

Provedba vertikalne integracije u pametnoj tvornici

Topić, Tin

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:235:089360>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tin Topić

Zagreb, 2020. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Tin Topić

Zagreb, 2020. godina.

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na pruženoj pomoći, konstruktivnim savjetima te potpori za ostvarenje rada.

Posebno zahvaljujem roditeljima, prijateljima i kolegama na pruženoj pomoći i potpori tijekom studija.

Tin Topić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomatske ispite
Povjerenstvo za diplomatske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TIN TOPIĆ**

Mat. br.: 0035195875

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Provedba vertikalne integracije u pametnoj tvornici**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Implementation of vertical integration in a smart factory**

Opis zadatka:

Pametna tvornica, najvažniji proizvod Industrije 4.0, predstavlja povezivanje virtualnog i fizičkog svijeta kroz primjenu novih digitalnih tehnologija poput umjetne inteligencije, M2M komunikacije, robotizacije, "Big data", virtualna i proširena stvarnost, aditivna proizvodnja, IoT sustava i drugih. Pet su značajki pametne tvornice: povezanost, optimiziranost, transparentnost, proaktivnost i agilnost. Digitalna transformacija predstavlja proces preobrazbe tradicionalne u pametnu tvornicu pri čemu vertikalna integracija predstavlja jedan od najvažnijih koraka u transformaciji.

U radu je potrebno obraditi sljedeće:

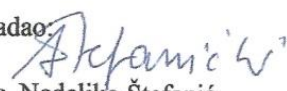
1. Definirati i detaljno objasniti pojmove: Industrija 4.0, digitalne tehnologije, pametno poduzeće.
2. Opisati pojam vertikalne integracije te njenu važnost za pametnu tvornicu.
3. Definirati pojam digitalna transformacija te opisati postojeće modele digitalne transformacije za proizvodna poduzeća.
4. Objasniti kako vertikalna integracija doprinosi preinaci tradicionalnog ERP sustava u sustav ERP 4.0.
5. Razviti metodologiju provedbe vertikalne integracije za proizvodno poduzeće.
6. Za proizvoljno odabrano poduzeće i proizvoljno odabrani proces testirati razvijenu metodologiju te komentirati dobivene rezultate.
7. Razviti sustav pokazatelja kojima se prati provedba vertikalne integracije u pametnoj tvornici te izraditi programsku podršku.

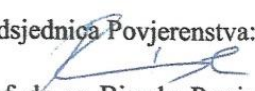
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć

Zadatak zadan:
14. studenog 2019.

Rok predaje rada:
16. siječnja 2020.

Predviđeni datum obrane:
20. siječnja do 24. siječnja 2020.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. INDUSTRIJA 4.0	2
2.1. Karakteristike Industrije 4.0.....	4
2.1.1. Kibernetско – fizički sustavi.....	4
2.1.2. Pametni roboti i strojevi.....	7
2.1.3. „Big Data“.....	8
2.1.4. Kvaliteta povezivanja.....	9
2.1.5. Energetska učinkovitost i decentralizacija.....	10
2.1.6. Virtualna industrijalizacija.....	10
2.2. Promjene koje donosi industrija 4.0.....	11
2.2.1. Personalizirani proizvodi	11
2.2.2. Procesi.....	11
2.2.3. Poslovni modeli	12
2.2.3. Konkurencija.....	12
2.2.4. Vještine	13
2.2.5. Globalizacija	13
2.3. Proizvodnja u Industriji 4.0.....	13
3. DIGITALNE TEHNOLOGIJE.....	21
3.1. Razvoj IT-a u proizvodnji	21
3.2. ERP sustav	24
3.3. Značajke i elementi ERP sustava	25
3.4. Implementacija ERP sustava.....	30
3.5. Prikaz ERP sustava u praksi.....	34
3.6. Prednosti i nedostaci digitalizacije i uvođenja ERP sustava.....	40
4. PAMETNA TVORNICA I VERTIKALNA INTEGRACIJA	43
4.1. Općenito o pametnoj tvornici.....	43
4.2. Karakteristike Pametne tvornice	45
4.3. Vertikalna integracija	46
4.3.1. Korištenje senzora za prikupljanje informacija	47
4.3.2. Standardizacija sustava	51
4.3.3. Elektromehanički standardi.....	52
4.3.4. Komunikacijski standardi	53
5. VERTIKALNA INTEGRACIJA U PRAKSI	54
5.1. PIMS Elektro Oprema d.o.o. i Metalprofit d.o.o	54

5.2. Proizvodni procesi u poduzeću Metalprofit	56
5.2.1. Tehnička priprema	56
5.2.2. Proizvodnja u Metalprofitu	58
5.3. Proizvodni procesi u poduzeću PIMS Elektro Oprema	64
5.4. Rezultati uvođenja ERP sustava i vertikalne integracije	68
5.5. Prijedlozi za unaprjeđenje	70
5.5.1. Dojava vremena izrade na svim operacijama i digitalizacija radnih naloga	70
5.5.2. Kontrola utrošenog vremena	72
5.5.3. Povezivanje strojeva u zajedničku mrežu	74
5.6. Sustav pokazatelja kojima se prati provedba vertikalne integracije	76
5.6.1. Vrijeme isporuke - OFCT	77
5.6.2. Prinos prvog prolaza - FPY	78
5.6.3. Ukupna učinkovitost opreme – OEE	78
6. ZAKLJUČAK	80
LITERATURA	82
PRILOZI	84

POPIS SLIKA

Slika 1.	Industrijske revolucije kroz povijest [2].....	3
Slika 2.	Primjer CPS sustava [5]	5
Slika 3.	Prikaz izravnog proširenja sustava [6]	6
Slika 4.	Proširenje sustava pomoću ploče mikrokontrolera [6].....	6
Slika 5.	Upotreba inteligentnih aktuatora i senzora [6]	7
Slika 6.	Pet najznačajnijih karakteristika „Big data“ [8]	9
Slika 7.	Komunikacija između čovjeka i strojeva [9].....	15
Slika 8.	Promjena u strukturi komunikacije između strojeva [9]	17
Slika 9.	Područja vezana za Industriju 4.0 [9]	19
Slika 10.	Moguća struktura pogona koji je uveo digitalizaciju [10]	22
Slika 11.	Primjene RFID sustava [11]	24
Slika 12.	Struktura ERP sustava [13]	28
Slika 13.	Dvoslojna sistemska konfiguracija [12]	29
Slika 14.	Troslojna sistemska konfiguracija [12]	30
Slika 15.	GoSoft logo [14].....	34
Slika 16.	Osnovni prozor programa GoSoft	37
Slika 17.	Prozor za dodavanje novih i korekciju postojećih artikla	38
Slika 18.	Primjer dokumenta u GoSoftu.....	39
Slika 19.	Struktura pametne tvornice [15].....	44
Slika 20.	Komunikacija u proizvodnji [19]	48
Slika 21.	Promjena u strukturi povezivanja [19]	50
Slika 22.	Primjer priključka [21]	52
Slika 23.	Proizvodnja ožičenja za elektro ormare u PIMS Elektro Oprema [22]	55
Slika 24.	Fotografija pogona Metalprofit d.o.o. [23].....	55
Slika 25.	Narudžba proizvodnji	59
Slika 26.	Lista radnih naloga	60
Slika 27.	Primjer radnog naloga	61
Slika 28.	Potrebe radnog naloga	61
Slika 29.	Operacije na radnom nalogu.....	62
Slika 30.	Detaljan prikaz operacije	62
Slika 31.	Operacija nanošenja boje i premaza [22]	63
Slika 32.	Stroj za printanje po žici.....	65
Slika 33.	Stroj za rezanje žice.....	66
Slika 34.	Žica na kojoj print zadovoljava zahtjeve za kvalitetu	67
Slika 35.	Linija za sklapanje upravljačkih jedinica [22]	67
Slika 36.	Montaža konačnog proizvoda [22].....	68
Slika 37.	Ilustrativni prikaz povećanja vrijednosti uvođenjem novih tehnologija [24].....	69
Slika 38.	Primjer industrijskog tableta na radnom mjestu [25]	71
Slika 39.	Industrijski barkod/qr čitač Dataman 370 series [26]	71
Slika 40.	Trenutni tok informacija prema stroju.....	74
Slika 41.	Predloženi tok informacija	75
Slika 42.	Grafički prikaz OFCT pokazatelja [28].....	77
Slika 43.	Grafički prikaz OEE pokazatelja [28]	79

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ljudske i tehnološke sposobnosti.....	3
Tablica 2. Struktura troškova uvođenja ERP sustava [12]	33

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
AHP	<i>Analitički hijerarhijski proces</i>
AMS	<i>Agile manufacturing system</i> – Agilni proizvodni sustav
BOM	<i>Bill of materials</i> – Popis materijala
CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Računalom potpomognuto oblikovanje
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> – Računalom potpomognuta proizvodnja
CAN	<i>Controller Area Network</i> – Područje pod kontrolerskom mrežom
CIM	<i>Computer-Integrated Manufacturing</i> – Računalno integrirana proizvodnja
CNC	<i>Computer numerical control</i> – Računalno numeričko upravljanje
CPS	<i>Cyber-physical systems</i> – Kibernetско - fizički sustavi
CRP	<i>Capacity Requirement(s) Planning</i> – Planiranje proizvodnih resursa
DMS	<i>Document management system</i> – Sustav za praćenje i upravljanje dokumentacijom
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Planiranje poslovnih resursa
FMS	<i>Flexible manufacturing system</i> – Fleksibilni proizvodni sustav
FPY	<i>First pass Yield</i> – Prinos prvog prolaza
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> – Globalni sustav za mobilne komunikacije
HR	<i>Human Resources</i> – Ljudski resursi
ICT	<i>Information and Communications Technology</i> – Tehnologija za komunikaciju i prijenos informacija
IoT	<i>Internet of Things</i> – Internet stvari
ISO	<i>International organization for standardization</i> – Međunarodna organizacija za standardizaciju
IT	<i>Information Technology</i> – Informacijske tehnologije
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> – Ključni pokazatelji učinkovitosti
LAN	<i>Local Area Network</i> – Lokalna mreža
MES	<i>Manufacturing execution system</i> – Sustav za direktan prihvata podataka
MRP	<i>Material Requirements Planning</i> – Planiranje potrebne količine materijala
NC	<i>Numerical control</i> – Numeričko upravljanje
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> - Ukupna učinkovitost opreme
OFCT	<i>Order fulfilment cycle time</i> – Vrijeme isporuke
OPC UA	<i>Open Platform Communications United Architecture</i> – Otvorena platforma komunikacije Ujedinjena arhitektura
RFID	<i>Radio-frequency identification</i> – Radiofrekvencijska identifikacija
RM	<i>Rapid Manufacturing</i> – Brza proizvodnja
RMS	<i>Reconfigurable Manufacturing Systems</i> – Konfiguracijski proizvodni sustavi
UART	<i>Universal asynchronous receiver-transmitter</i> – Univerzalni asinkroni prijamnik-odašiljač

VR	<i>Virtual Reality</i> – Virtualna stvarnost
WAN	<i>Wide area network</i> – Širokopojasna mreža
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> – Bežična lokalna mreža

SAŽETAK

Razvojem novih tehnologija na tržištima se pojavljuju novi, kompleksni, personalizirani i često pametni proizvodi. Kako bi se uspješno proizvodili novi proizvodi, ali s druge strane povećala efikasnost proizvodnje trenutnih proizvoda poduzeća se moraju prilagoditi novim uvjetima rada i novom okruženju. Koncept pametne tvornice je najvažniji proizvod Industrije 4.0. te predstavlja način proizvodnje koji je optimiziran. Korištenjem različitih alata koji su stvoreni četvrtoj industrijskoj revoluciji otvara se mogućnost za izgradnju modernog pogona ili transformaciju tradicionalnog u pogon koji zadovoljava sve standarde. Proizvodnja koja zadovoljava standarde Industrije 4.0 postiže se povezivanjem virtualnog i fizičkog svijeta kroz primjenu novih, digitalnih tehnologija. Digitalne tehnologije uključuju: robotizaciju, „Big data“, IoT sustave, umjetnu inteligenciju, M2M komunikaciju i ostale. Za uspješnu digitalnu transformaciju potrebno je nekoliko koraka koji uključuju implementaciju različitih sustava. Jedan od najvažniji koraka je svakako vertikalna integracija koja je ujedno i tema ovog rada.

U okviru ovog rada prikazano je korištenje ERP sustava za prikupljanje podataka u poduzeću te mogućnosti koje se otvaraju unaprjeđenjem samih procesa. Konkretnije, prikazan je ERP sustav GoSoft u poduzećima Metalprofit i PIMS Elektro Oprema. S obzirom na količinu podataka koji se svakodnevno stvaraju, bez pomoći softvera proizvodnja bi bila izrazito teška ili čak nemoguća. Stoga se GoSoft gotovo svakodnevno nadograđuje kako bi bio u skladu sa sve višim zahtjevima u proizvodnji. U ovom radu predložene su i analizirane potencijalne nadogradnje koje se odnose na povezivanje strojeva te optimizaciju procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom.

Ključne riječi: pametno poduzeće, Industrija 4.0, digitalne tehnologije, planiranje, upravljanje proizvodnjom

SUMMARY

With the development of new technologies, new, complex, personalized and often smart products are emerging in different markets. In order to produce this kind of products successfully and increase efficiency in the production of current ones, companies must adapt to new working conditions and new environments. The smart factory concept is the most important product of Industry 4.0. and represents a production mode that is optimized. Using the various tools created for the fourth industrial revolution opens the possibility of building a modern facility or transforming a traditional one into a facility that meets all standards. Production that meets Industry 4.0 standards is achieved by connecting the virtual and physical worlds through the application of new, digital technologies. Digital technologies include: robotics, Big data, IoT systems, artificial intelligence, M2M communication and more. Successful digital transformation requires several steps involving the implementation of different systems. One of the most important steps is certainly vertical integration, which is the topic of this paper.

This paper demonstrates the use of ERP systems for enterprise data collection and the opportunities that are created by improving the processes themselves. More specifically, the GoSoft ERP system at Metalprofit and PIMS Elektro Oprema is on display. Given the amount of data that is generated on a daily basis, without the use of software, production would be extremely difficult or even impossible. With this in mind, GoSoft is upgraded almost daily to meet the growing demands of production. This paper proposes and analyzes potential upgrades related to machine integration and optimization of the planning and production management process.

Key words: smart enterprise, Industry 4.0, digital technologies, planning, production management

1. UVOD

Razvojem globalizacije dolazi do svakodnevnih promjena na tržištima. Nove tehnologije daju priliku za povećanje konkurentnosti na tržištima koja iz dana u dan postaju sve zahtjevnija. Proizvodna poduzeća moraju mijenjati svoje procese kako bi se uspješno pratile sve promjene. Zahvaljujući razvoju različitih računalnih tehnologija omogućena su unaprjeđenja u svim dijelovima proizvodnje. Jedna od najvećih prednosti vidljiva je u procesu planiranja i upravljanja proizvodnjom.

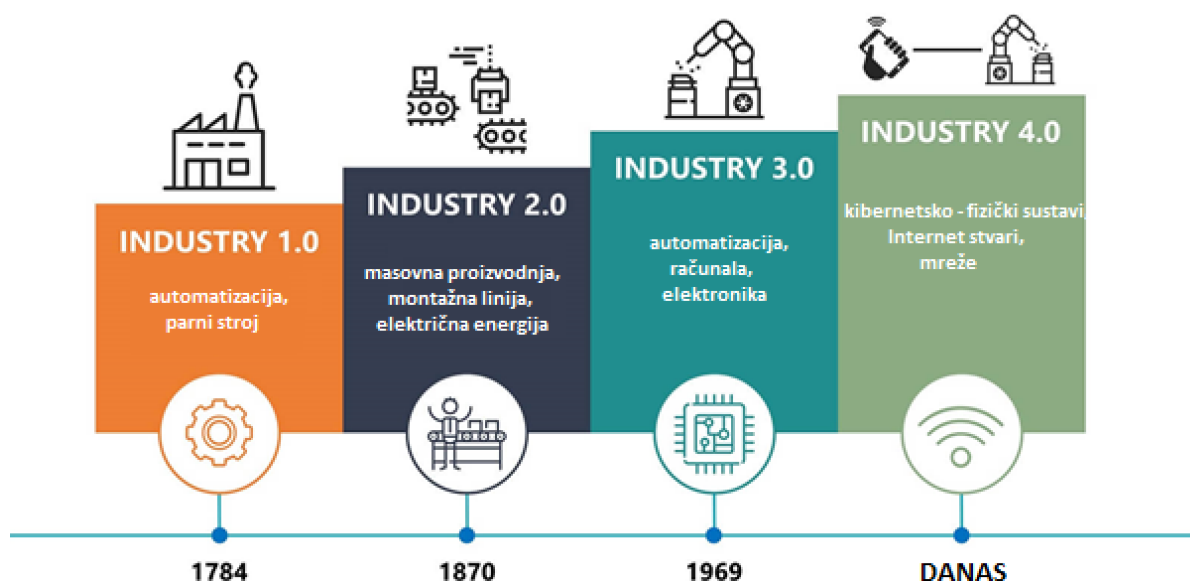
Četvrta industrijska revolucija donosi brojne promjene u proizvodnji što u konačnici rezultira proizvodima koji su prilagođeni svakom kupcu. Proizvodnja personaliziranih proizvoda zahtjeva izuzetno dobru organizaciju što stvara veliku količinu novih podataka. Količina generiranih podataka prelazi ljudske sposobnosti i zahtjeva implementaciju digitalnih tehnologija. U prvom redu, to se odnosi na implementaciju ERP sustava (eng. *Enterprise Resource Planning*) odnosno informacijskog sustava za upravljanje poslovnim procesima organizacije. Idući korak je povezivanje svih uređaja u jednu mrežu odnosno cjelinu i kontinuirano unaprjeđenje nakon što se otkrije mjesto za napredak. Na papiru ovo izgleda kao jednostavan proces međutim u stvarnosti to nije slučaj. Uvođenje digitalnih tehnologija u proizvodnju je dugotrajan i skup proces. Zbog toga je prije uvođenja bilo koje nove tehnologije potrebno je analizirati isplativost i odabrati pravi trenutak za implementaciju. Naime, neke tehnologije, zbog trenutne cijene koštanja implementacije, nije isplativo uvesti međutim uskoro će biti nemoguće opstati na tržištu bez istih.

U okviru ovog rada prikazat će se dostupne tehnologije koje su nužne za provedbu vertikalne integracije. Na konkretnom proizvodnom procesu prikazat će se prednosti uvođenja vertikalne integracije u pametnu tvornicu. Završetak rada donosi prijedloge promjena zajedno s analizom kako bi procesi bili u skladu s novim industrijskim zahtjevima.

2. INDUSTRIJA 4.0

Pametna tvornica je koncept koji predstavlja temelj za unaprjeđenje postojećih i konstruiranje novih tvornica kako bi poduzeća povećala svoju konkurentnost na modernim tržištima. Ona je proizvod koji je nastao pod utjecajem Industrije 4.0. U ovom i sljedećim poglavljima će uz pojam pametne tvornice biti objašnjeni najvažniji vezani pojmovi, a to su: Industrija 4.0, digitalne tehnologije te pametno poduzeće.

Industrija je dio ekonomije koji proizvodi materijalna dobra koja su često visoko mehanizirana i automatizirana. Od početka industrijalizacije, razvoj tehnologije doveo je do promjena koncepta proizvodnje, a glavne promjene su danas poznate kao „industrijske revolucije“. Napredak je vidljiv u području mehanizacije (tzv. 1. industrijska revolucija), intenzivnog korištenja električne energije (tzv. 2. industrijska revolucija) i široko rasprostranjene automatizacije i robotizacije (tzv. 3. industrijska revolucija). Na temelju napredne digitalizacije unutar tvornica, kombinacija internetskih tehnologija i tehnologija usmjerenih na budućnost u području "pametnih" resursa (strojeva i proizvoda) rezultira novom temeljnom promjenom koncepta u industrijskoj proizvodnji. Vizija buduće proizvodnje sadrži modularne i učinkovite proizvodne sustave te karakterizira scenarije u kojima se proizvodi kontroliraju. Na taj se način treba realizirati proizvodnja pojedinačnih proizvoda u serijskoj proizvodnji, uz održavanje ekonomskih uvjeta masovne proizvodnje. Vodeći se navedenim, pojam „Industrija 4.0“ uspostavljen je kao „četvrta industrijska revolucija“, a sam naziv podsjećala na verziju softvera [1]. Na Slika 1. Industrijske revolucije kroz povijest grafički su prikazane industrijske revolucije te njihove najznačajnije karakteristike.



Slika 1. Industrijske revolucije kroz povijest [2]

Razvoj industrije donosi brojne prednosti jer razvoj računala i robota omogućava da se nadvladaju ljudska ograničenja. Samim time omogućava se efikasnija i kompleksnija proizvodnja. U Tablici 1. navedene su sposobnosti u kojima prednjače ljudi te one u kojima prednjače računala i roboti prema [3]:

Tablica 1. Ljudske i tehnološke sposobnosti

Posebne ljudske sposobnosti	Posebne tehnološke sposobnosti
Osjećaji, emocije	Obrada Big Data
Iskustvo, memorija	Objektivnost, nepristranost
Kompetencije rješavanja problema	Aktivnosti s visokom pouzdanošću
Sposobnost procjene, sposobnost donošenja odluka	Jasne reakcije uzorka, unaprijed definirane aktivnosti
Mašta	Mjerenje i brojanje fizikalnih vrijednosti
Fleksibilnost	Pouzdana reakcija na jasne ulazne signale
Brza prilagodba na različite uvjete okoline	Izlazni signali bez grešaka
Motivacija	Sposobnost izvršenja više istovremenih aktivnosti
Sposobnost komunikacije	Brzo povezivanje

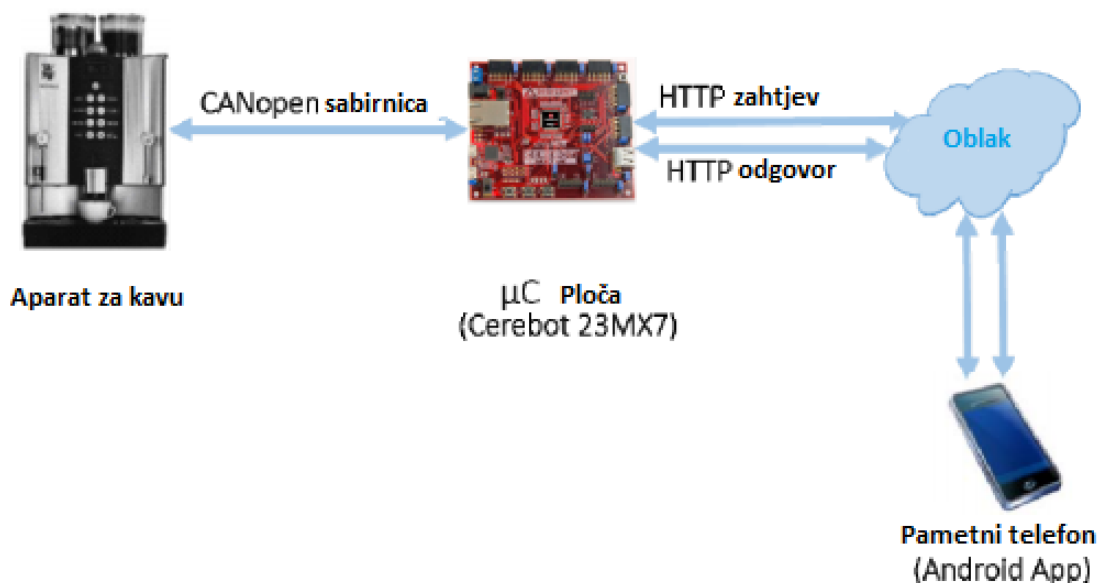
Industrija igra presudnu ulogu u Europi jer služi kao ključni pokretač gospodarskog rasta i čini 75% ukupnog izvoza i 80% svih inovacija. Dok je Europa u proteklih 20 godina izgubila oko 10% svog industrijskog udjela, zemlje u nastajanju uspjele su udvostručiti svoj udio, čineći 40% globalne proizvodnje. Prije nekoliko godina, Njemačka je započela razmišljati o inicijativama kako bi zadržala i čak potaknula svoju ulogu lidera u industriji. Na kraju je na Sajmu u Hanoveru 2011. javno predstavljen izraz Industrija 4.0, predstavljen kao dio njemačke visoke tehnologije kako bi se pripremio i ojačao industrijski sektor s obzirom na buduće potrebe proizvodnje. CPS (eng. *Cyber-physical systems* - CPS) kojim strojevi mogu komunicirati sa svojim okruženjem putem senzora i aktuatora, predstavljaju još jedan element Industrije 4.0, jer se očekuje da će tvornicama omogućiti decentralizirani način rada i stvarni nadzor autonomnim kontroliranjem i upravljanjem. Zbog svojih mogućnosti ove tvornice često se nazivaju i „pametnim tvornicama“. S obzirom na sve te koncepte, teško je pronaći jedinstvenu definiciju Industrije 4.0, pa je i malo iznenađujuće što se mišljenja među istraživačima i stručnjacima razilaze [4].

2.1. Karakteristike Industrije 4.0

Industrija 4.0 daje relevantne odgovore na četvrtu industrijsku revoluciju te naglašava ideju dosljedne digitalizacije i povezivanja svih proizvodnih jedinica u gospodarstvu. U nastavku će biti riječi o karakteristikama Industrije 4.0 koje ističe [5].

2.1.1. Kibernetско – fizički sustavi

Kibernetско – fizički sustavi (eng. *Cyber-physical systems*, CPS) su automatizirani sustavi koji omogućuju povezivanje operacija u stvarnosti između računala i komunikacijske infrastrukture. Za razliku od tradicionalnih ugrađenih sustava, koji su osmišljeni kao samostalni uređaji, CPS je usredotočen na umrežavanje nekoliko uređaja te nastoji biti u trendu s informacijama i uslugama koje su u svakom trenutku dostupne, a to je neizbježno u današnjem umreženom svijetu. Ugrađeni sustavi, poput pametnih telefona, automobila i kućanskih aparata, neodvojivi su dio modernog života. Unatoč tome, moguće je daljinski kontrolirati samo nekoliko njih. Primjerice, uređaji za kavu mogu započeti kuhanje kave ujutro dok je čovjek još u krevetu, kako bi se skratilo vrijeme čekanja. Skica jednog takvog sustava prikazana je na slici 2.



Slika 2. Primjer CPS sustava [5]

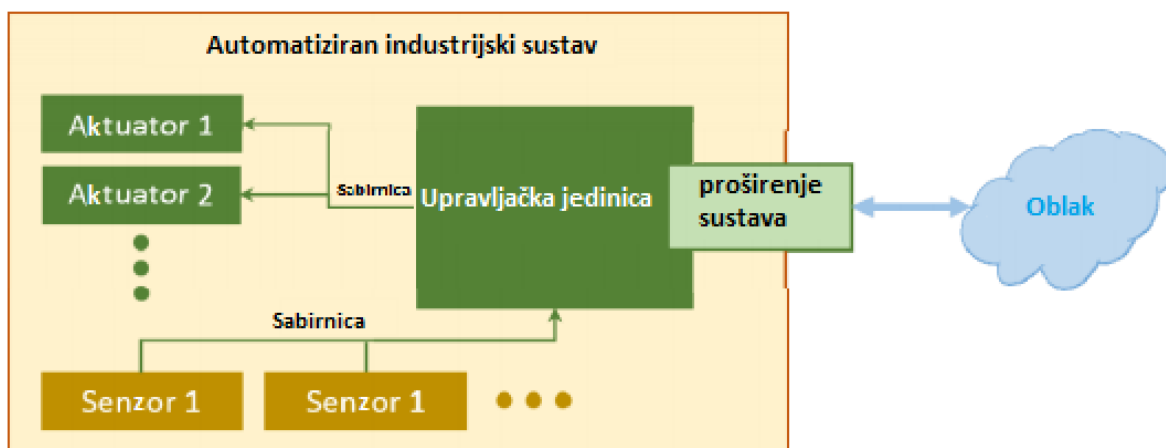
Taj se daljinski pristup procesnim podacima može koristiti i za održavanje sustava. Informacije iz dijagnostike na daljinu pomažu servisnom osoblju da dovede pravi alat i rezervni dio. Sustav može naručiti svoje rezervne dijelove sam, uz pomoć odgovarajuće komunikacijske infrastrukture.

Danas postoje brojna područja primjene CPS-a, kao što su medicinska oprema, sustavi sigurnosti u vožnji i sustavi pomoći vozaču automobila, industrijski sustavi za kontrolu procesa i automatizaciju, sustavi za kontrolu napajanja u smislu optimizirane uporabe obnovljivih izvora energije. Glavni dijelovi CPS-a su upravljačka jedinica, jedan ili više mikrokontrolera koji upravljaju senzorima i aktuatorima koji su potrebni za interakciju sa stvarnim svijetom i obradu dobivenih podataka. Ti ugrađeni sustavi također zahtijevaju komunikacijsko sučelje za razmjenu podataka s drugim ugrađenim sustavima ili oblakom. Razmjena podataka najvažnija je značajka CPS-a jer se, na primjer, podaci mogu povezati i poslati u centralnu jedinicu. Drugim riječima, CPS je ugrađeni sustav koji može slati i primiti podatke putem mreže [6].

Za implementaciju CPS-a potrebno je sučelje za povezivanje na internet ili sličnu mrežu za proširenje ugrađenog sustava na CPS. Da bi se to postiglo, postoje različiti pristupi koji su stvoreni i koji će u nastavku biti predstavljeni u nastavku.

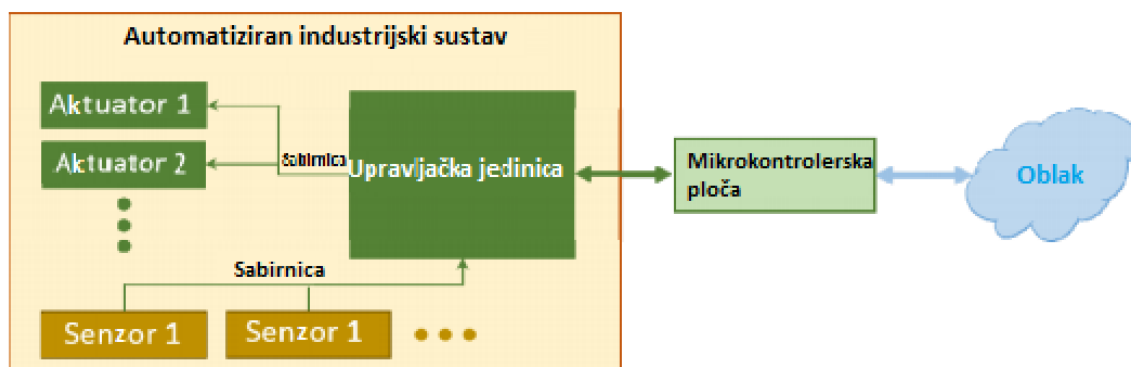
Na slici 3. prikazan je raspored izravnog proširenja sustava. U ovoj varijanti individualiziranog rješenja, ugrađeni sustav, ako još nije dostupan, proširuje se

komunikacijskim sučeljem za pristup internetu i softver se u skladu s tim mijenja kako bi se omogućila komunikacija putem interneta, npr. s oblakom. U tu svrhu, sve signale sa senzora sustav upravljačke jedinice mora prenijeti u oblak [6].



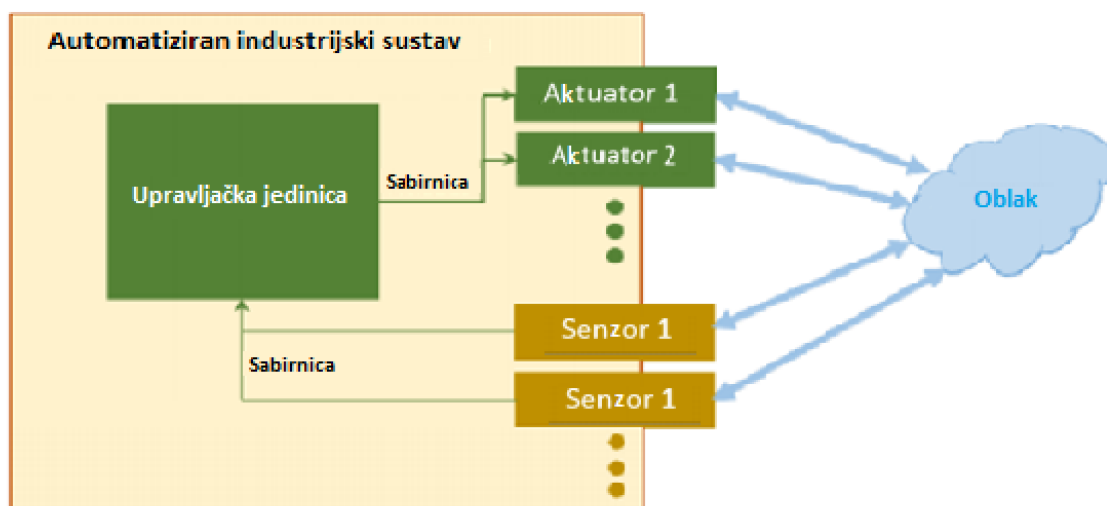
Slika 3. Prikaz izravnog proširenja sustava [6]

Na slici 4 prikazano je proširenje sustava pomoću ploče mikrokontrolera. U ovoj varijanti rješenja, razvijena je ploča mikrokontrolera koja ima različita komunikacijska sučelja kao što su CAN, UART, WLAN, Ethernet itd. Mikrokontroler je povezan s ugrađenim sustavom i preuzima komunikaciju s Internetom ili oblakom. Međutim, ovo zahtijeva ujednačeno sučelje preko kojih se ploča može povezati s ugrađenim sustavom. Softver ploče mora se posebno prilagoditi svakom sustavu. No, cijeli se kod ne mora svaki put ponovno projektirati, već se samo preslikava postojeći tako da je relativno lako prenijeti ovu varijantu u druge sustave [6].



Slika 4. Proširenje sustava pomoću ploče mikrokontrolera [6]

Na slici 5. prikazana je upotreba inteligentnih aktuatora i senzora. Tradicionalni ugrađeni sustavi obično se sastoje od upravljačke jedinice, nekoliko senzora i aktuatora, koji su povezani s upravljačkom jedinicom putem sabirnica.



Slika 5. Upotreba inteligentnih aktuatora i senzora [6]

Upravljačka jedinica preuzima funkciju obrade signala u takvim sustavima. Ako se koriste pametni senzori i aktuatori, tada senzori preuzimaju čak i obradu signala, a aktuatori neovisno provjeravaju njihovo trenutno stanje i po potrebi ih ispravljaaju. Ti senzori prenose svoje podatke u središnju upravljačku jedinicu, npr. preko sabirnice. Da bi se takav sustav proširio na CPS, potrebno je slanje podataka sa senzora i aktuatora, koji se šalju preko sabirnice, u oblak i tamo se obrađuju. Međutim, ovo rezultira velikom količinom podataka, a ni trošak pametnih senzora i pokretača ne smije se zanemariti.

2.1.2. Pametni roboti i strojevi

Roboti su već zamijenili ljudske radnike u posljednjoj revoluciji. Broj višenamjenskih industrijskih robota u segmentu Industrije 4.0 koji se koriste u europskoj proizvodnji gotovo se udvostručio od 2004. U zemljama poput Češke ili Mađarske porast je još impresivniji. U budućnosti će postati inteligentni, što znači da se mogu prilagoditi, komunicirati te međusobno djelovati. To će omogućiti daljnje skokove produktivnosti za tvrtke, što će temeljito promijeniti strukturu troškova, potražnju radne snage i mjesta proizvodnje. Pametni roboti neće zamijeniti ljude samo u jednostavno strukturiranom radnom toku unutar zatvorenih područja. U Industriji 4.0 roboti i ljudi radit će zajedno povezivanjem zadataka i

upotrebom pametnih senzoričkih sučelja čovjek-stroj. Upotreba robota se proširuje i uključuje razne funkcije: proizvodnju, logistiku te upravljanje administracijom (za distribuciju dokumenata). To se može kontrolirati na daljinu. Ako dođe do problema, radnik će dobiti poruku na svoj mobilni telefon koji je povezan na web kameru, tako da može vidjeti probleme i dati privremene upute da se proizvodnja nastavi sve dok se ne vrati sljedeći dan. Dakle, pogon radi 24 sata dnevno, a radnici su tu samo tijekom dana. Nema više noćnih smjena, produktivnost raste, a troškovi se smanjuju [5].

2.1.3. „Big Data“

Podaci se često nazivaju sirovinom 21. stoljeća. Očekuje se da će se količina podataka koja je dostupna poduzećima udvostručiti svaku godinu ili svake dvije godine. Tvornica budućnosti proizvodit će ogromnu količinu podataka koju treba spremati, obraditi i analizirati. Sredstva korištena za to značajno će se promijeniti. U Francuskoj, 63% menadžera tvornica smatra da je cyber sigurnost presudna za njihovu konkurentnost. Inovativne metode za rukovanje velikim podacima i iskorištavanje potencijala računalstva u oblaku stvorit će nove načine iskorištavanja informacija. Big data i njihova analiza u središtu su moderne znanosti i poslovanja. Ti se podaci generiraju iz mrežnih transakcija, e-pošte, videozapisa, audio zapisa, slika, dnevnika, postova, upita za pretraživanje, zdravstvenih kartona, interakcija na društvenim mrežama, znanstvenih podataka, senzora i mobilnih telefona i njihovih aplikacija. Spremljene u baze podataka, informacije rastu i postaju zahtjevnije za oblikovanje, pohranu, upravljanje, dijeljenje, analizu i vizualizacije pomoću tipičnih softverskih alata za baze podataka. Preko 5 eksabajta (10^{18} bajtova) podataka stvorilo je čovjek u razdoblju od 2003 do 2013. Danas se ta količina podataka stvara u dva dana. U 2012. digitalni svijet podataka proširen je na 2,72 zetabajta (10^{21} bajtova). Poduzeće IBM objavio je podatak da svaki dan prikupi 2,5 eksabajta podataka. Prosječno osobno računalo danas ima oko 500 gigabajta (10^9 bajta), pa bi bilo potrebno oko 20 milijardi računala za pohranjivanje svih svjetskih podataka. U prošlosti je proces dekrpcije ljudskog genoma trajao otprilike 10 godina, a sada je to moguće napraviti u manje u tjedan dana. Samo Google ima više od milijun poslužitelja širom svijeta. Raznolikost čini „Big data“ stvarno velikim. Velika količina podataka potječe iz velikog broja izvora i podaci pripadaju jednoj od tri vrste: strukturirani, polustrukturirani i nestrukturirani. Strukturirani podaci nalaze se u bazi podataka te se lako sortiraju, dok su s druge strane nestrukturirani podaci nasumični i teško ih je analizirati. Polustrukturirani podaci ne odgovaraju fiksnim poljima, ali sadrže oznake za odvajanje cjelina podataka. Veliki opseg

i porast podataka nadmašuje tradicionalne tehnike skladištenja i analize. Sve veća brzina potrebna je ne samo za velike podatke, već i za sve procese. Za vremenski ograničene procese, treba koristiti „Big data“ alate dok se prikupljaju podaci u organizaciji kako bi se temeljem analize donijele bolje odluke. Teško je kontrolirati veliku količinu podataka pa se mora osigurati sigurnost podataka. Pored toga, prikupljanje i obrada podataka trebala bi stvoriti dodatnu vrijednosti za poduzeće [7].



Slika 6. Pet najznačajnijih karakteristika „Big data“ [8]

Pet najznačajnijih karakteristika „Big data“ prema [8]:

- Opseg: Značaj koji je vezan u pojam „Big data“ dolazi zbog njegovog volumena.
- Brzina: Superiornost obrade podataka velikom točnošću i brzinom.
- Raznolikost: Različite vrste podataka odnosno strukturirani, nestrukturirani i polustrukturirani podaci.
- Istinitost: Kvaliteta i dosljednost podataka.
- Vrijednost: Korisnost analize koja se temelji na obradi podataka.

2.1.4. Kvaliteta povezivanja

Dok je na početku 21. stoljeća povezanost bila obilježje samo digitalnog svijeta, u Industriji 4.0 digitalni i stvarni svijet su povezani. Strojevi, radni dijelovi, sustavi i ljudi stalno će

razmjenjivati digitalne informacije putem internetskog protokola. To znači da će fizičke stvari biti povezane s njihovim podacima. Proizvodnja s međusobno povezanim strojevima postaje vrlo glatka: jedan stroj odmah obavještava drugi stroj (te po potrebi transporter ili robot za logističku opskrbu) kada je dio proizveden. Strojevi se automatski prilagođavaju proizvodnim operacijama, koordinirajući proizvodnju gotovo kao u baletu kako bi automatski prilagodio proizvodnu jedinicu seriji koja će se proizvoditi. Čak i proizvod može komunicirati kad je proizveden - putem Interneta stvari (eng. *Internet of things – IoT*) i tražiti da ga preuzme transportni uređaj ili poslati e-mail sustavu za naručivanje koji će poslati informaciju da je proizvod spreman za isporuku". Tvornice su međusobno povezane na daleko bolji način zbog glatkog prilagođavanja rasporeda proizvodnje optimizacije kapaciteta [5].

2.1.5. Energetska učinkovitost i decentralizacija

Klimatske promjene i nedostatak resursa su trendovi koji će utjecati na sve tvornice tijekom Industrije 4.0. Ovi trendovi utječu na energetska decentralizaciju postrojenja, stvarajući potrebu za korištenjem tehnologija koje ne sadrže ugljik u proizvodnji. Korištenje obnovljivih izvora energije za tvrtke će biti financijski privlačnije. U budućnosti će biti veći broj proizvodnih mjesta koja generiraju vlastitu energiju, što će zauzvrat imati posljedice za pružatelje infrastrukture. Pored obnovljive energije, decentralizirana nuklearna energija - npr. postrojenja male veličine - proučava se kao način opskrbe velikim elektro postrojenjima, čime se postižu značajne uštede energije [5].

2.1.6. Virtualna industrijalizacija

Nema ništa teže od pokretanja novog pogona ili novog proizvoda u postojećem postrojenju. Potrebno je uložiti veliku količinu sati za prilagodbu, ispitivanja, predserijska testiranja za koja je potreban tim visokog kalibra čime se stvaraju brojna neočekivana prekoračenja troškova. Dan izgubljen zastojem proizvodnje znači ogroman gubitak prihoda za mnoge tvrtke. Industrija 4.0 će koristiti virtualne pogone i proizvode za pripremu fizičke proizvodnje. Svaki se postupak najprije simulira i virtualno provjerava. Tek nakon što je konačno rješenje spremno, fizičko mapiranje je učinjeno (što znači sav softver, parametri, numeričke matrice), učitavaju se svi podaci u fizičke strojeve koji kontroliraju proizvodnju. Neka početna testiranja omogućila su postavljanje proizvodnih jedinica za automobilske proizvode u tri dana - za razliku od tri mjeseca koja su danas potrebna. Virtualna postrojenja mogu se

oblikovati i lako vizualizirati u 3D obliku, kao i način na koji će radnici i strojevi međusobno komunicirati.

2.2. Promjene koje donosi industrija 4.0

Transformacija proizvodnje na standarde Industrije 4.0 predstavlja priliku, ali i prijetnju. Dio malih, specijaliziranih proizvodnih poduzeća u tradicionalnom smislu zasigurno će ostati na tržištu zbog same tradicije. No, etablirane tvrtke nesumnjivo će tijekom industrijske revolucije promijeniti svoje organizacije, procese i sposobnosti u cijelosti ili djelomično. Samim time pojavit će se prilika za nove konkurente s radikalno novim industrijskim poslovnim modelima. Nove tehnologije transformiranja, poput interneta ili mobilnih telefona, nisu bile prihvaćene samo zato što su bile nove, već i zato što ih je slijedila društvena transformacija. Internet kao tehnologija nije izmislio društvene mreže, već su se društvene mreže razvile zahvaljujući internetu i također mu omogućile daljnji razvoj. Ista će se stvar dogoditi s Industrijom 4.0, donošenjem novih funkcionalnosti koje će promijeniti pravila igre za proizvodne tvrtke. Razvoj će se odvijati različitim brzinama u različitim industrijama. U nastavku će biti objašnjeni utjecaji na industriju prema [5].

2.2.1. Personalizirani proizvodi

Industrija 4.0 donosi više slobode i fleksibilnosti u procesu proizvodnje. Tako će biti moguće konstruirati proizvode prilagođene potrebama svakog kupca uz relativno niske troškove. Također, mogu se olakšati postupci distribucije rezervnih dijelova ili jednostavnije robe za kupce ako je proizvodnji potrebno prenijeti samo podatke, dok se fizička proizvodnja može obavljati lokalno. To postaje vidljivo u širenju upotrebe za 3D pisačima. Tržište 3D pisača i srodnih usluga poraslo je na 1,6 milijardi eura u 2012. godini. Ovaj pristup može postati presudan faktor ako se razmatra prebacivanje proizvodnje u zemlju visokih ili niskih troškova. Postrojenje koje koristi 3D ispis može postati ekonomski održivo i konkurentno u zemlji s visokim troškovima, budući da je manje osjetljivo na troškove rada, dok s druge strane istovremeno pruža blizinu potrebnu za pristupačnu personalizaciju.

2.2.2. Procesi

Pogoni pojedinih poduzeća nalaze se na različitim lokacijama, oslanjajući se na resurse koji su dostupni na pojedinim područjima. Grupe dobavljača koncentriranih na malim područjima

pomažu da procesi teku lakše. Jedna od mogućnosti nalazi se u fenomenu zvanom „industrijska demokracija“, što znači da nejasne granice između informacijskog i fizičkog svijeta mogu umanjiti prepreke ulasku manjih ili specijaliziranih tvrtki. U nekim područjima raspodjela tržišta između multinacionalnih te malih i srednjih poduzeća ili vrlo specijaliziranih tržišnih sudionika može se promijeniti. Izazov za poslovanje leži u pretpostavci da će složenost proizvodnih i opskrbnih mreža znatno rasti. Ovakav pristup mogao bi dovesti do mobilnih proizvodnih jedinica, a to su male i autonomne proizvodne ćelije koje bi se mogle isporučiti u nekim zemljama za lokalno tržište bez izgradnje punog pogona. Ova vrsta raspodjele mogla bi izmijeniti pristup izravnom industrijskom stranom ulaganju s obzirom na rastuća tržišta i potrebe lokalizacije.

2.2.3. Poslovni modeli

U složenoj i isprepletenoj proizvodnoj mreži mijenjaju se uloge konstruktora, fizičkih dobavljača proizvoda i sučelja prema kupcu (izvođači). Prvi korak je fragmentacija lanca vrijednosti. To je već viđeno u industrijama poput glazbe ili medija. Nakon rascjepkanosti, bezbroj malih sudionika ima niže prepreke za ulazak na tržište. Kako poslovni lideri preispituju i restrukturiraju svoje lance vrijednosti, pojavljuju se novi izazovi u pogledu troškova i vlasništva nad profitom. Pojavljuje se pitanje gdje će biti visoke marže u budućnosti. Mogući odgovori leže u dizajnu, upravljanju procesima ili u ekspertizi s podacima o klijentima. Mogli bi se stvoriti i novi poslovni modeli ako se filozofija „dugog repa“, koju je donio Internet, može ekstrapolirati na Internet stvari.

2.2.3. Konkurencija

Granice tradicionalne industrije postaju nejasne, kao i granice između industrijske i neindustrijske primjene. U budućnosti će fokus biti na industrijskim metodama rada, uključujući obnovljivost ne samo identičnih proizvoda, već i usluga. Usluge se također mogu masovno proizvoditi. Visokokvalitetne digitalne (vanjske) usluge i sigurna, sveobuhvatna digitalna infrastruktura postaju temeljni preduvjeti za uspješnu Industriju 4.0. Očekuje se još bliže povezivanje IT / telekomunikacijskih tvrtki i tradicionalnih proizvodnih poduzeća. Ta poduzeća bi u nekim slučajevima mogli postati novi lideri u industriji. Jedan od primjera je Facebook koji ostvaruje udio u poslovanju s dronovima, dok internetski gigant Google ulazi u biotehnički sektor i istražuje nove metode borbe protiv bolesti povezanih sa starosti. U

Industriji 4.0 hijerarhije dobavljača vjerojatno će se promijeniti. Danas dobavljači fizičkih strojeva i alata postavljaju najveće marže svojim klijentima iz industrije. Ali u svijetu cyber-fizičkog sustava ti će dobavljači izgubiti na važnosti. Umjesto toga, dobavljači senzora, IT-a i softvera mogli bi zauzeti svoje mjesto u Industriji 4.0, dok se tvrtke koje se bave alatima i strojevima prelaze u drugi plan.

2.2.4. Vještine

Dominantne tehnologije Industrije 4.0 bit će IT, elektronika i robotika. Ali također će biti obuhvaćena i druga područja znanosti kao što su biotehnika i nanotehnika. Za očekivati je da poduzeća u Industriji 4.0 trebati i poboljšane socijalne i tehničke vještine. Uslijedit će pomak prema dizajnerskom razmišljanju umjesto proizvodnom razmišljanju. Korporativne kulture sa stalnim usavršavanjem i razvojem na radnom mjestu i cjeloživotnim učenjem postaju temeljna kompetencija. Puno suradničkih i međukulturnih kompetencija bit će potrebno za održiv rad u mrežnim okruženjima. S tehničke strane, povezivanje mreže značit će razvoj standardizacije. Stoga će interdisciplinarni profil ljudi postati tražen dok u drugi plan pada specijalizirana radna snaga. Stručnjaci, inženjeri i programeri analitičari morat će razvijati nove poslovne modele, proizvodne procese, strojnu tehnologiju i postupke vezane uz podatke. Pojavit će se novi nazivi radnih mjesta, poput znanstvenika o podacima i cyber-zaštitara.

2.2.5. Globalizacija

Organizacija budućnosti koncentrirat će se na odabrana područja, a ne na sveobuhvatnu globalnu prisutnost. Doći će do pojave otvorenih proizvodnih mjesta i klastera. Poduzeća ne moraju nužno održavati velike proizvodne pogone kako bi učinkovito funkcionirala. Ponekad će biti jeftinije za prijenos podataka i proizvodnju staranje lokalnih podružnica. Organizacije će biti postavljene na mnogo decentraliziraniji i fleksibilniji način.

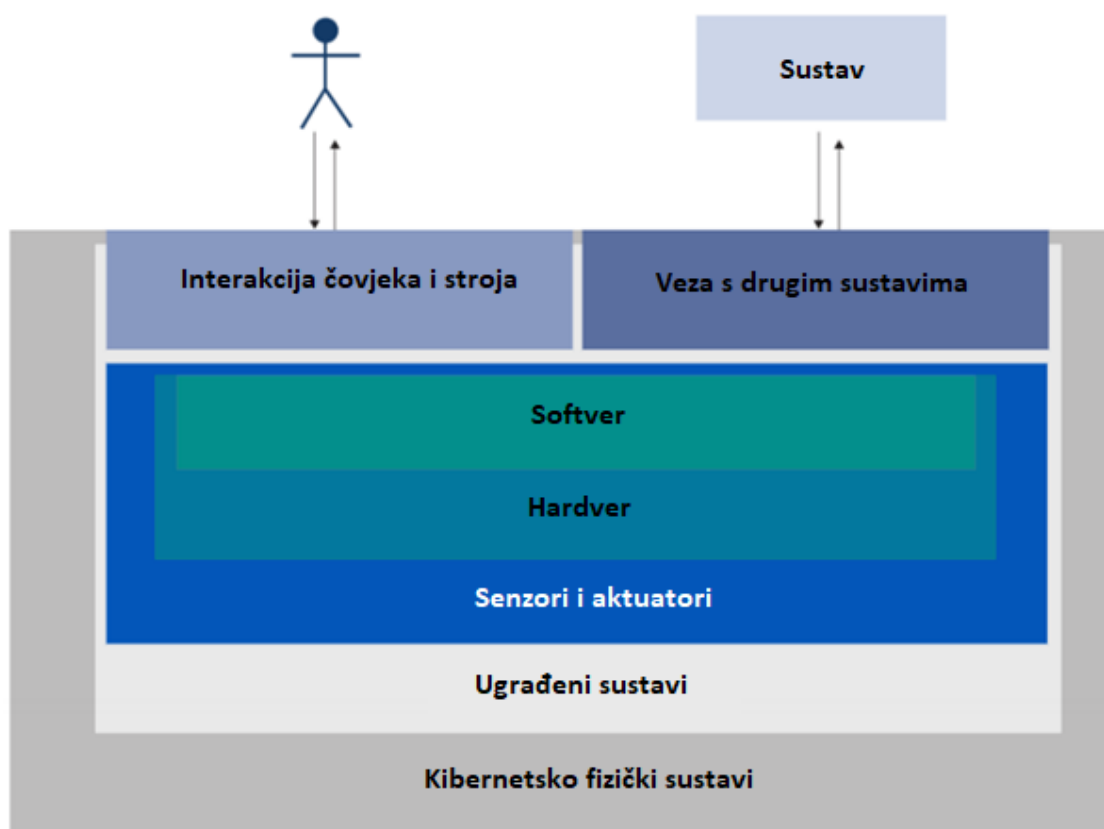
2.3. Proizvodnja u Industriji 4.0

Industriju 4.0 odnosno 4. industrijsku revoluciju pokreće internet, što omogućava komunikaciju između ljudi kao i strojeva u CPS sustavu kroz velike mreže. Pored tehnoloških inovacija, organizacijska struktura industrijske proizvodnje prošla je nekoliko velikih promjena u prošlosti kako bi se suočila s promjenama na tržištima. Industrijska proizvodnja

započela je s transformacijom iz zanatske u masovnu proizvodnju sa strogom podjelom rada i standardizacijom.

Na tržištu u kojima je proizvodnja bila glavno usko grlo, organizacijska struktura bila je usmjerena na povećanje proizvodnje i produktivnosti ne uzimajući u obzir razlike u potrebama kupaca. Kako se povećavala zasićenost tržišta, tržišta su se transformirala i prisiljavala proizvodna poduzeća na diferencijaciju proizvoda. Kako bi se povećala učinkovitost u rastućim granama proizvoda, vitka proizvodnja postala je vrlo popularna jer omogućava uklanjanje gubitaka duž opskrbnog lanca vrijednosti. Rast potražnje personaliziranih proizvoda u kombinaciji sa skraćivanjem životnog ciklusa proizvoda zahtijeva daljnju transformaciju organizacijskih struktura koje se nose s povećanom složenosti. Raspodijeljeni sustavi mogu se prilagoditi visokoj složenosti i formirati početnu točku za takozvano kibernetičko upravljanje koje uključuje samokontrolirajuće sustave. Internet je prepoznat kao moćan instrument za upravljanje sustavima i tehnologijama i može se koristiti za praćenje pojedinačnih proizvoda u čitavom lancu procesa [9].

Industrija 4.0 usredotočena je na uspostavljanje inteligentnih proizvoda i proizvodnih procesa. U proizvodnji budućnosti tvornice se moraju nositi s potrebama brzog razvoja proizvoda, fleksibilne proizvodnje kao i složenih okruženja. U tvornici budućnosti, koja se također smatra pametnom tvornicom, CPS će omogućiti komunikaciju između ljudi, strojeva i proizvoda. Budući da mogu prikupljati i obrađivati podatke, računala mogu samostalno kontrolirati određene zadatke i komunicirati s ljudima putem sučelja što je prikazano na slici 7.



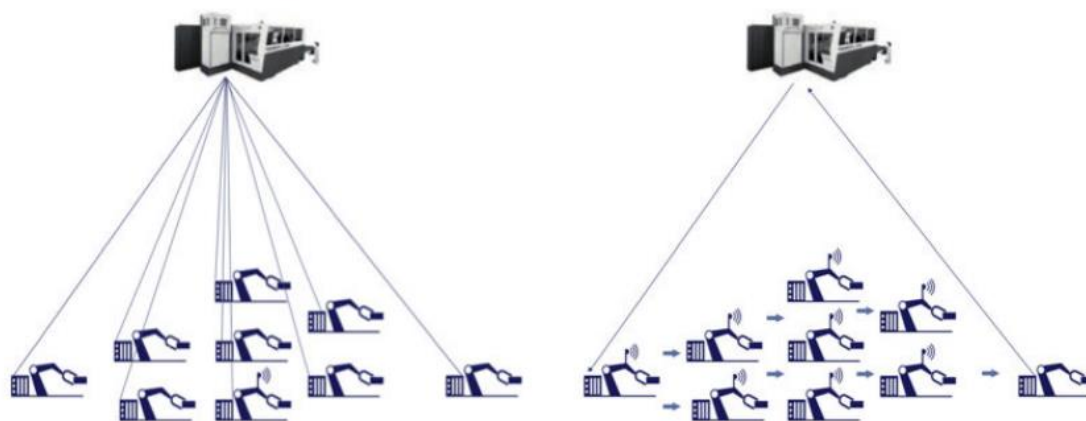
Slika 7. Komunikacija između čovjeka i strojeva [9]

U pametnom proizvodnom okruženju inteligentni i individualizirani proizvodi sadrže znanje o svom proizvodnom procesu i neovisno putuju niz lanac opskrbe. Industrijska proizvodnja visokotehnoloških proizvoda mora držati u ravnoteži zadovoljavanje potreba kupaca kroz individualizaciju te ostvarivanje ciljeva profitabilnosti duž lanca vrijednosti. Dilema između ekonomije razmjera i opsega može se riješiti konceptom masovne prilagodbe. Masovna prilagodba u kontekstu proizvodnje je proizvodna strategija koja se fokusira na proizvodnju personaliziranih masovnih proizvoda, uglavnom kroz fleksibilne procese, modularizirani dizajn proizvoda i integraciju između sudionika opskrbnog lanca.

Kod proizvodnje velikih količina standardiziranih proizvoda, Njemačka mora nadoknaditi inferiornu poziciju zbog visokih troškova rada u usporedbi sa zemljama s niskom plaćom. Međutim, promjenama u procesima, proizvodnja postaje profitabilna. Veći značaj masovne prilagodbe dovodi do temeljnih promjena u strukturi proizvoda i proizvodnje. Modularizacija je već prihvaćeno sredstvo za povećanje raznolikosti proizvoda proizvedenih pomoću alata [9].

Za uspješnu modularizaciju, struktura proizvoda mora se razdvojiti u podsustave s vrlo malim međuovisnostima kako bi se postigla odgovarajuća ekonomija razmjera. Fleksibilnim prilagođavanjem kombinacije standardiziranih modula brzina razvoja novih proizvoda drastično se povećava i vrijeme distribucije do tržišta može se znatno skratiti. Iako ga je prvi uveo modularni proizvod, koncept modularnosti primjenjuje se na više različitih područja proizvodnog sustava i planiranja i simulacije proizvodnje. U pametnoj tvornici proizvodi mogu komunicirati sa svojim okruženjem i utjecati na raspored rekonfigurabilnih proizvodnih sustava (eng. *Reconfigurable Manufacturing Systems - RMS*). Betonske konstrukcije i specifikacije proizvodnih procesa zamjenjuju se pravilima konfiguracije iz kojih se automatski mogu stvoriti strukture za specifične slučajeve. RMS omogućava proizvodnim poduzećima da se prilagode promjenjivim zahtjevima proizvodnje na troškovno učinkovit način. Strojne komponente mogu se dodavati, uklanjati ili preuređivati ovisno o sučelju mehaničkog modula. Složenost koordinacije može se smanjiti uz povećanje fleksibilnosti dijeljenjem proizvodnog procesa.

Za kombiniranje prednosti planiranja i proizvodnje orijentirane povećanju vrijednosti, sveobuhvatno modeliranje lanca vrijednosti može opskrbiti distribuirane jedinice pokazateljima kako bi svoje postupke uskladili s ciljevima na visokoj razini. Kako se standardizacija smanjuje, kontrolu treba preusmjeriti na razinu prodajnog dijela za brze reakcije i korištenje znanja specifičnih za proizvod. Da bi se iskoristili sinergijski efekti, podaci se moraju centralizirati i procesi trebaju biti globalno modelirani. To može značiti da je dopušteno rješenje u jednoj jedinici da riješi usko grlo u drugoj. Danas odluke o prilagodbama procesa uglavnom ljudi donose na temelju iskustva. U budućnosti će se procesu odlučivanja sve više potpomoći samo-optimizirajućim i poznatim proizvodnim sustavima. Distribuirani sustavi mogu proizvesti puno manje serije i pomažu posebno malim i srednjim poduzećima da dinamički slijede tržišne mogućnosti [9].



Slika 8. Promjena u strukturi komunikacije između strojeva [9]

Za daljnje povećanje fleksibilnosti proizvoda mogu se koristiti brze tehnike izrade odnosno brza proizvodnja (eng. *Rapid Manufacturing - RM*), u kojima se proizvodi izrađuju na temelju 3D CAD modela. RM tehnika može se koristiti za stvaranje novih mogućnosti dizajniranja i ima veliki potencijal kod malih veličina serija. Trenutno se RM tehnologije ne mogu uspoređivati s uobičajenim proizvodnim metodama u pogledu cijene i produktivnosti te se koriste samo za prilagođene dijelove u vrlo malim serijama za izradu prototipa i primjene poput biomedicinskih dijelova.

Integrirani inženjering duž cijelog lanca vrijednosti uz pomoć naprednih metoda komunikacije i virtualizacije obećava značajan potencijal za optimizaciju. Duž ovog lanca vrijednosti postat će sve manje važno koji se postupak obavlja u kojoj tvornici ili poduzeću, budući da se svim uključenim stranama u lancu može osigurati pristup informacijama u stvarnom vremenu, a kontrola je prebačena na razinu trgovine. Središnje pitanje Industrije 4.0 je kako se poslovni procesi, uključujući inženjerski rad i usluge, mogu integrirati cjelovito pomoću CPS-a.

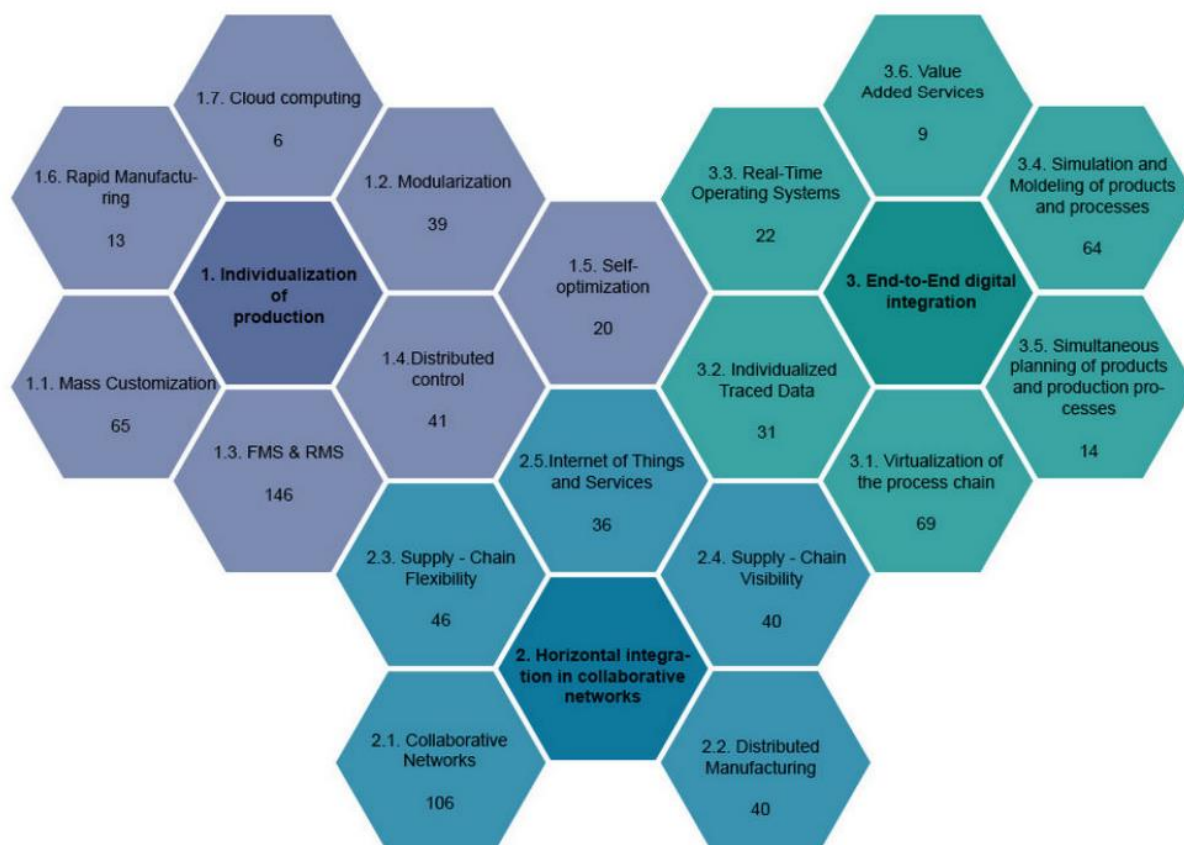
Proizvođači opreme za automobilsku industriju već organiziraju velike opskrbe mreže s različitim tvornicama i poduzećima u lancima opskrbe i integriraju ključne dobavljače u razvoj proizvoda. Automobilske lance opskrbe karakterizira velika složenost jer se automobili obično sastoje od više od 20 000 komponenti i često uključuju više od 80 poduzeća za razvoj i proizvodnju jednog modela. Međutim, proizvođači automobila bave se relativno dugim životnim ciklusima proizvoda i velikim serijama, tako da nemaju velike potrebe za brzom reorganizacijom opskrbnog lanca i fleksibilnim prilagodbama proizvodnih procesa. U kontekstu proizvodnje na razini samog proizvoda koriste se informacije za stalno

optimiziranje baze podataka i poboljšanje daljnjeg razvoja. Simulacije i modeliranje proizvodnje potrebno je delegirati drugim tvrtkama [9].

Da bi se osigurala razmjena informacija, u cijeloj industriji još uvijek se moraju primjenjivati jedinstveni standardi za prijenos i upotrebu podataka. Potreba za zajedničkim osnovama postaje očita osobito u kontekstu istodobnog razvoja proizvoda i njihovih opskrbnih lanaca i proizvodnih sposobnost. Napredne tehnike vizualizacije podataka osjetljivih na kontekst putem virtualne stvarnosti (eng. *Virtual Reality* - VR) mogu se koristiti za ilustraciju informacija za učinkovitu suradnju.

Lokalna dostupnost i razumijevanje podataka o globalnoj proizvodnji najvažniji su za intervenciju u stvarnom vremenu u slučaju promjene u okruženju. Za mnoge proizvodne kompanije usluge s dodanom vrijednošću pružaju odgovarajuću priliku da se osim visoke kvalitete proizvoda, razlikuju i u drugim područjima kako bi osigurale snažnu konkurentsku poziciju. Povrh toga, dugoročni ugovori o uslugama mogu pomoći ublažavanju rizika od velike nestabilnosti potražnje, jer stvarni proizvod služi kao platforma za daljnu prodaju usluga tijekom korištenja. Ugrađeni sustavi pametnih proizvoda i strojeva omogućit će potpuno nove koncepte održavanja na daljinu. Bogatstvo podataka koje su pametni proizvodi i strojevi stekli tijekom rada mogu se izdvojiti i upotrijebiti za razvoj novih usluga i unaprjeđenja te će pomoći povećanju percipirane kvalitete proizvoda [9].

Prema opsežnom istraživanju koje je proveo Laboratorij za alatne strojeve i proizvodni inženjering u Aachenu, preko 90% menadžera iz njemačke prerađivačke industrije ima interese u rješavanju razlika između razmjera i opsega, a uspostavljanje obitelji sličnih proizvoda bit će glavno sredstvo za uključivanje fleksibilnosti u masovnu proizvodnju. Jedan voditelj razvoja srednjeg proizvodnog poduzeća u navedenom istraživanju naznačio je da dizajn i razvoj proizvoda obično predstavlja samo 5 do 10%, ali određuje više od 80% troškova proizvoda. Stoga se željena fleksibilnost obitelji sličnih proizvoda mora utvrditi u vrlo ranoj fazi. Međutim, kako je korist od fleksibilnosti teško kvantificirati, ona se uglavnom ne uključuje u klasičnu analizu ulaganja u nove strojeve [9]. Na slici 9. prikazane su različite grane koje su vezane za Industriju 4.0 čime se potiče raznovrsnost.



Slika 9. Područja vezana za Industriju 4.0 [9]

Prema istraživanju Instituta za industrijski menadžment u Aachenu, implementacija RMS-a uglavnom otežavaju sljedeći nedostaci: nedostatak moćnih IT sustava i njihove međusobne integracije, nedovoljno poznavanje proizvodnih procesa i nedostatak napora za promjenu unutar poduzeća. Stručnjaci koji su sudjelovali u istraživanju složili su se da decentralizirani autonomni sustavi imaju vrlo visok potencijal da se nose s vrlo složenim okruženjem i personaliziranim proizvodima. Međutim, da bi imali značajan utjecaj na masovnu proizvodnju, kod autonomnih sustava potrebno je još dosta investirati u istraživanje, što je podržano tehnološkim programom "Autonomija" Federalnog ministarstva ekonomije i tehnologije u Njemačkoj. Uspješan razvoj dovesti će do „nove samoorganizacije“ proizvodnih ćelija.

U kontekstu brze proizvodnje, stručnjaci u industriji vide veliki potencijal, ali i znatne prepreke koje treba savladati kako bi se zamijenile konvencionalne proizvodne tehnologije. Jedan stručnjak iz male proizvodne tvrtke izrazio je zabrinutost zbog jamstva i certificiranja prilagođenih proizvoda proizvedenih od strane SFF methods, jer nije ekonomično provoditi opsežna ispitivanja pojedinačnih proizvoda. Za proizvode vezane sa sigurnošću, proizvođači i

dalje nemaju iskustva u pogledu sigurnosti proizvoda i kvara na komponentama. Kao dodatak uvriježenom mišljenju, iskusni konzultant s iskustvom u istraživanju je izjavio da, iako postoji općeniti trend prema prilagođenim proizvodima, uvijek će postojati dominantna masovna proizvodnja standardiziranih proizvoda dizajnirana tako da odgovara širokoj masi [9].

U budućnosti će novi oblici suradnje omogućiti fleksibilnu raspodjelu proizvodnih kapaciteta u lancu vrijednosti. Da bi se to postiglo, informacije moraju biti dostupne kroz suradničke mreže što predstavlja veliki potencijal za sukobe. Prema spomenutom istraživanju, tvrtke obično odbijaju partnerima objaviti informacije o svojim proizvodnim procesima i strukturi troškova kako bi održali snažnu pregovaračku poziciju. Međutim, 45% svih njemačkih proizvodnih poduzeća prilagođava svoj kapacitet putem outsourcinga radnih mjesta. Da bi prevladale probleme s povjerenjem, dominantne tržišne snage poput velikih proizvođača iz automobilske industrije moraju strukturirati čitave lance vrijednosti i nagovarati dobavljače na razmjenu informacija. U istraživanju je istaknuto da institucionalizirana razmjena informacija među partnerima često dovodi do povećanja troškova. Ako jedna strana ne vidi izravnu korist, razmjena informacija često ne uspijeva zbog nedostatka spremnosti za pokrivanje troškova, od čega koristi imaju konkurenti. Da bi se iskoristio potencijal fleksibilne raspodjele kapaciteta unutar kolaborativnih mreža, lanci opskrbe moraju biti dizajnirani za prilagodbu. Industrija 4.0 će raditi samo ako strojevi mogu komunicirati putem CPS-a, a robni tokovi se prate RFID-om ili sličnim tehnologijama kroz velike dijelove industrije [9].

3. DIGITALNE TEHNOLOGIJE

Potreba za skraćanjem vremenom razvoja, s rastućom potražnjom za personalizirane proizvode, dovela je do razvoja nove generacije informatičkih tehnologija u proizvodnji. Tijekom posljednjeg desetljeća digitalne tehnologije donijele su brojne proizvode za smanjenje vremena proizvodnje, smanjenje troškova razvoja proizvoda te proizvode za rješavanje potreba za prilagodbom, povećanjem kvalitete proizvoda i bržim reakcijama na tržištu.

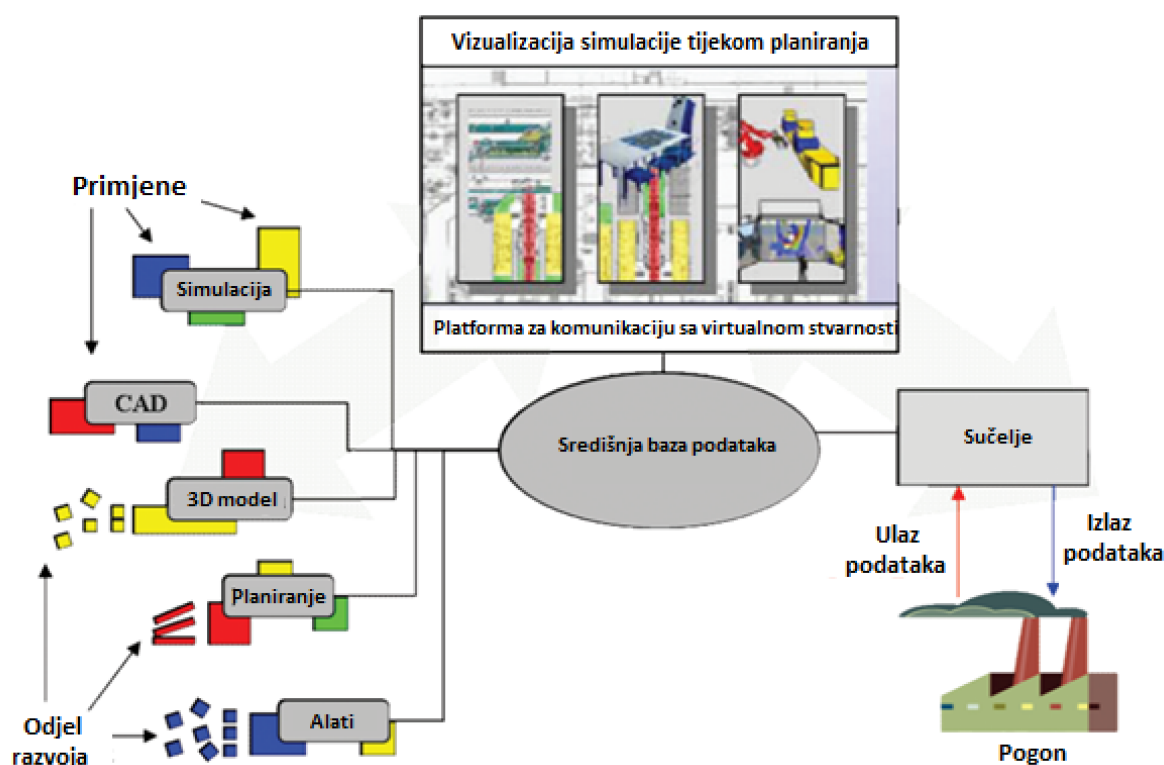
U nastavku će biti riječi o razvoju informatičkih tehnologija u proizvodnji, ocrtavajući njihove karakteristike i izazove s kojima će se suočiti u budućnosti. S konceptima digitalizacije proizvodnje i tvornica, tehnologije koje se će biti spomenute uključuju računalno projektiranje, planiranje procesa i proizvodnju, podatke o proizvodima i upravljanje životnim ciklusom, simulaciju i virtualnu stvarnost, automatizaciju, kontrolu procesa, logistiku, upravljanje lancima opskrbe. Najznačajniji proizvod digitalnih tehnologija je informacijski sustav odnosno ERP sustav (eng. *Enterprise Resource Planning - ERP*) koji je uz sve prednosti, omogućio povezivanje različitih tehnologija.

3.1. Razvoj IT-a u proizvodnji

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, široka primjena informatičke tehnologije u proizvodnji omogućila je implementaciju digitalnih proizvoda u različite proizvodne procese. Prednosti novih alata pomno su ispitane, a njihova je učinkovitost dokazana u mnogim primjenama. Njihova primjena kreće se od jednostavnih aplikacija za obradu, do podrške za planiranje i kontrolu proizvodnje. Od samih početaka uvođenja numeričke kontrole pa sve do strojnih centara i fleksibilnih sustava, smanjenje troškova i povećanja snage glavne su prednosti IT-a.

Primjer uvođenja IT-a u svijet proizvodnje je koncept računalno integrirane proizvodnje (eng. *Computer-Integrated Manufacturing - CIM*). Ovaj koncept uveden je krajem 1980-ih, omogućavajući poboljšanje performansi, učinkovitosti, fleksibilnosti u radu, kvalitete proizvoda, i vremena na tržištu. Međutim, potpuna strateška prednost informatičkih tehnologija u to nije bila dovoljno prepoznata i nije se mogla u potpunosti iskoristiti. Sustavi kontrole zaliha i planiranja materijalnih potreba (eng. *Material Requirements Planning -*

MRP) uvedeni su u 1960-ima i 1970-ima. Takvi su sustavi dodatno poboljšani integracijom alata koji omogućuju funkcionalnost planiranja prodaje s alatima za predviđanje. Rezultat je uvođenje MRP-a u poduzeće kao jedinstvenu cjelinu. Ipak, napredak u mikroprocesorskoj tehnologiji, dolazak internetske ere, standardizacija softverskih sučelja, široko prihvaćanje formalnih tehnika za dizajn i razvoj softvera, otvorili su put za olakšavanje integracije između različitih softverskih aplikacija. Na slici 10. prikazana je potencijalna shema pogona koji je digitaliziran.



Slika 10. Moguća struktura pogona koji je uveo digitalizaciju [10]

Evolucija informacijskih sustava tijekom posljednjeg desetljeća igrala je presudnu ulogu u usvajanju novih informacijskih tehnologija u okruženju proizvodnih sustava [10].

Poduzeća će svoj budući izbor sustava za kontrolu temeljiti na faktorima kao što su pridržavanje otvorenih industrijskih standarda, tehnička izvedivost, ekonomičnost, jednostavnost integracije i održivost. Što je još važnije, ugrađeni sustavi i operativni sustavi malih dimenzija industrijske čvrstoće postupno će mijenjati prevladavajuću arhitekturu spajanjem robusnog hardvera i otvorenog upravljanja. Integriranje upravljačkih sustava s CAD (eng, *Computer Aided Design*), CAM (eng, *Computer Aided Manufacturing*) i

sustavima za planiranje i kontrolu u stvarnom vremenu, temeljeno na raspodijeljenoj mreži između senzora i upravljačkih uređaja, a to trenutno predstavlja ključne istraživačke teme.

Nova dostignuća u korištenju bežičnih tehnologija, poput radiofrekventne identifikacije (eng. *Radio-frequency identification - RFID*) kao dijela automatiziranih identifikacijskih sustava, uključuje prepoznavanje identiteta predmeta i osoba koji se kreću kroz lanac opskrbe. U novije vrijeme, instalacija bežičnih tehnologija kao što je RFID, globalni sustav mobilne komunikacije (eng. *Global System for Mobile Communications, GSM*) i 802.11 standarda predstavlja novo područje primjene IT-a u industriji. Međutim, integracija bežičnih IT tehnologija na razini automobilske trgovine često se sprječava zbog zahtjevnih industrijskih zahtjeva, a to su otpornost na smetnje, sigurnost i visok stupanj dostupnosti. S druge strane, u automobilskoj montaži IT je primjenjiv na niz procesa kao što su kontrola radnih naloga, nadzor proizvodnje, planiranje redoslijeda, identifikacija vozila, upravljanje kvalitetom, upravljanje održavanjem i kontrola materijala [10].

Na slici 11. prikazane su potencijalne primjene RFID sustava. Prednosti ovakvog sustava su:

- Iznimna brzina čitanja
- Dug vijek trajanja
- Otpornost na vanjske utjecaje
- Jednostavna implementacija
- Zaštita podataka



Slika 11. Primjene RFID sustava [11]

3.2. ERP sustav

ERP sustav je sustav koji pokušava integrirati sve podatke i procese organizacije u jedinstvenu platformu. Već 1969. počinje razvoj integrirane arhitekture za organizacijske informacijske sustave. Međutim, zbog visoke organizacijske i tehničke složenosti povezane s njihovim razvojem i primjenom, integrirane sustave na razini poduzeća bilo je teško primijeniti u praksi. U kasnim 80-ima i ranim 1990-ima nekoliko pokušaja razvoja integriranih korporativnih podataka o poduzećima nije uspjelo zbog nedostatka razvoja i kontinuiteta trošenja resursa tijekom dužeg vremenskog perioda koji je potreban za izgradnju i primjenu ovih sustava.

Prema [12], International Dana Corporation ERP sustav definira kao programsku podršku za najmanje tri od četiri segmenta poslovanja:

- Financijsko poslovanja (eng. *Accounting*)
- Robno-materijalno poslovanje (eng. *Material management/distribution*)
- Upravljanje ljudskim resursima i plaće (eng. *human resource management, HR menadžment*)
- Proizvodnja (eng. *Manufacturing*)

Tipični ERP sustav će za integraciju koristiti više komponenti računalnog softvera i hardvera. Ključni element većine ERP sustava je uporaba jedinstvene baze podataka za pohranu podataka za različite module sustava. ERP se veže prilično širokim spektrom mogućnosti i primjena koje su realizirane posljednjih desetljeća. Sustavi planiranja proizvodnih resursa (MRP), osim što uključuju sustave financijskog računovodstva i upravljanja, dodatno su prošireni kako bi obuhvatili cjelokupno planiranje resursa i poslovne procese čitavog poduzeća, uključujući područja poput ljudskih resursa, upravljanja projektima, dizajn proizvoda, upravljanje materijalima te planiranje kapaciteta. Eliminacija netočnih i suvišnih podataka, standardizacija sučelja poslovnih jedinica, suočavanje s problemima globalnog pristupa i sigurnosti i točno modeliranje poslovnih procesa postali su dio popisa ciljeva koje treba ispuniti ERP sustav. Veliki troškovi implementacije, visoki rizici neuspjeha, ogromni zahtjevi za korporativnim vremenom i resursima, te složena i često bolna prilagođavanja poslovnih procesa glavni su problemi koji se odnose na implementaciju ERP-a. Uzimajući u obzir trenutni trend u svijetu proizvodnje za maksimiziranje njihove komunikacije i suradnje, funkcionalnost ERP sustava također je proširena rješenjima za upravljanje opskrbnim lancima [10].

ERP sustavi često uključuju mogućnosti prikazivanja podataka na kojima se izrađuju analize potrebne za optimizaciju procesa. Optimizacija donosi smanjenje troškova i vremena gotovo svakog proizvodnog procesa. Indikativni primjeri uključuju slučajeve od jednostavnih problema s optimizacijom, rasporeda trgovina i planiranja proizvodnje do današnjih složenih problema donošenja odluka. Danas su uobičajeni sustavi za planiranje koji mogu kontrolirati proizvodnju u stvarnom vremenu. Ovaj sustav svakodnevno dobiva povratne informacije integriranjem informacija koje dolaze iz podsustava za praćenje procesa, kvalitete i proizvodnje. Sustav može nadzirati odstupanja i probleme proizvodnog procesa i sugerirati moguću alternativu za povećanje efikasnosti. Trenutna generacija ERP sustava također nudi referentne modele ili predloške procesa koji tvrde da utjelovljuju trenutno najboljeg poslovnog modela.

3.3. Značajke i elementi ERP sustava

Prema [12], ključne karakteristike svakog ERP-a su:

- Protok informacija kroz više poslovnih funkcija/procesa
- Sastoji se od više podsustava i velikog broj predefiniranih opcija

- Realiziran je s više milijuna linija programskog koda
- U razvoj je uloženo više tisuća čovjek-sati visoko kvalificiranog rada
- Standardno okruženje sa zajedničkom bazom podataka nezavisnom od aplikacija i integriranih aplikacija

S obzirom na trenutnu razvijenost teorije i tehnologije poslovnim informacijskim sustavom odnosno ERP-om smatra se sustav koji se sastoji od sljedećih elemenata:

- materijalno tehničke komponente
- nematerijalne komponente
- ljudske komponente
- mrežne komponente
- organizacijske komponente

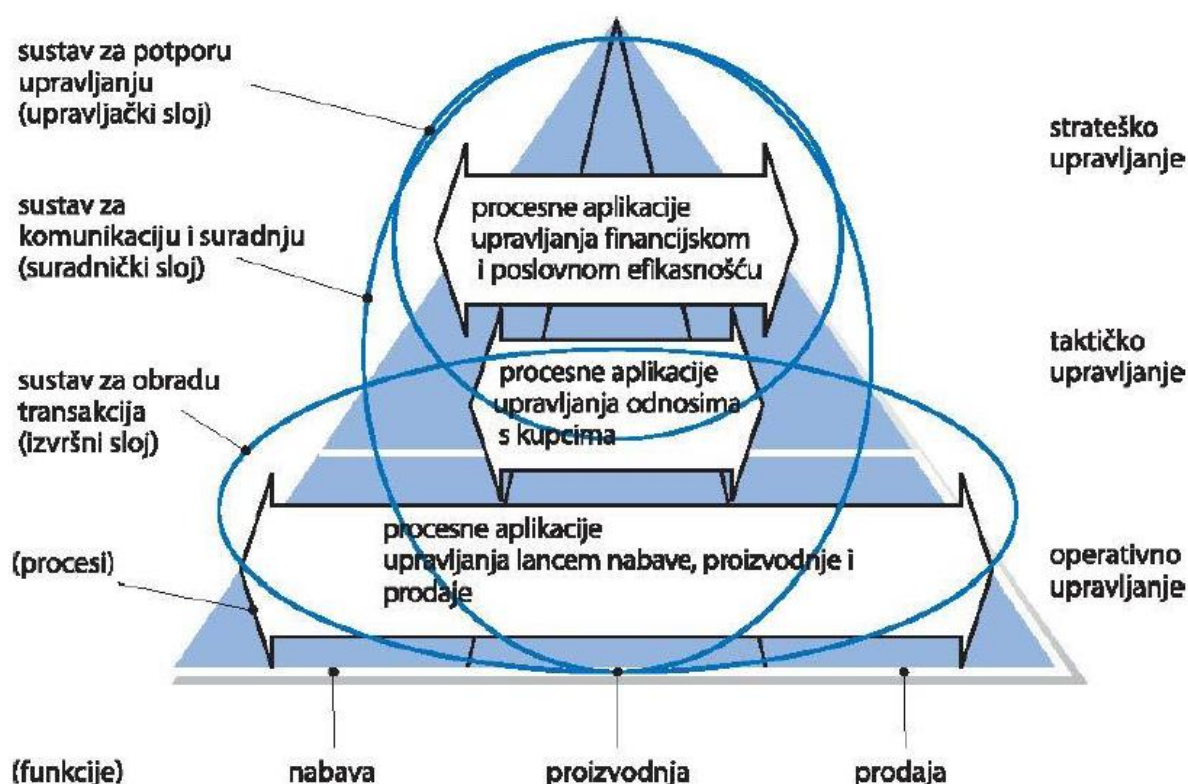
Materijalno tehničku komponentu (eng. *Hardware*) poslovnih informacijskih sustava čine svi uređaji, strojevi i sredstva namijenjena isključivo ili pretežito obradi procesiranju podataka. Nematerijalna komponenta (eng. *Software*) poslovnih informacijskih sustava predstavlja znanje koje je prilagođeno i programirano za strojeve, opremu i uređaje. Znanje je samo po sebi predmet obrade ili pak diktira način obrade u sustavu. Predmet obrade su poslovno relevantni podaci kao manifestacija ljudskog znanja raspoloživoga u poslovnom informacijskom sustavu dok se metodološka znanja u taj sustav ugrađuju u obliku računalnih programa. Ljudsku komponentu (eng. *Lifeware*) poslovnih informacijskih sustava čine svi ljudi koji u bilo kojoj funkciji i s bilo kakvom namjerom sudjeluju u radu sustava i koriste rezultate njegova rada. U tu komponentu spadaju profesionalni informatičari koji djeluju u sustavu, ali je njihov brojčani udio u ukupnom ljudskom potencijalu sustava daleko manji u odnosu na skupinu korisnika informacijskog sustava. Mrežna prijenosna komponenta (eng. *Netware*) poslovnog informacijskog sustava stvara komunikacijsku infrastrukturu za prijenos podataka (pasivni i aktivni elementi) na veće ili manje udaljenosti između hardverskih elemenata unutar samog sustava ili u njegovim vezama s okolinom. Organizacijska komponenta (eng. *Orgware*) poslovnog informacijskog sustava predstavlja ukupnost standarda, mjera, postupaka i propisa kojima se funkcionalno i vremenski usklađuje rad prethodno prikazanih četiriju komponenata, kako bi one tvorile skladnu cjelinu [13].

ERP sustavi u svojoj jezgri imaju sustav upravljanja, odnosno planiranja resursima organizacije s većim brojem međusobno povezanih programskih modula za pojedina funkcijska područja, kao što su nabava, proizvodnja, logistika, prodaja, računovodstvo.

U horizontalno integriranom informacijskom sustavu mogu se sustavno pratiti poslovni procesi kao što su:

- nakon narudžbe kupca, integralni je informacijski sustav može prihvatiti, proslijediti u odjel prodaje i dostave koje će isporučiti robu kupcu, odnosno njegovu informacijskom sustavu poslati račun
- u skladišnoj će evidenciji za bilježiti količinu isporučene robe
- ako se roba treba proizvesti u proizvodnom pogonu, lansirat će radni nalog za proizvodnju potrebnih količina robe
- u proizvodnom dijelu informacijskog sustava može se izraditi plan proizvodnje te računalno voditi proces proizvodnje
- efekte prodaje menadžer će moći promatrati i analizirati kroz analitički dio informacijskog sustava

Na slici 12. prikazana je piramidalnu strukturu ERP sustava. Na temelju se nalaze procesne aplikacije vezane za različite module unutar ERP-a. U taktičko upravljanje spadaju procesne aplikacije više razine, u primjeru sa slike su to aplikacije upravljanja odnosima s kupcima. Na vrhu piramidalne strukture su procesne aplikacije upravljanja financijskom i poslovnom efikasnošću. Može se primijetiti kako u strukturi ERP-a postoje tri sloja: izvršni sloj, koji obuhvaća cijeli informacijski sustav (sustav za obradu transakcija), suradnički (sustav za komunikaciju i suradnju) i upravljački (sustav za potporu upravljanju).

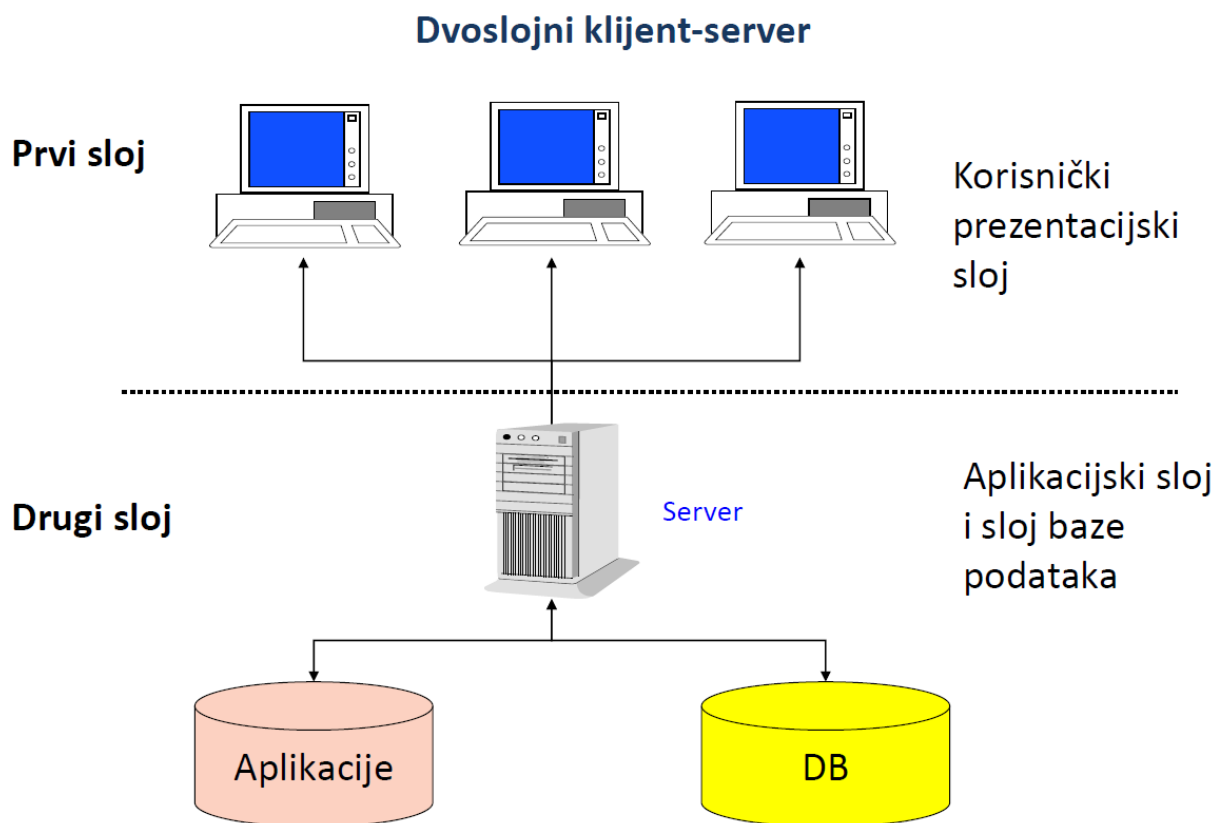


Slika 12. Struktura ERP sustava [13]

Kako su u integralnom informacijskom sustavu podaci pojedinih poslovnih područja dobro povezani, odnosno integrirani relativno se jednostavno ostvaruje i funkcijska i procesna povezanost unutar organizacije. U vertikalno integriranom informacijskom sustavu postignuta je povezanost poslovnih procesa najniže funkcijske razine (npr. transakcije u maloprodaji) s procesima analiza podataka i prikaza informacija za upravljanje na višim razinama (npr. izvještaji analize prodaje za glavnog direktora) [13].

Prema [12], ERP sistemska konfiguracija može biti dvoslojna i troslojna.

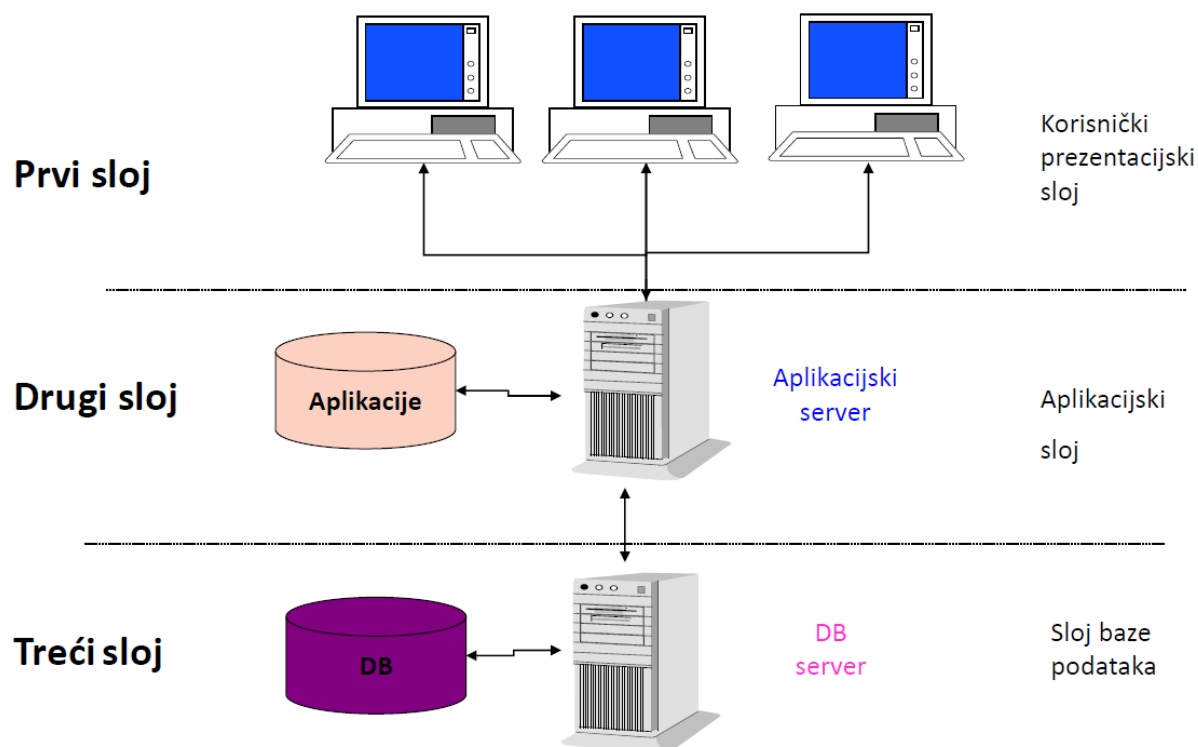
Dvoslojna konfiguracija je prikazana na slici 13., a karakterizira ju zajednički server koji upravlja radom aplikacije i bazom podataka. Kao veza najčešće se koristi LAN.



Slika 13. Dvoslojna sistemska konfiguracija [12]

Slika 14. prikazuje shemu troslojne konfiguracije ERP sustava. Troslojna konfiguracija ERP sustava razlikuje se u tome što se klijent povezuje na aplikacijski server, što inicira drugu konekciju na server baze podataka. Ova konfiguracija koristi se kod WAN mreža. Osnovna razlika u odnosu na dvoslojnu konfiguraciju, je u postojanju dvaju servera, jedan korišten za upravljanje bazom podataka, a drugi aplikacijom, na kojeg se korisnik spaja [12].

Troslojni klijent-server



Slika 14. Troslojna sistemska konfiguracija [12]

3.4. Implementacija ERP sustava

Implementacija ERP sustava složen je proces koji zahtijeva sustavno planiranje, stručno konzultiranje i dobro strukturirani pristup. Sama implementacija može trajati od nekoliko mjeseci do nekoliko godina, te zahtijeva promjene u procesima i načinu rada zaposlenika. Preporučuje se da implementaciju ERP sustava vode konzultantske tvrtke ili ERP zastupnici. U tom slučaju konzultanti su odgovorni za [12]:

- Savjetovanje
- Prilagodbu
- Podršku

Prema [12], pet plus jedan osnovnih stadija implementacije ERP sustava su:

0. Odabir ERP sustava – potrebno je odabrati odgovarajući model ERP sustava. Korisnik mora poznavati sve svoje procese jer će u tom slučaju bitno smanjiti rizik od odabira ERP sustava koji nije prilagođen za to poduzeće. Također to će smanjiti i troškove prilikom implementacije. Postoji nekoliko tehnika kojima se može odabrati model

ERP sustava, recimo korištenjem AHP metode (AHP – analitički hijerarhijski proces) kod koje se uspoređuju parovi alternativa tako da se ocjenjuju njihove značajnosti. Tako je moguće na kvalitetan način donijeti odluku koji od željenih proizvoda odabrati.

1. Strukturirano planiranje – prva i najvažnija faza u kojoj se odabiru projektni timovi, predstavljaju i proučavaju poslovni procesi, tijekom informacija unutar i izvan organizacije se pomno promatra, postavljaju se ključni ciljevi i formulira se konačni plan provedbe implementacije.
2. Proces procjene – faza u kojoj se ispituju mogućnosti potencijalnog softvera, stvara se priručnik poslovnih procesa te se izrađuju standardne radne procedure.
3. Sastavljanje i čišćenje podataka – pomaže kod identifikacije postojećih podataka i novih podataka koji će biti potrebni za rad u sustavu. Sastavljeni podaci se analiziraju zbog točnosti te se odstranjuju neželjene ili bezvrijedne informacije.
4. Educiranje i testiranje – isprobavanje sustava i edukacija korisnika s ERP mehanizmima. Projektni tim testira i provjerava kompletnu bazu podataka pomoću raznih metoda. održavaju se treninzi unutar organizacije, kako bi svi korisnici bili upoznati s načinom funkcioniranja novog ERP sustava.
5. Korištenje i procjena – finalna faza ERP sustava. Projektni tim redovito provjerava rad ERP sustava te otkriva i otklanja moguće pogreške i nepravilnosti u radu.

Prethodno prikazanih pet koraka predstavlja jednostavan i opći princip koji sadrži sve osnovne korake koje je potrebno proći prilikom svake implementacije ERP sustava u poduzeće. Svaka implementacija ERP sustava specifična jer nijedno trgovačko društvo nije isto, stoga je potrebno svakoj implementaciji pristupiti individualno kako bi se efikasnost povećala. Sve procese koji će biti povezani s ERP sustavom potrebno je analizirati jer postoji mogućnost promjene procesa tijekom implementacije kako bi se povećala efikasnost. Ako poduzeće ima dokumentirane sve procese, postupak je jednostavniji i brži. Ovih pet, odnosno šest koraka, nerijetko proširi s još nekoliko detaljnijih faza vezanih za pojedinog korisnika, osnovni razlog je priroda poslovanja, nisu jednaki zahtjevi na ERP sustav trgovačko društva koje se bavi trgovinom, ugostiteljstvom, logistikom ili proizvodnjom. U nastavku će biti detaljnije razrađena primjena ERP sustava na proizvodno trgovačka društva. Ovo su neki od ključnih razloga zbog kojih implementacija ERP sustava traje toliko dugo i iziskuje podosta financijskih resursa.

Nakon kratkog pregleda faza uvođenja ERP sustava u organizaciju potrebno je navesti prednosti i rizike uvođenja ERP sustava. Prednosti uvođenja ERP sustava prema [12] su sljedeće:

- Integracija sustava pomoću ulančavanja svih funkcionalnih područja – moguće je povezati različite odjele unutar organizacije i osigurati nesmetani tok informacija među njima.
- Mogućnost mjerenja različitih organizacijskih procesa i tokova rada – skupljanjem različitih podataka iz poslovnih procesa i njihovom obradom moguće je pratiti procese na višem nivou.
- Sposobnost brzog i efektivnog prenošenja informacija među različitim odjelima – digitalna komunikacija omogućava nesmetani tok informacija.
- Poboljšana učinkovitost, izvedivost i razine produktivnosti – zahvaljujući optimizaciji poslovnih procesa povećava se ukupna efikasnost i produktivnost organizacije
- Unaprijedeno praćenje i prognoziranje – napredne mogućnosti ERP sustava omogućavaju korištenje različitih prognoza potreba na temelju postojećeg seta podataka.
- Unaprjeđenje korisničkih usluga i samog zadovoljstva korisnika – krajnji cilj je poboljšanje zadovoljstva i kvalitete korisničkih usluga.

Uvođenje ERP sustava donosi i brojne rizike. Prema [12], potencijalni rizici su:

- Odabir pogrešnog ERP sustava - "Stupanj dobrote" (eng. *Goodness of Fit*) - ne postoji ERP sustav koji će odgovarati za sve grane industrije. Problem skalabilnosti, odnosno sposobnost sustava da raste. Treba imati u vidu potencijalna širenja organizacije u budućnosti i mogućnosti sustava da ih prati.
- Odabir pogrešnog konzultanta - uobičajeno se koristi treća stranka. Potrebno je biti temeljit kod intervjuiranja potencijalnih konzultanata kako bi se odabrali oni optimalni. Važno je i uspostaviti eksplicitna očekivanja.
- Tempo provedbe - "Veliki prasak" (eng. *Big Bang*) – je termin za prebacivanje operacija s postojećih, naslijeđenih sustava u ERP odjednom u punom opsegu. Postoji i postupan tempo provedbe (eng. *Phased-In*) - nezavisne ERP jedinice instalirane su tijekom vremena, asimilirane i integrirane postupno kako se ERP rješenje razvija.

- Suprotstavljanje promjenama u poslovnom okruženju – Vrlo je česta pojava korisničkog oklijevanja i inertnosti zbog čovjekove prirodne odbojnosti prema promjeni stanja stvari, stoga je potrebna podrška višeg menadžmenta kako bi se na jednostavniji i bezbolniji način uvele potrebne promjene.
- Troškovi i prekoračenje troškova - česta područja visokih troškova: obuka zaposlenika, testiranje i integracija, konverzija baze podataka.
- Poremećaji u poslovanju (operacijama) - Implementacija ERP uključuje proces reinženjeringa poslovnih procesa - očekuju se promjene u poslovanju i izvođenju operacija.

Najveći trošak kod implementacije ERP sustava je svakako ukupan financijski trošak početnog ulaganja. U tablici 2. popisani svi glavni troškovi i njihovi relativni udjeli u ukupnom trošku investicije.

Tablica 2. Struktura troškova uvođenja ERP sustava [12]

Kategorija	Prosječni trošak (%)	Raspon troškova (%)
Konzultacije	30	20 - 60
Sklopovlje / infrastruktura	25	0 - 50
Implementacijski tim	15	5 – 20
Uvježbavanja	15	10 – 20
Softver	15	10 - 20

U prethodnoj tablici može se vidjeti kako najveći dio troškova otpada na angažman vanjskih konzultanata. Zbog smanjenja troškova često se događa da organizacije ne uzimaju konzultante već sama vrše analizu i procjenu ERP sustava dostupnih na tržištu, te sama pregovaraju s poduzećima koja ista nude. Nakon prihvatanja određenog ERP sustava organizacije se konzultiraju s proizvođačima ERP sustava tijekom kompletnog procesa implementacije. Time se bitno može smanjiti trošak treće strane (konzultantskog poduzeća).

To može biti dvosjekli mač, ovisno o sposobnosti i znanjima zaposlenika zaduženih za uvođenje ERP-a. Ovisno o tome sam proces može biti manje ili više mukotrpan, međutim važno je napomenuti kako ni samo angažiranje konzultanata ne jamči bezbolnu implementaciju ERP sustava. Prema [12], gruba procjena ukupnih troškova kreće se u rasponu od 1 – 5 % ukupnih godišnjih prihoda.

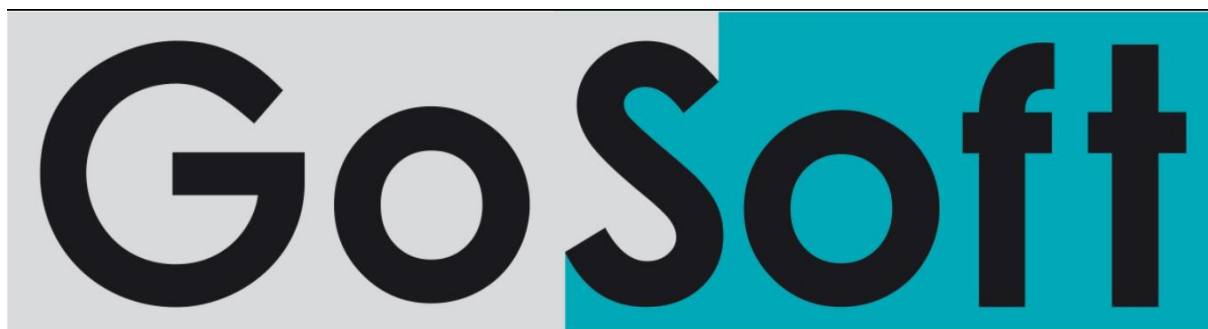
Prema [12], novi trendovi koji vladaju u industriji razvoja ERP sustava su:

- web bazirani ERP sustavi
- agilni, ‘prilagodljivi’ i lako nadograđivi sustavi
- neka područja poslovanja će se oslanjati na visoko automatizirane i predvidive analitičke modele
- dostupnost kroz mobilne i društvene kanale
- potporna infrastruktura u oblaku

3.5. Prikaz ERP sustava u praksi

U nastavku je ukratko opisan jedan od ERP sustava. Ovaj ERP sustav je temeljna platforma za vertikalnu integraciju u pametnoj tvornici koja je obrađena u ovom radu. Riječ je o sustavu imena GoSoft trgovačkog društva GOinfoZG. GoSoft je ERP sustav specijaliziran za proizvodnu i drvenu industriju, stoga je u ovim sektorima i najprimjenjiviji.

Programski paket GoSoft pokriva sve glavne funkcije proizvodnog poduzeća ili javne ustanove. Temelji se na interaktivnom unosu podataka i povezanosti svih funkcija u jedinstveni informacijski sustav. Radi na svim popularnim operativnim sistemima i lokalnim mrežama za osobna računala.



Slika 15. GoSoft logo [14]

GoSoft je klasična client / server aplikacija. Baza podataka koja se koristi je Sybase, a razvojni alat za klijent je Power Builder. Za WEB aplikacije korištena je PHP tehnologija. Na serveru može biti instaliran operacijski sistem Windows ili Linux, dok klijent zahtjeva Windows okruženje (Windows XP ili noviju verziju). WEB klijent radi na bilo kojem web pregledniku [14].

Većina funkcionalnosti radi u klasičnoj client aplikaciji, a prema [14] to su:

- materijalno poslovanje pregledi - zalihe

- nabava / prodaja
- tehničko tehnološki podaci
- kontrola kvalitete
- planiranje materijalnih potreba
- praćenje proizvodnih kapaciteta i izvršenog rada
- održavanje strojeva i opreme
- financijsko računovodstvo i osnovna sredstva
- obračun plaća i kadrovska evidencija
- analize podataka

Neke posebne funkcije projektirane su za WEB sučelje prema [14] su:

- DMS – sustav za praćenje i upravljanje dokumentacijom
- CRP – modul za kvalitetnije planiranje proizvodnih resursa
- MES – sustav za prihvata podataka direktno iz NC i CNC strojeva
- Upravljanje projektima
- Portali
- Interno naručivanje (bolnice)
- Sistem javnih narudžbi
- Evidencija uporabe radne odjeće
- Portal potpora za interni restoran
- Evidencija prisutnosti

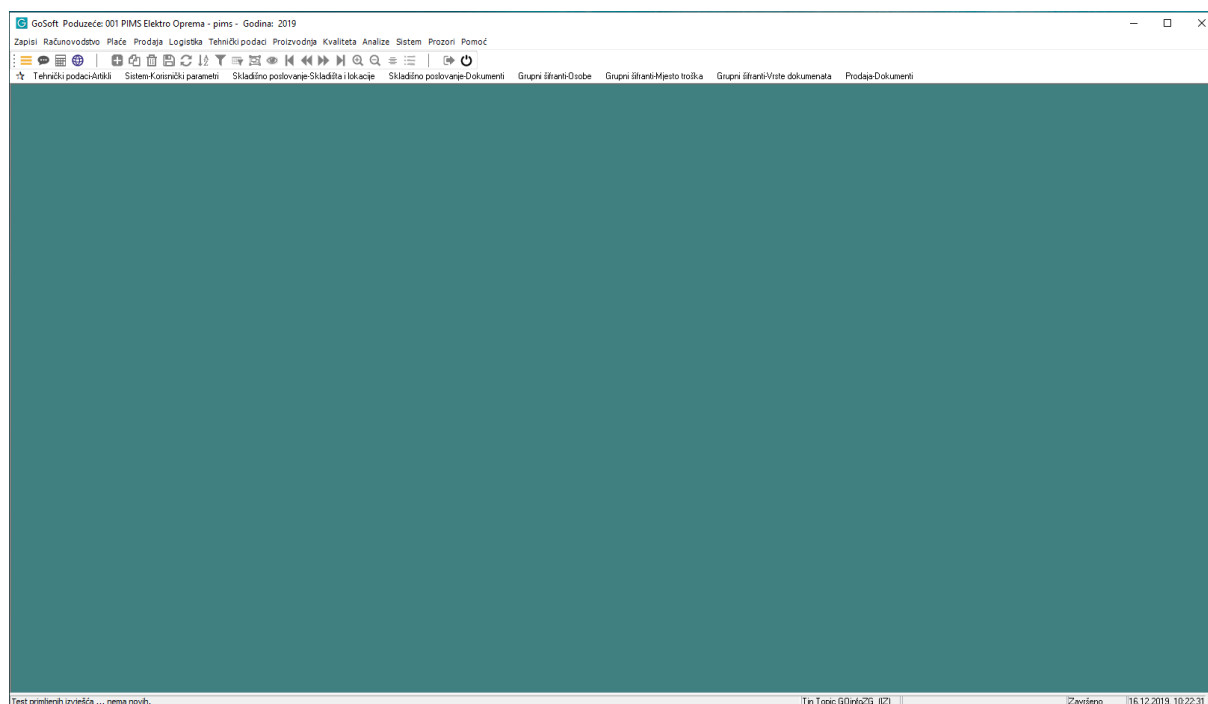
GoSoft je razumljiv sistem planiranja proizvodnih resursa. Daje pregled nad zalihama i proizvodnjom u integriranom paketu. Drugim riječima ovo je sustav koji pomaže menadžmentu planirati i voditi cijeli proizvodni proces, od početnog naručivanja sirovina, preko izrade do gotovog proizvoda, pripremljenog za otpremu. GoSoft pomaže poduzeću povećati produktivnost i smanjiti protočna vremena i troškove u proizvodnji sljedećim funkcijama [14]:

- izrada i održavanje sveukupnog plana djelovanja s integriranim nadzorom nad zalihama i proizvodnjom
- optimalizacija izrade radnih sredstava i radne sile pomoću nadzora nad resursima i brzim odazivom, kada je potrebno novo terminiranje

- usklađivanje potreba između proizvodnih troškova i zadovoljnog kupca s upotrebom učinkovitih tehnika planiranja materijala i proizvodnje, te mjerenje učinka
- smanjenje troškova za kupljene materijale i poboljšanje kvalitete usluga dobavljača i uspostave kvalitetnog nadzora nabave
- potpora dinamičnom rukovodstvenom okolišu s brzim dostupom do informacija o zalihama i stanju proizvodnje
- zaprimanje narudžbi od kupaca, pregled realizacije prodajnog plana i ostalih komercijalnih funkcija
- omogućava sve standardne računovodstvene i financijske postupke
- vođenje kadrovske evidencije i obračuna osobnog dohotka sa svim propisanim zakonskim izvještajima

Navedene značajke prikazuju kako se razvoj GoSofta okreće i ostalim sektorima (zdravstveni) međutim i dalje primarni razvoj ostaje na proizvodnim poduzećima. Zbog zavidne kvalitete i intuitivnosti sustava, GoSoft su prepoznala poduzeća na tržištima Hrvatske, Slovenije, BiH i Srbije kao ERP sustav koji je vrlo prilagodljiv i primjenjiv na razna poduzeća. Neki od značajnijih korisnika GoSofta su [14]: Ancona grupa, Armirač Inženjering d.o.o., AZ Crobus d.o.o., Cinčaona Helena, Dekor d.o.o., DIV d.o.o., DOK-ING d.o.o., KM Alati / KM Kovnica d.o.o., Končar – Kućanski aparati d.o.o., Končar – niskonaponske sklopke i prekidači d.o.o., Oprema-uređaji d.d., Strojopromet d.o.o., Ziegler, i mnogi drugi.

Osnovni moduli koji su neizostavni dio GoSofta: prodaja, logistika (koja se sastoji od nabave i skladišnog poslovanja), tehnički podaci o artiklima, tehnologijama i radnim mjestima proizvodnja, kontrola kvalitete te razne analize koje prikazuju promete roba po skladištima, prodaju pojedinih artikala, troškove proizvodnje, troškove nabave i mnoge druge analize na temelju prikupljenih i spremljenih podataka unutar baze podataka koji mogu biti iskorišteni kao potpora donošenju pravovremenih i ispravnih poslovnih odluka. Na slici 16. nalazi se osnovni prozor programa GoSoft.



Slika 16. Osnovni prozor programa GoSoft

Osnovni element GoSofta je artikl. Na slici 17. prikazan je osnovni prozor artikla. Na ovom prozoru moguće je svakom artiklu dodijeliti njegove karakteristike i svojstva. Svakom artiklu potrebno je dodijeliti šifru, osnovni naziv, upravljački centar, status, jedinicu mjere te tip artikla. Upravljačkim centrom definira se ključno obilježje artikla, tj. Pripada li on nabavi, prodaji, proizvodnji. Jedinicom mjere definira se količinska jedinica mjere (npr. komad, kilogram, metar, itd.). Statusom artikla definira se je li artikl aktivan (koristi li se trenutno), je li u razvoju ili je li neaktivan. Ostali podaci su opcionalni i dodaju se po potrebi. Ovisno o vrsti artikla potrebno je ispuniti i ostale kartice na kojima su dodatni parametri. Oni mogu biti podaci o prodaji (kupci, minimalne količine,...), nabavi (dobavljači, proizvođači,...), proizvodnji, strukturi, tehnologiji, crtežima itd.

Uz definiranu strukturu artikla vrlo je bitno, kod proizvodnog artikla, definirati i tehnologiju proizvodnje, odnosno sve tehnološke operacije koje su potrebne kako bi se proizvod izradio. Prije definiranja tehnologija izrade potrebno je u bazu podataka unijeti sve tehnološke operacije kojima se proizvodno poduzeće koristi sa svim vremenima pripreme, izrade, te informacijama o broju radnika i/ili strojeva te udjelom škartnih komada. Nakon definiranih tehnoloških operacija potrebno je definirati radna mjesta na kojima se one izvode. Na svako radno mjesto (npr. tokarilice, glodalice, bušilice, lijevanje,...) pridodana je određena tehnološka operacija. Radna mjesta se također sastoje od količine i vrste strojeva, odnosno radnika koji mu pripadaju.

Definiranjem strukture i tehnologije artikla, odnosno standardnih tehnoloških operacija i radnih mjesta završen je prvi korak upravljanja proizvodnjom koji dozvoljava proizvodnju naručenog proizvodnog artikla.

Slika 17. Prozor za dodavanje novih i korekciju postojećih artikla

Nakon kreiranja artikala moguće je provoditi osnovni proizvodni proces. Osnovni proizvodni proces unutar GoSofta koncipiran je tako da se transakcije materijala, poluproizvoda i proizvoda obavljaju dokumentima, kojima se onda knjiže i raspisuju sa stanja zaliha odabranih artikala. Najvažniji dokumenti potrebni za planiranje i upravljanje proizvodnjom nalaze se unutar modula prodaje i logistike. U sljedećem odlomku bit će raspisan proces upravljanja proizvodnjom GoSoftom.

Upravljanje proizvodnjom u trenutku kada odjel prodaje zaprimi narudžbu kupca odnosno unese podatke u dokument pod najčešćim nazivom „Potvrda narudžbe“. Svako poduzeće može ovaj dokument drugačije nazvati tj. standardni naziv dokumenta podložen je promjenama i izmjenama naziva. Potvrda narudžbe može biti stvorena iz ponude međutim to nije obavezno. Ispunjavanjem potvrde narudžbe službeno postoji zahtjev za isporukom željenog proizvoda. Vrlo često se gotovi proizvodi sastoje od poluproizvoda i sirovina koje se nabavljaju od dobavljača. Sastavnica prodajnog artikla definira se unutar kartice „Tehnički podaci“ na prozoru s podacima o artiklu gdje je definiran svaki artikl u bazi s potrebnim količinama poluproizvoda i sirovina od kojih se sastoji.

Drugi korak upravljanja proizvodnjom predstavlja „Preplaniranje“ proizvodnje. Preplaniranje je obrada koja razbija strukturu prodajnog artikla i analizira svaki dio od kojeg se ovaj sastoji kako bi se u proizvodnji kreirali radni nalozi za dijelove koje je potrebno proizvesti, odnosno kako bi se kreirale narudžbenice u nabavi za sve dijelove koje je potrebno nabaviti. Po završetku preplaniranja kreiraju se radni nalozi u proizvodnji. Temeljem dostavnog roka za svaki nabavni artikl program samostalno odlučuje u kojem trenutku treba naručiti pojedini artikl kako bi proizvodnja proizvodnog artikla završila u trenutku kada gotov proizvod mora biti dostavljen kupcu. Što se tiče radnih naloga u proizvodnji koji se kreiraju preplaniranjem, ovdje dolazi do veće kompleksnosti procesa. Naime, postoji pet osnovnih statusa proizvodnih radnih naloga koji se koriste unutar modula proizvodnje u GoSoftu, a to su: PF, PL, LN, LA i KO.

The screenshot displays the GoSoft software interface for creating a production order document. The window title is "<Novi zapis> P04 19/00364 (Narudžba proizv. OSTALI)". The interface is divided into several sections:

- Document Header:** Includes fields for "Narudžba proizv. C" (19/00001), "Datum dokumenta" (01.12.2019.), "Opis" (Slobodan), "Datum odpreme", "Koment.gornji", "Koment.donji", "Partner", "Primatelj", "Plaćanje", "Cjenik" (84 Bruto prodajna kalk), "Dana za plać:", "Rok plaćanja", "Valuta" (EUR), "Tečaj" (1,955830), "Za" (1), "Tip PDV", "Doprema", "Mjesto dopr.", "Žiro", "Poziv", and "Obračun PDV po plaćanju".
- Table:** A table with columns: Br. Artikl, Naziv artikla, Količina JM, K€, P.Cij., Projekt, Tarifa, % Tip PDV, Dat.dopren, Popust, Neto vrijedn., and Pore. The first row shows "1 000000001 Novi artikl" with a quantity of 1,000 kg, a price of 0,00, and a net value of 0,00.
- Summary:** A summary row at the bottom of the table showing a total quantity of 1,000, a total price of 0,00, and a total net value of 0,00.
- Buttons:** Buttons for "Briši stavku", "Obrade", "Upiši", and "Prekini" are located at the bottom of the window.

Slika 18. Primjer dokumenta u GoSoftu

PF radni nalozi su radni nalozi koji su nastali ručnim kreiranjem, odnosno nisu nastali obradom preplaniranja. PL radni nalozi nastali su kroz akciju preplaniranja i samo se u tome razlikuju od radnih naloga statusa PF. Oba radna naloga su planski nalozi, što znači da bi se oni trebali proizvoditi, međutim još nisu aktivni. Nakon što se pokrene obrada za lansiranje radnog naloga, status naloga će se promijeniti u LN što znači da je radni nalog lansiran. Osoba koja je odgovorna za lansiranje radnog naloga je najčešće tehnolog ili voditelj proizvodnje, a značajka ovog statusa je da će se po ovom radnom nalogu započeti raditi u skorom vremenu. Uobičajeno je da se

proizvodni radni nalozi sastoje se od potreba odnosno materijala koji je potreban za izvođenje rada, i tehnologija odnosno tehnoloških operacija kojima se materijal obrađuje i sastavlja u konačni proizvod. Prilikom knjiženja izlaska potreba sa skladišta u proizvodnju radni nalog statusa LN automatski prelazi u status LA – lansiran aktivan, što znači da se po njemu počelo raditi. Potrebe se sa skladišta izdaju u proizvodnju pomoću dokumenta „izdatnice“. Nakon lansiranja potreba potrebno je knjižiti rad strojeva/radnika na tehnološkim operacijama. Rad se knjiži unosom zapisa količina, potrebnog vremena rada i zapisa o stroju ili radniku. Kada su knjiženje sve potrebne količine na određenoj operaciji ona se automatski završava. Isti postupak se ponavlja onoliko puta koliko operacija postoji. Po završetku zadnje operacije u proizvodnji je nastao traženi gotov proizvod u zadanim količinama. Za kraj proizvodnog procesa potrebno ga je predati na određeno skladište. Gotovi proizvod predaje se na skladište dokumentom „predatnicom“ kojom proizvodni radni nalog automatski prelazi u status KO – končan, odnosno završen. Ovim dokumentom proizvod je službeno izašao iz odjela proizvodnje i oslobođeni su proizvodni kapaciteti za daljnje potrebe. Po ulasku na skladište potrebno je kreirati „otpremnicu“ kako bi se gotovi proizvod mogao rasknjižiti sa zaliha tog skladišta i otpremiti kupcu. Po uzoru na otpremnicu završni korak ovog proces je kreiranje „računa“ unutar modula prodaje te je ovime proces planiranja, praćenja i upravljanja proizvodnim procesom unutar GoSofta završen. Ovo je opći proces proizvodnje i knjiženja. Svako poduzeće ovaj proces može prilagoditi svojim potrebama pa postoji mogućnost odstupanja od procesa.

3.6. Prednosti i nedostaci digitalizacije i uvođenja ERP sustava

Nakon što je objašnjen pojam ERP sustava i digitalizacije, navest će se razlozi za uvođenje te prednosti i nedostaci. Kao što je već navedeno, digitalizacija se odnosi na pretvorbu analognog u digitalno. Tijekom razdoblja korištenja analognih procesa, proizvodni procesi su se pratili pomoću papira i olovke, a količina podataka koja se tako mogla dobiti bila je relativno mala. U konačnici to je značilo manju količinu kvalitetnih informacija na kojima su se mogle provoditi analize temeljem kojih su se donosile odluke. Drugim riječima, brojne odluke u procesu planiranja u upravljanju proizvodnim procesima bile su oslonjene na iskustvene podatke te znanje i iskustvo zaposlenika. Zahvaljujući razvoju digitalnih tehnologija (prije svega razvojem ERP sustava) omogućen je potpuno nov način planiranja i upravljanja proizvodnim procesima. Prikupljeni podaci pohranjuju se u računalnu bazu podataka i dostupni su u svakom trenutku, a pretraživanje podataka je značajno ubrzano. ERP sustav omogućava prikupljanje podataka pomoću raznovrsnih senzora koji u svakome trenutke prate određeni dio procesa i tako je omogućeno prikupljanje izuzetno velikog broja različitih podataka. Različitost prikupljenih podataka ima potencijal pružiti

širu sliku o pojedinom elementu proizvodnog procesa (npr. stroju ili radniku), odnosno o cijelom procesu. Uvođenjem digitalizacije više nema potrebe za gomilanjem registratora papira, već je moguće prikupiti veću količinu uz daleko manje truda. Prikupljeni podaci skladište se u bazu podataka na temelju čime se dolazi do nove prednosti digitalizacije, a to je brza obrada podataka. Obrada podataka prikupljenih na papirima je nerijetko mukotrpna i uzima mnogo vremena kako bi se izvukle korisne informacije, te prenijelo znanje. Računalna obrada podataka postala je neizostavan element pri provođenju analiza podataka zbog toga što računala danas imaju daleko veću brzinu i kapacitet obrade podataka od čovjeka. Tijekom vremena razvijeni su različiti alati za obradu različitih vrsta podataka što dodatno olakšava problem upravljanja i praćenja procesa.

Uvođenje digitalizacije u proizvodnju ima višestruke koristi. Uz prethodno spomenuto jednostavnije i efektivnije planiranje i upravljanje proizvodnjom, digitalizacija je značajno olakšala određivanje modela održavanja strojeva kao elemenata proizvodnog sustava. Digitalizirani proizvodni proces omogućava primjenu prediktivnog održavanja. Prediktivno održavanje na temelju prikupljenog seta relevantnih podataka kreira model održavanja i procjenjuje životni vijek svakog dijela stroja. Samim time moguće je jednostavnije procijeniti planiranje zastoja radi izmjene istrošenih dijelova, smanjiti škartne proizvode, preciznije kapacitirati proizvodnju i regulirati troškove održavanja. Primjenom prediktivnog održavanja smanjuje se potreba za korektivnim održavanjem koje nastaje zbog neplanirane istrošenosti nekog dijela. Izostanak korektivnog održavanja smanjuje vrijeme tijekom kojeg su strojevi i zaposlenici „izvan pogona“, a to dovodi do smanjenja troškova.

Digitalizacijom proizvodnog procesa mijenja se vrsta i obujam poslova zaposlenika. Budući da više nema ručnog prikupljanja podataka i njihove obrade, inženjeri imaju više vremena koncentrirati se na ostale aspekte posla, kao što su istraživanje i razvoj, povećanje efikasnosti opreme, povećanje proizvodnih kapaciteta te optimizacija proizvodnih procesa. Upotrebom digitalnih tehnologija značajno je povećana stopa reaktivnosti zaposlenika. Drugim riječima, moguće je primati podatke o stanju nekog procesa u stvarnom vremenu što znači da reakcija na neke neuobičajene i nelogične vrijednosti podataka može biti trenutačna. Ovakva pristup nije moguć prikupljaju li se podaci ručno. Čak i slučaju prikupljanja bitnih podataka, gubi se vrijeme na obradi istih. U nuklearnim postrojenjima se pomno prate svi ključni parametri, jer u slučaju nekih abnormalnosti potencijalne posljedice mogu biti katastrofalne za postrojenje, zaposlenike i okruženje. Dodatne prednosti uvođenja digitalizacije su brže i kvalitetnije prikupljanje podataka i njihova obrada, mogućnosti korištenja novih metoda održavanja proizvodne opreme, olakšano planiranje i upravljanje proizvodnim procesima te promijenjen opseg posla zaposlenika.

Uz sve navedene prednosti postoje i neki nedostaci. Glavni nedostatak je sama cijena investicije. Početna cijena investicije nerijetko je vrlo visoka, jer je potrebno nabaviti opremu za prikupljanje podataka (primjerice senzori, aktuatori), zatim je potrebno nabaviti softversko rješenje za skladištenje i obradu podataka (troškovi vezani za uvođenje ERP-a su već navedeni). Međutim, bez obzira na visoka početna ulaganja mnoga proizvodna trgovačka društva ulažu u digitalizaciju svoje proizvodnje jer donosi dugoročne benefite. Financijske koristi od digitalizacije su indirektne. Primjer za to je potencijalno ugovaranje proizvodnje veće količine proizvoda jer je, korištenjem digitalnog upravljanja proizvodnjom, povećan kapacitet proizvodnje. Idući nedostatak je ljudska odbojnost prema promjenama. Ovdje je glavna uloga na menadžmentu trgovačkog društva da pripremi zaposlenike, educira ih o željenim promjenama i novom načinu rada te objasni sve benefite uvođenja novog sustava. Velika količina truda potrebna je za uključivanje zaposlenika u digitalnu transformaciju proizvodnje kako bi bili u stanju koristiti sve njene prednosti u budućnosti.

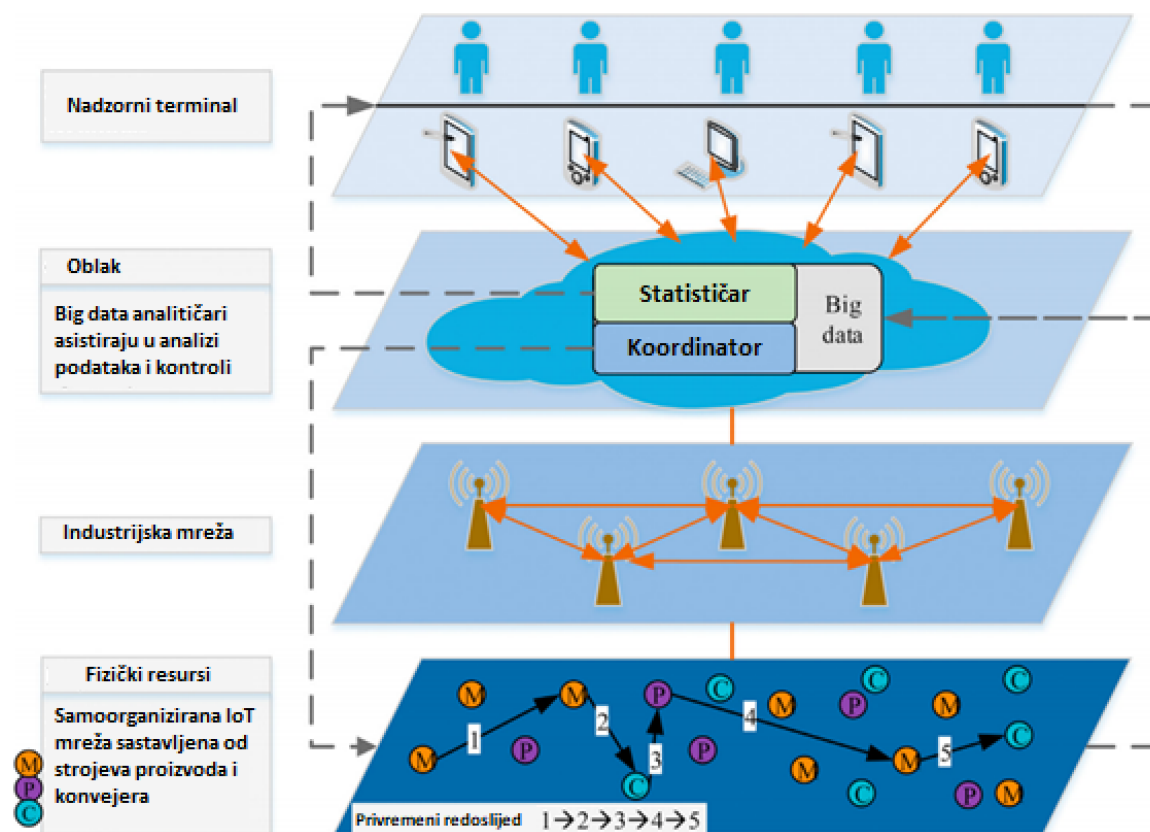
Na kraju ovog poglavlja bit će nekoliko riječi o promjenama u ERP sustavima. Kako se industrija mijenja ovisno o novim tehnologijama tako je i na ERP sustavima zadatak da se prilagode Industriji 4.0. To se u prvom redu događa svakodnevnim unaprjeđenjima softvera i stvaranjem novih mogućnosti. U prošlosti su ERP sustavi bili korišteni samo kao baze podataka u koje čovjek unosi razne vrijednosti. Danas je situacija drugačija i ERP sustavi aktivno komuniciraju ne samo sa zaposlenicima već i sa samim strojevima. Drugima riječima, smjer toka informacija više nije samo u jednom smjeru odnosno ERP na temelju dobivenih podataka stvara nove informacije koje vraća zaposlenicima ili strojevima. To se odnosi na informacije vezane uz planiranje proizvodnje, planiranje održavanja i slično. Softver postaje „pametn“ i na temelju unaprijed zadanog algoritma upravlja proizvodnim procesima. Ovakve nove sustave s pravom možemo nazvati ERP 4.0.

4. PAMETNA TVORNICA I VERTIKALNA INTEGRACIJA

4.1. Općenito o pametnoj tvornici

Primjena automatizacije informacijskih sustava, ERP-a (eng. *Enterprise resource planning - ERP*) i proizvodnih izvršnih sustava (eng. *Manufacturing execution system - MES*) značajno se povećava produktivnost. Međutim, trenutna industrijska proizvodnja suočena je s mnogim izazovima. Krajnji korisnici kontinuirano zahtijevaju visoko individualizirane i napredne proizvode u malim serijama. Međutim, utjecaj industrijske proizvodnje na okoliš u smislu globalnog klimatskog zagrijavanja i onečišćenja okoliša je ozbiljan. Potrošnja neobnovljivih izvora poput nafte i ugljena povećava se, a industrija trpi sve veću nestašicu radne snage zbog starenja stanovništva. Stoga industrijski procesi trebaju postići visoku fleksibilnost i učinkovitost, te nisku potrošnju energije. Već su predložene mnoge napredne proizvodne sheme kojima je cilj prevladati nedostatke trenutnih proizvodnih linija kao što su fleksibilni proizvodni sustav (eng. *Flexible manufacturing system - FMS*) i okretni proizvodni sustav (eng. *Agile manufacturing system - AMS*). Pametna tvornica je proizvodni cyber-fizički sustav koji integrira stvarne, fizičke objekte poput strojeva, transportera i proizvoda poput MES-a i ERP-a za implementaciju fleksibilne i prilagodljive proizvodnje [15].

Na slici 19. prikazana je struktura pametne tvornice koja se sastoji od četiri različita sloja. Ti slojevi su: fizički sloj, sloj industrijske mreže, sloj informacija u oblaku i nadzorni terminalni sloj. Fizički resursi implementirani su kao pametne stvari koje međusobno komuniciraju putem industrijske mreže. Integrirani informacijski sustav spremljen je u oblaku koji skuplja velike količine podatka s fizičkog sloja odnosno resursa i komunicira s ljudima putem nadzornih terminala. Dakle, opipljivi okvir omogućava umreženom svijetu da nematerijalne informacije slobodno teku [15].



Slika 19. Struktura pametne tvornice [15]

Iz inženjerske perspektive, pametna tvornica može se promatrati kao dvostruki sustav zatvorene petlje, kao što je prikazano na slici 19. Jedna petlja sastoji se od fizičkih resursa i oblaka, dok se druga petlja sastoji od nadzornih upravljačkih terminala i oblaka. Svaki pametni uređaj sa slike je autonoman i povezan. Izraz autonomno znači da pametni uređaj sam donosi odluke i da nijedan drugi element sustava ne može izravno kontrolirati njegovo ponašanje. Izraz povezan znači da pametni uređaji razumiju i dijele skup znanja i pregovaraju prema zajedničkom skupu pravila. Stoga grupa pametnih uređaja može dati visoko fleksibilan proizvodni sustav, tj. rekonfiguriran sustav koji se čini humanoidnim ili pametnim [15].

Kroz suradnju pametni uređaji pokušavaju uskladiti svoje ponašanje kako bi sustav težio određenom cilju. Međutim, performanse sustava općenito nisu optimalne. To je zato što pametni objekti donose odluke na temelju lokalnih informacija. Tako, na primjer, što se tiče proizvodnje, opterećenje možda nije uravnoteženo, učinkovitost možda nije najveća ili se mogu pojaviti zastoji. Jedan od velikih blokova za analizu podataka (koordinator) može riješiti ovo pitanje. Pametni strojevi razmjenjuju podatke o stanju i obrađuju informacije u blok, a distribuirani senzori prenose svoje osjetilne podatke u blok. Stoga se globalno stanje

pametne tvornice može izvući iz ogromnih informacija sustava u stvarnom vremenu. Temeljem snažne računalne sposobnosti, blok obrađuje veliku količinu podataka na vrijeme kako bi koordinirao ponašanja distribuiranih pametnih objekata i da bi vratio pokazatelje performansi na samoorganiziranu mrežu. Stoga ova globalna optimizacija može pomoći autonomnim agentima da postignu bolje performanse [15].

4.2. Karakteristike Pametne tvornice

Prema [16], karakteristike Pametne tvornice su sljedeće:

- Masovno prilagođavanje: Proizvodni procesi moraju udovoljavati različitim zahtjevima kupaca. Omogućuje uključivanju pojedinaca u dizajn i omogućuje završne promjene. Moguće je imati malu količinu jedinstvenih proizvoda koji još uvijek donose zaradu. Stoga se koncept masovne prilagodbe može upotrijebiti za upravljanje nesrazmjerom između ekonomije razmjera i opsega, a sada se fokus istraživanja premješta na način poslovanja poslovnog modela u uvjete ekološke održivosti.
- Fleksibilnost: Inteligentni proizvodni procesi i sama konfiguracija moraju uzeti u obzir različite aspekte kao što su vrijeme, kvaliteta, cijena i ekološki aspekti.
- Optimizirano odlučivanje: Donošenje ispravnih odluka u svakom je trenutku ključ uspjeha na tržištu. IoT pruža krajnju transparentnost gotovo u stvarnom vremenu (primjerice status proizvodnje), omogućavajući optimizaciju na svim tvorničkim mjestima u području proizvodnje, a zatim poboljšavajući tvorničku učinkovitost. Na primjer, smanjenje otpada pružatelju odluka odluku o statusu proizvodnje u stvarnom vremenu, gdje uporaba mobilne tehnologije dovodi do skraćanja vremena između nastalih problema i donošenja efikasnih odluka. U takvim slučajevima stroj se može ugasiti prije nego što nastavi s proizvodom oštećenih proizvoda. Štoviše, transparentnost uključuje svijest o ponašanju potrošnje energije u proizvodnim procesima. Ovdje se energetske podaci mogu uzeti u obzir u odlukama o upravljanju proizvodnjom, kako bi se smanjili energetske otpad i troškovi potrošnje.
- Nove metode planiranja proizvodnje: Korištenje različitih procedura kod postupaka planiranja temeljenih na digitalnim modelima s jačom paralelizacijom s obzirom na planiranje mehaničkih i elektroničkih sustava. Nadalje, radi produktivnosti resursa i poboljšanja energetske učinkovitosti u pametnim tvornicama je potrebno omogućiti optimizaciju proizvodnih procesa na različitim razinama u stvarnom vremenu i za

svaku operaciju. Također, kada se mijenjaju cijene energenata, može se uzeti u obzir dostupnost podataka o potrošnji energije iz IoT-a kako bi se minimizirali troškovi potrošnje energije u proizvodnom planu definiranjem vremena pokretanja za obradu poslova

- Stvaranje vrijednosti iz velike količine podataka: Nova unaprjeđenja i povećanje vrijednosti mogu se osigurati analizom velikih količina prikupljenih podataka pomoću IoT uređaja. Na primjer, kod dobavljača strojeva veliki se podaci mogu upotrebljavati za razumijevanje ponašanja računala u različitim periodima. U skladu s tim, ti davatelji mogu pružiti najbolje usluge održavanja i poboljšati učinkovitost strojeva, te izgraditi snažne veze sa svojim kupcima.
- Stvaranje novih usluga: IoT (npr. Pametni uređaji i mobilne aplikacije) otvorit će nove načine stvaranja usluga i vrijednosti za kupce prije i nakon kupnje.
- Udaljeni nadzor: IoT tehnologija omogućit će uključivanje trećih strana (npr. dobavljača) u nadzor, rad i održavanje tvornica s novim uslugama.
- Automatizacija i promjena čovjekove uloge: Operacije se mogu optimizirati uz minimalnu intervenciju ljudi. To bi moglo poboljšati učinkovitost i smanjiti pogreške te trošenje energije i drugih resursa.
- Prediktivno održavanje: Nadgledanje proizvodnog sustava i prikupljanje podataka o performansama u stvarnom vremenu pozitivno utječu na poboljšanje prediktivnog održavanja. Na primjer, pomoću senzora za nadziranje temperature, mogu se poduzeti preventivne radnje ako temperature izađu izvan normalnih granica i spriječiti kvar. Uz to, mogu se poduzeti i preventivne akcije kada je potrošnja energije tijekom nekog vremena skočila iznad normalne razine. Tako ćete uštedjeti energiju, smanjiti otpad od oštećenih proizvoda i izbjeći kvar uređaja.
- Povezan lanac opskrbe: IoT će pomoći proizvođačima da bolje razumiju informacije o lancu opskrbe koje se mogu isporučiti u stvarnom vremenu. Spajanjem strojeva i opreme na dobavljačevu mrežu, sve strane mogu razumjeti međuovisnosti, protok materijala i vremena izrade.

4.3. Vertikalna integracija

Vertikalnu integraciju moguće je definirati na različite načine ovisno o području znanosti kojem govorimo. U okviru strojarstva i Industrije 4.0 vertikalna integracija se odnosi proces

integracije ICT-a (eng. *Information and Communications Technology*) kako bi se omogućio zajednički razvoj proizvoda, upravljanje proizvodnjom i sama proizvodnja. Integracija i optimizacija vlastitih procesa su dva glavna mehanizma koja se koriste u industrijskoj organizaciji. Prema [17], Industrija 4.0 u osnovi je naznačena s tri dimenzije integracije:

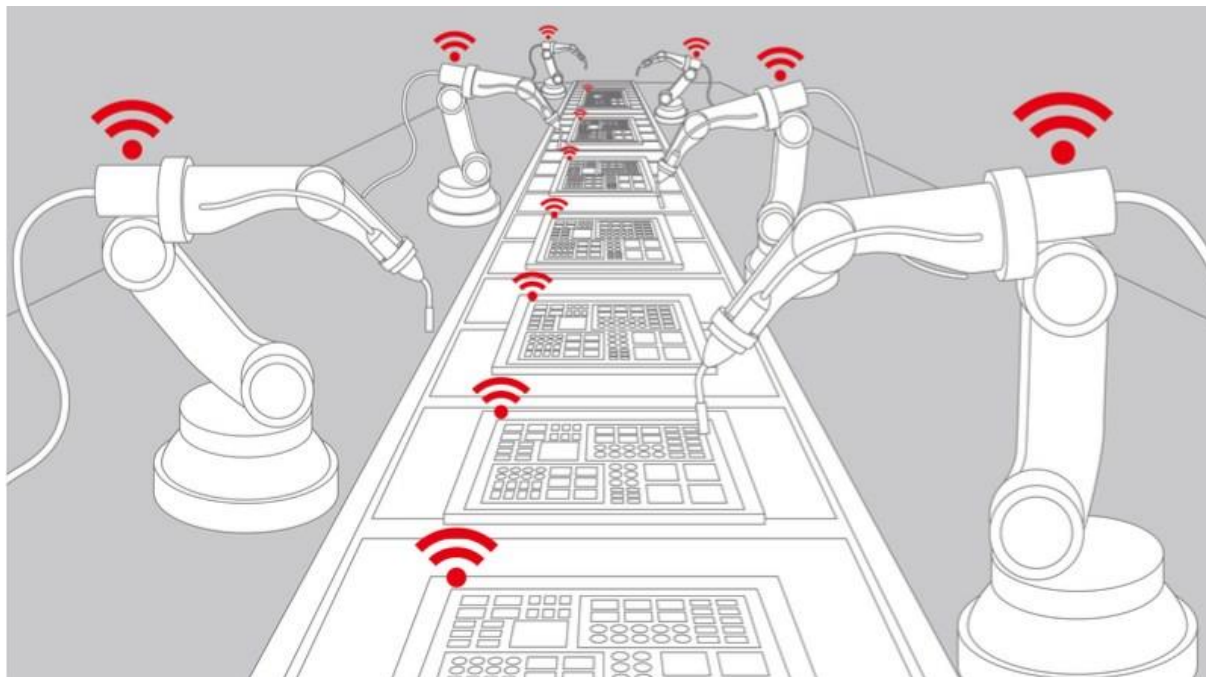
- a. horizontalna integracija kroz cjelokupnu mrežu stvaranja vrijednosti,
- b. vertikalna integracija i umreženi proizvodni sustavi
- c. cjelokupan inženjering kroz cijeli životni ciklus proizvoda

Potpuna digitalna integracija i automatizacija proizvodnih procesa u vertikalnoj i horizontalnoj dimenziji podrazumijeva i automatizaciju komunikacije i suradnje, posebno uz standardizirane procese.

Kao što je već navedeno, pametna tvornica može se definirati kao umreženi globalni sustav na mikrorazini s novim proizvodnim tehnologijama, novim materijalima i sustavima za obradu i pohranu podataka. Vizija inovativnog pametnog poduzeća koje implementira Industriju 4.0 u proizvodnju može se sljedećim riječima: lean proizvodnja, agilnost, učinkovitost, korištenje nužnih informacija, fleksibilnost, jasna predviđanja. Konačan cilj je dobivanje održive proizvodnje. Kada se Industrija 4.0 promatra na razini jednog proizvodnog pogona može se uočiti umrežavanje gotovo svih elemenata, počevši od ulaznih vrata, svjetala, grijanja, ventilacije, povezivanje strojeva pa sve do složenijih sustava poput zona skladištenja. Ovakav način integracije omogućava uvid u bilo koji od segmenata tog sustava u svakom trenutku, što rezultira brzim dijagnosticiranjem grešaka i kvarova te cjelokupnim nadzorom proizvodnje. Cilj ovakvog sustava nije izbacivanje radnika iz pogona i radnog mjesta već ovaj sustav služi kao vrlo kompleksna informacijska podrška koja vodi i nadzire proizvodne djelatnosti [17].

4.3.1. Korištenje senzora za prikupljanje informacija

Vertikalna integracija i umreženi proizvodni sustavi uključuju inteligentno umrežavanje i digitalizaciju unutar različitih hijerarhijskih razina modula stvaranja vrijednosti od radnih mjesta preko proizvodnih linija i samih tvornica, također integrirajući povezane aktivnosti lanca vrijednosti poput marketinga i prodaje i razvoja tehnologije [18]. Sama srž vertikalne integracije je prijenos podataka s različitih senzora do različitih strojeva te informacijskog sustava. Komunikacija između različitih strojeva, ali i samih proizvoda daje mogućnost optimizacije. Na slici 20. prikazana je ilustracija robota koji međusobno komuniciraju na proizvodnoj traci.



Slika 20. Komunikacija u proizvodnji [19]

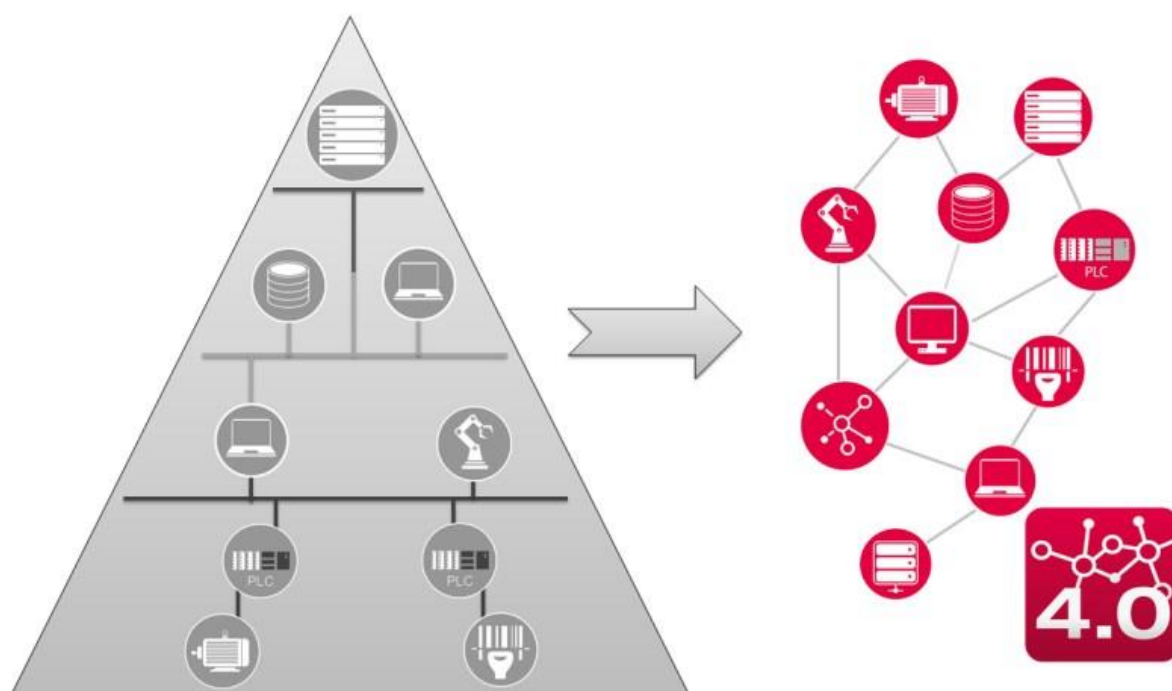
Nove poslovne ideje omogućavaju da ove informacije postanu globalno dostupne i dostupne ne samo unutar tvrtke, već i izvan okvira tvrtke i njene lokacije. Senzori su oči i uši tehnologije automatizacije i pružaju široku paletu informacija koje se tiču trenutnog stanja stroja ili sustava, što primjerice uključuje informacije o položaju, tlaku i temperaturi. Raznolikost informacija odražava ogroman broj korištenih izvora. Na kraju, fokus u slučaju Industrije 4.0 je odgovor na pitanje kako je moguće pristupiti tim podacima i informacijama iz različitih izvora, smisleno ih povezati, objediniti i učiniti dostupnima širom svijeta. S jedne strane, postoje informacije koje se generiraju na samom stroju ili na razini kontrole. S druge strane, postoje informacije kojima se treba upravljati centralno i takvim informacijama primarno upravlja ERP. Glavno pitanje ovdje je da informacije koje se moraju povezati moraju biti ne samo dostupne i dostupne unutar tvrtke ili lokacije, već se često moraju i razmjenjivati izvan granica lokacije kako bi se dobile nove informacije. Podaci u klasičnoj automatizacijskoj piramidi teku s jedne razine na drugu: senzori ili aktuatori na razini polja komuniciraju samo s upravljačem više razine. Drugim riječima kontrola stroja razmjenjuje svoje podatke s proizvodnim planom koji zauzvrat razmjenjuje podatke s ERP-om tvrtke. Ovi prijelazi sustava predstavljaju prepreku jer obično filtriraju podatke. Prevladati i funkcionalno razviti ove prepreke obično zahtjeva veliku količinu vremena i novca [19].

U većini svih proizvodnih procesa nije moguće u potpunosti implementirati elemente Industrije 4.0 jer se proizvodni procesi izvođe velikom brzinom ili se moraju poštivati točno definirani redoslijedi. Trenutno se razvijaju rješenja za determinističku komunikaciju između sudionika na terenskoj razini do ERP sustava u otvorenoj arhitekturi.

Centralno skladište svih informacija koje može izravno komunicirati s različitim izvorima formiran je paralelno s postojećim procesima prijenosa. U tu svrhu, mnoge tvrtke postavljaju "privatni oblak" ili "rubni oblak" na internom poslužitelju ili na oblaku drugih poduzeća na kojem su u početku dopuštenja za pristup u potpunosti privatna. Ako je dio informacija i modela potrebno dostaviti drugim tvrtkama, lokacijama ili oblacima, te se informacije mogu razmijeniti između različitih korisnika, uzimajući u obzir posebna odobrenja za upotrebu. Kapaciteti oblaka su skalabilni i omogućuju prikupljanje velikih količina podataka. To obuhvaća čak i podatke za koje trenutačno nije jasno mogu li se iz njih izvući druge informacije. Osnovni je cilj stoga najprije zabilježiti podatke iz velikog broja različitih izvora, objediniti te podatke i učiniti ih dostupnima. Sljedeći korak je povezivanje podataka. Tek će kasnije postati jasno mogu li se ti podaci potencijalno upotrijebiti za nove poslovne modele [19].

U prošlosti su kableske veze od točke do točke između upravljačke jedinice i odgovarajućeg senzora ili aktuatora dominirale su u industrijskoj automatizaciji. Trenutno je dominantan komunikacijski model između glavne jedinice i ostalih uređaja koji su na nižoj razini. To znači da kontrolna jedinica obično poslužuje više krajnjih uređaja putem jednog kabela linearne topologije. Upotreba novih tehnologija omogućit će prijelaz na komunikacijsku arhitekturu u obliku mreže ili u obliku zvijezda. Spajanjem automatizacijske mreže i IT mreže tvrtke bit će moguće razmjenjivati podatke između svih razina i u svim smjerovima. Da bi se povezali i, posebno, ocijenili ovi podaci, ključno je da su trenutačni ili im je dana posebna referenca vremena i imaju određenu referencu [19].

Objašnjeni princip može se vidjeti na slici 21. U prošlosti su svi uređaji bili hijerarhijski posloženi, a samim time je određeno koji uređaji mogu međusobno komunicirati. Dakle, uređaji koji nisu bili direktno povezani nisu niti mogli međusobno komunicirati. Danas je situacija drugačija jer su svi uređaji povezani u jednu mrežu, a sama upravljačka jedinica upravlja radom svih ostalih uređaja i donosi sve odluke kako bi proizvodnja mogla teći.



Slika 21. Promjena u strukturi povezivanja [19]

Razlika u odnosu na klasična rješenja je to da se koncepti IoT oslanjaju na globalno dostupne podatke. Stoga se podaci također mogu globalno umrežiti kroz sustave i granice poduzeća u svrhu tumačenja i evaluacije. Ova globalna dostupnost podataka odmah postavlja pitanje integriteta podataka. Neizbježno je prihvaćen preduvjet da se mora osigurati integritet podataka na komunikacijskim kanalima i u globalno dostupnim sustavima. Buduća provjera autentičnosti odvijat će se pomoću certifikata [19].

Inteligentno umrežavanje i digitalizacija obuhvaća primjenu cjelovitog rješenja koristeći informacijske i komunikacijske tehnologije koje su ugrađene u oblak, odnosno povezane ERP sustavom. U proizvodnom sustavu, inteligentno umrežavanje ostvaruje se primjenom takozvanih cyber-fizičkih sustava, CPS koji djeluju na samoorganizirani i decentralizirani način. Temelje se na ugrađenim mehatronskim komponentama, tj. primijenjenim senzorskim sustavima za prikupljanje podataka kao i aktuatorskim sustavima za utjecaj na fizičke procese. CPS su inteligentno međusobno povezani jedni s drugima i kontinuirano izmjenjuju podatke putem virtualnih mreža poput oblaka u stvarnom vremenu. Sam oblak implementiran je u internet stvari. Budući da je dio sociotehnološkog sustava, CPS koristi sučelja stroja za interakciju s operaterima. Vertikalna integracija i umreženi proizvodni sustavi iz mikro perspektive opisuju inteligentno umrežavanje svih elemenata proizvodnog procesa:

proizvoda, opreme i čovjeka, uz različite razine agregacije modula za stvaranje vrijednosti od proizvodnih stanica preko proizvodnih ćelija i proizvodnih linija do pametne tvornice [18].

Industrija 4.0 istražuje i opsežnu automatiziranu razmjenu informacija između proizvodnih i poslovnih procesa. Da bi se to postiglo, nužna je povezanost koja osigurava globalnu upotrebljivost i dosljednost sustava.

Vertikalna integracija ima za cilj prikupljanje podataka iz proizvodnog procesa i njihovo pretvaranje u vrijedne informacije različitim korisnicima. Da bi se zabilježili procesni podaci radi dobivanja vrijednih informacija, moraju se dati tri odgovora: oni koji se odnose na korisnika, odnosno koji podaci (veličine, mjerne jedinice, raspon), gdje se ti podaci prikupljaju u pogonu (na koji se postupak odnose) i kako te podatke treba prikupiti (sinkronizirano, asinkrono itd.). S druge strane, s gledišta implementacije, također su potrebna sredstva za opis postrojenja (gdje), opisivanje podataka koje treba dobiti (što) i definiranje mehanizma prikupljanja (kako). Kako bi se zadovoljili i zahtjevi korisnika, i implementacija, postoje metode, tehnike i tehnologije koji su dobro rašireni i konsolidirani u industriji te se mogu koristiti za ispunjavanje izazova kod implementacije [20].

4.3.2. Standardizacija sustava

Vizija Industrije 4.0 opisuje realizaciju IoT-a u kontekstu tvornice kako bi se ostvarila znatno veća fleksibilnost i prilagodljivost proizvodnih sustava. U međuvremenu, vođeni politikom i istraživanjem, većina dobavljača tehnologije automatizacije u Njemačkoj prepoznala je potencijale Industrije 4.0 i ponudila prva rješenja. Međutim, različita poduzeća su ponudila različita rješenja. Kako bi Industrija 4.0 uspjela, ove različite pristupe moraju zamijeniti otvorena i standardizirana rješenja. Prema [21], predložen je koncept SmartFactory koji predstavlja prvi sustav višestrukog dobavljača i vrlo modularan proizvodni sustav kao referentni uzorak za Industriju 4.0.

SmartFactory je projekt koji ima cilj stvoriti čvrstu bazu za rješenja za sve sudionike u proizvodnom okruženju. Novi visoko modularni proizvodni sustav vođen od predstavnika istraživanja i industrije pokazuje takvo rješenje i već pokazuje implementaciju Industrije 4.0 u industrijskim relevantnim aplikacijama. Kako bi ostvario ovu industrijsku namjeru, SmartFactory postavlja industriju u položaj da prihvati proizvodni modul ili tehnologiju križanja za visoko modularnu proizvodnu liniju. S obzirom na navedeno, svaki uključeni industrijski partner preuzeo je građevni blok cijele proizvodne strukture. SmartFactory je bio

predvodnik u definiranju standarda i koncepata potrebnih za interoperabilnost i ostvarivanje konačne integracije postrojenja. Proces standardizacije između pružatelja tehnologija, integratora i krajnjih korisnika podijeljen je u nekoliko ključnih faza. U prvom slučaju, analizirani su zahtjevi za sučeljem za takvu strukturu postrojenja i istraženi su razni pristupi, zajednički razgovori i prioriteti. S obzirom na heterogeno okruženje, konačno su definirani mehanički, električni i komunikacijski standardi koji jamče glatku tehničku interakciju između svih dobavljača specifičnih sustava [21].

4.3.3. *Elektromehanički standardi*

Kao što je opisano, integracija hardvera i softvera od strane dobavljača kao i njihova implementirana funkcionalnost mogu biti korisni samo ako je sučelje napravljeno uzevši u obzir standarde. Temeljni standardi opisuju mehaničku konzistentnost između modula proizvođača. To uključuje dimenzije modula, kao i protok materijala u obliku standardiziranog transportnog konvejera i inovativnog sustava za protok. Električno sučelje definirano je univerzalnim priključkom, Ethernetom i sigurnosnim isključivanjem. Primjer jednog od priključaka se nalazi na slici 22.



Slika 22. Primjer priključka [21]

Osim toga, automatsko otkrivanje okoline omogućuje neovisnu izvedbu topologije. Konkretna informacija o modulima mogu se automatski izvući iz susjednih modula. Trenutna topologija je dostupna u bilo kojem trenutku za bilo koji podređeni sustav.

4.3.4. Komunikacijski standardi

S obzirom na komunikacijsko sučelje, treba spomenuti tri tehnološke specifikacije: OPC UA, tehnologija web poslužitelja i RFID podatkovni format. Protokol industrijskog komuniciranja OPC UA omogućuje vertikalnu integraciju između poslovnih aplikacija i nivoa proizvodnje. To podrazumijeva da nema izravne veze između svakog modula specifičnog za svakog dobavljača, niti na mehanički ili električni način komunikacije. Nadalje, integrirani web poslužitelj osigurava brzi prijenos velikih količina podataka po https-u, osnovni mrežni protokol koji se koristi za distribuciju informacija na World Wide Webu.

5. VERTIKALNA INTEGRACIJA U PRAKSI

U nastavku rada bit će pokazana i analizirana primjena vertikalne integracije u konkretnom proizvodnom procesu. Kao dobar primjer implementacije ERP sustava u proizvodnom ovaj dio rada je odrađen u dva poduzeća, PIMS Elektro Oprema d.o.o. i Metalprofit d.o.o.

5.1. PIMS Elektro Oprema d.o.o. i Metalprofit d.o.o

Poduzeće PIMS Elektro Oprema d.o.o. osnovano je 2009. godine kao mala tvrtka s 4 djelatnika. Glavna djelatnost poduzeća je od samih početaka do danas proizvodnja električnih ormara. Danas ova tvrtka zapošljava preko 100 zaposlenika, a sama proizvodnja odvija se u pogonu veličine 4.500 m² smještenom u Odžaku u Bosni i Hercegovini. Godišnje se prerađuje preko 950 tona lima, za što je potrebno više od 100.000 radnih sati. PIMS Elektro Oprema izvozi 100% svojih proizvoda dok se više od 90% prihoda ostvaruje izvozom u Njemačku i Austriju.

Zaposlenici su dobro obučeni i visoko motivirani za proizvodnju visokokvalitetnih proizvoda. Sustav upravljanja kvalitetom održava se kroz procese u skladu sa standardima ISO 9001: 2008. Glavni proizvod ovog poduzeća su elektro ormari, tijekom proizvodnje pruža se kompletna usluga: konstruiranje, izrada kućišta, ugradnja komponenata i ožičenja te ispitivanje gotovih proizvoda. Svi proizvodi dostupni su u pojedinačnoj (projektnoj) ili serijskoj proizvodnji, a gotovi proizvodi se testiraju na računalno kontroliranim stanicama prema zahtjevima kupca ili propisa [22].



Slika 23. Proizvodnja ožičenja za elektro ormare u PIMS Elektro Oprema [22]

Prema [22], proizvedeni elektro ormari pripadaju sljedećim grupama:

- Sustavi upravljanja strojevima
- Kontrola postrojenja i procesa
- Kontrole sustava automatizacije
- Razvodni uređaji niskog napona za distribuciju električne energije u zgradama



Slika 24. Fotografija pogona Metalprofit d.o.o. [23]

Poduzeće Metalprofit d.o.o. je sestrinsko poduzeće PIMS Elektro Opreme, a osnovano je 2014. godine. Primarna djelatnost je strojna obrada lima i metala. Konkretnije, glavni proizvodi obuhvaćaju prilagođene bušene i savijene dijelove, kućišta strojeva, konzole strojeva, posebna i standardna rješenja kućišta i složene metalne sklopove. Njihovi proizvodi se koriste u automobilskoj, strojnoj i građevinskoj industriji. U ponudi su sljedeće proizvodne tehnologije:

- CNC probijanje
- CNC lasersko rezanje
- CNC savijanje
- Zavarivanje
- Praškasti premaz

5.2. Proizvodni procesi u poduzeću Metalprofit

Kao što je već spomenuto Metalprofit se bavi strojnom obradom lima i metala te se u njihovom pogonu proizvode kućišta elektro ormara. S druge strane, PIMS Elektro Oprema proizvodi ožičenja koja se ugrađuju u spomenuta kućišta. Ovisno o zahtjevima kupaca oba poduzeća bave se proizvodnjom i prodajom različitih proizvoda, međutim u ovom radu je prikazan proces izrade proizvoda koji uključuje oba poduzeća. S obzirom na to, prvo će se pojasniti procesi u Metalprofitu, a zatim u PIMS-u.

5.2.1. Tehnička priprema

Kompletan postupak proizvodnje u Metalprofitu započinje u trenutku kada kupac šalje zahtjev za izradom proizvoda. U tom zahtjevu kupac dostavlja dokumentaciju u kojoj su navedeni svi dijelovi koji se nalaze u strukturi konačnog proizvoda. Dokumentacija se dostavlja odjelu tehničke pripreme u pdf formatu ili se dostavlja već gotov model u jednom od CAD programskih paketa. Odjel tehničke pripreme provjerava ispravnost dokumentacije i kasnije prilagođava dokumentaciju proizvodnji. Ako postoje pogreške na crtežu ili modelu, kontaktira se kupac koji mora ispraviti pogreške. Tek nakon što su svi podaci ispravni odjel tehničke pripreme pristupa izradi interne dokumentacije po kojoj će se zahtijevani proizvod proizvesti. Najjednostavniji slučaj je onaj u kojem je kupac ranije naručio isti artikl pa je posao značajno jednostavniji budući da interna dokumentacija već postoji. Često se događa da

kupci svakom novom narudžbom zahtijevaju proizvodnju potpuno novog proizvoda i u tom slučaju odjel tehničke pripreme stvara novu internu dokumentaciju.

Ako je kupčeva dokumentacija dostavljena u pdf formatu potrebno je izraditi 3D model sa svim ugrađenim identima u SolidWorks programskom paketu. Standardni identii odnosno dijelovi povlače se iz baza standardnih dijelova koji su dostupni na specijaliziranim internetskim stranicama. Dijelovi koji nisu standardni posebno se modeliraju i kasnije ugrađuju u 3D model konačnog proizvoda. Idući korak je ispunjavanje podataka o svim identima koji su ugrađeni u konačan proizvod (eng. *Bill of materials*, *BOM*). To podrazumijeva naziv identa, materijal, normu, ukupan broj pojedinih identa i ostale bitne stavke. 3D model konačnog proizvoda uspoređuje se s kupčevom dokumentacijom i po potrebi korigira. Tek nakon što je utvrđeno da se 3D model poklapa da kupčevom dokumentacijom započinje proces prijenosa podataka u ERP sustav. Navedeni proces jednostavniji je ako kupac dostavi 3D model jer je mogućnost pogreške manja, a vrijeme pripreme znatno kraće. Kao ERP sustav Metalprofit koristi GoSoft koji je objašnjen u nastavku.

Prijenos podataka između SolidWorksa i GoSofta odvija se pomoću programskog paketa CADERP. U CADERP se pohranjuju svi podaci iz SolidWorksa. Na temelju njih CADERP pretražuje GoSoft tako što uzima kompletnu strukturu proizvoda i pretražuje sve idente koji su ugrađeni u konačan proizvod. Ako neki od identa nije pronađen u GoSoftu potrebno ga je kreirati. Za kreiranje novog identa obavezni podaci su šifra, naziv, upravljački centar, mjerna jedinica te status. Upravljački centar može se objasniti kao skupina kojoj ident pripada. Primjerice upravljački centar može biti nabava, proizvodnja ili kooperacija. U nabavu spadaju identii koji se nabavljaju od dobavljača, proizvodnji pripadaju identii koji se proizvode u vlastitom pogonu odnosno Metalprofitu dok kooperaciji pripadaju oni koji dolaze od kooperanata. Status identa može biti aktivan, u razvoju ili neaktivan. Aktivni identii su oni koji se koriste u poduzeću kod nabave ili proizvodnje, status u razvoju imaju novi identii koji još nisu u proizvodnji, dok su neaktivni oni koji se ne koriste.

Sve navedene podatke potrebno je ispuniti za ident gotovog proizvoda i za sve idente koji se u njega ugrađuju, nebitno jesu li proizvodni ili nabavni. Nakon što je ovaj korak odrađen za sve idente gotova je struktura proizvoda. U strukturi se nalaze hijerarhijski i smisleno poredani svi identii. Sljedeća stavka koju je potrebno odrediti je tehnologija. Tehnologija je skup operacija koje su potrebne kako bi se izradio gotov proizvod. Pod operacije mogu spadati različite obrade na strojevima, montaža te provjera kvalitete. Svaka operacija sastoji se od pripremnog

završnog vremena i vremena izrade. Pripremno završno vrijeme je vrijeme potrebno za pripremu radnog mjesta za početak same operacije dok je vrijeme izrade vrijeme koje je potrebno za izradu jednog komada. Odjel tehničke pripreme određuje vrijeme pripreme i vrijeme izrade za svaku operaciju. Vrijeme pripreme se određuje prema tablicama dok se vrijeme izrade računa prema veličini identa i brzini kojom se provodi operacija. Primjerice, trajanje rezanja laserom određuje se preko brzine rezanja laserom i duljine koju je potrebno prijeći laserom. Nakon proizvodnje uspoređuju se stvarna vremena s vremenima koja su predviđena. Za svaku operaciju potrebno je definirati radno mjesto na kojem će se izvoditi. Radna mjesta su već unaprijed definirana pa je ovdje potrebno odabrati ispravno s liste svih radnih mjesta.

Navedenom procesom određuju se svi relevantni podaci proizvoda i sada je moguće prenijeti sve podatke u GoSoft. Osim navedenih podataka prenose se i crteži koji su potrebni proizvodnji. Sve podatke moguće je ručno unositi u GoSoft međutim to bi nepotrebno trošilo vrijeme stoga se koristi ovakav proces koji odgovara zahtjevima Industrije 4.0.

5.2.2. Proizvodnja u Metalprofitu

U ovom odlomku prikazat će se planiranje i upravljanje proizvodnim procesima kako bi se prikazalo korištenje GoSofta u samoj proizvodnji. Važno je napomenuti kako se proizvodnja sastoji od komadne i serijske proizvodnje. Bez korištenja kvalitetnog ERP sustava bilo bi nemoguće upravljati proizvodnim procesima. GoSoft omogućava praćenje svih bitnih parametara u proizvodnji kao što su materijal, vrijeme, radna mjesta, radnici itd. Većina fiksnih podataka o proizvodnji (to se odnosi na podatke o radnim mjestima, radnom kalendaru, strojevima, zaposlenicima) već je unaprijed unesena u GoSoft, a odjel tehničke pripreme stvara podatke o svakom identu u proizvodnji. Jedinu podaci koji nedostaju nalaze se na potvrdi narudžbe, a najvažniji među njima je datum otpreme proizvoda. Potvrdu narudžbe kreira prodaja na zahtjev kupca. Potvrda narudžbe je jednaka dokumentu Narudžba proizvodnji koji je prikazan na slici 25. Važno je napomenuti kako sve slike u nastavku su stvorene na dokumentima koji su stvoreni prije više od dvije godine, a povjerljivi podaci su skriveni. Razlog je zaštita poslovanja budući da su to povjerljivi podaci.

PM4 16/00255 (Narudžba proizvodnji)

Lista Dokument Logistika Dodatni podaci Plaćanja Promjene Izvještaji Veze DMS Privitci

Narudžba proizvod: 16/00255 * Datum dokumenta: 24.03.2016. * Opis: KWV 14 * Odg. osoba: Me***ov*** Me***a*** * Slobodan

Ponuda: Partner: 000001 * Datum otpreme: 08.04.2016. * Komentar: Komentar: * Posao: Adresa prim.: * Mjesto dopr.: IS VP: Žiro: Poziv: ☐ Obračun PDV po plaćanju

Narudžba PEO: 16/00361 sa danom: Cjenik: 02 Zadnje nabavne cijie Tip PDV: Popusti: Rok plaćanja: Valuta: KM Tečaj: 1,000000 Za: 1

Br. Artikl	Naziv artikla	Količina JM	Projekt	Dat. dopren	Napomene	Izv. količina I	RAL	Privic
1 005157	NL konektor ploce ASC 3	20,000 kom	KW14...	08.04.2016.		0		0

20,000

Briši dokument Obrade Upiši Prekini

Slika 25. Narudžba proizvodnji

Datum otpreme proizvoda je izuzetno bitna informacija jer govori koji je krajnji datum kada proizvod mora biti završen. Temeljem datuma otpreme GoSoft preko obrade Preplaniranja samostalno određuje sve ostale bitne informacije. GoSoft obradom Preplaniranja stvara zapise u planu nabave i daje informaciju nabavi u kojem trenutku je potrebno naručiti materijal. U obzir se, naravno, uzima i vrijeme koje je potrebno dobavljaču za dostavu materijala. Također, Preplaniranjem GoSoft stvara nove radne naloge koje je potrebno odraditi za sve proizvode koji su naručeni i ti radni nalozi dobivaju status PL. Na radnim nalozima se nalaze sve potrebe i tehnologije koje su neophodne za izradu. Pojam potrebe se odnosi na materijal i dijelove koji su ugrađeni u konačan proizvod.

Svakog jutra poslovođa provjerava radne naloge. Pojavljuju se ažurirani radni nalozi i novi, planirani radni nalozi s artiklima koje je potrebno danas započeti proizvoditi kako bi konačan proizvod bio gotovo u ugovorenom vremenu. Na slici 26. prikazan je kao primjer postavljen popis končanih radnih naloga.

Radni nalozi S004347 S004347/1443 KO 003894 ASC 6 Kuciste 106111 BMP 90031.106111 Br. crt. 90031.106111-PEO-ASM

Lista

RN

Potrebe

Tehnologija

Izveštaji

Serijske

Dodatni podaci

Pakiranje

Analiza

Privitci

Centar:

Ident:

Termin: Početak

☒ PP ☒ LN

☐ Gant

Projekt:

Klas:

OD: 01.01.2017.

☒ PL ☒ LA

☐ Slike

RN:

Naziv:

DD: 01.02.2017.

☒ PF ☒ KO

☒ Samo GP

Pročitaj

Obrade

Izv	Projekt	Posao	Stat	GP	RN	Nadređeni RN	Ident	Oznaka art.	Naziv	Količina	JM	Izrađeno
	S004347		KO	☒	S004347/1443		003894	009681	ASC 6 Kuciste 106111	10,000	kom	10,000 12.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1527		001880	009544	Montazna Ploca-Ledjna	40,000	kom	40,000 30.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1502		003887	009676	Montazna ploca ASC3 za	60,000	kom	60,000 23.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1434		003878	009669	Montazna ploca SYS1 Uski	24,000	kom	24,000 05.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1477		001864	009542	Montazna Ploca Sys1 Prosireni	24,000	kom	24,000 19.01.
	WA00003		KO	☒	WA00003/0369		005181	009737	Kuciste F45 lijevo malo RAL 7016	40,000	kom	40,000 30.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1424		005859	009762	Kuciste ASC3n,1700x610x550	10,000	kom	10,000 06.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1598		003891	009678	Kuciste SYS1 Uski bez montaznih	48,000	kom	48,000 01.02.
	S004347		KO	☒	S004347/1494		004360	009715	Nosac mali 80693.000011	20,000	kom	20,000 20.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1453		001881	009545	Montazna Ploca Donja	60,000	kom	60,000 09.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1475		001883	009547	Montazna Ploca-Desna	60,000	kom	60,000 16.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1439		005994	009771	Stalak SYS mali 80677.000153	84,000	kom	84,000 06.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1628	S004347/1726	004239	009705	Klemkuciste, 4+1 Otvor	100,000	kom	100,000 26.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1490		003894	009681	ASC 6 Kuciste 106111	10,000	kom	10,000 26.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1488		005404	009742	Ploča konektora ASC3 200475	30,000	kom	30,000 11.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1467		005404	009742	Ploča konektora ASC3 200475	30,000	kom	30,000 05.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1435		001864	009542	Montazna Ploca Sys1 Prosireni	24,000	kom	24,000 05.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1501		001880	009544	Montazna Ploca-Ledjna	40,000	kom	40,000 24.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1412		006378	009780	Vrata ASC 3 501	10,000	kom	10,000 03.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1465		001716	009529	Osnovna Ploca 80691.000138	32,000	kom	32,000 11.01.
	K0002T		KO	☒	K0002T /0260		001850	009539	Pokrivnik 80721.200343	250,000	kom	250,000 05.01.
	S004347		KO	☒	S004347/1520		004580	009726	Kuciste 200X200X120	40,000	kom	40,000 30.01.

Slika 26. Lista radnih naloga

Među planiranim radnim nalogima poslovođa prema prijedlogu GoSofta odabire koje će radne naloge lansirati u proizvodnju te im obradom u GoSoftu mijenja status u LN odnosno Lansiran neaktivan. Kako bi se započelo raditi po radnom nalogu potrebno je izdati sve potrebe tj. potreban materijal po tom radnom nalogu iz skladišta u proizvodnju, a čim se počinje izdavati materijal status radnog naloga mijenja se u LA odnosno Lansiran. Svaki radni nalog sadrži osnovne informacije kao što su ident, datum početka proizvodnje, upravljački centar i ostali. Na slici 27. prikazani su osnovni podaci jednog radnog naloga.

Slika 27. Primjer radnog naloga

Svaki radni nalog sastoji se od liste potreba i operacija koje je potrebno izvršiti kako bi se dovršio proizvod. Na slici 28. nalazi se primjer potreba radnog naloga, a na slici 29. primjer operacija. Potrebe se odnose na materijal koji je potrebno utrošiti za izradu konačnog proizvoda.

Potreba	Sta	Ident	Naziv	Količina JM	Realizirano	Datum	Rbr.	Oper.	Napomene
2048934	KO	000004	Hm 1,5X1250X2500	383,000 kg	383,000	12.01.2017.			
2048935	KO	000010	Hm 2X1250X2500	560,000 kg	560,000	12.01.2017.			
2048936	KO	000014	Hm 3X1250X2500 DC01	45,000 kg	45,000	12.01.2017.			

Slika 28. Potrebe radnog naloga

Radni nalozi S004347 S004347/1443 KO 003894 ASC 6 Kuciste 106111 BMP 90031.106111 Br. crt. 90031.106111-PEO-ASM

Lista

RN

Potrebe

Tehnologija

Izveštaji

Serijske

Dodatni podaci

Pakiranje

Analiza

Privitci

Lista

Operacija

Knjiženje

Dokumenti

Grupe

Kontrolni postupak

Izveštaji

MES-Rad

Privitci

☐ Gantogram

☒ Struktura

Obrade

Pročitaj

Oper.	Sta	Stand	Oper	Tekst	RM	Naziv RM	Prot. vrij.	Norma	Stv.vrij.	Radnici	Stroj.	Prekrivanje
10	KO	P12		Sjecenje laserom	KLMP	Kooperacija LMP	5:00:00	5:00:00	1,000	1,000	0	
20	KO	P30		Ukrupnjavanje TEO	KTEO	Kooperacija TEO	0:33:00	0:33:00	1,000	1,000	0	
30	KO	P19		Lakiranje	KTEO	Kooperacija TEO	0:33:00	0:33:00	1,000	1,000	0	
							6:06:00	6:06:00	0:00:00			

<

>

Potreba	Sta	Ident	Naziv	Količina JM	Realizirano	Datum	Rbr.	Oper.	Napomene
2048934	KO	000004	Hvl 1,5X1250X2500	383,000 kg	383,000	12.01.2017.			
2048935	KO	000010	Hvl 2X1250X2500	560,000 kg	560,000	12.01.2017.			
2048936	KO	000014	Hvl 3X1250X2500 DC01	45,000 kg	45,000	12.01.2017.			

<

>

Slika 29. Operacije na radnom nalogu

Operacija: 10 * RN: S004347/1443

Status: KO - Končano

Kol. na ulazu: 10,000 Izlaz: 10,000

Standardna operacija: P12 * Razdjeli: 1,000 *

Radno mjesto: KLMP * Kooperacija LMP

Vrij. pripreme: 0:00:00

Vrij. izrade: 0:30:00

Škart pripreme: 0,000

Škart izrade: 0,000 %

Kontr. postupak:

Broj radnika: 1,000 *

Broj strojeva: 1,000 *

Tip pomaka slj. operac. Nema prekrivanja

Pomak slj. operacije: 0,000

Vrij. čekanja ULAZ:

Tekst: Sjecenje laserom *

Dat. poč.: 12.01.2017. 09:54:00

Dat. zavr.: 12.01.2017. 14:54:00

Količina / takt:

Vrsta rada:

IZLAZ:

Upiši Prekini

Slika 30. Detaljan prikaz operacije

Poslovođa raspoređuje operacije radnicima, a radnici uzimaju liste s operacijama na kojima je opisana svaka operacija. Odjel pripreme proizvodnje razradio je svaku operaciju do najniže razine.

Nakon što radnici izvrše operaciju dojavljaju vrijeme koje su potrošili i broj komada koji su završeni. Kako bi se smanjilo vrijeme čekanja materijal se nalazi u neposrednoj blizini radnog mjesta, a nakon što je radnik gotov s operacijom materijal šalje na iduću operaciju ili na lokaciju koja se nalazi u blizini idućeg radnog mjesta.

Kao što je već spomenuto kupci naručuju velik broj različitih izvedbi kućišta elektro ormara i ostalih dijelova. Mjesečno se proizvede nekoliko stotina različitih artikala. U takvim uvjetima, izuzetno teško je standardizirati proizvodnju, međutim uvođenjem različitih alata Industrije 4.0 bitno se povećala produktivnost. U prvom redu, to se odnosi na objedinjavanje proizvodnje što je objašnjeno u nastavku.

Različite varijante proizvoda imaju slične ili čak iste operacija. Voditelj proizvodnje to u uzima u obzir prilikom dodjeljivanja operacija i radnih naloga radnicima. U slučaju u kojem se više različitih artikala ima istu operaciju one se izvršavaju zajedno ili jedna za drugom. Ovakvim načinom planiranja proizvodnje izbjegava se slučaj u kojem se različite operacije izvršavaju jedna za drugom što bitno povećava pripremno završno vrijeme. Navedeno će se objasniti na konkretnom primjeru.



Slika 31. Operacija nanošenja boje i premaza [22]

Uzeta je kao primjer operacija lakiranja kućišta elektro ormara. Na ovu operaciju može stići više različitih kućišta naručenih od više različitih kupaca. Osoba zadužena za ovu operaciju neće primarno uzimati u obzir vrijeme kada je kućište došlo na ovu operaciju, broj radnog naloga ili kupca već će grupirati kućišta po vrsti boje i tako odabirati redoslijed lakiranja. Drugim riječima,

prvo će se lakirati sva kućišta koja zahtijevaju jednu boju, zatim sva kućišta koja zahtijevaju drugu boju, a tek tada sva kućišta koja zahtijevaju treću. Prije lakiranja idućom bojom potrebno je pronaći odgovarajuću novu boju, pripremiti ju i zamijeniti postojeću koja se nalazi u stroju. U slučaju da se redoslijed lakiranja odabirao prema redoslijedu kojim su kućišta došla na operaciju lakiranja tada bi se prvo lakiralo jednom bojom zatim drugom, a nakon toga ponovno prvom. Ovdje je vidljivo kako je ponovno pripremanje prve boje zapravo nepotreban korak koji samo troši resurse i kako objedinjavanje proizvodnje smanjuje pripremno završno i stvarno vrijeme proizvodnje.

Kako bi sve navedeno bilo moguće, raspored strojeva, radnih mjesta i skladišta je dobro osmišljen. Slična radna mjesta su grupirana, a grupama radnih mjesta je logički dodijeljeno mjesto u pogonu. Također, pored svake grupe radnih mjesta nalazi se prostor na kojem se odlaže materijal prije i nakon izvršenja operacije. Prednost ovakvog načina rada je značajno smanjenje vremena prelociranja materijala, smanjenje napora radnika te ukupno povećanje produktivnosti.

5.3. Proizvodni procesi u poduzeću PIMS Elektro Oprema

Kao što je već rečeno, glavni proizvodi poduzeća PIMS Elektro Oprema su upravljačke jedinice odnosno elektro ormari. U pogonu se proizvodi kompletno ožičenje kojim se povezuju svi uređaji u elektro ormaru. Naravno, kućišta u koja se ugrađuju svi elementi proizvode se u Metalprofitu. Proizvodni procesi u ova dva poduzeća bit će uspoređeni nakon što se prikaže proces u PIMS-u.

Cjelokupan proces započinje na sličan način kao u Metalprofitu odnosno zahtjevom kupca. Kupac dostavlja dokumentaciju u pdf formatu ili kao model u programskom paketu EPLAN. Ako je dokumentacija dostavljena u pdf formatu tada je potrebno stvoriti model u EPLAN-u. Jednostavniji je slučaj u kojem kupac dostavi svi potrebnu dokumentaciju u EPLAN-u jer tada nije potrebno izrađivati model iz nule. Neovisno o tome u kojem formatu je dostavljena dokumentacija, odjel tehničke pripreme mora provjeriti model i dodati elemente koji nedostaju. U prvom redu to se odnosi na izradu sheme ožičenja kojom će se povezati svi uređaji u elektro ormaru. Pri izradi sheme potrebno je jednoznačno odrediti sve attribute svake žice u ormaru. Spomenuti atributi obuhvaćaju vrstu i tip žice, duljinu, oznaku koja se printa na žici te vrstu završetka.

Nakon što se model dovrši, slijedi proces popisivanja svih dijelova koji se ugrađuju u gotov proizvod odnosno proces određivanja strukture. Ovaj postupak provodi se u Pro Panelu te se sprema u Excel datoteku koja se kasnije povlači u GoSoft. Kasnije se u GoSoftu unose sve

tehnologije potrebne za izradu proizvoda. Također, svi podaci o ožičenju se spremaju iz Pro Panela u drugu Excel datoteku. Ovi podaci obuhvaćaju popis svi žica s podacima o dužini, debljini, tekstu koji se printa, oznakama završetaka itd. Excel datoteka se provjerava kako bi se otklonile potencijalne greške u podacima. Nakon završne provjere podaci su spremni za proizvodnju.

Excel datoteka s podacima o kompletnom ožičenju šalje se operateru na radnom mjestu se sastoji od stroja za printanje po žici i stroja za rezanje žice koji su vezani u jedan stroj. Prikaz stroja nalazi se na slikama 32. i 33.



Slika 32. Stroj za printanje po žici



Slika 33. Stroj za rezanje žice

Operater na radnom mjestu prebacuje podatke u programski paket Cayman. Cayman je softversko rješenje za upravljanje strojem za rezanje i printanje po žici. Intuitivna struktura izbornika idealna je za brzo i učinkovito programiranje pojedinih žica ili cijelih popisa žica. Nakon što operater postavi ispravnu žicu na početak stroja u glavnom izborniku programa pokreće operaciju.

Tijekom operacije prati se kvaliteta ispisa i rezanja. Ako dođe do zastoja, stroj se automatski zaustavlja i pojavljuje se greška na zaslonu. Jedan od prijedloga unaprjeđenje je povezivanje softvera odnosno GoSofta i Caymana, ali to će biti objašnjeno u sljedećem poglavlju. Svim žicama se provjerava kvaliteta printa i rezanja te nastavljaju prema jednoj od četiri montažne linije. Na slici 34. prikazana je žica čija kvaliteta zadovoljava zahtjeve te može otići dalje u proizvodnju. Ako žica ne zadovoljava standarde, baca se u škart. Postotak škarta u ovom procesu je relativno velik i kreće se oko 14%.



Slika 34. Žica na kojoj print zadovoljava zahtjeve za kvalitetu

Idući korak u proizvodnji je postavljanje krajeva žica. Na kraj mogu doći različiti konektori ili stezaljke ovisno o shemi ožičenja. Nakon što se završi rad na svim žicama, sklapa se upravljačka jedinica što je prikazano na slici 35.



Slika 35. Linija za sklapanje upravljačkih jedinica [22]

Gotove upravljačke jedinice s cjelokupnim ožičenjem montiraju se u kućište upravljačkog ormara. Također, u ovom dijelu procesa montiraju se i svi ostali elementi koji su potrebni za siguran rad upravljačkog ormara. U ovu skupinu spadaju sklopke za prekid rada, različiti priključci za ostale uređaje itd. Na kraju proizvodnog procesa svaki upravljački ormar se spaja na uređaj za testiranje kako bi se provjerilo zadovoljava li proizvod sve definirane zahtjeve. Dio proces od pripreme žice do testiranja proizvoda prati se kroz GoSoft, te radni nalozi i dokumentacija prate svaki proizvod. Rad s GoSoftom i radnim nalogima objašnjen je na

primjeru poduzeća Metalprofit pa ovdje nema potrebe za istim budući da je značajno jednostavniji.



Slika 36. Montaža konačnog proizvoda [22]

5.4. Rezultati uvođenja ERP sustava i vertikalne integracije

U ovom poglavlju bit će riječi o samim rezultatima koji su ostvareni uvođenjem ERP sustava. Kao što je već spomenuto, proizvodnja u ovim poduzećima bila bi nemoguća bez podrške ERP-a zbog količine informacija koje se svakodnevno stvaraju. Sve informacije koje se unose u sustav dostupne su na svakom računalu s GoSoftom u realnom vremenu. Drugim riječima, u svakom trenutku je moguće provjeriti kompletnu povijest što se konkretno odnosi na informacije u prodaji, nabavi, skladištu, zaposlenicima, te, najvažnije, sve podatke o proizvodnji. Dostupnost navedenih informacija omogućava praćenje svih rokova koje je potrebno ispuniti što znači da je značajno smanjena mogućnost kašnjenja isporuke. Rezultat je eliminacija penala uzrokovanih kašnjenjem što znači smanjenje rashoda.

Konkretni podaci o unaprjeđenju primarno su vezani uz produktivnost. U poduzeću PIMS Elektro Oprema prilikom svake narudžbe kupac dostavlja planirano vrijeme izrade ožičenja. Prije optimiziranja stvarno potrošeno vrijeme za izradu kompletnog ožičenja bilo je oko 10% manje od vremena koje je predvidio kupac. Međutim optimiziranjem, uvođenjem promjena u proizvodnju i povezivanjem tehničke pripreme i proizvodnje povećana je produktivnost za 30 do 40%. Ovisno o artiklu ovaj se postotak mijenja budući da se proizvodnja artikala koji se opetovano naručuju dodatno optimizira što rezultira smanjenjem vremena proizvodnje i

troškova. U brojevima bi to značilo ako je tjedno na raspolaganju predviđeno 2000 sati proizvodnja bez produženog radnog vremena može isporučiti od 2600 do 2800 sati ožičenja. Ovakvo povećanje produktivnosti nije rezultat slučajnosti već kontinuiranog ulaganja u poboljšanja. S obzirom na to, potrebno je uzeti u obzir vrijednost utrošenih resursa kako bi se ostvarili ovakvi rezultati. Ako se gleda kratkoročno, trošak investiranja u unaprjeđenja može djelovati iznimno visok međutim kako vrijeme teče povećanje prihoda nadmašuje uložena sredstva.



Slika 37. Ilustrativni prikaz povećanja vrijednosti uvođenjem novih tehnologija [24]

Potrebno je uzeti u obzir kako produktivnost nije jedina prednost. Važno je spomenuti i promjene u rasporedu u pogonu. Optimalnim rasporedom strojeva, radnih mjesta i skladišta oslobođeno je 30% površine. Ovaj podatak donosi različite prednosti. U prvom redu, slobodna površina može se iskoristiti za postavljanje novih strojeva ili nove montažne linije što povećava produktivnost i otvara nova radna mjesta. Također, optimiranjem površine smanjuju se gubici vezani uz transport materijala pa se efikasnost trenutne proizvodnje povećava. Zaliha u proizvodnji se smanjila što znači veću protočnost te se otvara mogućnost za automatizaciju pojedinih operacija. Ovo su samo najvažnije prednosti ostvarene optimiranjem i uvođenjem ERP-a.

5.5. Prijedlozi za unaprjeđenje

U prethodnim poglavljima prikazani su proizvodni procesi u oba poduzeća i trenutni rezultati. Vidljivo je uspješno planiranje i praćenje proizvodnje korištenjem GoSofta, ali postoji još dosta prostora za napredak. Bez kvalitetnog ERP sustava ovakva proizvodnja bila bi gotovo nemoguća zbog izuzetno velike količine podataka koji se svakodnevno stvaraju. Međutim, zbog razvoja tehnologije i povećanja konkurentnosti javlja se potreba za određenim promjenama i unaprjeđenjima. Svaku potencijalnu promjenu potrebno je detaljno analizirati u pogledu dugoročne isplativosti jer ne mora svaka promjena nužno značiti i dugoročno unaprjeđenje. Konačan cilj je eliminirati potencijalne promjene koje dugoročno neće donijeti financijsku korist ili će produžiti trajanje proizvodnje i otežati rad zaposlenicima. Stoga je izuzetno bitno provesti dobru analizu i odabrati najisplativija rješenja. U nastavku će se objasniti prijedlozi za potencijalne promjene.

5.5.1. Dojava vremena izrade na svim operacijama i digitalizacija radnih naloga

Prvi prijedlog za unaprjeđenje odnosi se na digitalizaciju radnih naloga u procesu montaže te dojavu vremena svih operacije. Trenutno se operacije na radnim nalogima printaju na papiru, a izrađeni komadi se ručno upisuju u računalu. U ovakvom procesu izostaje dojava vremena i potpuna digitalizacija koja je potrebna za svaku operaciju. Budući da kupac dostavlja definira okvirno vrijeme koje je potrebno za izradu kompletnog ožičenja do sada se nije dojavljivalo vrijeme jer nije postojala potreba za istim. Međutim digitalizacijom i dojavom utrošenog vremena otvara se mogućnost za korekciju operacije kako bi se vrijeme smanjilo, a posao olakšao.

Navedeni proces mogao bi se potencijalno unaprijediti uvođenjem tableta u proizvodnju. Pored svake grupe radnih mjesta nalazio bi se po jedan tablet na koji bi se zaposlenici prijavljivali i dojavljivali količinu izrađenih komada. GoSoft bi samostalno mjerio vrijeme i pridružio ga svakoj operaciji. Ovakav model prikazan je na slici 38.



Slika 38. Primjer industrijskog tableta na radnom mjestu [25]

U današnjim okvirima ovo rješenje je vrlo često neisplativo zbog velikih investicijskih troškova. Također, radnici bi gubili vrijeme odlaskom do stanice s tabletom i unosom podataka. Stoga se u nastavku predlaže efikasnije rješenje.

Drugo rješenje uključuje potpunu digitalizaciju i uklanjanje interakcije između GoSofta i zaposlenika na montažnoj liniji uz pomoć naljepnica s barkodom ili qr kodom. Primjer jednog od uređaja dan je na slici 39.



Slika 39. Industrijski barkod/qr čitač Dataman 370 series [26]

Jedini dodir s GoSoftom zaposlenik bi imao na početku procesa kada bi se printala i ljepila naljepnica na kućište upravljačkog ormara. Kako bi se eliminiralo korištenje računala ili tableta potrebno je implementirati industrijske kamere kojima je zadatak skenirati isprintani barkod i informaciju o skenu slati natrag u sustav. Sustav u trenutku skena odrađuje jednu od dvije operacije. Ovisno o prethodnim informacijama, sustav može krenuti mjeriti vrijeme ili zaustaviti prethodno mjerenje i pokrenuti novo. Svaka montažna linija ima zasebne kamere. Na početku montažne linije zaposlenik printa naljepnicu s barkodom artikla s radnog naloga koji je sljedeći na listi za proizvodnju. Sustav ograničava broj naljepnica na onaj broj koliko je komada potrebno proizvesti. Nakon printanja i lijepljenja naljepnice na kućište kreće mjerenje vremena potrebnog za odrađivanje prve operacije. Kako se artikl pomiče po montažnoj liniji tako prolazi pored kamera koje očitavaju barkod. Kamere automatski šalju informaciju koja operacija je gotova, a sustav automatski pokreće iduću operaciju. Ovakvo rješenje izbjegava potrebu da radnici samostalno dojavljuju izrađene količine u sustav, a time se eliminiraju greške.

Prednost ovog rješenja je eliminacija dodatnog vremena koje radnici gube na knjiženje i dojavljivanje rada. Također smanjuje se i umor radnika jer ne moraju hodati do mjesta na kojem će knjižiti svoj rad. Sve informacije dostupne su u stvarnom vremenu što znači lakše i efikasnije upravljanje proizvodnjom. To se odnosi na lansiranje naloga i početak montaže čim sustav prepozna slobodno mjesto na jednoj od montažnih traka umjesto čekanja. Ovako postavljen proces omogućio bi povećanje produktivnosti od 10 do 12% ovisno o vrsti proizvoda zbog boljeg planiranja. Informacija o statusu svakog artikla ERP sustavu bi omogućila efikasnije planiranje cjelokupne proizvodnje jer sustav može predložiti pokretanje nove operacije ili početak rada na novom artiklu s ciljem maksimalne iskoristivosti svih resursa. U ovom slučaju softver i proizvodnja razmjenjuje podatke u oba smjera što je glavna odlika ERP-a 4.0.

5.5.2. Kontrola utrošenog vremena

Oba poduzeća u svoju proizvodnju svakodnevno uvode nove artikle i njihove varijante. U procesu planiranja nemoguće je u potpunosti točno odrediti vrijeme pripreme i vrijeme izrade. Kako bi se doskočilo ovom problemu potencijalno rješenje je usporedba predviđenog i stvarno utrošenog vremena. Nedostatak ovakvog načina rada je to što je ovu analizu moguće provesti tek nakon izrade prvog komada ili serije. U Metalprofitu se redovito kontroliraju

vremena koja su potrošena u proizvodnji pomoću ispisa na kojem su navedena norma i utrošeno vrijeme. Ako utrošena vremena značajno odstupaju od norme (više od 10%) tada dolazi do korekcije u tehnologiji proizvoda. Drugim riječima korigira se vrijeme pripreme i vrijeme izrade za svaku operaciju kod koje postoji značajna razlika. Ovaj postupak ima smisla jedino u slučaju kada je poznato ili je moguće pretpostaviti hoće li kupac u budućnosti ponovno naručiti proizvodnju istog artikla.

S druge strane, u PIMS-u se ovaj postupak ne provodi zbog toga što se neke operacije ne dojavljuju pa nema smisla pratiti ukupno vrijeme svih operacija. Međutim, implementacije ove vrste kontrole nosi brojne benefite. To se ponajprije odnosi na točnije planiranje proizvodnje uz maksimalnu iskoristivost svih resursa jer ako je norma vrijeme manje od stvarnog, u planu proizvodnje će se pojaviti veća količina artikala od kapaciteta pogona. U slučaju kada je predviđeno vrijeme veće od stvarnog doći će do smanjenja iskorištenja proizvodnje. Također, točnije vremena pripreme i izrade omogućavaju točniju kalkulaciju prodajne cijene. Ovo je klasičan primjer u kojem se na temelju povratne informacije stvorene od strane ERP sustava donosi odluka o promjeni procesa. Time ERP sustav aktivno unaprjeđuje procese, a to je glavna značajka ERP-a 4.0.

Kontrola utrošenog vremena može se riješiti na više načina. Jedno od rješenja već je implementirano u Metalprofitu, a odnosi se na ispis s norma i stvarnim vremenom. Umjesto ovog ispisa moguće je postaviti dodatnu kolonu na prozoru s radnim nalogima u koju će se upisivati ukupno odstupanje norma vremena od stvarnog vremena. Sustav će automatski za svaki radni nalog na listi odrediti omjer norma i stvarnog vremena te u slučaju razlike veće od 10% radni nalog će biti označen crvenom bojom. Odgovorna osoba će svakih nekoliko dana provjeriti odstupanja na radnim nalogima i po potrebi korigirati norma vremena na operacijama kod tehnologija artikala.

Kako bi se ovaj proces u potpunosti automatizirao moguće je stvoriti obradu koja će se automatski pokretati jednom tjedno. Obrada prolazi kroz sve završene radne naloge u proteklom tjednu i izuzima one kod kojih se pojavilo značajno odstupanje. Lista s popisom tih radnih naloga šalje se direktno na mail osoba kojima je dodijeljena klasifikacija za kontrolu radnih naloga. Ovakav pristup je najspretnije rješenje budući da GoSoft automatski šalje mail i podsjeća odgovorne osobe na kontrolu pojedinih radnih naloga čime se eliminira potencijalno zanemarivanje kontrole norma i stvarnog vremena. Prednost ovakvog rješenja je ušteda vremena odjelu pripreme jer nije potrebno ručno provjeravati sve radne naloge te izbjegavanje nepotrebnog printanja papira.

5.5.3. Povezivanje strojeva u zajedničku mrežu

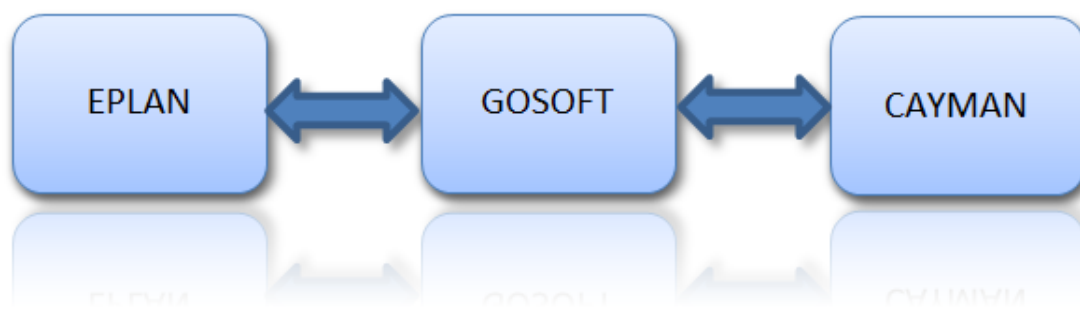
Zadnji prijedlog povezivanje strojeva u zajedničku mrežu. Konkretnije, ovdje se radi o povezivanju GoSofta i Caymana odnosno softvera koju upravlja radom strojeva za printanje i sječenje žica. Trenutno se svi podaci u odjelu pripreme proizvodnje prebacuju iz EPLAN-a u Excel datoteku. Stvorena Excel datoteka se uvozi u GoSoft kako bi se stvorila struktura i tehnologije, a zatim se ponovno stvara Excel datoteka koja konačno šalje u Cayman. Ovakav proces trenutno generira postotak škarta od oko 14% ovisno o tipu žica koja se obrađuje. Razloga ovako visokog postotka ima više. Prilikom postavljanja nove sirovine na početak stroja stvara se škart jer stroj odrezuje dio sirovine kako bi žica imala ispravan rez na početku. Kako se parametri kod printanja po žici razlikuju dolazi do printa lošije kvalitete pa takva žica također postaje škart.

Trenutni proces ilustriran je na slici 40. Važno je primijetiti kako proces teče samo u jednom smjeru iako se na strojevima nalaze senzori i moguće je doći do podataka preko softvera, Ovaj proces potrebno je automatizirati stvaranjem direktne veze između EPLAN-a, GoSofta i Caymana.



Slika 40. Trenutni tok informacija prema stroju

Također, korištenjem Excel datoteka značajno se povećava mogućnost pojave pogreške. Grešku može stvoriti sam softver, ali i čovjek. Tablična datoteka se sastoji od velikog broja podataka o svim žicama i njihovim parametrima, a ako se pojavi samo jedan krivi znak koji može biti čak i razmak, proces prebacivanja podataka je potrebno ponoviti i to nakon pronalaska pogreške i ispravljanja. Veze između EPLAN-a, GoSofta i Caymana moraju omogućiti prijenos podataka u oba smjera. Stoga je predložena shema procesa kao na slici 41.



Slika 41. Predloženi tok informacija

Stroj za printanje i rezanje već posjeduje senzore koji se očitavaju u Caymanu. Međutim, te podatke je potrebno zapisati i analizirati, a to je moguće samo ako se oni pošalju u GoSoft. Promjene se mogu izvršavati i u EPLAN-u jer je u planu povratna veza prema GoSoftu međutim GoSoft već nudi brojne mogućnosti pa ovo neće biti čest slučaj. Na ovaj način omogućen je prijenos podataka između svih elemenata sustava. Budući da se u GoSoftu prikupljaju svi podacima izvršava planiranje i upravljanje proizvodnjom bitno je da se GoSoft nalazi u sredini procesa kako bi mogao direktno komunicirati sa svim elementima.

Vezom između GoSofta i Caymana otvara se mogućnost za brojne optimizacije. Primarno se ovdje radi o objedinjavanju proizvodnje. Redoslijed obrade žica trenutno slijedi radne naloge odnosno proizvodnja teče tako da se za žice za svaku vrstu upravljačkog ormara izrađuje posebno. To dovodi do gubitka vremena jer je često potrebno mijenjati vrstu žice koja se obrađuje. Također, povećava se i škart jer postoje viškovi na početku i na kraju sirovine koji bi se eliminirali ako bi se žica maksimalno iskoristila, a samim time smanjio udio škarta. Objedinjavanje proizvodnje omogućilo bi bolje planiranje i efikasniju upotrebu resursa. Drugim riječima, ako GoSoft prepozna da postoje slične ili čak identične žice u više različitih radnih naloga, u planu proizvodnje će se to uzeti u obzir pa će se operacije na stroju prilagoditi optimalnom redoslijedu. Ovakav način planiranja omogućava veću iskoristivost vremena, veću produktivnost te smanjenje škarta.

Podaci sa senzora se prenose u GoSoft koji na temelju istih predviđa termine održavanja strojeva. Ako senzori prikazuju povećanje onečišćenja na glavi printera GoSoft stavlja u raspored operaciju čišćenja. Isti princip se koristi kod održavanja mehanizma za rezanje. Ako senzori prepoznaju kako rez uskoro neće zadovoljavati zahtjev za kvalitetom, u raspored se stavlja operacija održavanja mehanizma.

GoSoft izvršava kompletno planiranje proizvodnje i u pravom trenutku šalje podatke Caymanu o svim parametrima žice kako bi proizvodnja bila optimizirana. S druge strane, Cayman vraća GoSoftu podatke sa senzora na temelju kojih se određuju termini održavanja. Ovakav način rada je tipičan primjer vertikalne integracije koja potiče transformaciju tradicionalnog ERP sustava u ERP 4.0. Konačan rezultat je smanjenje škarta na 4% te ukupno smanjenje trajanja operacija za 20%.

5.6. Sustav pokazatelja kojima se prati provedba vertikalne integracije

Za svaku promjenu u procesima potrebno je uložiti resurse. Najvažniji uloženi resursi su novac, vrijeme i trud koji je uložen za razvoj novog unaprjeđenja. Industrija 4.0 još uvijek nije u potpunosti definirana što potkrepljuje činjenica da se alati za njezinu integraciju još uvijek razvijaju. Rješenja dostupna na tržištu još uvijek nisu u potpunosti testirana na svim granama industrije. Stoga je nova rješenja potrebno testirati i analizirati kako bi se dobio uvid u kompletan utjecaj na procese. Za gotovo svaki proces koji zahtjeva unaprjeđenje postoji više rješenja, stoga je na poduzećima je odabir najisplativijeg. Analiza isplativosti svakog rješenja nije jednostavna jer je za punu sliku potrebno uključiti brojne faktore. Općenito, unaprjeđenje koje donosi malo povećanje produktivnosti, ali zadržava troškove na sličnoj ili nižoj vrijednosti daleko je isplativije od rješenja koje donosi veću produktivnost ali i jednako toliko povećanje troškova. U nastavku će biti predstavljeni KPI-jevi (eng. *Key Performance Indicator*) odnosno ključni pokazatelji učinkovitosti.

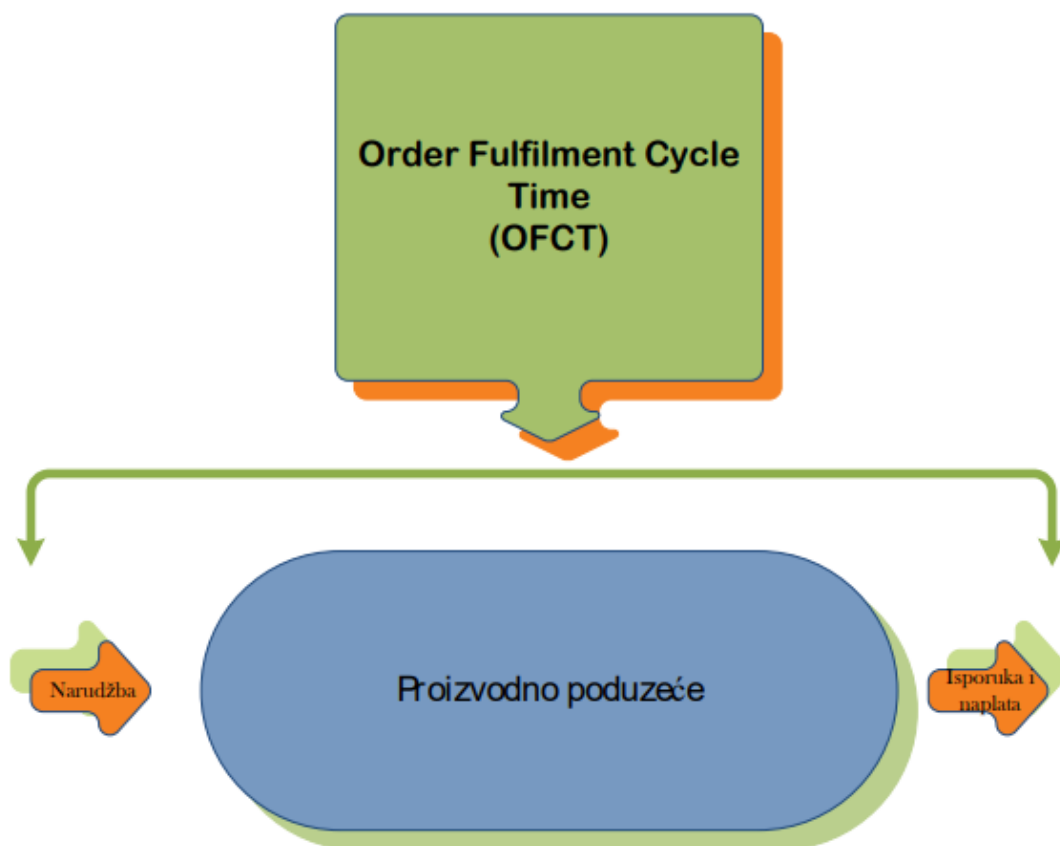
Ključni pokazatelji uspješnosti mogu pomoći uvođenju, a zatim dosljednom razvoju i optimizaciji procesa tako da se poduzeće transformira uz istodobno održavanje produktivnosti u tri propisana područja. Pored financijskih KPI-jeva, KPI-ovi koji se odnose na operativne strojeve i opremu, te KPI-ova iz poslovne i kupčeve perspektive, brojni drugi KPI-ovi iz drugih područja igraju važnu ulogu, posebno s organizacijskog stajališta.

Jedan od ključnih pokazatelja koji se koristi za procjenu performansi tvrtke je prodajna produktivnost, drugim riječima prodaja po zaposlenom kao pokazatelj profitabilnosti i stvaranja vrijednosti tvrtke. Međutim, ovaj pokazatelj ne govori nam ništa o stvarnoj produktivnosti stvaranja vrijednosti jer sadrži cijenu plaćenu za proizvode ili usluge tvrtke, ali ne i ulaz koji je potreban za njihovo stvaranje. Na ove, prilično grube, procjene produktivnosti snažno utječu pokazatelji unutar tvrtke. Oni imaju ključni utjecaj kada je u pitanju poduzimanje ciljanih koraka za optimizaciju poslovnih procesa. S jedne strane, to uključuje

metrike procesa kao što su vrijeme obrade (proizvodnja i narudžba), kao i oštećenja, nedostaci i pritužbe, pouzdanost isporuke i mogućnosti isporuke. Zajedničko je svim tim pokazateljima da oni predstavljaju ne samo produktivnost, već i dvije dodatne dimenzije u trijadi primarnih ciljeva, a to su kvaliteta i vrijeme [27]. Za procjenu 3 rješenja za unaprjeđenje koja su objašnjena u ovom radu, koristit će se 3 KPI-ja. To su: OFCT, FPY, OEE.

5.6.1. Vrijeme isporuke - OFCT

Vrijeme isporuke ili OFCT (eng. *Order fulfilment cycle time*) je KPI koji mjeri proteklo vrijeme od trenutka narudžbe proizvoda od strane kupca do trenutka isporuke proizvoda kupcu. Za računanje ukupnog vremena zbrajaju se 3 komponente, a to su: vrijeme pripreme proizvodnje, vrijeme izrade proizvoda i vrijeme isporuke. OFCT je izuzetno bitan pokazatelj koji prati cjelokupan proces. Međutim, vrijeme trajanja operacija može biti samo 5% od ukupnog vremena isporuke stoga je i taj omjer potrebno uzeti u obzir [28]. Na slici 42. prikazana je ilustracija vremena koja su obuhvaćena OFCT pokazateljem.



Slika 42. Grafički prikaz OFCT pokazatelja [28]

U poduzeću PIMS Elektro Oprema ovaj pokazatelj može biti iznimno koristan kod evaluacije unaprjeđenja. Rezultati sva tri unaprjeđenja bit će vidljiva nakon analize ovim pokazateljem. Očekivano ubrzanje proizvodnje uvođenjem digitalnog praćenja montaže iznosi 12%. Međutim zbog relativno velikog vremena isporuke u odnosu na vrijeme proizvodnje ovaj pokazatelj će pokazati daleko manju vrijednost unaprjeđenja pa i to treba uzeti u obzir prilikom evaluacije.

5.6.2. Prinos prvog prolaza - FPY

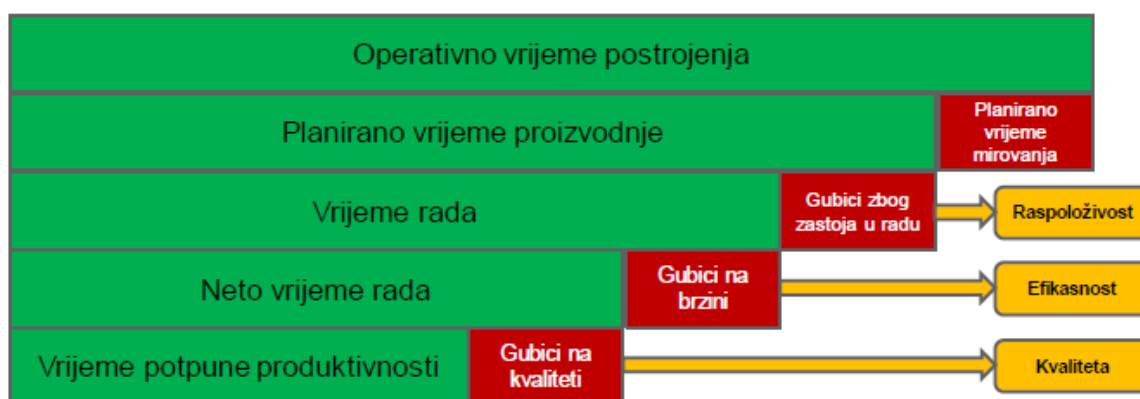
Prinos prvog prolaza ili FPY (eng. *First pass Yield*) je pokazatelj kojim poduzeće ima uvid u postotke dijelova koji prolaze kroz proces bez ikakvih problema (prerada ili škartnih dijelova). Drugim riječima, FPY daje tvrtkama dobar uvid u internu učinkovitost operativnih procesa. Za potpunu iskoristivost ovog pokazatelja, FPY je potrebno mjeriti na svakom koraku procesa. Podaci za analizu mogu se skupljati automatski (uz pomoć senzora) ili ručno u odjelu kontrole kvalitete. Pojednostavljeno, za prikupljanje podataka broje se dijelovi odnosno komadi koji su prošli kroz operaciju bez poteškoća te se dijele s ukupnim brojem komada koji su ušli u operaciju. Konačan cilj je što veći postotak uspješnosti, a idealna proizvodnja po FPY je ona u kojoj je konačna vrijednost 100% [28].

U PIMS Elektro Opremi ovaj pokazatelj se može primijeniti na gotovo svakoj operaciji. Ovaj pokazatelj je idealan za mjerenje uspješnosti implementacije vertikalne integracije budući da se za izračun koriste podaci sa senzora odnosno kamera. Primarno, cilj je testirati prijedloge iznesene u ovom radu. To će se provesti tako da se prvo izmjeri FPY prije optimiziranja. Nakon implementacije industrijskih kamera za očitavanje barkoda i povezivanja stroja za printanje po žici potrebno je ponovno provesti mjerenje FPY vrijednosti. Do povećanja efikasnosti će sigurno doći međutim potrebno je provjeriti koliko je stvarno unaprjeđenje.

5.6.3. Ukupna učinkovitost opreme – OEE

Ukupna učinkovitost opreme (eng. *Overall Equipment Effectiveness*) složeni je KPI koji mjeri izlaz temeljen na kapacitetu, uzimajući u obzir raspoloživost, efikasnost i kvalitetu procesa. OEE sakuplja više gubitaka izlaza te ih spaja u jedan koeficijent koji reducira kompleksne probleme proizvodnje u intuitivni izvor informacija za ukupnu efikasnost proizvodnje.

U nastavku je pojašnjeno korištenje OEE analize. Analiza započinje mjerenjem operativnog vremena postrojenja, a to se odnosi na vrijeme tijekom kojeg će pogon biti otvoren i dostupan za proizvodnju određenog proizvoda. Idući korak je prikupljanje podataka o planiranom vremenu proizvodnje. Ovo vrijeme se odbija od operativnog vremena postrojenja te uključuje sve događaje koji se trebaju izuzeti iz OEE analize jer za to vrijeme nije bilo planirane proizvodnje (primjerice pauze, obroci, planirano održavanje). Vrijeme koje ostane nakon odbijanja planiranog vremena mirovanja je planirano vrijeme proizvodnje. Nakon toga započinje proizvodnje i mjeri se vrijeme rada koje se bilježi automatski u GoSoftu. Sve ostale vrijednosti dobivaju se izračunom. OEE razmatra gubitke koji se javljaju tijekom proizvodnje i pokušava naći način kako ih smanjiti. Standardne kategorije gubitaka koje ulaze u planirano vrijeme proizvodnje su: zastoji u radu, gubici na brzini, te gubici na kvaliteti [28]. Cjelokupan proces prikazan je na slici 43.



Slika 43. Grafički prikaz OEE pokazatelja [28]

Ovaj pokazatelj je najvažniji pokazatelj koji može procijeniti predložena unaprjeđenja u PIMS Elektro Opremi. Nakon provedbe ove analize vidjeti će se koje operacije je moguće dodatno unaprijediti. OEE daje potpuni uvid u raspoloživost strojeva, efikasnost te stupanj kvalitete svake operacije. Konačan cilj je maksimizirati vrijeme u potpune produktivnosti eliminirajući gubitke iz prethodno navedena tri područja. Raspoloživost uzima u obzir gubitke zbog zastoja u radu, efikasnost gubitke zbog brzine, a kvaliteta gubitak na kvaliteti. Ovim područjima pokrivena su sva glavna područja optimizacijom kojih se postižu najznačajniji rezultati.

6. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući razvoju različitih tehnologija, ponajprije razvijenih u IT sektoru, otvara se mogućnost za implementaciju digitalnih tehnologija koje karakterizira povećanje efikasnosti i produktivnosti te priprema podataka za različite analize.

Prva ERP rješenja pojavila su se na tržištu 1980 – tih godina i tada su to bili jednostavni softveri s ograničenim mogućnostima. Zbog unaprjeđenja softvera, razvoja novih modula i brojnih nadogradnji ERP sustavi su postali neizostavni dio svake moderne tvornice. Međutim, razvojem industrije i unaprjeđenjem proizvodnje javlja se i potreba za nadogradnjom softvera. Za efikasnu nadogradnju softvera prvo je potrebno ispravno postaviti procese u proizvodnji. Drugim riječima, trenutni procesi se moraju ispitati i po potrebi prilagoditi novim standardima. Tek nakon toga, moguće je unaprijediti softver čija će nadogradnja povećati efikasnost samog procesa. Današnja industrija zahtjeva nove značajke koje prije nisu bile ostvarive odnosno industrija treba ERP 4.0.

U ovom radu prikazana su dva poduzeća koja svakodnevno unaprjeđuju svoj način proizvodnje. Implementacijom GoSofta otvorila se mogućnost za druga unaprjeđenja pa je digitalizacija logičan slijed. Implementacija GoSofta donijela je između ostalog smanjenje škarta, povećanje produktivnosti, povećanje protoka informacija, planiranje proizvodnje, praćenje proizvodnje u realnom vremenu i ostale. Konkretni podaci govore o smanjenju potrošenog vremena od 30 do 40% odnosno značajnim povećanjem produktivnosti. Digitalizacija kompletne proizvodnje je izvediv, ali dugotrajan projekt. Taj proces se sastoji od velikog broja manjih projekata koje je potrebno ispuniti.

U ovom radu predstavljena su tri rješenja koja su u skladu s Industrijom 4.0 i digitalizacijom. Montažnu liniju u PIMS Elektro Opremi potrebno je unaprijediti uvođenjem kamera koje automatski čitaju barkod artikla. Sustav preko kamera može točno odrediti poziciju svakog proizvodnog artikla što omogućava bolje planiranje i upravljanje proizvodnjom. Konkretni podaci govore kako se ovim unaprjeđenjem produktivnost može povećati za 12% što je odličan rezultat. Drugo rješenje predlaže direktno povezivanje softvera koji upravlja radom stroja i ERP sustava čime bi se ostavilo smanjenje škarta, dostupnost svih informacija sa stroja u realnom vremenu te mogućnost da ERP prepozna pravi trenutak za operaciju održavanja stroja i oslobodi mjesto u rasporedu. Planiranjem održavanja smanjilo bi se

vrijeme zastoja i nedostupnosti stroja. Boljim planiranjem radnih naloga udio škarta smanjuje se s 14% na 4% što je također veliki napredak.

Poduzeća Metalprofit i PIMS Elektro Oprema prepoznala su sve prednosti uvođenja digitalizacije i ostalih modernih tehnologija. Iako pogoni nisu u potpunosti digitalizirani, nove tehnologije se implementiraju čim se pokaže potreba za unaprjeđenjem. Na primjeru ovih dvaju poduzeća vidljivo je da se može uvesti ne samo ERP sustav već i sama digitalizacija pogona. Za razliku od Bosne i Hercegovine, u Hrvatskoj bi ovakav način unaprjeđenja proizvodnje trebao biti i isplativiji budući da su domaćim poduzećima na raspolaganju EU fondovi. Broj poduzeća u Hrvatskoj koja su usmjerena prema napretku i ispunjavanju standarda moderne proizvodnje mora se povećati. Implementacijom suvremenih tehnologija i otvaranjem novih pametnih tvornica otvaraju se brojne mogućnosti za razvoj gospodarstva i povećanje konkurentnosti na drugim tržištima što rezultira povećanjem životnog standarda svih nas.

LITERATURA

- [1] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Felf, T., Hoffmann, M.: *Industry 4.0, Business & Information System Engineering*, 2014.
- [2] Amit, J., What is Industry 4.0 and Why is it Important?, <https://trunovate.com/blog/what-is-industry-4-0-and-why-its-important/>, 23.11.2019.
- [3] Veža, I., *Industrija 4.0 – novi strojarski izazov*, https://bib.irb.hr/datoteka/830338.Strojarski_izazov_SB_Veza.pdf, 24.11.2019.
- [4] Hofmann, E., Rüsch, M.: *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*, Computer in Industry, 2017.
- [5] Roland Berger Strategy Consultants, *INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed*, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf, 24.11.2019.
- [6] Jazdi, N.: *Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0*, IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014.
- [7] Sagioglu, S., Sinanc, D.: *Big Data: A Review*, International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013.
- [8] edureka , <https://www.edureka.co/blog/machine-learning-and-big-data/>, 3.12.2019.
- [9] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M.: *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 2014.
- [10] Chrysosolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., Georgoulas, K.: *Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook*, Journal of Engineering Manufacture, 2009.
- [11] Rusković, N., *Što zapravo je RFID?*, <https://blog.spica.com/cro/sto-zapravo-je-rfid/>, 7.12.2019.
- [12] Lisjak, D.: *ERP Enterprise Resource Planning*, 2018.
- [13] Lisjak, D.: *Uvod u poslovne informacijske sustave (PIS) i poslovno odlučivanje*, 2018.
- [14] GoInfoZG , <https://www.goinfo.si/hr>, 12.12.2019.
- [15] Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., Zhang, C.: *Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination*, Computer Networks, 2016.
- [16] Shrouf, F., Ordieres, J., Miragliotta, G.: *Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approach in production based on the Internet of Things paradigm*, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014.
- [17] Vaidya, S., Ambad, P., Bhosle, S.: *Industry 4.0 – A Glimpse*, 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, 2018.
- [18] Stock, T., Seliger, G.: *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, 2016.

- [19] Baumgardt, I., *Making Source Sensor Data & Information Available Globally – Industry 4.0*, <https://metrology.news/making-source-sensor-data-information-available-globally-industry-4-0/>, 28.12.2019.
- [20] Pérez, F., Irisarri, E., Orive, D., Marcos, M., Estevez, E.: *A CPPS Architecture approach for Industry 4.0*, IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2015.
- [21] Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D.: *Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems*, German Research Center for Artificial Intelligence, 2018.
- [22] PIMS Elektro Oprema, <http://pims-elektro-oprema.com/>, 16.12.2019.
- [23] PIMS Elektro Oprema, <https://www.facebook.com/pimselektrooprema/posts/1961765130520988/>, 15.12.2019.
- [24] Industrial automation enabled by robotics, machine intelligence and 5G, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/industrial-automation-enabled-by-robotics-machine-intelligence-and-5g>, 02.01.2020.
- [25] DT Research, *Industrial Automation and the Rugged Tablet*, <https://dtresearch.com/blog/2016/08/10/industrial-automation-and-the-rugged-tablet/>, 28.12.2019.
- [26] COGNEX, <https://www.cognex.com/>, 28.12.2019.
- [27] Bauer, W., Hammerle, M., Schlund, S., Vocke, C.: *Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0”*, Procedia Manufacturing, 2015.
- [28] Tošanović, N., Hegedić, M.: *Proizvodni menadžment*, 2017.

PRILOZI

I. CD-R disk