Digitalni LEAN

Sajko, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:148397

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Sajko

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr.sc. Nedeljko Štefanić

Student:
Luka Sajko

Zagreb, 2019.

ZADATAK

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **LUKA SAJKO** Mat. br.: 0035189626

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **DIGITALNI LEAN**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DIGITAL LEAN**

Opis zadatka:

Lean menadžment je jedna od najuspješnijih menadžerskih strategija razvijenih u zadnjih sto pedeset godina. Iako se Lean menadžment počeo primjenjivati u automobilskoj industriji, zbog svojih univerzalnih principa i alata, primjenu nalazi osim u industriji i u graditeljstvu, arhitekturi, financijskim institucijama, školstvu, zdravstvu te državnim institucijama i agencijama. U vrijeme pojave Industrije 4.0 i digitalnih tehnologija, transformacija proizvodnih i uslužnih poduzeća postaje nužnost. Preduvjet uspješne provedbe digitalne transformacije je optimizirati procese koji se javljaju prilikom proizvodnje ili pružanja usluga. Digitalni lean je novi koncept razvijen s ciljem uspješne provedbe digitalne transformacije poduzeća.
U radu je potrebno:
1. Detaljno objasniti pojam Industrije 4.0 i sistematizirati postojeće digitalne tehnologije
2. Objasniti pojam Lean menadžmenta, njegove principe i alate
3. Objasniti koncept Digitalnog lean te sistematizirati njegove principe i alate
4. Razviti metodologiju primjene DIgitalnog leana u proizvodnim poduzećima
5. Razviti programsko rješenje za praćenje provedbe Digitalnog leana
6. Na primjeru proizvoljno odabranog proizvodnog poduzeća i pogodnog procesa primijeniti koncept Digitalnog leana
7. Kvantificirati postignute rezultate

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 26. rujna 2019.

Rok predaje rada: 28. studenog 2019.

Predviđeni datum obrane: 04. prosinca 2019. 05. prosinca 2019. 06. prosinca 2019.

Zadatak zadao: prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednica Povjerenstva: prof. dr. sc. Biserka Runje

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru Nedeljku Štefaniću na susretljivosti i pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada, ali i čitavog studija. Zahvaljujem zaposlenicima poduzeća Klimaoprema d.d., posebno Robertu Obrazu i Tinu Dorotiću. Zahvaljujem svojim prijateljima i obitelji na pruženoj podršci i vjeri. Posebno zahvaljujem svojim roditeljima i sestri koji čine temelj svih mojih životnih uspjeha, pa tako i akademskih.

Luka Sajko

U Zagrebu, 28. studenoga 2019.

S A D R Ž A J

ZADATAK I
IZJAVA II
POPIS OZNAKA V
POPIS SLIKA VI
POPIS TABLICA VII
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX

1. UVOD 1

2. POJAM INDUSTRIJE 4.0 4

2.1. Temeljne odrednice Industrije 4.0 6

2.1.1. Kibernetsko-fizički sustavi (KFS) 6
2.1.2. Internet stvari (IoT) 8
2.1.3. Internet usluga (IoS) 8
2.1.4. Pametne tvornica 9

2.2. Ostali pojmovi i tehnologije vezane za Industriju 4.0 11

3. LEAN PROIZVODNJA 17

3.1. Glavna načela Leana 18

3.2. Aktivnosti Lean proizvodnje 20

3.3. Gubici u poslovanju prema Lean proizvodnji 21

3.4. Alati Lean proizvodnje 22

3.4.1. 5S 22
3.4.2. Kaizen 24
3.4.3. SMED 25
3.4.4. Mapiranje toka vrijednosti 26

4. UTJECAJ INDUSTRIJE 4.0 NA LEAN PROIZVODNJU 28

4.1. Strukturiranje tehnologija Industrije 4.0 28

4.2. Matrica utjecaja Industrije 4.0 na Lean proizvodne sustave 29

5. KONCEPT DIGITALNOG LEANA 31

5.1. Definicija Digitalnog leana 32

5.2. Prednosti digitalizacije kod podrške Lean proizvodnji 34

6. METODOLOGIJA PRIMJENE DIGITALNOG LEANA U PROIZVODNIM PODUZEĆIMA 36

6.1. Analiza postojećeg Lean sustava 38

6.2. Identifikacija primjenjivih digitalnih tehnologija 39

6.3. Implementacija digitalnih tehnologija 40

6.4. Evaluacija novog stanja 41

6.5. Održavanje prednosti novog sustava i istraživanje mogućnosti poboljšanja 42

6.6. Praćenje provedbe Digitalnog leana 43

7. PRIMJER DIGITALNOG LEANA U PODUZEĆU KLIMAOPREMA d.d. 45

7.1. Uvod u praktični dio 45

7.2. Primjena *Digitalnog 5S-a* 47

8. POSTIGNUTI REZULTATI 52

8.1. Izračun početnog stanja (1) 54

8.2. Izračun završnog stanja (2) 55

8.3. Usporedba početnog i završnog stanja te dobivena poboljšanja 57

8.4. Daljnja moguća poboljšanja i smjer razvoja 58

9. ZAKLJUČAK 59

10. LITERATURA 61

POPIS OZNAKA

GTAI	Njemačka agencija za trgovinu i investicije
KFS	kibernetsko-fizički sustavi
RFID	Radio-frequency Identification
IoT	Internet stvari
IoS	Internet usluga
BCG	Boston Consulting Group
SMED	Single Minute Exchange of Die
M2M	Machine to Machine Communication
LED	Light-Emitting Diode
ERP	Enterprise Resource Planning

POPIS SLIKA

Slika 1. Masovna proizvodnja omogućena pokretnom trakom [5] 2
Slika 2. Automatizacija proizvodnje automobila u suvremenoj industriji [7] 3
Slika 3. Prikaz razvoja do Industrije 4.0 sa kibernetsko-fizičkim sustavima [9] 4
Slika 4. Pametna kutija [22] 7
Slika 5. Prikaz senzora pametne kutije[22] 8
Slika 6. Pogled u pametnu tvornicu [26] 9
Slika 7. Shematski prikaz čimbenika pametne tvornice [6] 10
Slika 8. Devet tehnologija prema BCG [32] 12
Slika 9. Autonomne robotske ruke proizvođača Kuka [33] 13
Slika 10. 3D simulacija rada robotskih ruka proizvođača Kuka [34] 14
Slika 11. Primjer proširene stvarnosti [40] 16
Slika 12. Glavni principi Leana [47] 18
Slika 13. 8 gubitaka Leana [49] 21
Slika 14. Koraci Kaizena 24
Slika 15. Koraci SMED metode [57] 26
Slika 16. Primjer mapiranja toka podataka [59] 27
Slika 17. Digitalni lean u kontekstu digitalnog lanca opskrbe [61] 32
Slika 18. Digitalni lean [61] 34
Slika 19. Faze metodologije 37
Slika 20. Razine Lean proizvodnje [64] 38
Slika 21. Shema prve razina metodologije 39
Slika 22. Shema druge razine metodologije 40
Slika 23. Jednostavna ploča aktivnosti [66] 41
Slika 24. Gantogram implementacije 44
Slika 25. Prikaz gotovog Passboxa 46
Slika 26. Shema tlocrta odjela montaže 47
Slika 27. Prikaz cijelog sustava 49
Slika 28. Dijelovi za proizvod 1 49
Slika 29. Dijelovi za proizvod 2 50
Slika 30. Dijelovi za proizvod 3 50

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz značenja 5S alata [52] 23
Tablica 2. Matrica utjecaja 30
Tablica 3. Komponente za praktični dio 48
Tablica 4. Potrebni podaci 52
Tablica 5. Broj dolazaka radnika do pojedine lokacije 53
Tablica 6. Vrijeme potrebno radniku da dođe do lokacije 53
Tablica 7. Prosječna vremena traženja na lokacijama 54

SAŽETAK

U ovom su radu, pomoću dostupne i relevantne znanstvene literature opisana značenja, odnosno opseg pojmova *Industrija 4.0*, njenih tehnologijā i alatā te značenje pojma *digitalizacije* kao jedne od njenih ključnih odrednica. U radu su također opisani pojam i metodologije *Leana* s obzirom na vrste gubitaka koji se pojavljuju u proizvodnim poduzećima. S ciljem objašnjenja ideje sprege digitalizacije i *Lean p*roizvodnje u vidu koncepta *Digitalnog* l*eana* kao mogućeg unaprjeđenja proizvodnje; u tvrtki Klimaoprema d.d., praktično je primjenjen koncept te su u radu opisani eksperimentalni rezultati primjene s prijedlozima mogućnosti danjih poboljšanja.

KLJUČNE RIJEČI: **Digitalni Lean, Industrija 4.0, proizvodnja, proizvodno poduzeće**

SUMMARY

The subject of this thesis was a research of a new concept called “Digital lean”. The scope of the research was explanation and definition of the term “Industry 4.0”, as well as its accompanying and defining technologies. The research included the Lean production and its methodologies and tools which are key building blocks of the Digital lean along with mentioned digital technologies of Industry 4.0. The possible implementation methodology of the Digital lean as a process of digital transformation of companies has been developed and described. In the practical part of the thesis a Digital lean solution was implemented in the Klimaoprema production company. The results of said implementation were then quantified and presented in the conclusion.

KEYWORDS: **Digital Lean, Industry 4.0, Lean production, Production Company**

1. UVOD

Cilj ovog rada bio je razrada i pojašnjenje novog koncepta *Digitalnog Leana* u proizvodnim poduzećima. Sam naziv koncepta dolazi od engleskog pridjeva „lean“ što u doslovnom prijevodu znači „mršav“, međutim u kontekstu proizvodnje sam naziv se ili ne prevodi ili se može naići na izraze „tanka“ ili „vitka“ proizvodnja. U ovom se radu, pomoću dostupne i relevantne znanstvene literature, nastoje opisati pojmovi *digitalizacije*, *Leana*, ali i suvremene *Industrije 4.0* koja je i omogućila, odnosno potaknula nastanak koncepta *Digitalnog Leana*.

Može se reći da se razvoj ljudske civilizacije oduvijek kretao u skladu s otkrićima i izumima čovjeka. Od prvih ljudskih otkrića poput prve upotrebe vatre i izuma kotača, pa preko kasnijih važnih izuma poput mehaničkog sata i tiskarskog stroja, svakodnevni život, ali i životni vijek čovjeka posljedično se mnogostruko mijenjao. Osim rasta ljudske populacije, promjene na tehnološkom i znanstvenom planu bile su popraćene promjenama samih ljudskih djelatnosti i društvenih uređenja. Prva velika ekonomska promjena koja je izazvala temeljito mijenjanje postojećih ekonomskih, odnosno gospodarskih sustava, bila je pojava mehanizacije u proizvodnji i usavršavanje parnog stroja. Ta se promjena, stoga, počela s vremenom opisivati kao *Prva industrijska revolucija* koja se odvijala u razdoblju od druge polovice 18. stoljeća, pa do prve polovice 19. stoljeća, a geografski je nastala na području Velike Britanije [1 i 2].

Pod prethodno spomenutim pojmom tzv. postojećih sustava, koje je Prva industrijska revolucija mijenjala, misli se na prelazak ondašnjeg poljoprivrednog i zanatskog gospodarstva na ono u kojem dominira industrija i proizvodnja strojeva. Industrija je postala temelj ekonomske strukture društva te je, osim toga, izazvala temeljite promjene i dotadašnjih političkih sustava na globalnoj razini. [3]

Sljedeća velika znanstvena, odnosno tehnološka promjena koja je zahvatila ljudsku civilizaciju na globalnoj razini, te se u skladu s tim označava kao *Druga industrijska revolucija*, bila je pojava eksploatacije novih izvora energije u vidu nafte i plina, a ponajviše električne energije.

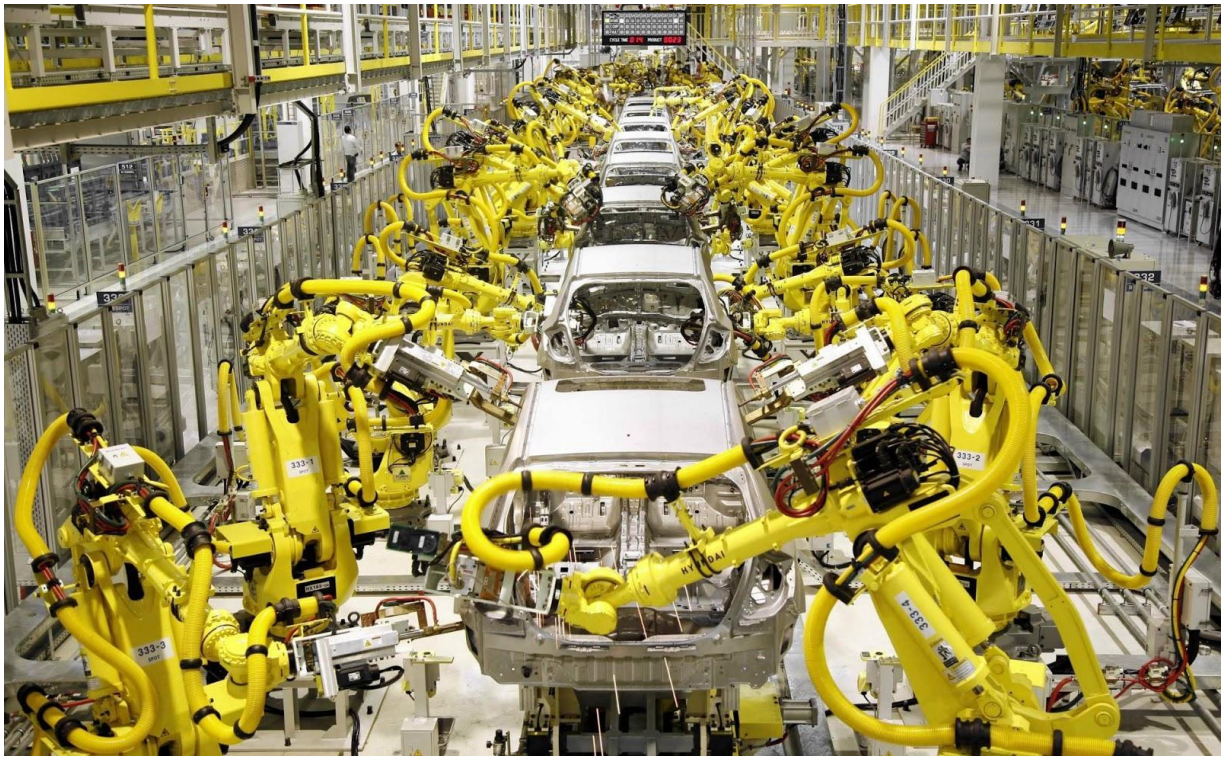
Drugu industrijsku revoluciju karakterizira i otkriće novih materijala, poput lakših metala, novih legura, sintetičkih proizvoda poput plastike, ali i izum novih oblika komunikacije poput

telegrafa i telefona, te novih oblika prijevoza poput automobila i zrakoplova. Na promjenu čovjekove svakodnevnice je uvelike utjecao i izum izmjenične struje, a izum pokretne (montažne) trake ostavio je veliki utisak na sam proces proizvodnje i pojavu masovne proizvodnje koja je proizašla iz toga. (Slika 1.) [1],[4]



Slika 1. Masovna proizvodnja omogućena pokretnom trakom [5]

Druga polovica 20. stoljeća uzima se kao početak *Treće industrijske revolucije*. Treća industrijska revolucija je obilježena razvojem računala i automatizacije, koja je omogućena izumima programabilnih logičkih regulatora i robota. Također, obilježena je i pojavom novog oblika energije, one nuklearne, i općenitim rastom proizvodnje i prisutnosti elektronike u svim područjima ljudske djelatnosti. Pojavom interneta i mogućnostima koje on pruža, u današnje vrijeme sve se više isprepliću digitalni i fizički svijet. Postupnim razvojem digitalnih mogućnosti, može se konstatirati da je internet zauzeo jedno od najvažnijih mjesta u ljudskim djelatnostima. Upravo se sveobuhvatnije i učestalije korištenje digitalnih mogućnosti uzima kao početak *Četvrte industrijske revolucije*, koju još nazivamo *Industrija 4.0* i koja se nastavlja na treću industrijsku revoluciju. (Slika 2.) [1],[6]

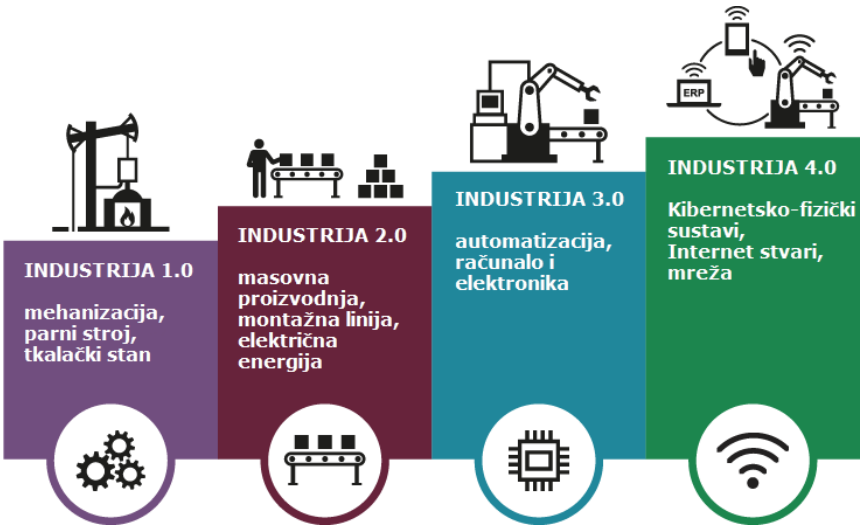


Slika 2. Automatizacija proizvodnje automobila u suvremenoj industriji [7]

U ovom se radu, pomoću dostupne i relevantne znanstvene literature, najprije opisuje značenje, odnosno definicija pojma *Industrija 4.0* i što taj pojam sve obuhvaća. Ukratko se navode tehnologije i alati Industrije 4.0 te se definira pojam *digitalizacije*, kao jedne od ključnih odrednica Industrije 4.0. U nastavku se opisuje pojam Leana i njegova glavna načela s naglaskom na vrstama gubitaka koji se pojavljuju u proizvodnim poduzećima. Također se navode neke od Lean metodologija. Na kraju rada se opisuje sama ideja sprege digitalizacije i Lean proizvodnje u kontekstu unaprjeđenja proizvodnih procesa. Navedena sprega objedinjava koncept *Digitanog leana*. U svrhu unaprjeđenja proizvodnje predložena je moguća metodologija implementacije koncepta u tvrtki Klimaoprema d.d. te su prikazani i opisani eksperimentalni rezultati i predložena moguća poboljšanja.

2. POJAM INDUSTRIJE 4.0

Sam pojam *Industrija 4.0* prvi se puta javno spominje na velesajmu u njemačkom gradu Hannoveru 2011. godine i to u izvornom obliku na njemačkom „Industrie 4.0“. Nastao je kao projekt njemačke savezne vlade koja je imala za cilj pozicioniranje Njemačke kao vodeće sile u svijetu na pragu nove tehnološke revolucije. Projekt je uključivao osnivanje radnih skupina i predstavljanje niza preporuka za implementaciju Industrije 4.0. Rezultat je bio završno izvješće radnih skupina objavljeno u travnju 2013. godine pod nazivom „Preporuke za implementaciju strateške inicijative INDUSTRIJA 4.0“ te osnivanje strateške platforme Industrija 4.0. [8]



Slika 3. Prikaz razvoja do Industrije 4.0 sa kibernetsko-fizičkim sustavima [9]

Sama definicija Industrije 4.0, prema Njemačkoj agenciji za trgovinu i investicije (engl. *Germany Trade & Invest − GTAI*), glasi da Industrija 4.0 označava tehnološku evoluciju ugrađenih sustava[1] prema kibernetsko-fizičkim sustavima. Industrija 4.0 predstavlja

[1] ugrađeni sustav je kombinacija računalnog hardvera i softvera, bilo fiksno osposobljena ili programirana, osmišljena za određenu funkciju ili funkcije u većem sustavu [10]

predstojeću Četvrtu industrijsku revoluciju prema *Internetu stvari* [2](engl. *Internet of Things* ili IoT), podataka i usluga. Pritom, decentralizirana inteligencija[3] pomaže u inteligentnom umrežavanju objekata i neovisnom upravljanju procesima, uz interakciju stvarnog i digitalnog, odnosno virtualnog svijeta koji predstavlja ključni novi aspekt proizvodnje i proizvodnog procesa. Jednostavno rečeno, to znači da strojevi za industrijsku proizvodnju osim same sposobnosti obrade proizvoda, imaju sposobnost „komuniciranja“ s tim proizvodom koji zapravo kroz novu tehnologiju može „reći“ stroju što učiniti. Na taj način radikalno se mijenjaju industrijski i proizvodni lanci vrijednosti, ali i poslovni modeli proizvodnih poduzeća. (Slika 3.) [8]

U suvremeno doba karakterizirano već desetljećima prisutnim trendom globalizacije, pojam Industrije 4.0 prepoznat je i izvan Njemačke te je prihvaćen kao svojevrstan nastavak Treće industrijske revolucije. U skladu s tim postoje i druge definicije same Industrije 4.0 od kojih su samo neke najznačajnije obuhvaćene u ovom radu.

Prema konzultantskoj kući McKinsey, Industrija 4.0 je jedna od faza koje slijede u digitalizaciji proizvodnog sektora, a njeni su okidači: [12]

1. eksponencijalni rast količine podataka u mrežnom optjecaju u svijetu, porastom mogućnosti, odnosno snage računalnog hardvera i mrežne povezanosti, osobito novim širokopojasnim mrežama male snage,
2. pojava analitičkih i poslovno-obavještajnih mogućnosti,
3. novi oblici interakcije čovjeka i stroja, kao što su zasloni na dodir i sustavi proširene ili virtualne stvarnosti,
4. poboljšanja u prijenosu digitalnih uputa u fizički svijet, kao što su napredna robotika i 3D printanje.

Sličnu definiciju daje i njemačko poduzeće SAP prema kojem je Industrija 4.0 skupni izraz za tehnologije i koncepte organizacije lanaca vrijednosti[4]. Na temelju tehnoloških koncepata kibernetsko-fizičkih sustava, IoT-a i *Interneta usluga* (engl. *Internet of Services* ili IoS),

[2] vidi 2.1.2. Internet stvari

[3] misli se na stvaranje inteligentnog umrežavanja objekata i neovisnog upravljanja procesima, uz interakciju stvarnog i virtualnog svijeta koji predstavljaju ključni novi aspekt proizvodnih procesa [11]

[4] Lanac vrijednosti prikazuje ukupnu vrijednost koju stvara poduzeće. Koncept se zasniva na promatranju poduzeća kao skupa odvojenih ali povezanih aktivnosti kojima se stvara vrijednost za kupce, tj. kojima se oblikuju, proizvode, promiču, prodaju i distribuiraju proizvodi ili usluge. [13]

Industrija 4.0 podupire viziju tzv. „pametnih tvornica“. Unutar modularno strukturiranih pametnih tvornica Industrije 4.0, kibernetsko-fizički sustavi prate fizičke procese, stvaraju virtualnu kopiju fizičkog svijeta i donose decentralizirane odluke. Kroz IoT, kibernetsko-fizički sustavi komuniciraju i surađuju jedni s drugima i ljudima u stvarnom vremenu. Putem Interneta usluga i unutarnje i međuorganizacijske se usluge koriste od strane sudionika lanaca vrijednosti. [14]

Definicija Europskog parlamenta je najopćenitija od spomenutih i ona govori da je Industrija 4.0 izraz koji se primjenjuje za skupinu brzih transformacija u projektiranju, proizvodnji, radu i uslugama proizvodnih sustava i proizvoda. Oznaka „4.0“ znači da je ovo četvrta svjetska industrijska revolucija, nasljednik triju ranijih industrijskih revolucija koje su uzrokovale kvantne skokove u produktivnosti i promijenile živote ljudi širom svijeta. [15]

S druge strane, vodeća svjetska konzultantska kuća Gartner definira Industriju 4.0 slično kao i McKinsey i SAP, no njen početak opisuje kao viziju razvijenu pod pokroviteljstvom njemačke vlade. Prema Gartneru, Industrija 4.0 je (samo) vizija napredne proizvodnje koju sponzorira njemačka vlada. Temeljni koncept Industrije 4.0 je povezivanje ugrađenih sustava i pametnih tvornica kako bi se dobila digitalna konvergencija između industrije, poslovanja i internih funkcija i procesa u poduzećima. [16]

2.1. Temeljne odrednice Industrije 4.0

Prema istraživanju Hermanna, Penteka i Otta sa tehničkog sveučilišta u Dortmundu, Industriju 4.0 čine četiri ključne odrednice: [17]

1. **kibernetsko-fizički sustavi** (engl. *Cyber-Physical Systems*),
2. ***Internet stvari*** (engl. *Internet of Things*),
3. ***Internet usluga*** (engl. *Internet of Services*),
4. **pametne tvornice** (engl. *Smart Factory*).

2.1.1. Kibernetsko-fizički sustavi (KFS)

Jedna od najvažnijih odrednica Industrije 4.0 je međusobna povezanost fizičkog i virtualnog poslovnog okruženja. Ta se povezanost ostvaruje pomoću kibernetsko-fizičkih sustava (KFS). Kibernetsko-fizički sustavi predstavljaju integraciju računanja s fizičkim procesima, a čine ih umrežena računala, razni senzori, aktuatori, upravljačke jedinice i uređaji za komunikaciju, koji nadziru proizvodne procese. [18]

Razvoj KFS-a karakteriziran je trima generacijama. Prva generacija KFS-a uključivala je identifikacijske tehnologije poput RFID[5] oznaka, koje su omogućavale jedinstvenu identifikaciju. Druga generacija KFS-a bila je opremljena senzorima i aktuatorima ograničenog raspona funkcija. Obilježje treće generacije je mogućnost pohranjivanja i analiziranja podataka, odnosno opremljenost koja uključuje više senzora i aktuatora te sposobnosti boljeg umrežavanja i kompatibilnosti s mrežom. [20]

Primjer jednog KFS-a su pametne kutije *iBin* njemačkog poduzeća Würth. Svaka kutija za pohranu tzv. C-dijelova (malih dijelova) poput vijaka i matica sadrži ugrađenu infracrvenu kameru koja služi praćenju stanja zaliha u kutiji. Kada stanje zalihe padne ispod određene razine, pametna kutija automatski šalje narudžbu novih dijelova koristeći RFID tehnologiju. (Slika 4. i Slika 5.) [21]



Slika 4. Pametna kutija [22]

[5] RFID (engl. *Radio-frequency identification*) je tehnologija koja pomoću magnetskog polja bežičnim putem komunicira između prijemnika i predajnika. [19]



Slika 5. Prikaz senzora pametne kutije[22]

2.1.2. Internet stvari (IoT)

Upravo je integracija *Interneta stvari* sa *Internetom usluga*[6] u proizvodnim procesima potaknulo četvrtu industrijsku revoluciju. [23]

Internet stvari (engl. *Internet of Things* − IoT) možemo definirati kao internetsku mrežu kojom se ostvaruju veze unutar KFS-ova kako bi „stvari“, a u prvom redu se misli na strojeve, međusobno „surađivale“ putem jedinstvenih pozivnih shema. [17]

Prema poduzeću Gartner, IoT je mreža fizičkih stvari koje sadrže ugrađenu tehnologiju za bežičnu komunikaciju i razumijevanje ili interakciju sa svojim unutarnjim stanjima ili vanjskom okolinom. [24]

2.1.3. Internet usluga (IoS)

Internet usluga (engl. *Internet of Services* − IoS*)* jednostavno rečeno, omogućuje pružateljima usluga da ponude svoje usluge putem interneta. Internet usluga sastoji se od sudionika, infrastrukture potrebne za pružanje usluga, poslovnih modela i samih usluga. Pojedinačne usluge i složene usluge s dodanom vrijednošću od različitih dobavljača se, putem različitih kanala, nude prilagođene korisnicima i potrošačima. [25]

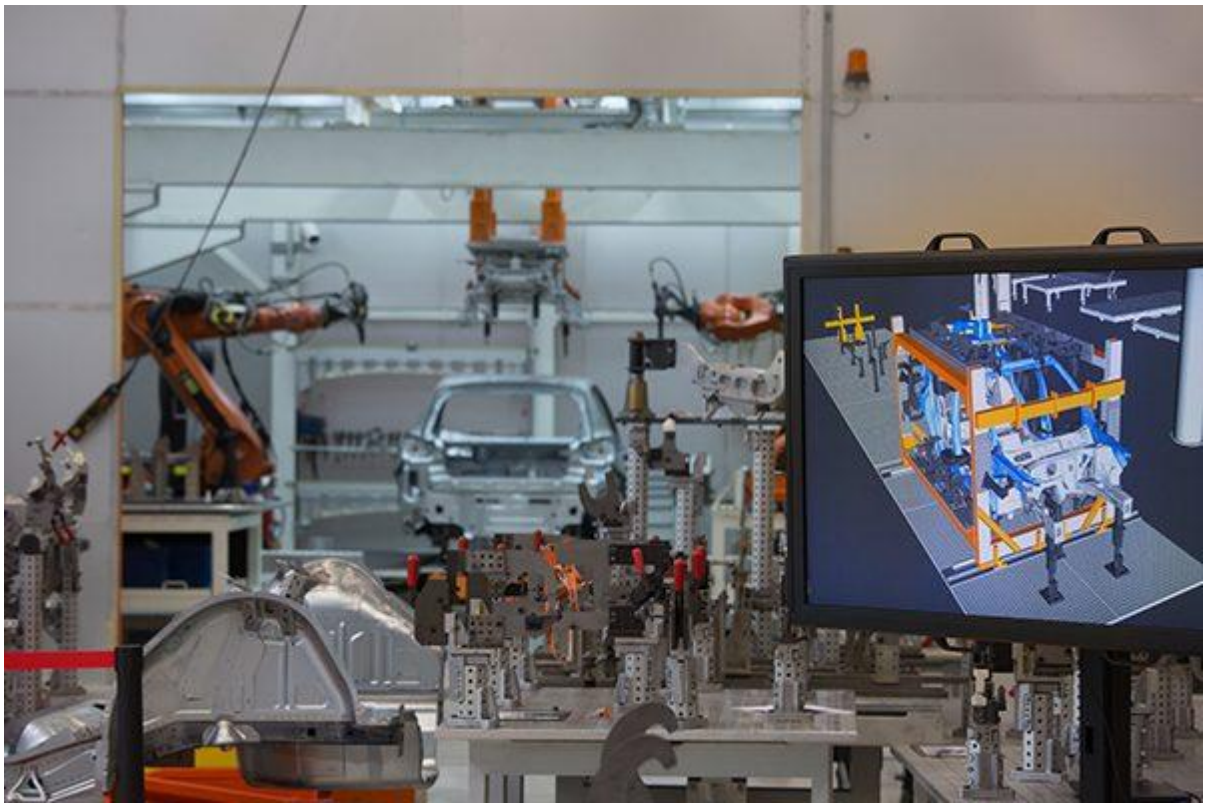
Na ovaj način dostupnosti prilagođenih usluga potiče širenje distribucijskih varijacija u pojedinim aktivnostima lanaca stvaranja vrijednosti. Tvornice mogu ići korak dalje i ponuditi posebne proizvodne tehnologije, prema potrošačevim zahtjevima. Sve u svemu, IoS se može

[6] vidi 2.1.3. Internet usluga

definirati kao platforma preko koje se nude i koriste interne, ali i među-organizacijske usluge, od strane sudionika u vrijednosnom lancu. [17]

2.1.4. Pametne tvornica

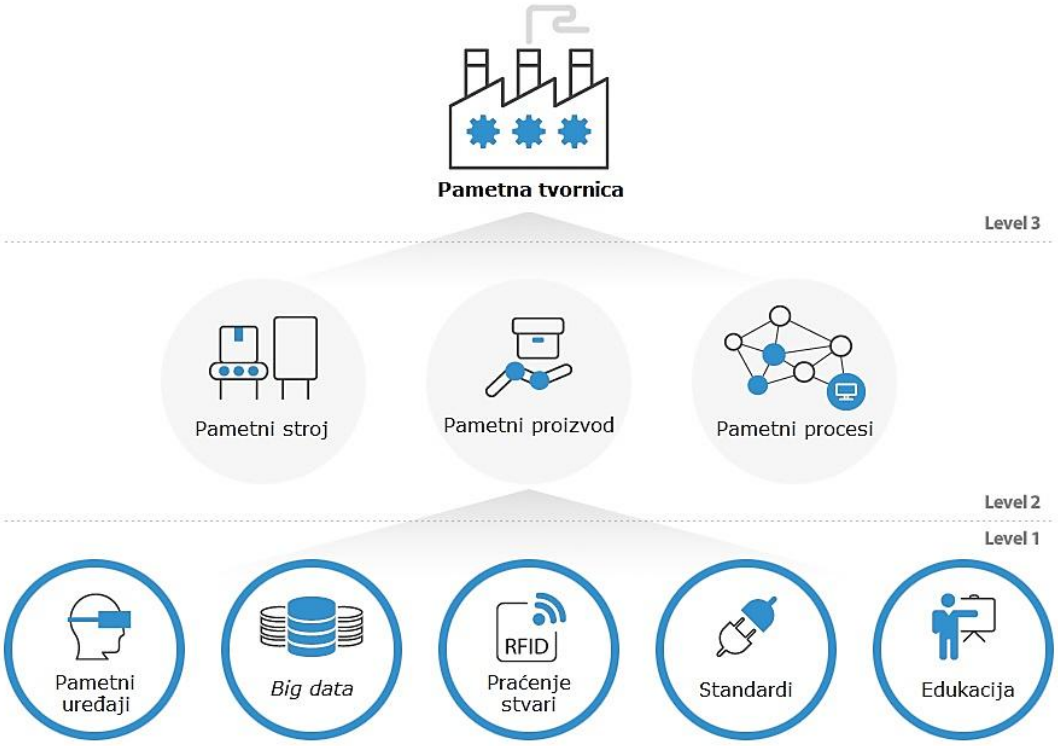
Pametna tvornica (engl. *Smart Factory*) definira se kao proizvodno rješenje koje se sastoji od fleksibilnih i prilagodljivih proizvodnih procesa koji su sposobni rješavati probleme u proizvodnom pogonu u stvarnom vremenu s promjenjivim graničnim uvjetima i to u sve složenijim proizvodnim pogonima (Slika 6.).



Slika 6. Pogled u pametnu tvornicu [26]

Spomenuto proizvodno rješenje moglo bi se s jedne strane odnositi na automatizaciju u vidu kombinacije različitih softvera, hardvera i/ili mehaničkih dijelova. Cilj takve kombinacije je optimizacija proizvodnje smanjenjem nepotrebne radne snage i rasipanja resursa. S druge strane, proizvodno rješenje može se odnositi na rezultat same suradnje različitih industrijskih i neindustrijskih poslovnih partnera u vidu nastanka dinamične organizacije. Prema Luckeu,

Constantinescu i Westkämperu, pametna tvornica „kontekstualno-svjesno“[7] pomaže ljudima i strojevima u izvršavanju njihovih zadataka. To se postiže sustavima koji rade „u pozadini“ ne remeteći redovne operacije unutar tvornice i njenog proizvodnog pogona i koje dijelimo na tzv. *Calm sustave*[8] i na kontekstualno-svjesne aplikacije. Različite čimbenike pametne tvornice prikazuje Slika 7. Prema prethodno navedenim definicijama KFS-a i IoT-a, može se reći i da su pametne tvornice one tvornice gdje kibernetsko-fizički sustavi međusobno komuniciraju putem Interneta stvari te na taj način pomažu ljudima i strojevima u izvršavanju njihovih zadaća. [17], [27], [28]



Slika 7. Shematski prikaz čimbenika pametne tvornice [6]

[7] Kontekstualno-svjesno odnosi se na to da sustavi mogu uzeti u obzir informacije o kontekstu objekta prema njegovom položaju i statusu. Takvi sustavi izvršavaju svoje zadaće temeljeno na informacijama koje dolaze iz fizičkog svijeta (npr. položaj i stanje alata) i virtualnog svijeta (npr. elektronički dokumenti, nacrti i simulacijski modeli) te djeluju na različitim razinama tvornice. [27]

[8] Pridjev „calm“ je engleska riječ koja u ovom izrazu označava „miran“ ili rad koji ne remeti sam rad tvornice, odnosno odvija se u pozadini, najčešće istovremeno s operacijama u pogonu. U istraženoj literaturi nije dostupan prijevod spomenutog izraza na hrvatski, stoga se u ovom radu koristi engleska inačica. *Calm* sustavi odnose se na hardver pametne tvornice, a od drugih sustava razlikuje ih to što mogu komunicirati i uzajamno djelovati sa svojom okolinom. [27]

2.2. Ostali pojmovi i tehnologije vezane za Industriju 4.0

Pojmovi poput ***Machine-to-machine*** (M2M) ***communicaton***[9] i **pametni proizvodi** (engl. *Smart Products*) se ne smatraju zasebnim odrednicama Industrije 4.0. Razlog tomu je taj što je M2M omogućen Internetom stvari, a pametni proizvodi su komponenta kibernetsko-fizičkih sustava. [17]

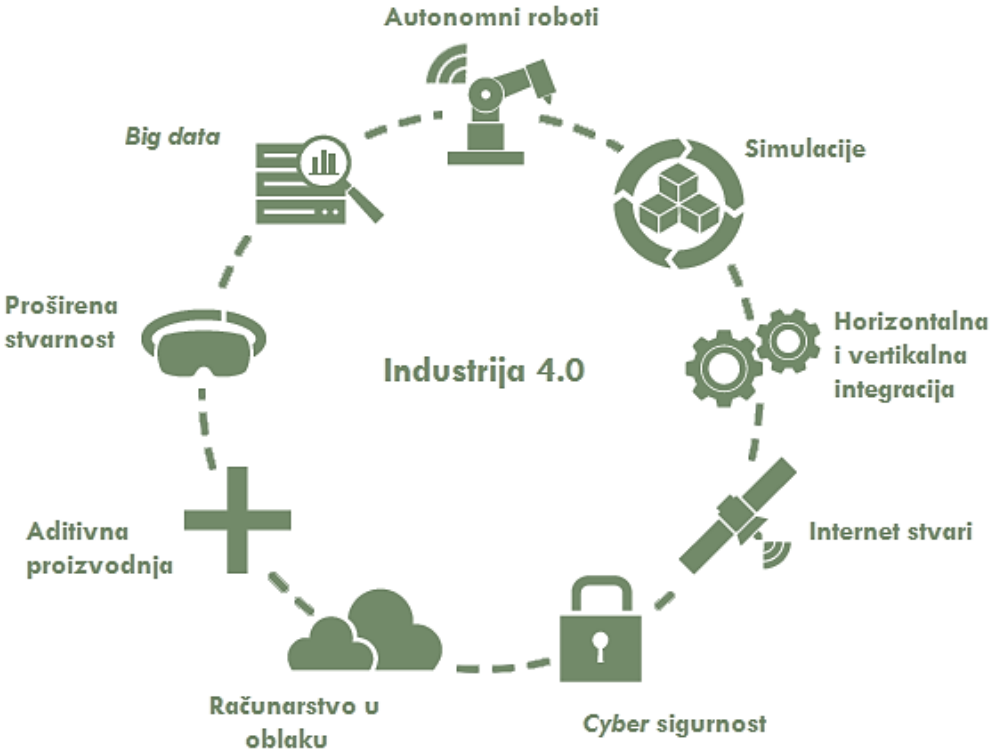
Prema konzultantskom poduzeću Boston Consulting Group (BCG), sljedećih devet glavnih tehnologija čine temelj Industriji 4.0: [30]

1. autonomni roboti,
2. simulacije,
3. horizontalna i vertikalna integracija sustava,
4. Internet stvari,
5. *Cyber* sigurnost[10],
6. računalstvo u oblaku (engl. *Cloud Computing*),
7. aditivna proizvodnja (engl. *Additive Manufacturing*),
8. proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*) i
9. velike količine podataka (engl. *Big data*).

Navedene tehnologije u sklopu Industrije 4.0 transformiraju proizvodnju na način da se dotadašnje izolirane (pojedinačne) radne ćelije udružuju u one potpuno integrirane i automatizirane s optimiziranim proizvodnim tokovima. To rezultira većom učinkovitošću i mijenjanjem postojećih proizvodnih odnosa između dobavljača, proizvođača i potrošača. Spomenutih devet tehnologija prikazuje Slika 8. [30]

[9] Komunikacija između strojeva (engl. *Machine-to-machine communication*), je bežična ili žična, automatizirana razmjena informacija između tehničke opreme, kao što su mehanizacija, strojevi, vozila ili mjerni uređaji, međusobno ili sa centralnim sustavom za obradu podataka. Daljinski nadzor, daljinsko upravljanje i daljinsko održavanje strojeva, opreme i sustava, koji se tradicionalno naziva telemetrija, može biti dio M2M komunikacije. [29]

[10] Pojam *Cyber sigurnost (engl. Cyber Security)* odnosi se na područje tehnologija, procesa i praksi namijenjenih zaštiti mreža, uređaja, programa i podataka od napada, oštećenja ili neovlaštenog pristupa. Cyber sigurnost se također može nazvati sigurnošću informacijske tehnologije. [31]



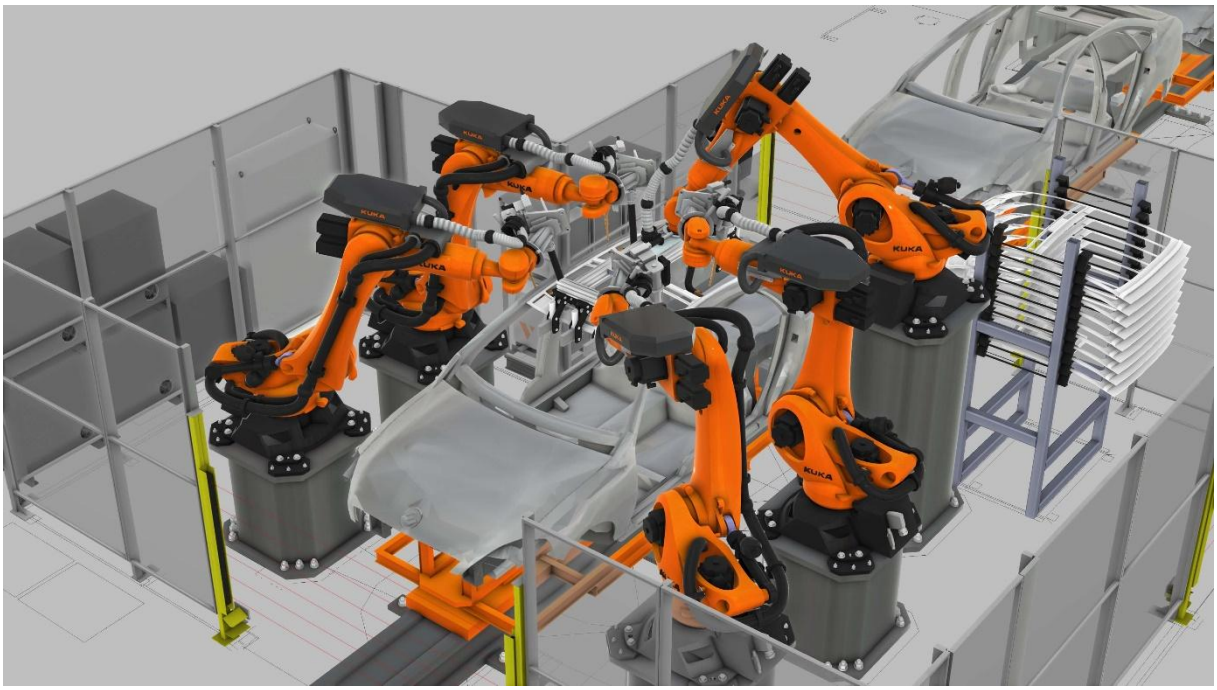
Slika 8. Devet tehnologija prema BCG [32]

Autonomni roboti su roboti koji postaju sve više autonomniji, fleksibilniji i sposobni međusobno surađivati i komunicirati. Kao primjer, BCG navodi proizvođača robota i robotske opreme Kuka (Slika 9) čiji roboti mogu uzajamno komunicirati, odnosno djelovati. Takvi roboti su međusobno povezani tako da mogu zajedno raditi i automatizirano prilagođavati svoje radnje, kako bi odgovarale sljedećem nedovršenom proizvodu u proizvodnoj liniji. Također, sadrže i moderne senzore i upravljačke jedinice koje omogućuju i rad pored i u suradnji s čovjekom. [30]



Slika 9. Autonomne robotske ruke proizvođača Kuka [33]

Simulacije kao tehnologiju Industrije 4.0 zapravo čine 3D simulacije proizvoda, materijala i proizvodnih procesa koje koriste podatke fizičkih proizvodnih procesa u stvarnom vremenu prenoseći ih istovremeno u virtualni model. To ponajprije omogućava radnicima da u virtualnom svijetu testiraju i optimiziraju postavke strojeva za sljedeći proizvod u proizvodnoj liniji, prije nego te postavke podese na onim stvarnim, fizičkim strojevima. Takav pristup rezultira velikom uštedom vremena koje se odnosi na postavljanje i podešavanje strojeva. (Slika 10.) [30]



Slika 10. 3D simulacija rada robotskih ruka proizvođača Kuka [34]

Horizontalna i vertikalna integracija u kontekstu Industrije 4.0 također su važni pojmovi koji se tiču povezivanja elemenata koji sudjeluju u cjelokupnom proizvodnom procesu ili lancu stvaranja vrijednosti. Pri tome, horizontalna integracija označava povezivanje podsustava (poput računalnih sustava, resursa, procesa i toka informacija) unutar samog poduzeća sa istovjetnim podsustavima različitih sudionika u globalnom lancu vrijednosti, koji su na istoj hijerarhijskoj razini. Vertikalna integracija odnosi se na umrežavanje proizvodnih sustava na različitim hijerarhijskim razinama unutar pojedine tvrtke. Pametna tvornica spomenuta u potpoglavlju 2.1.4, primjer je vertikalne integracije. Drugim riječima, horizontalna integracija podrazumijeva integraciju informacijsko-tehnoloških sustava u proizvodnu i automatiziranu opremu namijenjenu različitim razinama proizvodnih procesa s ciljem da se omogući razmjena informacija između poduzeća i geografski udaljenih lokacija u lancu stvaranja vrijednosti. Vertikalna integracija može se shvatiti kao integracija informacijskih tehnologija u računalne sustave proizvodne i automatizirane opreme različitih hijerarhijskih razina (npr. senzori, upravljačka razina, razina upravljanja cjelokupne proizvodnje). [35]

S aspekta računalne sigurnosti, u Industriji 4.0 potreba za zaštitom kritičnih industrijskih sustava i proizvodnih linija od *cyber* prijetnji drastično raste. Kao rezultat toga, od najviše

važnosti su sigurne, pouzdane komunikacije, kao i sofisticirano upravljanje identitetom i pristupom strojevima i korisnicima koje spada u tzv. ***Cyber sigurnost***. [30]

Računalstvo u oblaku (engl. ***Cloud Computing***) je informacijska tehnologija koja na zahtjev korisnika omogućava mrežni pristup zajedničkom „bazenu“ podesivih računalnih resursa (npr. mreža, servera, baza podataka, aplikacija i usluga). Ti računalni resursi su brzo dostupni i dohvatljivi uz minimalan upravljački napor ili interakcije pružatelja usluga. Pet glavnih karakteristika računalstva u oblaku su: [36]

1. usluga na zahtjev,
2. široki mrežni pristup,
3. sakupljanje resursa,
4. brza elastičnost i mjerena usluga.

Prema ASTM International, međunarodnoj organizaciji za standardizaciju, ***aditivna proizvodnja*** (engl***. Additive manufacturing***) je postupak spajanja materijala u svrhu izrade proizvoda korištenjem podataka iz 3D modela i to obično sloj po sloj, za razliku od proizvodnih metoda odvajanjem čestica. [37]

Aditivna proizvodnja zbog svojih svojstava izrade sofisticiranih predmeta s naprednim obilježjima (npr. novi materijali i veoma složeni oblici), može postati ključna tehnologija za (masovnu) proizvodnju proizvoda prilagođenih kupcu. Naime, u Industriji 4.0 javlja se potreba za masovnom prilagodbom proizvoda, odnosno pružanjem (masovnih) usluga na zahtjev. [38]

Tehnološki trend koji se također pojavljuje u Industriji 4.0 je i ***proširena stvarnost*** (engl. ***Augmented Reality***). Sustavi temeljeni na proširenoj stvarnosti koriste računalno konstruirane slike i video kao nadopunu korisnikova (čovjekova) pogleda u stvaran prostor te na taj način poboljšavaju korisnikovu trenutnu percepciju stvarnosti i pružaju mu određene, dodatne korisne informacije. Drugim riječima, s tehnologijom proširene stvarnosti korisnik vidi stvarno okruženje s virtualnim dodacima. Prema tome, proširena stvarnost nadopunjuje stvarno okruženje, za razliku od virtualne stvarnosti gdje je korisnik u potpunosti uronjen u virtualno okruženje (Slika 11.).

Prema definiciji, sustav proširene stvarnosti sastoji se od sljedećih karakteristika: mora kombinirati realno i virtualno, mora se odvijati u stvarnom vremenu te moći prepoznati i konstruirati u trodimenzionalnom prostoru. [39]



Slika 11. Primjer proširene stvarnosti [40]

Prema definiciji poduzeća Gartner, izraz ***velika količina podataka*** ili ***veliki podaci*** (engl. ***Big data***) označava informacijska sredstva velike količine (engl. *High-volume*), velike brzine (engl. *High-velocity*) i velike raznovrsnosti (engl. *High-variety*), koja zahtijevaju ekonomične i inovativne oblike obrade podataka. Nadalje, takvi oblici obrade podataka omogućuju poboljšani uvid u proizvodne i druge industrijske procese, bolju računalnu podršku donošenju odluka i automatizaciju procesa. [41]

Pri tom, spomenuta velika količina iz definicije se odnosi na velike količine prikupljenih (skupova) podataka. Velika brzina se odnosi na mnoštvo transakcija koje se izvršavaju i rezultiraju brzim generiranjem tokova podataka i vrlo ograničenim vremenom u kojem je potrebno djelovati na temelju tih podataka, a velika raznovrsnost se pak odnosi na mnoštvo izvora iz kojih potječu ti podaci. [42]

3. LEAN PROIZVODNJA

Sam naziv „Lean proizvodnja“ koji se nerijetko niti ne prevodi u hrvatskoj literaturi, potječe od engleskog pridjeva „lean“ što u doslovnom prijevodu znači „mršav“, ali općenito prevodi kao „vitka“ ili „tanka“ proizvodnja. Sama riječ Lean prvi se puta spominje u knjizi „*The machine that changed the world*“ J. P. Womacka i D. T. Jonesa, gdje su prvi puta opisane razlike u stilovima (tj. *filozofijama*) proizvodnje japanske i zapadnjačke automobilske industrije. U toj su knjizi autori iskoristili pojam Lean kako bi opisali Toyotin proizvodni sustav. [43]

Prema zaključku u jednom znanstvenom istraživanju profesora Josteina Pettersona s Norveškog Sveučilišta za znanost i tehnologiju (NTNU) iz 2009., veoma je teško u (do tada) postojećoj i relevantnoj znanstvenoj literaturi (bilo) pronaći jednoznačne odgovore na pitanja poput: *Što je Lean? Kako se definira s obzirom na ostale koncepte upravljanja? Što mu je zajedničko s ostalim konceptima upravljanja?* i druga. [44]

Čini se logičnim da koncept upravljanja popularan kao Lean ima jasnu i konciznu definiciju. Neki su autori pokušali definirati sam koncept, primjerice Lewis (2000.), Hines i suradnici (2004.) te Shah i Ward (2007.). Dok su drugi istraživali pitanje jasnoće definicije samog koncepta: Engström i suradnici (još 1996.), zatim Lewis (2000.) te Dahlgaard i Dahlgaard-Park (2006.). [44]

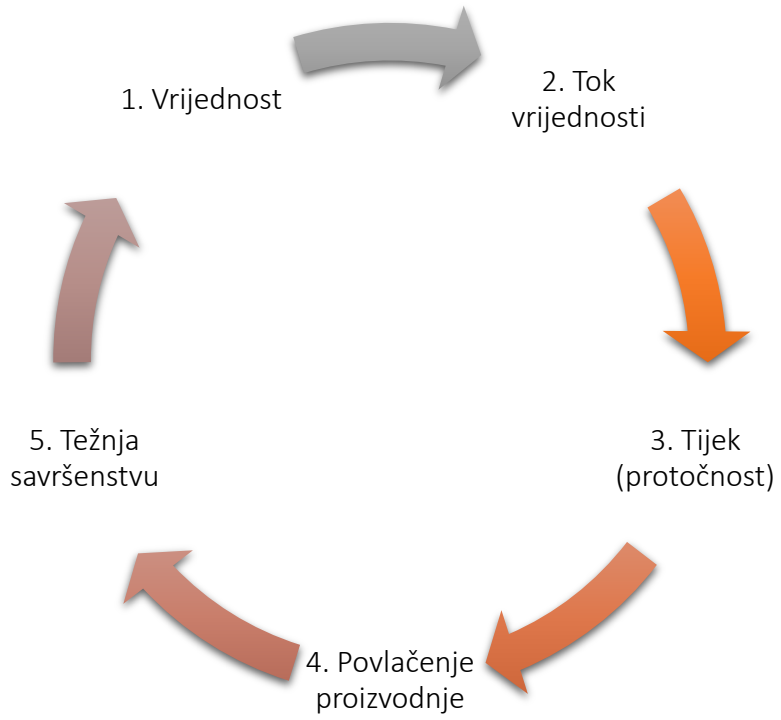
Međutim, pojam Lean proizvodnje u najopćenitijim crtama može se objasniti zapravo kao cjelokupna filozofija upravljanja proizvodnjom čiji je cilj identifikacija i eliminacija svih aktivnosti (vezanih uz proizvodnju) koje ne pridonose stvaranju vrijednosti, odnosno predstavljaju izvor rasipanja (gubitaka) u proizvodnom procesu. Na taj se način postiže fleksibilnost proizvodnih pogona i proizvodnih procesa, smanjuju se vremena pojedinih procesa, te se povećava njihova učinkovitost. Sve navedeno rezultira postizanjem osnovnog načela Lean proizvodnje prema kojem se gotovi proizvodi ili usluge i njihove kvalitete i količine točno poklapaju sa željama kupca odnosno tržišta. [45]

Toyotin proizvodni sustav nastao je kao svojevrstan odgovor na poslijeratno stanje u Japanu, koje je bilo obilježeno ograničenim tržištem, ograničenim resursima i malim dobavljačima, malim sredstvima za ulaganje, malom kupovnom moći itd. Uzimajući sve to u obzir, obilježja

Toyotinog proizvodnog sustava su velika varijabilnost proizvoda, male serije, mala količina zaliha, fleksibilna proizvodnja i visoka kvaliteta. Ta bi se obilježja drugim riječima mogla opisati i kao manje procesa i pogona, manje skladišta, smanjenje vremena proizvodnje i isporuke proizvoda, manje ljudskog napora i manje investicija. Sve navedeno ide u prilog odabiru pojma „vitak“ pri označavanju takve filozofije u proizvodnji. Prema opisu Leana iz početka ovog poglavlja, filozofija Leana temelji se na smanjenju tzv. rasipanja. Rasipanje je pojam koji označava elemente proizvodnog procesa, koji ne sadrže nikakvu vrijednost. Može se reći da su to i aktivnosti koje ne donose direktnu vrijednost proizvodu i predstavljaju gubitke. [45]

3.1. Glavna načela Leana

U svojoj drugoj knjizi na temu Lean proizvodnje, autori Womack i Jones su 1996. definirali pet osnovnih načela, odnosno principa Lean proizvodnje. Na Slici 12. možemo vidjeti prikaz tih pet principa u obliku zatvorenog kruga, što ukazuje na to da je njihovo provođenje proces koji se uvijek iznova ponavlja. [46]



Slika 12. Glavni principi Leana [47]

Vrijednost je definirana kao prva od glavnih načela Leana. Pod pojmom *vrijednosti* zapravo se misli na definiranje onog što je poželjno krajnjem kupcu, odnosno definiranje vrijednosti proizvoda sa stajališta kupca.

Drugo glavno načelo Lean proizvodnje je tzv. ***tok vrijednosti***. Tok vrijednosti podrazumijeva sve aktivnosti koje sudjeluju u procesu stvaranja prije spomenute vrijednosti, odnosno kako se ta vrijednost stvara u poduzeću. Izrada idealnog toka vrijednosti je stoga važna kako bi se postigao proizvod upravo onakav kakvog ga kupac želi. Pri određivanju toka vrijednosti koriste se različite metode, no najpoznatija i najčešće korištena je metoda tzv. mapiranja toka vrijednosti. Ono predstavlja grafički prikaz ili simulaciju toka informacija i materijala kroz proizvodni sustav, pritom koristeći jasno definirane simbole i pravila.

Sljedeće načelo je tzv. ***tijek***, odnosno protočnost i njegovo postizanje. Cilj ovog načela je osigurati spomenutoj vrijednosti da prođe kroz sve aktivnosti u proizvodnom sustavu, prema toku vrijednosti, bez zastoja i čekanja te u najkraćem mogućem vremenu.

Četvrto glavno načelo odnosi se na tzv. ***povlačenje proizvodnje***. Time se misli na potrebu za uspostavljanjem „povlačenja“ u proizvodnom sustavu. Drugim riječima, želi se postići da prethodna operacija proizvodi samo ono što sljedeća operacija zahtijeva. Povlačenje „zadaje“ kupac svojim zahtjevom ili zahtjevima na proizvodu.

Posljednje glavno načelo Lean proizvodnje odnosi se na ***težnju za savršenstvom***, tj. kontinuiranim poboljšavanjem. Ono se odnosi na uzastopno unaprjeđenje svih procesa u proizvodnom sustavu. Drugim riječima, peto glavno načelo znači da bi sva poduzeća trebala kontinuirano primjenjivati prva četiri glavna načela.

Primjena Lean načela nije ograničena samo na proizvodna poduzeća, već se može primijeniti u svim djelatnostima i u svim organizacijskim strukturama. [48]

Doduše i same organizacijske strukture mogu biti predmet promjena baš uslijed primjene Lean poslovanja. Neke aktivnosti na koje je moguća primjena glavnih Lean načela su proizvodnja proizvoda, provjera kvalitete i kvantitete, isporuka proizvoda, isporuka usluga, razvoj ambalaže, ispunjavanje obrazaca, kontakt s kupcima, prodaja, kontakt s dobavljačima – nabavni poslovi, marketing i druge. [48]

3.2. Aktivnosti Lean proizvodnje

Postoje dvije vrste aktivnosti u svim procesima: [48]

A. aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu (usluzi) i
B. aktivnosti koje ne dodaju vrijednosti proizvodu (usluzi).

Lean poduzeća će definirati aktivnosti koje dodaju vrijednost (A) ako je: [48]

1. kupac spreman platiti za tu aktivnost,
2. ta aktivnost preoblikovala proizvod ili uslugu,
3. aktivnost izvedena prvi put i na pravi način.

Ukoliko aktivnost ne zadovoljava uvjete (od 1. do 3.), tada se može zaključiti da se radi o aktivnostima koje se smatraju *otpadom* i koje se mogu prema japanskoj terminologiji obilježiti pojmovima jap. *muda*, jap. *mura* i jap. *muri.* [48]

Muda (šteta) označava skup aktivnosti koje troše izvore bez stvaranja vrijednosti za kupca i mogu biti: [48]

1. aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali se smatraju neophodnima za poslovanje i
2. aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali se ne smatraju neophodnima za poslovanje.

Mura (nejednakost) označava štetu koja je prouzrokovana varijacijama u kvaliteti, troškovima ili isporuci. Pojavljuje se kad aktivnosti ne idu glatko i bez prekida. Mura se događa kad se troše izvori, a ne može se predvidjeti kvaliteta (kako proizvodnih i prodajnih procesa tako i samoga proizvoda). [48]

Muri (pretjerivanje) označava nepotrebno ili nerazumno opterećenje kako ljudi, tako i strojeva ili sustava tako da se pređe njihov normalni kapacitet. Vezana je za to kako su dizajnirani radni procesi i radni zadaci. [48]

3.3. Gubici u poslovanju prema Lean proizvodnji

Prema Taichi Ohnou, Lean proizvodnja definira sedam vrsta gubitaka: *prekomjernu proizvodnju, transport, čekanje (zastoje), nepotrebne pokrete, prekomjernu obradu, škart i zalihe.* [46]

Razvojem Lean proizvodnje danas se uobičajeno na listu dodaje i osma vrsta gubitka u vidu *neiskorištenosti ljudskih potencijala* (Slika 13.). [49]



Slika 13. 8 gubitaka Leana [49]

Prekomjerna proizvodnja uključuje stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržište, izvođenje operacija koje nisu neophodne, stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva ili koja se neće kasnije koristiti (koja otežava administrativne poslove), loše predviđanje tržišta (potražnje), slanje upita prema previše ili premalo ljudi te tzv. proizvodnja „za svaki slučaj“.

Gubici u transportu uključuju nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između pojedinih operacija u procesu ili između skladišnih površina, korištenje starih i neoptimiziranih tokova materijala (pr. neučinkoviti razmještaj proizvodnih stanica), neučinkovit transport informacija te neuspješna komunikacija koja može rezultirati gubitkom podataka i nepouzdanim informacijama.

Gubici čekanja odnose se na vremena čekanja materijala (obradaka) između operacija, čekanje radnika na strojevima zbog loše planirane proizvodnje, čekanje na podatke, rezultate testova, informacije, odluke i odobrenja, čekanje na isporuku (npr. kašnjenje sirovina) i tako dalje.

Gubici prekomjerne obrade proizlaze iz predimenzioniranih strojeva, krive ili neispravne tehnološke opreme, prevelikog broja procesa obrade, previše detaljne obrade, ali i lošeg dizajna proizvoda (npr. previše složen proizvod koji zahtjeva previše koraka obrade).

Nepotrebni pokreti, u koje ulazi gibanje radnika uzrokovano lošim razmještajem strojeva, ručni rad za kompenzaciju nedostataka u procesu proizvodnje i općenito kretanje u svrhu prikupljanja informacija, također stvaraju gubitke.

Škart je proizvod ili dio proizvoda kojemu nedostaju potrebne tehničke karakteristike i kvalitete te koji ne udovoljava proizvodnoj namjeni. Zbog pojave škarta može doći do prekida proizvodnog toka, povećanih troškova i vremena za analizu i otklanjanje problema, što naposljetku predstavlja gubitak.

Zadnja vrsta gubitaka u vidu ***neiskorištenosti ljudskih potencijala*** javlja se kada zaposlenici nisu dovoljno dobro uključeni u proizvodne procese (npr. uloge u procesima su nejasno definirane), pa njihova ukupna znanja i vještine nisu u potpunosti iskorišteni. [50]

3.4. Alati Lean proizvodnje

S obzirom na to da se Lean proizvodnja već dugi niz godina koristi i implementira u radu raznih poduzeća, te je pri tome i jedna od najuspješnijih metoda i strategija upravljanja, u praksi postoji više desetaka različitih alata za njenu primjenu. Teškoća definiranja same Lean proizvodnje, također se javlja i pri definiranju raznih njezinih alata, koji često označavaju iste ili međusobno slične metode ili pristupe upravljanju. U nastavku će biti izdvojeni neki od Lean alata.

3.4.1. 5S

Naoko jednostavan, 5S je alat za organizaciju radnog mjesta tako da ono bude čisto, učinkovito i sigurno. Izvorni naziv mu potječe od prvih slova pet japanskih riječi od kojih svaka označava jedan od koraka primjene tog alata. S vremenom je alat 5S poprimio još jednu

dimenziju, pa ga se često može vidjeti i pod nazivom 6S, gdje se zadnji „S“ odnosi na Sigurnost (*engl. Safety*). [51]

Pregled spomenutih riječi, odnosno koraka te njihovo značenje 5S prikazano je u Tablica 1. [52]

Tablica 1. Prikaz značenja 5S alata [52]

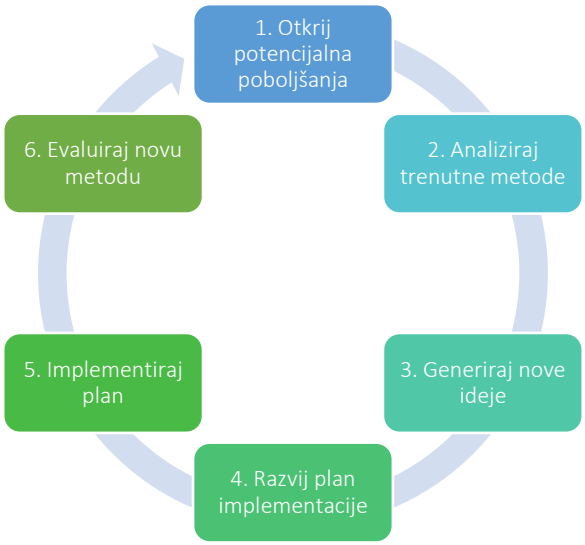
Riječi na japanskom	***Prijevod na engleski***	***Prijevod na hrvatski***	***Opis koraka***
Seiri	*Sort / Separate*	sortirati	Osloboditi prostor od nepotrebnih stvari koje identificiramo prethodnim sortiranjem svih stvari u tom prostoru.
Seiton	*Set-in-order / Systemize*	postaviti na mjesto	Na radnom mjestu ostaviti samo potrebne stvari te ih posložiti na način koji omogućava njihovo lakše pronalaženje, korištenje i vraćanje na mjesto.
Seiso	*Shine*	očistiti	Očistiti i održavati radno mjesto urednim, kako bi se omogućilo lakše otkrivanje potencijalnih greški, stvorila bolja radna okolina, povećala efikasnost itd..
Seiketsu	*Standardize*	standardizirati	Uspostaviti standarde, uvođenje vizualnih kontrola na radnim mjestima, itd. Održavanje stanja postignutog kroz prethodna tri koraka.
Shitsuke	*Sustain*	održati	Graditi kulturu 5S-a u poduzeću i održavati disciplinu, kako se ono ne bi vratilo na stari način rada.

Rezultat provođenja svih koraka 5S metodologije u poduzeću se očituje u više dobitaka, od kojih su neki [53]:

1. smanjenje broja aktivnosti koje ne stvaraju vrijednost,
2. smanjenje pogrešaka zaposlenika i dobavljača,
3. smanjenje vremena potrebnog za edukaciju i trening zaposlenika,
4. smanjenje vremena traženja i lociranja alata, dijelova i ostalog pribora u poduzeću,
5. smanjenje veličine zaliha, a indirektno i troškova zaliha,
6. smanjeno nepotrebno kretanje čovjeka i materijala,
7. povećanje iskoristivosti prostora,
8. povećana sigurnost za zaposlenike,
9. povećanje kvalitete proizvoda,
10. produljen vijek trajanja opreme zbog njihovog češćeg čišćenja i inspekcije.

3.4.2. Kaizen

Kaizen je jedna od Lean metodologija čije je značenje prevedeno s japanskog, a označava kontinuirano poboljšanje u malim koracima. Takav koncept kontinuiranog poboljšavanja prvi je predstavio Masaaki Imai u svom djelu *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* iz 1986. godine. Filozofija Kaizena temelji se na promjeni u kulturi poduzeća, koja bi ohrabrivala zaposlenike na aktivno sudjelovanje s prijedlozima ili samim sudjelovanjima u poboljšavanju aktivnosti. [54]



Slika 14. Koraci Kaizena

Stoga je fokus Kaizen metodologije usmjeren na zaposlenike, od radnika do menadžera, te se temelji na njihovom aktivnom uključivanju u procese poboljšanja putem timskog rada i suradnje. Cilj je stvoriti poticajnu radnu okolinu s kulturom rješavanja problema kroz primjenu znanstvenog i strukturiranog razmišljanja. Prema tome, primjena Kaizena ostvaruje se kroz šest osnovnih koraka koji su prikazani na Slici 14. [55]

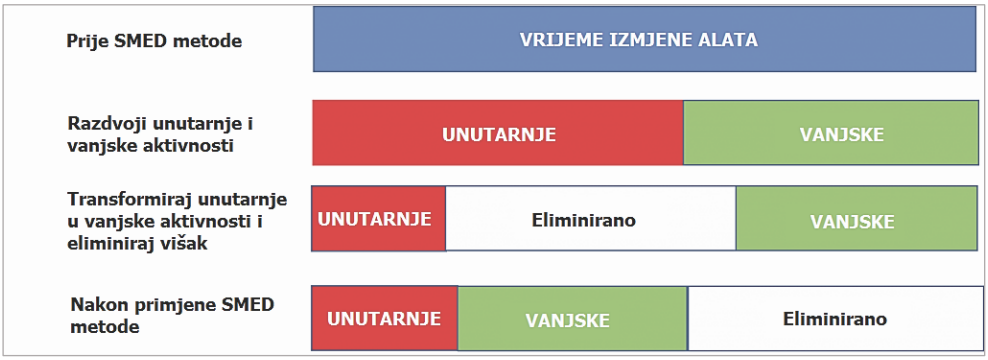
3.4.3. SMED

SMED (*engl. Single Minute Exchange of Die*) je metoda kojoj je glavni cilj smanjiti potrebno vrijeme izmjene alata. Vrijeme izmjene alata po definiciji uključuje vremena potrebna za pripremu strojeva, procesā ili sustavā, a mjeri se kao vrijeme proteklo od završetka proizvodnje zadnjeg dobrog proizvoda iz prethodne serije do završetka proizvodnje prvog dobrog proizvoda iz nove serije.

Prema SMED-u, izmjene alata bi se trebale svesti na jednoznamenkaste iznose minuta, odnosno na trajanje manje od 10 minuta. SMED razlikuje dvije različite vrste aktivnosti prema načinu izmjene alata: *unutarnje aktivnosti* i *vanjske aktivnosti*. Unutarnje aktivnosti se odnose na one koje se mogu obavljati samo kada stroj ne radi, odnosno stoji (npr. postavljanje alata); dok se vanjske aktivnosti odnose na one koje se mogu obavljati u vremenu dok stroj radi (npr. dopremanje novog alata). S obzirom na to da za vrijeme unutarnjih aktivnosti stroj stoji, upravo se ta vrsta aktivnosti pokušava optimizirati. SMED u svrhu skraćivanja vremena izmjene alata definira četiri osnovna koraka njegove primjene na pojedinom procesu: [56]

0. odabir i analiza procesa koji zahtjeva primjenu SMED metode (u slučaju kada ne postoji razlika između unutarnjih i vanjskih aktivnosti),
1. definiranje unutarnjih i vanjskih aktivnosti,
2. pretvorba unutarnjih aktivnosti u vanjske i eliminacija nepotrebnih aktivnosti te
3. konstantno poboljšavanje procesa traženjem novih rješenja.

Primjena SMED metode, u pojednostavljenom obliku, prikazana je na Slici 15.



Slika 15. Koraci SMED metode [57]

3.4.4. Mapiranje toka vrijednosti

Mapiranje toka vrijednosti (*engl. Value Stream Mapping*) jedan je od Lean alata koji služi za grafički prikaz toka vrijednosti za neki odabrani proizvod. Izraz *tok vrijednosti* označava ukupno kretanje materijala i informacija, ali i energije kroz procese koji čine lanac vrijednosti. Može se još reći da tok vrijednosti zapravo čine sve aktivnosti koje se trebaju izvršiti da bi se određeni proizvod proizveo. Razlozi zbog kojih mapiranje toka podataka predstavlja važan Lean alat su sljedeći: [58]

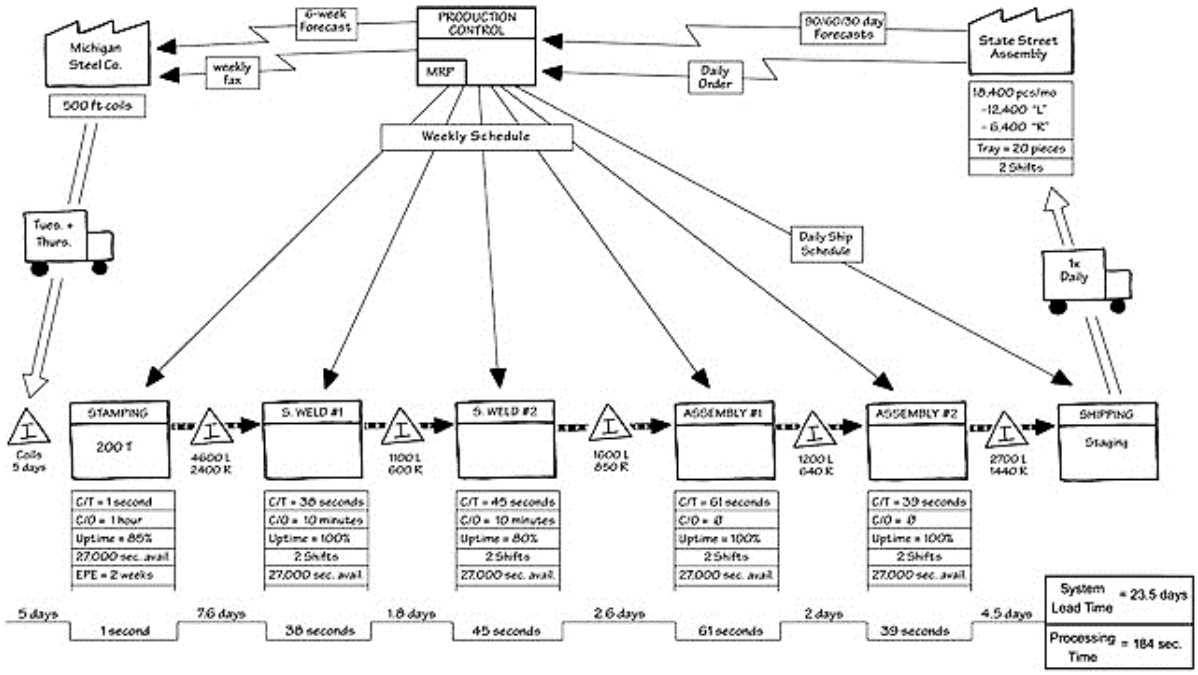
1. mapiranje toka podataka pomaže pri vizualizaciji cjelokupnog proizvodnog procesa, odnosno toka, a ne samo pojedine operacije (npr. montaža, zavarivanje, itd.),
2. pomaže pri uočavanju ne samo gubitaka, nego i izvora gubitaka,
3. predstavlja zajednički jezik pri razgovoru o proizvodnim procesima,
4. jasno prikazuje donesene odluke o toku podataka, pa time i pojednostavljuje donošenje takvih odluka,
5. međusobno povezuje i druge Lean alate i tehnike,
6. formira osnovu, tj. plan za implementaciju budućih poboljšanja u poduzeću, tako da ono postane Lean,
7. čini jedini alat koji prikazuje vezu između toka informacija i toka materijala,
8. služi za pružanje detaljnog opisa kako bi poduzeće trebalo raditi u svrhu kreiranja toka vrijednosti.

Primjena alata mapiranja toka podataka sastoji se od četiri glavna koraka:

1. odabir grupe proizvoda za koji se mapa toka vrijednosti izrađuje,
2. izrada mape trenutnog stanja,
3. izrada mape budućeg (željenog) stanja te
4. izrada plana rada i plana implementacije.

U prvom koraku odabiru se proizvodi koji će biti uključeni u razmatranje, a to su oni koji prolaze kroz iste promatrane aktivnosti ili operacije. U drugom koraku prikupljaju se podaci na temelju kojih ćemo u trećem koraku izrađivati mapu budućeg stanja. Mapa budućeg stanja je ona koja prikazuje tok vrijednosti kakav želimo ostvariti.

Drugi i treći korak se međusobno nadopunjuju, jer se često pri ispunjavanju jednog iznalaze ideje za drugi. Završni korak se odnosi na izradu plana rada i plana implementacije mape budućeg stanja iz prethodnog koraka; želi se postići onakav tok vrijednosti kakav je prikazan u toj mapi. Kada se mapa budućeg stanja usvoji u proizvodnom procesu, cijeli se postupak mapiranja toka podataka ponavlja i ta mapa postaje mapa trenutnog stanja. Opisani koraci mogu se vidjeti na Slici 16. [58]



Slika 16. Primjer mapiranja toka podataka [59]

4. UTJECAJ INDUSTRIJE 4.0 NA LEAN PROIZVODNJU

Prema istraživanju profesora Wagnera, Herrmanna i Thiedea sa sveučilišta u Braunschweigu, za uspješnu implementaciju Industrije 4.0 u pojedinim poduzećima valja uzeti u obzir i situaciju tih poduzeća prije početka procesa implementacije i to sa sociološkog i tehnološkog aspekta. Zapadnjačka industrijska proizvodnja je posljednjih desetljeća pod utjecajem Lean proizvodnje odnosno Lean menadžmenta. Imajući to na umu, implementacija Industrije 4.0 označavala bi i integraciju njenih (novih) tehnologija u postojeće Lean proizvodne sustave te prilagodbu postojećih poslovnih procesa. [60]

4.1. Strukturiranje tehnologija Industrije 4.0

Kako bi se dobio uvid u utjecaj tehnologija Industrije 4.0 na Lean proizvodnju te način na koje te tehnologije podržavaju Lean proizvodne sustave, najprije je potrebno strukturirati, tj. grupirati te sustave. U tu je svrhu fokus istraživanja Wagnera, Herrmanna i Thiedea bio na tehničkoj perspektivi kibernetsko-fizičkih sustava integriranih u proizvodnoj okolini.

Kao što je već ranije spomenuto, KFS označavaju ključnu tehnologiju Industrije 4.0. Takvi sustavi su zapravo zatvorene petlje koje se sastoje od prikupljanja podataka iz fizičkih procesa putem senzora, koji se zatim obrađuju u određenim softverima, te upravljanja procesima putem autonomnih aktuatora povezanih na internet i podatke i usluge samog KFS-a.

Primjena KFS-a u pametnim tvornicama naziva se kibernetsko-fizički proizvodni sustav (engl. *Cyber-Physical Production System*). Kibernetsko-fizički proizvodni sustav sastoji se od povezanih elemenata za prikupljanje podataka, obradu podataka, „komunikaciju“ strojeva i interakciju čovjeka i stroja te kao takav omogućuje decentralizirano autonomno upravljanje proizvodnjom. [60]

Podjela tehnologija Industrije 4.0 strukturirana prema gore spomenutim elementima kibernetsko-fizičkih proizvodnih sustava dijeli se na:

1. prikupljanje i obradu podataka,
2. komunikaciju strojeva (engl. *Machine to Machine Communication* − M2M) i

3. interakciju čovjek – stroj (engl. human-machine interaction; HMI).

Prikupljanje i obrada podataka su aktivnosti koje omogućavaju rad kibernetsko-fizičkih sustava. Tehnologije ove skupine povezuju hardvere senzora i aktuatora. Dodatni posrednički softver omogućuje i usluge poput računalstva u oblacima. Svi podaci prikupljeni putem senzora pohranjuju se u Big data platforme, gdje se obrađuju u analitičkim aplikacijama. Takvi podaci omogućuju provođenje istraživanja nad velikom količinom statističkih podataka iz procesa, a preuzetih sa samih strojeva. Njima se potom mogu identificirati nestabilni parametri u procesu.

Komunikacija strojeva ili M2M jedan je od glavnih aspekata Industrije 4.0. Odnosi se na koncept koji omogućava inteligentnim aplikacijama auto-adaptivno upravljanje (tj. upravljanje s povratnom vezom) međusobno povezanih strojeva i opreme i to bez ljudske interakcije.

M2M se odvija na dva načina: vertikalnom i horizontalnom integracijom. Vertikalnom integracijom se strojevi i podaci povezuju na različitim razinama, dok se horizontalna integracija odnosi na globalnu komunikaciju strojeva na istim razinama. Interakcija čovjek – stroj odnosi se ponajprije na tehnologije koje omogućuju razmjenu informacija i suradnju između proizvodnih strojeva i operatera. Pritom se misli na sučelja poput virtualne ili/i proširene stvarnosti. [60]

4.2. Matrica utjecaja Industrije 4.0 na Lean proizvodne sustave

Kako bi identificirali utjecaje Industrije 4.0 na Lean proizvodne sustave; Wagner, Herrmann i Thiede u svom su radu prikazali istraživanje provedeno u suradnji sa globalnom automobilskom industrijom. U prethodnom potpoglavlju spomenutim strukturiranjem tehnologija Industrije 4.0, čije će skupine služiti kao prvi i drugi red matrice, ostalo je definirati prvu kolonu, odnosno Lean principe koje je istraživanje razmatralo.

Lean principi, koji su u istraživanju razmatrani, su 5S, Kaizen, Just-in-Time (JIT), Jidoka. Heijunka, standardizacija, vrijeme takta, pull princip, odvajanje čovjeka i stroja, timski rad i ljudi i smanjenje otpada.

U provedenom istraživanju, prethodno strukturirane tehnologije Industrije 4.0, bile su ocijenjene prema procijenjenom utjecaju koji vrše na promatrane lean principe. Iz svega navedenog naposljetku je izrađena matrica utjecaja [60]:

Tablica 2. Matrica utjecaja

	Prikupljanje i obrada podataka				Komunikacija stroj prema stroju		Interakcija čovjek-stroj	
	Senzori i aktuatori	Računarstvo u oblacima	Big Data	Analitika	Vertikalna integracija	Horizontalna integracija	Virtualna stvarnost	Proširena stvarnost
5S	+	+	+	+	+	+	++	+++
Kaizen	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
JIT	++	++	+++	+++	+++	++	+	++
Jidoka	+	+++	+++	+++	++	++	+	+
Heijunka	++	++	+++	+++	+++	++	++	+
Standardizacija	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++
Takt vrijeme	+	+	+++	+++	+++	+++	+	+
Pull tijek	++	+	+	+	+++	+++	+	+
Odvajanje čovjek–stroj	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Ljudi i timski rad	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Smanjenje otpada	+	+	++	+++	+++	+++	+	+

U prikazanoj tablici vidi se utjecaj pojedinih tehnologija Industrije 4.0 na određene principe lean proizvodnih sustava. Pri tome, oznaka „+“ označava da bi određena tehnologija Industrije 4.0 mogla vršiti pozitivni utjecaj u manjoj mjeri na određeni Lean princip. Dvije takve oznake, odnosno oznaka „++“ označava procijenjeni visoki pozitivni utjecaj, a oznaka „+++“ označava procijenjeni najviši mogući pozitivni utjecaj tehnologije na odgovarajući Lean princip.

5. KONCEPT DIGITALNOG LEANA

U prethodnom poglavlju opisano je kako se nove mogućnosti, koje proizlaze iz informatičkih i komunikacijski tehnologija Industrije 4.0, poklapaju sa Lean proizvodnom okolinom. Drugim riječima, tehnologije Industrije 4.0 mogu stabilizirati i podržavati Lean principe [60].

Imajući to na umu, postavlja se pitanje kako bi točno trebao izgledati okvir, odnosno platforma koja bi spajala tehnologije Industrije 4.0 i Lean proizvodnju. Jedan od mogućih odgovora je u vidu koncepta *Digitalni lean* koji će biti predstavljen u ovom poglavlju.

Iako je Lean i dalje najjači alat za optimizaciju radnog mjesta, odnosno proizvodnje, fokus tradicionalnog Leana je preuzak za današnje kompleksne, povezane lance vrijednosti i prilagodljive proizvodne okoline. Posljednjih godina, digitalizirane proizvodne linije i digitalna analitika omogućile su brojne nove mogućnosti pojavom Digitalnog leana. [61]

Kada se govori o preuskom fokusu tradicionalnog Leana, misli se na njegove određene nedostatke u današnjim proizvodnim okruženjima. Nedostaci tradicionalnog Leana bi se mogli sažeti u sljedećih nekoliko točaka:

1. fokus na trenutnoj situaciji ili statusu (statičan pristup)
2. nepostojanje perspektive *end-to-end*[11] scenarija
3. ekonomična optimizacija diskretnih proizvodnih linija
4. fokus samo na onome što se može vidjeti. [61]

Dodana vrijednost koju predstavlja Digitalni lean su zapravo odgovarajuće aktivnosti koje bi zamijenile prethodno navedene nedostatke. Te prednosti Digitalnog leana su sljedeće:

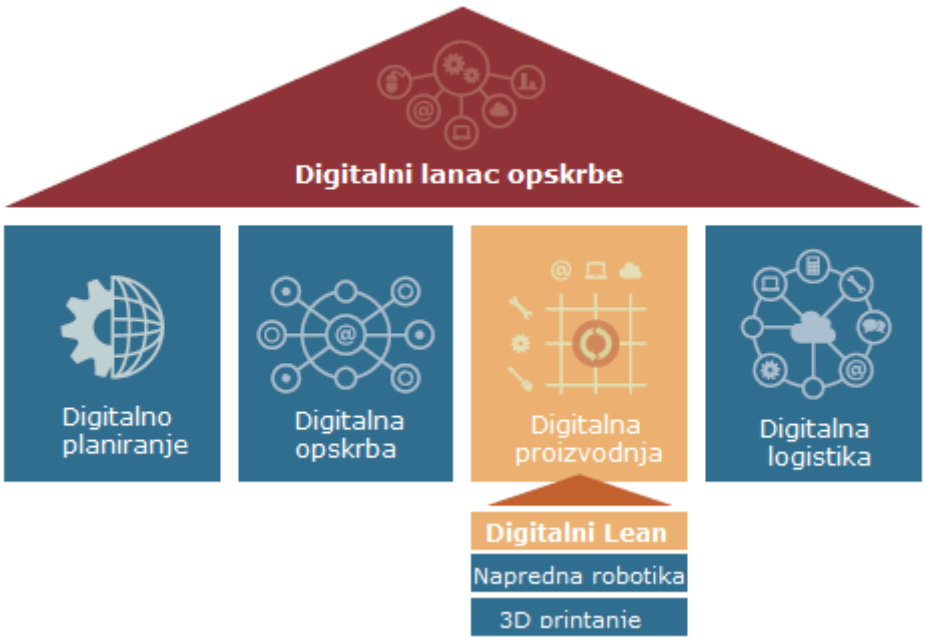
1. simulacija vremenskih sekvenci (dinamični pristup procesu) i analiza osjetljivosti
2. modeliranje fleksibilnih scenarija i simulacija
3. ekonomična optimizacija cijelih sustava ili lanaca vrijednosti reagirajući na okidače u procesima koji se protežu kroz nekoliko linija i holistično modeliranje vrijednosti
4. uvažavanje i nevidljivih faktora u procesima i korelacija između parametara. [61]

[11] odnosi se na proces koji promatra sustav ili uslugu od početka do kraja i nudi cjelovito funkcionalno rješenje [62]

5.1. Definicija Digitalnog leana

Digitalni lean je ključan dio digitalne proizvodnje, koja je i sama jedna od temeljnih stupova digitalnog lanca opskrbe (Slika 17.). Za razliku od tradicionalnog Leana, Digitalni lean fokusira se na optimizaciju postavka cjelokupnog sustava proizvodnje. Digitalni lean, kao takav, može ponuditi odgovore na pitanja poput sljedećih:

- Kako se mogu optimizirati materijalni tokovi na svakom koraku u lancu stvaranja vrijednosti?
- Koje se dodatne uštede mogu stvoriti, izvršavanjem promjena u lancu vrijednosti (npr. konsolidiranjem ili odvajanjem određenih koraka)?
- Kako se proizvodni sustavi mogu učiniti robusnijima? Gdje se javljaju najveći neuspjesi ili kako reagirati na potencijalne ovisnosti između neuspjeha? [61]



Slika 17. Digitalni lean u kontekstu digitalnog lanca opskrbe [61]

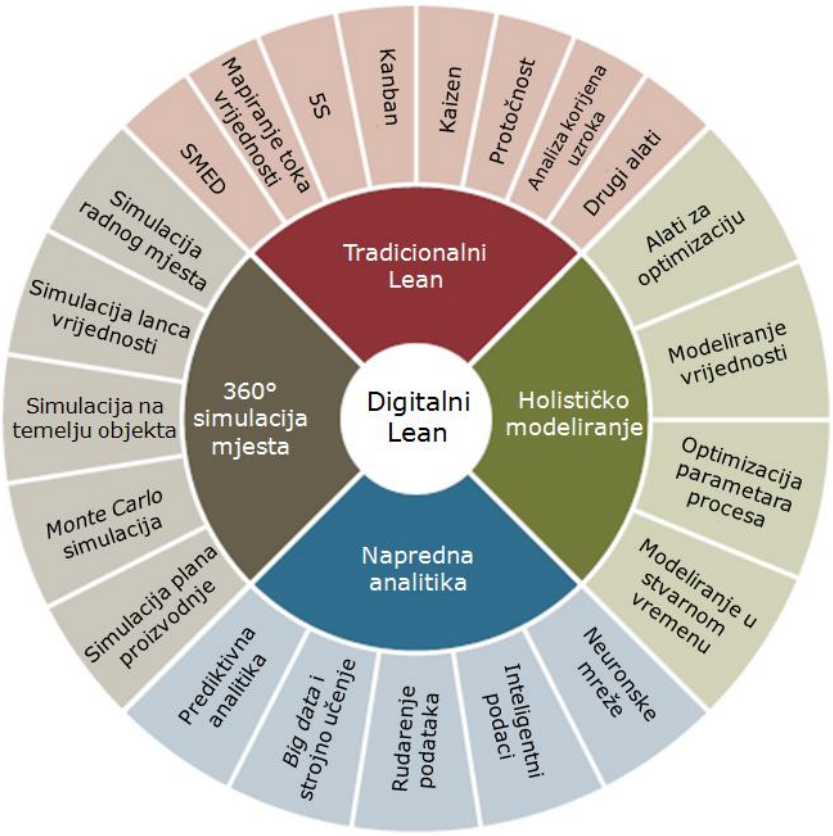
Digitalni lean omogućava poduzećima prenamjenu staromodnih ručnih alata u moderne snažne alate za iscrpno testiranje hipoteza, simulaciju scenarija i izračun troškova i to bez rizika, stvarnog testiranja i prave implementacije. Način na koji to omogućuje je

kombiniranjem analitičke snage i širine tradicionalnog Leana sa tri nova digitalna alata: *360° simulacijom mjesta, holističnim modeliranjem* i *naprednom analitikom* (Slika 18.). [61]

360° simulacija mjesta odnosi se na alate za simulaciju procesa. Općenito, alati za simulaciju konceptualno digitiziraju proizvodne procese, kojima se zatim može manipulirati u nekom digitalnom okruženju, a sve u svrhu pronalaženja boljih alternativnih rješenja tih proizvodnih procesa. Na primjer, simulacijama se mogu identificirati nedostaci, izračunati kapaciteti imovine i resursa, optimizirati zalihe, smanjiti proizvodna vremena i balansirati iskorištenje proizvodne linije. Provedenim nerizičnim digitalnim simulacijama dobivaju se korisni podaci i uvid u proces, koji se zatim mogu implementirati u stvarne proizvodne sustave. Tipični alati 360° simulacija mjesta uključuju simulacije radnog mjesta i tijeka rada, simulaciju procesa u lancu vrijednosti, simulaciju zasnovanu na agentu, Monte Carlo simulaciju i simulaciju plana proizvodnje. [61]

Holističko modeliranje također koristi upraviteljima operacija za pregled i bolje razumijevanje tokova procesa i testiranje proizvodnih hipoteza. Ono podrazumijeva primjenu iterativnih algoritama za rješavanje kompleksnih problema i dolazak do konkretnih rezultata. Jedan od načina na koji se to postiže je dinamičko modeliranje međuovisnosti i varijanci, mjerenjem specifičnih pokazatelja performansi na sučelju procesa, kako bi se odredio najefikasniji dizajn. Najučestalije korišteni alati su modeliranje u stvarnom vremenu, modeliranje parametara procesa, modeliranje vrijednosti, rješavanje optimizacijom i financijsko modeliranje. [61]

Napredna analitika odnosi se na sofisticirane statističke analize i alate poput prediktivne analitike, Big data, strojnog učenja, podatkovne inteligencije i neuronskih mreža. Takvi alati pružaju bolje razumijevanje kompleksnih proizvodnih procesa i načine na koje se oni mogu poboljšati (npr. identificiranje ovisnosti i detekcija potencijalnih grešaka prije nego se one materijaliziraju). Također, uvidom u podatke iz prošlosti, upravitelji operacija mogu uočiti uzorke i relacije između diskretnih procesnih koraka i ulaza te ih tako optimizirati postižući najveći učinak na prinos. [61]



Slika 18. Digitalni lean [61]

5.2. Prednosti digitalizacije kod podrške Lean proizvodnji

Današnjom evolucijom digitalnih tehnologija, omogućeno je restrukturiranje kulturnih i poslovnih modela na više načina nego što je to bilo moguće samo Lean metodologijom. No, valja imati na umu da i digitalne tehnologije i Lean imaju zajedničku temeljni cilj: poticati profitabilni rast. Stoga se i javila ideja samog digitalnog Leana, gdje bi Lean olakšavao usvajanje digitalnih tehnologija pružajući okvir za njihov razvoj, a digitalne tehnologije bi djelovale kao katalizator za primjenu Lean transformacija. [63]

Kako bi se dobio uvid u način na koji digitalno upotpunjuje lean i obratno, u daljnjem tekstu navedena su tzv. „četiri glavna stupa Leana“ koja proizlaze iz glavnih Lean principa, a kako ih tumači Marie-Christine Barnaud iz poduzeća Cognizant. Spomenuta četiri glavna stupa Leana su:

1. fokusiranje na vrijednost i ono što je značajno poduzeću i kupcu,
2. analiza cjelokupnog lanca vrijednosti kako bi se eliminirali gubici,
3. prilagodba proizvodnje prema potražnji, tj. zahtjevima kupca,
4. težnja za kontinuiranim poboljšanjem u svrhu postizanja operativne izvrsnosti. [63]

Ostvarenje svakog od navedenih stupova je na neki način pod utjecajem „digitalnog“. U kontekstu prve točke, fokusiranja na vrijednost i ono što je važno poduzeću i kupcu, digitalne tehnologije u Lean integriraju nove komunikacijske kanale (npr. društvene medije, komercijalne platforme, chat sobe, forume, itd.) sa tradicionalnim dodirnim točkama, kako bi promicale ciljanu komunikaciju i jačale kolektivno znanje kupca i poslovnih partnera o Lean logici. Također, primjenjuju se digitalni alati za olakšavanje i poticanja suradnje sa kupcima, pa i zajedničkog stvaranja novih proizvoda. Pri tome se koriste i informacije prikupljenje od kupaca, za proširenje znanja o njima, te identifikaciju područja gdje se javljaju problemi. [63]

Što se tiče eliminacije gubitaka, digitalno omogućava gotovo trenutnu dematerijalizaciju papirnatih dokumenata i dijeljenje informacija sa minimalnim troškovima. Također automatizira poslovne procese niske vrijednosti, smanjuje kašnjenja, troškove transporta i greške, a digitalnim alatima i identificira, kvantificira, smanjuje ili potpuno eliminira izvore gubitaka. U tu svrhu koristi se i Internet stvari. [63]

Prilagodbu proizvodnje prema zahtjevima kupca digitalizacija potpomaže tako što podržava istovremeno dijeljenje informacija, iskorištava podatke za dobivanje uvida u zahtjeve kupaca (pa čak i za njihovo predviđanje putem naprednih analitičkih modela), smanjivanjem zaliha i stvaranjem više fleksibilnih proizvodnih procesa sa boljim odzivom i to koncentriranjem na ono što je od kritične važnosti za kupca. Također omogućava analizu negativnih povratnih informacija dobivenih putem znanja o kupcima i uporabom Big data. Digitalno pospješuje i sposobnost predviđanja potražnje i optimizaciju razina zaliha. [63]

Na kraju, digitalno podržava Lean i u vidu težnje za kontinuiranim poboljšanjem. Jedan od načina na koji to radi je i taj što upotrebljava društvene medije, kako bi omogućio suradničku i otvorenu razmjenu, te omogućio klijentima i poslovnim partnerima stvaranje širokih zajednica koje se odnose na stalno poboljšanje. Pridonosi i u vidu uporabe online alata („u oblaku“) za dijeljenje informacija i suradnju fizički udaljenih timova. Promovira i otvoreno, kolaborativno okruženje podržano alatima i običajima upravljanja znanjem za razvoj korporativne kulture. [63]

6. METODOLOGIJA PRIMJENE DIGITALNOG LEANA U PROIZVODNIM PODUZEĆIMA

Prema Georgu Hoellthaleru, Stefanu Braunreutheru i Guntheru Reinhartu sa istraživačkog instituta u Augsburgu, Lean metodologija je s vremenom dostigla svoje granice zbog stalnog povećanja složenosti proizvodnih procesa. Razlog tom povećanju složenosti navodi se u primjeru povećanja informacija i njihovog međusobnog povezivanja, povećanja nestalnosti (promjenjivosti) i ubrzanog rasta vremenskih pritiska za izvršenje odluka i aktivnosti. [64]

Digitalizacija, odnosno digitalne tehnologije pružaju široku paletu mogućnosti kojima bi se nadoknadila ograničenja Lean proizvodnje i to na način da bi se povećala sposobnost rukovanja sa složenostima procesa i rastućoj fleksibilnosti. [64]

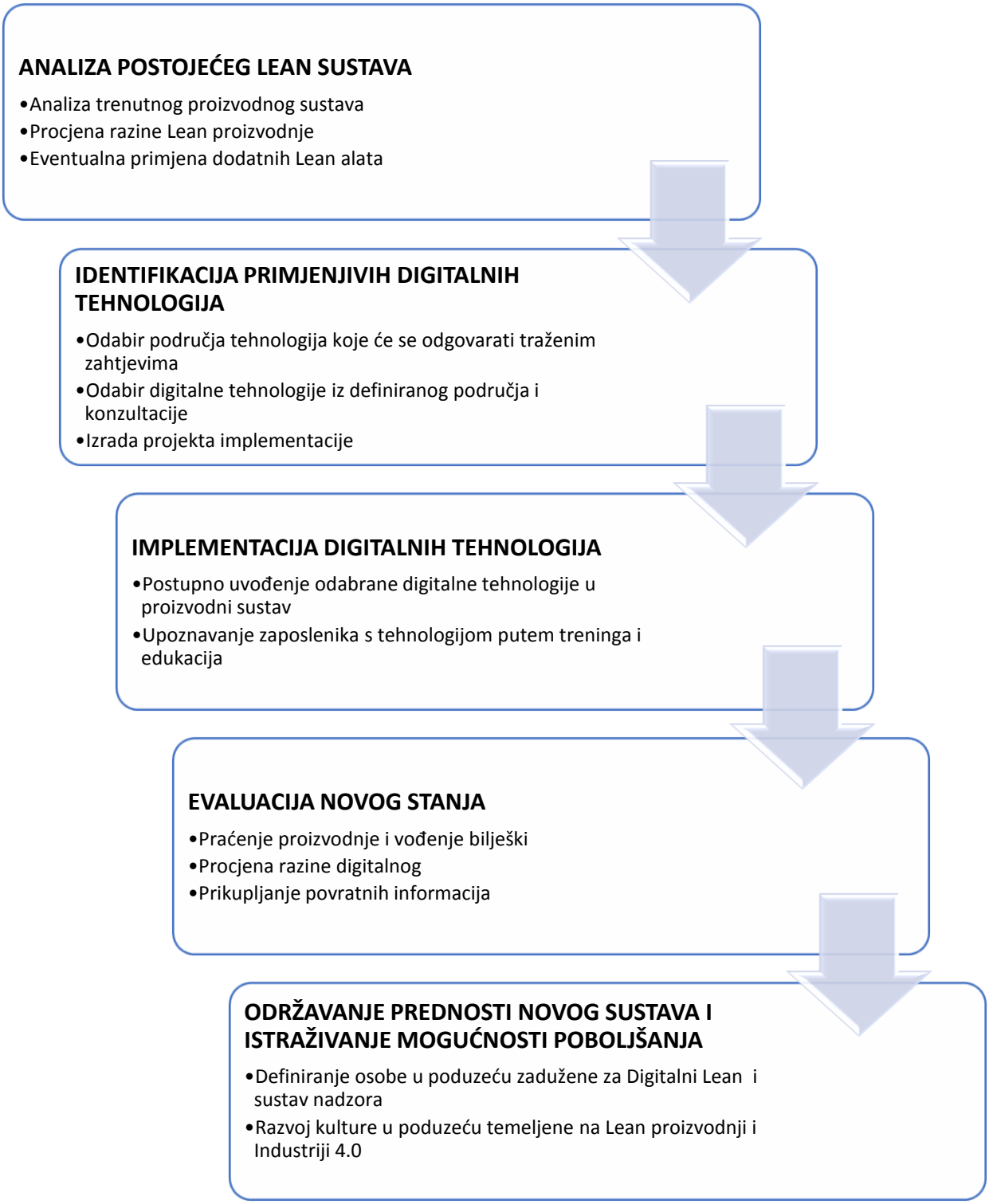
Kao primjer se može uzeti radna stanica na kojoj se uzastopce vrše različiti procesi sklapanja. Različitost tih procesa utječe na povećanje broja varijacija te povećanu nestalnost (tj. promjenjivost) procesa koja tada rezultira i sa povećanom složenošću. Povećana složenost bi mogla uzrokovati smanjenje stope kvalitete u inače savršenoj radnoj stanici i to bez obzira ako je u stanici implementirana Lean metoda poka-yoke. Digitalne tehnologije u vidu sustava za pružanja potpore, npr. proširena stvarnost, nude mogućnost podizanja stope kvalitete jer omogućuju nadzor i prijavu grešaka u svakom pojedinom procesu sklapanja. [65]

Za bolje razumijevanje potreba nekog Lean proizvodnog sustava za digitalnim tehnologijama, pa i način na koji bi te tehnologije mogle pridonijeti unaprjeđenju tog sustava, u nastavku će biti predložena metodologija primjene digitalnog Leana u poduzećima.

Predložena metodologija sastoji se od ukupno pet razina, odnosno faza, čijom provedbom poduzeće transformira svoj dotadašnji proizvodni sustav. To su:

1. Analiza postojećeg Lean sustava,
2. Identifikacija primjenjivih digitalnih tehnologija,
3. Implementacija digitalnih tehnologija,
4. Evaluacija novog stanja i
5. Održavanje prednosti novog sustava i istraživanje novih mogućnosti poboljšanja.

Navedene faze metodologije, sa popratnim koracima za svaku fazu, prikazani su na Slici 19. U nastavku će spomenuti koraci biti detaljnije objašnjeni.

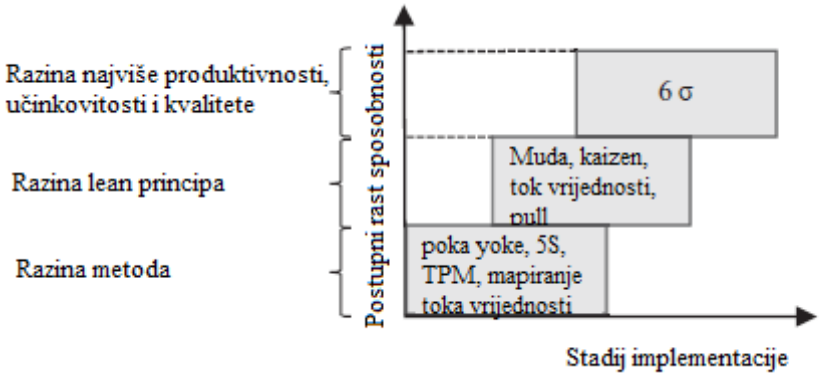


Slika 19. Faze metodologije

6.1. Analiza postojećeg Lean sustava

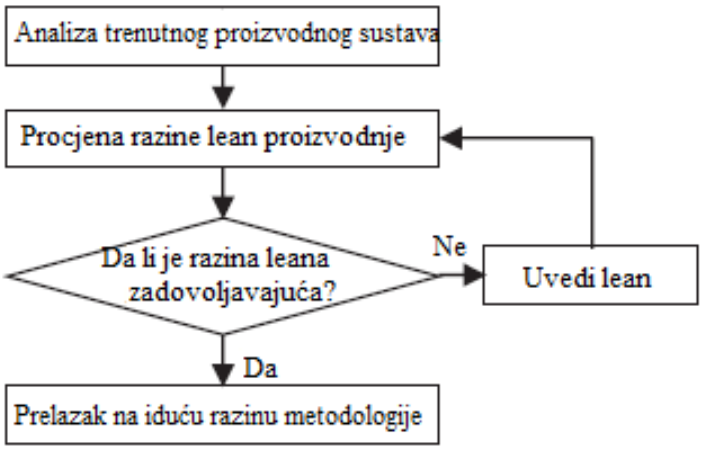
Kao što se dalo naslutiti iz gore spomenutog, preduvjet za digitalizaciju postojećeg proizvodnog sustava su već implementirani Lean alati, odnosno da je postojeći proizvodni sustav organiziran prema Lean principima.

Iz tog razloga, u prvom koraku prve razine metodologije, potrebno je napraviti analizu trenutnog proizvodnog sustava i lanca stvaranja vrijednosti. Drugim riječima, potrebno je dobiti uvid u organizaciju poduzeća koje se promatra. Saznanja dobivena iz prvog koraka pomoći će u izvršenju drugog koraka, tj. procjene razine implementiranosti Lean metodologije. Prema Hoellthaleru, Braunreutheru i Reinhartu, postoje tri razine implementiranosti Lean proizvodnje (Slika 20.). Prvu razinu čine obične metode poput poka-yoke ili 5S i one čine osnovu za sljedeću razinu, koja uključuje Lean principe poput eliminacije rasipanja i kontinuiranog poboljšavanja (kaizen). Treća razina predstavlja metodologiju i principe sadržane u npr. six sigma, a odnosi se na postizanje najveće moguće proizvodnosti, učinkovitosti i kvalitete.



Slika 20. Razine Lean proizvodnje [64]

Procjena razine implementiranosti Leana pomoći će nam pri adekvatnom odabiru digitalne tehnologije, kojem ćemo pristupiti u sljedećoj fazi metodologije. Sljedeći korak će biti na temelju izvršene procjene implementiranosti Leana, odlučiti o dodatnom upotrebljavanju nekog od pogodnih Lean alata ili prelazak u sljedeću fazu metodologije. Ukratko, prva razina metodologije je prikazana na Slici 21.



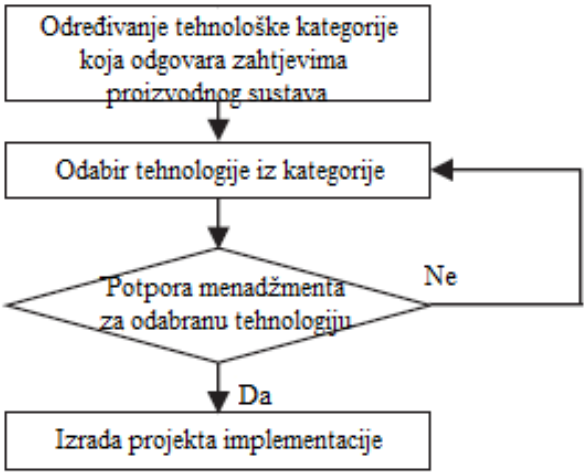
Slika 21. Shema prve razina metodologije

6.2. Identifikacija primjenjivih digitalnih tehnologija

U prvom koraku ove razine metodologije, potrebno je odrediti kategoriju tehnoloških gradivnih blokova čije će digitalne tehnologije odgovarati zahtjevima našeg proizvodnog sustava. Prema članku poduzeća Arthur D. Little o integriranju Lean principa i digitalne transformacije (*engl. Integrating lean principles into digital transformation*), definirano je pet kategorija, odnosno različitih tehnoloških gradivnih blokova prema mogućim operativnim zahtjevima. To su sljedeći [65]:

1. Kognitivan; tamo gdje se koristi prepoznavanje uzorka temeljeno na (Velikim) podacima i to za automatizaciju zadataka (npr. Big data ili napredna analitika, autonomni transportni sustavi, itd.)
2. Umrežen; gradivni blok koji povezuje strojeve, zadatke, i sl., putem dijeljenja informacija (npr. pametni strojevi i roboti)
3. Virtualni; gradivni blok kojemu je cilj povećati produktivnost razdvajanjem raznih fizičkih uvjeta i njihovim pretvaranjem u virtualne prostore (npr. tehnologije kibernetsko fizičkih sustava i proširene stvarnosti)
4. Orijentiran na čovjeka; gradivni blok kojemu je cilj stvoriti novo radno okruženje korištenjem kolektivnih znanja (npr. virtualno radno mjesto)
5. Koji stvara vrijednost; odnosi se na definiranje novog poslovnog modela korištenjem nove temeljne tehnologije za proizvodnju (npr. aditivna proizvodnja)

Nakon što se odredi područje tehnoloških gradivnih blokova, koje odgovara zahtjevima proizvodnog sustava, u sljedećem koraku je potrebno odabrati digitalne tehnologije iz tog područja. Odabir točnih digitalnih tehnologija ovisio bi o zahtjevima gledanog proizvodnog sustava, njegovoj složenosti, cijeni same tehnologije te potencijalnih poboljšanja koje bi te tehnologije donijela. Također, u ovom koraku bi se vodile konzultacije sa zaposlenicima te menadžmentom o mogućnostima izvedbe takvih digitalnih tehnologija s financijskog aspekta poduzeća. Potpora menadžmenta igra presudnu ulogu pri provedbi metodologije. U zadnjem koraku ove razine, nakon što se odrede digitalne tehnologije koja će se implementirati, pristupa se izradi projekta implementacije. Opis gore objašnjene druge razine prikazan je na Slici 22.



Slika 22. Shema druge razine metodologije

6.3. Implementacija digitalnih tehnologija

Treća razina metodologije primjene Digitalnog leana sastoji se od dva dijela:

1. Postupno uvođenje odabrane digitalne tehnologije u proizvodni sustav
2. Upoznavanje zaposlenika s tehnologijom

Uvođenje odabrane digitalne tehnologije u proizvodni sustav odvija se u malim koracima i u tu svrhu cjelokupni proces implementacije potrebno je razdvojiti na manje aktivnosti i zadatke. Time se, između ostalog, postiže i manje remećenje proizvodnje (npr. velikim zastojima ili čekanjima te prekidima u lancu stvaranja vrijednosti), s obzirom da je u interesu poduzeća da se proizvodnja i dalje odvija za vrijeme uvođenja Digitalnog leana. Za praćenje pojedinih aktivnosti, ali i cjelokupnog procesa implementacije, mogu se koristiti tzv. *post-it* papiri koji se svrstavaju u određena područja na ploči aktivnosti (*engl. Task Bord*). Prikaz

jedne općenite ploče aktivnosti, sa područjima *za napraviti*, *u toku* i *gotovo*, može se vidjeti na Slici 23.



Slika 23. Jednostavna ploča aktivnosti [66]

Prilikom same primjene odabrane digitalne tehnologije, od izrazite je važnosti u taj proces uključiti i zaposlenike. O njihovom prihvaćanju novog poslovnog modela će velikim dijelom i ovisiti njegova uspješnost. Prema istraživanju Linde Bonekamp i Matthiasa Surea sa Sveučilišta primjenjenih znanosti Hochschule Fresenius iz Kölna, za Industriju 4.0 su karakteristični viškovi poslova koji zahtjevaju nižu stručnost te sve veći prijelaz prema složenijim poslovima koji zahtjevaju veću stručnost. Iz tog razloga, potonji poslovi zahtjevaju intenzivan fokus na kontinuirano učenje i obrazovanje. Uzimajući to u obzir, kako bi se upoznalo zaposlenike sa novom tehnologijom i osiguralo njihovo prihvaćanje Digitalnog leana, u ovoj fazi će se također održavati razni treninzi i edukacije. [67]

6.4. Evaluacija novog stanja

Četvrta razina metodologije nastupa nakon što se u proizvodni sustav primjenila odabrana digitalna tehnologija, a sastoji se od sljedećih koraka:

1. Praćenje proizvodnje i vođenje bilješki
2. Procjena razine digitalnog
3. Prikupljanje povratnih informacija

Na ovoj razini metodologije se podrazumijeva da je postignuta proizvodna linija koja funkcionira na kombinaciji Lean principa i odabrane digitalne tehnologije. Stoga je u ovoj fazi metodologije potrebno provesti ponovnu analizu proizvodnog sustava, kao i onu koju smo proveli na samom početku metodologije. Cilj tog praćenja proizvodnje je utvrđivanje

koristi koje su ostvarene implementacijom Digitalnog leana. Također, u ovoj fazi provodi se i procjena razine, odnosno stupnja u kojem je proizvodni sustav pokriven sa digitalnim tehnologijama. Digitalne tehnologije se uvode u proizvodni proces prema potrebama, koje su definirane u drugoj fazi metodologije. Zadatak ove faze je upravo provjera ispravnosti donijetih odluka o broju i vrstama primjenjenih digitalnih tehnologija. Kad poduzeća jednostavno uvode tehnološke uređaje, bez obraćanja pozornosti kako se ti uređaji i tehnologije uklapaju u cjelokupni lanac stvaranja vrijednosti, javlja se rizik od neuspjeha. Postoji nekoliko razloga zbog kojih se digitalizacija mora provoditi u skladu s Lean principima. Ti razlozi su [65]:

- sofisticirane tehnologije rijetko mogu nadomjestiti manjkave tokove vrijednosti ili lošu kvalitetu podataka,
- rizik da digitalizacija procesa sa lošom kvalitetom ili lošim podacima samo naglasi postojeće mane,
- tehnološki uređaji specifični za jedno radno mjesto rijetko dovode do radikalnog pojednostavljenja procesa na razini cijelog poduzeća,
- neke tehnologije koje na prvi pogled izgledaju lako primjenjivo, mogu se pokazati suprotnima i uzrokovati frustracije kod zaposlenika i
- radikalno pojednostavljenje, kojemu se teži, zahtjeva holistički pristup kod transformacije toka vrijednosti

Osim navedenog, zadatak ove faze je i prikupljanje povratnih informacija o novom obliku proizvodnog sustava. Tu se ponajprije misli na osvrt zaposlenika na sustav te njihove eventualne kritike i sugestije.

6.5. Održavanje prednosti novog sustava i istraživanje mogućnosti poboljšanja

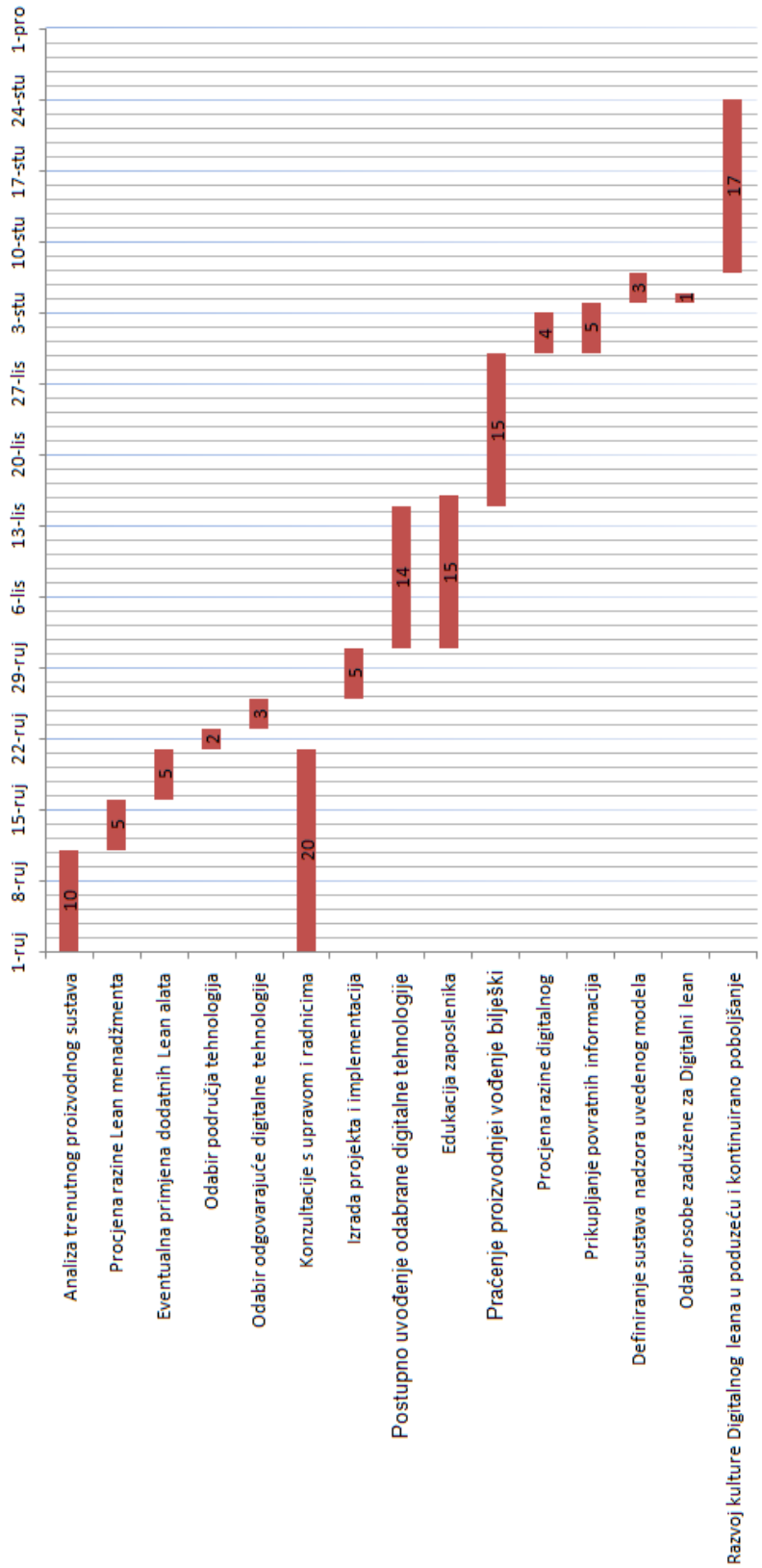
U konačnoj fazi poduzimaju se koraci koji osiguravaju daljnju, tj. kontinuiranu primjenu koncepta Digitalnog leana. U tu svrhu potrebno je odrediti osobu u poduzeću koja će biti zadužena za koncept. Ta osoba će odlaziti na dodatne seminare i edukacije o novim digitalnim tehnologijama te će joj glavni zadatak biti da kontinuirano proučava mogućnosti za unaprjeđenjem postojećeg sustava. Osim toga, potrebno je i uvesti sustav kontrole, tj. nadzora novo uvedenih promjena. Da bi primijenjen koncept kontinuirano uspješno funkcionirao, važno je i dalje educirati zaposlenike o prednostima tehnologija Industrije 4.0 i Lean metodologija i u tom kontekstu graditi kulturu poduzeća.

6.6. Praćenje provedbe Digitalnog leana

U svrhu olakšane primjene prethodno opisane metodologije, u ovom će se potpoglavlju ukratko predstaviti vizualno rješenje za praćenje faza iste.

Pošto je i sama metodologija općenita, jer odgovara na potrebe različitih poduzeća od kojih svako ima svoje specifičnosti, rješenje za praćenje provedbe metodologije temeljit će se na vizualizaciji dobivene gantogramom. Spomenuti gantogram prati sve korake svih 5 faza prethodno opisane metodologije. Za potrebe izrade gantograma, korišten je *Microsoft Office* softverski paket. odnosno MS Excel. Svim koracima u metodologiji pridodane su vrijednosti trajanja u danima. Trajanje određenih koraka ovisit će o uvjetima i potrebama određenog poduzeća u kojem se pristupa provođenju metodologije. Iz gantograma je vidljivo da će se određeni koraci pojedinih faza preklapati, gdje za to postoji mogućnost. Takvim se preklapanjem nastoji ubrzati vrijeme provođenja samog projekta.

Izrađeni gantogram sa svim elementima prikazan je na sljedećoj stranici (Slika 24.). Ukoliko pri provođenju metodologije i implementacije Digitalnog leana u nekom poduzeću postoji potreba za detaljnijom razradom pojedinih koraka i faza, za prikaz se mogu upotrijebiti drugi, složeniji alati (npr. *Microsoft Project*).



Slika 24. Gantogram implementacije

7. PRIMJER DIGITALNOG LEANA U PODUZEĆU KLIMAOPREMA d.d.

7.1. Uvod u praktični dio

U ovom će poglavlju biti iznesena ideja ovog rada, o sprezi Lean menadžmenta i digitalnih tehnologija, u praktičnom obliku. Praktičan dio rada je obavljen u poduzeću Klimaoprema d.d. u mjestu Gradna, nedaleko od Samobora. Klimaoprema d.d. vodeći je hrvatski proizvođač opreme za klimatizaciju, ventilaciju i čiste prostore.

Cilj je bio osmisliti rješenje za unaprjeđenje proizvodnih aktivnosti uporabom neke od novijih digitalnih tehnologija. Pri tome, spomenutu digitalnu tehnologiju moralo se ukomponirati u već postojeću Lean metodologiju ili se u prvom koraku trebao primijeniti neki od Lean alata na odabrano područje (proizvodni proces) u poduzeću te zatim „digitalizirati" taj proces.

Prilikom upoznavanja sa poduzećem, uočena je mogućnost poboljšanja poslovanja u odjelu „Montaža uređaja". Odjel montaže zauzima poveću prostoriju na katu proizvodne hale. Pri početku izrade ovog rada, u poduzeću je u tijeku bila implementacija 5S Lean alata te je i odjel montaže bio podvrgnut toj implementaciji. S obzirom na to, odlučilo se na digitalno unaprjeđenje poslova montaže koje bi nadogradilo, pa i pospješilo, uvedenu 5S metodologiju.

Promatranjem opusa posla koji se u odjelu obavlja, došlo se do zaključka da se u njemu vrši završna montaža, tj. sklapanje proizvoda i to najčešće tzv. *Passboxa* i *Bosch-kabina*. Proizvod na koji se stavio fokus promatranja bio je Passbox (Slika 25). Passbox je proizvod koji služi za premještanje stvari u, ali i iz „čistih prostora"[12].Takve kutije se najčešće koriste u raznim laboratorijima, bolnicama te farmaceutskim industrijama, odnosno svugdje gdje postoji potreba za očuvanjem neke prostorije od kontaminanata vanjske okoline. Osim što nude zaštitu prostorijama, olakšavaju i transport proizvoda i opreme. Promatranjem sklapanja jednog Passboxa ustanovljeno je kako radnik, koji radi na njegovoj montaži, nekoliko

[12] Čisti prostor - Cleanroom je definirani i kontrolirani prostor konstruiran na način da je unos, generiranje, sakupljanje i zadržavanje čestica (kontaminanata) minimizirano i kontrolirano. Prostor u kojemu filtrirani zrak ima pozitivan tlak u odnosu na okolne prostore u svim radnim uvjetima te zrak efikasno ispire prostor. Prostor u kojemu su svi relevantni parametri strogo kontrolirani: temperatura (19°C-25°C), relativna vlaga (45%-60%), buka, osvjetljenje i ostali parametri. [68]

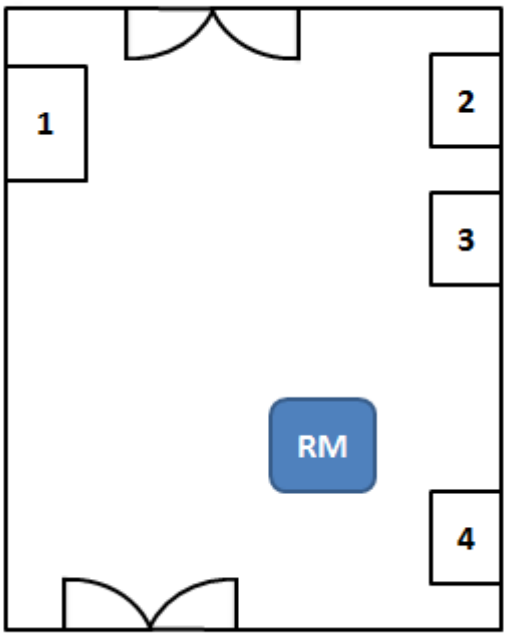
desetaka puta napusti svoje radno mjesto kako bi prikupio potrebne ugradbene dijelove (najčešće vijke, matice i sl.) i ostalu opremu.



Slika 25. Prikaz gotovog Passboxa

Naime, prilikom sklapanja proizvoda radnici prvo ne prikupljaju sve potrebne dijelove, nego ih odlaze tražiti kako se javlja potreba za njima. Potrebne dijelove za sklapanje proizvoda radnici uzimaju sa nekoliko lokacija u prostoriji. Za sklapanje Passboxa, radnici koriste dijelove s četiri lokacije u odjelu montaže (tlocrt s naznačenim brojevima lokacija i radnim mjestom na Slici 26). Te lokacije su uglavnom regali sa policama (npr. dimenzije jednog iznose 2900 x 1000 x 3000 *mm*) i ormari. Također, često se događa da pri traženju nekog

dijela radnik ga ne može odmah locirati, odnosno uočiti, pa tada zna potražiti pomoć i nekog od ostalih radnika.



Slika 26. Shema tlocrta odjela montaže

7.2. Primjena *Digitalnog 5S-a*

S obzirom na navedeno, ovim radom se počela razmatrati upravo ideja unaprjeđivanja vizualizacije prostora, koju već pruža 5S Lean metodologija. U svrhu otklanjanja gubitaka vremena prouzročenih zbog traženja i prikupljanja dijelova i alata, pristupilo se implementaciji ideje *Digitalnog 5S-a*. Cilj ovog rješenja je korištenjem novih digitalnih tehnologija skratiti vremena traženja i prikupljanja dijelova i alata za sklapanje određenih proizvoda, u našem slučaju Passboxa. Naime, uglavnom svaka lokacija gdje su pohranjeni neki od dijelova koji se montiraju u završni proizvod, predstavlja jedan regal s policama. Te police sadrže mnogo kutija sa dijelovima u pitanju te ih sam njihov broj čini nepreglednima.

Ideja Digitalnog 5S-a sastoji se u tome da bi se na svaku pojedinu kutiju, odnosno lokaciju određenog dijela, instalirao LED zaslon koji bi se aktivirao kada bi radnik tražio dio koji bi ta kutija sadržavala. Na spomenutom bi se zaslonu tada prikazao broj, koji bi označavao koliko dijelova iz te kutije bi radnik trebao uzeti. Radnik bi kod sebe imao neki od pametnih uređaja poput tableta ili pametnog telefona na kojem bi pritisnuo prikaz određenog proizvoda.

Pritiskom na određeni proizvod, na zaslonu uređaja bi se prikazale sve lokacije svih pojedinih dijelova koji idu u sklop tog proizvoda. Također, uređaj bi tada bežičnim putem aktivirao spomenute LED zaslone na svim kutijama koje sadržavaju dijelove potrebne za sklapanje proizvoda u pitanju.

Za potrebe ovog rada i u svrhu prikazivanja odvijanja gore spomenute ideje u praksi, pristupilo se izradi primjera opisanog sustava u pojednostavljenom obliku. Pri tome su se koristili *Micro:Bit* mikrokontroleri sa već integriranim LED zaslonima. Sve hardver komponente dane su u donjoj Tablici 3.

Tablica 3. Komponente za praktični dio

Naziv komponente	Količina
Micro:Bit mikrokontroler	3
Vanjski izvor napajanja	2
Kućište za mikrokontrolere	2
AAA baterije	6
Pametni telefon	1

Nakon ugradnje tri mikrokontrolera na tri kutije s dijelovima na proizvoljno odabranom regalu, pristupilo se provođenju simulacije i mjerenju podataka. Mikrokontroleri su se povezali putem *BLE* (engl. *Bluetooth Low Energy*) veze sa pametnim telefonom (Slika 27.). Putem mobilne aplikacije *nRF Connect* dostupne preko *Google* trgovine, simuliralo se traženje dijelova aktiviranjem prvo LED zaslona jedne kutije, zatim aktivacije LED zaslona na dvije kutije s dijelovima i na kraju aktivacijom LED zaslona na sve tri kutije. Simulacija je osmišljena da u pojednostavljenom obliku predstavlja pomoć pri traženju dijelova za tri različita proizvoda. Kod prvog slučaja gdje se pametnim telefonom aktivira LED zaslon na jednoj kutiji, takva simulacija predstavlja pomoć pri traženju dijelova jednog (prvog) proizvoda (Slika 28). Shodno tome, u drugom slučaju gdje se aktiviraju LED zasloni na dvije kutije s dijelovima, takva simulacija predstavlja pomoć pri traženju dijelova za drugi proizvod (Slika 29). Na kraju, u slučaju gdje se aktiviraju sva tri mikrokontrolera, takva simulacija predstavlja traženje dijelova za treći proizvod (Slika 30).



Slika 27. Prikaz cijelog sustava



Slika 28. Dijelovi za proizvod 1



Slika 29. Dijelovi za proizvod 2



Slika 30. Dijelovi za proizvod 3

Sa gornjih slika vidljivo je da se, osim olakšavanja identifikacije kutije s potrebnim dijelovima za određeni proizvod, na svakom zaslonu također prikazuje broj. Prikaz broja na LED zaslonu mikrokontrolera zamišljen je kao dodatna mogućnost cjelokupnog rješenja, gdje bi ti brojevi označavali točnu količinu potrebnih dijelova koji bi se iz kutije trebali uzeti.

8. POSTIGNUTI REZULTATI

Kao što je već bilo spomenuto, ideja za rješenje u obliku Digitalnog 5S-a nastala je uočavanjem obrasca vremena potrebnog za traženje ugradbenih dijelova po regalima. Zaključilo se da bi se primjenom rješenja, to vrijeme traženja moglo skratiti i time utjecati i na smanjivanje zastoja u samoj montaži Passboxa i gubitaka koji proizlaze iz toga. U tu svrhu, pristupilo se mjerenju početnog stanja montaže Passboxa. Izmjereni potrebni podaci prikazani su u Tablici 4.

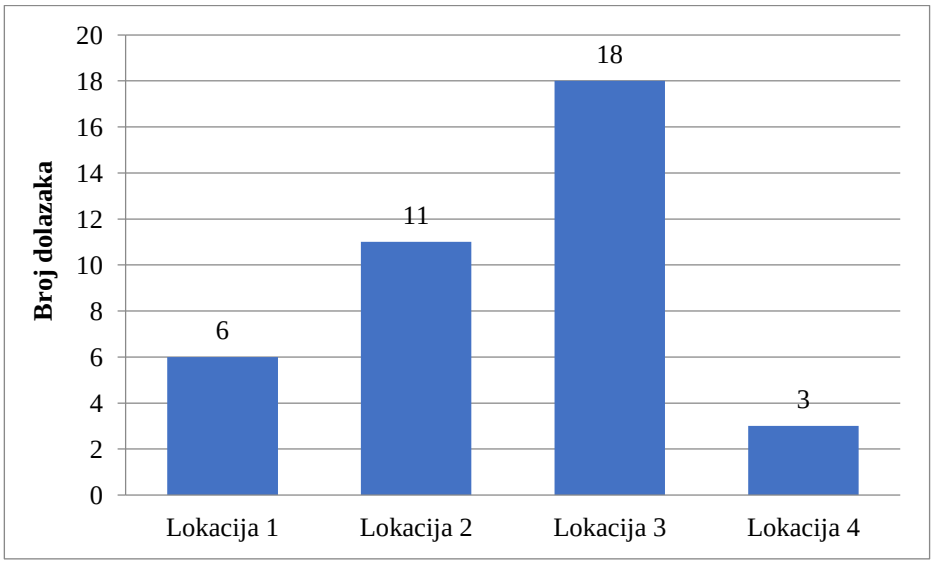
Tablica 4. Potrebni podaci

Vrijeme sklapanja Passboxa	20 h
Interval mjerenja	4 h
Faktor aproksimacije	5
Cijena rada	150 kn / h

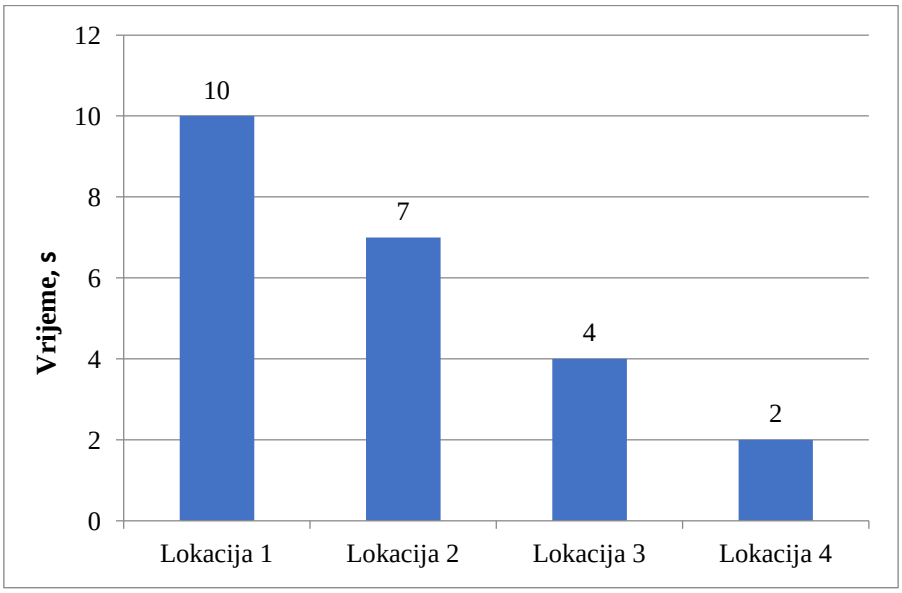
Mjerenje se odvijalo u više dana, no svaki se dan uzimalo podatke u intervalu od 4 sata, kad su radnici radili na Passboxu. Dobiveni podaci iz više intervala su se uglavnom poklapali. S obzirom da procijenjeno vrijeme izrade cijelog Passboxa (dobiveno od zaposlenika Klimaopreme) iznosi 20 sati, uveo se faktor aproksimacije za aproksimiranje podataka iz vremena jednog intervala na ukupno vrijeme montaže Passboxa. Prema tome, dijeljenjem ukupnog vremena sklapanja Passboxa sa intervalom mjerenja, dobio se faktor aproksimacije u iznosu 5. Informacija o cijeni rada također je dobivena u poduzeću.

Daljnji potrebni podaci se odnose na broj dolazaka radnika do pojedine lokacije sa potrebnim dijelovima (Tablica 5), vrijeme potrebno radniku da u jednom smjeru stigne do lokacije (Tablica 6) i prosječna vremena traženja dijelova na svakoj od lokacija (Tablica 7).

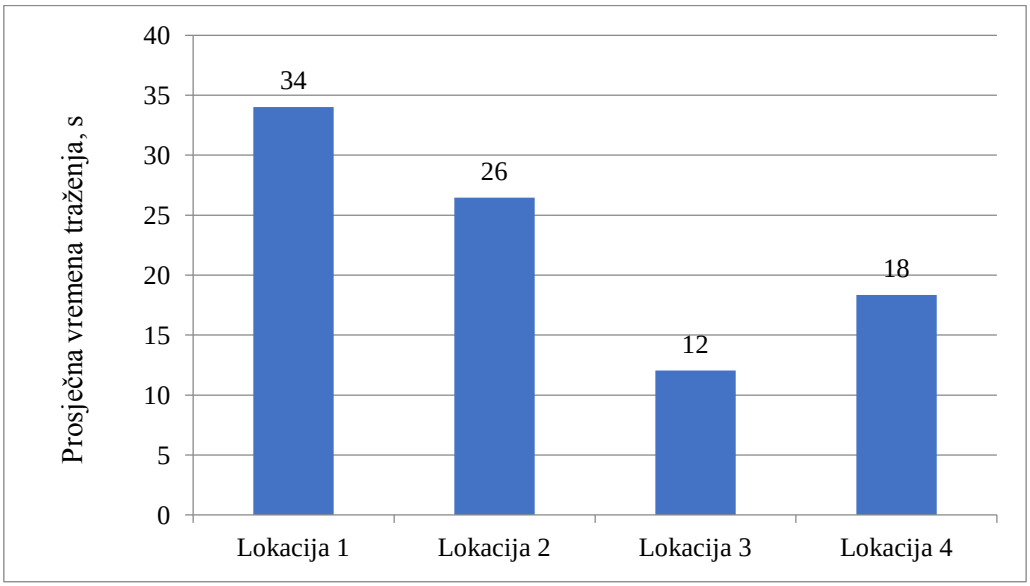
Tablica 5. Broj dolazaka radnika do pojedine lokacije



Tablica 6. Vrijeme potrebno radniku da dođe do lokacije



Tablica 7. Prosječna vremena traženja na lokacijama



Iz navedenih podataka krenulo se na kvantificiranje postignutih rezultata. Pri tome, cilj je bio prikazati podatke za dva karakteristična stanja - početno i završno, te na kraju eventualno poboljšanje dobiveno njihovom razlikom. Podaci koji su se kvantificirali su vremena utrošena na napuštanje radnog mjesta uslijed prikupljanja i traženja potrebnih ugradbenih dijelova.

8.1. Izračun početnog stanja (1)

Izračun početnog stanja započeli smo računanjem utrošenog vremena na pojedinoj lokaciji u prethodno spomenutom intervalu mjerenja i to prema jednadžbi (1).

$$(t_{1Pi})' = n_i(2t_{dPi} + t_{1Ti}), \tag{1}$$

gdje je:

$(t_{1Pi})'$ – vrijeme utrošeno na pojedinu lokaciju u početnom stanju u intervalu mjerenja,

n_i – broj dolazaka na pojedinu lokaciju,

t_{dPi} – vrijeme potrebno da se u jednom smjeru dođe do pojedine lokacije i

t_{1Ti} – vrijeme traženja potrebnih dijelova na pojedinoj lokaciji.

Za sve četiri lokacije tako slijede izrazi (2) i (3):

$$(t_{1P1})' = n_1(2t_{dP1} + t_{1T1}) = 6(2 \cdot 10\ s + 34\ s) = 324\ \text{s} \tag{2}$$

$$(t_{1P2})' = n_2(2t_{dP2} + t_{1T2}) = 11(2 \cdot 7\ s + 26\ \text{s}) = 440\ \text{s} \tag{3}$$

$$(t_{1P3})' = n_3(2t_{dP3} + t_{1T3}) = 18(2 \cdot 4\text{ s} + 12\text{ s}) = 360\text{ s} \quad (4)$$

$$(t_{1P4})' = n_4(2t_{dP4} + t_{1T4}) = 3(2 \cdot 2\text{ s} + 18\text{ s}) = 66\text{ s} \quad (5)$$

Ukupno vrijeme u intervalu mjerenja utrošeno na traženje i prikupljanje dijelova računa se prema izrazu (6).

$$(t_{1uk})' = (t_{1P1})' + (t_{1P2})' + (t_{1P3})' + (t_{1P4})' \quad (6)$$

I konačno iz izraza (6) slijedi izraz (7).

$$(t_{1uk})' = 324\text{ s} + 440\text{ s} + 360\text{ s} + 66\text{ s} = 1190\text{ s} \sim 0{,}33\text{ h} \quad (7)$$

Na kraju se dobiveno ukupno vrijeme za interval mjerenja množi sa faktorom aproksimacije (*f*) prema izrazu (8), te se dobiva ukupno vrijeme utrošeno na pronalazak i prikupljanje potrebnih dijelova tijekom montaže jednog Passboxa prema izrazu (9).

$$t_{1uk} = f \cdot (t_{1uk})' \quad (8)$$

$$t_{1uk} = 5\ \cdot 0{,}33\text{ h} = 1{,}65\text{ h} \quad (9)$$

Izraz (9) dalje se uvrštava u jednadžbu (10), kojom se prikazuje trošak utrošenog vremena za montažu jednog Passboxa i to u odnosu na cijenu rada.

$$T_1 = C \cdot t_{1uk} \quad (10)$$

Slijedi rezultat prema izrazu (11):

$$T_1 = 150\text{ kn/h} \cdot 1{,}65\text{ h} = 247{,}5\text{ kn}. \quad (11)$$

8.2. Izračun završnog stanja (2)

Izračun završnog stanja, kao i kod izračuna prethodnog, započeli smo računanjem utrošenog vremena na pojedinoj lokaciji u prethodno spomenutom intervalu mjerenja i to prema jednadžbi (12).

$$(t_{2Pi})' = n_i(2t_{dPi} + t_{DL}) \quad (12)$$

gdje je:

$(t_{2Pi})'$ – vrijeme utrošeno na pojedinu lokaciju u početnom stanju u intervalu mjerenja,

n_i – broj dolazaka na pojedinu lokaciju,

t_{dPi} – vrijeme potrebno da se u jednom smjeru dođe do pojedine lokacije i

$t_{DL} = 2\ s -$ vrijeme traženja potrebnih dijelova na pojedinoj lokaciji, s primijenjenim rješenjem Digitalnog leana.

Za sve četiri lokacije tako slijede izrazi (13), (14), (15), (16):

$$(t_{2P1})' = n_1(2t_{dP1} + t_{DL}) = 6(2 \cdot 10\ \text{s} + 2\ \text{s}) = 132\ \text{s} \quad (13)$$

$$(t_{2P2})' = n_2(2t_{dP2} + t_{DL}) = 11(2 \cdot 7\ \text{s} + 2\ \text{s}) = 176\ \text{s} \quad (14)$$

$$(t_{2P3})' = n_3(2t_{dP3} + t_{DL}) = 18(2 \cdot 4\ s + 2\ \text{s}) = 180\ \text{s} \quad (15)$$

$$(t_{2P4})' = n_4(2t_{dP4} + t_{DL}) = 3(2 \cdot 2\ \text{s} + 2\ \text{s}) = 18\ \text{s} \quad (16)$$

Ukupno vrijeme u intervalu mjerenja utrošeno na traženje i prikupljanje dijelova, slično kao i kod početnog stanja, računa se prema izrazu (17).

$$(t_{2uk})' = (t_{2P1})' + (t_{2P2})' + (t_{2P3})' + (t_{2P4})' \quad (17)$$

Iz izraza (17) uvrštavanjem vrijednosti slijedi rezultat (18):

$$(t_{2uk})' = 132\ \text{s} + 176\ \text{s} + 180\ \text{s} + 18\ \text{s} = 506\ \text{s} \sim 0{,}14\ \text{h} \quad (18)$$

Na kraju se dobiveno ukupno vrijeme za interval mjerenja množi sa faktorom aproksimacije (*f*) kako je prikazano u izrazu (19) te se dobiva ukupno vrijeme utrošeno na pronalazak i prikupljanje potrebnih dijelova, (kada je primijenjeno rješenje Digitalnog leana) tijekom montaže jednog Passboxa u izrazu (20).

$$t_{2uk} = f \cdot (t_{2uk})' \quad (19)$$

$$t_{2uk} = 5\ \cdot 0{,}14\ \text{h} = 0{,}7\ \text{h} \quad (20)$$

Ova se vrijednost dalje uvrštava u izraz (21) kojim je dan trošak potrebnog vremena, nakon uvedenih promjena u vidu Digitalnog leana, za montažu jednog Passboxa i to u odnosu na cijenu rada.

$$T_2 = C \cdot t_{2uk} \quad (21)$$

Slijedi izračun (22) i konačan rezultat u vrijednosti 105 kn.

$$T_2 = 150\ \text{kn} / \text{h} \cdot 0{,}7\ \text{h} = 105\ \text{kn} \quad (22)$$

8.3. Usporedba početnog i završnog stanja te dobivena poboljšanja

Osim navedenih podataka u početku ovog poglavlja, u poduzeću su također prikupljeni podaci i o broju proizvedenih Passboxeva za razdoblje 2018. do 2019. godine. Prema tim podacima, broj te nove generacije (sa novim specifikacijama) Passboxeva proizveden u dvije godine iznosi 150 komada. Shodno tome, prema donjim jednadžbama su izračunati troškovi uslijed utrošenog vremena za traženje i prikupljanje dijelova tijekom sklapanja i to za 150 Passboxeva. Jednadžba (22) daje iznos troškova kakvi su u početnom (trenutnom) stanju, a jednadžba (23) prikazuje troškove koji bi postojali nakon primjene Digitalnog leana.

$$T_{1uk} = 150 \cdot T_1 = 150 \cdot 247{,}5 \text{ kn } = 37125 \text{ kn} \tag{22}$$

$$T_{2uk} = 150 \cdot T_2 = 150 \cdot 105 \text{ kn } = 15750 \text{ kn} \tag{23}$$

Razlika navedenih troškova je zapravo poboljšanje u vidu uštede (U) koja bi nastala pri sklapanju Passboxeva (24):

$$U = \Delta T = T_{1uk} - T_{2uk} = 37125 \text{ kn} - 15750 \text{ kn} = 21375 \text{ kn} \tag{24}$$

Iz jednadžbe (24) može se vidjeti da bi ušteda iznosila više od 20000 kuna, kad bi se smanjila vremena povezana sa traženjem i prikupljanjem potrebnih ugradbenih dijelova.

Osim navedenog poboljšanja u vidu uštede troškova, postoje i daljnja poboljšanja koja se mogu povezati sa ispitanim rješenjem. Za spomenute gubitke u vremenu, indirektno se mogu povezati i gubici čekanja u proizvodnji, tj. montaži. Osim gubitaka čekanja, kvalitativni i teže mjerljivi gubici poput nedovoljne iskorištenosti ljudskih potencijala i nepotrebnih pokreta se također mogu povezati sa postojećom organizacijom montaže, a primjenom predloženog rješenja njihov bi se utjecaj smanjio. Na primjer, što se tiče nepotrebnih pokreta, radnik više nebi trebao uzimati ljestve kod provjeravanja nalazi li se traženi dio na nekoj od viših polica. Ove navedene vrste gubitaka susrećemo kod Lean menadžmenta, tj. oni čine tri od osam vrsta glavnih gubitaka prema Leanu. Ova činjenica ide u prilog samom konceptu Digitalnog leana, jer se ovim primjerom vidi direktna spona između digitalizacije i Lean menadžmenta. Također, valja spomenuti i kako bi se u slučaju novih zaposlenika njihova edukacija i „uhodavanje“ u posao uvelike skratili. Primjenom ovog rješenja smanjila bi se i mogućnost greške radnika (npr. ugrađivanje pogrešnog dijela u sklop).

8.4. Daljnja moguća poboljšanja i smjer razvoja

Kako bi opisano pojednostavljeno rješenje bilo spremno za širu eksploataciju, na prvom mjestu je potrebno osmisliti aplikaciju na pametnom uređaju na kojoj bi radnik imao pregled svih proizvoda i operacija. Pri tome, sučelje aplikacije bi trebalo biti što jednostavnije, ali bez da gubi na funkcionalnosti. Nadalje, takva aplikacija bi se mogla povezati na ERP (engl. *Enterprise Resource Planning*) sustav. Druga tehnička rješenja osim prikazanih Microbit mikrokontrolera bi se trebala razmotriti, ovisno o cijeni i njihovim mogućnostima. Kutije s potrebnim dijelovima, osim s opisanim LED zaslonima, mogle bi se nadograditi sa više drugih senzora također povezanih na aplikaciju. Primjer jednog mogućeg senzora je i senzor pokreta koji bi brojio koliko dijelova se uzima iz kutije. Tu informaciju, sa znanjem koliko dijelova sadrži puna kutija, bi aplikacija mogla odašiljati ERP sustavu, čiji bi modul za upravljanje zalihama prema tome automatizirano mogao naručivati potrebne dijelove. Spomenuti senzor pokreta mogao bi u opisanoj situaciji zamijeniti i senzor mjerenja mase, koji bi informacije o popunjenosti pojedine kutije dobivao vaganjem iste.

9. ZAKLJUČAK

Može se reći kako su sva uspješna i dugovječna poduzeća imala jednu glavnu osobinu, a to je sposobnost prilagodbe na nove trendove i promjene u svijetu. Danas, kada se priča o takvim promjenama, govori se o ubrzanom razvoju i primjeni novih tehnologija. Spomenuti razvoj tehnologija ponajprije je omogućen sveprisutnošću interneta te digitalizacijom. Nove tehnologije koje su proizašle iz njih, čine temeljne karakteristike novog pojma tzv. Industrije 4.0. Sam taj pojam nastao je kao referenca na dosadašnje tri industrijske revolucije od kojih je svaka, osim u tehnološkom smislu, utjecala i na ostale aspekte ljudskog društva.

Zbog navedenog je današnjim poduzećima, ukoliko žele ostati u korak s vremenom, potrebno provesti transformacije prema Industriji 4.0 i njenim tehnologijama. U svrhu provođenja takvih transformacija, javila se ideja o sprezi digitalizacije i Lean menadžmenta. Lean menadžment, iako je već dugi niz godina u upotrebi, svojim metodama i alatima i danas osigurava uspješnost u poslovanju poduzeća koja ga implementiraju. Ukratko rečeno, glavno obilježje Leana je eliminacija svega u procesu što ne dodaje vrijednost proizvodu. Pri tom valja napomenuti da spomenutu vrijednost definiraju potrebe (tj. zahtjevi) kupca. Navedeno bi se moglo protumačiti i kao dodirna točka s digitalizacijom i Industrijom 4.0 te razlogom pojave same ideje o njihovoj zajedničkoj implementaciji.

U ovom radu predstavljen je koncept spomenute sprege digitalnog i Leana. Predložena je i metodologija primjene koncepta Digitalnog leana za poduzeća koja ju žele provesti. Praktični dio rada, u kojem je prikazan primjer jednog rješenja Digitalnog leana, napravljen je u poduzeću Klimaoprema d.d. Navedeno rješenje temelji se na unaprjeđenju primijenjenog 5S Lean alata u odjelu Montaža uređaja. Cilj rješenja bilo je smanjenje vremena traženja i prikupljanja ugradbenih (npr. vijčanih) dijelova potrebnih za sklapanje proizvoda. Izvedba rješenja sastojala se u postavljanju LED zaslona na kutije s dijelovima, koji aktivacijom putem bežične veze sa pametnog telefona zasvijetle, prikažu informacije i privuku radniku pozornost. Na kraju rada su se kvantificirali mjereni podaci te se prikazalo izračunato poboljšanje u vidu uštede vremena i novca, a koje je posljedica uporabe spomenutog rješenja. Osim gubitaka u vremenu i uz to vezanog troška, spomenuti su i drugi gubici na koje rješenje utječe poput nepotrebnih pokreta, nedovoljnog iskorištavanja ljudskih potencijala te gubitaka čekanja. Zadnja tri gubitka su ujedno i tri od sedam glavnih vrsta gubitaka kod Lean

menadžmenta, što je dodatan pokazatelj prednosti međusobnog povezivanja digitalnih tehnologija i Leana. Nakon navedenih rezultata, radom se ukratko opisao daljnji smjer razvoja primjenjenog rješenja za potencijalnu širu eksploataciju.

10. LITERATURA

[1] Britannica: *Industrial Revolution,* https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution#ref3502, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[2] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: Enciklopedija: *Industrijska revolucija,* http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27361, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[3] Britannica: *Social upheaval*, https://www.britannica.com/topic/history-of-Europe/Social-upheaval, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[4] Britannica: Technology: *History of Technology: The Industrial Revolution,* https://www.britannica.com/technology/history-of-technology/The-Industrial-Revolution-1750-1900, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[5] Masovna proizvodnja omogućena pokretnom trakom, https://media.npr.org/assets/img/2014/01/27/ap121231023-6521867f172b29f8ec2a03fad62b17d8c2984323-s800-c85.jpg, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[6] Britannica: *The Fourth Industrial Revolution,* https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734, pristupljeno: 2. listopada 2019.

[7] Automatizacija proizvodnje automobila u suvremenoj industriji, https://i.pinimg.com/originals/b4/04/40/b40440d80944701fdd2193647e158657.jpg, pristupljeno: 3. listopada 2019.

[8] GTAI: *Industrie 4.0 Smart Manufacturing for the Future*, https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/view, pristupljeno: 5. listopada 2019.

[9] Prikaz razvoja do Industrije 4.0, http://gmformazione.it/wp-content/uploads/2018/01/industry-40.png, pristupljeno: 5. listopada 2019.

[10] IoT Agenda: *Embedded system*, https:// internetofthingsagenda.techtarget.com /definition/embedded-system, pristupljeno: 5. listopada 2019.

[11] I-scoop: *Guide to Industry 4.0: Decentralization, autonomous decisions and autonomy,* https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/#Decentralization_autonomous_decisions_and_autonomy, pristupljeno: 5. listopada 2019.

[12] Baur, C., Weer, D.: *Manufacturing Next Act,* https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act, pristupljeno: 5. listopada 2019.

[13] Poslovni dnevnik: Leksikon: *Lanac vrijednosti,* http://www.poslovni.hr/leksikon/lanac-vrijednosti-711, pristupljeno: 6. listopada 2019.

[14] SAP: *Industry 4.0: Fourth Inudstial Revolution,* https://blogs.sap.com/2015/06/30/industry-40-fourth-industrial-revolution/, pristupljeno: 6. listopada 2019.

[15] Davies, R.: *Industry 4.0 Digitalisation for Productivity and Growth*, http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf, pristupljeno: 7. listopada 2019.

[16] Gartner: *What Is Industrie 4.0 and What Should CIOs Do About It?,* https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-05-18-what-is-industrie-4-and-what-should-cios-do-about-it, pristupljeno: 7. listopada 2019.

[17] Hermann, M., Pentek, T., Otto, B.: *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, 2015.

[18] Lee A., E.: *Cyber Physical Systems: Design Challenges*, 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (2008.), str. 363-369

[19] VidiLab: *Što je RFID i kako radi?*, https://www.vidilab.com/how-to/4058-how-to-arduino-sto-je-rfid-i-kako-radi. pristupljeno 11. listopada 2019.

[20] Bauernhansl T., ten Hompel M., Vogel-Heuser B.: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, 2014.

[21] Günthner W., Klenk E., Tenerowicz-Wirth P.: *Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0*, 2014.

[22] Pametna kutija, https://www.pressebox.de/pressemitteilung/wuerth-industrie-service-gmbh-co-kg/Wuerth-Industrie-Service-gewinnt-bei-der-Wahl-zur-Besten-Logistik-Marke-2016-in-der-Kategorie-Behaelter-den-zweiten-Platz/boxid/792818, pristupljeno: 13. listopada 2019.

[23] Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.: *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, 2013.

[24] Gartner Glossary: *Internet Of Things*, https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/internet-of-things, pristupljeno: 13. listopada 2019.

[25] Buxmann P., Hess T., Ruggaber R.: *Internet of Services*, 2009.

[26] Pametna tvornica, https://www.seat-mediacenter.es/newspage/allnews/company/2017/SEAT-lanza-un-programa-de-innovacion-abierta-para-acelerar-la-transformacion-40-de-su-fabrica-de-Martorell.html, pristupljeno: 14. listopada 2019.

[27] Lucke D., Constantinescu C., Westkämper E.: *Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing*, 2008.

[28] Radziwon A., Bilberg A., Bogers M., Skov Madsen E.: *The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions*, 2014.

[29] Hakom: *M2M komunikacija – regulatorni pregled*, http://www.hakom.hr/userdocsimages/javnaRasprava/M2M_komunikacija_javne%20konzultacije-20141216.pdf, pristupljeno: 20. listopada 2019.

[30] Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M.: *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, 2015

[31] Digital guardian: *What is Cyber Security?*, https://digitalguardian.com/blog/what-cyber-security, pristupljeno: 21. listopada 2019.

[32] Devet tehnologija prema BCG, https://www.leapaust.com.au/wp-content/uploads/2017/07/Industry-40-Diagram-2.png, pristupljeno: 21. listopada 2019.

[33] Autonomne robotske ruke proizvođača Kuka, https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12679/Its-Happened-KUKA-Is-Now-Chinese-Owned.aspx, pristupljeno: 22. listopada 2019.

[34] 3D simulacija rada robotskih ruka, https://www.visualcomponents.com/insights/blog/kuka-invests-in-the-factory-of-the-future/, pristupljeno: 22. listopada 2019.

[35] Chukalov K.: *Horizontal and vertical integration as a requirement for cyber-physical systems in the context of Industry 4.0*, 2017.

[36] Mell P., Grance T.: *The NIST Definition of Cloud Computing*, 2011.

[37] ASTM: *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf, pristupljeno: 27. listopada 2019.

[38] Dilberoglua U., Gharehpapagha B., Yamana U., Dolen M.: *The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0*, 2017.

[39] Azuma R. T.: *A Survey of Augmented Reality*, 1997.

[40] Primjer proširene stvarnosti, https://www.yamagata-europe.com/en-gb/blog/are-you-ready-for-augmented-reality-content-creation, pristupljeno: 29. listopada 2019.

[41] Gartner Glossary: *Big Data*, https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data, pristupljeno: 29. listopada 2019.

[42] Su X.: *Introduction to Big Data,* Institutt for informatikk og e-læring ved NTNU, https://www.ntnu.no/iie/fag/big/lessons/lesson2.pdf, pristupljeno: 3. studenog 2019.

[43] Womack J.P., Jones D.T.: *The machine that changed the world*, 2007.

[44] Jostein, P.: *Defining Lean Production: Some conceptual and practical issues*, 2009.

[45] Bhamu J., Sangwan K. S.: *Lean manufacturing: Literature review and research issues,* 2014.

[46] Womack J.P., Jones D.T.: *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, 1996.

[47] Glavni principi Leana, https://www.asme.org/topics-resources/content/5-lean-principles-every-should-know, pristupljeno: 5. studenoga 2019.

[48] Žvorc, M.: *Lean manadžment u neproizvodnoj organizaciji*, 2013.

[49] 8 gubitaka Leana, https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean, pristupljeno: 5. studenoga 2019.

[50] Charron R., Harrington H. J., Voehl F., Wiggin H.: *The Lean Management Systems Handbook*, 2014.

[51] Sukdeo N.: *The Application of 6S Methodology as a Lean Improvement Tool in an Ink Manufacturing Company*, 2017.

[52] Purohit S. R.:*Implementation of 5S Methodology in a Manufacturing Industry*, 2015.

[53] Production Automation Corporation: *5S / Visual Workplace Handbook Building the foundation for continuous improvement*, https://www.gotopac.com/media/pdf/articles/5S-Handbook.pdf, pristupljeno: 6. studenoga. 2019.

[54] Paraschivescu A. O., Cotirlet P. C.: *Quality Continuous Improvement Strategies: Kaizen Strategy – Comparative Analysis*, 2015.

[55] Kato I., Smalley A.: *Toyota Kaizen Methods: Six Steps to Improvement*, 2010.

[56] Antosz K., Pacana A.: *Comparative Analysis of the Implementation of the SMED Method on Selected Production Stands*, 2018.

[57] Koraci SMED metode, https://www.leanproduction.com/images/smed-system.png, pristupljeno: 7. studenoga 2019.

[58] Rother M., Shook J.: *Learning to see: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, 1999.

[59] Primjer mapiranja toka podataka, https://www.procesportaal.nl/wp-content/uploads/2012/06/Value_stream_map.png, pristupljeno: 7. studenoga 2019.

[60] Wagner T., Herrmann C., Thiede S.: *Industry 4.0 impacts on lean production systems*, 2017.

[61] Scheel O., Monahan S., Koelbll M.: *Digital Lean: The Next Stage in Operations Optimization*, 2015.

[62] Investopedia: *End-to-end*, https://www.investopedia.com/terms/e/end-to-end.asp, pristupljeno: 8. studenoga 2019.

[63] Barnaud M. C.: *Lean & Digital: Navigating the Transformation*, 2017.

[64] Hoellthaler G., Braunreuther S., Reinhart G.: *Digital lean production – An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective*, 2018.

[65] Schreiber B., Romanus W., Lee Y.: *Integrating lean principles into digital transformation*, 2017.

[66] Taskboard, https://www.inflectra.com/Ideas/Images/task-board.png, pristupljeno: 9. studenoga 2019.

[67] Bonekamp L., Sure M.: *Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation*, 2015.

[68] Klimaoprema: *Čisti prostori*, https://www.klimaoprema.hr/hr/cleanroom/proizvodi/cisti-prostori-cleanrooms/, pristupljeno: 17. studenoga 2019.