

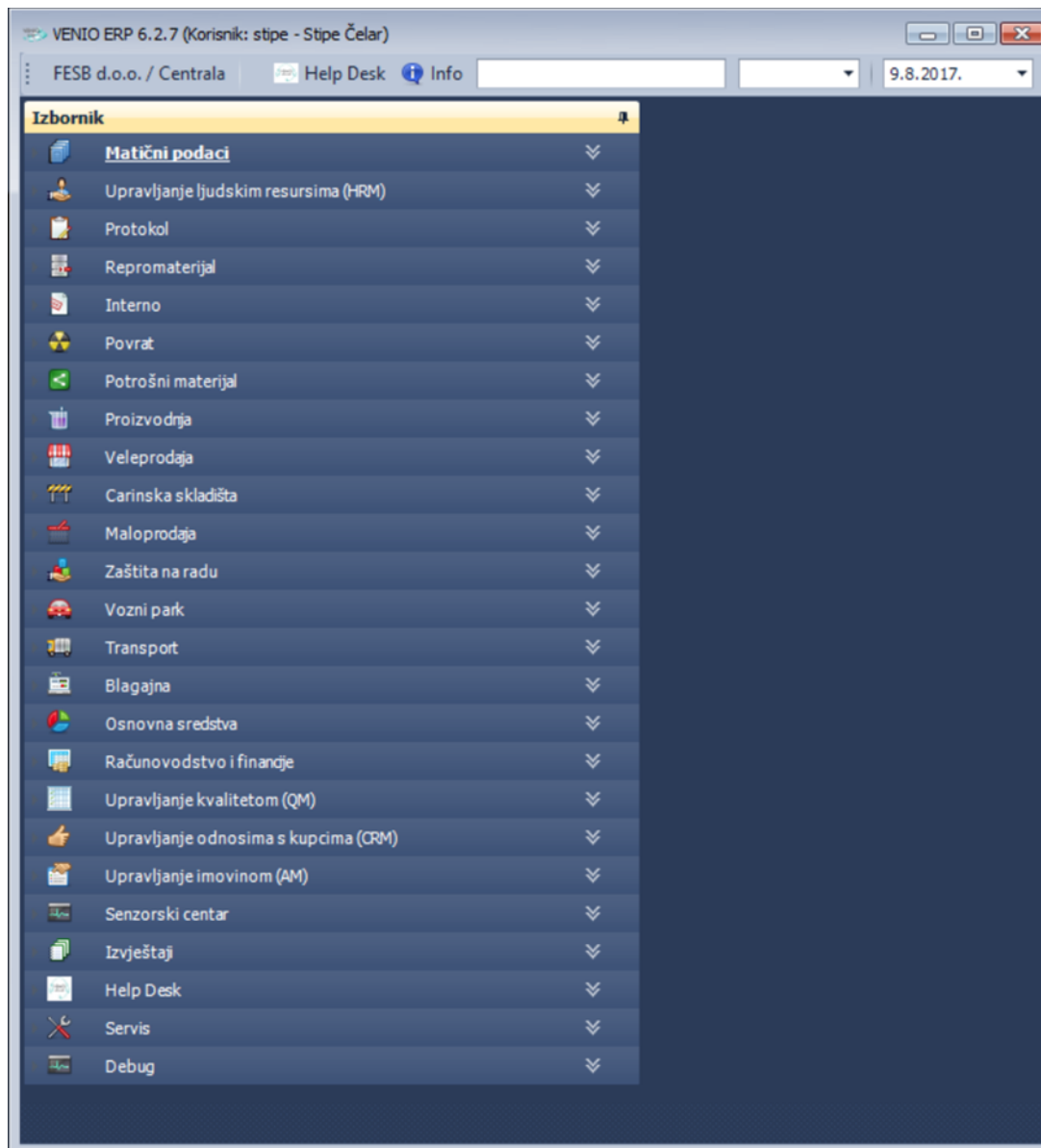
Svi ovi događaji moraju se opisati podacima, a njih je potrebno zapisati na nekakve dokumente (račune, prijavnice, naloge, potvrde, sastaavnice, narudžbe,...) i na odgovarajući način obraditi u poslovnim procesima.



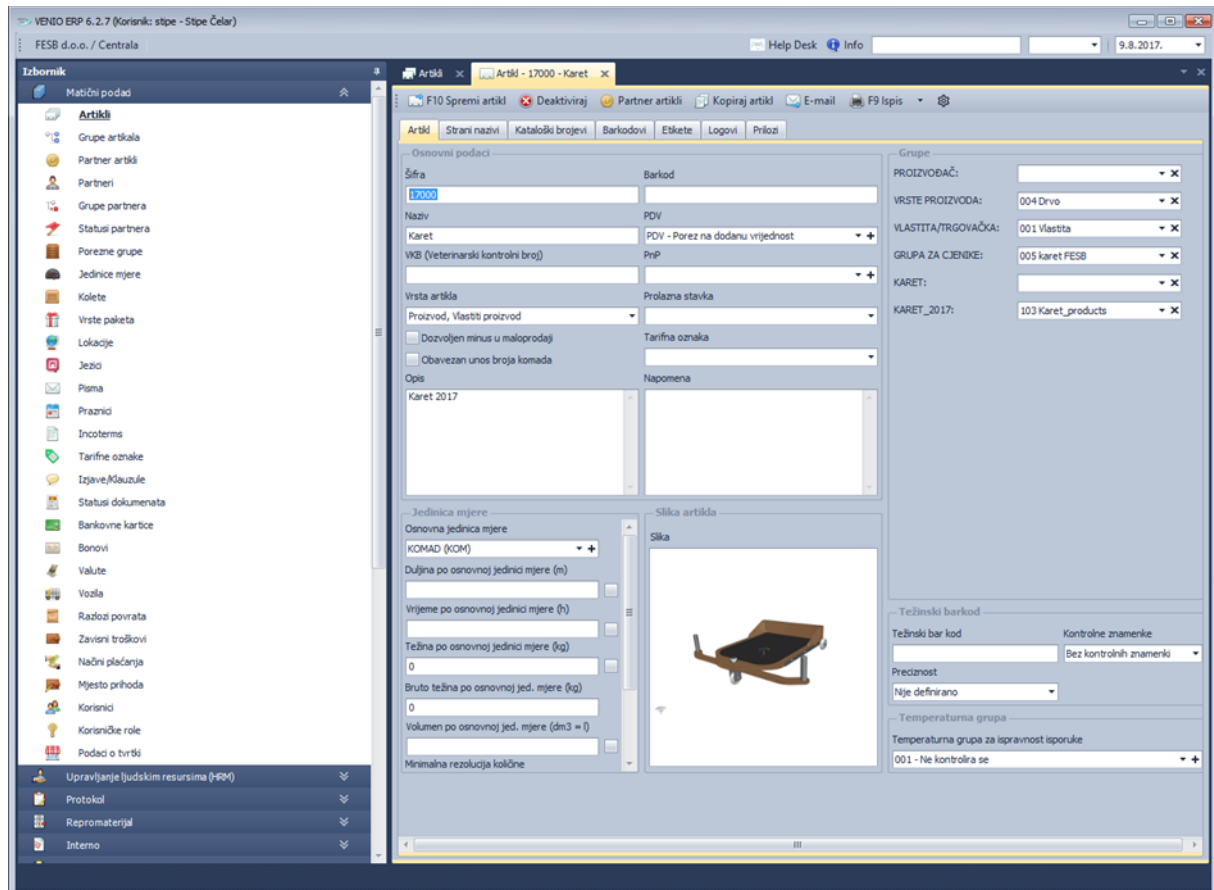
Slika 4.12 Konceptualni model IS-a za I4.0

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

Arhitektura VENIO sustava prikazana je na donjoj slici (Slika 4.13). 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 4.14) koji se definiraju u 'Matičnim podacima' a koriste u svim ostalim podsustavima.



Slika 4.13 Arhitektura VENIO sustava



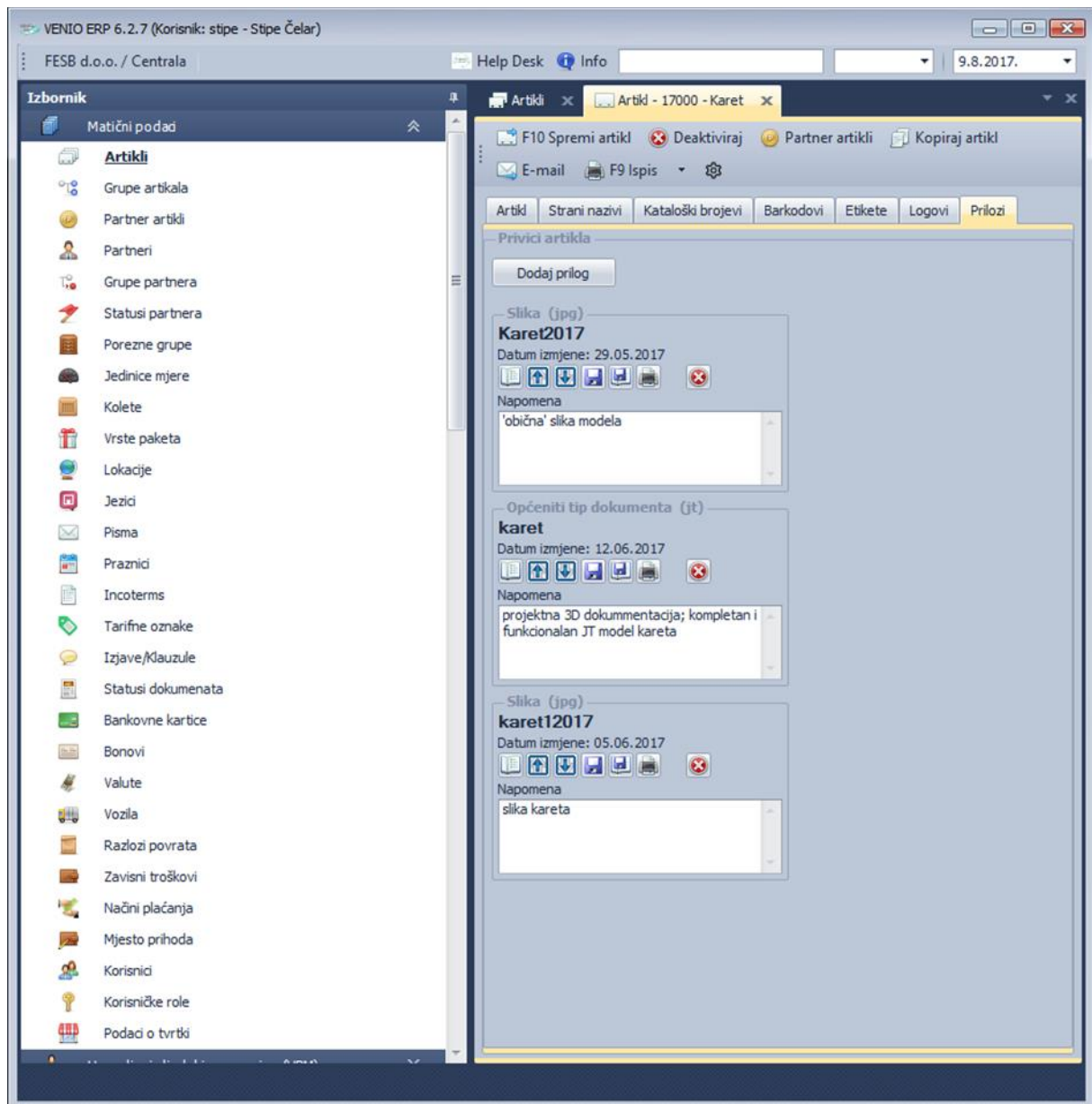
Slika 4.14 Primjer dijela podataka o artiklu 'KARET' u podsustavu 'Matični podaci'

Uz same i osnovne podatke o artiklu, Slika 4.14, u Sustav se mogu spremati i brojne druge kolekcije podataka o artiklima – v. tabove:

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

Pored toga, Sustav omogućuje jednostavno spremanje i pregledavanje raznih vrsta priloga (Slika 4.15), što je pogodno za npr. CAD dokumentaciju, CRM priloge ili sl.

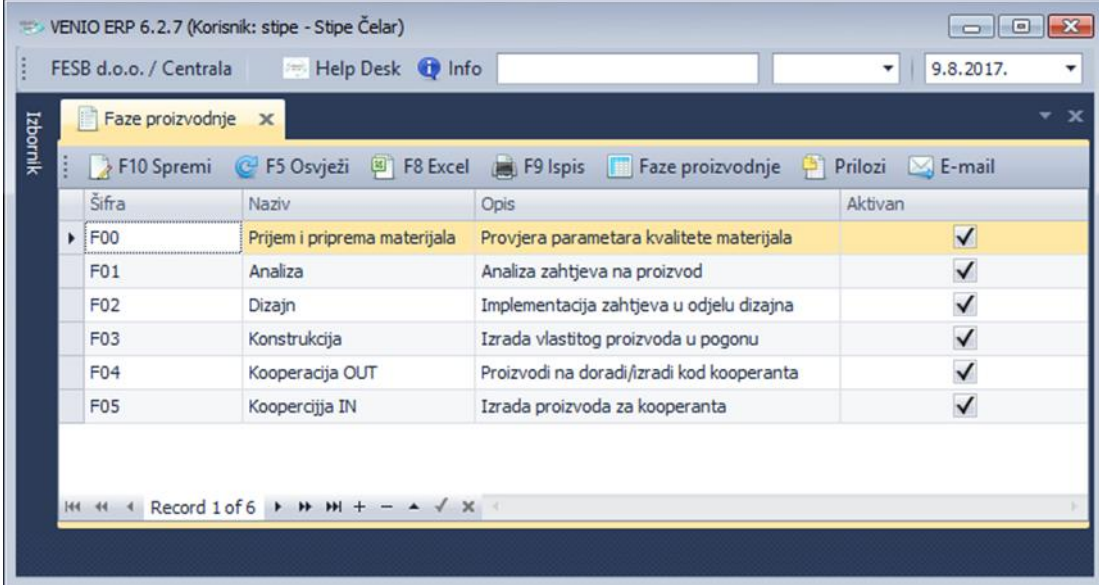
Sustav je izrazito procesno orijentiran, što ga čini korisniku intuitivnim i jednostavnim za učenje i korištenje. Prilagodljivost Sustava specifičnostima međusobno različitih poslovnih procesa pojedinih tvrtki postiže se velikom mogućnošću konfiguriranja. Za tu svrhu Sustav ima mnoštvo konfiguratora u podsustavu 'Servisi' (Slika 4.17).



Slika 4.15 Priložena dokumentacija o artiklu 'KARET' u 'Matičnim podacima' (CAD, jpg,...)

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

- slobodno definiranje vlastitih faza proizvodnje (Slika 4.16),
- 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

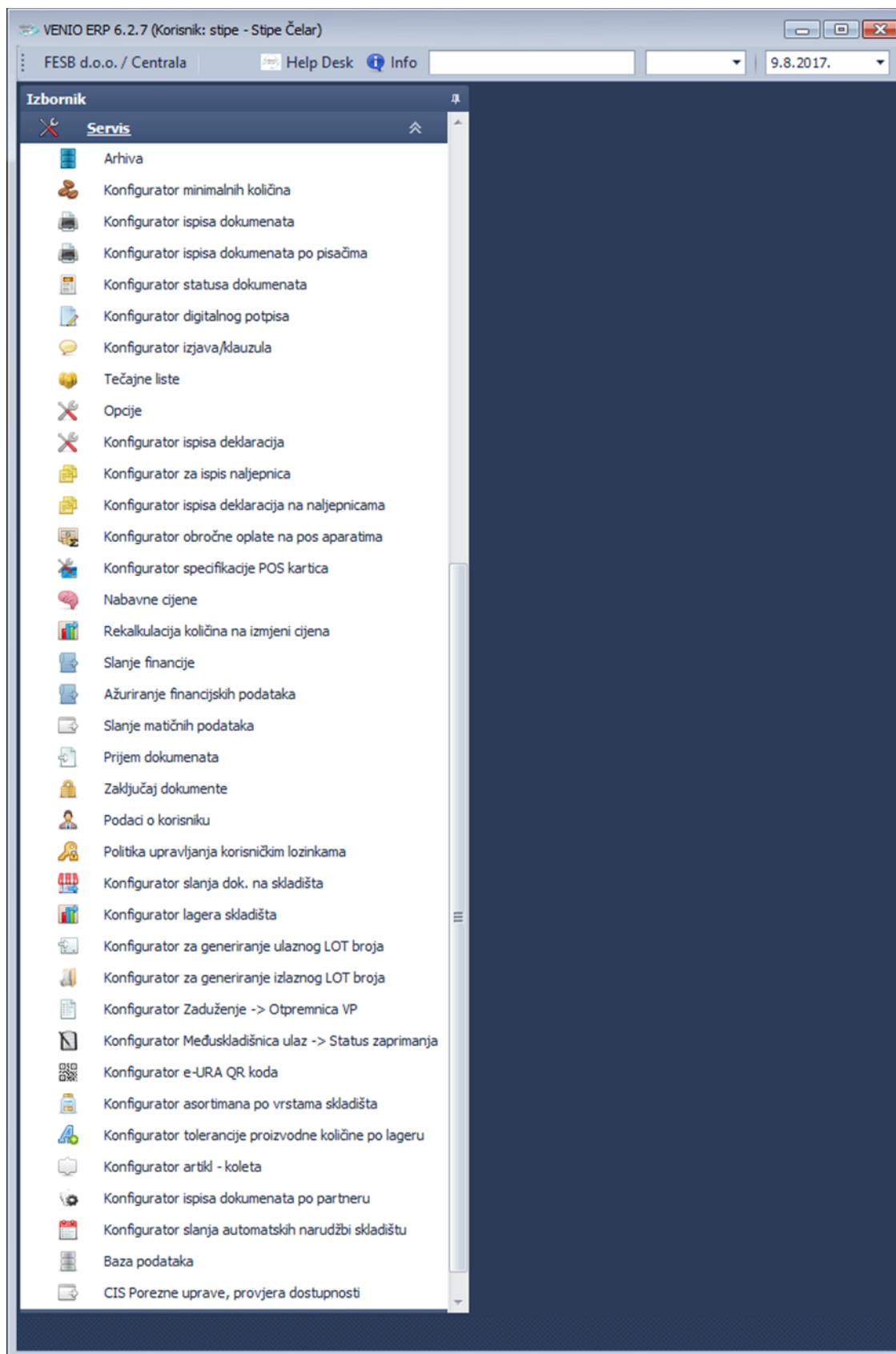
Faze proizvodnje x

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	<input checked="" type="checkbox"/>
F01	Analiza	Analiza zahtjeva na proizvod	<input checked="" type="checkbox"/>
F02	Dizajn	Implementacija zahtjeva u odjelu dizajna	<input checked="" type="checkbox"/>
F03	Konstrukcija	Izrada vlastitog proizvoda u pogonu	<input checked="" type="checkbox"/>
F04	Kooperacija OUT	Proizvodi na doradi/izradi kod kooperanta	<input checked="" type="checkbox"/>
F05	Kooperacija IN	Izrada proizvoda za kooperanta	<input checked="" type="checkbox"/>

Record 1 of 6

Slika 4.16 Faze proizvodnje u podsustavu 'Proizvodnja'



Slika 4.17 Dio konfiguratora VENIO sustava

4.5. 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,...),
- Proizvodnja (definirani su pogoni, uređaji, normativi/sastavnice,...)
- HRM (definirana su radna mjesta i kategorije, kompetencije, razine kompetencija,...).

4.5.1. Konceptualni model PLAS modula

Slika 4.18 prikazuje koncept modula modula za planiranje i raspoređivanje zadataka (PLAS).

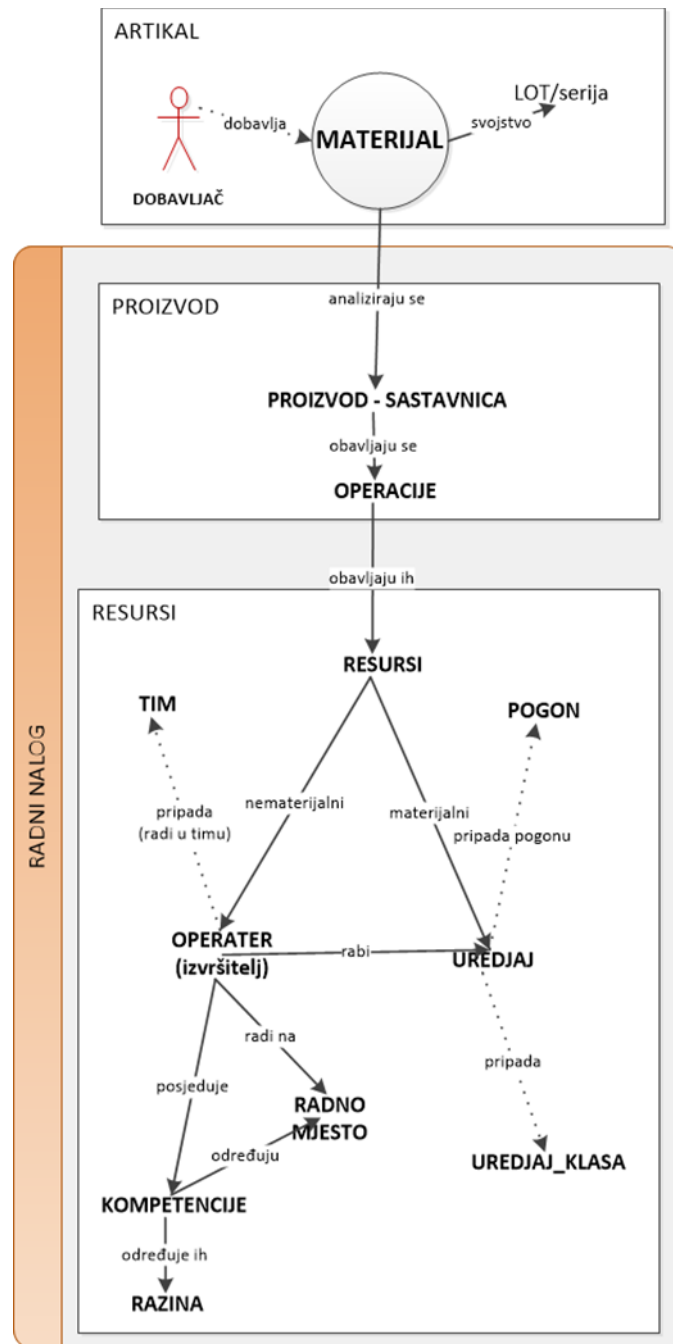
U Sustavu se za svaki proizvod definiraju normativi te potrebne operacije i resursi:

- mogući operateri (s odgovarajućim kompetencijama, tj. na radnom mjestu) i
- određeni uređaji (koji mogu obavljati definirane operacije).

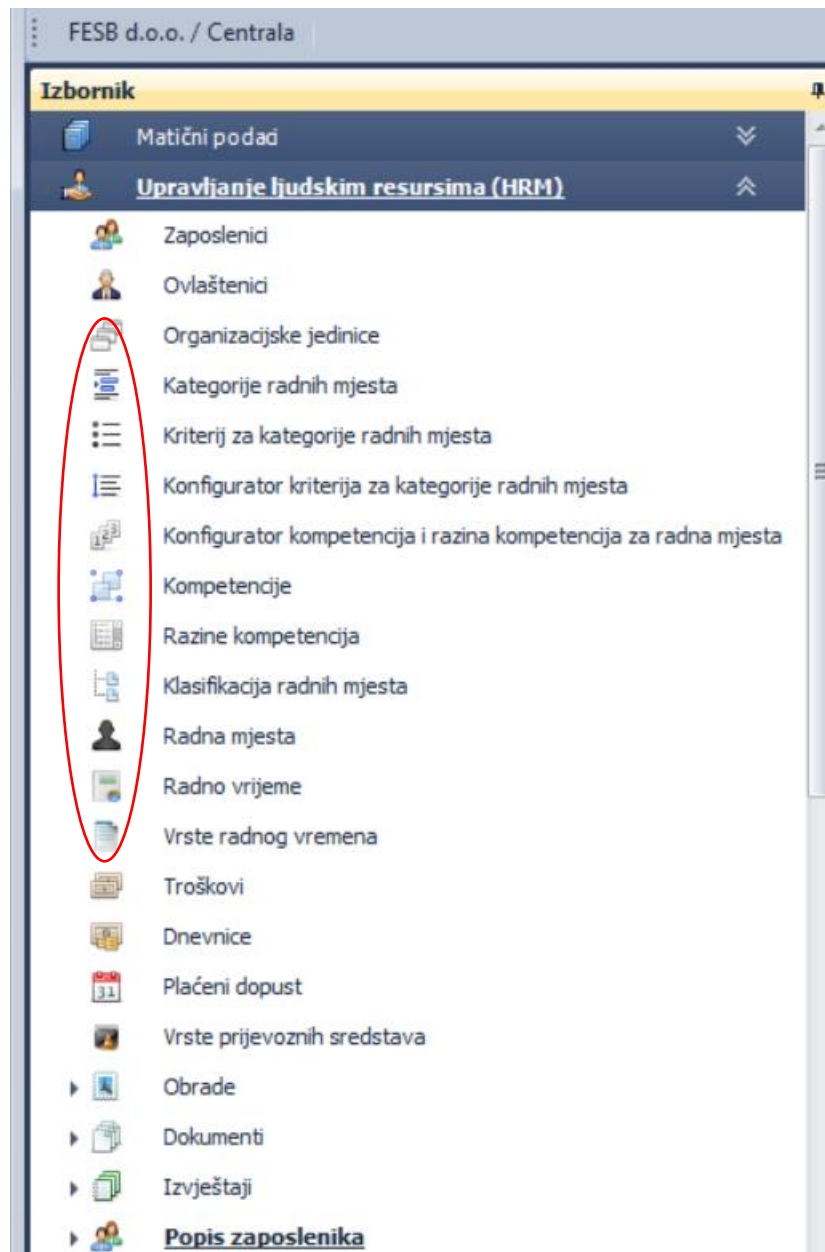
Dokument RADNI NALOG (RN) planira se kao niz pojedinačnih zadataka/operacija (operacija, operater, uređaj, pogon) i za njih se traži POČETAK IZVRŠENJA od strane operatera i uređaja (vrijeme_pocetak) uvažavajući prioritete operacija.

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 4.19). Dok obavlja OPERACIJU na UREDJAJU, OPERATER je zauzet u postotku definiranom u sustavu za pojedinu OPERACIJU.



Slika 4.18 Konceptualni model PLAS modula



Slika 4.12 Najvažniji koncepti za praćenje proizvodnje (ugrađeni u podsustav HRM)

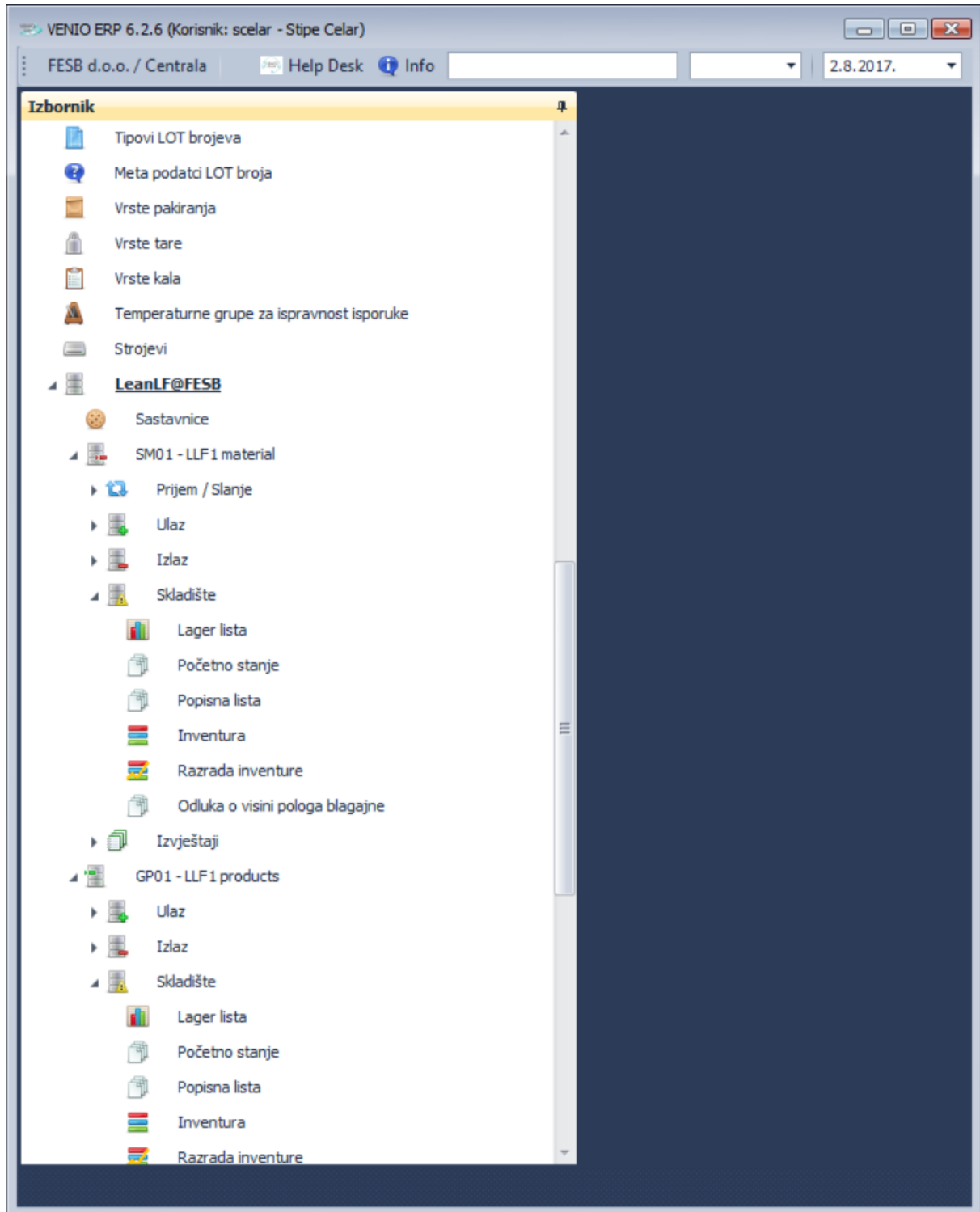
4.5.2 Praćenje proizvodnje na temelju vezanih dokumenata (temeljeno na OAGIS i UN/CEFACT)

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 donjim slikama ukratko je prikazan koncept praćenja procesa proizvodnje.

Sama proizvodnja organizirana je kroz *proizvodne pogone* (LeanLF@Fesb, Slika 4.13) a svaki pogon sastoji se od 2 logička skladišta:

- Skladišta materijala (**SM01 – LLF1 material**) i

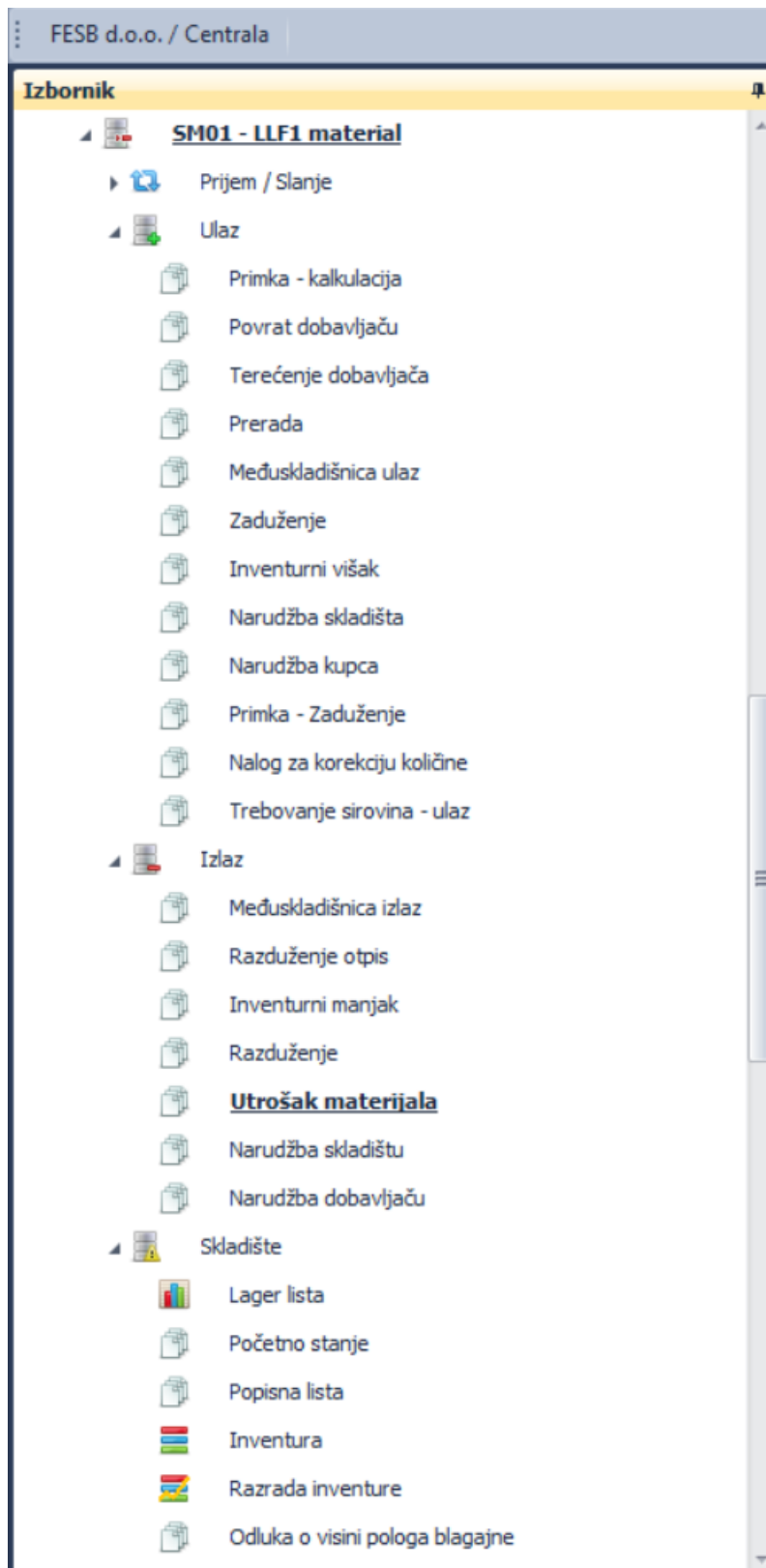
- Skladišta gotovih proizvoda (**GP01 – LLF1 products**).
-



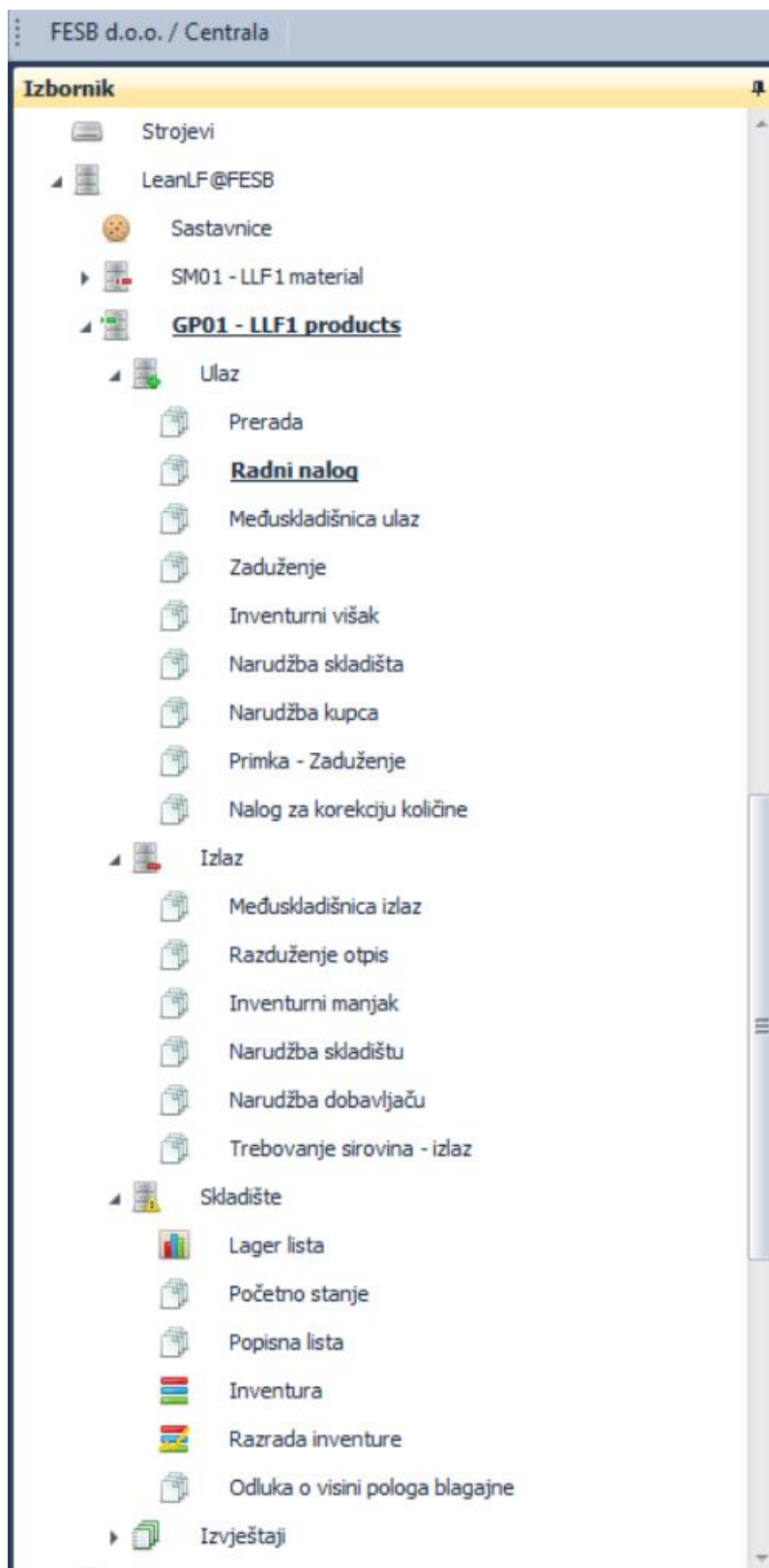
Slika 4.13 Arhitektura podsustava 'Proizvodnja' u VENIO sustavu

Unutar svakog skladišta (Slika 4.14 i Slika 4.15) 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 'Izvještaji').



Slika 4.14 Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza materijala (LLF1 material)



Slika 4.15 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.

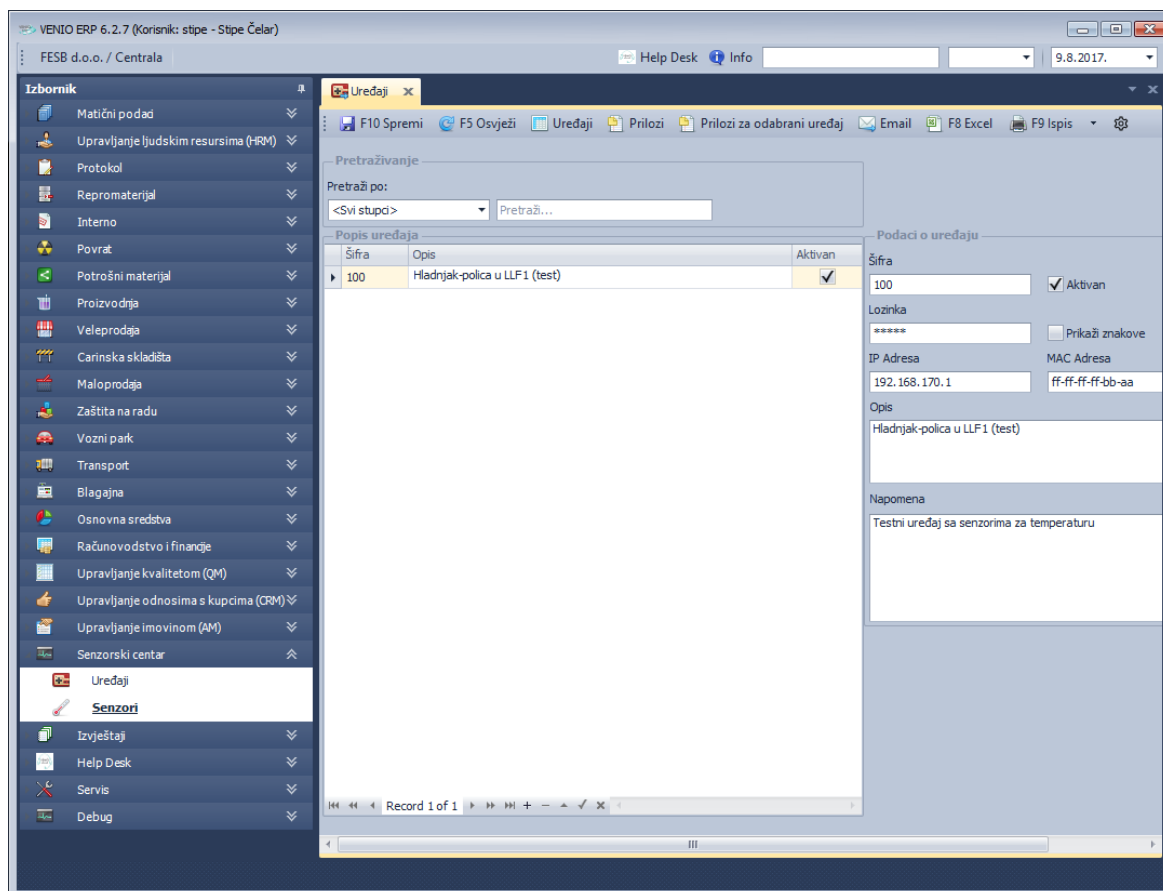
4.5.3 Podsustav 'Senzorski centar' – vertikalna 'ulaznica' u CPPS svijet

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 I4.0 glavni način unosa podataka u dokumente CPPS-a. Stoga je u VENIO sustavu razvijen podsustav 'Senzorski centar' (Slika 4.16) u kojem se definiraju uređaji i njihovi pripadni senzori. Za senzore je moguće definirati mjerljive parametre (npr. temperaturu, vlažnost,...), njihove mjerne jedinice i granice mjerenja, rezolucije mjerenja, tolerancije, i sl. attribute.

Omime je omogućena vertikalna integracija različitih senzora i uređaja, odnosno integracija njihovih podataka i funkcija u VENIO sustav (v. poglavlje **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**).



Slika 4.16 Definicija uređaja u podsustavu 'Senzorski centar'

5. Upravljanje kvalitetom – sustavi, metode i tehnike

5.1. Sustavi upravljanja kvalitetom

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

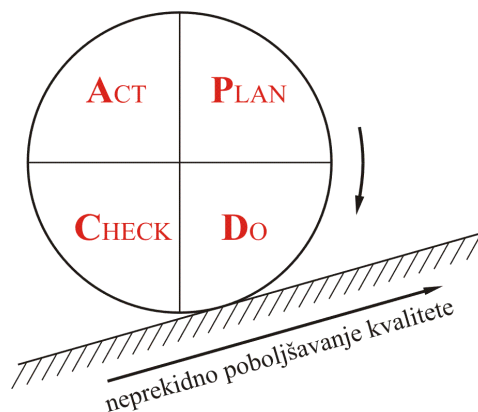
Upravljanje kvalitetom uključuje uspostavljanje **politike kvalitete** i **ciljeva kvalitete**, te procesa za postizanje tih ciljeva kvalitete kroz:

- 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 5.1.).



Slika 5.1. 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;
- Prezenterajte 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.

5.1.1. 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:

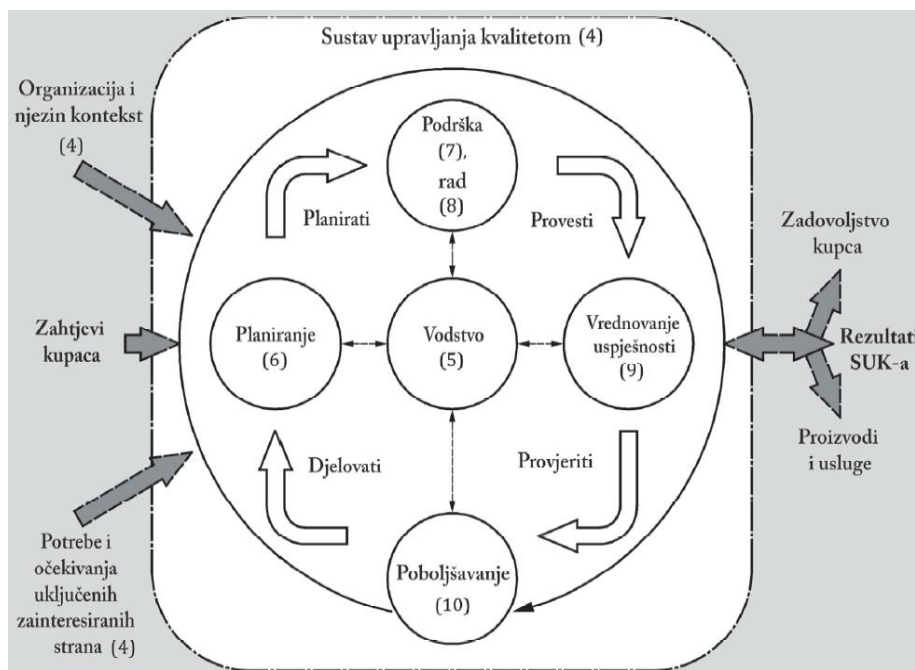
- a) sposobnost dosljedne isporuke proizvoda i pružanja usluga koji ispunjavaju zahtjeve kupaca i primjenjive zahtjeve zakona i propisa
- b) veće prilike za povećanje zadovoljstva kupaca
- c) poduzimanje koraka povezanih s rizicima i prilikama vezanim uz kontekst i ciljeve organizacije
- d) sposobnost 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 5.2.).



Slika 5.2. Sustav upravljanja kvalitetom

U nastavku detaljnije su objašnjene pojedine točke na Slici 5.2.

(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 ustanovljavanja 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 ...). 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, posuvremeniti 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. Vrednovanje sustava upravljanja kvalitetom.

5.1.2. TQM

Na Tablici 5.1 prikazane su osnovne razlike između tradicionalnog pristupa kvaliteti i TQM-a.

Tablica 5.1. Razlika između tradicionalnog pristupa i TQM

Tradicionalni pristup	TQM
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 (AQL).	Treba težiti radu „bez pogrešaka“ (<i>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.

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*.

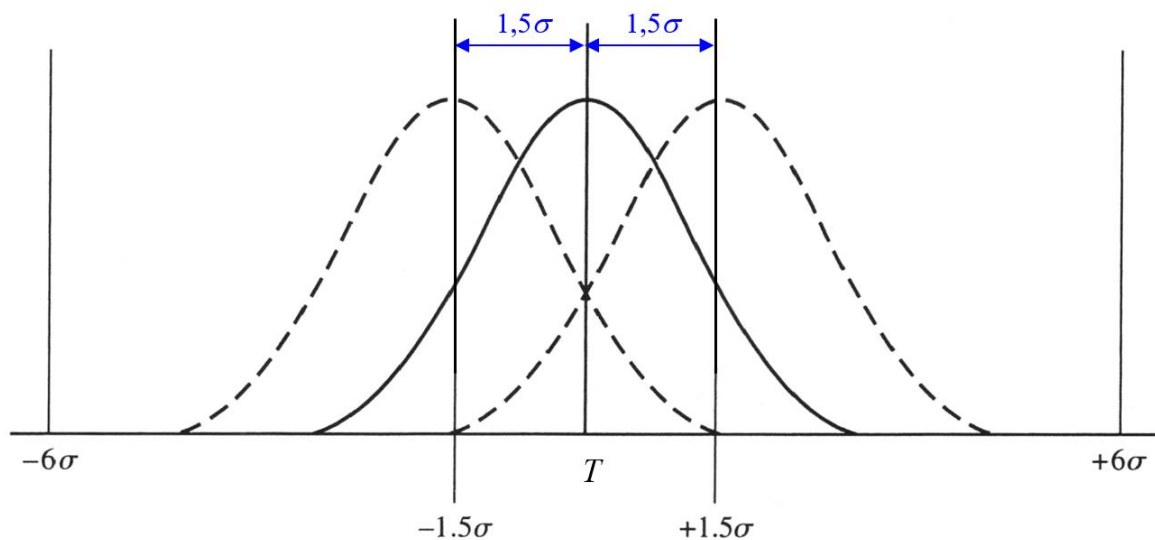
- **Usmjerenost na procese.** S obzirom na to da je kvaliteta proizvoda funkcija kvalitete procesa u kojima se proizvodi realiziraju, TQM je usmjeren na ugrađivanje kvalitete u procese.
- **Neprekidno poboljšavanje.** U cilju ispunjavanja zahtjeva i očekivanja kupaca, organizacije neprekidno poboljšavaju 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 naponi 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.

5.1.3. ŠEST SIGMA

5.3.1.1. 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 5.4., Tablica 5.2.):

- 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).



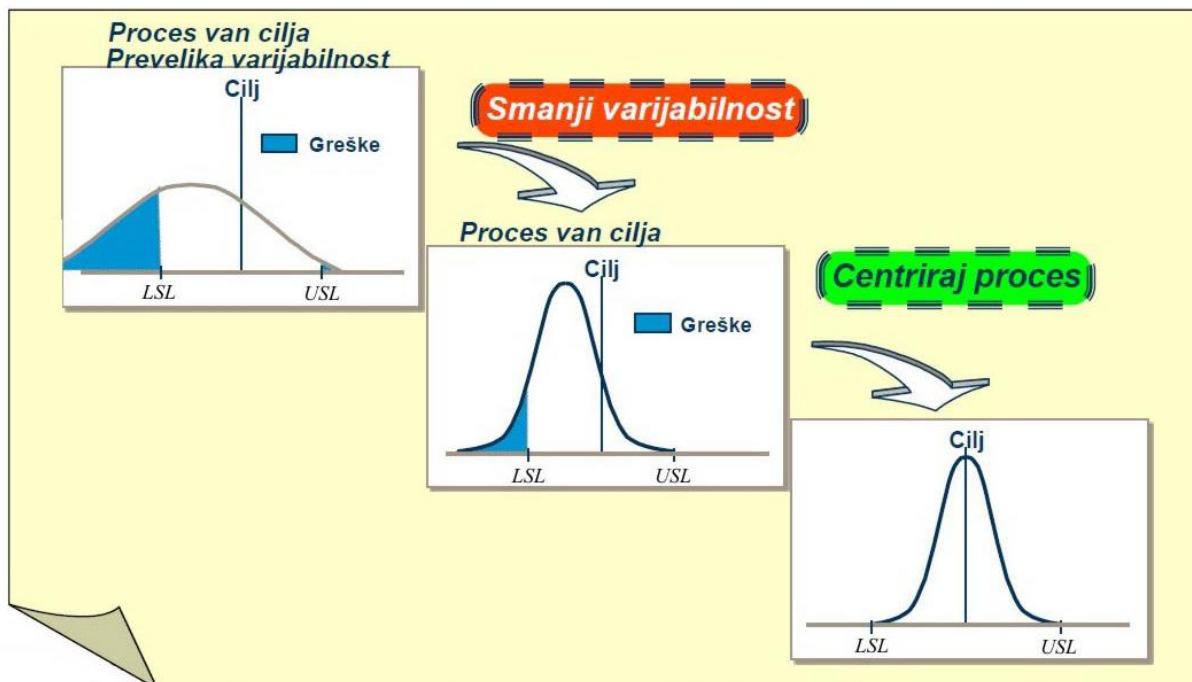
Slika 5.4. Motorolin koncept šest sigma (T = ciljna vrijednost)

Tablica 5.2. 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



Slika 5.3. Postupak provođenja šest sigma

5.1.3.2. ŠEST SIGMA – Metodologija

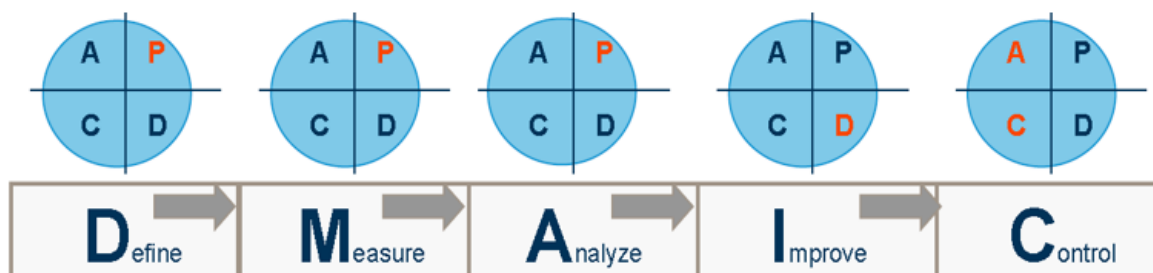
Šest sigma primjenjuje dvije osnovne metodologije potaknute PDCA ciklusom:

- DMAIC metodologiju i
- DMADV metodologiju.

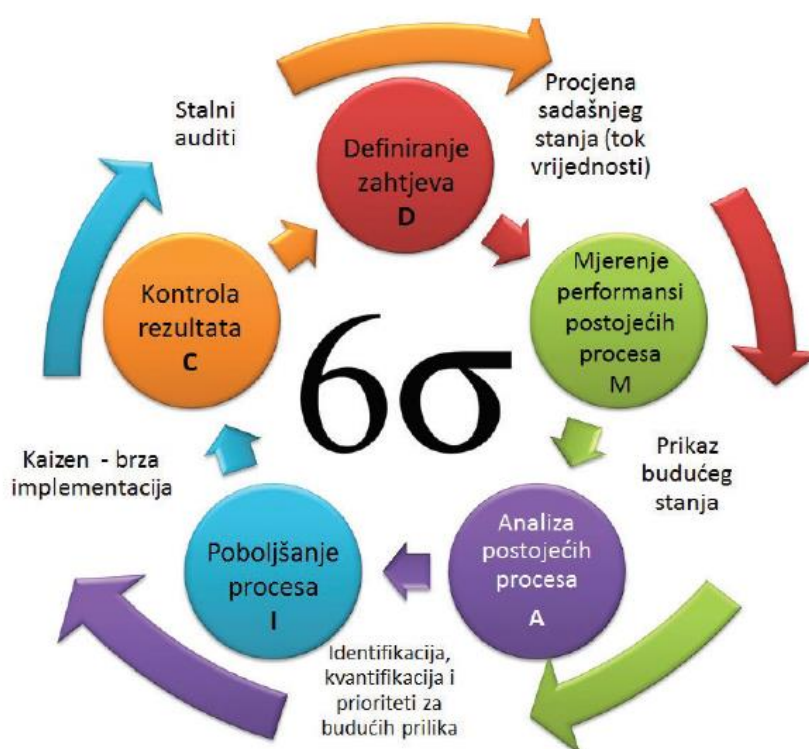
DMAIC metodologija se realizira u pet faza (Slika 5.5., Slika 5.6.):

1. Definiraj (engl. **D**efine)
2. Mjeri (engl. **M**easure)

3. Analiziraj (engl. **Analyze**)
4. Poboljšaj (engl. **Improve**)
5. Kontroliraj (engl. **Control**).



Slika 5.5. DMAIC metodologija i PDCA ciklus



Slika 5.6. 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**).

5.1.3.3. 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:

- 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 5.7. Razine kompetencija u šest sigma metodologiji

5.2. 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.

5.2.1. 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 5.3.). 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 5.8). 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 5.3. 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

List br.: _____

Datum: _____ Tokar: _____

Tokarilica: _____ Napomene: _____

Tip noža: _____

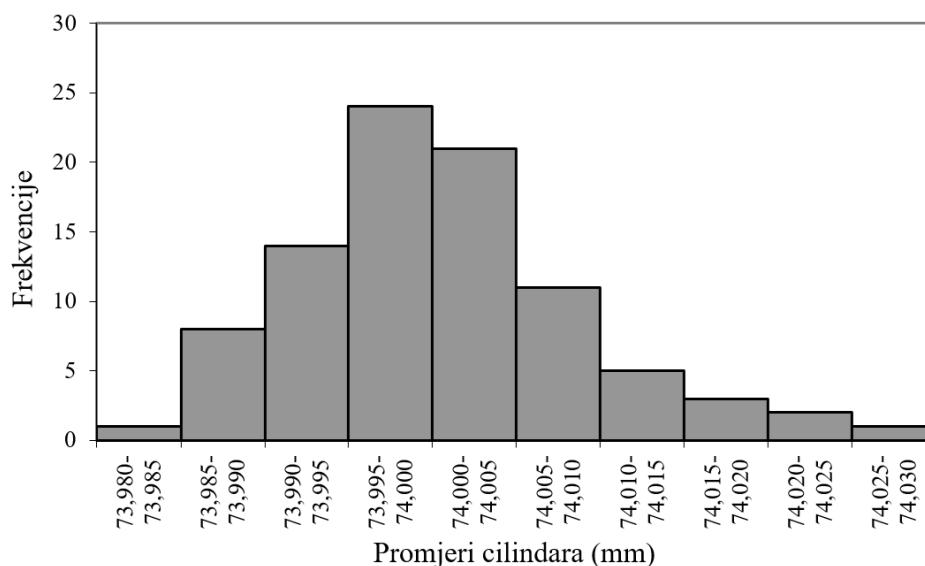
Promjer vratila, mm	Rezultat	Frekvencija
50,02	/	1
50,03	//	2
50,04	###	5
50,05	### ###	10
50,06	### /	6
50,07	///	3
50,08	//	2
50,09	/	1

Slika 5.8. Ispitni list za mjerljive značajke

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

5.2.2. 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 5.9.). 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 5.9. 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:

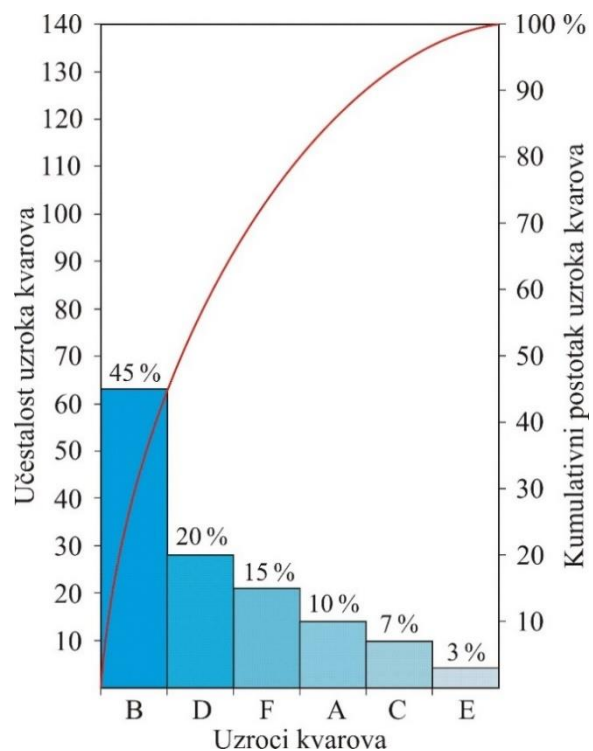
1. Odrediti npr. značajku kvalitete koja će se prikazati histogramom
2. Odrediti vremenski interval za proučavanje
3. Za odabranu značajku prikupiti potrebne brojčane podatke
4. Izračunati raspon, tj. razliku između najvećeg i najmanjeg podatka u skupu
5. Odrediti broj razreda u koji će se grupirati 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.

5.2.3. Pareto-dijagram

Pareto-dijagrama (Slika 5.10.) 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 isporučenih od kooperanata (21)



Slika 5.10. 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?

5.2.4. Dijagram uzroka i posljedice

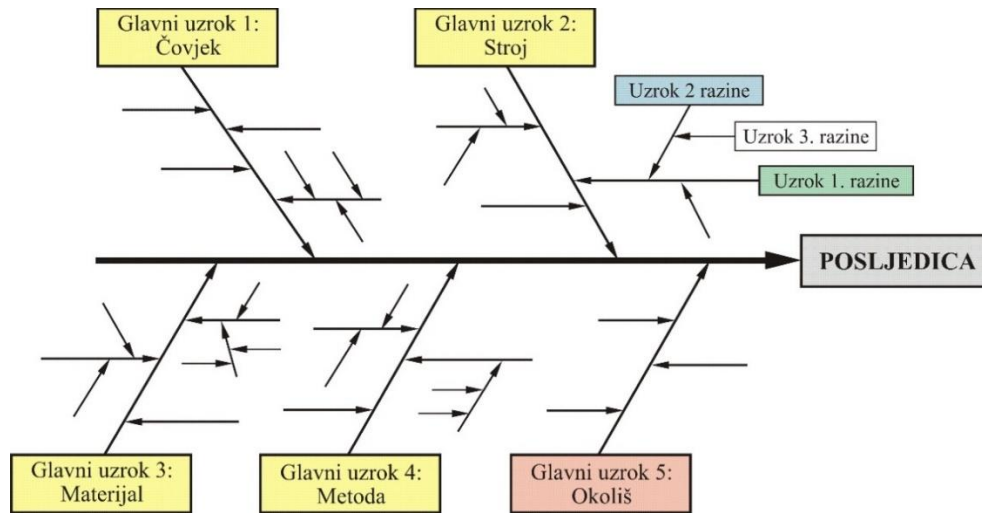
Dijagram uzroka i posljedice naziva se još i Ishikawa dijagram (po autoru K. Ishikawi) ili dijagram „riblja kost” (Slika 5.11.). Dijagram uzroka i posljedice izrađuje tim stručnjaka koji imaju dovoljno saznanja o razmatranom problemu. Članovi tima provode kratke, ali djelotvorne rasprave (*brainstorming*) 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 5.11. 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.

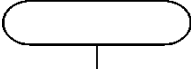

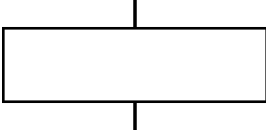
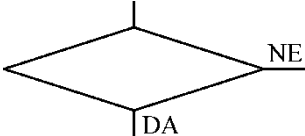



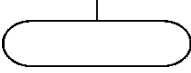
Dijagram uzroka i posljedice često se koristi u kombinaciji s drugim alatima: ispitnim listom ili Pareto-dijagramom. Nakon Pareto-analize prepoznaju se najvažniji problemi koji se mogu početi prvi rješavati. Odabere se najvažniji problem, analiziraju se uzroci njegova nastanka te se konstruira dijagram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

5.2.5. 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.

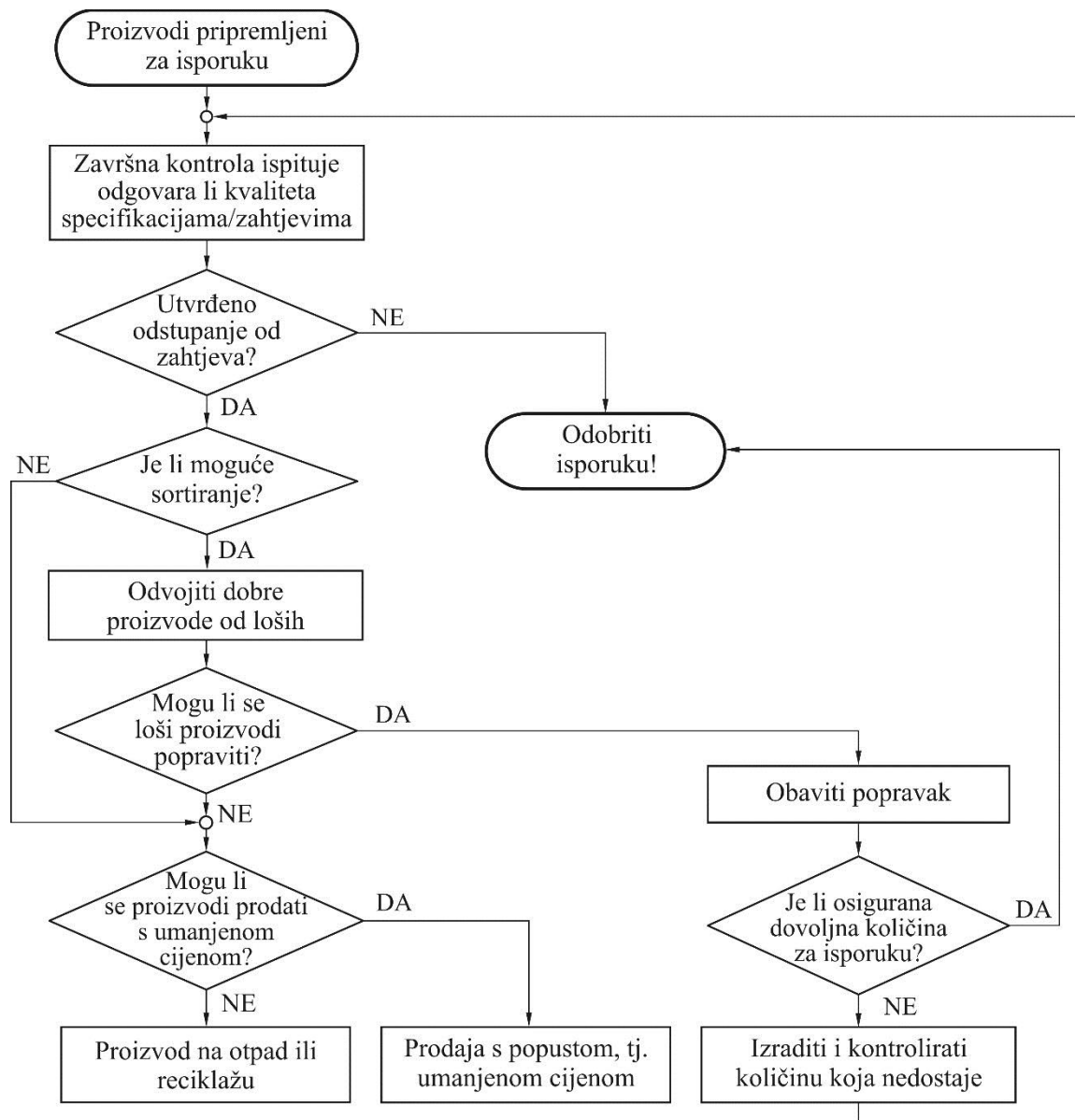
Na Tablica 5.4. prikazani su osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka, a na Slici 5.12. dijagram tijeka završne kontrole kvalitete.

Tablica 5.4. Osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka

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

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.



Slika 5.12. Dijagram tijeka završne kontrole kvalitete

5.2.6. Dijagram rasipanja

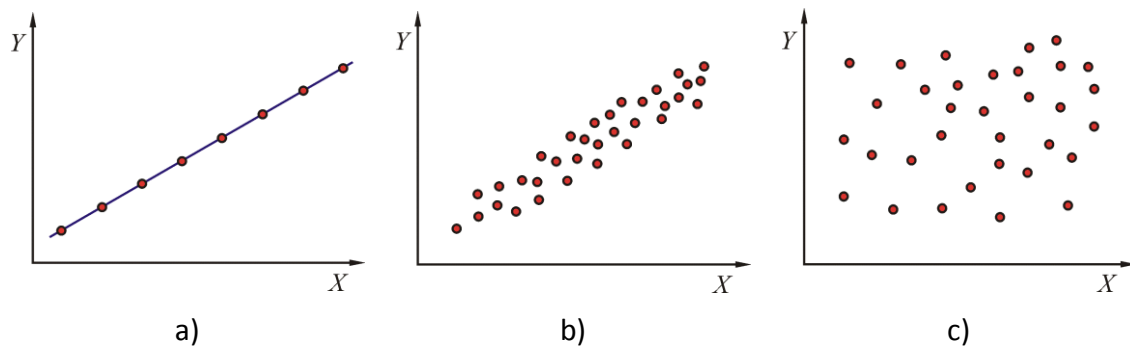
Prikupljene numeričke podatke između dviju pojava, npr. između uzroka i posljedice, moguće je grafički prikazati s pomoću dijagrama rasipanja. Na apscisu dijagrama rasipanja upisuju se podaci o uzročnoj varijabli (X), a na ordinatu podaci o posljedičnoj varijabli (Y). Iz dijagrama se može uočiti smjer (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 5.13.):

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



Slika 5.13. 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*).

5.2.7. 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 praćenju značajke 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*).

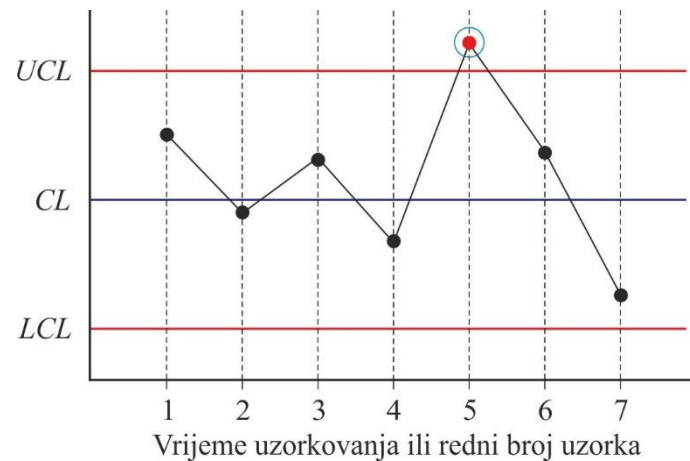
Ordinata se skalira od najmanje do najveće realne vrijednosti značajke kvalitete ili malo iznad gornje kontrolne granice ako postoji sigurnost da će se sve ucrtane točke nalaziti unutar područja omeđenoga kontrolnim granicama.

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.

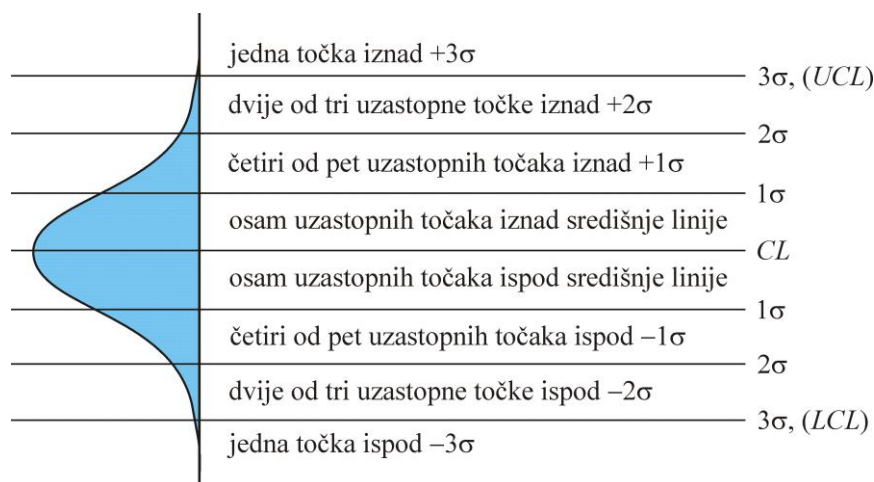
Proces je pod kontrolom ako su njegove prirodne granice unutar dopuštenih granica, tj. ako se sve točke na kontrolnoj karti nalaze unutar statističkih kontrolnih granica (Slika 5.14.). Varijacije u položaju točaka unutar kontrolnih granica znak su da u procesu postoje samo uobičajeni uzroci varijacija. Ako točka padne izvan kontrolnih granica, to je upozorenje da 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 5.14. Kontrolna karta - primjer

U praksi se smatra da je proces izvan kontrole u sljedećim slučajevima¹ (Slika 5.15.):

- 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 5.15. Kontrolne granice i granice upozorenja na kontrolnoj karti²

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,

¹ Prva četiri pravila poznata su kao pravila Western Electrica, a objavljena su u Western Electric Handbook (1956.).

² http://www.micquality.com/six_sigma_glossary/western_electric.htm

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.

5.3. 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:

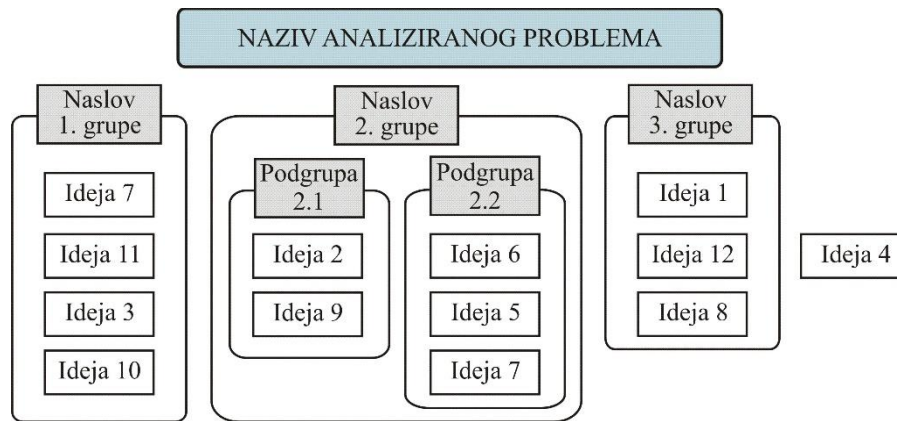
1. **Dijagram srodnosti** (engl. Affinity Diagram)
2. **Dijagram odnosa** (engl. Interrelationship Diagram; Relations Diagram)
3. **Stablo dijagram** (engl. Tree Diagram; Hierarchy Diagram; Tree Analysis)
4. **Matrični dijagram** (engl. Matrix Diagram; Matrix Chart)
5. **Matrica prioriteta** (engl. Prioritization 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 rješavanje 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.

5.3.1. 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 5.16.). 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 5.16. Dijagram srodnosti

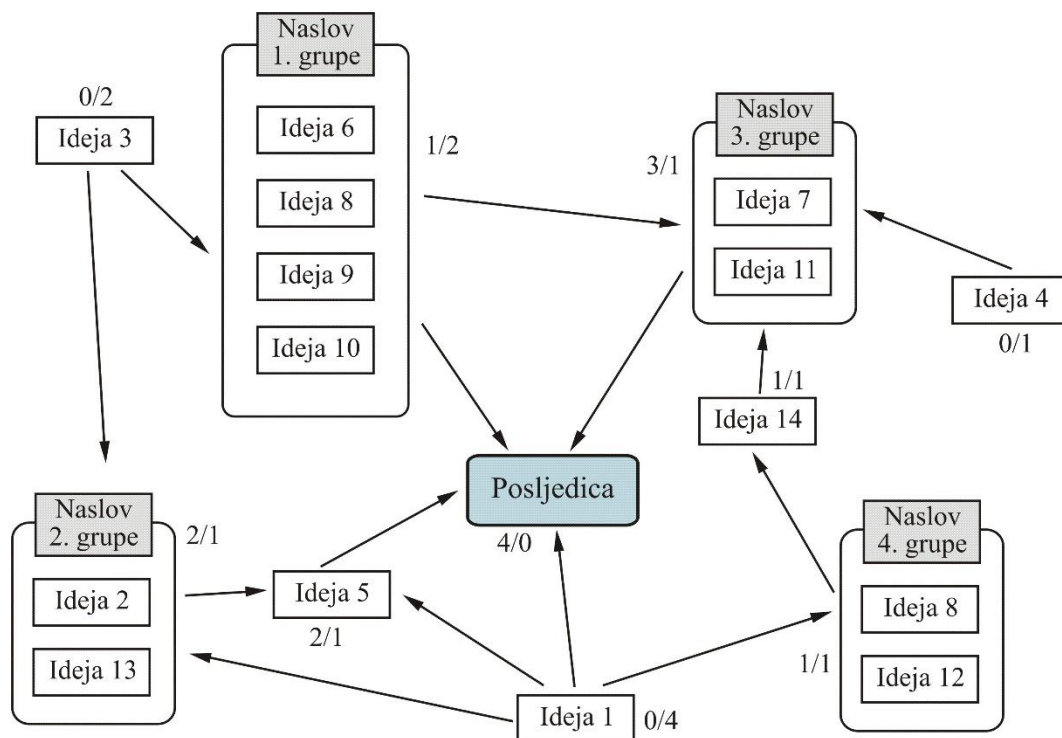
Postupak izrade dijagrama srodnosti može se opisati u sedam koraka:

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 zalijepi 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 započet 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.

5.3.2. 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 5.17.).



Slika 5.17. 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.

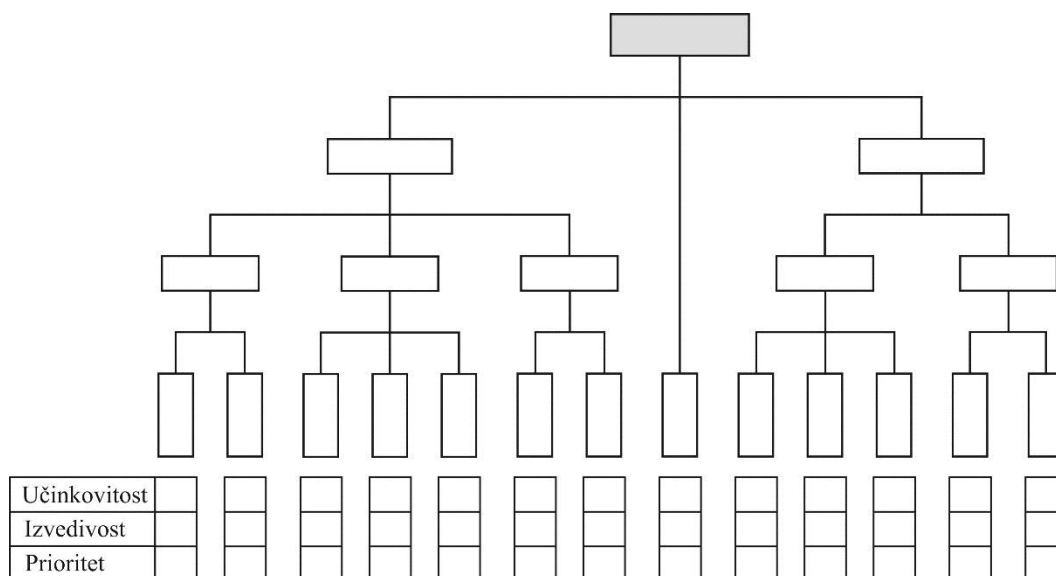
slovom A označi najznačajniji uzrok, slovom B uzrok drugi po značenju, slovom C uzrok koji je treći po značenju.

Nakon prepoznavanja ključnih uzroka planiraju se i provode popravne radnje.

5.3.3. 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 5.18.).

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 posrednu³.



Slika 5.18. 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 izriječom 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

³ Na primjer, lom vitalne komponente koji je uzrokovao prekid rada stroja predstavlja izravnu vezu grane potomka s granom roditelja, dok zamor materijala koji je prouzročio lom te komponente ne predstavlja izravnu vezu s granom roditelja (prekidom rada stroja).

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, ...). 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.

5.3.4. 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 5.19.)⁴.

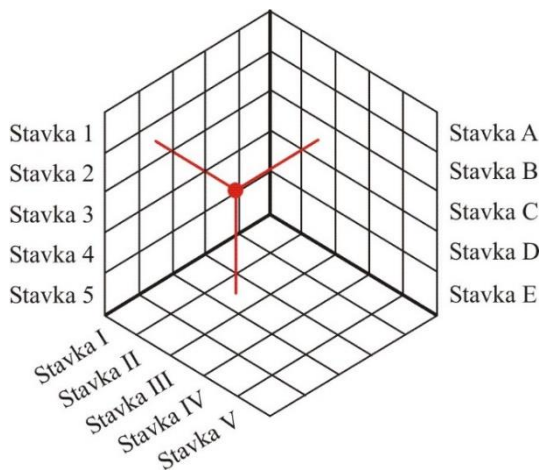
⁴ http://www.syque.com/quality_tools/toolbook/Matrix/how.htm

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

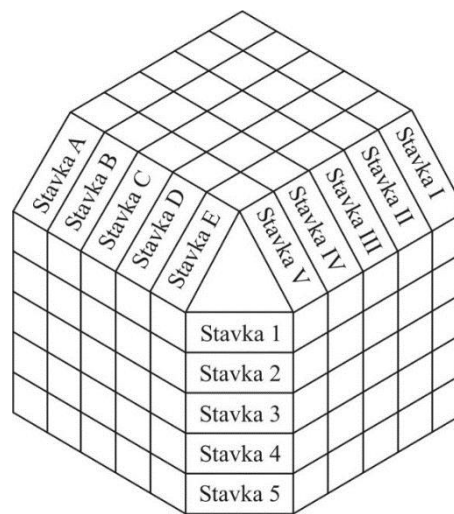
L

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 b	Stavka c		Stavka A	Stavka B
			Stavka 1		
			Stavka 2		
			Stavka 3		

X

Slika 5.19. Oblici matričnih dijagrama (nastavak)

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:

1. **Odaberi grupe podataka (stavke) koji će se uspoređivati.** Mogu se koristiti prethodno izrađeni dijagram srodnosti, stablo dijagram, *brainstorming* i sl.
2. **Odaberi prikladni oblik matričnog dijagrama.**
3. **Nacrtati matricu i upisati stavke.**
4. **Odaberi 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 5.20. Primjer matričnog dijagrama L oblika

5.3.5. Matrica prioriteta

Jedna od uobičajenih odluka koje menadžeri moraju donositi jest rangiranje prema prioritetima rješavanja utvrđenih problema 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 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 5.5.).

Tablica 5.5. 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

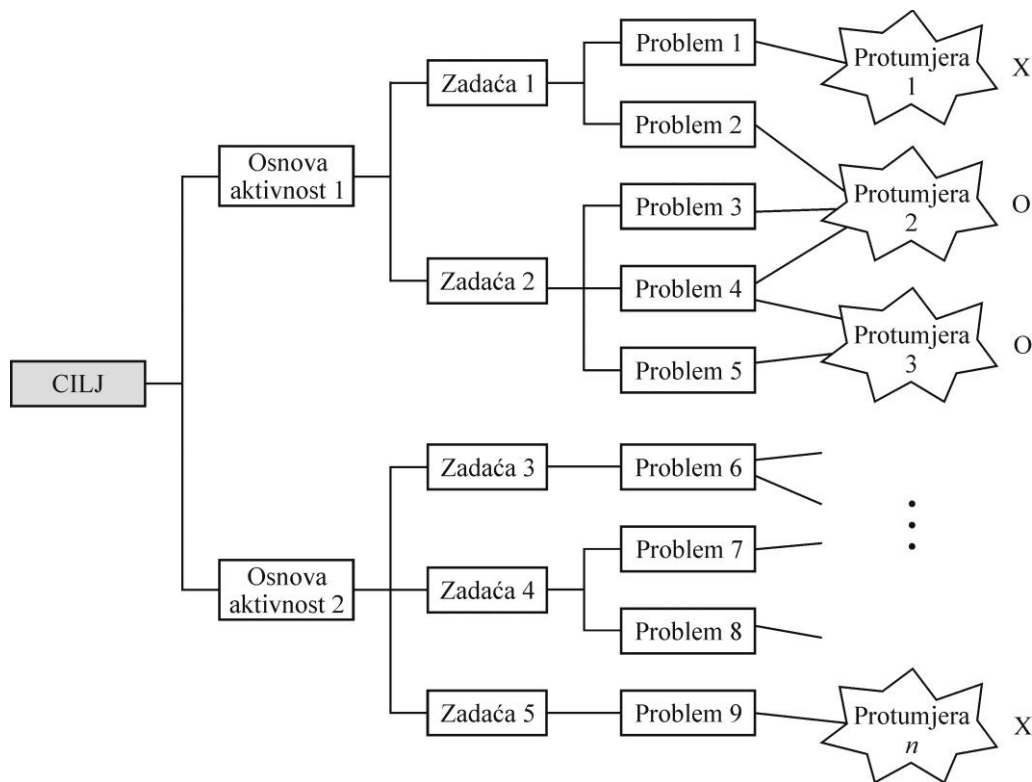
Matrica prioriteta predstavlja vremenski zahtjevan i strog alat odlučivanja. Iznimno je korisna kada su resursi za rješavanje problema (vrijeme, novac ili ljudi) ograničeni.

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. Više o AHP metodi nalazi se u poglavlju 3.3.2.1.

5.3.6. 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 5.21.). 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 izbjegn timermetajući 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 5.21. 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.

5.3.7. 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 trenutačno 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.

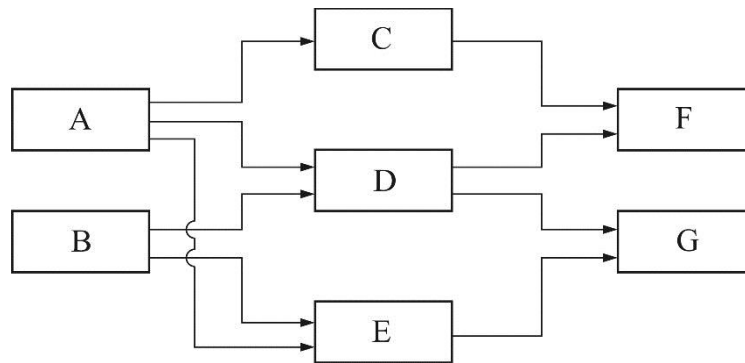
Za crtanje mrežnih dijagrama kod metoda CPM i PERT postoje određena pravila. Osnovni nedostatak metoda CPM i PERT jest prikazivanje *vremenskog preklapanja* aktivnosti.

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 5.22. Slovne oznake A, B, ... označavaju aktivnosti projekta.



Slika 5.22. 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 trajanja 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

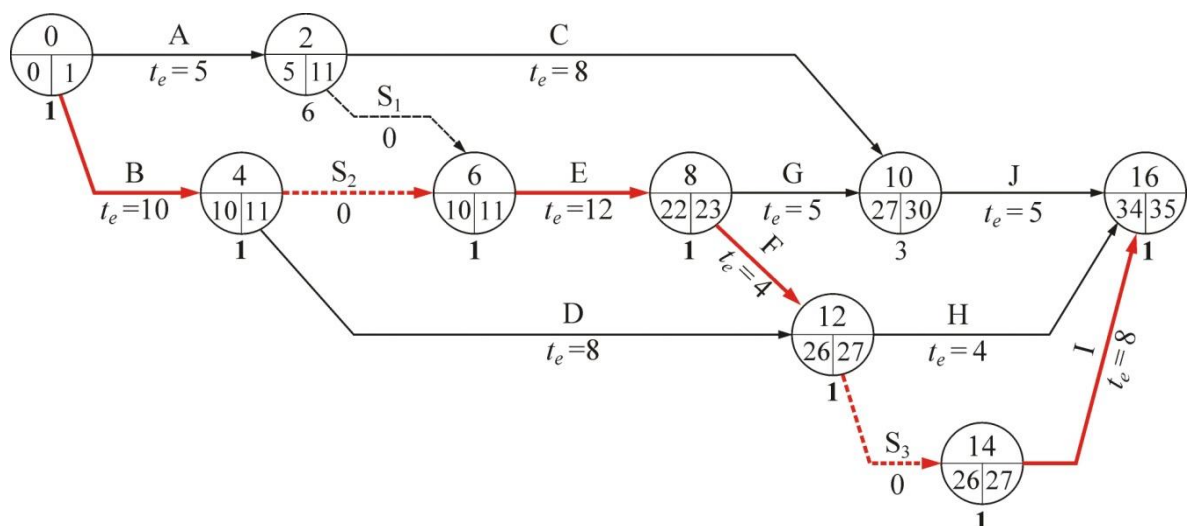
- određivanje logičkog redoslijeda i međusobnih ovisnosti između aktivnosti koje treba obaviti tijekom realizacije projekta (Koje aktivnosti prethode promatranoj aktivnosti? Koje aktivnosti slijede nakon promatrane aktivnosti? Koje se aktivnosti mogu izvoditi neovisno o promatranoj aktivnosti ili istodobno 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 5.23.).



Slika 5.23. 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.

5.4. 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 su prema ISO normama prikazane tablicom, u tablici se nalaze poveznice sa odgovorima tvrtki koje primjenjuju navedena načela u vlastitom upravljanju kvalitetom (Tablica 5.6.).

S obzirom da šest sigma primjenjuje dvije osnovne metodologije potaknute PDCA ciklusom DMAIC i DMADV, ispitane tvrtke navedenu metodologiju smatraju vrlo značajnom te smatraju nužnom pri uvođenju HR-ISE modela, što prikazuje Slika 3.21., gdje na desnoj strani vidljiv proces koji nikada ne završava, već se uvijek preispituju i znaju određeni ciljevi, pritom se određuju prioriteta, 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 dosegnulo 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 sa 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, koja prikazuje alate koje koriste ispitana hrvatska poduzeća, je Total Quality Management (TQM). Hrvatska poduzeća primjenjuju navedeni model upravljanja kvalitetom. Sve više napuštaju tradicionalni pristup i kreću se prema potpunom upravljanju kvalitetom. 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 5.6. 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 PDCA ciklus važan u sustavnom definiranju i upravljanju procesima, također se DMAIC 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 unaprjeđenje čini temelj HR-ISE modela, s čim se slažu i ispitane tvrtke. Podupiru temelje modela koji se odnose na standardizirani rad i kontinuirano unaprjeđenje, gdje se uvijek promatraju potencijalne prilike za unaprjeđenje 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 software-a, primjer na slici 3.32. 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 unutar poduzeća i van. Van poduzeća su među ostalim prisutni odnosi s kupcima. Tvrtke putem anketiranja prikupljaju podatke o zahtjevima kupaca i na temelju njih rade smjernice za unaprjeđenje kvalitete proizvoda. Također ističu komunikaciju kao vrlo važnu među zaposlenicima, kako bi se jasno razumjeli zadaci, rokovi i odgovornosti.

6. Razvoj koncepta za implementaciju ERP i xRM sustava

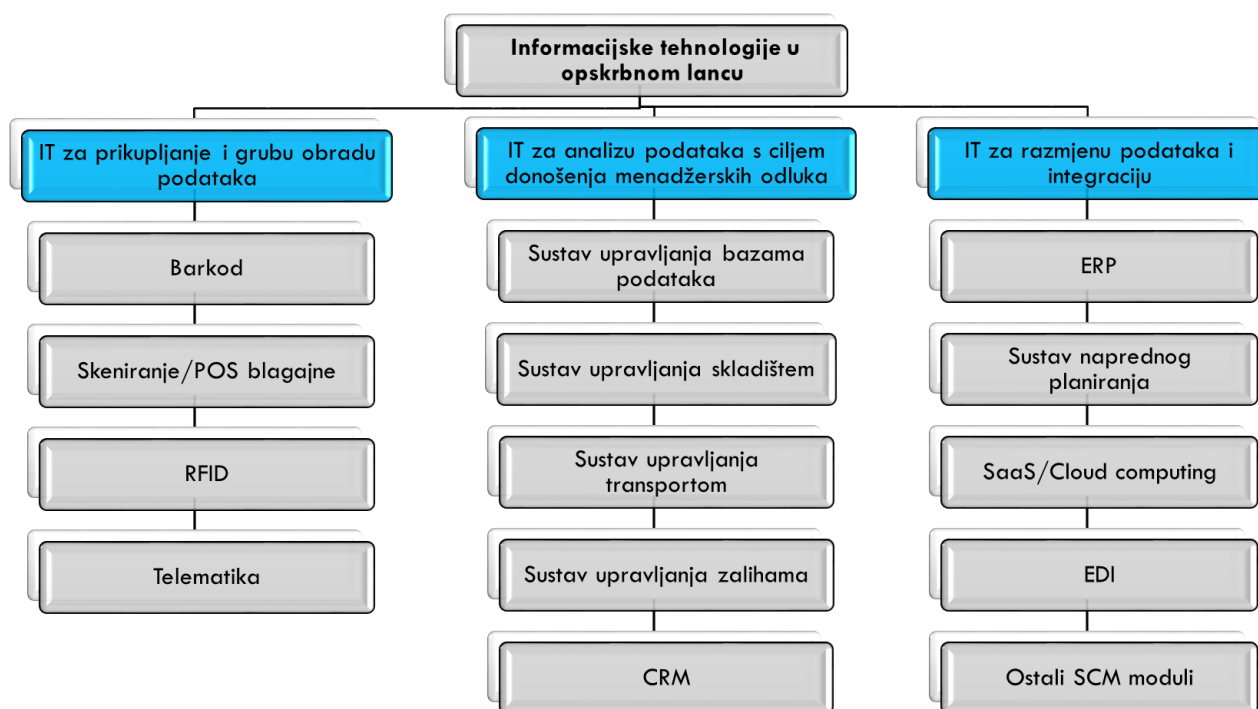
6.1. Uvod

Informacijske tehnologije u opskrbnom 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 opskrbnom lancu, odnosno u upravljanju opskrbnim lancem, mogu se podijeliti na:

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

Na Slici 6.1. navedene su i svrstane u tri skupine osnovne i najčešće tehnologije koje se koriste u opskrbnom lancu. Nikako se ne smatra kako su to i jedine tehnologije u opskrbnom lancu. Suvremene informacijske tehnologije trebale bi biti integrativne informacijske tehnologije, odnosno one bi uz mogućnosti automatizacije i informiranja, morale omogućiti računalnu povezanost koje će u stvarnom vremenu aktivirati mreže ravnopravnih subjekata koje omogućuju ljudima da 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).

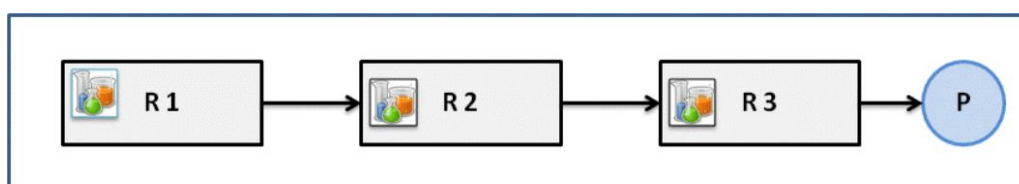


Slika 6.1. Informacijske tehnologije u opskrbnom lancu (Dujak, Šantorić & Tomašević, 2011)

6.2. 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 najnižeg nivoa - proizvodnje. U tvornici se gel za tuširanje proizvodi, stavlja u boce, lijepi oznakama i pakira (Slika 6.2.).

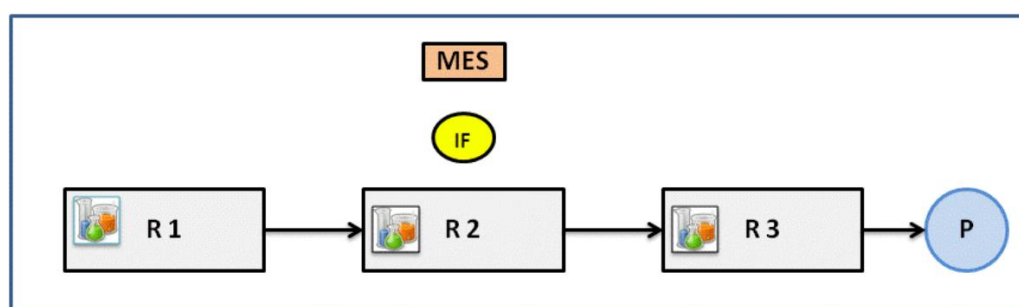
Proces proizvodnje zahtijeva 3 resursa, kontrolne sustave i operatere: prvi od tri resursa se koristi za proizvodnju tekućine koja je osnova za gel za tuširanje. Dio količine navedene tekućine se pumpa od ovog resursa prema drugom. Tu se događa dodavanje boje i mirisa, da bi se stvorila željena varijanta 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 6.2. Proizvodna linija

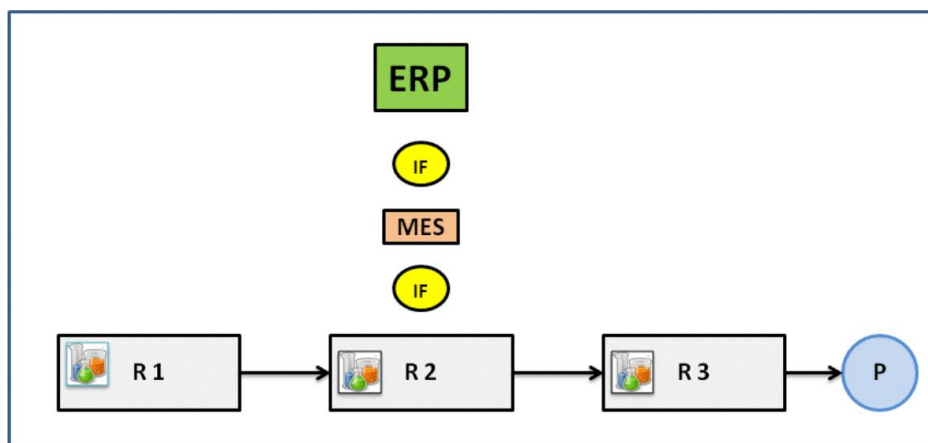
Za fino ugađanje proizvodnih procesa tvornica koristi sustav upravljanja proizvodnjom, koji se naziva sustav izvršenja proizvodnje (Manufacturing Execution System - MES). MES sustav ima sučelje koje omogućuje razmjenu informacija s proizvodnim resursima. Kontrola proizvodnje je jedan sloj iznad sloja izrade (Slika 6.3.).

Poslovni procesi u većini poduzeća su kontrolirani uz pomoć ERP sustava. ERP je kratica za planiranje poslovnih resursa (enterprise resource planning) i ista se kratica koristi se potrebni softver. U pojedinim resursima, osoblje i kapital se koriste kao resursi. ERP sustav ima aplikacije i programe za obavljanje raznih poslovnih procesa. Tvrtka koristi "on premise" instalaciju ERP sustava. Razina ERP procesa nalazi jedan nivo iznad razine kontrole proizvodnje.



Slika 6.3. 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 6.4.).



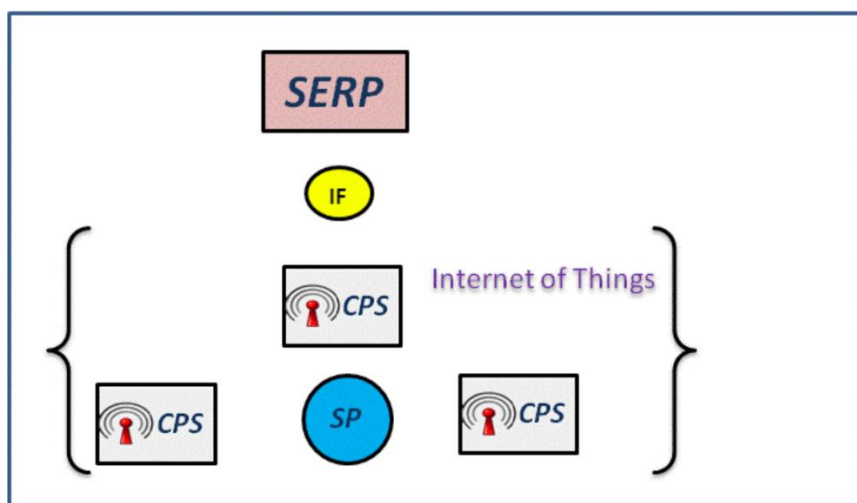
Slika 6.4. Sloj ERP sustava kontrole proizvodnje proizvodne linije

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.

6.2.2 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 6.5.). Pomoću njihovih senzora detektiraju da li je potrebno održavanje.



Slika 6.5. Elementi pametne tvornice

Bivša proizvodna linija s fiksnim rasporedom proizvodnih resursa je zamijenjena s mrežom CPS resursa: ova CPS mreža brzo reagirati na “uska grla” zbog fleksibilnosti CPS-a. Ukoliko jedan CPS otkáže, drugi CPS iz mreže će preuzeti njegove zadatke. Ova samo-dovoljna CPS

jedinica dopušta prebacivanje zadataka koji su obrađeni na nivou kontrole proizvodnje na nivo 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. Povezan je s CPS-om pa se može brzo i precizno kretati kroz korake proizvodnog procesa.

Razmjena podataka između pametnih proizvoda i proizvođača je moguć čak nakon napuštanja proizvodnog pogona. Razmijenjeni podaci omogućuju zaključke o distribuciji i korištenju proizvoda. Za razliku od gela za tuširanje iz našeg primjera (koji nije toliko pametan), auta ili traktori su već sposobni za prediktivno održavanje: uz pomoć senzora proizvod detektira ukoliko će se dogoditi neka greška. U ovom slučaju, proizvod aktivira odgovarajuće servis ili aktivnost održavanja direktno kod 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 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 nivoa proizvodnje. Postojeći ERP sustav se pretvara u pametni ERP sustav (SERP – smart ERP) koji je sposoban biti podrška pametnoj tvornici (Dittes, 2015).

6.3. Koncept implementacije ERP/xRM sustava

Implementacija informacijskog sustava u poduzeće predstavlja veoma značajan projekt za poduzeće. 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 vrši uvođenje novog IS sa aspekta
 - 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.

6.3.1 Koncept uvođenja informacijskog sustava

Implementacija informacijskog sustava se vrši 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 sa jedne strane prilagoditi funkcionalnosti softverskog paketa i njegovim modulima. Sa 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 sa 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 vrši se uređivanje tj. podešavanje parametara informacijskog sustava. U posljednjoj petoj fazi, možda i najvažnijoj fazi, vrši se implementacija softvera kao i sistemsko i organizacijsko dokumentiranje. U fazi implementacije je neophodno obratiti pažnju na redoslijed realizacije pojedinih koraka sa 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 po pitanju statistike, izvješća i drugih veličina koje nastaju kao rezultat rada sa softverskim paketom. Standardni port ARIS-Toolseta nam omogućuje prenošenje koncepta razvijenog ovim alatom u MS-Project čime se omogućuje formiranje projektnog plana sa 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, KAZIEN, Six Sigma). U ovom dijelu implementacije informacijskog sustava je veliki angažman djelatnika poduzeća uz minimalnu angažiranost konzultanata odnosno programera. Kroz drugi korak implementacije informacijskog sustava i jednovremenu primjenu metoda za poboljšanje poslovnih procesa događa se više efekata. 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. Implementacijom metoda za poboljšanje poslovnih procesa će biti angažirani svi djelatnici na poboljšanju poslovnih procesa, a ta

poboljšanja će se integrirati u informacijski sustav koji će donijeti dodatnu kvalitetu i brzinu unutar poslovnih procesa (Stojkić, 2008).

6.3.2. Zahtjevi Industrije 4.0 u razvoju ERP sustava

Kako bi se pripremili za Industriju 4.0, proizvođači ERP-a se udaljavaju od prethodno izgrađenih sučelja i formula kako bi razvili visoko povezane sustave koji provode operacije na razini proizvodnih linija, a pružajući donosiocima odluka 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 sirovina do gotovih proizvoda.

Ako uzmemo za primjer proizvođače automobila, svaki će automobil imati RFID čip za proizvodni proces. On će sadržavati sve informacije o proizvodu od boje tijela 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 boje tijelo u naručenoj nijansi koju zahtijeva kupac. Kada se dovrši, akcija će biti registrirana na RFID čipu i automobil će se prebaciti na sljedeću radnu stanicu. Ovaj proces omogućava zadovoljavanje individualnih zahtjeva klijenata, uz održavanje učinkovitosti očekivane od 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 kvarove dobavljača.

Bitno je da proizvođači trebaju odgovoriti na to hoće li njihov postojeći ERP okruženje podržati tu razinu integracije s MES-om kada započnu put prema Industriji 4.0. Ispod se nalazi pet pitanja koja bi svaki proizvođač trebao postaviti o svom ERP sustavu kako bi se 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, tijekovima 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 za integriranje svoje

proizvodne 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 trebao bi zadovoljiti tri ključna kriterija. Prvo, on bi trebao 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 treba omogućiti centralno upravljanje glavnim podacima. Treće, on bi trebao 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 shop floora do najvišeg nivoa. U sklopu ove fleksibilne komunikacije, user-friendly pristup informacijama ERP-a putem tableta i pametnih telefona postaje sve važniji za proizvođače. 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 klijentima da postanu dio poslovnog procesa. Ugrađeni u ERP sustav, informacije iz tih neformalnih rasprava pohranjuju se centralno 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 benefiti inteligentne proizvodnje dotiču sva relevantna područja tvrtke. U svijetu Industrije 4.0, sofisticirani alati za analizu, primjerice, pomažu u provjeravanju planiranja, izvršavanja i evaluacije novih poslovnih modela; testiraju što će raditi, omogućujući menadžerima donošenje odluka baziranih 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 boljoj poziciji da zadovolje brze i povezane zahtjeve Industrije 4.0. Naravno, ograničenja između proizvodnje i upravljanja moraju nestati, a ERP i MES sustavi moraju činiti integriranu cjelinu ako tvrtke žele razumjeti

mogućnosti rasta koje predstavlja ovo novo doba inteligentne proizvodnje. Kritički pogledati postojeće IT okruženje u vašem poslovanju prvi je korak ka razumijevanju koliko ste spremni ili nepripremljeni za Industriju 4.0 (<https://www.linkedin.com/pulse/your-erp-system-industry-40-compatible-excelanto-technologies>).

6.4. 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.

6.4.1. 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).

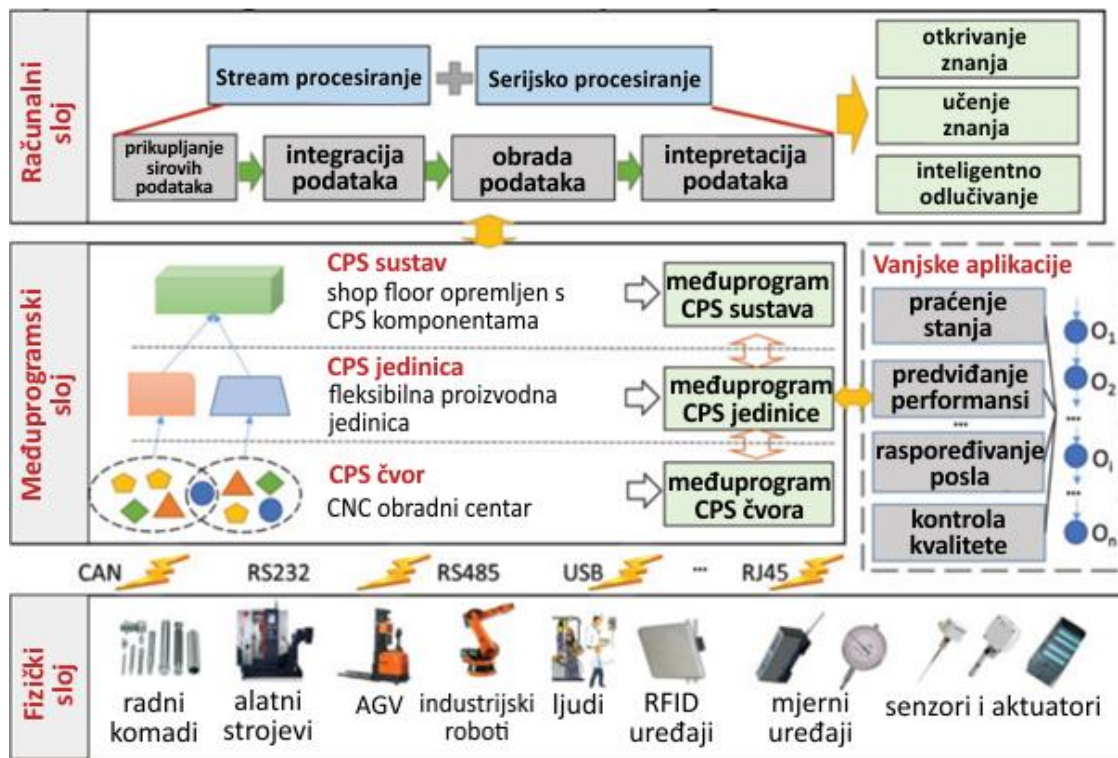
- **CPS arhitektura za inteligentnu proizvodnju**

Slika 3.6. prikazuje CPS arhitekture u shop flooru 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, razni signali kao što su vibracije, tlak, temperatura mogu biti očitani.

Dakle, prvi korak implementacije CPS u shop flooru je ugradnja komponenti poput senzora, RFID uređaja i mjernih uređaja na proizvodnim resursima i distribuirati ih 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 i mjerni uređaji); 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).



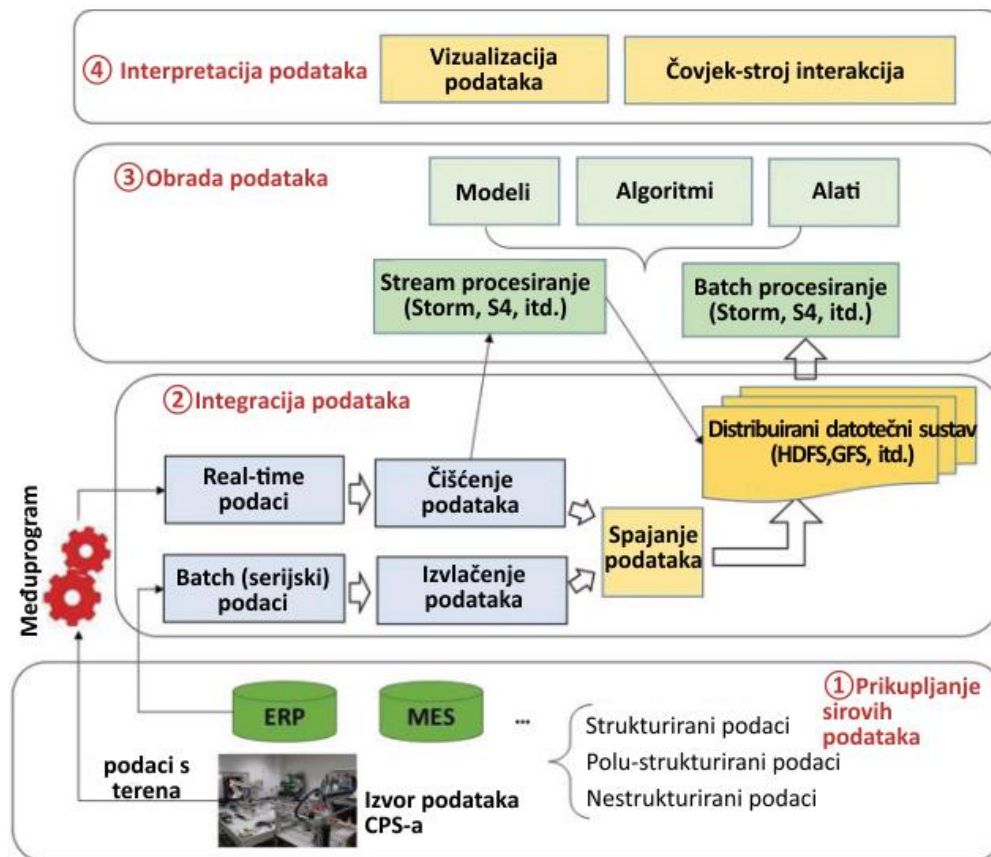
Slika 6.6. CPS arhitektura za inteligentnu proizvodnju (Liu & Jiang, 2016)

- **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) kontrolorima za kontrolu (Slika 6.7.).

- **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.



Slika 6.7. Razvoj općenitog međuprograma (Liu & Jiang, 2016)

• 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 et al., 2015). Količina podataka je velika, ali kvaliteta je niska i podaci su heterogeni. Osim toga, proizvodni proces zahtijeva velike brzine i odgovore u stvarnom vremenu na promjene (npr. kvar stroja i slično) u proizvodnom okruženju. Okvir analize industrijskih Big Data za proizvodni proces predlaže da se otkriju potencijalno korisni uzorci i izraze skriveni podaci. Okvir se sastoji od četiri koraka, kako je prikazano na Slici 6.7. (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 6.5, 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 (HDFS) i Google File System (GFS) za obradu podataka.

Obrada podataka

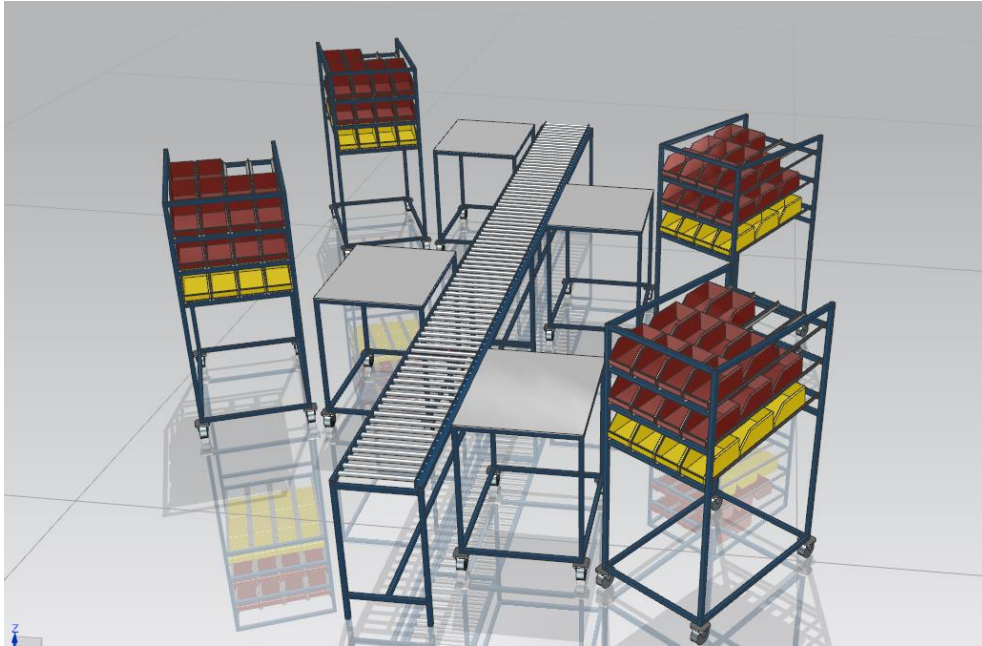
Postoje dvije vrste obrade Big data, strujna (stream) i serijska (batch). Strujna obrada se koristi za obradu podataka u stvarnom vremenu s mjesta proizvodnje; tipična primjena je praćenje stanja strojeva. Serijsko procesiranje obrađuje velike količine podataka iz prošlosti, čime skriveno znanje može biti otkriveno. Tipična primjena serijske obrade je rudarenje „Pravila raspoređivanja“. S druge strane, specifičnih modeli, algoritmi i alati se razmatraju u ovom koraku. 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, mnogi open-source alati, kao što su Storm, Spark i Hadoop dostupni su na internetu za podršku analizi industrijskih Big data.

Interpretacija podataka

Kako bi se rezultati jasno i učinkovito prenijeli krajnjim korisnicima (operaterima, menadžerima i slično), 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.

6.4.2. Inteligentni montažni sustav i opis problema

U Laboratorija industrijsko inženjerstvo na FESB-u se nalaze 4 samoposluge sa po 3 police, a na svakoj polici se može naći maksimalno 12 kutija sa 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 6.8 prikazuje raspored samoposluga u laboratoriju. Pored svake samoposluge, nalazi se po jedan montažni stol gdje se vrši montaža dijelova mjenjačke kutije automobila (Stojkić, Gjeldum & Bošnjak, 2017).



Slika 6.8. 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 vrši montaža dijelova (Slike 6.9. i 6.10.).



Slika 6.9. 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 6.1.).



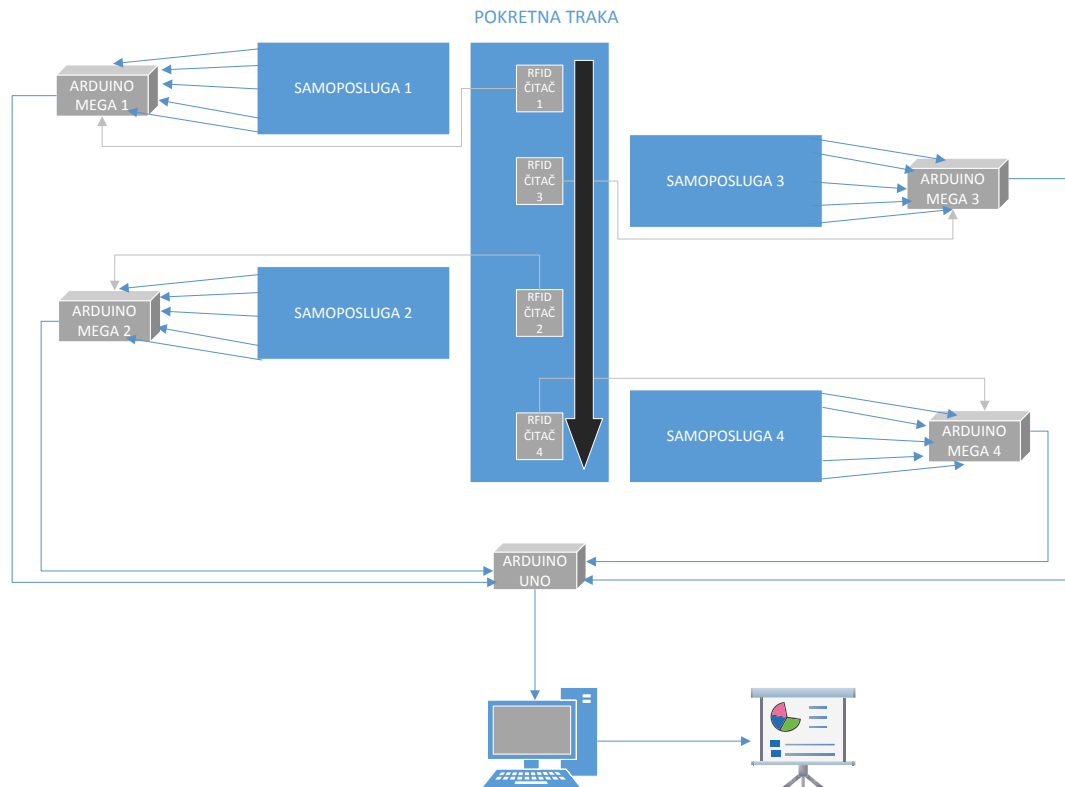
Slika 6.10. Prikaz stola za montažu dijelova na montažnom stolu

Tablica 6.1.– Prikaz rasporeda kutija po polici/samoposluzi

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

6.4.3. 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 direktno komunicirao s računalom. Na pokretnoj traci će biti instalirana 4 RFID čitača koji će očitavati položaj mjenjačke kutije u funkciji vremena. Slika 3.11. prikazuje shematski izgled inteligentnog montažnog sustava sa svim elementima.



Slika 6.11. Shema inteligentnog montažnog sustava

6.5. Zaključak

Na osnovu rezultata iz prvog perioda izvještavanja, jasno je da hrvatska poduzeća 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 ER/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 nivoima (ERP, MES, shop floor) predstavlja jedan od većih problema i izazova s kojima se susreću naša poduzeća. 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 je dat osvrt na utjecaj koncepta Industrije 4.0 na buduće pravce razvoja ERP/ xRM sustava.

7. Zaključak

Projekt HRZZ-1353 Inovativno poduzeće sadrži četiri radna paketa.

Cilj Radnog paketa 1 bio je dati analizu postojećeg stanja hrvatskih industrijskih poduzeća. Na temelju odgovora na upitnik koji je dobiven od 161 hrvatskih industrijskih poduzeća, te posjetima i razgovorima s managementom u 28 poduzeća 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 "2. Seminar o pametnoj proizvodnji". 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 unaprjeđenje 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 process (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 (Total Quality Management) 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 ER/xRM sustava u poduzećima i stanja tehnologije u području ERP/ xRM sustava.

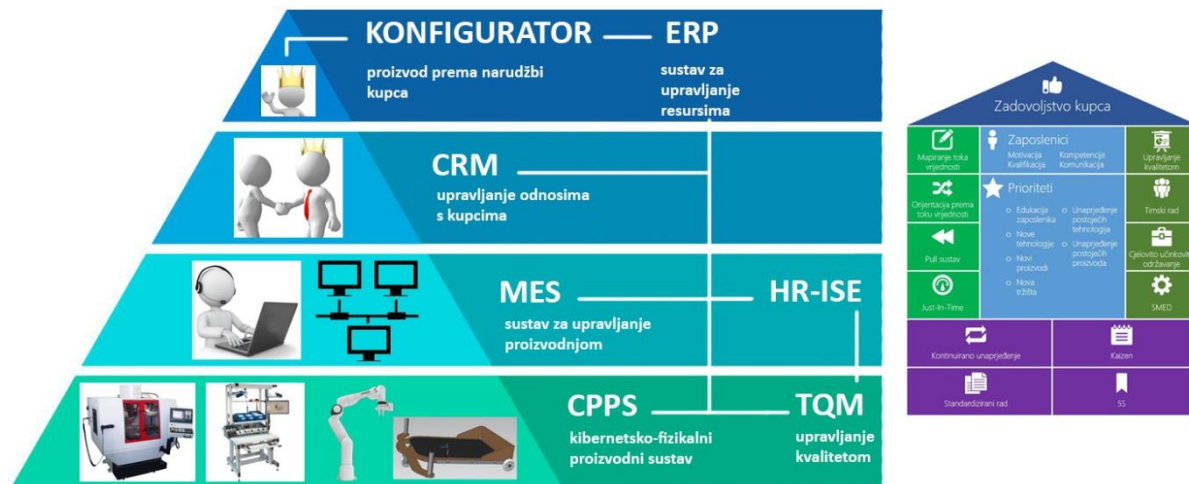
S obzirom na gore navedene rezultate istraživanja definiran je model Inovativnog pametnog poduzeća, koji je prikazan na Slici 7.1.

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 i dr., 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 (*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 7.1. 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 planiran je završetak dvaju 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 konvencionalonu (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.

Posjetama poduzećima Hrvatske (od Dubrovnika do Slavonskog Broda) i Bosne i Hercegovine (od Posušja do Jajca) članovi istraživačkog tima upoznali su odgovorne (CEO i managere) 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. Potencijalna poduzeća za uvođenje HR-ISE modela su: Oprema d.d. iz Ludbrega, Končar Siemens energetske transformatori d.d. iz Zagreba, Klimaoprema d.d. iz Samobora i HSTec d.d. Zadra.

U narednih 12 mjeseci u planu je 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.

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, 2013

Alan Dennis, Barbara Haley Wixom, and Roberta Roth. 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. et al. (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 and Richard Turner. 2003. *Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.

Čelar, Stipe; Turić, Mili; Dragičević, Srdjana; Veža, Ivica. *Digital Learning Factory at FESB – University of Split // ZBORNIK RADOVA YU INFO 2016/ Prof. dr. Miodrag Ivković (ur.)*. Beograd : Društvo za informacione sisteme i računarske mreže, 2016. 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, 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

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, September 2012, str..293-300, ISSN (Online): 1694-0814

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

L. Monostori et al., *Cyber-physical systems in manufacturing*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 65 (2016) 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, USA.

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. et al. (2016), *Cyber-physical systems in manufacturing*, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65, str. 621–641
- Morlock, F.; Wienbruch, T.; Leineweber, S.; Kreimeier, D. & Kuhlenkötter, B. (2016), *Industrie 4.0-Transformation für produzierende Unternehmen*. *ZWF*, 111, 5, str. 1-4.
- 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, september/october 2012, 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, 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

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.

Kazala slika i tablica

Kazalo slika

Slika 1.1. Industrijske revolucije kroz vrijeme (Acatech, 2013).....	1
Slika 1.2. Koncept pametne tvornice (Acatech, 2013).....	1
Slika 1.3. Inicijative diljem svijeta ubrzavaju četvrtu industrijsku revoluciju (Brahmawar, 2016).....	2
Slika 1.4. Strategije industrijskog razvoja u zemljama Europe (Oettinger, Bieńkowska & Moedas, 2016).....	3
Slika 1.5. Kretanje zemalja prema Industriji 4.0 (Berger Roland, 2014).....	3
Slika 1.6. Pitanje kojim se bavi projekt INSENT (Veža i dr., 2015).....	4
Slika 2.1. Promjene proizvodnih paradigmi kroz povijest.....	6
Slika 2.2. Vizualni prikaz analize web reprezentativnosti proizvodnih poduzeća s istaknuta 4 poduzeća koja imaju web konfigurator proizvoda.....	8
Slika 2.3. Primjer Web konfiguratora izgleda proizvoda.....	9
Slika 2.4. Primjer Web konfiguratora svojstava proizvoda.....	10
Slika 2.5. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod 'karet'.....	11
Slika 2.6. Primjer odabira konfiguracije proizvoda za proizvod 'karet'.....	11
Slika 2.7. Unos preferencija određenih svojstava proizvoda kao ulaza web servisa za odabir optimalne konfiguracije proizvoda.....	14
Slika 2.8. Primjer dekodiranja rezultata (varijanti proizvoda) web servisa za konfiguriranje proizvoda.....	14
Slika 2.9. Prototip web aplikacije 'Konfigurator proizvoda'.....	15
Slika 2.10. Odabir proizvoda i količine narudžbe.....	15
Slika 2.11. Definiranje preferencija kupca.....	16
Slika 2.12. Odabir proizvoda i količine narudžbe.....	16
Slika 2.13. Administracijsko sučelje aplikacije.....	18
Slika 2.14. Izgled aplikacije na desktop računalu / tabletu i na mobitelu.....	18
Slika 2.15. Pregled nesukladnosti prema prioritetima.....	19
Slika 3.1. Prikaz metodologije istraživanja (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016).....	20
Slika 3.2. Razina industrijske zrelosti za određene segmente proizvodnje i cjelokupne industrije u Hrvatskoj (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016).....	21
Slika 3.3. Primjer pitanja određivanja industrijske zrelosti poduzeća (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016).....	21
Slika 3.4. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 1,7.....	22
Slika 3.5. Poduzeće sa stupnjem zrelosti 3,4.....	22
Slika 3.6. Najveći tehnološki skok sa 2. na 3. industrijsku revoluciju (McKinsey, 2015).....	23
Slika 3.7. Rezultati istraživanja i buduća kretanja.....	23
Slika 3.8. Primjeri hrvatskih poduzeća u odnosu na veličinu i vrstu proizvodnje.....	24
Slika 3.9. Hipoteza o postojanju pružatelja i korisnika Industrije 4.0 (I4.0).....	25
Slika 3.10. Kretanje prema Industriji 3.0 i Industriji 4.0.....	25
Slika 3.11. Kretanje korisnika i opskrbljivača.....	26

Slika 3.12. Budući različiti pristupi prema veličini poduzeća.....	26
Slika 3.13. Volvo model proizvodnog sustava	27
Slika 3.14. Porsche model proizvodnog sustava	28
Slika 3.15. Lego model proizvodnog sustava.....	28
Slika 3.16. MAN model proizvodnog sustava	29
Slika 3.17. Mercedes model proizvodnog sustava	29
Slika 3.18. Bosch model proizvodnog sustava.....	30
Slika 3.19. XPS – proizvodni sustav za poduzeće „X“ (Netland, 2013)	32
Slika 3.20. Usporedba važnosti odabranih Lean alata za hrvatska i globalna poduzeća (Veža, Mladineo & Gjeldum, 2016)	35
Slika 3.21. Generički model HR-ISE kuće s osnovnim Lean alatima definiran kroz istraživanja literature i koraci za detaljnu definiciju modela	35
Slika 3.22. Faze istraživanja za kreiranje HR-ISE modela.....	36
Slika 3.23. Istraživanjem je obuhvaćeno 37 hrvatskih poduzeća	36
Slika 3.24. Različite djelatnosti poduzeća obuhvaćenih istraživanjem.....	37
Slika 3.25. Broj zaposlenih u poduzećima obuhvaćenim istraživanjem	37
Slika 3.26. HR-ISE model	44
Slika 3.30. Razmatranje poduzeća kroz osoblje, organizaciju i tehniku	47
Slika 3.31. Implementacija osnovnih elemenata u Kibernetičko-fizičkom proizvodnom sustavu	47
Slika 3.32. Kretanje prema Industriji 4.0	48
.....	49
Slika 3.33. Primjer automatizacije Lean alata u kontekstu Industrije 4.0 (Kolberg & Zühlke, 2015).....	49
.....	49
Slika 3.34. HR-ISE model kao skup računalnih aplikacija različite namjene povezanih s jedinstvenim informacijskim sustavom	49
.....	50
Slika 3.35. Primjer Web aplikacije za Kaizen kao dio informacijskog sustava poduzeća u kontekstu HR-ISE modela	50
Slika 3.36. Hijerarhijski prikaz modela odlučivanja	51
Slika 3.37. Osnovni AHP model s ciljevima, kriterijima i alternativama	52
Slika 3.38. Težine glavne grupe kriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017)	56
Slika 3.39. Hijerarhijski prikaz težina kriterija i podkriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017) ..	58
Slika 3.40. Konačne težine podkriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017)	58
Slika 4.1. Internet of Things i Internet of Services (Kagerman et al, 2013).....	62
Slika 4.2. Internet of Things and Services – umrežavanje ljudi, objekata i sustava (Kagerman et al, 2013).....	63
Slika 4.3. Horizontalni lanci vrijednosti (Kagerman et al, 2013)	64
Slika 4.4. Vertikalna integracija IT sustava, od senzora i aktuatora do ERP sustava (Google). 65	
Slika 4.5. Povezanost CS, ICT i proizvodnih sustava (Monostori et al, 2016).....	66

Slika 4.6. Temeljni i potporni procesi proizvodnih tvrtki	67
Slika 4.7. Uobičajeno stanje informatizacije procesâ u proizvodnim tvrtkama	69
Slika 4.8. Paradoks opsega prilagodbe softvera potrebama poslovanja	70
Slika 4.9. Kompatibilnost tehnologija i poslovnih segmenata	72
Slika 4.19 Najvažniji koncepti za praćenje proizvodnje (ugrađeni u podsustav HRM)	85
Slika 4.20 Arhitektura podsustava 'Proizvodnja' u VENIO sustavu	86
Slika 4.21 Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza materijala (LLF1 material)	87
Slika 4.22 Dokumenti za praćenje ulaza i izlaza gotovih proizvoda (LLF1 products)	88
Slika 4.23 Definicija uređaja u podsustavu 'Senzorski centar'	89
Slika 5.1. PDCA ciklus	90
Slika 5.2. Sustav upravljanja kvalitetom	93
Slika 5.4. Motorolin koncept šest sigma (T = ciljna vrijednost)	98
Slika 5.3. Postupak provođenja šest sigma	99
Slika 5.5. DMAIC metodologija i PDCA ciklus	100
Slika 5.6. Koraci pri provođenju DMAIC	100
Slika 5.7. Razine kompetencija u šest sigma metodologiji	101
Slika 5.8. Ispitni list za mjerljive značajke	103
Slika 5.9. Histogram	103
Slika 5.10. Pareto-dijagram	104
Slika 5.11. Struktura dijagrama uzroka i posljedice	106
Slika 5.12. Dijagram tijeka završne kontrole kvalitete	108
Slika 5.13. Primjeri dijagrama rasipanja	109
Slika 5.14. Kontrolna karta - primjer	111
Slika 5.15. Kontrolne granice i granice upozorenja na kontrolnoj karti	111
Slika 5.16. Dijagram srodnosti	113
Slika 5.17. Dijagram odnosa	114
Slika 5.18. Stablo dijagram s matricom procjenjivanja	115
Slika 5.19. Oblici matičnih dijagrama (nastavak)	117
Slika 5.20. Primjer matičnog dijagrama L oblika	118
Slika 5.21. PDPC dijagram	120
Slika 5.22. Mrežni dijagram izrađen PDM metodom	122
Slika 5.23. Primjer mrežnog dijagrama i analize vremena metodom PERT	123
Slika 6.1. Informacijske tehnologije u opskrbnom lancu (Dujak, Šantorić & Tomašević, 2011)	127
Slika 6.2. Proizvodna linija	128
Slika 6.3. Kontrola proizvodnje proizvodne linije	128
Slika 6.4. Sloj ERP sustava kontrole proizvodnje proizvodne linije	129
Slika 6.5. Elementi pametne tvornice	129
Slika 6.6. CPS arhitektura za inteligentnu proizvodnju (Liu & Jiang, 2016)	136
Slika 6.7. Razvoj općenitog međuprograma (Liu & Jiang, 2016)	137
Slika 6.8. 3D prikaz montažnog sustava	139

Slika 6.9. Glava mjenjačke kutije na pokretnoj traci	139
Slika 6.10. Prikaz stola za montažu dijelova na montažnom stolu	140
Slika 6.11. Shema inteligentnog montažnog sustava	141
Slika 7.1. Shematski prikaz razvijenog Inovativnog pametnog poduzeća modela	144

Kazalo tablica

Tablica 3.1. Trideset ispitanih tvrtki kroz istraživanja Netlanda (Netland, 2013)	31
Tablica 3.2. Dvanaest lean principa koji su najzastupljeniji među ispitanim tvrtkama (Netland, 2013)	32
Tablica 3.3. Referentni okvir za XPS temeljen na TPS i literaturi na području lean-a	33
Tablica 3.4. Rangiranje značaja lean i zelenih alata prema analizi 176 hrvatskih industrijskih poduzeća (Kovačec, 2015)	34
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika	38
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	39
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	40
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	41
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	42
Tablica 3.5. Pitanja i odgovori ispitanika (nastavak)	43
Tablica 3.6. Saatyeva skala važnosti i njen opis (Saaty, 2005)	53
Tablica 3.7. Geometrijske sredine za glavnu grupu kriterija (Babić, Veža & Banduka, 2017) ..	56
Tablica 3.8. Geometrijske sredine – Tehnika (Babić, Veža & Banduka, 2017)	57
Tablica 3.9. Geometrijske sredine – Organizacija (Babić, Veža & Banduka, 2017)	57
Tablica 3.10. Geometrijske sredine – Osoblje (Babić, Veža & Banduka, 2017)	57
Tablica 3.11. Matrica odluke	59
Tablica 3.11. Matrica odluke (nastavak)	60
Tablica 3.12. Konačan poredak dobiven TOPSIS metodom (Babić, Veža & Banduka, 2017) ..	61
Tablica 5.1. Razlika između tradicionalnog pristupa i TQM	97
Tablica 5.2. 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)	99
Tablica 5.3. Ispitni list za atributivne značajke	102
Tablica 5.4. Osnovni simboli u izradi dijagrama tijeka	107
Tablica 5.5. Matrica prioriteta	119
Tablica 5.6. Načela upravljanja kvalitetom prema ispitanim tvrtkama	125
Tablica 6.1.– Prikaz rasporeda kutija po polici/samoposluzi	140

Popis kratica i oznaka

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 (Kibernetско-fizikalni proizvodni sustav)

Cp – 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, Poboľjšati 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, Provjeri, 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)

to - optimističko vrijeme trajanja aktivnosti

tp - 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

Prilog 1. Popis objavljenih radova

Hrvatska znanstvena bibliografija (CROSB)**Inovativno pametno poduzeće****(HRZZ-IP-2013-11-1353)**

- Autorske knjige (1)
- Poglavlja u knjizi (1)
- Udžbenici i skripta (1)
- Izvorni znanstveni i pregledni radovi u CC časopisima (3)
- Radovi prihvaćeni za objavljivanje u CC časopisima (2)
- Znanstveni radovi u drugim časopisima (9)
- Ostali radovi u drugim časopisima (1)
- Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunar.rec. (23)
- Drugi radovi u zbornicima skupova s recenzijom (1)
- Neobjavljena sudjelovanja na skupovima (16)
- Diplomski radovi (2)
- Druge vrste radova (8)

Autorske knjige

1. Babić, Zoran. Models and methods of business decision-making . Split : Ekonomski fakultet, Split, 2017 (monografija)

Poglavlja u knjizi

1. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Lean Learning Factory, The Learning Factory - An Annual Edition from the Network of Innovative Learning Factories, Hummel, Vera (ur.). Frankfurt am Main: Next Level Interactive UG, 2015. str. 74-78.

Udžbenici i skripta

1. Bilić, Boženko. Kvaliteta - Planiranje, analiza i upravljanje, Vladan Papić (ur.). Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2016.

Izvorni znanstveni i pregledni radovi u CC časopisima

1. Dragičević, Srdjana; Čelar, Stipe; Turić, Mili. Bayesian network model for task effort estimation in agile software development. *Journal of systems and software*. 127 (2017); str. 109-119.
2. Mladineo, Marko; Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola. Solving partner selection problem in cyber-physical production networks using the HUMANT algorithm. *International journal of production research*. 55 (2017), 9; str. 2506-2521.
3. 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; str. 355-365.

Radovi prihvaćeni za objavljivanje u CC časopisima

1. Banduka, Nikola; Mladineo, Marko; Erić, Milan. Designing a layout using a Schmigalla method combined with software tool visTable. *International journal of simulation modelling*. (2017).
2. Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina; Bilić, Boženko. Simulation of Bullwhip Effect in a Supply Chain for Lean Learning Factory Purposes. *International journal of simulation modelling*. (2017).

Znanstveni radovi u drugim časopisima

1. 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 Scientific professional Journal of technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University of Osijek*. 25 (2018), 2; str. 710-719.
2. 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 Scientific professional Journal of technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University of Osijek*. 25 (2018), 2; str. 720-728.
3. 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); str. 49-56.
4. Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Veža, Ivica. Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory. *Procedia CIRP*. 54 (2016); str. 158-163.
5. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. 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 (2016), 5; str. 1317-1324.

6. Mladineo, Marko; Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola. Single-Objective and Multi-Objective Optimization using the HUMANT algorithm. Croatian Operational Research Review (CRORR). 6 (2015); str. 459-473.
7. Veža, Ivica; Čelar, Stipo; Peronja, Ivan. Competences-based Comparison and Ranking of Industrial Enterprises using PROMETHEE Method. Procedia Engineering. 1 (2015); str. 445-449.
8. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko. Lean Learning Factory at FESB – University of Split. Procedia CIRP. 32 (2015); str. 132-137.
9. Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Peko, Ivan. Analiza postojećeg stanja hrvatske industrije u odnosu na Industriju 4.0. Zavarivanje. 58 (2015); str. 133-138.

Ostali radovi u drugim časopisima

1. Veža, Ivica. Hrvati ulaze u treću, a svijet u četvrtu industrijsku revoluciju. Slobodna Dalmacija. 2015 (2015); str. 24-25.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunar.rec.

1. Banduka, Nikola; Peko, Ivan; Crnjac, Marina; Bošnjak, Igor; Đurić, Stefan. Linear layout design using a software tool visTABLE, Proceedings of 15th Annual Industrial Simulation Conference, ISC'2017.
2. Babić, Zoran; Veža, Ivica; Banduka, Nikola. ASSESSMENT OF INDUSTRIAL MATURITY LEVEL BY MULTI-CRITERIAL ANALYSIS, Proceeding of The 9th International Working Conference TQM, Majstorović, Vidosav (ur.). Beograd: Mechanical Engineering Faculty, Laboratory for Production metrology and TQM, Belgrade, Serbia, 2017. str. 192-196.
3. Crnjac, Marina; Mladineo, Marko; Veža, Ivica. THE CROATIAN MODEL OF INNOVATIVE SMART ENTERPRISE (HR-ISE MODEL), 16th International Scientific Conference on Production Engineering, Abele, Eberhard; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb: Hrvatska udruga proizvodnog strojarstva, 2017. str. 81-88.
4. Gjeldum, Nikola; Bilić, Boženko; Tomić, Zvonimir. OPTIMIZATION OF CHASSIS DESIGN FOR ASSEMBLY LINE FEEDER USING PROMETHEE AND TAGUCHI METHOD, 16th International Scientific Conference on Production Engineering, Abele, Eberhard; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb: Hrvatska udruga proizvodnog strojarstva, 2017. str. 93-98.
5. Mladineo, Marko; Banduka, Nikola; Peko, Ivan. Using Cyber-Physical System and Virtual Reality for improvement of Factory Layout, CCGIDIS 2017 – Proceedings, F.V. Cipolla-Ficarra et al. (ur.). Bergamo, Italy: Blue Herons, 2017. str. 1-10.
6. Mladineo, Marko; Veža, Ivica; Gjeldum, Nikola. Management of Cyber-Physical Production Networks through Virtual Enterprise Information System, CCGIDIS 2017 – Proceedings, F.V. Cipolla-Ficarra et al. (ur.). Bergamo, Italy: Blue Herons, 2017. str. 1-10.

7. 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: Mašinski fakultet, 2017. str. 88-93.
8. 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, Kawamura, Michelle (ur.). Kyoto: Higher Education Forum, 2017. str. 237-249.
9. Babić, Zoran; Veža, Ivica; Pavić, Ivan. Ranking of enterprises with regard to industrial maturity level using AHP and TOPSIS, ISAHP 2016, Saaty, W. Rozann (ur.). Pittsburgh: Creative Decisions Foundation, 2016. str. 124-125.
10. 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 ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND AUTOMATION, Katalinić, Branko (ur.). Beč: DAAAM International, 2016. str. 487-492.
11. 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” 2016, Jozić, Sonja; Lela, Branimir (ur.). Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, 2016. str. 1-9.
12. Čagalj, Ante; Markovina, Roko; Veža, Ivica. INTEGRACIJSKI PROCESI U BRODOGRADNJI, Zbornik radova XXII. Simpozij Sorta 2016, Parunov, Joško (ur.). Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2016. str. 617-626.
13. Čelar, Stipe; Turić, Mili; Dragičević, Srdjana; Veža, Ivica. Digital Learning Factory at FESB – University of Split, ZBORNIK RADOVA YU INFO 2016, Miodrag Ivković (ur.). Beograd: Društvo za informacione sisteme i računarske mreže, 2016. str. 001-006 .
14. Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola; Veža, Ivica. Lifelong Learning in Learning Factory, 23rd EurOMA Conference - Interactions. 2016. str. 1-8.
15. 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 2016, Jozić, Sonja; Lela, Branimir (ur.). Split, 2016. str. 107-112.
16. 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, Katalinić, Branko (ur.). Beč: DAAAM International, 2016. str. 633-644.
17. 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, Katalinić, Branko (ur.). Beč: DAAAM International, 2016. str. 912-919.

18. 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, Dong-Won, Kim (ur.). Seoul: Korea Science and Technology Center, 2016. str. 467-473.
19. 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: Computer Integrated Manufacturing and High Speed Machining, Abele, Eberhard; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb: Croatian Association of Production Engineering, 2015. str. 105-110.
20. Peko, Ivan; Bajić, Dražen; Veža, Ivica. Selection of additive manufacturing process using the AHP method, Conference Proceedings "International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials", Jozić, Sonja; Lela, Branimir (ur.). Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, 2015. str. 119-129.
21. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola. Managing Innovative Production Network of Smart Factories, 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Ottawa, 2015. str. 589-594.
22. Veža, 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: Computer Integrated Manufacturing and High Speed Machining, Abele, Eberhard; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb: Croatian Association of Production Engineering, 2015. str. 249-254.
23. Veža, Ivica; Bilić, Boženko; 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), Anisic, Zoran (ur.). 2014. str. 224-229.

Drugi radovi u zbornicima skupova s recenzijom

1. Peko, Ivan; Špar, Ivan; Bašić, Andrej. Rapid Prototyping of Mechanical Measurement Level Device, CONFERENCE PROCEEDINGS MECHANICAL TECHNOLOGIES AND STRUCTURAL 2016 MATERIALS, Jozić, Sonja; Lela, Branimir (ur.). Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, 2016. str. 113-118.

Neobjavljena sudjelovanja na skupovima

1. Veža, Ivica. Tvornica koja uči, Learning Factory. Workshop Ruhr-Universität Bochum, Split, 2017.
2. Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina. Istraživanja na projektu Inovativno pametno poduzeće. Workshop Ruhr-Universität Bochum, Split, 2017.

3. Čelar, Stipo; Turić, Mili. LEAN_LEARNING_FACTORY@fesb: Information System Development in I4.0, Smart Production – Zbornik Pametna proizvodnja 2017. Veža, Ivica; Mladineo, Marko (ur.). Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2017.
4. Mladineo, Marko. Lean Learning Factory @ FESB: Inteligentna montažna linija, Zbornik Pametna proizvodnja 2017, Veža, Ivica; Mladineo, Marko (ur.). Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2017.
5. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Crnjac, Marina. Hrvatski model inovativnog pametnog poduzeća - HR-ISE model, Zbornik radova LEAN Spring Summit 2017, Štefanić, Nedeljko (ur.). Zagreb: Culmena, 2017. 13-17.
6. Veža, Ivica; Mladineo, Marko; Crnjac, Marina. Koncept Inovativnog pametnog poduzeća HR-ISE, Zbornik Seminara Pametna proizvodnja 2017, Veža, Ivica; Mladineo, Marko (ur.). Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2017.
7. Čelar, Stipe. Digital_Learning_Factory@fesb, Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, Ivica Veža (ur.). Split: FESB, 2016. str. 80-99.
8. Gjeldum, Nikola. Lean Learning Factory (Tvornica koja uči) na FESB-u, Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, Veža, Ivica (ur.). Split: FESB, 2016. str. 61-79.
9. Veža, Ivica. Projekt Inovativno pametno poduzeće (INSENT), Smart Production. Seminar o proizvodnji utemeljenoj na platformi Industrija 4.0, Veža, Ivica (ur.). Split, FESB, 2016. str. 5-42.
10. 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, Štefanić, Nedeljko (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2016. str. 15-25.
11. Veža, Ivica. "Innovative Smart Enterprise -Case study of Croatia", Milton, Vieira Junior (ur.). Joao Pessoa, Brasil: ENEGEP, 2016.
12. Veža, Ivica. Inovativno pametno poduzeće zasnovano na Leanu, Zbornik radova 6. GALP konferencije, Štefanić, Nedeljko (ur.). Zagreb: Culmena, 2016. str. 30-40.
13. Gjeldum, Nikola. Cjeloživotno obrazovanje "LOPEC - Logistics personnel excellence by continuous self-assessment", Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2015.
14. Mladineo, Marko. Obrazovanje u Learning Factory, Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2015.
15. Veža, Ivica. Promjena kulture rada s Toyota Kata, Zelena proizvodnja - 3. Seminar o zelenoj i održivoj proizvodnji. FESB, Split, 2015.
16. Veža, Ivica. "Human Centered Production in Cyber-Physical Production Systems" Case study Croatia. 37th Annual AIM conference, Beč, 2015.
17. Veža, Ivica. Uloga leadershipa u Lean transformaciji poduzeća, Zbornik 5. konferencije o Lean i green proizvodnji i uslugama, Štefanić, Nedeljko; Veža, Ivica (ur.). Zagreb: Lean inicijativa Hrvatske, 2015. str. 14-29.

18. Veža, Ivica. Lean u svakodnevnom poslovanju. Zbornik prezentacija Lean Spring Summit 2015, Štefanić, Nedeljko; Veža, Ivica (ur.). Zagreb: Lean inicijativa Hrvatske, 2015. str. 4-27.

Diplomski radovi

1. Raguž, Krešimir. INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA 4.0 I RAZVOJ ANDROID MOBILNE APLIKACIJE, završni rad - diplomski/integralni studij. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 22.12. 2015, 53 str.
2. Tonković, Zrinka. Upotreba RFID tehnologije u montažnom procesu, završni rad - diplomski/integralni studij. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 17.07. 2015., 54 str.

Druge vrste radova

1. Mladineo, Marko; Crnjac, Marina. Innovative Smart Enterprise: Konfigurator proizvoda, Dani FESB-a, Split, 2017. (pozvano predavanje).
2. Mladineo, Marko. Lean Learning Factory @ FESB: Smart Factory Project, Dani FESB-a, 2016. (pozvano predavanje).
3. Veža, Ivica. Na putu prema inovativnom i pametnom poduzeću, DANI SLOBODNE NASTAVE EKONOMSKA I BIROTEHNIČKA ŠKOLA BJELOVAR, Bjelovar, 2016. (pozvano predavanje).
4. Veža, Ivica. Industrija 4.0 – novi strojarski izazov, 10 dani strojarskog izazova na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2016. (pozvano predavanje).
5. Veža, Ivica. Uloga leadershipa u Lean transformaciji poduzeća, GALP 2016, Zagreb, 2016. (pozvano predavanje).
6. Veža, Ivica. Hrvatska industrija na putu prema Industriji 4.0, seminar Industrija 4.02, Zagreb, 2016. (pozvano predavanje).
7. Veža, Ivica. Industrija 4.0, Hrvatska gospodarska komora, Ludbreg, 2015. (pozvano predavanje).
8. 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).

