

Primjena Digitalnog Leana u strojnoj obradi

Krivošić, Alen

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:299051>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Alen Krivošić

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Student:

Alen Krivošić

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem mentoru Prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na pomoći u pisanju rada i Mag. ing. min. Vlatku Mediću na svoj susretljivosti pri obavljanju praktičnog dijela zadatka.

Alen Krivošić



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:	602 - 04 / 20 - 6 / 3
Ur. broj:	15 - 1703 - 20 -

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ALEN KRIVOŠIĆ** Mat. br.: 0035198583

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena Digitalnog Leana u strojnoj obradi**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of Digital Lean in machining**

Opis zadatka:

Kako bi se uspješno provela digitalna transformacija poduzeća, potrebno je optimizirati proizvodne i uslužne procese u poduzeću. U praksi se Lean menadžment pokazao kao vrlo efikasan menadžerski pristup poboljšavanju i unaprjeđivanju procesa. Veliki broj alata, razvijena metodologija te razvijen sustav praćenja pokazatelja uspješnosti čini ovaj pristup vrlo pogodnim za primjenu u procesu digitalne transformacije poduzeća.

U radu je potrebno obraditi sljedeće:

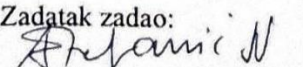
1. Definirati i detaljno objasniti pojmove: Lean menadžment, Industrija 4.0, Pametna tvornica.
2. Napraviti usporedbu tradicionalnog i Digitalnog Leana te navesti prednosti primjene uspješnijeg pristupa
3. Opisati modele digitalne transformacije u proizvodnim poduzećima.
4. Objasniti koncept Digitalnog Leana, te opisati postojeće metodologije njegove primjene u poduzeću.
5. Za proizvoljno odabrano poduzeće i proces strojne obrade, primijeniti odabranu metodologiju Digitalnog Leana, te komentirati dobivene rezultate.
6. Razviti sustav praćenja pokazatelja uspješnosti provedbe digitalne transformacije u strojnoj obradi.

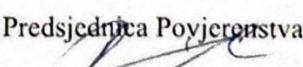
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć

Zadatak zadan:
24. rujna 2020.

Rok predaje rada:
26. studenog 2020.

Predviđeni datum obrane:
30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	V
POPIS OZNAKA	VI
POPIS KRATICA	VII
SAŽETAK	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD	1
2. LEAN	2
2.1 Povijest Leana	2
2.2 Kuća Leana	3
2.2.1 Temelj	4
2.2.2 Prvi stup Leana – Just In Time (JIT)	8
2.2.3 Drugi stup Leana (Jidoka)	11
2.2.4 Vrh kuće Leana	14
2.3 Gemba šetnja	15
2.4 VSM – Mapiranje toka vrijednosti	15
3. INDUSTRIJA 4.0	17
3.1 Internet stvari	17
3.1.1 <i>Big Data</i> – Veliki podaci	17
3.1.2 5G	18
3.1.3 Oblak	19
3.1.4 IPv6	20
3.1.5 RFID	21
3.1.6 NFC	21
3.1.7 Umjetna inteligencija (AI)	22
3.1.8 Strojno učenje	23
3.1.9 <i>Digital Twins</i> – Digitalni blizanci	24
3.2 Lean sustav proizvodnje	25

3.3 ERP 4.0.....	28
3.4 SMED.....	31
4. DIGITALNI LEAN	32
4.1 Smanjenje gubitaka: tradicionalno vs digitalno	37
5. PAMETNA TVORNICA	40
5.1 Značajke pametne tvornice.....	40
6. PRAKTIČNI DIO.....	45
6.1 Strojna obrada kućišta DN25	46
6.2 Vrijeme dostave tehničke dokumentacije.....	55
6.3 Nedostatak ERP sustava.....	63
7. LEAN RADIONICA	65
8. ZAKLJUČAK.....	70
9. LITERATURA	71

POPIS SLIKA

Slika 1.	Kuća Leana.....	3
Slika 2.	5S.....	4
Slika 3.	Primjer 5S.....	6
Slika 4.	TPM stablo	7
Slika 5.	Kanban.....	11
Slika 6.	Jidoka filozofija.....	12
Slika 7.	Kaizen logo.....	13
Slika 8.	VSM [11].....	16
Slika 9.	Usporedba brzina.....	19
Slika 10.	IP usporedba	20
Slika 11.	RFID.....	21
Slika 12.	Umjetna inteligencija	23
Slika 13.	Strojno učenje.....	24
Slika 14.	Organizacija i struktura Lean proizvodnog sustava	26
Slika 15.	Spajanje LPS i I4.0.....	28
Slika 16.	Aplikacije za kontrolu procesa	30
Slika 17.	SMED procesi	31
Slika 18.	Usporedba tradicionalnog i digitalnog Leana	33
Slika 19.	Primjene digitalnog Leana.....	36
Slika 20.	Značajke pametne tvornice.....	41
Slika 21.	Upravna zgrada.....	45
Slika 22.	Petro-osni cnc stroj DMC 50.....	46
Slika 23.	Nakupljanje špene oko noža alata	47
Slika 24.	Cnc stroj DMU 50	48
Slika 25.	Kontejner za špenu	50
Slika 26.	Radna površina i ladice	50
Slika 27.	Primjer prikaza noža alata	51
Slika 28.	Ormar s alatima	53
Slika 29.	Slobodan prostor za policu s noževima	54
Slika 30.	Microsoft Teams.....	56

Slika 31.	Pojednostavljeni VSM klasičnog toka informacija	57
Slika 32.	Pojednostavljeni VSM digitalnog toka informacija	58
Slika 33.	Upis podataka u Trello aplikaciju	59
Slika 34.	Trello aplikacija.....	60
Slika 35.	Power BI.....	63
Slika 36.	Bar kod skener	64
Slika 37.	Sudionici radionice.....	65
Slika 38.	Zapisnik	66
Slika 39.	Skup problema i prijedloga sudionika.....	67
Slika 40.	Bolji prikaz problema i prijedloga.....	68

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci JIT-a	9
Tablica 2. Nošenje s 8 vrsta gubitaka.....	37
Tablica 3. Unaprjeđenje tradicionalnog digitalnim.....	39
Tablica 4. Digitalizacija tradicionalnog Leana.....	44
Tablica 5. Obradna vremena proizvoda	48

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis oznake
c	kn/h	cijena radnog sata stroja
k	kom	broj dostava tehničkih crteža
n	kom	broj cnc strojeva
T_{dig}	s	ukupno vrijeme digitalne dostave tehničke dokumentacije
t_i	s	vrijeme pripreme i ispisa tehničke dokumentacije
T_{kl}	s	ukupno vrijeme klasične dostave tehničke dokumentacije
t_n	s	ново vrijeme dohvata noža
$t_{\text{p-r}}$	s	vrijeme potrebno za predaju tehničke dokumentacije voditelju
t_{prip}	s	vrijeme pripreme tehničke dokumentacije za slanje
t_r	s	vrijeme potrebno za predaju tehničke dokumentacije od strane voditelja radniku
t_{re}	s	vrijeme reakcije radnika na obavijest unutar platforme o novom zadatku
t_s	s	staro vrijeme dohvata noža
t_{sl}	s	vrijeme potrebno za uspješno slanje tehničke dokumentacije u aplikacije
U	kn	ukupna ušteda
U_p	kn	ušteda dobivena implementacijom police s noževima
ΔT	s	ušteda u vremenu dostave tehničke dokumentacije

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
JIT	<i>Just In Time</i> – U pravo vrijeme
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> – Ukupno produktivno održavanje
VSM	<i>Visual Stream Mapping</i> – Mapiranje toka vrijednosti
IOT	<i>Internet Of Things</i> – Internet stvari
IT	<i>Information Technology</i> – Informacijska tehnologija
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> – Radio-frekvencijska identifikacija
NFC	<i>Near Field Communication</i> – Beskontaktna komunikacija
AI	<i>Artificial Intelligence</i> – Umjetna inteligencija
LPS	<i>Lean Production System</i> – Lean proizvodni sustav
CPS	<i>Cyber-Physical System</i> – Cyber-fizički sustav
I4.0	<i>Industry 4.0</i> – Industrija 4.0
LPS 4.0	<i>Lean Production System 4.0</i> – Lean proizvodni sustav 4.0
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Poslovni informacijski sustav
SMED	<i>Single Minute Die Exchange</i> – Jednominutna izmjena matrica
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> – Računalom podržano upravljanje

SAŽETAK

U ovom radu su prikazane metode i tehnologije na kojima se temelji Industrija 4.0. Pomoću digitalizacije moguće je dosad neviđeno poboljšavanje i olakšanje proizvodnih procesa. Detaljno su objašnjene nove, digitalizirane metode poboljšanja. Učinkovitost i svestranost metoda digitalnog Leana su primijenjene i dokazane pri strojnoj obradi u poduzeću OMV-INDOIL d.o.o.

Ključne riječi: Digitalni Lean, Industrija 4.0, strojna obrada, digitalna transformacija

SUMMARY

This paper presents the methods and technologies on which Industry 4.0 is based. With the help of digitalization, unprecedented improvement and facilitation of production processes is possible. New, digitized methods of improvement are explained in detail. The efficiency and versatility of digital Lean methods have been applied and proven in machining at OMV-INDOIL d.o.o. company.

Key words: Digital Lean, Industry 4.0, machining, digital transformation

1. UVOD

Industrija se brzo mijenja. Ušli smo u eru industrijske proizvodnje koju karakterizira digitalna integracija. Ona se obuhvaća nazivom „Industrija 4.0“. Ova revolucija pretvara tvornice u „pametne tvornice“ koje karakteriziraju:

- Sveprisutnost digitalnih uređaja i računala u proizvodnji koja minimizira ljudsku intervenciju
- Veza u stvarnom vremenu s globalnom potražnjom i ponudom
- Prikupljanje, analizu i razmjenu podataka u stvarnom vremenu velikim brzinama

Posljednje, ali ne najmanje bitno, isprepletenost virtualnog i stvarnog svijeta. U protekla tri desetljeća, Lean se uspostavio kao superiorni pristup upravljanju i kao najbolja metodologija pomoću koje se kreće prema novoj, digitalno integriranoj industriji. Zapravo, Lean principi se mogu najbolje provesti u ovakvom obliku industrije.

U ovom radu biti će pojašnjen princip integracije Lean metodologije sa procesom digitalne transformacije.

2. LEAN

Lean (hrv. vitak) je strateška filozofija upravljanja usmjerena eliminaciji svih organizacijskih i proizvodnih aktivnosti koje ne stvaraju dodatnu vrijednost za kupca ili proizvođača. Lean menadžment se može primijeniti na svakoj pojedinoj industriji, bez obzira čime se ona bavila. Lean menadžment je, također, poznat kao Lean proizvodnja. Ista se posebno bazira na potrebe proizvodne industrije i one industrije koje stvaraju dodatnu vrijednost kombiniranjem različitih faktora proizvodnje kako bi se proizvela određena roba. [1]

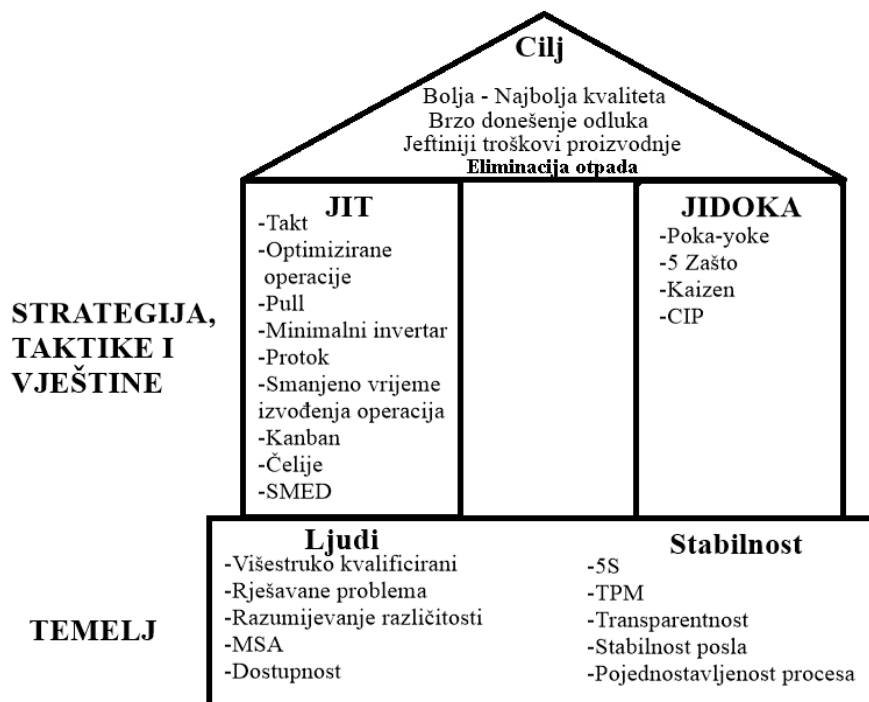
2.1 Povijest Leana

1881. godine Frederick W. Taylor počeo se baviti organizacijom proizvodnje u željezari Midvale Steel Company i tako dolazi do ranih početaka modernog industrijskog inženjerstva. Njegovo usavršavanje metoda i alata koji se koriste u različitim fazama proizvodnje čelika omogućili su da radnicima proizvode znatno više uz manje napora. Sljedeći veliki korak napravio je Henry Ford koji je 1908. godine proizveo svoje prvo motorno vozilo. Model T se proizvodio devetnaest godina u sedamnaest milijuna primjeraka zahvaljujući primjeni dosad neviđene tehnologije – tekuće vrpce. To je traka na kojoj su se sastavljali automobili, a koja je omogućila jednostavno pomicanje automobila po tvornici što je doprinijelo velikoj uštedi vremena. Takva proizvodna tehnologija je bila prvi dodir s Lean filozofijom proizvodnje. Za to vrijeme Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno i drugi su u Toyoti lagano promatrali ovaj razvoj događaja 1930-ih, a nakon Drugog svjetskog rata počeli su i intenzivnije. Zaključili su da bi niz jednostavnih inovacija omogućio više kontinuiteta u toku proizvodnog procesa i široku paletu proizvoda. Stoga su se osvrnuli na prvobitno Fordovo razmišljanje i izumili Toyotin proizvodni sustav. Ovaj je sustav u osnovi pomaknuo težište inženjera proizvodnje s pojedinih strojeva i načina njihove uporabe na protok proizvoda kroz ukupni postupak. Toyota je zaključila da je s odgovarajućim dimenzijama strojeva za potrebe proizvodnog procesa, uvođenjem strojeva s funkcijom samokontrole kako bi se osigurala kvaliteta, redanjem strojeva prema redosljedu procesa i brzim podešavanjem kako bi svaki stroj mogao napraviti male količine mnogih brojeva dijelova moguće dobiti nisku cijenu, raznolikost, visoku kvalitetu i vrlo brz protok kao odgovor na promijenjene želje kupaca.

To znači da se proizvod prilagođava kupcu, a ne kupac proizvodu. No, nisu ljudi iz Toyote smislili izraz Lean. Tu upoznajemo istraživačku skupinu na MIT-u koji su tada krenuli u analizu i definiranje Toyotinog proizvodnog sustava. Grupa, koju je predvodio James P. Womack, objavila je knjigu 1990. godine pod naslovom „Stroj koji je promijenio svijet“ i tada je izraz „Lean Proizvodnja“ prvi put viđen u tisku. [1]

2.2 Kuća Leana

Kuća Leana ili kuća vitkosti često se koristi za strukturiranje različitih koncepata i metodologija unutar Lean filozofije. U osnovi se sastoji od 3 dijela. Prvi dio je temelj, koji predstavlja ljude i stabilnost. Drugi dio građen je od dva stupa Leana; Just in Time (JIT) i Jidoka. Na kraju se nalazi glavni cilj Leana, a to je uklanjanje gubitaka. [1]



Slika 1. Kuća Leana [1]

2.2.1 Temelj

Temelj Lean kuće čini nekoliko alata i tehnika koji su ključni za implementaciju Leana. To su stavke koje, ako nisu dobro implementirane, mogu dovesti do urušavanja cijele organizacije.

2.2.1.1 5S

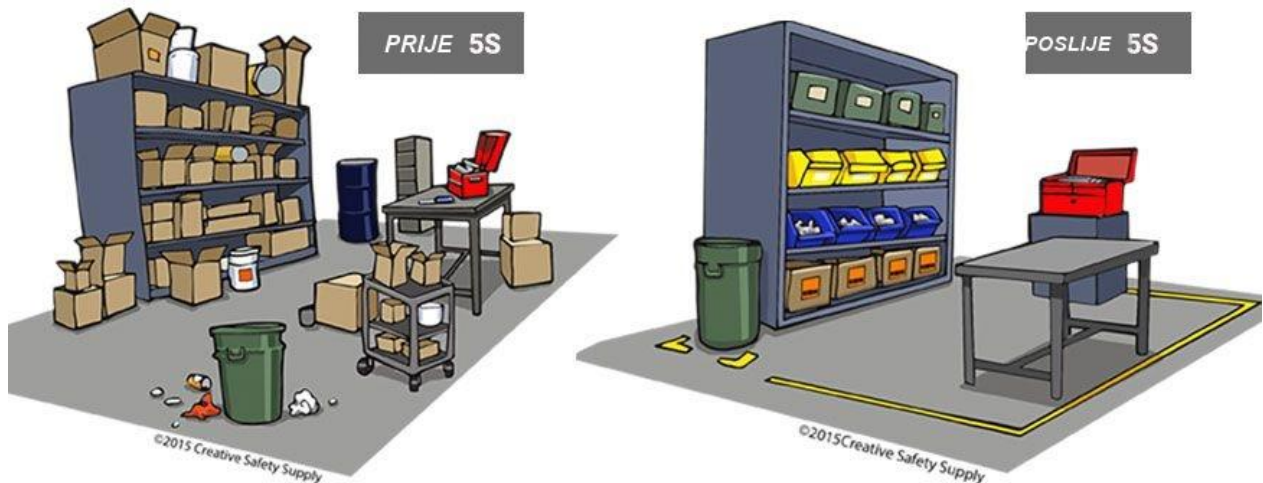
Filozofija 5S metode fokusirana je na učinkovitu organizaciju radnog mjesta pojednostavljujući radno okruženje, te smanjenje gubitaka uz poboljšanje kvalitete i sigurnosti. Nema šanse za učinkovitost ili poboljšanja kvalitete tijekom rada na prljavim i neurednim radnim mjestima, gubeći vrijeme zbog nestandardiziranosti radnog procesa i stvaranja nepotrebnih gubitaka. U masovnoj proizvodnji, bez 5S, mnogi se gubici nakupljaju tijekom godina, prikrivajući probleme i postajući prihvaćen nefunkcionalan način poslovanja.



Slika 2. 5S [2]

5S označava sljedećih pet japanskih riječi:

1. *Seiri* (hrv. odvojiti) znači samo zadržati potrebne stvari unutar radnog prostora, te odlaganje ili čuvanje u udaljenom skladištu rijetko korištenih predmeta, nepotrebni predmeti se izbacuju s radnog mjesta. *Seiri* se bori protiv navike zadržavanja stvari samo zato što će jednog dana biti korisne i pomaže u održavanju urednog radnog područja. Poboljšava učinkovitost pretraživanja i pronalaženja podataka. Općenito, čisti mnogo prostora.
2. *Seiton* (hrv. poredati): Zatim je potrebno stvoriti stalne lokacije za svaki dio ili alat po redoslijedu korištenja ili učestalosti uporabe. Operater bi trebao biti u mogućnosti odmah posegnuti za svakim najčešće korištenim dijelom ili alatom. To znači sustavno uređenje za najučinkovitije pretraživanje. Najjednostavniji primjer je *Seiton-a* ploča s alatima, gdje svaki alat ima svoje određeno mjesto. Učinkovit *Seiton* može se postići npr. slikanjem podova za vizualizaciju prljavštine ili ocrtavanjem radnih područja i lokacija.
3. *Seiso* (hrv. sjajiti): Nakon prvog temeljitog čišćenja prilikom implementacije 5S-a, svakodnevno čišćenje je neophodno kako bi se održalo postignuto poboljšanje. Čistoća također pomaže da se primijete oštećenja na uređajima kao što su propuštanje, proboj i neispravnost. Ukoliko ova sitna oštećenja ostanu bez nadzora, ona mogu dovesti do kvara opreme i gubitka produktivnosti. Redovito čišćenje radnog mjesta postaje vrsta je pregleda.
4. *Seiketsu* (hrv. norminirati): Jednom kada su prva tri S implementirana, takvo stanje radnog mjesta trebalo bi postati norma za održavanje ovih dobrih praksi u okviru radnog područja. Bez norminiranih situacija prijete opasnost od brzog ponavljanja starih navika. Stoga je presudno za imati normu koja se lako slijedi i razviti potpunu strukturu održavanja. Najbolji rezultati postižu se kada su zaposlenici uključeni u proces razvoja takve norme.
5. *Shitsuke* (hrv. održati): Održavanje zadržava prednosti rada 5S tako što stvara naviku pravilnog održavanja provedbe ispravnih postupaka. Održavanje je timski orijentirana kontinuirana tehnika poboljšanja gdje menadžeri igraju ključnu ulogu u implementaciji za podršku 5S. Za 5S programe koji se najbolje održavaju, redovito se vrši kontrola i najbolji pojedinci/timovi bivaju simbolično nagrađeni. [1]



Slika 3. Primjer 5S [3]

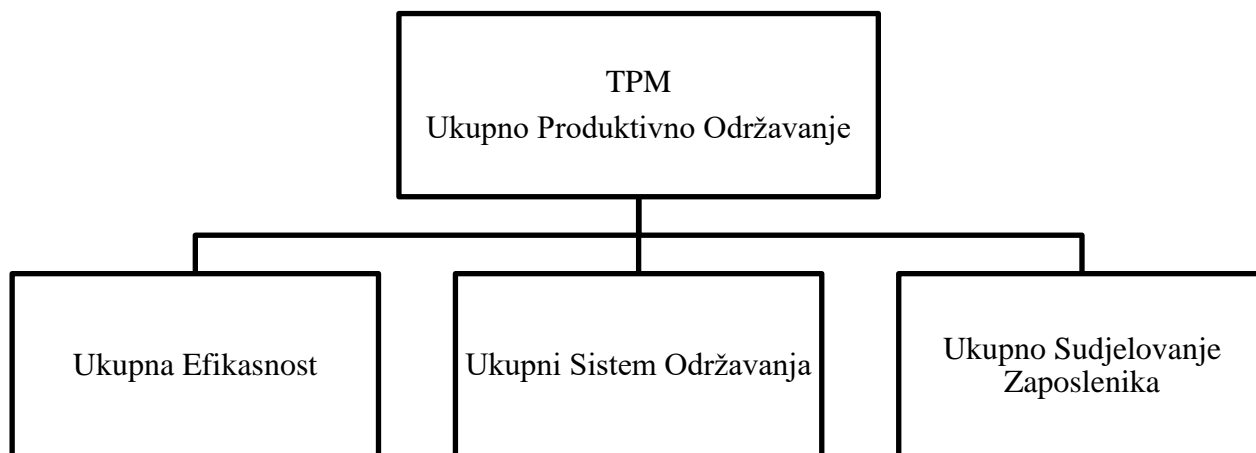
Za primjenu 5S-a kao jednog od temeljnih alata Leana potrebno je primijeniti sljedeće korake:

1. Uslikati trenutno stanje radnog mjesta.
2. Odvojiti ono što je potrebno od onoga što je nepotrebno za obavljanje posla.
3. Organizirati stvari na taj način da postoji mjesto za sve i da sve ima svoje mjesto. Svaka stvar trebala bi se moći pronaći u samo nekoliko sekundi.
4. Očistiti radno mjesto i riješiti se stvari zbog kojih je teško održavati čistoću, poput kutija na podu koje sprječavaju čišćenje površina. Na primjer, kutije se mogu označiti i pospremiti u označene ladice .
5. Pripremiti plan rada za probleme koji se trenutno ne mogu riješiti, ali će doći na red kasnije. To na primjer može uključivati prodaju stvari koje se više ne koriste, doniranje, recikliranje i bacanje istih na otpad.
6. Snimiti drugu sliku na kraju dana da se vidi jeli ostvaren određeni napredak. Obično radno mjesto izgleda kao ono na Slika 3. [3]

2.2.1.2 TPM - Ukupno Produktivno Održavanje

TPM se može opisati kao održavanje usmjereno na produktivnost koje teži stalnom porastu učinkovitosti opreme aktivnim sudjelovanjem svih zaposlenika ili ukratko kao produktivno autonomno održavanje. Koncept TPM razvijen je za postizanje 100% raspoloživosti strojeva. Za razliku od klasičnih strategija održavanja, TPM prati mnogo veći cilj, jer se svi zaposlenici uključuju u postupak poboljšanja. Zaposlenici moraju razvijati odgovornost za strojeve s kojima rade. Time se povećava i njihova motivacija što dovodi do smanjenja kvarova unutar procesa. Najveća razlika između TPM-a i konvencionalnih filozofija održavanja je autonomno održavanje zaposlenika na način malih grupa. To ne znači da ne postoji središnje odjeljenje za održavanje već da ne postoje radnici koji se bave samo polovima održavanja jer je održavanje više poput kolektivnog zadatka. [1]

Riječ „Ukupno“ u „Ukupno Produktivno Održavanje“ ima tri značenja [Slika 4]:



Slika 4. TPM stablo [1]

Ukupna Efikasnost: Pokazuje težnju za ekonomskom učinkovitošću ili dobiti TPM-a. To znači maksimiziranje učinkovitosti opreme.

Ukupni Sistem Održavanja: Uključuje važnost održavanja, poboljšava održavanje i preventivno održavanje. TPM uspostavlja kontinuirani sustav produktivnog održavanja tijekom čitavog životnog ciklusa opreme.

Ukupno Sudjelovanje Zaposlenika: TPM se implementira u svim različitim odjelima tvrtke i uključuje sve vrste zaposlenika, od najvišeg menadžmenta do običnog radnika. [1]

Za matematičko računanje TPM produktivnosti koriste se sljedeće jednadžbe [4]:

$$Dostupnost = \frac{\text{Moguće radno vrijeme stroja} - \text{Vrijeme zastoja stroja}}{\text{Moguće radno vrijeme stroja}} \quad (1)$$

$$Performanse = \frac{\text{Stvarni proizvedenih proizvoda}}{\text{Teoretski broj proizvedenih proizvoda}} \quad (2)$$

$$Kvaliteta = \frac{\text{Broj ispravnih proizvoda}}{\text{Ukupan broj proizvedenih proizvoda}} \quad (3)$$

$$Ukupna efikasnost proizvodnje = (1) * (2) * (3) * 100 [\%] . \quad (4)$$

Nakon svakog radnog ciklusa, dana ili tjedna može se računati ukupna efikasnost proizvodnje da se vidi u kakvom je stanju proizvodnja i jeli sve uredi, dali uvedene promjene utječu dobro ili loše na istu.

2.2.2 Prvi stup Leana – Just In Time (JIT)

Prvi stup Lean kuće je *Just In Time* (hrv. u pravo vrijeme). Ovo je tehnika opskrbe točno potrebnom količinom dijelova, materijala ili proizvoda u pravo vrijeme na pravo mjesto. Doslovno je u tehničkom srcu Toyotinog proizvodnog sustava. Većina ljudi JIT percipira kao metodu kontrole zaliha međutim, JIT je mnogo više od jednostavnog sustava kontrole zaliha. Takav sustav upravljanja zalihama odgovara tvrtkama s ponavljajućim proizvodnim procesima, dok s druge strane JIT neće biti od velike koristi malim proizvođačima ili na primjer bolnicama. Uspjeh JIT-a ovisi o nekoliko čimbenika, ali najvažnije je da proizvođač mora točno predvidjeti svoju potrebu za sirovinom potrebnom za odvijanje proizvodnje.

Tek nakon predviđanja potražnje, tvrtka može pravilno obavijestiti dobavljače o količini sirovina koju želi. U slučaju da se podcijeni potreba za sirovinom, bude došlo do nestašice i proizvodnja će stati što znači da se stvaraju gubici. Ako se potreba za sirovinom precijeni doći će do nepotrebnog skladištenja što donosi druge oblike gubitka. [1]

U Tablica 1. mogu se vidjeti prednosti, ali i mogući nedostaci korištenja JIT-a:

Tablica 1. Prednosti i nedostaci JIT-a [5]

Prednosti	Nedostaci
Smanjuje troškove skladištenja	Sustav dobave mora biti izrazito pouzdan
Ne kupuju se bespotrebne sirovine	Nema mjesta za greške u planiranju i proizvodnji
Ubrzava proizvodnju jer je sirovina spremna za uporabu	Nemogućnost izvršavanja neočekivanih narudžbi
Smanjuje vrijeme dostave sirovine od skladišta do radnog mjesta	
Smanjuje vrijeme proizvodnje	
Eliminira gubitke (vremenske, skladišne, transportne)	

2.2.2.1 Norminirani tijek rada (TAKT Time)

Takt je vrijeme ciklusa dizajna tako da ono odgovara potražnji kupca, prilagođeno planu proizvodnje. To je ključni proračun koji se koristi kada sinkroniziramo lanac opskrbe do kupca. Takt se izračunava dijeljenjem raspoloživog radnog vremena s potražnjom proizvoda. Sustav je dizajniran za proizvodnju proizvoda dobivenom brzinom. Ako proizvodimo u vremenu ciklusa koje je veće od Takta (dakle, nedovoljna proizvodnja), nećemo moći zadovoljiti potražnju kupaca. Međutim ako mi proizvodimo u vremenu ciklusa manjem od Takta (prekomjerna proizvodnja), povećat ćemo zalihe ili će doći do zaustavljanja linija radi prekomjerne proizvodnje. Oba odstupanja predstavljaju gubitke. [1]

Razlozi za uvođenje Takta u proizvodnju:

- Pomaže u postizanju pouzdanog i kontinuiranog tijeka proizvodnje
- Eliminira gubitke uzrokovane prekomjernom proizvodnjom u skladu sa stvarnom potražnjom kupaca
- Potiče razvoj norminiranih uputa za rad kojima se promiče kvaliteta i efikasnost.
- Omogućuje postavljanje ciljeva u stvarnom vremenu za proizvodnju koji operateru govore gdje koji element proizvodnje mora biti u određenom trenutku. [1]

Postoje dva različita, ali povezana načina za korištenje Takta. Oba su ispravna i korisna. Gledaju na potražnju kupaca, ali s različitih stajališta:

- Stajalište planiranja: Upotreba Takta kako bi se unaprijedio proizvodni proces kako bi isti mogao zadovoljiti zahtjeve kupaca.
- Stajalište proizvodnje: Upotreba Takta za postizanje cilja proizvodnje u stvarnom vremenu. [1]

Takt vrijeme računa se prema sljedećoj jednadžbi (5):

$$\text{Takt vrijeme} = \frac{\text{Ukupno dostupno vrijeme proizvodnje [s]}}{\text{Potreban broj proizvedenih komada [kom]}} \text{ [s]}. \quad (5)$$

2.2.2.2 Kanban

Kanban je revolucionarna praksa da se, primjerice, uporabom kartice za glatko kretanje i stvaranje „Pulla“ u Lean sustavu. Pull sustavi su provodni sustavi koji su dizajnirani tako da minimiziraju prekomjernu proizvodnju. [1]

Opis dijela				Broj dijela	
Kučište DN25				14613	
Qty	20	Vrijeme obrade	1 tjedan	Datum narudžbe	9/3
Dobavljač	Acme Smoke-Shifter, LLC			Rok isporuke	9/10
Odobrio	John R.	Card 1 of 2			
		Lokacija	1B3		

Slika 5. Kanban [1]

Šest pravila Kanbana:

1. Kupci primaju onoliko proizvoda koliko piše na kartici
2. Proizvodi se onoliko proizvoda i istim redoslijedom kako piše na kartici
3. Ne proizvodi se ništa i ne šalje dalje ako tako ne piše na kartici
4. Uvijek je potrebno staviti karticu na proizvod
5. Proizvodi s greškom se ne šalju dalje
6. Broj Kanbana se pažljivo smanjuje kako bi se manjile zalihe i otkrili problemi. [1]

2.2.3 Drugi stup Leana (Jidoka)

Jidoka gradi drugi stup kuće Leana. U prijevodu to znači "autonomna automatizacija" ili „inteligentna automatizacija“ ili "automatizacija s ljudskim dodirom". To je zato što pruža opremi sposobnost da autonomno razlikuje dobre dijelove od loših a da ih operator (čovjek) ne nadgleda [Slika 6]. To eliminira potrebu za operaterima da neprestano promatraju strojeve što dovodi do povećanja produktivnosti jer jedan operater može rukovati s nekoliko strojeva odjednom. [6]

Jidoka filozofija



Slika 6. Jidoka filozofija [6]

2.2.3.1 Poka-Yoke

Poka-Yoke je tehnika za sprječavanje pojave defektnih proizvoda radi ljudske pogreške. Kod Poka-Yoke defektna pojava je rezultat, a greška je uzrok rezultata. Općenito, uzrok defektivne pojave može biti radna greška ili materijalna greška što govori da je uzrok obje greške čovjek.

Da bi se dobile povratne informacije o radnom procesu, koje su osnova za aktivnosti poboljšanja, mora se izvršiti inspekcija proizvodnje. Razlikuju se tri vrste inspekcija:

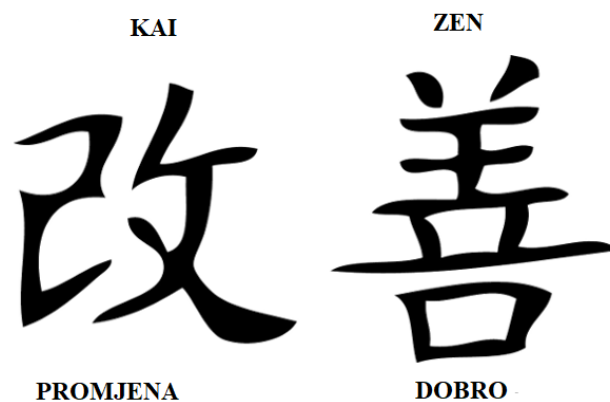
1. Presudna inspekcija: Uključuje razvrstavanje defekata iz prihvatljivog proizvoda, što nije prikladno u današnjoj praksi jer se zahtjevi za kvalitetom moraju poštovati
2. Informativna inspekcija: Koristi podatke dobivene iz kontrole upravljanja procesa proizvodnje i smanjenja defekata. Ostvaruje se samokontrola, što znači da svaki operater može provjeriti ima li njegov proizvod defekata
3. Inspekcija izvora: Utvrđuje postoje li uopće uvjeti za proizvodnjom proizvoda tražene kvalitete. [1]

Shigeo Shingo prepoznao je tri Poka Yoke načina za otkrivanje i sprječavanje pogrešaka u sustavima masovne proizvodnje:

1. Metoda kontakta utvrđuje nedostatke proizvoda ispitivanjem njegova oblika, veličine, boje ili drugih fizičkih svojstava.
2. Metoda fiksne vrijednosti upozorava operatora ako se ne izvrši određeni broj pokreta.
3. Metoda koraka kretanja određuje jesu li se slijedili propisani koraci postupka. [7]

2.2.3.2 Kaizen „Promjena na bolje“

Riječ Kaizen dolazi od japanskih riječi *Kai* što znači promjena i *Zen* što znači dobro. Nažalost, podrijetlo pojma nije baš jasno u smislu etimologije. Riječ Kaizen je kineskog podrijetla i ima korijene koji sežu daleko od Qing dinastičkog razdoblja u Kini od 1644 do 1911. Pojam je uvijek značio poboljšanje, iako se nije koristio upravo u konkretnom smislu koji ga danas koristimo u Lean proizvodnji, poslovanju ili poboljšanju procesa. [8]



Slika 7. Kaizen logo

Kaizen je pristup stvaranju kontinuiranog poboljšanja temeljen na ideji da male, ali trajne pozitivne promjene mogu donijeti velika poboljšanja. Obično se temelji na suradnji i predanosti te stoji u suprotnosti s pristupima koji koriste radikalne promjene ili promjene odozgo za postizanje željene transformacije. Kaizen je osnovna značajka za poboljšanje proizvodnje.

Razvijen je u proizvodnom sektoru radi smanjenja nedostataka, uklanjanja gubitaka, povećanje produktivnosti, poticanje produktivnosti radnika i promoviranje inovacija. Kaizen se temelji na vjerovanju da se sve može poboljšati i ništa nije *status quo*. Također, počiva na principu poštivanja ljudi. Prava svrha Kaizena je humanizirati radno mjesto, eliminirati naporan rad (mentalno i fizički), te podučiti radnu snagu kako učinkovito riješiti probleme kada se pojave, koristeći znanstveni i učenički pristup. U svojoj jezgri, Kaizen je daleko više o ljudima i ljudskom dostojanstvu nego o specifičnom dizajnu procesa.

Kaizen uključuje identificiranje problema i prilika, kreiranje rješenja, te njihovo provođenje. Zatim se ponovno prolazi kroz postupak kako bi se poboljšali novi procesi i riješili problemi koji nisu na odgovarajući način riješeni.

Deset pravila Kaizena:

1. Zaboraviti na pretpostavke
2. Biti proaktivni u rješavanju problema
3. Ne prihvaćati *status quo*
4. Donositi postepene i prilagođavajuće promjene
5. Tražiti rješenja prilikom ukazivanja pogrešaka
6. Stvoriti okruženje gdje se cijeni rad pojedinca
7. Ne zadovoljavati se nepotpunim rješenjima
8. Prikupiti podatke i mišljenja iz više izvora
9. Biti kreativan u pronalasku poboljšanja
10. Nikada se ne prestati poboljšavati. [8]

2.2.4 Vrh kuće Leana

Stavovi unutar Lean filozofije uglavnom su usmjereni na jedan jednostavan cilj. Eliminacija gubitaka. Tradicionalna Lean proizvodnja identificira sedam ključnih područja gubitaka, takozvanih „Sedam smrtnih gubitaka“. [1]

2.3 Gemba šetnja

Gemba šetnja je metoda koju je razvio Taiichi Ohno. Ova metoda nudi priliku rukovoditeljima da napuste svoju svakodnevicu i da vide kako se posao odvija na nižim razinama i grade bolji odnos s radnicima. [9]

Gemba šetnja sastoji se od tri glavna elementa:

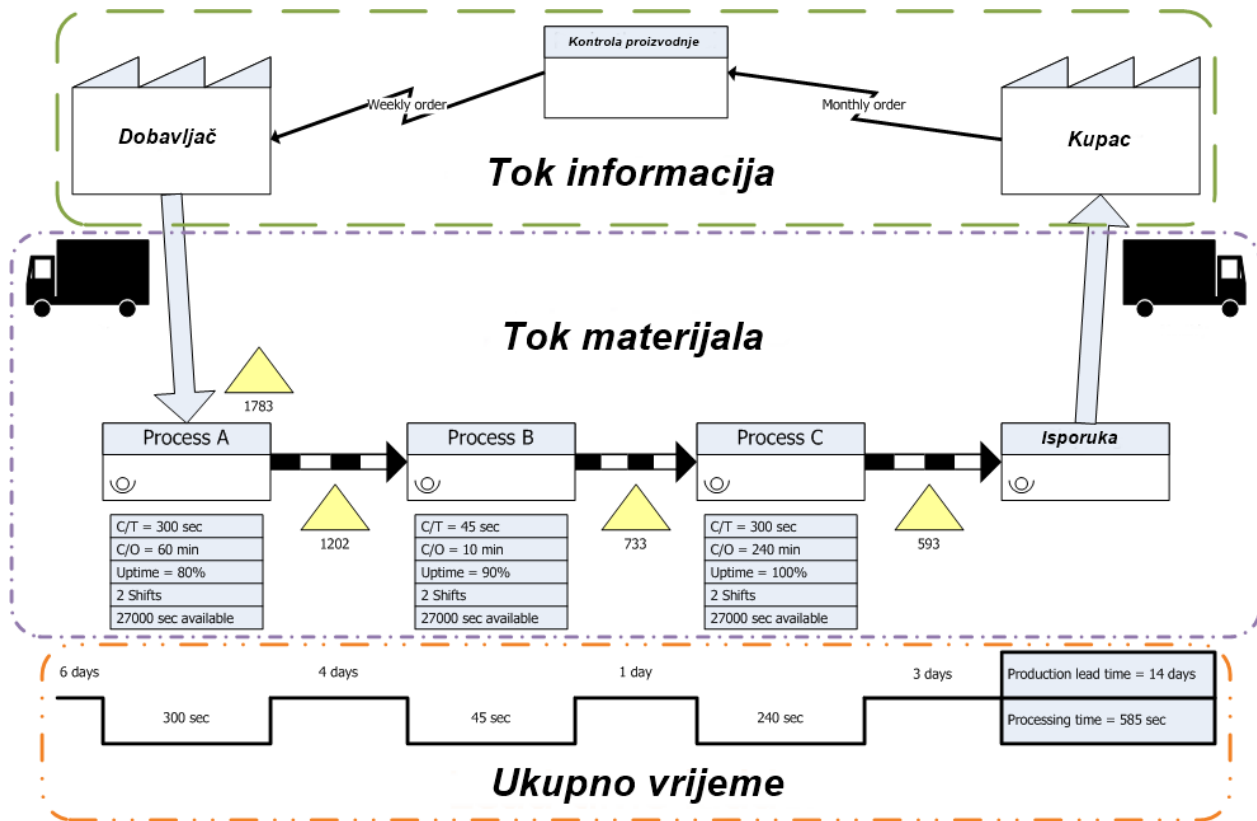
1. Glavna ideja Gemba šetnja je da menadžeri i ostali rukovoditelji redovito šetaju po pogonu i budu uključeni u pronalaženje aktivnosti koji ne prinosе produktivnosti.
2. Cilj Gemba šetnje je detaljno istražiti tok vrijednosti i aktivnom komunikacijom locirati njegove problematične dijelove. Dobar vođa uvijek je željan slušati, a ne razgovarati.
3. Gemba šetnja nije šetnja u smislu šefovanja i pokazivanja na radnike kako dobro ne rade svoj posao. Upravo se mora izbjeći okrivljavanje drugih ljudi jer niste tu da ocjenjujete i pregledavate rezultate. Tu ste da bi ste surađivali s timom i zajedno pronalazili gubitke. Treba se usredotočiti na prolaženje slabih mjesta u procesu proizvodnje, a ne na pronalaženje mana radnika. [9]

Nakon provedene Gemba šetnje pogonom, potrebno je rezimirati zapažanja i detaljno ih proučiti. Nije poželjno donositi ishitrene odluke, već ako je potrebno dodatno raspraviti o potencijalnim problemima s radnicima. [9]

2.4 VSM – Mapiranje toka vrijednosti

Proces mapiranja toka vrijednosti (*eng. Visual Stream Mapping*) omogućuje izradu detaljne vizualizacije svih koraka u procesu proizvodnje. To je prikaz protoka robe od dobavljača do kupca kroz proizvodni pogon. Karta toka vrijednosti prikazuje sve važne korake u proizvodnom procesu koji su neophodni za izradu proizvoda. Omogućuje vizualizaciju svakog zadatka koji se odrađuje i pruža izvješća o napretku statusa procesa proizvodnje. Služi za otkrivanje potencijalnih poboljšanja proizvodnih procesa.

Mapiranje toka vrijednosti daje opsežan pogled na informacijsko-logističke gubitke dok bilježi, rukuje, obrađuje i analizira podatke kako bi se proces mogao optimizirati. [10]



Slika 8. VSM [11]

3. INDUSTRIJA 4.0

Industrija 4.0 igra značajnu ulogu u strategiji kako bi se iskoristile mogućnosti digitalizacije svih faza proizvodnje i servisnih usluga. Četvrta industrijska revolucija ostvarena je kombinacijom brojnih fizičkih i digitalnih tehnologija. Glavna svrha digitalne transformacije je povećati učinkovitost resursa i produktivnosti te povećati konkurentsku snagu tvrtki. Trenutno doba transformacije razlikuje se od ostalih doba transformacija jer ne samo da se uvodi promjena u glavne proizvodne procese, već se otkrivaju novi koncepti pametnih i povezanih proizvodnih sustava.

Digitalna transformacija je temeljita transformacija poslovnih i organizacijskih aktivnosti, procesa, kompetencija i modela za potpuno iskorištavanje promjena i mogućnosti kombinacije digitalnih tehnologija i njihovog ubrzavajućeg utjecaja na društvo na strateški i prioritetni način, sa sadašnjim i budućim pomacima uzetima u obzir. Sama digitalna transformacija, odnosno digitalizacija, bazira se na konceptu Internet stvari (eng. *Internet Of Things*). [12]

3.1 Internet stvari

Izraz Internet Stvari općenito se odnosi na scenarije gdje se mrežno povezivanje i računalna sposobnost proširuju na predmete, senzore i svakodnevne predmete koji se obično ne smatraju računalima. Istima omogućuju generiranje, razmjenu i obrađivanje podataka uz minimalnu ljudsku intervenciju. [13]

3.1.1 Big Data – Veliki podaci





Big Data je tehnologija koja služi za prikupljanje, obradu i analizu velike količine podataka, odakle joj i ime (hrv. veliki podaci). Podaci su raznoliki, strukturirani i nestrukturirani, generiraju se i pristižu velikom brzinom i to u različitim intervalima (ponekad i u stvarnom vremenu), što ih čini

vrlo složenima za analizu. Međutim, prikupljanje i skladištenje velikih količina podataka nije ono što čini *Big Data* tehnologiju.

Upravo je mogućnost obrade i analiza tih prikupljenih podataka za daljnju upotrebu ono što ovu tehnologiju čini vrlo vrijednom. Bez mogućnosti analize i potrebnih alata (složenih računalnih programa), bila bi to samo gomila prikupljenih podataka. Podaci koji se prikupljaju dolaze iz različitih uređaja ili sustava koje koristimo. Neki od njih su naši pametni telefoni, pametne narukvice ili satovi, pametni hladnjaci, bankomati i slično. Jednostavnije pojašnjeno: pametni uređaji omogućuju prikupljanje podataka, podaci se šalju na obradu i analizu, potom vraćaju natrag u obliku koji razumijemo i možemo upotrijebiti. [14]

3.1.2 5G

Koristeći nove razine brzine i latencije, 5G omogućuje kontrolu nad povezanim uređajima u stvarnom vremenu, eliminirajući udaljenost između ljudi i tehnologije. 5G omogućuje gotovo trenutno prebacivanje u slučaju pogreške s ciljem smanjenja gubitka paketa. Podržava moćne tehnologije vezane uz formiranje snopa (*eng. beamforming*) i odsječke mreža prilagođene potrebama aplikacija za podršku širokom spektru kritičnih poslovnih procesa. Uz pomoć redundancije i enkripcije ugrađene u arhitekturu, 5G pruža sigurnu komunikaciju, poboljšano upravljanje identitetom i zaštitu od napada. Povećava točnost pozicioniranja na temelju mreže i to na manje od metra, osnažujući pozicioniranje na licu mjesta bez bržeg pražnjenja baterije zbog korištenja GPS-a. Dizajniran za podršku do milijun uređaja po četvornom kilometru u odnosu na otprilike 60.000 uređaja na 4G. Povećana gustoća kritična je za pametne tvornice i pametne gradove. [15]

		3G	4G	5G
	Implementacija	2004-05	2006-10	2020
	Propusnost	2mbps	200mbps	>1gbps
	Latencija	100-500 milliseconds	20-30 milliseconds	<10 milliseconds
	Prosječna brzina	144 kbps	25 mbps	200-400 mbps

Slika 9. Usporedba brzina [16]

3.1.3 Oblak

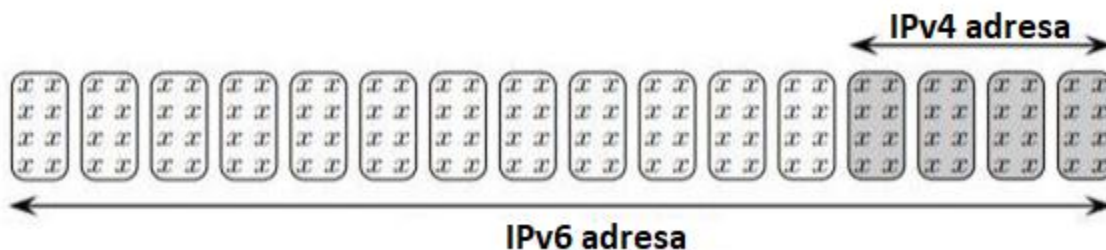
Oblak (*eng. Cloud*) se odnosi na poslužitelje kojima se pristupa putem interneta, te softvere i baze podataka koji se nalaze na tim poslužiteljima. Oblak poslužitelji nalaze se u podatkovnim centrima širom svijeta. Korištenjem računalstva u oblaku korisnici i tvrtke ne moraju upravljati sami fizički poslužiteljima ili pokretati softverske aplikacije na vlastitim računalima. Oblak omogućuje korisnicima pristup istim datotekama i aplikacijama s gotovo bilo kojeg uređaja jer se obrada i pohrana podataka odvijaju na poslužiteljima u podatkovnom centru, a ne lokalno na uređaju korisnika. Zbog toga se korisnik može prijaviti na svoj Instagram račun na novom telefonu nakon prestanka korištenja starog telefona i još uvijek pronaći svoj stari račun na istom mjestu, sa svim svojim fotografijama, videozapisima i povijesti razgovora. To funkcionira na isti način s pružateljima usluga e-pošte u oblaku kao što su Gmail ili Microsoft Office 365, te s pružateljima usluga pohrane u oblaku poput Dropbox-a ili Google Drive-a. Za tvrtke, prelazak na računalstvo u oblaku uklanja neke IT troškove i režijske troškove. Na primjer, više ne trebaju ažurirati i održavati vlastite poslužitelje jer će to učiniti dobavljač oblaka koji koriste. To posebno utječe na mala poduzeća koja si možda nisu mogla priuštiti vlastitu internu infrastrukturu, ali svoje potrebe za infrastrukturom mogu na neki način dodijeliti preko oblaka. Oblak tvrtkama također može olakšati međunarodno poslovanje jer zaposlenici i kupci mogu pristupiti istim datotekama i aplikacijama s bilo kojeg mjesta. [17]

3.1.4 IPv6

Adresiranje je osnovni aspekt komunikacijskog procesa između dvaju ili više entiteta. Omogućava identificiranje izvora informacija i njihovog odredišta pri čemu se resursima omogućava da na odgovarajući način povežu dvije grupe. Najveća prednost IPv6 protokola nad IPv4 protokolom jest korištenje puno većih adresa. IPv6 protokol ima adresu dugu 128 bitova što je četiri puta duže od njegovog prethodnika. IPv4 protokol ima adresu dugu 32 bita. 32-bitna adresa omogućava oko 2^{32} mogućih adresa, a 128-bitna adresa omogućava 2^{128} mogućih adresa, pretvoreno u dekadski sustav iznosi $3,4 \times 10^{38}$ IP adresa. Taj broj je toliko velik da ga je i teško zamisliti. Osnovni razlog za tako radikalno povećanje broja IP adresa je taj što je zamjena IP-a u cijelom Internetu ogroman posao. Iz tog razloga željelo se osigurati dovoljan broj IP adresa tako da takva zamjena ne bude više potrebna u bliskoj budućnosti. Neki su smatrali da je 2^{128} adresa previše, ali ipak prije nekoliko godina to se smatralo i za IPv4 adresni prostor.

Definirana su tri tipa IPv6 adresa:

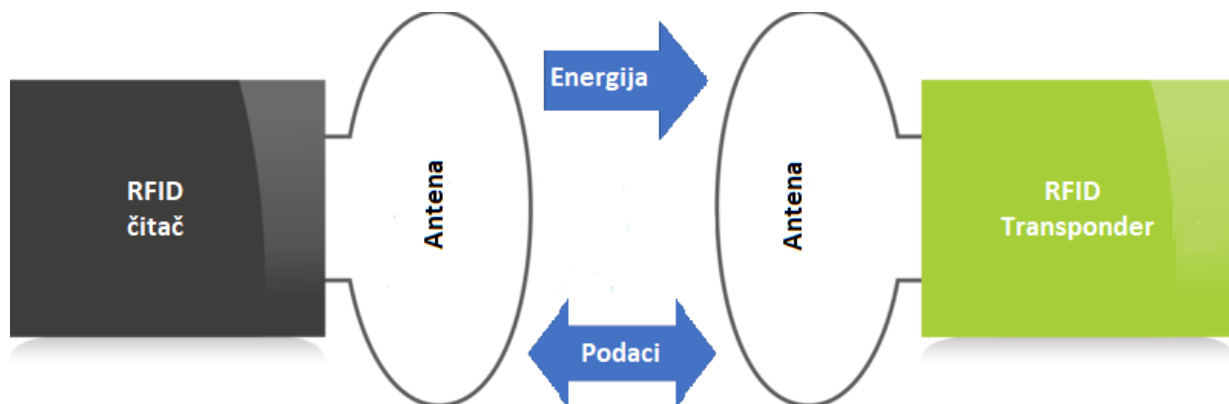
1. *Unicast* - Identificira jedan čvor, a promet za čije je odredište naznačena *unicast* adresa prosljeđuje se jednom čvoru.
2. *Multicast* – Identificira grupu čvorova, a promet kome je naznačena *multicast* adresa prosljeđuje se svim čvorovima u grupi.
3. *Anycast* – Identificira grupu čvorova, a promet kome je za odredište naznačena *anycast* adresa prosljeđuje se najbližem čvoru u grupi. [18]



Slika 10. IP usporedba [18]

3.1.5 RFID

Radio-frekvencijska identifikacija (RFID) je metoda automatske identifikacije, koja je u posljednjih nekoliko godina pronašla široku primjenu na raznim područjima. Ovdje se radi o beskontaktnoj komunikacijskoj tehnici koja prenosi informacije za identifikaciju osoba, životinja, dobara i roba. Korištenje RFID-a omogućuje nam razne primjene koje s dosadašnjim identifikacijskim sistemima nismo mogli ostvariti. Jedan RFID sustav sastoji se s jedne strane od jednog nosača podataka (transponder) i s druge strane od jednog pisača/čitača s antenom [Slika11]. RFID radi s slabim elektromagnetskim valovima koji se očitavaju pomoću čitača. Ukoliko se transponder donese u područje dohvata antene onda se mogu očitati ili pohraniti podaci s transpondera bez ikakvog dodira. Postoje dvije vrste transpondera. Aktivni, koji imaju vlastito napajanje i pasivni, koji nemaju vlastito napajanje. [19]



Slika 11. RFID [19]

3.1.6 NFC

NFC (*eng. Near Field Communication*) je tehnologija koja je vrlo slična RFID-u, samo što je NFC namijenjen mobilnim uređajima.

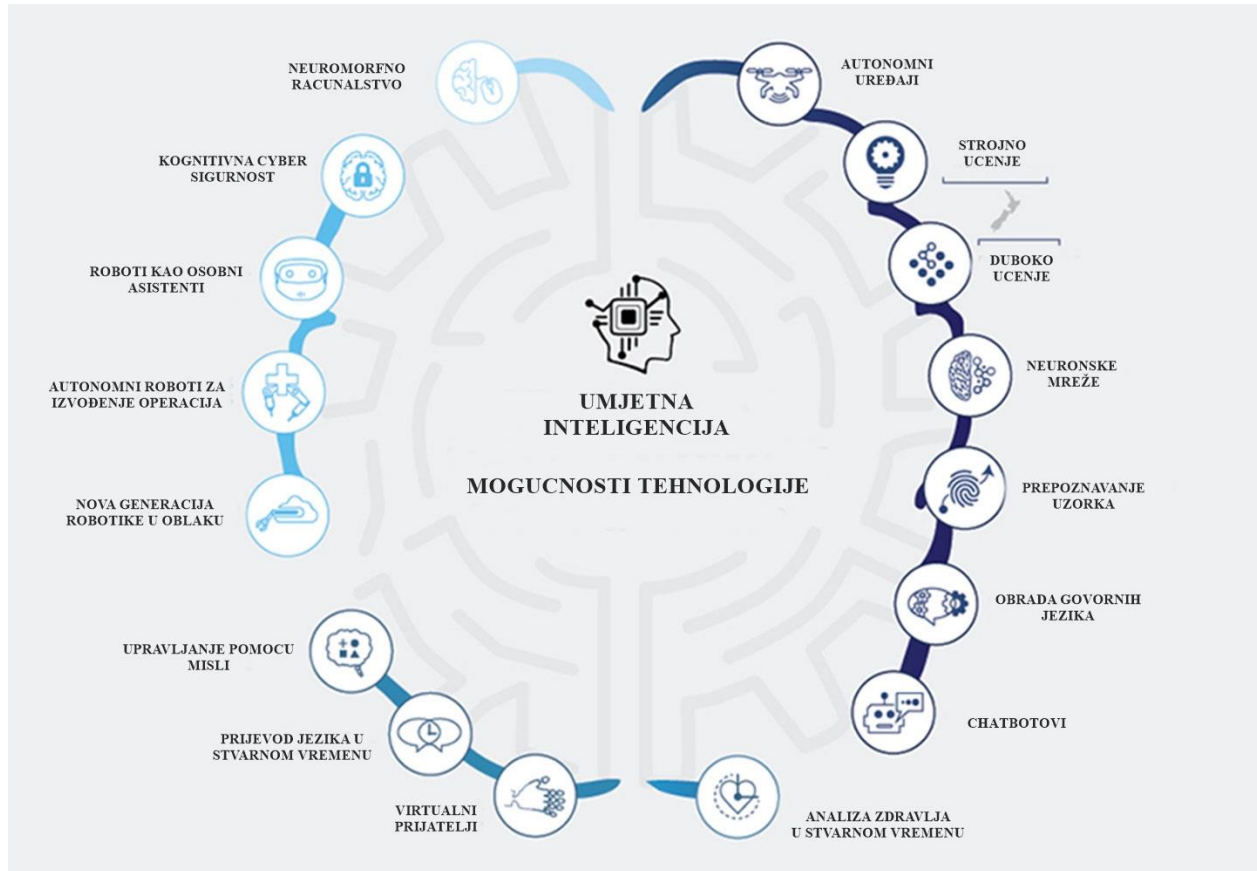
NFC komunikacija je komunikacija mobilnog uređaja i nekog čitača na vrlo maloj udaljenosti koja ovisi najčešće o veličini antena na uređajima.

NFC je kratkog dometa, male snage i može prenijeti malu količinu podataka između dva uređaja na kratkoj udaljenosti. Za spajanje dvaju uređaja nije potrebno prethodno uparivanje istih.

3.1.7 Umjetna inteligencija (AI)

Umjetna inteligencija (*eng. Artificial Intelligence*), je dio računalnih znanosti koji se bavi razvojem sposobnosti računala da obavljaju zadatke za koje je potreban neki oblik inteligencije. Da se mogu snalaziti u novim prilikama, učiti nove koncepte, donositi zaključke, razumjeti prirodni jezik, raspoznavati prizore i dr. Naziv se, također, rabi za označivanje svojstva svakog neživog sustava koji pokazuje inteligenciju (inteligentni sustav); obično su to računalni sustavi, dok se izraz katkad neutemeljeno primjenjuje na robote, koji nisu nužno inteligentni. Inteligentnim sustavom smatra se svaki sustav koji pokazuje prilagodljivo ponašanje, uči na temelju iskustva, koristi velike količine znanja, pokazuje svojstva svjesnosti, komunicira s čovjekom prirodnim jezikom i govorom, dopušta pogreške i nejasnoće u komunikaciji. [20]

Na Slika 12. mogu se vidjeti napredne tehnologije koje ne bi mogle postojati bez umjetne inteligencije:



Slika 12. Umjetna inteligencija [21]

3.1.8 Strojno učenje

Strojno učenje (*eng. Machine Learning*) je dio umjetne inteligencije koja omogućuje sustavima automatsko učenje i poboljšanje učinka bez programiranja od strane čovjeka. Strojno učenje usredotočeno je na razvoj računalnih programa koji mogu pristupiti podacima i koristiti ih za učenje za sebe. Proces učenja započinje opažanjem podataka, primjerima, izravnih iskustava ili uputa, kako bi se pronašao obrazac kretanja podataka i kako bi se donijele što bolje odluke u budućnosti na temelju dostupnih podataka. Primarni je cilj omogućiti računalima da automatski uče bez ljudske intervencije ili pomoći. [22]

Postoji nekoliko vrsta strojnog učenja [Slika 13], a glavna podjela je na nadzirano, nenadzirano i podržano učenje. Nenadzirano učenje obrađuje podatke koji nisu označeni, razvrstani ili kategorizirani i pronalazi pravilnosti u njima.

Najčešća tehnika nenadziranog učenja je grupiranje koje omogućava da organiziramo skup podataka u podgrupe koje dijele određeni stupanj sličnosti ali su dovoljno drugačiji od podataka iz drugih grupa. Podržano učenje temelji se na tome da se algoritam rješavajući određeni problem nagradi ako se odluči za dobro rješenje. Nastoji maksimizirati svoje nagrade i tako se uči snalaziti u određenoj okolini pomoću prošlih iskustava. Algoritmi nadziranog učenja izgrađuju model na temelju ulaznih ali i poznatih izlaznih podataka, pri čemu skup podataka koji sadrži ulazne i izlazne podatke nazivamo podacima za treniranje. Nakon učenja na skupu podataka za treniranje model je sposoban s određenom točnošću predvidjeti rezultate obrade podataka koji nisu bili među podacima za treniranje. Klasifikacija i regresija su dvije vrste nadziranog učenja a razlikuju se po obliku izlaznih podataka, kod klasifikacije izlaz je limitirani skup vrijednosti dok je izlaz regresijskih algoritama kontinuirana vrijednost.



Slika 13. Strojno učenje

3.1.9 Digital Twins – Digitalni blizanci

Digitalni blizanac je digitalna kopija živog ili ne živog fizičkog bića. Odnosi se na digitalnu kopiju fizičke imovine (eng. physical twin), procesa, ljudi, lokacija, sustava i uređaja koji se mogu koristiti

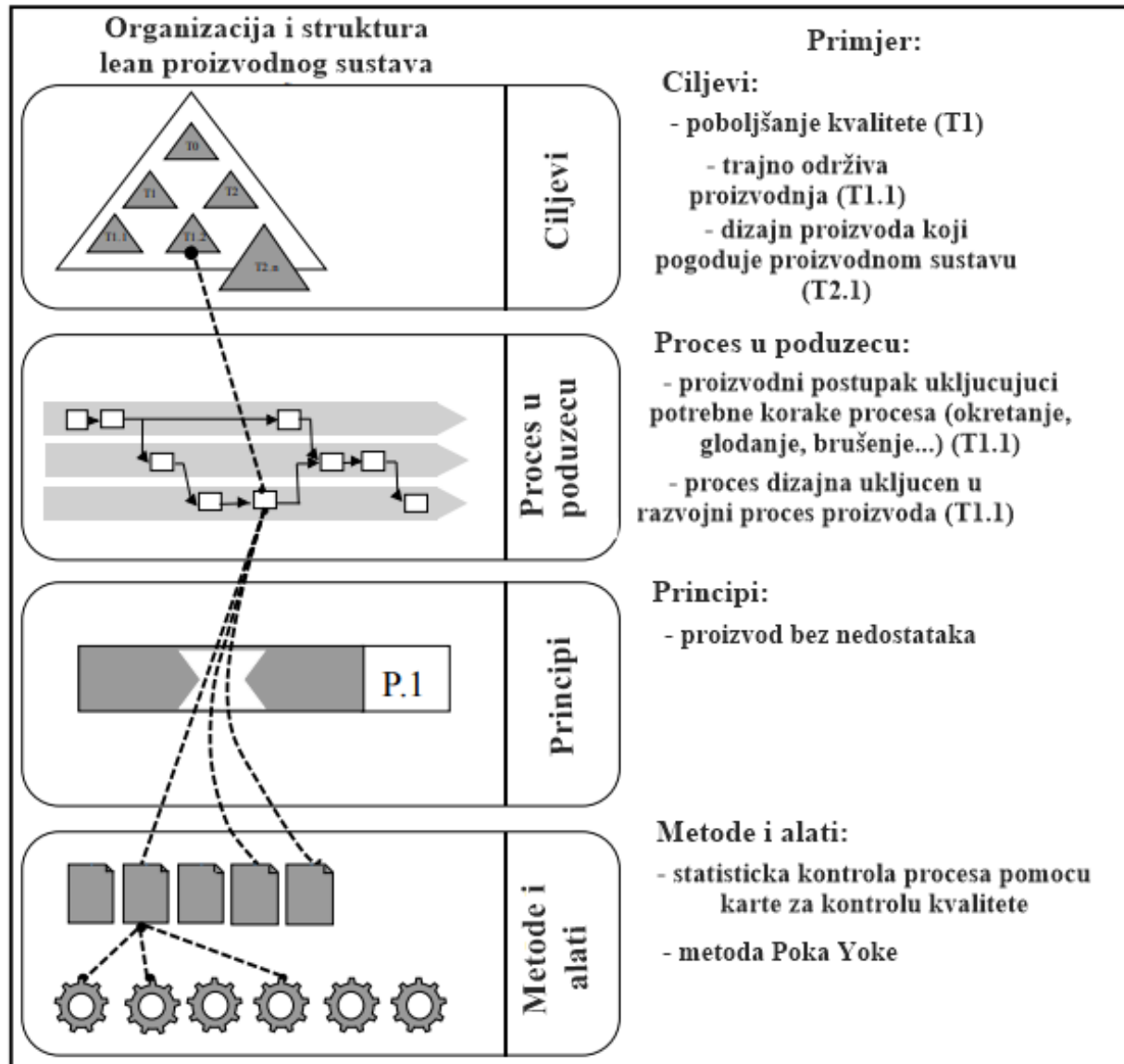
u razne svrhe. Digitalni blizanac pruža elemente i dinamiku rada uređaja kroz njegov životni ciklus. Znači, digitalni blizanac je digitalna kopija koja pomoću senzora u stvarnom vremenu uspostavlja vezu za stvarnim objektom i replicira njegove mogućnosti.

Digitalni blizanci integriraju umjetnu inteligenciju, strojno učenje i softversku analitiku s kako bi stvorili digitalne simulacijske modele koji se ažuriraju i mijenjaju kako se mijenjaju njihovi fizički „kolege“. Digitalni blizanac kontinuirano se uči i ažurira iz više izvora kako bi predstavio radno stanje ili položaj u gotovo stvarnom vremenu. Ovaj sustav učenja uči sam od sebe, koristeći podatke iz senzora koji prenose različite aspekte stanja radnog stroja. [24]

3.2 Lean sustav proizvodnje

Proizvodni sustav može se definirati kao socio-tehnički sustav koji transformira ulaz u željeni izlaz uz pomoć procesa koji ulazu daje novu dodatnu vrijednost. Njegova svrha je proizvodnja krajnjeg, dovršenog proizvoda. Definirani slijed transformacija proizvoda predstavljen je s unutarnjom strukturom i kontrolom slijeda procesa koji su definirani organizacijskom strukturom.

Na temelju evolucije Toyotinog proizvodnog sustava i Lean proizvodnje, uspostavljen je holistički pristup ka proizvodnim sustavima. Sustavi Lean proizvodnje (LPS) [Slika 14] predstavljaju skup strateških ciljeva i principa specifičnih za pojedinu tvrtku u kombinaciji s operativnim metodama i alatima za holističko upravljanje proizvodnim procesima. Opća struktura Lean proizvodnih sustava sastavljena je od elemenata ciljeva, procesa, principa, metoda i alata, dok je sadržaj svih tih elemenata specifičan za tvrtku. [25]



Slika 14. Organizacija i struktura Lean proizvodnog sustava

Industrija 4.0 je vizija četvrte industrijske revolucije i odnosi se na pametno umrežavanje strojeva i procesa radi ostvarivanja industrije temeljene na tehnologiji komunikacije i informacija.

Digitalna transformacija uključuje sljedeće četiri faze: digitalizacija, virtualizacija, povezanost i autonomnost. Digitalizirani i virtualizirani sustavi dovode do novih scenarija industrijskog rada. Suradnje čovjeka i stroja unutar pametne tvornice. Unutar industrijskog inženjerstva, trendovi u

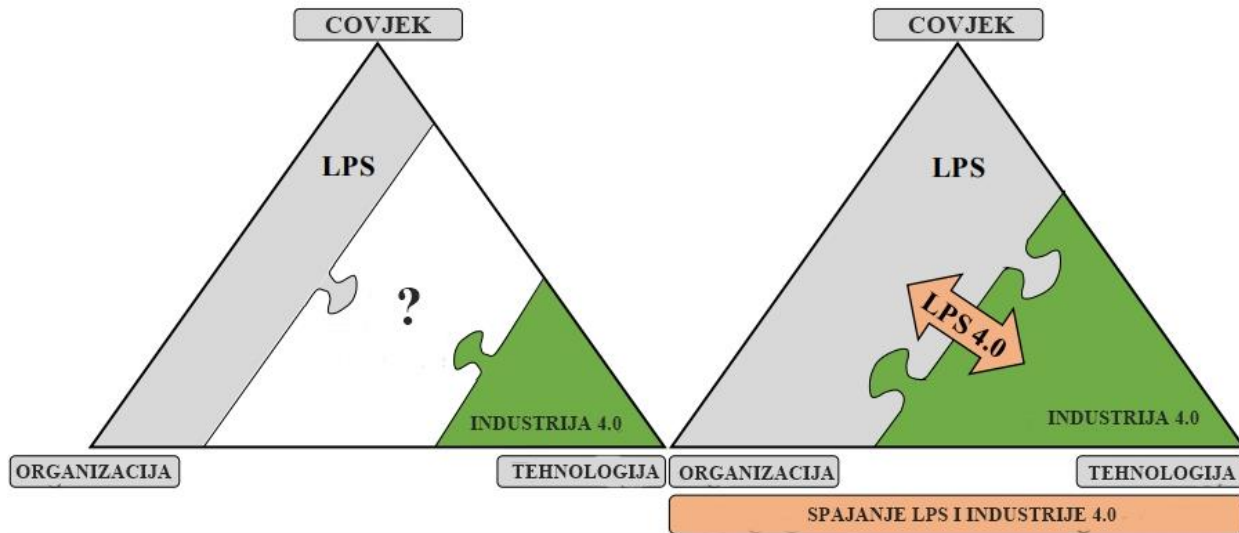
dizajniranju proizvodnih sustava i radnih mjesta usredotočeni su na međusobnu povezanost, osjetljivost na kontekst, pomoć i intuitivnost. [25]

Slijedom toga, digitalna transformacija uzrokuje značajne promjene u proizvodnim sustavima s povećanjem složenosti planiranja i upravljanja zadacima unutar pametne tvornice. Kao glavna komponenta, cyber-fizički sustavi (CPS) povezani su, digitalno potpomognuti, reagiraju i stabilno komuniciraju. Organizacija proizvodnje usmjeruje se prema manjim i pokretnim timovima. S obzirom na ove tehnološke i organizacijske promjene proizvodni će se sustavi drastično promijeniti u novoj mješavini metoda i alata za rutinske i ne rutinske zadatke. Nastale promjene i izazovi za industrijski inženjering utjecati će na okvir dizajna budućih tvornica. LPS pristupi će se proširiti na novu paradigmu dizajna kombiniranjem novih organizacijskih i tehnoloških shema. Istodobno, buduće proizvodne sustave treba osmisliti na ljudski centriran način kako bi se ostvarili prihvaćeni, ali i produktivni slučajevi. Izvori literatura koje se bave tematikom Lean proizvodnog sustava (LPS) i digitalne transformacije su relativno novi, iz razloga što su se napreci ostvareni digitalnom transformacijom u industriji 4.0 (I4.0) odvijali tokom zadnjih desetak godina. [25]

Međuveze između LPS i I4.0:

- Lean je temelj Industrije 4.0
- Industrija 4.0 kompletira Lean
- Industrija 4.0 povećava efikasnost Leana
- Promjena u Lean principima

LPS i I4.0 imaju nedostajuću kariku koja bi trebala povezivati ljudski orijentiranu organizacijsku strukturu LPS-a i tehnološke dobrobiti I4.0. Razvoj LPS 4.0 spojio bi prazan prostor između ta dva polja kao na Slika 15.



Slika 15. Spajanje LPS i I4.0 [25]

U usporedbi s klasičnim LPS-om, LPS 4.0 infrastruktura naglašava važnost upravljanja podacima kao potpornom funkcijom promjene procesnih struktura i evolucijskih promjena među metodama i alatima digitalnih tehnologija. Značajan dio literature o digitalnoj transformaciji sugerira da se na raskrižju između alata unutar LPS-a i sve više digitalno integriranog proizvodnog prostora odvija moguća transformacija.

Za LPS 4.0 kao pokretačke tehnologije mogu se uključiti cyber-fizički sustavi, standardizacija protokola i sučelja, i internet stvari. LPS 4.0 modificirana je organizacija i struktura Lean proizvodnog sustava. Strategije unutar LPS-a ostaju specifične za tvrtku, proizvodne strategije su pod utjecajem digitalne transformacije. Procesi unutar LPS-a postaju agilniji i prilagodit će se karakteristikama industrije 4.0. Principi u LPS-u i njihova priroda kompatibilni su sa industrijom 4.0. Metode i alati LPS-a su podvrgnuti značajnom promjenom uzrokovanom digitalnom transformacijom. [25]

3.3 ERP 4.0

Rješenja za planiranje poslova, odnosno poslovni informacijski sustavi (ERP) ključni su dio digitalnog svijeta proizvodnje i poslovanja.

Svako poduzeće koje želi sudjelovati u četvrtoj industrijskoj revoluciji mora imati ERP sustav koji je izgrađen tako da koristi tehnologije koji pokreću industriju 4.0. Suvremeni ERP sustavi moraju se konstruirati bitno drugačije od temelja u odnosu na klasične. Prvo ih treba razviti za oblak. ERP sustav ne bi se trebao jednostavno premjestiti iz pohrane s lokanih medija na pohranu u oblak, već bi ga trebalo osmisliti i izgraditi za pokretanje u oblaku izvorno. Budući da je aplikacija izvorna za oblak, sustavu se može pristupiti s bilo kojeg mjesta. Također treba biti konstruiran za interakciju s vanjskim sustavima programskim sučeljima aplikacijskog programiranja (API) dostupnim za sve dijelove sustava. Oprema za proizvodnju povezana je s proizvodnim procesom putem senzora i pametnih uređaja. Tradicionalni proizvodni izvršni sustavi (MES) ustupaju svoje mjesto sofisticiranijim i povezanim industrijskim IOT proizvodnim sustavima. Iako industrijske IOT operacije podržavaju tradicionalnu automatizaciju i kontrolu MES-a oni dodaju fleksibilne protokole za komunikaciju i prikupljanje podataka koji su potrebni za povezivanje sa trenutnim i budućim operacijama.[26]

Na Sliku 16. mogu se vidjeti uz ERP i ostale aplikacije za kontrolu proizvodnih procesa kao što je MES, LIMS, CMMS, EMS, SCADA, HMI i PLC . [27]



Slika 16. Aplikacije za kontrolu procesa [27]

Proizvodna organizacija budućnosti mogla bi se odvijati s velikom autonomijom od prodajnog mjesta, dobavljanja i stvaranja proizvoda, isporuke i sve do usluge pružene kupcu. U ne tako dalekoj budućnosti možemo predvidjeti naručivanje npr. cipela putem aplikacije koristeći tehnologiju proširene stvarnosti koja vam omogućuje odabir boja cipela i dodataka. Sustav zatim narudžbu šalje u tvornicu gdje se proizvod kupca proizvodi kombinacijom prilagođenih materijala i 3D otisnutog potplata koji se podudara s njegovim točnim dimenzijama stopala. Nakon proizvodnje, dron podiže cipelu i premješta je na stanice za pakiranje gdje robot dovršava pakiranje

i spušta na skladišnog robota gdje se premješta u spremnik za traženu dostavnu službu. Sve ove operacije u ovom budućem proizvodnom pogonu vodit će ERP sustav tvrtke. [26]

3.4 SMED

SMED (*eng. Single Minute Exchange od Dies*) iliti jednominutna izmjena matrica je metoda za značajno smanjenje vremena potrebnog za prijelaz s proizvodnje jednog na drugi proizvod. U SMED metodi svi procesi obrade dijele se na unutarnje i vanjske. Vanjski procesi su oni koji se odvijaju isključivo za vrijeme rada stroja, a unutarnji procesi su oni su oni za koje je potrebno ugasiti stroj, odnosno zaustaviti proizvodnju. Bit metode je pretvoriti što je više moguće unutarnjih procesa u vanjske procese i pojednostaviti sam tok izmjene [Slika 17]. Naziv jednominutna razmjena matrica dolazi iz cilja smanjenja vrijeme izmjene na jednoznamenkastu (*eng. single*) znamenku. [28]



Slika 17. SMED procesi [28]

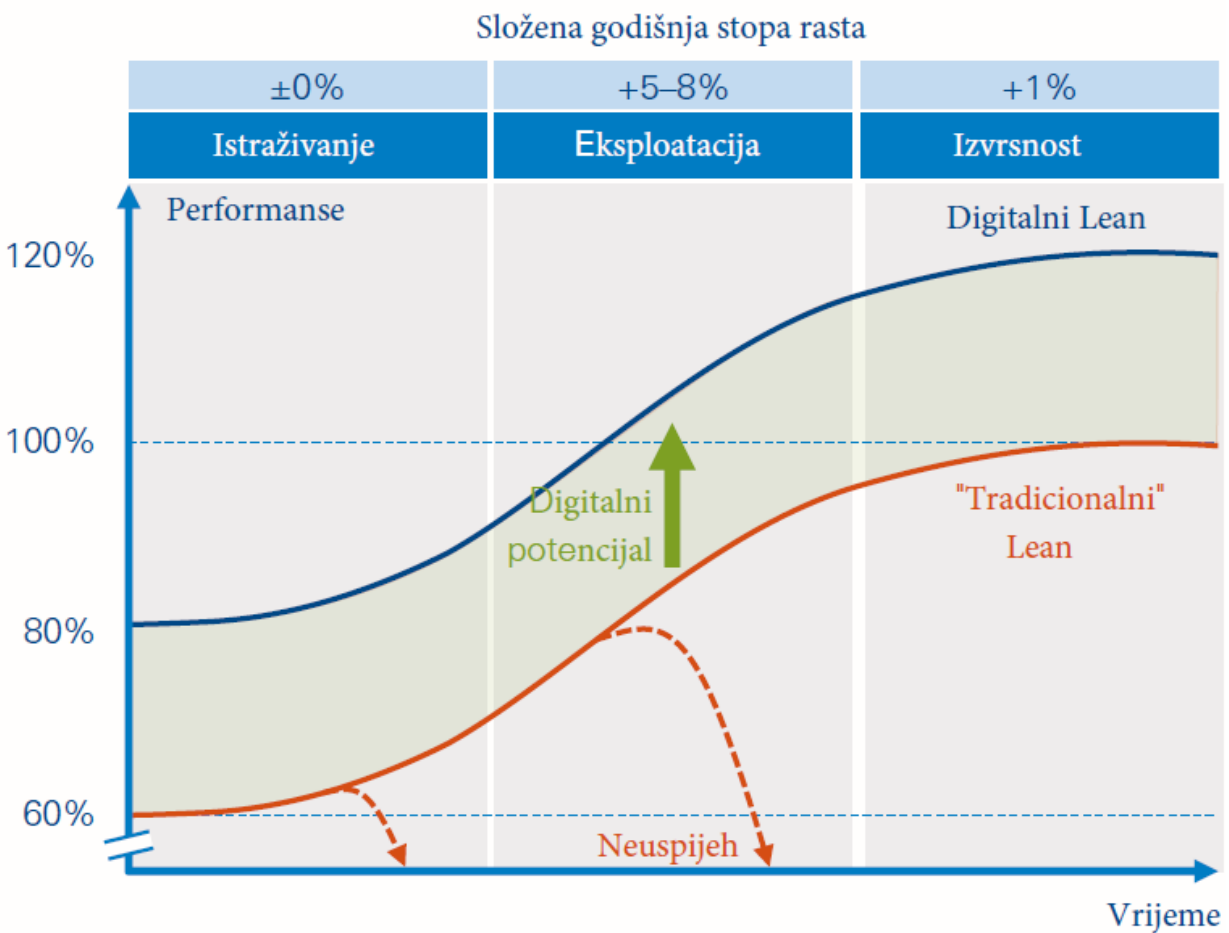
4. DIGITALNI LEAN

Digitalne tehnologije dosegle su u novu eru Lean proizvodnje koja proteže Lean filozofiju na digitalni svijet. Pretvorbom „fizičkog u digitalno“, poznato kao digitalna transformacija ili digitalizacija nastaju novi procesi koji dovode do stvaranja nove dodane vrijednosti. Digitalni proizvodni procesi ostvaruju bolju produktivnost, veću kvalitetu, optimiziranu uporabu resursa i povećan protok proizvodnje. Digitalni Lean utemeljen je na novom načinu prikupljanja podataka, integraciji, obradi i vizualizaciji istih. Tako nastaju analitičke aplikacije za otkrivanje, popravljavanje, predviđanje i sprječavanje nestabilnih procesa, te kako bi se izbjegli problemi vezani uz kontrolu kvalitete do kojih se može doći u stvarnom i digitalnom svijetu. Proces digitalnog Leana ciljaju na podršku digitalnim tvornicama pri uklanjanju gubitaka iz oba svijeta. To će se postići sinkronizacijom proizvodnog okruženja između virtualnih modela i simulacije koja predstavlja virtualnu tvornicu koja će pomoći pri dizajniranju i konstruiranju tih tvornica kako bi one bile što bliže radu bez gubitaka. Također omogućava se nadzor performansi u stvarnom vremenu u fizičkom svijetu kako bi se procijenilo je li nivo proizvodnje na najvećoj mogućoj razini produktivnosti i kvalitete ili ima mjesta za poboljšanje. Najosnovnije mogućnosti digitalnog Leana su :

- Vidljivost podataka. *Andon* (informacijski) sustavi nove generacije i digitalne nadzorne ploče.
- Transparentnost podataka. Sustavi za komunikaciju i praćenje u stvarnom vremenu.
- Predviđanje (kritičnih) događaja. Grafovi za predviđanja radi kontinuirana poboljšanja proizvodnje čije operacije izvode ljudi, strojevi ili računala. [29]

Uspješne tvrtke postigle su izvanredne rezultate implementiranjem Lean menadžmenta u centar svoje poslovne transformacije. Istodobno, potencijal digitalnih tehnologija da transformiraju poslovne rezultate je značajno porastao. Postoje dvije vrste tvrtki na putu do digitalnog Leana. Tvrtke koje shvate da će njegovom implementacijom dodatno poboljšati poslovne rezultate i tvrtke koje su u problemima i traže spas radi vlastitog opstanka. Lean tvrtke razvijaju svoje sposobnosti i procese kontinuirano, kao dio njihove kulture.

Stalno poboljšavanje im omogućuje fleksibilno usklađivanje aktivnosti u skladu sa poslovnom strategijom. Posljedica toga svega je da te tvrtke postižu visoke performanse poslovanja u odnosu na njihove konkurente. Usporedba tradicionalnog i digitalnog Leana [Slika 18] može se vidjeti na grafu gdje je životni ciklus Leana podijeljen u tri dijela sa pripadajućim rastom uspješnosti kroz te dijelove ciklusa. [29]



Slika 18. Usporedba tradicionalnog i digitalnog Leana [29]

Rast uspješnosti do 8% uobičajen je tijekom faze Lean eksploatacije. Ono se smanjuje kako performanse rastu i teži stabilizaciji na oko 1% u fazi izvrsnosti. Digitalne performanse imaju potencijal napraviti daljnja poboljšanja u svim fazama. Slični trendovi utvrđeni su u svim vrstama industrije. Tvrtke koje se mogu postepeno pouzdati u Lean principe i pripadajuće digitalne tehnologije prevladavaju tradicionalne barijere i otključavaju potpuni digitalni potencijal.

To rezultira preusmjeravanjem tradicionalnog Lean upravljanja ka digitalnom Lean upravljanju koji donosi poboljšanje rezultata poslovanja i zadovoljstva kupaca. Čak i desetljećima nakon „Stroja koji je promijenio svijet“ još uvijek mnogo pokušaja Lean implementacije ne uspije. Tvrtke se nerijetko češće fokusiraju na alate nego na samu filozofiju i na otklanjanje gubitaka nego na pažnju oko kupaca. Time se dolazi do neispunjenja kontinuiranog poboljšanja i određenog zamora u Lean primjeni. Integriranje Lean principa u digitalnu transformaciju pomaže ostvariti izrazito pojednostavljenje procesa i identifikaciju najpogodnijih procesa za implementiranje digitalnog Leana. Obično nije jasno odakle započeti s digitalnim Lean-om i kako odrediti na koje procese se najviše isplati primijeniti digitalni Lean kako bi se dobili opipljivi rezultati. Naravno, izbor između mnoštva novih mogućnosti koje pruža digitalizacija pravi je izazov. Većina tvrtki se bori da učinkovito pronađu pravi pristup kako bi efikasno iskoristili benefite koje donosi digitalizacija. [29]

Sljedeća tri pitanja definiraju temelje za otključavanje potencijala ostvarivanja većih performansi uporabom digitalnog Leana:

1. Kako pojednostaviti tradicionalni tok vrijednosti?

Potpuni potencijal digitalizacije tradicionalnog toka vrijednosti izveden je iz dvostupanjskog „*Digital Greenfield Design*“ pristupa koji se temelji na dvama ključnim pitanjima:

- Koje korake fizičkog procesa možete automatizirati pomoću zrelih i dokazanih tehnologija?

Za početak potrebno je dizajnirati *Greenfield* tok vrijednosti. Korištenje digitalno zrelih tehnologija može prevladati performanse koje su ograničene na tehnologije tradicionalnog toka vrijednosti. Jednom kada se korak u proizvodnji automatizira (npr. pomoću autonomnog transporta u logistici) potrebno je ispitati uzvodne i nizvodne efekte (npr. utjecaj na utovar/istovar). Dakle, cijeli proces od početka do kraja za taj dio proizvodnje.

- Koji se preostali nefizikalni (informacijski) koraci procesa mogu dodatno digitalizirati?

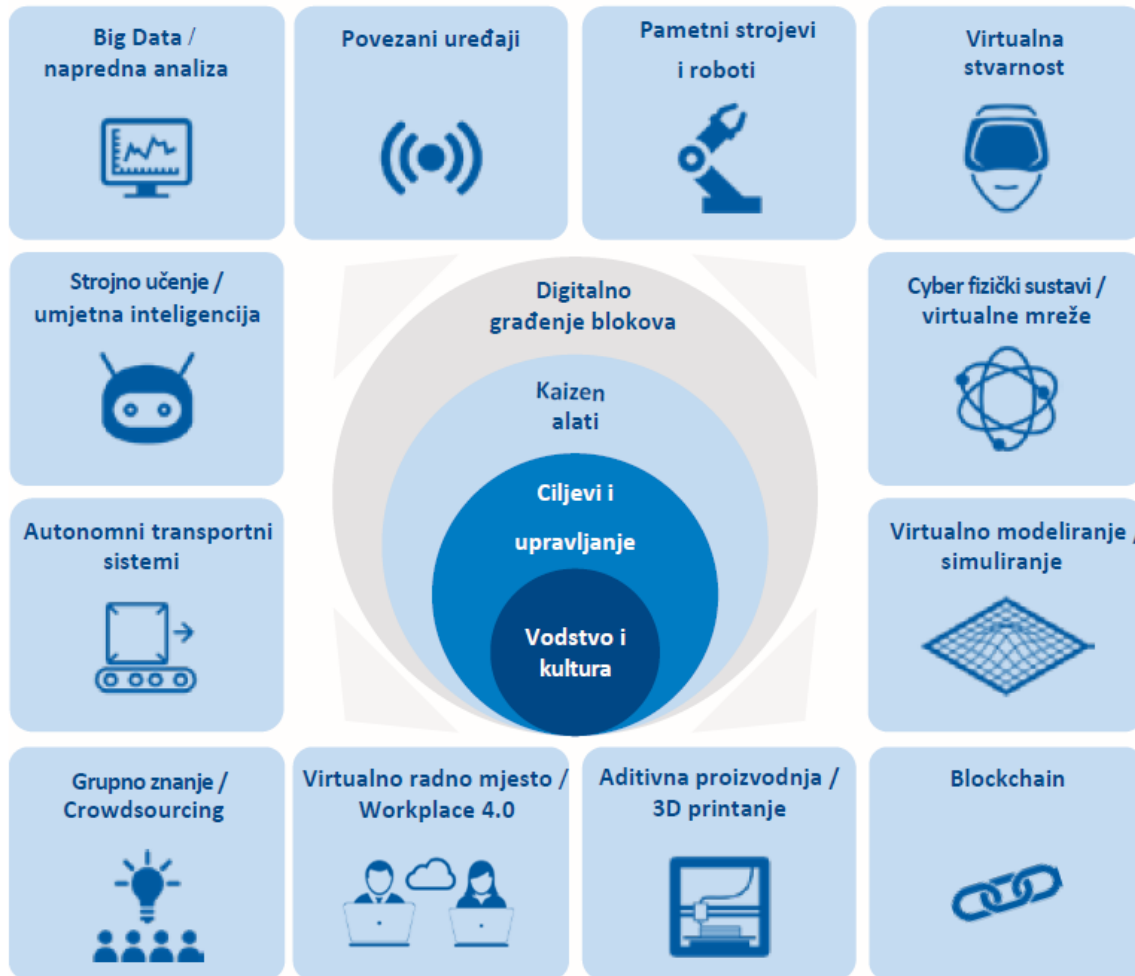
Sljedeće je potrebno redizajnirati sustav za obradu informacija, stavljajući prioritet na samo učenje koristeći digitalne blizance, robotiziranu automatizaciju procesa i/ili primijeniti umjetnu inteligenciju.

2. Koje digitalne tehnologije građenja blokova koristiti za stvaranje novih vrijednosti ?

Otključavanje digitalnog potencijala organizacije zahtijeva kombinaciju znanja pouzdanih i dokazanih tehnologija te prepoznavanje specifičnih funkcionalnosti aplikacija. Svaka tvrtka stoga mora konfigurirati vlastiti skup tehnoloških blokova koji će se baviti njenim organizacijskim karakteristikama i prioritetima.

Sljedeće grupiranje definira pet kategorija tehnoloških građevinskih blokova koji tvrtkama omogućuju da prate svoje operativne potrebe kako bi izgradile svoj tehnološki blok:

- Kognitivnost. Upotreba prepoznavanja uzoraka na temelju Big Data za automatizaciju podataka (npr. Big Data / napredna analiza, strojno učenje / umjetna inteligencija).
- Povezanost. Uklapanje strojeva i zadataka kroz više funkcionalnu upotrebu informacija (npr. pametni strojevi i roboti).
- Virtualnost. Povećanje produktivnosti odvajanjem i pretvaranjem fizičkih radnji u virtualne prostore (npr. Cyber fizički sustavi, proširena stvarnost).
- Ljudski usmjereno. Osmisliti nova radna mjesta primjenom grupnog znanja (npr. Grupna inteligencija, virtualno radno mjesto).
- Dodatna vrijednost. Definiranje novih poslovnih modela pomoću novih digitalnih tehnologija (npr. aditivna proizvodnja / 3D printanje). [29]



Slika 19. Primjene digitalnog Leana [29]

3. Koje zamke izbjeći?

Tvrtke koje jednostavno uvode nova tehnološka rješenja bez gledanja cjelokupnog toka vrijednosti, riskiraju neuspjeh. Digitalizacija se još uvijek može provesti, ali postoji mogućnost da tvrtka neće u potpunosti iskoristiti svoj digitalni potencijal.

Postoji nekoliko razloga zbog kojih se digitalizacija mora temeljiti na elementima Lean upravljanja koji se u praksi često zanemaruju, a to su:

- Problemi vezani uz tokove vrijednosti i nekvalitetnih podataka rijetko se rješavaju pomoću specijaliziranih sofisticiranih tehnologija.
- Digitalizacija procesa na temelju nekvalitetnih podataka čini nedostatke još gorim.

- Lokalna primjena tehnoloških poboljšanja na razini radnog mjesta pojedinca rijetko dovodi do radikalnih poboljšanja na razini cijele tvrtke.
- Tehnologijama koje se na prvi pogled čine lako primjenjive, može nedostajati zrelosti koja uzrokuje frustraciju i nezadovoljstvo kod zaposlenika.
- Radikalno pojednostavljenje proizvodnih procesa uvođenjem digitalnih poboljšanja zahtijeva cjelokupni pristup transformaciji tokova vrijednosti. [29]

4.1 Smanjenje gubitaka: tradicionalno vs digitalno

Digitalni Lean ubrzava identifikaciju gubitaka brže od tradicionalnih Lean metoda davanjem ciljanih, detaljnih informacija izravno onima koji mogu imati utjecaja na smanjivanje gubitaka. Međutim, digitalni Lean pruža priliku ciljati skrivene komponente gubitaka kao što su asimetrija i kašnjenje informacija koji često ostaju neprimijećeni ali kumulativno čine veliki trošak i smanjenju učinkovitost.

Tablica 2. pokazuje kako se tradicionalni i digitalni Lean nose sa osam vrsti gubitaka:

Tablica 2. Nošenje s 8 vrsta gubitaka [30]

Vrsta gubitaka	Tradicionalni Lean	Digitalni Lean
Prekomjerna proizvodnja	Smanjuje gubitke nastale prekomjernom proizvodnjom radi desikronizacije ponude i potražnje zbog zakašnjele obavijesti o potražnji i sporog procesa zaustavljanja proizvodnje	Daje informacije u stvarnom vremenu o toku proizvodnje i unaprijed podešava kapacitet proizvodnje
Zalihe	Omogućuje da se proizvodi proizvode prema potrebi	Omogućuje pogled na stanje zaliha u stvarnom vremenu i a kroz uvid u proizvodnju i buduće stanje zaliha.

Škart	Smanjenje udjela škarta uvođenjem standarda za održavanje, definiranje procesa i konstruiranje proizvoda.	Identificira točno proces, korak u proizvodnji ili posebnost proizvoda koji uzrokuje škart u prvom analitičkom postupku
Pretjerana obrada	Izbjegavanje prekomjerne obrade i ispitivanja kvalitete ako to kupac ne zahtjeva	Povezan i integriran u životni ciklus proizvoda (tok proizvodnje) kroz digital twin
Vrijeme čekanja	Neuravnotežene operacije, uska grla, zastoji i loše planiranje proizvodnje povećavaju vrijeme zastoja. Tradicionalne Lean metode pomažu ublažiti vrijeme čekanja.	Smanjuje vrijeme čekanja kroz dinamičko preusmjeravanje operacija baziranih na podacima o statusu proizvoda u stvarnom vremenu. Brza identifikacija uskog grla, simulacije i optimizacije različitih načina procesa proizvodnje
Kretanje radnika	Loš plan proizvodnih linija i ćelija uzrokuje nepotrebna kretanja radnika da izvrši zadatak. Tradicionalni Lean bavi se za nepotrebnim dodatnim kretanjima koji ne pridonose dodatnoj vrijednosti.	Analizom podataka i korištenjem proširene stvarnosti mogu se simulirati potrebne kretanje radnika za obavljanje zadatka i tako u potpunosti eliminirati nepotrebna kretanja već pri samom planiranju proizvodnje.
Transport	Smanjuje vremena transporta materijala s raštrkanih spremišta po tvornici do mjesta njihove uporabe ili obrade.	Izračunava ukupno vrijeme transporta materijala koji su potrebni za proizvodnju proizvoda. Na taj način omogućuje pronalazak prilika za poboljšavanje transportnog puta ili mjesta skladištenja materijala.

Na primjerima iz Tablica 2. tradicionalne Lean metode mogu nam pomoći u identificiranju vrsti gubitaka koje treba eliminirati. Međutim, potrebno je dodatno razumjeti novu tehnologiju kako bi se metode tradicionalnog Lean mogle bolje primijeniti u sklopu s tim novim tehnologijama kako bi se ostvarila maksimalna efikasnost proizvodnje. Kako tvrtke prelaze s tradicionalnog na digitalni Lean, važno je da razumiju digitalno proširenje svakog Lean alata i hoće li to proširenje dodati vrijednost tradicionalnom pristupu.

Na jednostavnim primjerima [Tablica 3] može se vidjeti kako Kanban i TPM Lean metodu možemo unaprijediti digitalnim tehnologijama:

Tablica 3. Unaprijeđenje tradicionalnog digitalnim [30]

Lean metoda	Tradicionalna	Digitalna
Kanban	Posude se pune sa dijelovima proizvoda. Kad se potroši dio dijelova do određene razine, signalizira se da je potrebno dopuniti posudu.	Tehnologija automatskog označavanja kao što je RFID senzor može biti dio posude i automatski upozoriti kada je potrebno nadopuniti posudu s novim dijelovima. Druge tehnologije poput AI i <i>digital twin-a</i> mogu simulirati i optimizirati kapacitet same posude kao i učestalost nadopune posude.
TPM	Vrši se periodički ovisno o vremenu rada, broju odrađenih proizvoda i drugih servisnih kriterija prije nego što dođe do kvara radnog stroja.	Napredni senzori i algoritmi AI-a omogućuju prediktivno održavanje: oprema se servisira prema očitanim parametrima (vibracije, istrošenost, temperatura) stroja putem senzora. Tako se izbjegavaju i nepotrebni servisi jer ne mora biti nakon svakog proizvodnog ciklusa ili vremena stroj jednako potrošen.

5. PAMETNA TVORNICA

Automatizacija je oduvijek bila sastavni dio tvornica tako da čak i visoke razine automatizacije nisu ništa novo. Međutim, izraz „*automatizacija*“ sugerira na izvedbu jednog diskretnog zadatka ili procesa. Povijesno gledano, situacije u kojima su strojevi donosili odluke bile su bazirane na linearnoj automatizaciji kao što je otvaranje/zatvaranje ventila ili uključivanje/isključivanje pumpe prema definiranom skupu pravila. Kroz primjenu umjetne inteligencije (AI) i sve veću razvijenost IT sustava koji mogu kombinirati fizičke strojeve i poslovne procese, automatizacija se odnosi na donošenje složenih odluka koje obično donose ljudi. Napokon i možda najbitnije, pojam „Pametna tvornica“ predstavlja integraciju podataka s prodajnog mjesta, lanca opskrbe i šireg djelokruga poduzeća njihovim međusobnim povezivanjem IT/OT krajolikom. Tako se iz temelja mijenjaju procesi proizvodnje i unaprjeđuju se odnosi sa dobavljačima i kupcima.

Postaje jasno da pametne tvornice nadilaze jednostavnu automatizaciju. Pametna tvornica je fleksibilan sustav koji može sam optimizirati vlastitu proizvodnju, prilagoditi se i učiti iz novih uvjeta u stvarnom ili gotovo stvarnom vremenu i autonomno voditi proizvodne procese. Ona može biti ograničena na svoja četiri zida, ali može biti i dio globalne mreže sličnih proizvodnih sistema.

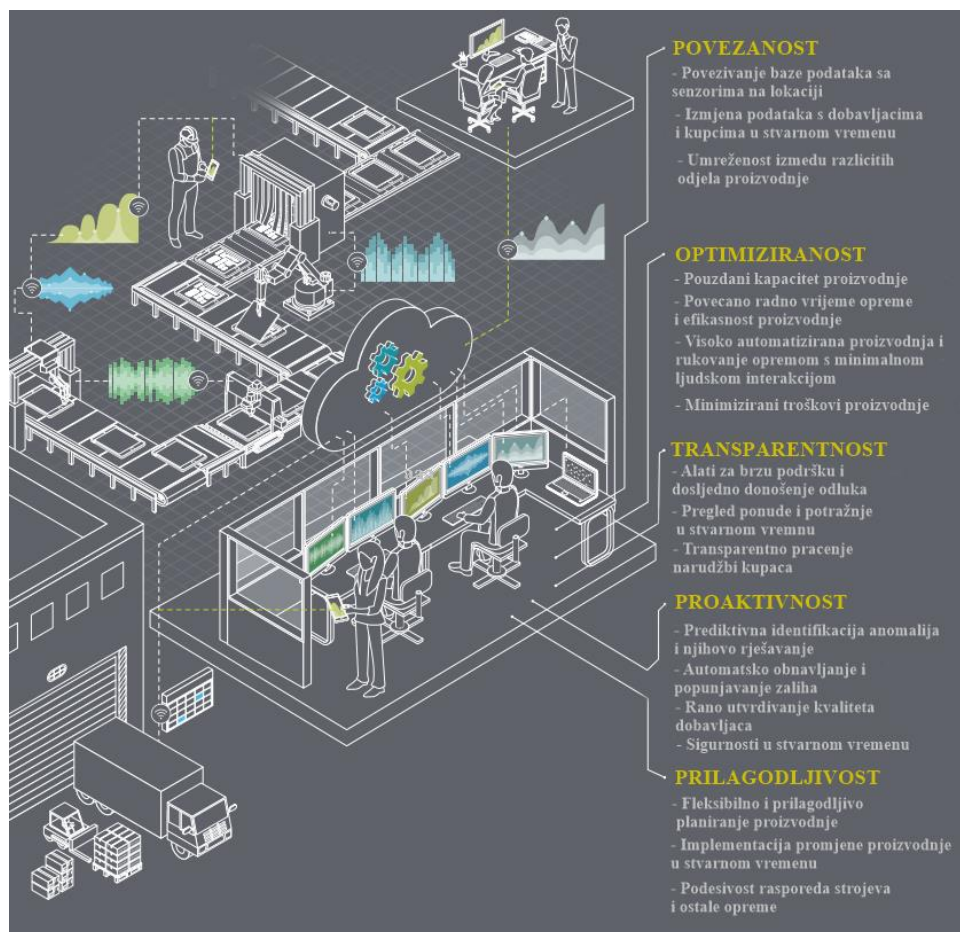
Prava snaga pametnih tvornica leži u njejoj sposobnosti razvijati se i rasti zajedno s promjenjivim potrebama organizacije bilo oni usmjereni prema potražnji kupaca, širenju na nova tržišta, razvoju novih proizvoda ili usluga, prediktivnijem i bržem pristupu poslovanja i održavanju, primjenu novih tehnologija i procesa ili promjeni proizvodnje u stvarnom ili gotovo stvarnom vremenu. Razvojem snažnijih računalnih i analitičkih mogućnosti, zajedno sa širim ekosustavima pametne, povezane imovine, pametne tvornice mogu omogućiti organizacijama da se prilagode promjenama na način koji bi prije bio gotovo nemoguć za ostvariti. [31]

5.1 Značajke pametne tvornice

Sposobnost prilagodbe i brzog učenja iz podataka u stvarnom vremenu čini pametnu tvornicu responzivnijom, proaktivnijom, predviđajućom i omogućuje organizaciji da izbjegne zastoje u proizvodnji.

Kao dio svojih napora da implementira pametnu tvornicu u proizvodnju klima uređaja, vodeća elektronička tvrtka koristila je potpuno automatizirani proizvodni sustav, 3D skenere, IOT tehnologije, integriranu strojnu kontrolu. Prednost ove automatizacije uključuje niže vrijeme isporuke proizvoda kupcima, niže ukupne troškove samog proizvoda zajedno sa povećanjem proizvodnih kapaciteta za 25% i 50% manjim brojem neispravnih proizvoda. [32]

Slika 20. prikazuje pametnu tvornicu i neke njezine glavne značajke: povezanost, optimizacija, transparentnost, proaktivnost i okretnost (*eng. agility*). Svaka od ovih značajki ima svoju ulogu u omogućavanju povećanje broja informacija za donošenje odluka i pomažu organizacijama pri poboljšanju procesa proizvodnje. Važno je napomenuti da je mala vjerojatnost da će dvije tvornice biti identične i da proizvođači mogu dati prednost raznim područjima tvrtke ovisno o trenutnim specifičnim potrebama.



Slika 20. Značajke pametne tvornice [31]

Povezanost je možda najvažnija značajka pametne tvornice i jedna od najvažnijih izvora vrijednosti. Pametne tvornice zahtijevaju povezivanje osnovnih procesa i materijala radi generiranja podataka potrebnih za donošenje odluka u stvarnom vremenu. U potpuno pametnoj tvornici imovina je opremljena s pametnim sensorima tako da sustavi mogu kontinuirano izvlačiti skupove podataka iz tradicionalnih ali i novih izvora. To omogućuje da podaci konstantno ažuriraju i da se odnose na trenutne uvijete u proizvodnji. Integracijom podataka iz operativnih i poslovnih sustava kao i od dobavljača i kupaca, omogućuje holistički pregled procesa opskrbnog lanca uzvodno i nizvodno imajući na umu ukupnu učinkovitost opskrbe mreže. Optimizirana pametna tvornica omogućuje izvršavanje operacija uz minimalne intervencije čovjeka i visoku pouzdanost. Automatizirani tijekovi rada, sinkronizacija sredstava, poboljšano praćenje i planiranje i optimizirana potrošnja energije pametnoj tvornici povećava profit, vrijeme i kvalitetu rada te smanjiti troškove i gubitke. U pametnoj tvornici prikupljeni podaci su transparentni. Vizualizacija podataka u stvarnom vremenu može transformirati podatke snimljene iz procesa proizvodnje ih pretvoriti u djelotvorne uvide koje koriste ljudi ili umjetna inteligencija za donošenje odluka. Transparentna mreža može omogućiti bolju vidljivost procesa kroz tvornicu i osigurati da organizacija može donijeti preciznije odluke pružajući alate poput *role based views*, obavijesti i upozorenja u stvarnom vremenu te praćenje i kontroliranje također u stvarnom vremenu. U proaktivnom sustavu zaposlenici i sustavi mogu predvidjeti i djelovati prije nego što se pojave problemi ili izazovi. Umjesto da jednostavno reagiraju na njih nakon što se pojave. Ova značajka može uključivati identificiranje anomalija, obnovu i popunjavanje zaliha, identificiranje i predviđanje rješavanja problema kvalitete, praćenje procesa vezanih za sigurnost i održavanje. Sposobnost pametne tvornice da predviđa buduće ishode na temelju povijesnih podataka i podataka u stvarnom vremenu može poboljšati vrijeme rada, zaradu, kvalitetu te spriječiti sigurnosne probleme. Unutar pametne tvornice proizvođači mogu provoditi procese poput *digital twins*, omogućujući im da digitaliziraju radnju i prerastu automatizaciju u predviđajuće mogućnosti. Prilagodljivost omogućuje pametnoj tvornici da se prilagodi rasporedu i promjenama proizvoda uz minimalne prepravke. Napredne pametne tvornice također mogu samostalno konfigurirati opremu i protoke materijala ovisno o vrsti proizvoda i promjeni plana proizvodnje. Tako mogu vidjeti direktno utjecaj promjena na proizvodnju u stvarnom vremenu. Uz to, agilnost može povećati vrijeme rada tvornice i zaradu minimiziranjem promjena usred raspoređivanja ili promjena proizvoda zahvaljujući fleksibilnom planiranju. [31]

Te značajke omogućuju proizvođačima veći uvid u njihovu imovinu i sustav, te omogućuje im bolje snalaženje u izazovima s kojima se tradicionalne tvorničke strukture teže nose.

Primjenom digitalizacije na tradicionalne procese dobivaju se novi, moderni proizvodni procesi koji su prema standardima industrije 4.0. U Tablica 4. nalaze se neke digitalne tehnologije koje je moguće primijeniti kako bi iz tradicionalne tvornice nastala pametna tvornica. Pomoću tih digitalnih tehnologija omogućena je primjena digitalnog Leana. Znači tradicionalne metodologije Leana napreduju u kombinaciji s novom tehnologiju tako što tradicionalni Lean postaje Digitalni Lean. [31]

Tablica 4. Digitalizacija tradicionalnog Leana [31]

Proces	Digitalizacija
Proizvodne operacije	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivna proizvodnja - proizvodnja brzih prototipa ili rezervnih dijelova male količine • Napredno planiranje i raspoređivanje pomoću podataka o proizvodnji i zalihama u stvarnom vremenu • Kognitivni <i>botovi</i> i autonomni roboti za učinkovito izvršavanje rutinskih procesa uz minimalni trošak s velikom točnošću • Digitalni blizanac - digitalizacija operacije i prelazak na automatizaciju i integraciju prediktivne analize
Skladište	<ul style="list-style-type: none"> • Proširena stvarnost za pomoć osoblju u odaberi i postavi zadatcima • Autonomni roboti za izvršavanje skladišnih operacija
Praćenje zaliha	<ul style="list-style-type: none"> • Senzori za praćenje kretanja, lokacije sirovina, napretka u radu, gotovih proizvoda, rezervnih alata u stvarnom vremenu • Analitika za optimizaciju zaliha i automatska obavijest za obnovu zaliha
Ispitivanje kvalitete	<ul style="list-style-type: none"> • Ispitivanje kvalitete pomoću optičkih uređaja za analizu • Praćenje opreme u stvarnom vremenu radi predviđanja potencijalnih problema s kvalitetom
Održavanje	<ul style="list-style-type: none"> • Proširena stvarnost kao pomoć osoblju za održavanje i popravak opreme • Senzori na opremi koji omogućuju prediktivno i kognitivno održavanje
Okoliš, zdravlje, sigurnost	<ul style="list-style-type: none"> • Senzori koji upozoravaju na blizinu opasnih strojeva u pogonu • Senzori na osoblju koji prate stanje okoliša, nedostatak kretanja ili druge potencijalne prijetnje

6. PRAKTIČNI DIO

Praktični dio diplomskog rada odrađen je u poduzeću OMV-INDOIL d.o.o. Oni su vodeće hrvatsko poduzeće u proizvodnji industrijskih ventila preko trideset godina. Sudjeluju u industrijama nafte i plina, energetike, voda i otpadnih voda, farmacije i ostalih procesnih industrija. Unutar kompanije sami proizvode i konstruiraju specijalne armature po ANSI, EN/DIN i GOST standardima. Pod pojam armatura uključeni su slijedeći proizvodi: zaporni ventili, zasuni, kuglaste slavine, konusne slavine, nepovratni ventili i leptiraste zaklopke. Posluju na dvije lokacije: u Zagrebu i u Čapljini (Bosna i Hercegovina).



Slika 21. Upravna zgrada

Prilikom dolaska u poduzeće, koristeći metodu Gemba šetnje motreni su procesi proizvodnje od početka obrade proizvoda na stroju, transporta po pogonu, ispitivanja kvalitete i montaže. Mogućnost poboljšanja trenutnog stanja pronađena je na više primjera procesa u prostorima za obradu proizvoda i u prostorima za montažu. Daljnji tekst je strukturiran na način da se prvo opiše i elaborira trenutno stanje i zatim ponudi moguće Lean ili digitalni Lean rješenje za poboljšanje produktivnosti, efikasnosti i sigurnosti.

6.1 Strojna obrada kućišta DN25

Kućište DN265 je sastavni dio od trafostanice. Strojna obrada se vrši na dva stroja. Prvi stroj je petero osni cnc stroj DMC 50 [Slika 22].



Slika 22. Petro-osni cnc stroj DMC 50

Na stroj dolazi sirovac na kojem je već prije obavljena operacija piljenja. Izrađen je od materija duplex 1.4401. Na njemu se vrše operacije tokarenja unutarnjih i vanjskih kontura. Nakon njega kućište ide na idući cnc stroj [Slika 24]. Na njemu se vrše operacije glodanja i bušenja provrta.

Prosječno vrijeme obrade na stroju DMC 50 iznosi oko 12 minuta dok na stroju DMU 50 Evolution iznosi oko 8 minuta.

Motrenjem procesa obrade na stroju DMC 50 zapaženo je učestalo zaustavljanje stroja kako bi se pogledalo stanje oštrice noža. Pošto je duplex jako tvrd materijal dolazi do bržeg trošenja oštrice noža.

Zbog toga je potrebno mjeriti obradak i ugađati parametre obrade na terminalu cnc stroja. Prilikom obrade dolazi do stvaranja špene koja se iz nekog razloga ne odvaja od noža i nakon nekog vremena se skupi oko noža [Slika 23] i potrebno je zaustaviti stroj kako bi se špena očistila. Radi špene na nožu upitna je preciznost obrade te je ponovno potrebno izmjeriti dimenzije obratka.



Slika 23. Nakupljanje špene oko noža alata



Slika 24. Cnc stroj DMU 50

Tablica 5. Obradna vremena proizvoda

Broj operacije	Operacija	Unutarnja	Vanjska	Vrijeme [min]	Ukupno vrijeme [min]
1	Stezanje obratka	x		0:43	0:43
2	Početak obrade		x	2:59	3:42
3	Pregled	x		1:32	5:14
4	Nastavak obrade		x	0:48	6:02
5	Korigiranje alata	x		1:07	7:09
6	Čišćenje špene	x		0:15	7:24
7	Nastavak obrade		x	2:14	9:38
8	Pregled	x		1:41	11:04
9	Nastavak obrade		x	1:03	12:07
10	Kraj				12:07

Prema podacima vremena obrade [Tablica 5] vidi se kako je dosta vremena obrade utrošeno na kontrolu i podešavanje parametara.

Pokušano je odvojiti postupke izvršavanja obrade prema SMED-u na unutarnje i vanjske te postići poboljšanja, međutim svi postupci spadaju u unutarnje i nema mjesta za poboljšanje šta se tiče odvajanja vanjskih od unutarnjih procesa prema SMED-u. Unutarnji procesi su oni za čije izvršavanje je potrebno zaustaviti stroj, dok vanjski procesi se mogu izvršavati za vrijeme rada stroja.

Pored stroja nalazi se polica s ladicama. Njezina gornja ploča služi kao privremeni radni prostor. Prilikom rada svi potrebni alati, noževi, pomična mjerila su izvađeni i stavljeni na radnu plohu uključujući i tehnički crtež za radnim nalogom. Prostor u tom stanju izgleda prilično neorganizirano i teško dostupan [Slika 26]. Noževi alata koji se nalaze na gornjoj plohi nisu bili adekvatni pa je radnik išao po one odgovarajuće na drugi kraj hale u ormar s noževima. Primijećeno je kako radnik često otvora krivu ladicu u potrazi za alatom za koji se nije očekivalo da će biti potreban. Također, prilikom podešavanja parametara obrade, radnik koristi vlastiti smartphone u svojstvu kalkulatora. Nakon što je kućište gotovo s obradom na prvom stroju, stavlja se u drvenu paletu koja se nalazi neposredno pored stroja. Vrijeme transporta kućišta do drugog stroja traje svega nekoliko sekundi jer su na dijagonalnoj udaljenosti od tri metra. Pošto se na drugom stroju rade jednostavnije operacije nije dolazilo do neočekivanih poteškoća. Vrijeme obrade kućišta na stroju 2 iznosi 8 minuta. Nakon izvršene obrade, kućište stavlja se u drugu drvenu paletu gdje čeka za transport u montažni dio pogona. Svaki stroj pored sebe ima kontejner u koji se iz stroja izbacuje špena [Slika 25]. Ovisno o količini proizvodnje to je adekvatan i ne adekvatan način prikupljanja špena.



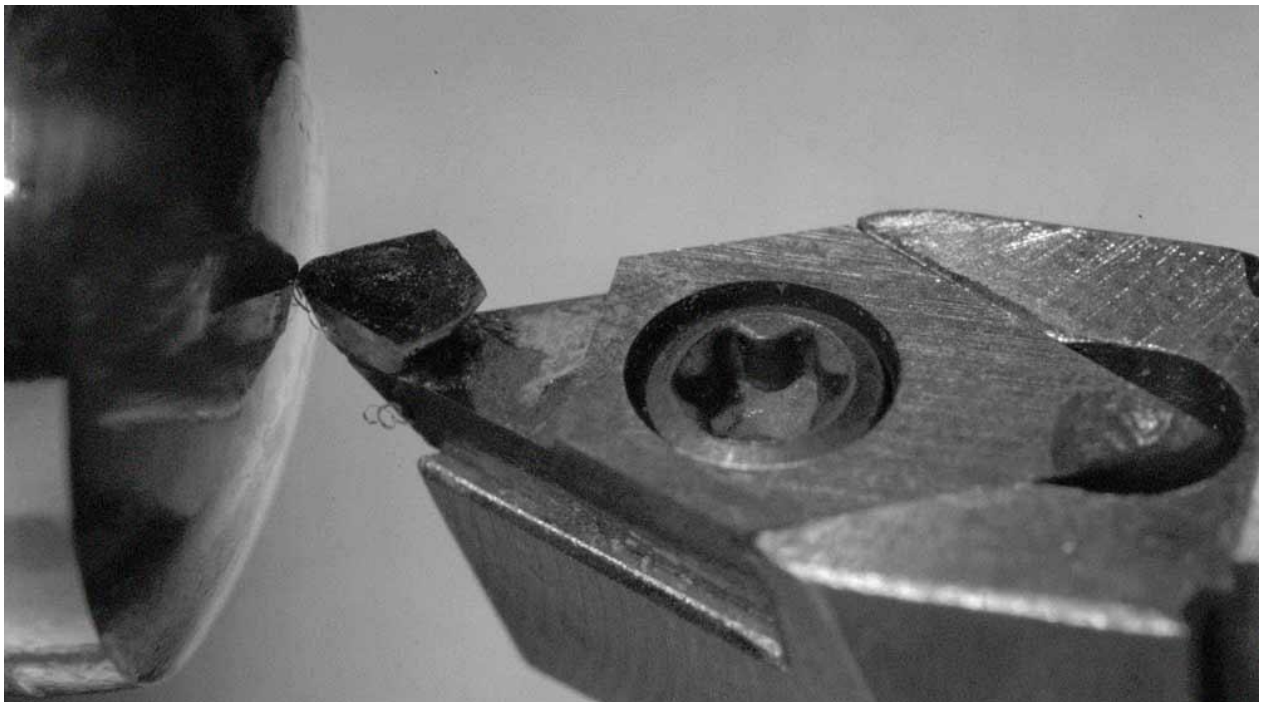
Slika 25. Kontejner za špenu



Slika 26. Radna površina i ladice

Ovo su ukupna zapažanja trenutnog stanja u strojnoj obradi kućišta DN25. U slijedećem dijelu teksta bit će opisana moguća poboljšanja tih stanja.

Šta se tiče same obrade na prvom stroju moguće je napraviti poboljšanja koristeći metode tradicionalnog i digitalnog Leana. Potrebno je smanjiti vrijeme, odnosno učestalost kontrole obrade na stroju 1. To se može postići na više načina. Eliminacija potrebe zaustavljanja stroja radi kontrole može se izvršiti instalacijom kamere u sam cnc stroj. Takva kamera treba biti robusne građe i mora moći snimati visok broj sličica u sekundi. Također je potrebno osigurati dotok komprimiranog zraka na leću kamere kako bi se čistila od nečistoća nastalih od špene i rashladne tekućine. Slika s kamere bi se u stvarnom vremenu emitirala na zasebnom ekranu pored stroja. To može biti televizor, računalo ili smartphone. Slika na ekranu trebala bi izgledati kao na slici 21. Time bi se vrijeme i učestalost kontrola skratila bar za 50% jer se obradak isto ne bi trebao stalno mjeriti. Pošto bi bio moguć prikaz oštrice u stvarnom vremenu radnik bi bio sigurniji u rad stroja i samim time ne bi trebalo mjeriti obradak i prilagođavati program obrade.



Slika 27. Primjer prikaza noža alata [27]

Radnu plohu može se osloboditi tako da ako se montira dodatni ekran koji emitira sliku u stvarnom vremenu s kamere, tehnički crtež kućišta zajedno s radnim nalogom može se moći prikazati na tom ekranu.

Naravno za to je potreban odgovarajući softver koji prati cijeli proces proizvodnje o kojemu će biti više kasnije u radu. Pogrešno otvaranje ladica može se riješiti također uz pomoć Kaizen metoda tako da se svaka ladica označi određenom bojom ili slovima. Te oznake bi trebale biti standardizirane za cijelo poduzeće tako da svaki radnik na bilo kojem stroju zna šta se nalazi u kojoj ladici. Računanje parametara cnc obrade poboljšava se jednostavnom instalacijom kalkulatora za preglednim ekranom i po mogućnosti s većim tipkama da rjeđe dolazi do pogreške u odabiru broja. Teretni način zbrinjavanja špene zadovoljava za male proizvodne količine. Za veće proizvodne količine moguće je na taj isti kontejner dodati senzor i signalnu lampu. To funkcionira na način kada se kontejner napuni sa špenom do određene razine, senzor to registrira i ovisno o kapacitetu popunjenosti daje informaciju popunjenosti preko signalne lampe. Lampa bi morala biti u stanju emitirati četiri boje tako da signalizira kada je kontejner za špenu na 25%, 50%, 75% i 100% kapaciteta. Također nisu svi predmeti obrade načinjeni od istog materijala. Prilikom razgovora s radnicima došlo je do saznanja da je mukotrpan posao odvajati špenu različitih materijala iz istog kontejnera. Za taj slučaj potreban je kontejner s pregradama gdje se može ručno ili automatizirano odabrati odredište izbacivanja špene.

Zatim, po noževe za alate strojeva radnik ide u obični drveni ormar [Slika 28] koji se nalazi u samom kutu pogona za strojnu obradu pored svlačionica. Ormar s noževima je od radnog stila udaljen 4 metra i radnik svaki put po novi nož mora preći tu udaljenost koja u oba smjera iznosi 8 metara. Prosječno izmjereno vrijeme pribavljanja noža za alat iznosi 48 sekundi.



Slika 28. Ormar s alatima

Radnici mogu nekontrolirano uzimati noževe za alate iz ormara ne vodeći nikakvu evidenciju. Rješenje problema nalazi se u TPM metodi čiji je cilj dobiti što veću učinkovitost stroja. Preko nje pronađeni su slijedeći prijedlozi poboljšanja. Potrebno je implementirati pametnu policu za davanje alata koja prati stanje i količinu alata koja bi bila pozicionirana u dijelu pogona da je svima dostupan ili u blizini stroja na kojem se najčešće mijenjaju alati noževa. Funkcionira na principu da radnik prisloni svoju karticu na policu, ona čita radnikove podatke i ovlaštenja. Radnik uzima potreban alat i policu bilježi novo stanje alata.

Tako bi se mogla voditi evidencija uzimanja alata i praćenja efikasnosti radnika s korištenjem alata. Mora se smanjiti udaljenost između cnc stroja i police s noževima. Trenutno je jedan ormar s noževima za sve cnc strojeve. Najbolje bi bilo kada bi svaki cnc stroj imao odmah pored sebe pametnu policu s noževima. I to sa noževima koji odgovaraju točno tome stroju. Kod promatranog stroja ima dovoljno prostora [Slika 29].



Slika 29. Slobodan prostor za policu s noževima

za smještanje takve pametne police i tada bi vrijeme potrebno za dohvata novog noža iznosilo mnogo manje. Paleta za odlaganje poluproizvoda bi se maknula na mjesto koje namijenjeno za njihovo stajanje. Znači,

kada bi policu s noževima koji su kompatibilni s tim strojem bila smještena pored stroja, vrijeme dohvata novog noža iznosilo bi 7 sekundi. Pošto je duplex izrazito tvrd materijal, jedan nož može obraditi 1 - 1.5 proizvoda. Stroj na godišnjoj bazi izradi oko 600 proizvoda od duplex materijala. Ušteda dobivena implementacije police s noževima pored stroja računa se prema jednadžbi (6):

$$U_p \approx \frac{c}{3600} * x * (t_s - t_n) \quad (6)$$

Gdje je:

U_p	kn	ušteta dobivena implementacije police s noževima
	kn/h	cijena radnog sata
x	kom	broj proizvoda
t_s	s	staro vrijeme dohvata noža
t_n	s	novo vrijeme dohvata noža
1.25	kom	aproksimirani broj proizvoda koji se može izraditi s jednim nožem.

Tako slijedi da je:

$$U_p = \frac{\frac{225}{3600} * 600 * (48 - 7)}{1.25} \approx 1230 \text{ kn.} \quad (6)$$

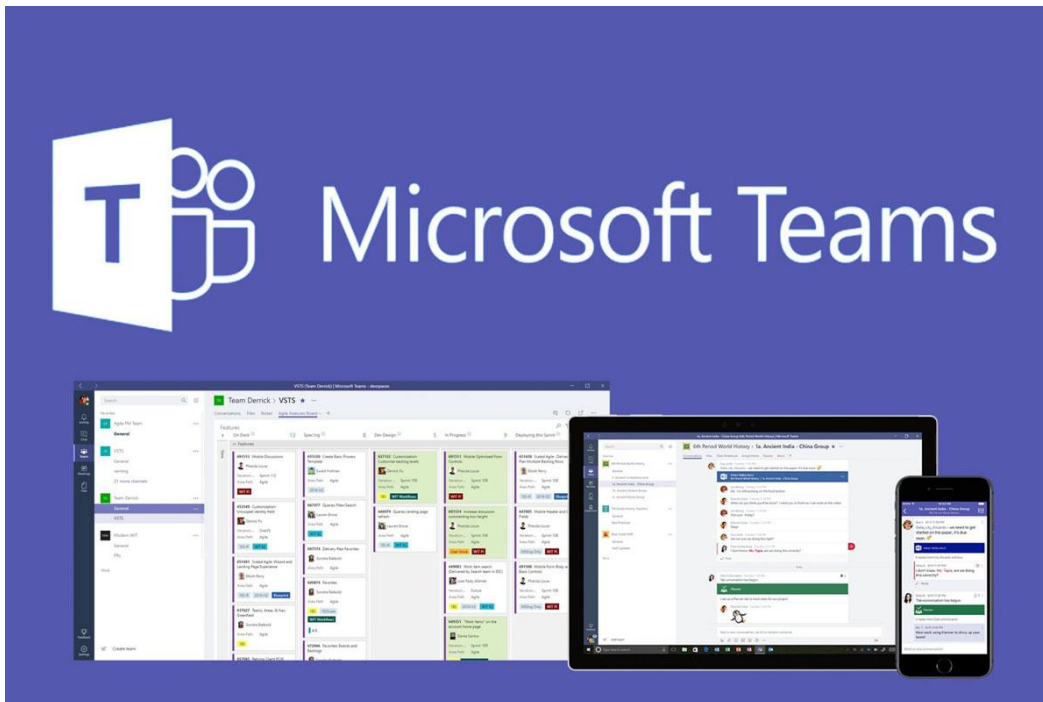
Ostvarena ušteta na godišnjoj razini pri obradi proizvoda od duplex materijala iznosila bi oko 1230 kuna. Ako gledamo uštedu u vremenu ona iznosi 410 minuta. Uzeći u obzir da se na ovom stroju obrađuju i proizvodi od drugih materijala, ušteta značajno raste. U pogonu ima 5 cnc strojeva. Da se za svaki uvede zasebna polica s alatima, ušteta u vremenu bi se upeterostručila. Ovo je jedno jednostavno poboljšanje, ali pridonosi produktivnosti i efikasnosti strojne obrade na tom stroju. Da se umjesto pametne police instalira obična polica poboljšanje bi računski bilo slično, ali se ne bi moglo saznati pravo stanje zalihe noževa u stvarnom vremenu i s noževi bi se mogli nekontrolirano uzimati od strane bilo koga.

6.2 Vrijeme dostave tehničke dokumentacije

Zapaženo je da postoji problem u dostavi tehničke dokumentacije od strane rukovoditelja do radnika na cnc stroju.

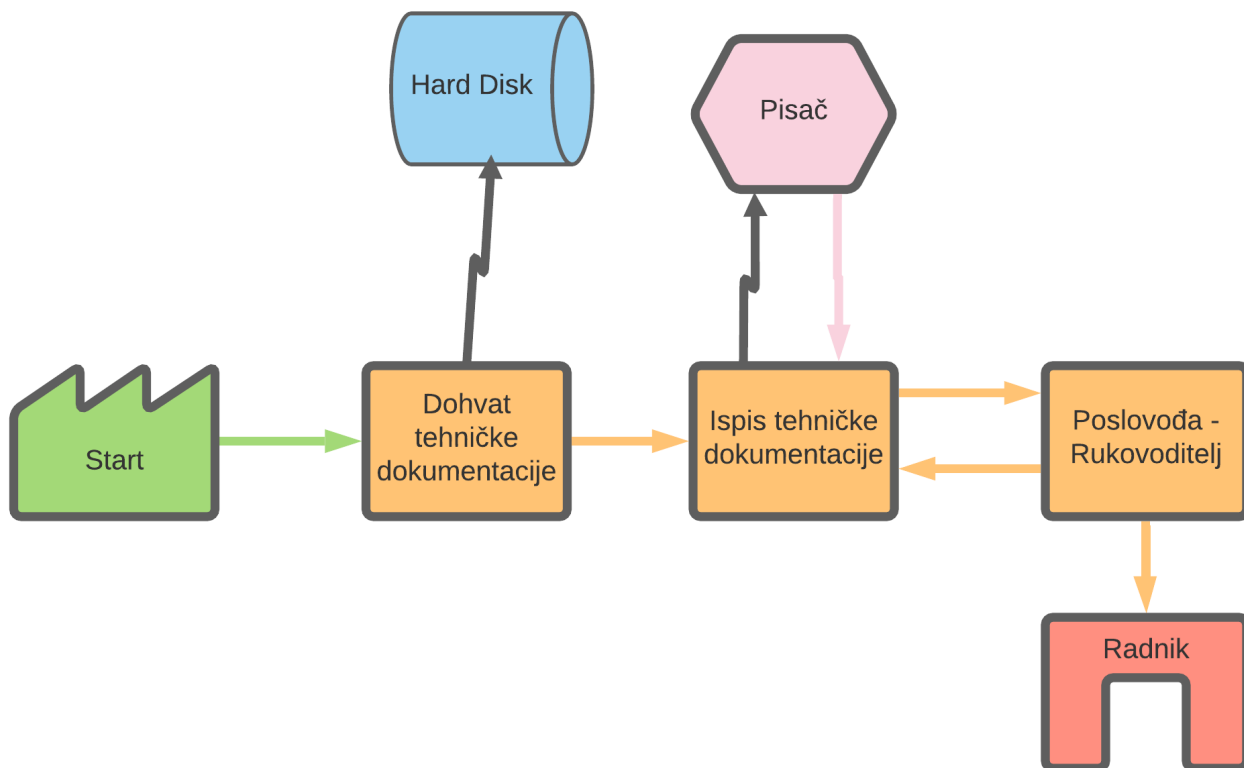
Zbog zastarjelog načina komuniciranja u poduzeću sama komunikacija se ne odvija na najefikasniji način. Sva komunikacija izvršava se putem mailova, telefona i uživo. Potrebno je unaprijediti sustav komunikacije. Idealan alat za to je Microsoft Teams. Microsoft Teams je platforma za suradnju zasnovana na porukama (chatu), zajedno s dijeljenjem dokumenata, internetskim sastancima i mnogim još izuzetno korisnim značajkama za poslovnu komunikaciju.

Imati izvrstan timski prostor ključno je za stvaranje kreativnih odluka i međusobnu komunikaciju. Uz dijeljeni radni prostor to je puno lakše postići, pogotovo ako je određeni tim sa sjedištem u vrlo velikoj tvrtki i ima mnogo udaljenih zaposlenika ili je samo sastavljen od značajne količine članova tima. Također unutar same platforme nalaze se na stotine aplikacija koje unaprjeđuju i proširuju mogućnosti platforme kako bi se što više mogla prilagoditi potrebama poduzeća.



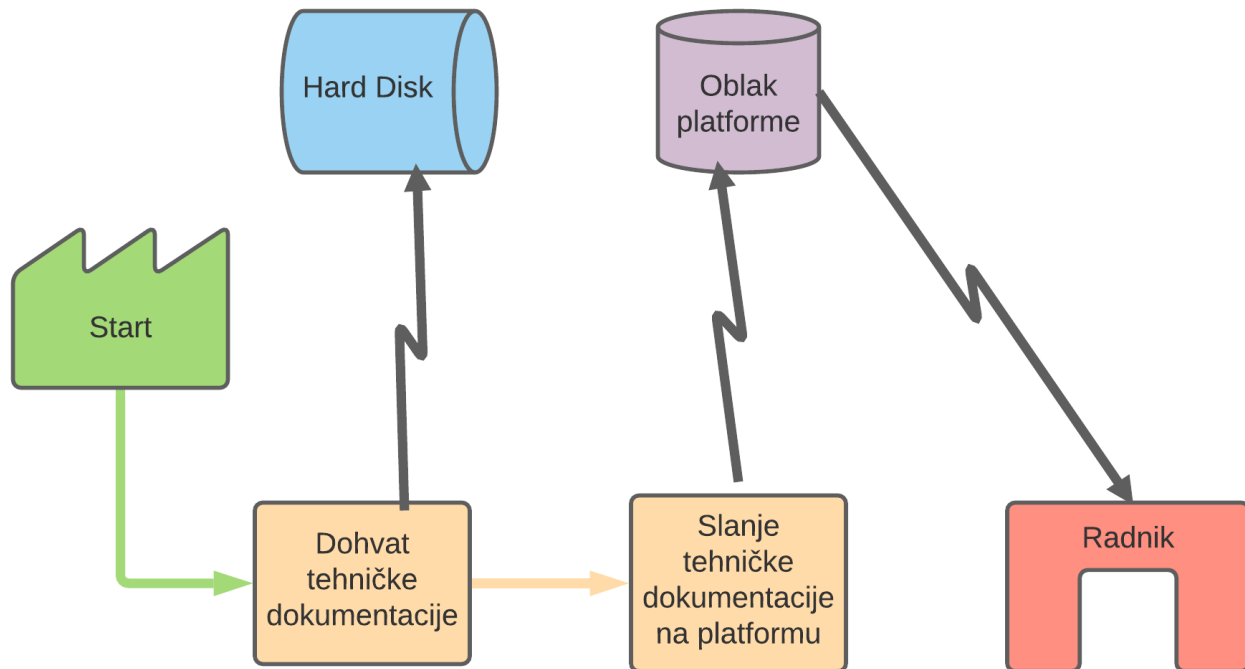
Slika 30. Microsoft Teams [34]

Microsoft Teams je u biti besplatan za osnovno korištenje. Po osnovno korištenje podrazumijevaju se poruke, video pozivi, podatkovni prostor na oblaku od 10 GB i grupu korisnika do 100 osoba. Dostupan je na gotovo svim komercijalnim platformama. Može se koristiti na računalu, tabletu ili mobitelu. Svatko u svakom trenutku može biti dostupan i biti upućen u najnovije informacije. [35] Trenutna dostava tehničke dokumentacije vrši se na način da rukovoditelj na pisaću ispisuje radni nalog i tehnički crtež. Zatim poziva voditelja da dođe po radni nalog i odnese ga radniku. Radnik dobiva radni nalog i kreće sa radom [Slika 31].



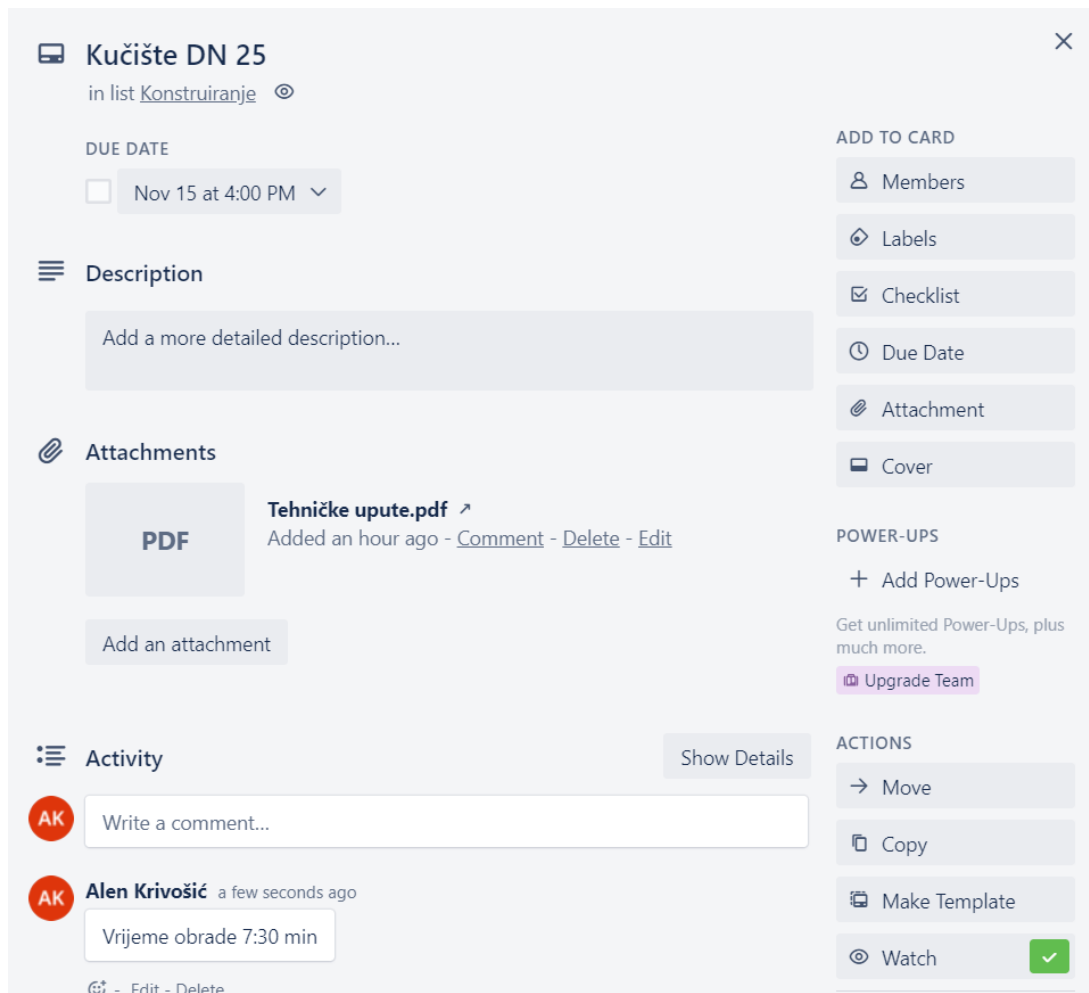
Slika 31. Pojednostavljeni VSM klasičnog toka informacija

Filozofijom Jidoka metode da se taj tok dostave tehničke dokumentacije automatizira implementirana je digitalizacija nad klasičnim tokom informacija. Digitalni tok informacija radnog naloga i tehničkog crteža [Slika 32] mnogo je jednostavniji. Rukovoditelj putem aplikacije Trello učitava radni nalog i tehnički crtež u međusobni djeljivi prozor. Trello je vizualni alat za planiranje procesa u proizvodnji. Radnik dobiva obavijest na tabletu koji se nalazi na radnoj plohi pored cnc stroja, dohvaća tehničku dokumentaciju i kreće s radom.



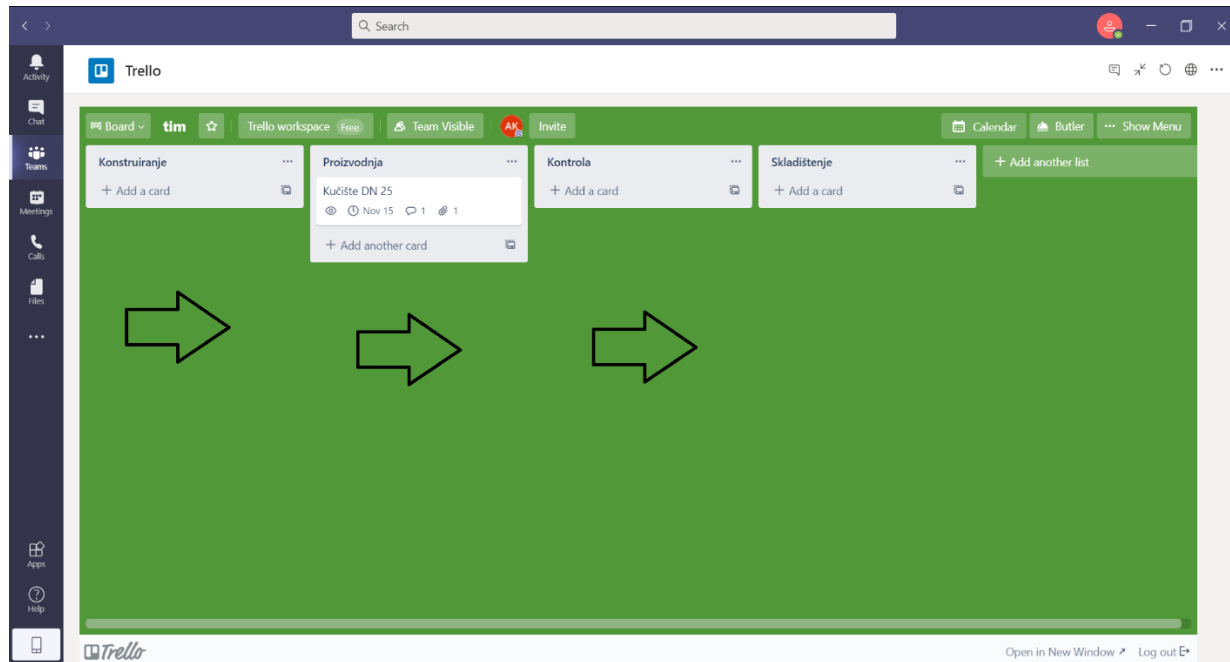
Slika 32. Pojednostavljeni VSM digitalnog toka informacija

Uporabom Microsoft Teams platforme eliminiran je voditelj jer se komunikacija odvija direktnim kanalom između rukovoditelja i radnika. Međutim, voditelj nije isključen iz procesa jer on u svakom trenu kao i ostali može vidjeti u kojem je proces statusu. Stanje završenosti prati se jednostavno na panelu aktivnosti proizvoda [Slika 34]. Nakon slanja dokumentacije radniku, rukovoditelj pomiče predmet iz stupca „Konstruiranje“ u stupac „Proizvodnja“. Radnik kada odradi sve potrebne radnje, pomiče predmet na stupac „Kontrola“ i tako dalje sve dok se ne završi proces proizvodnje tog proizvoda. Unutar predmeta u aplikaciji mogu se ostavljati komentari o vremenima izrade, eventualnim nastalim problemima i ostalim zapažanjima. Uvođenje digitalnog toka informacija u distribuciju tehničkog crteža i radnog naloga ostvareno je 85% manje vrijeme distribucije tehničkih dokumenata. Trenutno radnik i dalje mora ručno upisivati, makar digitalno vremena obrade proizvoda (slika 30). Plan je da se upis tih dodatnih podataka također automatizira ulaganjem dodatnih sredstava tako da se taj proces ne odvija ručno, već automatski pomoću bar kod čitača. Očitavanjem bar koda s proizvoda dohvatile bi se sve relevantne informacije o proizvodu direkt u aplikaciju.



Slika 33. Upis podataka u Trello aplikaciju

U prozoru prikazanom na Slika 33. postoje dodatne mogućnosti koje nismo koristili u ovoj radionici. Na primjer, ako se proizvod obrađuje na više od jednog stroja, ili jednostavno ima više operacija odabirom „*checklist*“ otvara se popis u koji možemo upisati potrebne radnje ili strojeve i kada radnja bude djelomično završena, označiti da je to učinjeno.



Slika 34. Trello aplikacija

Nakon izvršenog testiranja toka informacija održana je izmjena mišljenja o provedenom testiranju. Rukovoditelj i voditelj su zadovoljni jer su dobili uvid u stanje proizvodnje u gotovo stvarnom vremenu. Radnici misle da se ide u dobrom smjeru, ali i dalje bi tehnički crtež htjeli u papirnatom, fizičkom obliku. Svi se slažu kako je dobro što je radni nalog digitaliziran i što se barata sa manjim brojem papira. Korištenjem Trello aplikacije unutar Microsoft Teams platforme došlo je do povećanja transparentnosti u odvijanju procesa unutar pogona. Rukovoditelj ima mogućnost uvida u stanje procesa u gotovo stvarnom vremenu bilo kad, bilo gdje. Radnik može uz vremena obrade unijeti i neka svoja eventualna zapažanja u tom trenutku dok su još aktualna, na koja bi se kroz neko vrijeme zaboravilo. Rukovoditelj ima više informacija o stanju proizvodnje nego ikada.

Na temelju mjerenja vremena dostave tehničke iz dokumentacije dobiveni su podaci koji s kojima je moguće izračunati okvirno smanjeni trošak proizvodnje primjenom digitalnog toka informacija. Klasično vrijeme toka informacija računa se prema jednadžbi (7):

$$T_{kl} = t_i + t_{p-r} + t_r \quad (7)$$

Gdje je:

T_{kl}	s	ukupno vrijeme klasične dostave tehničke dokumentacije
t_i	s	vrijeme pripreme i ispisa tehničke dokumentacije
t_{p-r}	s	vrijeme potrebno za predaju tehničke dokumentacije voditelju
t_r	s	vrijeme potrebno za predaju tehničke dokumentacije od strane voditelja radniku.

Tako slijedi da je:

$$T_{kl} = 17 + 168 + 203 = 388 \text{ s.} \quad (7)$$

Digitalno vrijeme toka informacija računa se prema jednadžbi (8):

$$T_{dig} = t_{prip} + t_{sl} + t_{re} \quad (8)$$

Gdje je:

T_{dig}	s	ukupno vrijeme digitalne dostave tehničke dokumentacije
t_{prip}	s	vrijeme pripreme tehničke dokumentacije za slanje
t_{sl}	s	vrijeme potrebno za uspješno slanje tehničke dokumentacije u aplikacije
t_{re}	s	vrijeme reakcije radnika na obavijest unutar platforme o novom zadatku.

Tako slijedi da je:

$$T_{dig} = 8 + 45 + 6 = 59 \text{ s.} \quad (8)$$

Ušteda u vremenu dostave tehničke dokumentacije (ΔT) računa se prema jednadžbi (9):

$$\Delta T = T_{kl} - T_{dig} [\text{s}] \quad (9)$$

Tako slijedi da je:

$$\Delta T = 388 - 59 = 329 \text{ s.} \quad (9)$$

Ukupna ušteda prema jednadžbi (9) iznosi 329 sekundi. I ona vrijedi samo za jedan stroj. U pogonu za strojnu obradu postoje inače pet strojeva za cnc obradu. Strojevi se nalaze u grupi male udaljenosti, tako da se ukupno vrijeme klasične dostave dokumentacije može primijeniti i za ostale strojeve. Stroj na kojemu je mjereno vrijeme dostave tehničke dokumentacije nalazi se otprilike na jednakoj udaljenosti između svih strojeva. Od rukovoditelja je dobiven podatak da se na godišnjoj razini dostavi oko 450 tehničke dokumentacije na svaki od pet strojeva. Ne postoji točan izračun troška rada svakog stroja, ali se smatra da je cijena rada svakog stroja 225 kuna.

Ukupna ušteda ostvarena implementacijom digitalnog toka informacija približno se izražava prema jednadžbi (10):

$$U \approx \frac{c}{3600} * n * k * \Delta T \quad (10)$$

Gdje je:

U	kn	ukupna ušteda
c	kn/h	cijena radnog sata stroja
n	kom	broj cnc strojeva
k	kom	broj dostava tehničkih crteža
ΔT	s	ušteda u vremenu dostave tehničke dokumentacije.

Tako slijedi da je:

$$U \approx \frac{225}{3600} * 5 * 250 * 329 \approx 25703,2 \text{ kn.} \quad (10)$$

Primjenom digitalnog toka informacija koji je prezentiran i testiran u Lean radionici ostvarila bi se godišnja ušteda u iznosu od oko 25703,2 kn. Strojevi bi bili 114,23 sata manje u praznom hodu. Smanjenjem vremena dostave tehničke dokumentacije smanjuje se i ukupno vrijeme procesa obrade proizvoda. To znači da se indirektno povećava produktivnost proizvodnje i dolazi do rasta ukupne proizvodnje proizvoda. Samim time povećava se i profitabilnost proizvodnje.

6.3 Nedostatak ERP sustava

U poduzeću ne postoji nikakav ERP sustav. Gotovo da i nema digitalnog uvida u trenutno stanje proizvodnje. Poduzeće je dogovorilo implementiranje Microsoft Dynamics NAV ERP sustava. Problem je taj što su planirani radovi implementacije zakazani tek za 7 mjeseci. U međuvremenu je potrebno neko prijelazno rješenje. Prijelazno rješenje će biti preko Microsoft Teams platforme koja će kasnije biti kompatibilna s Microsoft Dynamics NAV ERP sustavom. Također biti će potrebna pomoć još pokoje aplikacije dostupne unutar platforme. Izdvojio bih aplikaciju Power BI. To je Microsoftova aplikacija koja je zbirka softverskih usluga koje rade na pretvaranju nepovezanih izvora podataka u podatke koji su koherentni, grafički prikazljivi i smisleni. Ti podaci mogu se dohvatiti bilo iz Excel tablica, čitača bar koda ili kompatibilnih aplikacija. Power BI omogućio bi statističku prikaz podataka i njihov smislen vizualni prikaz. Može se koristiti samostalno, kao dio budućeg ERP sustava i kao dio Microsoft Teams platforme. Uz aplikaciju Trello trebali bi biti pokriveni što se tiče praćenja proizvodnje i statističkog pregleda podataka do potpune implementacije i puštanja u rad ERP sustava. [36]



Slika 35. Power BI [37]

Potrebno je osigurati način na koji će se podaci prikupljati kako bi se mogli obrađivati. Predlažem kupovinu bar kod skenera. Svaki proizvod bi dolazio sa svojim bar kodom. Njihovim čitanjem automatski bi se u sustavu promijenio, odnosno nadopunio trenutni status proizvodnje proizvoda.

Danas takvi skeneri nisu skupi. Na primjer skener BS-011BU [Slika 36] košta 892 kn . [38] U pogonu strojne obrade ima 5 strojeva stoga bi trošak nabave bar kod skenera iznosio 4460 kuna s uključenim PDV-om.



Slika 36. Bar kod skener [38]

7. LEAN RADIONICA

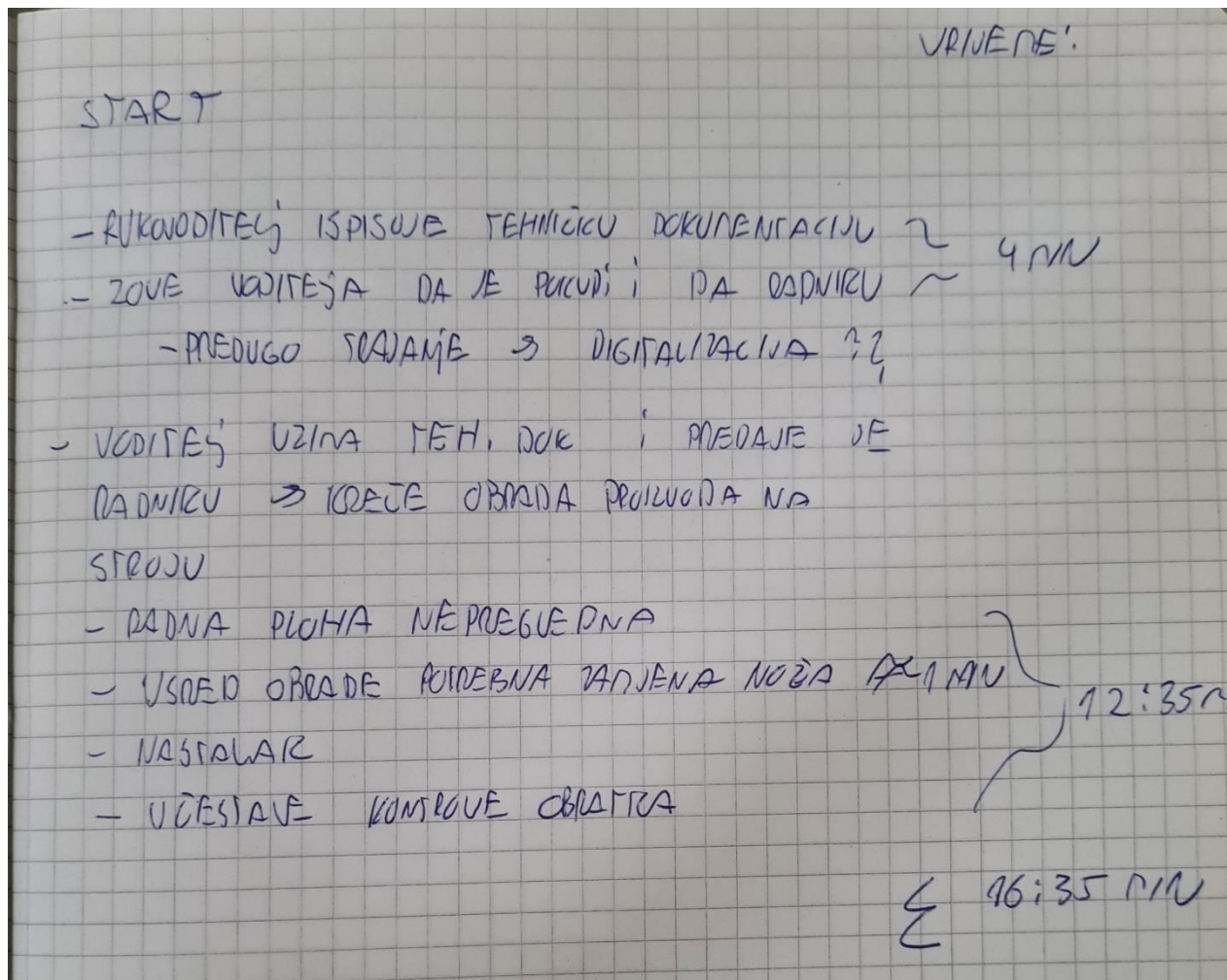
U svrhu poboljšanja učinkovitosti proizvodnog procesa održana je Lean radionica s temom poboljšanja proizvodnih procesa na temelju Gemba šetnje i metode za poboljšavanje Kaizen. Pomoću radionice htio sam vidjeti kakvo je stvarno stanje unutar pogona. U radionici su sudjelovali rukovoditelj, voditelj i dva radnika [Slika 37].



Slika 37. Sudionici radionice

Radionica nije imala ograničeno vremensko trajanje i bila je podijeljena u tri dijela. Prvi dio odvio se u sobi za sastanke gdje su sudionici educirani o načinu na koji će se odvijati radionica.

Temeljito je objašnjeno da moraju sami sebi postaviti što više pitanja o bilo kakvom zapažanju tokom šetnje po pogonu i zapisati ih na papir. U drugom dijelu slijedila je šetnja po pogonu. Fokus je bio na pogonu gdje se vrši strojna obrada. Zadatak je bio da u grupi prođemo kroz pogon i da svatko na svoj papir zapiše probleme ili stvari koje bi htjeli poboljšati. Tokom šetnje nisu bila dozvoljena nikakva dodatna pitanja. Šetnja je trajala oko 16:35 minuta prema mome zapisniku [Slika 38].

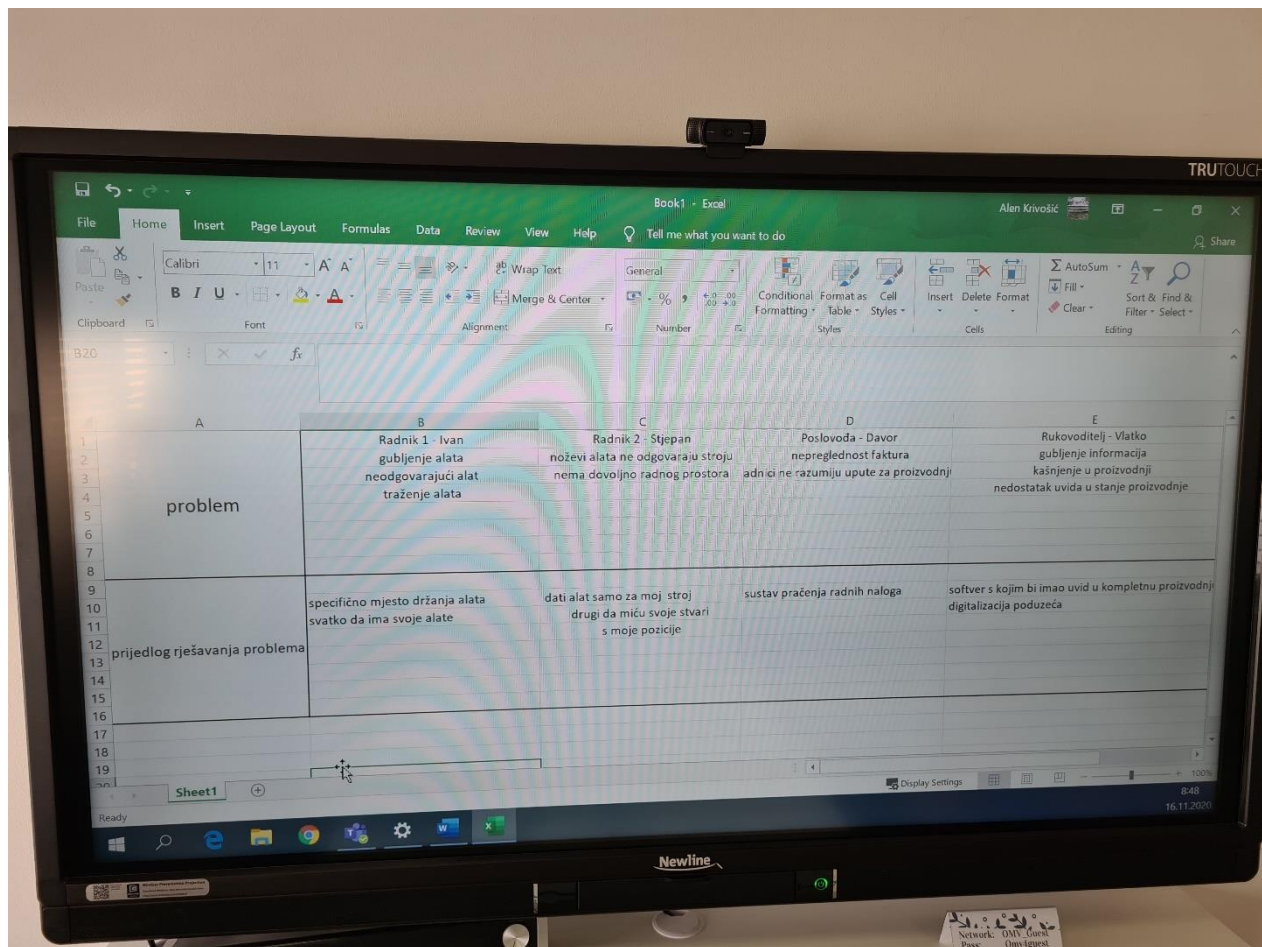


Slika 38. Zapisnik

Nakon obilaska pogona vratili smo se natrag u sobu za sastanke. Sa svakim sudionikom odrađen je individualan razgovor o zapažanjima tokom šetnje i saslušani su njihovi prijedlozi, odnosno želje za poboljšanjem.

U trećem dijelu u sali za sastanke na ekranu [Slika 39] su ispisana relevantna zapažanja i njihovi prijedlozi poboljšanja. Grupno smo porazgovarali o problemima i mogućim rješenjima. Sudionici su se složili da su neki problemi prioritetniji od drugih.

Najrelevantniji, odnosno najhitniji problem koji bi se trebao riješiti je onaj s tehničkom dokumentacijom. S time je sastanak završio. Ukupno trajanje iznosilo je oko 45 minuta. Svaka iduća radionica trebala bi biti što kraća jer bi u pogonu trebalo biti sve manje problema koji bi trebali biti otklonjeni na prijašnjim radionicama.



Slika 39. Skup problema i prijedloga sudionika

Problem	Radnik 1 - Ivan	Radnik 2 - Stjepan	Poslovođa - Davor	Rukovoditelj - Vlatko
	gubljenje alata	noževi alata ne odgovaraju stroju	nepreglednost faktura	gubljenje informacija
	neodgovarajući alat	nema dovoljno radnog prostora	radnici ne razumiju upute za proizvodnju	kašnjenje u proizvodnji
	traženje alata			nedostatak uvida u stanje proizvodnje
Prijedlog rješavanja problema	specifično mjesto držanja alata svatko da ima svoje alate	dati alat samo za moj stroj drugi da miću svoje stvari s moje pozicije	sustav praćenja radnih naloga	softver s kojim bi imao uvid u kompletnu proizvodnju digitalizacija poduzeća

Slika 40. Bolji prikaz problema i prijedloga

Problemi radnika su bili vezani za njihovo usko područje djelovanja, a voditelja i rukovoditelja za cjelokupni proces. Za neke probleme su rješenja bila odmah za ponuditi. Gubljenje alata, neodgovarajući alati, nedostatak radnog prostora dovoljno je primijenit 5S metodu organizacije mjesta stajanja alata. Svaki mora imati svoje mjesto gdje mora stajati u svakom trenutku. Najjednostavnije je za svaki alat njegove obrise nacrtati u njegovu spremištu. Uvođenjem reda u spremište alata, automatski se oslobađa više mjesta u radnom prostoru. Problem što su na jednom mjestu alati koji pripadaju više strojeva rješava se primjenom rješenja iz točke 7.2. Povučeni računicom, poduzeće je u procesu nabave police s alatima koja će biti uz stroj. Trebala bi biti u funkciji do idućeg sastanka. Problemi rukovoditelja i voditelja su međusobno povezani i kompleksniji. Dio vezan za tehničku dokumentaciju može se riješiti pomoću prijedloga iz točke 7.3 a za nedostatak uvida u cjelokupno stanje proizvodnje potreban je ERP sustav. Voditelj smatra da postoji problem u znanju radnika u vezi obavljanja posla obrade. Bit Gemba šetnje je u promatranju procesa i na njihovom poboljšavanju, a ne na kritiziranju radnika. Uvijek je dobro ulagati u znanje radnika, stoga sam predložio da se posvete dodatnim naporima za edukaciju radnika. Zbog kompleksnosti problema i nedostatka slobodnih termina u poduzeću, sastanak na kojem će biti detaljno izneseni prijedlozi zakazan je za 13.12.2020 u 8:00 sati.

Zadovoljan sam s postignutim rezultatima održane radionice. Radnici su dobili nova znanja i alat s kojim mogu pomoći rukovodstvu u poboljšanju procesa proizvodnje. Zapažene probleme su izrekli bez straha od rukovoditelja što dosta govori o načinu na koji poduzeće pristupa radnicima. Vidi se da je svima u interesu da poduzeće ostvaruje što je moguće bolje rezultate. Predložio bih da se ovakva radionica provede nad svim radnicima u cijelom poduzeću.

Potrebno je dodatno ulagati u znanja radnika u smislu pronalaska u rješavanja problema učinkovitosti unutar pogona. Neka se takve radionice održavaju barem jednom mjesečno. Radnici u pogonu su motivirani i željni promjena na bolje. U razgovoru s njima zaključeno je kako su spremni učiti korištenje novih tehnologija koje bi se implementirale u poduzeće prema metodama digitalnog Leana.

8. ZAKLJUČAK

Spajanjem digitalizacije i Leana otvaraju se novi pogledi na mogućnosti poboljšanja procesa. Potrebno je znati pravilno iskoristiti nove tehnologije kako bi se unaprijedile stare, jer novo ne znači uvijek i bolje. Treba biti oprezan i paziti na novonastale vrste gubitaka koji dolaze s novim tehnologijama. Potrebno je na ispravan način povezati sklopovlje sa softverom kako bi proces davao najoptimalnije rezultate. Također, digitalizacija omogućava pristup velikim količinama podataka do kojih se prije nije moglo doći. Potrebno je naučiti razlikovati korisne od nekorisnih podataka, a to će se postići ulaganjem u znanje zaposlenika. Najjednostavnije je odmah pri konstruiranju proizvodnog procesa primijeniti gore navedene i opisane metode kako bi se ostvarili najbolji rezultati i kako bi imali moderno temelje za daljnji razvitak i poboljšavanja. Ako bi poduzeće iz praktičnog dijela rada primijenilo sve prijedloge za poboljšanje procesa, ono bi se transformiralo u suvremeno poduzeće koje bi poslovalo prema standardima industrije 4.0

Treba pratiti razvitak umjetne inteligencije koja će svojim razvitkom i u kombinaciji sa strojnim učenjem moći sama donositi odluke na način kako bi se optimizirao proces bez potrebe za uključivanjem čovjeka.

9. LITERATURA

- [1] Prof. dr. sc. Ramsauer C. *Innovation and industrial management*, Gratz University of Technology 2018.
- [2] 5S krug Kaizen: <https://www.mt.com/hr/hr/home/library/guides/laboratory-weighing/5S-audit.html>, Pristupljeno 04. studenog 2020
- [3] 5S filozofija: <https://skilltec.ch/focus-on-5s-or-the-first-steps-toward-workplace-efficiency/>, Pristupljeno 04. studenog 2020
- [4] Nakajima S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series)*, Productivity Pr, 1988.
- [5] JIT :<https://efinancemanagement.com/costing-terms/just-in-time>, Pristupljeno 04. studenog 2020
- [6] Jidoka: <https://www.lean.org/lexicon/jidoka>, Pristupljeno 04. studenog 2020
- [7] Shingo S. *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. Portland, Oregon: 1986.
- [8] 10 Kaizen pravila: <https://searchERP.techtarget.com/definition/Kaizen-or-continuous-improvement>, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [9] Gemba šetnja: <https://kanbanize.com/Lean-management/improvement/gemba-walk>, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [10] VSM: <https://kanbanize.com/lean-management/value-waste/value-stream-mapping>, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [11] VSM slika: https://en.wikipedia.org/wiki/Value-stream_mapping, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [12] Digitalna transformacija: <https://www.i-scoop.eu/digital-transformation/>, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [13] Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin: *The Internet Of Things: an overview*, The Internet Society (ISOC), 2015.
- [14] Big Data: https://ec.europa.eu/croatia/basic/everything_you_need_to_know_about_big_data_technology_hr, Pristupljeno 04. studenog 2020.

- [15] 5G za povezani svijet: <https://www.ericsson.hr/5g>, Pristupljeno 15.03.2020.
- [16] 5G vs 4G: <https://www.raconteur.net/technology/4g-vs-5g-mobile-technology>, Pristupljeno 04. studenog 2020.
- [17] Oblak: <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>, Pristupljeno 4. studenog 2020.
- [18] Vujić M. Ipv6 protokol – novi protokol [Završni rad]. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Odjel za fiziku; 2012.
- [19] RFID: <https://www.smart-tec.com/en/auto-id-world/rfid-technology>, Pristupljeno 4. studenog 2020.
- [20] Vladimir Prister, *Umjetna inteligencija*, Media, Culture and Public Relations, 2019.
- [21] AI slika: <https://www.callaghaninnovation.govt.nz/blog/ai-demystified>, Pristupljeno 4. studenog 2020.
- [22] Strojno učenje: <https://expertsystem.com/machine-learning-definition/>, Pristupljeno 4. studenog 2020.
- [23] Josipović M. Postupci strojnog učenja za popravljavanje točnosti klasifikacije manjinskih klasa kod nebalansiranih skupova podataka [završni rad]. Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva; 2019.
- [24] Anand Iyer, *Digital Twin: Possibilities of the new Digital twin technology*, Kindle Edition, 2017.
- [25] Simon Schumacher, Andreas Bildstein, Thomas Bauernhansl, *The Impact of the Digital Transformation on Lean Production Systems*, Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA, Germany, 2020.
- [26] ERP: <https://www.themanufacturer.com/press-releases/ERP-solutions-support-industry-4-0>, Pristupljeno: 7. studenog 2020.
- [27] ERP aplikacije: <https://medium.com/@inray.industriesoftware/requirements-for-industry-4-0-what-is-technically-necessary-18ee6bbb7351>, Pristupljeno: 6. studenog 2020.
- [28] SMED: <https://www.leanproduction.com/smed.html>, Pristupljeno: 6. studenog 2020.
- [29] Arthur D. Little, *Digital Lean Management*, Viewpoint, 2017.
- [30] Stephen Laaper, Brian Kiefer, *Digital Lean manufacturing*, Deloitte Insights, 2020
- [31] Rick Burke, Adam Mussomeli, Stephen Laaper, Marty Hartigan, Brenna Sniderman, *The smart factory*, Deloitte University Press, 2017.

- [32] Pametna Samsung tvornica: https://koreatimes.co.kr/www/tech/2018/05/133_227896.html, Pristupljeno: 7. studenog 2020.
- [33] Primjer prikaza noža alata: <https://www.canadianmetalworking.com/canadianmetalworking/article/measurement/trick-out-your-machine-tool-with-the-latest-camera-tech>, Pristupljeno: 7. studenog 2020.
- [34] Microsoft Teams slika: <https://newsignature.com/articles/microsoft-teams-single-pane-communication/>, Pristupljeno: 8. studenog 2020.
- [35] Microsoft Teams <https://www.microsoft.com/hr-hr/microsoft-365/microsoft-teams/group-chat-software>, Pristupljeno: 8. studenog 2020.
- [36] Power BI: <https://powerbi.microsoft.com/en-us/>, Pristupljeno: 8. studenog 2020.
- [37] Power BI logo: <https://www.digitalvidya.com/wp-content/uploads/2018/01/Power-Bi-Introduction.jpg>, Pristupljeno: 8. studenog 2020.
- [38] Bar kod skener: <https://www.ronis.hr/pos-ske-birch-bs-011bu/408625/product>, Pristupljeno: 8. studenog 2020.