

# Primjena koncepata industrije 4.0 u optimizaciji poslovnih procesa tvrtke Zoller

---

Palajsa, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2025

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:721725>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-21**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Ivan Palajsa**

Zagreb, 2025. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Petar Ćurković, dipl. ing.

Student:

Ivan Palajsa

Zagreb, 2025. godina.

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Petru Ćurkoviću, na savjetima, uloženom vremenu, primjedbama i korekcijama koje su pomogle u izradi ovog rada, također cijeloj svojoj obitelji, svim kolegama, djevojci i prijateljima na potpori koju su mi pružili tijekom cijelog studija i pisanja ovog diplomskog rada.

U Zagrebu, 30. siječnja 2025.

Ivan Palajsa



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 25 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Palajsa**

JMBAG: 0035207688

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena koncepata industrije 4.0 u optimizaciji poslovnih procesa tvrtke Zoller**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of industry 4.0 concepts in the optimization of business processes at Zoller**

Opis zadatka:

Tema ovog diplomskog rada usmjerena je na istraživanje primjene koncepta Industrije 4.0 u optimizaciji poslovnih procesa u tvrtki Zoller, koja je poznata po inovativnim rješenjima u području upravljanja alatima i mjernim sustavima. Industrija 4.0 predstavlja suvremeni trend u proizvodnji i poslovanju, temeljen na integraciji pametnih tehnologija poput Interneta stvari (IoT), cyber-fizičkih sustava (CPS), umjetne inteligencije (AI) i analize velikih skupova podataka (Big Data).

Rad ima za cilj analizirati trenutnu razinu umreženosti, digitalizacije i automatizacije procesa unutar tvrtke Zoller na konkretnom slučaju praćenja i upravljanja alatima primjenom Zoller Tool Management okolinom. Potom je potrebno predložiti konkretne strategije, alate i tehnologije s ciljem daljnjeg unaprjeđenja ove okoline i njenom dubljom integracijom s ostalim poslovnim procesima.

U diplomskom radu također treba obuhvatiti pregled ključnih pojmova i tehnologija Industrije 4.0, analizu postojećih poslovnih procesa u tvrtki te evaluaciju potencijalnih koristi i izazova implementacije novih tehnologija.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

28. studeni 2024.

30. siječnja 2025.

6., 7. i 10. veljače 2025.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Petar Čurković

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
1. UVOD.....	1
2. ZOLLER KROZ POVIJEST .....	2
2.1 Prednamještanje i mjerenje .....	3
2.2 Inspekcija alata .....	5
2.3 Balansiranje alata .....	8
2.4 Termo – stezanje alata.....	9
3. INDUSTRIJA 4.0 .....	12
3.1 Segmenti Industrije 4.0 .....	13
3.2 Pametne tvornice .....	24
3.2.1. Značajke pametnih tvornica .....	25
3.2.2. Konfiguracija pametnih tvornica.....	25
3.2.3. Razine spremnosti tvornica .....	26
3.2.4. Planiranje tehnoloških procesa.....	28
4. Razina umreženosti, digitalizacije i automatizacije unutar tvrtke Zoller .....	30
4.1 Zoller TMS (Tool Management Solutions) softver.....	31
4.2 Prijenos podataka .....	32
4.3 Zoller autonomni sustavi .....	37
4.4 Softver „Flash“ .....	38
4.5 Pametni ormarići za upravljanje alatima .....	39
5. Daljnje unaprjeđenje tvrtke Zoller korištenjem koncepata Industrije 4.0 .....	42
5.1 Sustav umjetne inteligencije za prediktivno održavanje alata.....	42
5.2 Automatizacija procesa izmjene alata termo - stezanjem .....	43
6. ZAKLJUČAK.....	45
7. LITERATURA .....	46

**POPIS SLIKA**

Slika 1. - Raširenost Zollera u svijetu [1].....	3
Slika 2. - vertikalni Zoller uređaj [2].....	4
Slika 3. - horizontalni Zoller uređaj [2].....	4
Slika 4. - "PomBasic" uređaj [3] .....	5
Slika 5. - Uređaj "SmartCheck" s rotacijskom kamerom za inspekciju alata [3].....	6
Slika 6. - automatska kontrola reznih rubova alata [3] .....	6
Slika 7. - usporedba nominalne i stvarne konture alata pomoću "Lasso" funkcije [3] .....	7
Slika 8. - Softver "Metis"[3] .....	7
Slika 9. - Postupak balansiranja alata [2] .....	8
Slika 10. - "PowerShrink" [2].....	9
Slika 11. - Indukcijska zavojnica za termo – stezanje [2] .....	10
Slika 12. - Postupak hlađenja držača alata [2] .....	10
Slika 13. - "Redomatic" [2] .....	11
Slika 14. - Industrija 4.0 [4] .....	12
Slika 15. - Segmetni Industrije 4.0.....	13
Slika 16. - Kuka kolaborativni robot [7] .....	16
Slika 17. - Pogon industrije opremljen autonomnim robotima [8] .....	17
Slika 18. - Podjela umjetne inteligencije [13] .....	21
Slika 19. - Pet najznačajnijih karakteristika "Big Data"[14].....	23
Slika 20. - Pametna tvornica integrirana i umrežena u sustav [16].....	24
Slika 21. - Razine spremnosti tvornica.....	27
Slika 22. - Tehnologije kod pametne tvornice [16].....	28
Slika 23. - Povezanost cijelog procesa proizvodnje .....	30
Slika 24. - Zoller uređaj sa RFID sustavom za pisanje/čitanje [18].....	33
Slika 25. - RFID čitač u obradnom centru [18].....	33
Slika 26. - Mjerenje dužine alata na vrhu svrdla.....	34
Slika 27. - pretvaranje podataka o alatu u programski kod .....	35
Slika 28. - Vrijeme potrošeno za unos podataka za 6 alata [18] .....	36
Slika 29. - Prijenos podataka o alatu putem ZidCode-a [18] .....	36
Slika 30. - uređaj "RoboSet" [19].....	37

---

Slika 31. - Softver za upravljanje paletama.....	38
Slika 32. - Praćenje proizvodnog procesa putem softvera "Flash" [18].....	39
Slika 33. - Zollerov "Keeper" pametni ormar za upravljanje alatima [18] .....	40
Slika 34. Zoller "Z – Tower“ [18].....	41



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. - Primjeri korištenja umjetne inteligencije ..... 20

Tablica 2. - Razine spremnosti tvornica [17] ..... 27

**SAŽETAK**

U ovom radu istraženi su koncepti Industrije 4.0 u optimizaciji poslovnih procesa tvrtke Zoller. Predstavljena je tvrtka Zoller, te su opisane tehnologije koje se primjenjuju kao dio četvrte industrijske revolucije. Nadalje, prikazana je trenutna razina umreženosti, digitalizacije i automatizacije procesa unutar tvrtke Zoller. Na kraju su prikazane dvije ideje za daljnje unaprjeđenje Zollerovih proizvoda korištenjem koncepata Industrije 4.0.

Ključne riječi: Industrija 4.0, Zoller, Pametna tvornica, Umjetna inteligencija, Internet stvari

**SUMMARY**

This paper explores the concepts of Industry 4.0 in optimizing the business processes of Zoller company. The company Zoller is introduced, and the technologies applied as part of the Fourth Industrial Revolution are described. Furthermore, the current level of connectivity, digitalization, and process automation within Zoller is presented. Finally, two ideas for further improvement of Zoller's products using Industry 4.0 concepts are proposed.

Key words: Industry 4.0, Zoller, Smart Factory, Artificial Intelligence, Internet of Things

## 1. UVOD

Industrija 4.0, poznata kao četvrta industrijska revolucija, donosi napredne tehnologije poput Interneta stvari (IoT), umjetne inteligencije (AI), strojnog učenja, autonomnih robota i analitike podataka u proizvodne i poslovne procese. Ovi koncepti pružaju niz prednosti koje značajno unapređuju produktivnost, učinkovitost i fleksibilnost poslovanja. U tom kontekstu, njemačka tvrtka Zoller GmbH & Co. KG izdvaja se kao globalni lider u razvoju rješenja za upravljanje alatima, mjerenje i prednamještanje, koja su neizostavni dio suvremenih proizvodnih sustava.

Zoller je dugi niz godina sinonim za preciznost i inovacije u industriji alatnih strojeva, a svojim rješenjima omogućuje tvrtkama širom svijeta optimizaciju njihovih proizvodnih procesa. Njihovi napredni uređaji i softverski alati osiguravaju visoku točnost u radu, ali i aktivno podupiru digitalnu transformaciju, koja je srž Industrije 4.0. Integracija Zollerovih proizvoda s IoT tehnologijama, analitikom podataka i pametnim sustavima upravljanja alatima pokazuje kako je moguće stvoriti povezan, automatiziran i inteligentan proizvodni ekosustav.

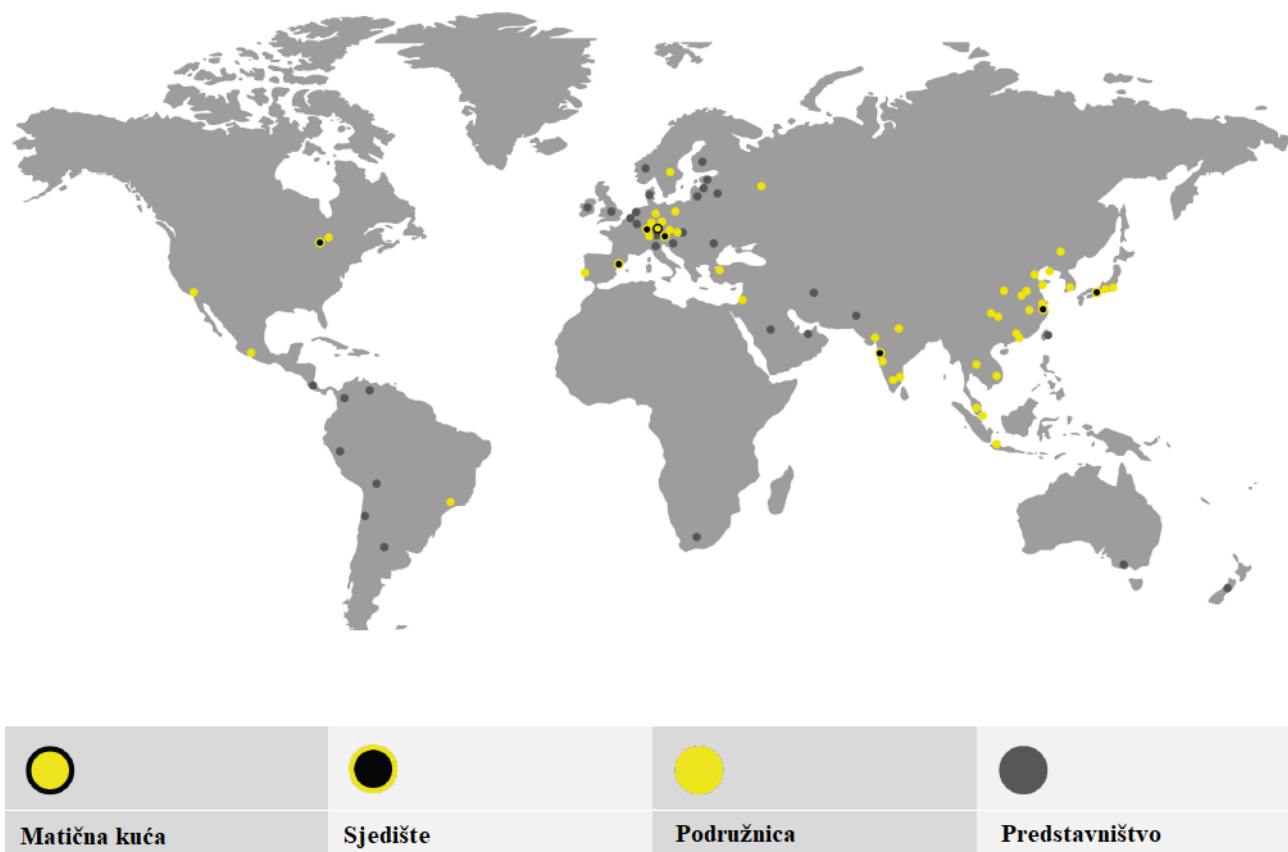
Cilj ovog rada je istražiti kako Zoller implementira principe Industrije 4.0 u svoje proizvode i rješenja, analizirati njihov doprinos suvremenim industrijskim procesima te predložiti daljnje smjerove razvoja koji bi tvrtki omogućili još značajniju ulogu u globalnoj industriji. Kroz razmatranje ključnih tehnologija poput digitalizacije alata, automatizacije procesa i povezanosti uređaja, ovaj rad pokazuje kako Zoller transformira tradicionalne proizvodne modele u pametne tvornice budućnosti.

---

## 2. ZOLLER KROZ POVIJEST

Zoller GmbH njemačka je tvrtka, te vodeći svjetski proizvođač mjernih strojeva te uređaja za umjeravanje alata za CNC alatne strojeve. Korijeni Zollera sežu u 1945. godinu kada je osnivač Alfred Zoller osnovao tvrtku u mjestu Pleidelsheim blizu Stuttgarta. Tvrtka je prvotno počela s proizvodnjom alata za mjerenje preciznosti, a glavni fokus bio je na razvoju uređaja koji će omogućiti preciznu kontrolu i postavljanje alata za obradu metala. U početnim godinama, tvrtka se specijalizirala za razne uređaje za mjerenje dimenzija alata i omogućavanje preciznog postavljanja alata na CNC strojeve. 1970-ih godina počeli su razvijati vlastite sustave za postavljanje alata (poznate kao „tool presetting systems“). Ovi sustavi omogućili su operaterima da precizno postavite alate prije nego što su ih stavili na CNC strojeve, čime su smanjeni gubici vremena na postavkama i povećana preciznost obrade. Početkom 1990-ih Zoller je širio svoje poslovanje na međunarodna tržišta. Otvorena su brojna predstavništva u Europi, Sjedinjenim Američkim Državama i Aziji, te je Zoller postao globalni igrač u industriji alata, i to ne samo zbog kvalitete svojih proizvoda, već i zbog svoje sposobnosti da ponudi integrirane sustave za mjerenje i postavljanje alata koji su usklađeni s najnovijim tehnologijama. U 2000-ima, tvrtka je nastavila ulagati u digitalizaciju i automatizaciju svojih proizvoda. Razvijeni su sofisticirani softverski sustavi koji omogućuju praćenje i upravljanje alatima u stvarnom vremenu. Danas Zoller nudi kompletan portfelj rješenja za prednamještanje, mjerenje, inspekciju, balansiranje, upravljanje alatom, te je proširio svoje djelovanje na 85 mjesta u više od 60 država. (Slika 1.)

Zoller i dalje ulaže u inovacije, s naglaskom na povećanje efikasnosti i preciznosti u proizvodnji, čime pomaže industrijama poput automobilske, zrakoplovne, metaloprerađivačke i mnogim drugim. Poznati su po svojoj viziji pružanja visokokvalitetnih i preciznih rješenja koja omogućuju veću produktivnost i smanjenje troškova za svoje korisnike. Tvrtka ostaje usmjerena na stalno usavršavanje svojih proizvoda i usluga te na jačanje svoje globalne prisutnosti. Njihov uspjeh temelji se na njegovoj sposobnosti da prepozna potrebe tržišta i brzo se prilagodi novim tehnologijama, čime je postao sinonim za visoku preciznost i inovacije u industriji alata. [1]



Slika 1. - Raširenost Zollera u svijetu [1]

## 2.1 Prednamještanje i mjerenje

Moderni CNC alatni strojevi zahtijevaju točne podatke o geometriji alata kako bi se proizvodi precizno obradili. Zoller uređaj određuje podatke o geometriji alata izvan obradnog centra, te time štedi mnogo vremena jer stroj može započeti sa obradom proizvoda, a u isto vrijeme operater može započeti sa pripremom idućeg alata. Jednom kada umetnete alat u CNC stroj odmah se učitavaju podaci izmjereni na Zoller uređaju. Moderne tehnologije na Zoller uređaju omogućuju elektronski prijenos podataka na CNC strojeve, time su pogreške u tipkanju izmjerenih vrijednosti gotovo nemoguće. Zahvaljujući ispravno pripremljenim alatima kvaliteta proizvedenih dijelova se povećava, a mogućnost sudara CNC stroja se smanjuje. Prednost ovih profesionalnih uređaja za prednamještanje i mjerenje također leži i u njihovom jednostavnom, sigurnom i ergonomskom rukovanju.

Zoller uređaji imaju intuitivno korisničko sučelje s automatskom identifikacijom vrste i oblika reznog alata, mogućnost pomicanja samo jednom rukom i membransku tipkovnicu za aktivaciju stezanja vretena. Operateri nemaju problema s usvajanjem tehnike, a softver je sam po sebi razumljiv. [2]

Prema načinu orijentacije alata razlikujemo dvije vrste Zoller uređaja:

- Vertikalni ( Smile, Smile Compact, Venturion, Smart Check itd.)( Slika 2.)
- Horizontalni ( Hyperion ) (Slika 3.)



**Slika 2. - vertikalni Zoller uređaj [2]**



**Slika 3. - horizontalni Zoller uređaj [2]**

## 2.2 Inspekcija alata

Inspekcija alata važna je kako bi se kontrolirala kvaliteta proizvoda. Također spremljeni izvještaj o alatu proizvođač može priložiti kupcu kao dokaz o kvaliteti njihova proizvoda. Zoller nudi mogućnost inspekcije alata svih vrsta, bilo da se radi o standardnom ili specijaliziranom alatu.

Jedan od istaknutih modela je „PomBasic“ (Slika 4.), kompaktni mjerno-inspekcijski uređaj za mjerenje i inspekciju alata poput svrdala, glodala i upuštača. koji se može fleksibilno koristiti u različitim okruženjima, poput brusionica, ulazne kontrole ili mjernih laboratorija. Automatsko optičko prepoznavanje rubova osigurava visoku točnost mjerenja, uz visokokvalitetne kamere i automatsku kontrolu osvjetljenja.



Slika 4. - "PomBasic" uređaj [3]

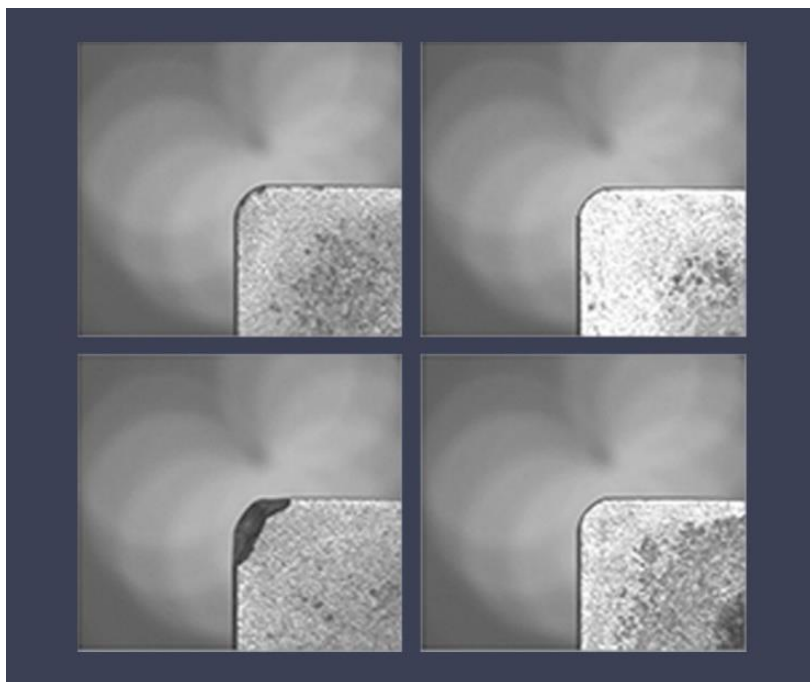
Naprednije mogućnosti nudi uređaj „SmartCheck“ (Slika 5.) koji omogućuje sveobuhvatnu kontrolu alata, uključujući provjeru navoja i analizu reznih rubova uz visoku razlučivost. Dostupan je u ručnoj ili 3-osnoj CNC verziji, omogućujući učinkovitu kontrolu alata prije i nakon oštrenja, u skladu s DIN ISO 9000 smjernicama. Optički nosač s visokorezolucijskom industrijskom kamerom može se zakretati radi detaljnije inspekcije. Kamera omogućuje povećanje reznih rubova do 50 puta, što je idealno za inspekciju malih alata. Uređaj može

rukovati alatima duljine i promjera do 600 mm. Opremljen je softverom „pilot 4.0“ koji pruža intuitivno korisničko sučelje za učinkovito provođenje mjernih postupaka, te softverima „Lasso“ i „Metis“ za detaljnu analizu alata, pružajući sveobuhvatan uvid u kvalitetu alata.



**Slika 5. - Uređaj "SmartCheck" s rotacijskom kamerom za inspekciju alata [3]**

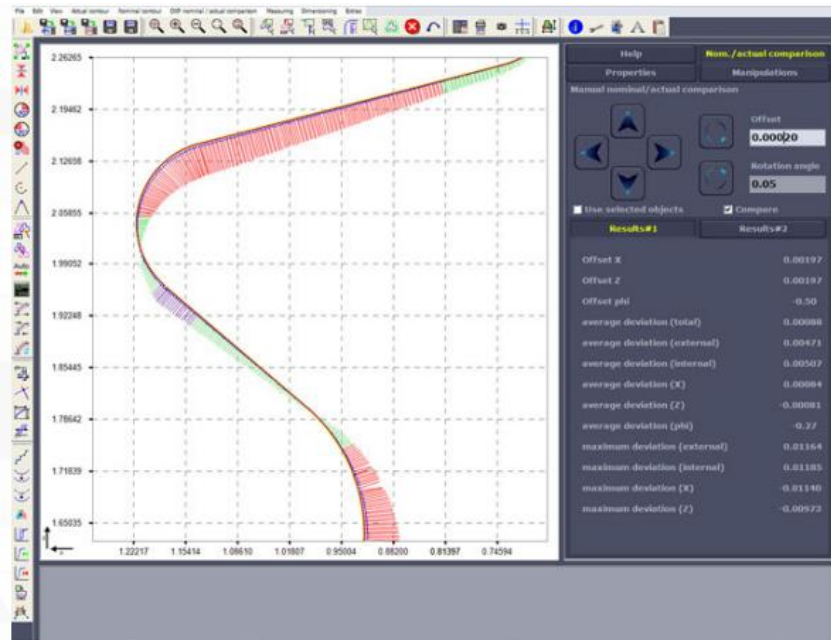
Pomoću kamere moguća je automatska kontrola jednog ili više reznih rubova alata. (Slika 6.)



**Slika 6. - automatska kontrola reznih rubova alata [3]**

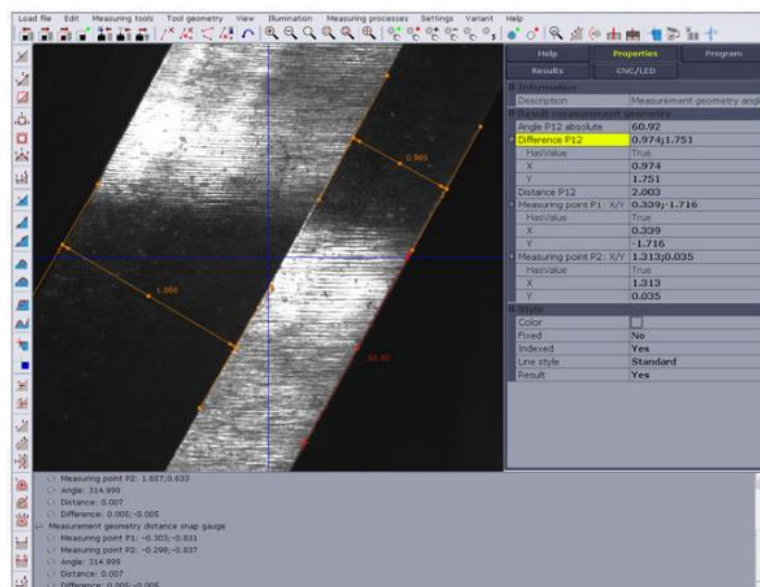


„Lasso“ (Slika 7.) je mjerni program za automatsku usporedbu nominalnih i stvarnih kontura bilo kojeg alata. Nakon što je kontura snimljena može se usporediti u potpunosti ili u segmentima, pri čemu se mogu definirati tolerancije za svaki segment.



Slika 7. - usporedba nominalne i stvarne konture alata pomoću "Lasso" funkcije [3]

Softver „Metis“ (Slika 8.) omogućuje mjerenje i dokumentiranje različitih kontura, radijusa, kutova, udaljenosti te detekciju nedostataka (poput istrošenosti) pomoću osvjetljenja odozgo. [3]

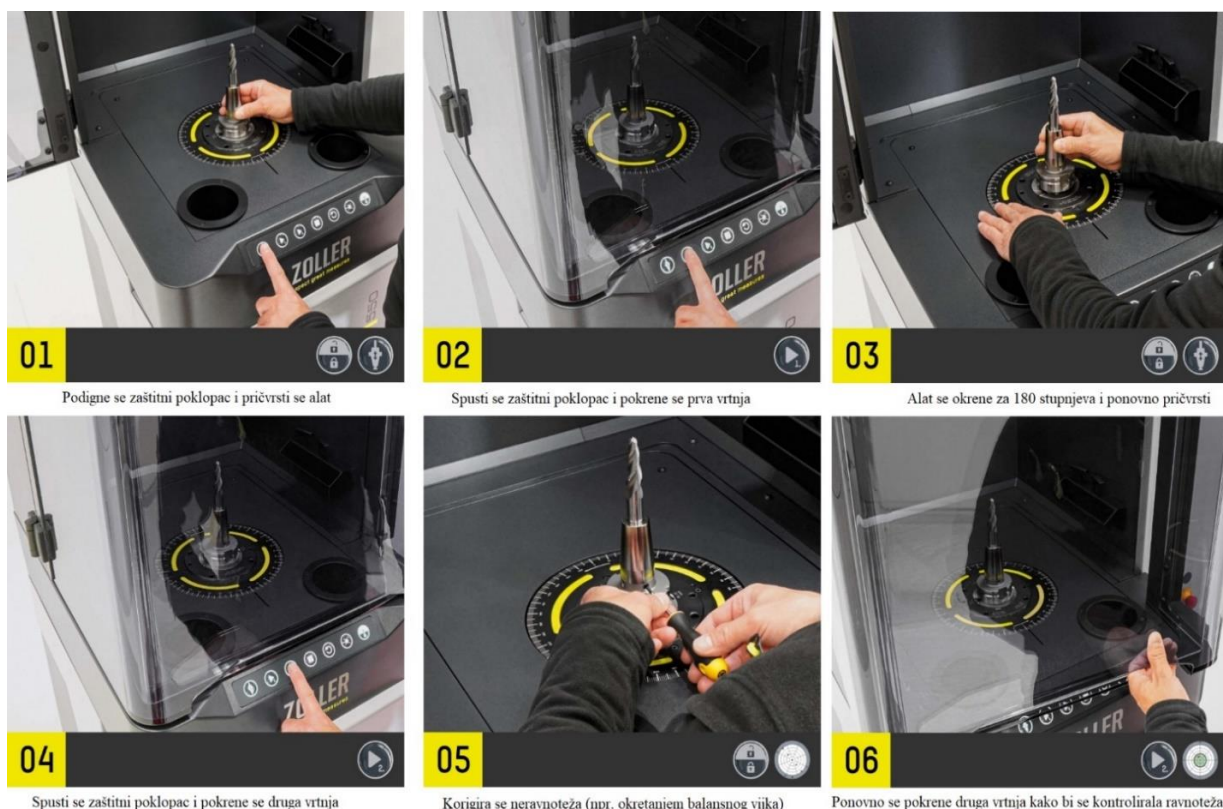


Slika 8. - Softver "Metis"[3]

## 2.3 Balansiranje alata

Neuravnoteženi alati uzrokovani su asimetričnim dizajnom i asimetričnom raspodjelom mase. S optimalno i visoko precizno balansiranim alatima postižete dulji vijek trajanja alata, dulje vrijeme rada vretena i bolju kvalitetu površine vaših proizvoda.

Zoller uređaji za balansiranje alata povećavaju pouzdanost procesa, poboljšavaju kvalitetu obrađenih komponenti, smanjuju troškove održavanja stroja i preventira kvarove stroja. Svojim strukturiranim grafičkim zaslonom intuitivno vodi operatera kroz proces mjerenja i balansiranja. Sve radnje za balansiranje dostupne su za korištenje putem odgovarajućih softverskih opcija, kao što je kompenzacija balansnim vijcima ili korištenje balansnih prstenova ili balansiranje uklanjanjem materijala kao što je bušenje ili glodanje. Zollerov uređaj za balansiranje alata posebno je popularan u industrijama gdje je visoka preciznost obrade ključna, kao što su automobilska industrija, aeronautika i precizna mehanika. Postupak balansiranja alata prikazan je na Slika 9. [2]



Slika 9. - Postupak balansiranja alata [2]

## 2.4 Termo – stezanje alata

Više je načina stezanja alata u držač: toplinsko, hidrauličko, pomoću stezne čahure, pomoću steznih čeljusti itd. Toplinsko stezanje alata je metoda preciznog stezanja alata (npr. glodala, svrdla) u držač pomoću toplinske ekspanzije i kontrakcije materijala. Ova metoda omogućuje sigurno, precizno i stabilno pričvršćivanje alata, osobito kod obrada koje zahtijevaju visoku točnost i brze rotacije. Toplinsko stezanje omogućuje iznimno nisku toleranciju pomaka alata, što rezultira visokom preciznošću obrade. Jednoliko stezanje smanjuje vibracije tijekom rada, što poboljšava kvalitetu površinske obrade i produžuje vijek trajanja alata, a postupak zagrijavanja i hlađenja traje samo nekoliko sekundi, što štedi vrijeme u proizvodnim procesima. Kod alata koji se stežu toplinski potrebno je zagrijati držač alata na visoku temperaturu pri čemu mu se povećava unutarnji promjer. Zagrijavanje se provodi elektromagnetskom indukcijom u zavojnici. Potom se alat stavlja u zagrijani i prošireni držač na točno određenu duljinu. Pri hlađenju na sobnu temperaturu držač se skuplja te se ostvaruje čvrsti stezni spoj. Kako su držači izrađeni od toplinski otpornog čelika, postupak je moguće ponoviti i više od 5 000 puta a da se ne izgubi visoka elastičnost materijala i ravnoteža spoja.

Zoller je za tu primjenu razvio uređaj „PowerShrink“ (Slika 10.) sa ugrađenim softverom koji omogućuje da se zagrijavanje i hlađenje alata odradi u kratkom vremenu uz minimalne troškove elektriciteta. [2]



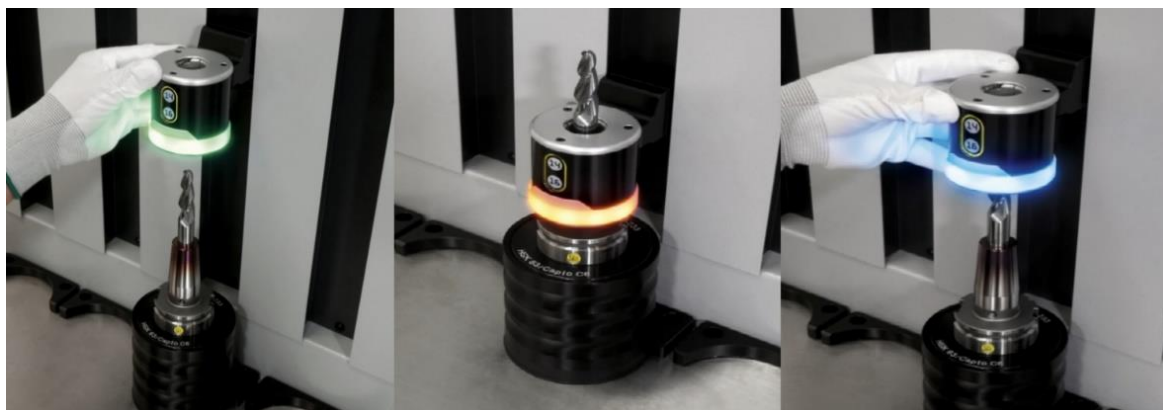
Slika 10. - "PowerShrink" [2]

Uređaj se sastoji od indukcijske zavojnice za termo – stezanje (Slika 11.) u kojoj se u kojoj se nalaze dva paralelno povezana svitka koje je moguće odvojeno aktivirati i primjenjivati obzirom na promjer stezanja i duljinu, tako je omogućen optimalan unos energije, u području stezanja, zagrijavanje i hlađenje se odvijaju brže, a držači alata su manje opterećeni. Stezanje alata traje manje od 10 sekundi, dok otpuštanje i hlađenje, ovisno o promjeru alata, traje do 40 sekundi, omogućujući pripremu alata za proizvodnju u manje od jedne minute. [2]



Slika 11. - Indukcijska zavojnica za termo – stezanje [2]

Za hlađenje se koriste čahure sa sustavom „cool-by-light“ koji korisnika vodi po pojedinim radnim koracima. Zelenom bojom se označava čahura koja se koristi, ovisno o promjeru. Nakon postavljanja čahure na držač alata pali se crvena boja koja označava da je proces hlađenja u tijeku. Paljenjem plave boje na čahuri označen je završetak hlađenja, te je alat spreman za sigurno rukovanje. [2]



Slika 12. - Postupak hlađenja držača alata [2]

Također, Zoller je razvio i „Redomatic“ (Slika 13.), univerzalni uređaj za namještanje i mjerenje alata s inovativnom tehnikom termo – stezanja. Obradni strojevi i automatizirana serijska proizvodnja zahtjeva precizno namještene alate za obradu. „Redomatic“ osigurava najvišu preciznost pri termo – stezanju, jer se uvijek namješta odgovarajuća duljina alata. „Redomatic“ kombinira optimalnu ergonomiju za operatera s jednostavnim korisničkim sučeljem i najvišom energetsom učinkovitošću. Toplina i energija dovode se točno na mjesto gdje su potrebni za sigurno termo – stezanje. Softver „Pilot4.0“ nudi program za vođenje procesa termo – stezanja s podešavanjem duljine alata, hlađenja, a na kraju nudi i mogućnost preciznog mjerenja alata. [2]



Slika 13. - "Redomatic" [2]



### 3. INDUSTRIJA 4.0

Industrija 4.0 smatra se logičnim nastavkom prethodne tri industrijske revolucije koju odlikuje značajna transformacija načina proizvodnje zahvaljujući digitalizaciji iste. U trećoj industrijskoj revoluciji predstavljena su računala, čime je dodana potpuno nova tehnologija koja je uvelike modernizirala proizvodnju. U Industriji 4.0 računala su povezana i međusobno komuniciraju kako bi na kraju donijeli odluke bez ljudskog sudjelovanja. Mreža ovih strojeva digitalno je povezana jedna s drugom te stvaraju i dijele informacije koje rezultiraju pravom snagom Industrije 4.0.

Povezani strojevi prikupljaju velik broj podataka koji mogu dati informacije o održavanju, performansama i drugim problemima, kao i analizirati te podatke kako bi identificirali obrasce i uvide koji bi čovjeku bili nemogući u razumnom vremenskom roku. Sve to proizvođačima nudi priliku da optimiziraju svoje poslovanje budući da znaju na što treba obratiti pažnju. Transformacija poslovnih modela u sklopu Industrije 4.0 dovodi do povećanja dobiti, smanjenja troškova, poboljšanih iskustva kupaca, inovacija.



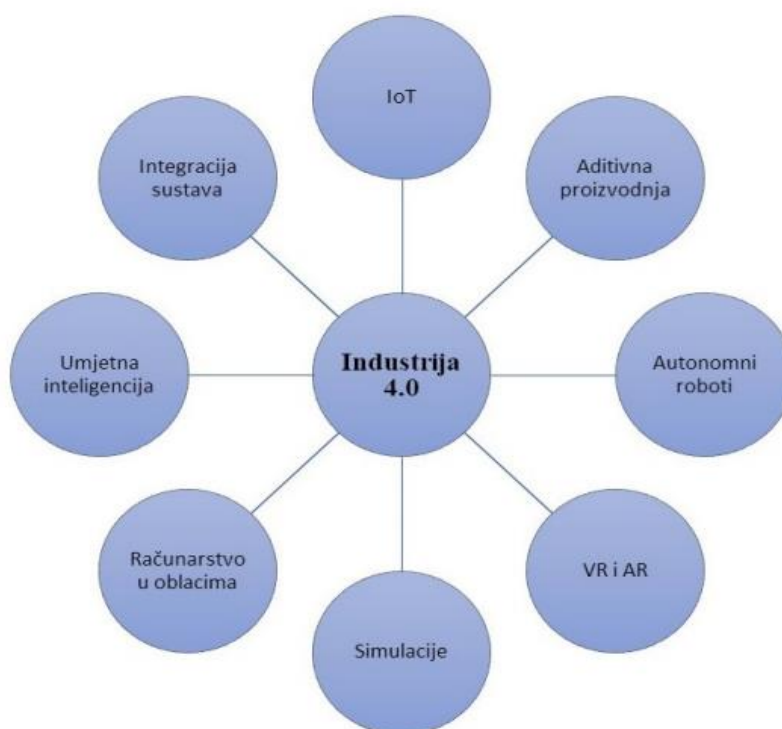
Slika 14. - Industrija 4.0 [4]

Danas mnoga poduzeća koriste tehnologije Industrije 4.0 u svom poslovanju, a krajnji cilj je postići da proizvodnja u potpunosti postane integrirana, autonomna, i optimizirana, tj. da se

razvije tzv. „pametna“ tvornica. To dovodi do veće efikasnosti, promjene tradicionalnih veza između dobavljača, proizvođača i kupaca, ali i između čovjeka i stroja. [4]

### 3.1 Segmenti Industrije 4.0

Industrija 4.0 ovisi o nizu inovativnih tehnologija kojima se teži do digitalizacije i automatizacije sustava. Svaki od tih segmenata Industrije 4.0 specifičan je na svoj način.



Slika 15. - Segmenti Industrije 4.0

#### 3.1.1. Internet stvari (IoT)

Pojam „Internet of Things“, skraćeno IoT, obuhvaća sve što je povezano s internetom, ali se sve više koristi za međusobno povezane uređaje, od jednostavnih senzora do kompleksnijih uređaja kao npr. autonomnih robota, koji su putem interneta povezani u istu mrežu. U uređaje su ugrađene softverske tehnologije čiji je cilj povezivanje s ostalim uređajima unutar mreže bez ljudske pomoći. Tako povezanim uređajima moguće je prikupljati informacije, analizirati ih i iskoristiti kako bi se riješio određeni problem. IoT transformira način na koji koristimo

---

tehnologiju, omogućujući veću efikasnost, praktičnost i personalizaciju u svim aspektima života. [4]

Ključne karakteristike Interneta stvari:

- **Povezivost:** IoT uređaji su povezani na internet, omogućujući dvosmjernu komunikaciju između uređaja i korisnika.
- **Senzori:** Većina IoT uređaja koristi senzore za prikupljanje podataka iz okoline (npr. temperatura, vlaga, lokacija, pokret).
- **Automatizacija:** IoT omogućava automatizaciju procesa, od kućanskih aparata (poput termostata) do industrijskih sustava.
- **Interoperabilnost:** Uređaji različitih proizvođača mogu međusobno komunicirati koristeći standardizirane protokole.

Najveće prednosti IoT uređaja su:

- **Veća produktivnost:** Automatizacija smanjuje ljudske pogreške i povećava produktivnost.
- **Ušteda:** Optimizacija energije, vremena i resursa na temelju analize podataka.
- **Bolja povezanost**

Izazovi i nedostaci IoT:

- **Sigurnost i privatnost:** IoT uređaji često su meta hakera zbog slabih sigurnosnih postavki.
- **Troškovi:** Implementacija IoT sustava, održavanje i nadogradnje zahtijevaju značajne financijske resurse.
- **Ovisnost o internetu:** Većina IoT uređaja ne može funkcionirati bez stabilne internetske veze.
- **Kompleksnost:** Upravljanje velikim brojem povezanih uređaja i podataka može biti složeno.

Industrijski Internet stvari (IIoT) predstavlja primjenu IoT tehnologija u industrijskim procesima s ciljem povećanja učinkovitosti, smanjenja troškova i optimizacije proizvodnje. Za razliku od šireg koncepta IoT-a, koji se često primjenjuje u potrošačkom sektoru (poput pametnih kuća), IIoT je specifično usmjeren na povezivanje strojeva, alata i sustava u



industrijskim okruženjima. IIoT omogućuje praćenje stanja strojeva u stvarnom vremenu pomoću senzora koji prikupljaju podatke o vibracijama, temperaturi, tlaku i drugim parametrima. Na temelju analize tih podataka, moguće je predvidjeti kvarove prije nego što se dogode, smanjujući zastoje i troškove popravka. [4]

### 3.1.2. Aditivna proizvodnja

Aditivna proizvodnja poznatiji kao 3D printanje je proces stvaranja trodimenzionalnih oblika iz digitalnog modela, pomoću softvera. Ova tehnologija omogućuje postepenu gradnju predmeta iz materijala poput plastike, metala, keramike itd. Za razliku od tradicionalnih metoda proizvodnje, poput rezanja ili oblikovanja materijala, aditivna proizvodnja koristi minimalno otpada i omogućuje stvaranje složenih oblika koji bi bili teško izvedivi tradicionalnim metodama. Koristi se u svim granama proizvodnje i omogućava bržu i jeftiniju izradu prototipova, personaliziranih proizvoda i manjih serija. Velika prednost aditivne proizvodnje je sposobnost da se postigne visoka razina preciznosti i ponovljivosti u proizvodnji, zbog toga što se proizvod stvara sloj po sloj, time je omogućena velika kontrola nad procesom proizvodnje. Aditivnom proizvodnjom smanjuje se otpad materijala, time čini proizvodnju ekološki prihvatljivom. Kao i svaka proizvodnja, tako i aditivna proizvodnja ima svoje nedostatke. Nedostaci ove proizvodnje su mala točnost dimenzija, velika površinska hrapavost proizvedenih dijelova, te visoki troškovi proizvodnje. Takav oblik proizvodnje ubrzano mijenja način proizvodnje u različitim industrijama zbog svoje preciznosti, ekonomičnosti i mogućnosti prilagodbe. [5]

Postoji nekoliko tehnologija koje se koriste u aditivnoj proizvodnji:

- **Fused Deposition Modeling (FDM):** Koristi plastične niti koje se talože sloj po sloj.
- **Selective Laser Sintering (SLS):** Koristi lasere za spajanje čestica praha plastike, metala ili keramike
- **Stereolitografija (SLA):** Laseri ili UV svjetlo očvršćuju tekuću smolu sloj po sloj.
- **Direct Metal Laser Sintering (DMLS):** Primjenjuje se za metalne komponente.
- **Electron Beam Melting (EBM):** Koristi elektronski snop za taljenje metalnog praha.

### 3.1.3. Roboti za automatizaciju

Suradnički roboti (Slika 16.) – odnosno „kolaborativni“ roboti (collaborative robots) ili kratko koboti (cobots), su logički razvoj robota koji ide prema potpunoj suradnji sa čovjekom na svim područjima. Osnovna razlika novih robota i robota prethodne generacije je u tome da su sada roboti i ljudi postali ravnopravni partneri. Koboti imaju ugrađene senzore i napredne tehnologije za prepoznavanje prisutnosti ljudi, sposobni su detektirati dodir ili sudar s radnikom i odmah prestati s radom kako bi izbjegli ozljede, lako se programiraju i ponovno konfiguriraju za obavljanje različitih zadataka. U sklopu Industrije 4.0, koboti prikupljaju podatke tijekom rada i šalju ih u sustave za analizu, što omogućuje optimizaciju proizvodnje u stvarnom vremenu. Također, integracija umjetne inteligencije omogućuje kobotima da "uče" i postanu još učinkovitiji u zadacima. [6]

Autonomne robote predstavljaju uređaji ili strojevi koji su sposobni donositi odluke i izvršavati zadatke bez izravne ljudske kontrole. Takvi uređaji obrađuju podatke pomoću senzora i softvera, se posjeduju sustave za navigaciju i pozicioniranje. Najvažnija karakteristika autonomnih uređaja je mogućnost opažanja okoline, te prikupljanje informacija o svojoj okolini. U Industriji 4.0 autonomni roboti omogućuju fleksibilniju, bržu i učinkovitiju proizvodnju.



Slika 16. - Kuka kolaborativni robot [7]



**Slika 17. - Pogon industrije opremljen autonomnim robotima [8]**

#### **3.1.4. Virtualna i proširena stvarnost**

Izraz virtualna stvarnost (eng. Virtual reality) ili VR opisuje tehnologije koje omogućuju stvaranje virtualne okoline koje se čine gotovo stvarnima. Pomoću VR naočala stvara se digitalni svijet izgrađen pomoću računalnih softvera. Pomoću VR-a, ljudi mogu testirati svoje vještine i specifična znanja koja su im potrebna za njihov posao i to mogu napraviti potpuno sigurno, npr. upravljanje strojevima, rad na visini ili reagiranje na nesreće. Također operateri strojeva ili tehničari mogu naučiti upravljati složenim uređajima bez stvarnog korištenja opreme, smanjujući rizik od oštećenja. VR se također koristi za vizualizaciju i testiranje prototipova prije proizvodnje, smanjujući vrijeme i troškove razvoja proizvoda. To je posebno korisno u strukama poput inženjerstva, vojske i drugih zanimanja i zanimanja u kojima se određene vještine moraju testirati prije korištenja, kao npr. medicina.

Proširena stvarnost (eng. Augmented reality) ili AR je tehnologija koja kombinira stvarni svijet s digitalnim elementima, stvarajući interaktivno iskustvo u kojem korisnik može vidjeti virtualne objekte integrirane u svoju fizičku okolinu. Za razliku od virtualne stvarnosti, AR obogaćuje stvarni svijet dodatnim informacijama i vizualima, koristeći kamere ili senzore, te softvere za obradu podataka. U industriji ima široku primjenu, jer omogućuje poboljšanje

produktivnosti, preciznosti i sigurnosti, npr. tehničari koriste proširenu stvarnost za pregled dijelova strojeva i vođenje kroz popravke. Također dizajneri mogu pomoću proširene stvarnosti vidjeti kako će proizvod izgledati u stvarnom okruženju. Proširena stvarnost postaje ključni alat u modernim industrijama, poboljšavajući procese i prilagođavajući se izazovima budućnosti. [9]

### 3.1.5. Simulacije

Globalno tržište u današnje vrijeme je izrazito zahtjevno, praćeno neprestanim željama i potrebama kupaca. Traži se brzo lansiranje proizvoda uz uvijek vrhunske standarde kvalitete i pouzdanosti. Zbog toga se u Industriji 4.0 koriste softverske simulacije kako bi se napravile kopije stvarnih dijelova i proizvoda, kako bi se oni mogli digitalno testirati, te unaprijediti prije samog proces proizvodnje. Primjena simulacija u industriji ključna je za optimizaciju proizvodnih procesa, testiranje novih ideja i smanjenje troškova. [10]

### 3.1.6. Računalstvo u oblaku

Računalstvo u oblaku (eng. Cloud computing) je veliki skup računalnih resursa koji su lako dostupni. To mogu biti računalne mreže, poslužitelji, sustavi za pohranu podataka, aplikacije itd. Računalstvo u oblaku omogućuje pristup računalnim resursima poput pohrane podataka, procesorske snage i aplikacija putem interneta. Pružatelj usluge omogućuje svojim korisnicima da se priključe na oblak i koriste resurse koji su mu potrebni. Korisnici pristupaju tim resursima putem internetske veze, bez potrebe za lokalnom instalacijom softvera ili opreme.

Postoje četiri vrste računalstva u oblaku, to su:

- **Javni oblak** (Public Cloud): Usluge koje pružaju vanjski pružatelji (npr. Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud). Kod njih se resursi dijele među korisnicima, ali podaci su zaštićeni.
- **Privatni oblak** (Private Cloud): Oblak namijenjen isključivo jednoj organizaciji. Pruža veću sigurnost i kontrolu nad podacima, ali zahtjeva i veće troškove.
- **Hibridni oblak** (Hybrid Cloud): Kombinacija javnog i privatnog oblaka. Organizacije koriste privatni oblak za osjetljive podatke, a javni za manje kritične resurse.

- 
- **Višestruki oblak** (Multi-Cloud): Korištenje više pružatelja oblaka kako bi se zadovoljile specifične potrebe.

Korištenje računalstva u oblaku donosi brojne prednosti za korisnike, od pojedinaca do velikih organizacija. Nudi znatnu financijsku učinkovitost, jer nema potrebe za ulaganjima u fizičke servere, mrežnu opremu ili održavanje, a korisnici plaćaju samo za resurse koje koriste, čime se smanjuju nepotrebni troškovi. Oblak omogućuje lako širenje kapaciteta kako tvrtka raste. Podacima i aplikacijama može se pristupiti s bilo kojeg uređaja i lokacije s internetskom vezom, to omogućuje zaposlenicima ili timovima rad na istim dokumentima ili projektima istovremeno, bez obzira na lokaciju. Također, računalstvo u oblaku povećava sigurnost podataka, podaci se redovito sigurnosno kopiraju i pohranjuju na različitim lokacijama. To znači da u slučaju kvara, podaci se mogu brzo vratiti, čime se minimizira gubitak. Njegova primjena raste u svim industrijama, od malih poduzeća do velikih korporacija, čineći ga ključnim dijelom modernog poslovanja. [11]

### 3.1.7. *Umjetna inteligencija*

Umjetna inteligencija predstavlja sposobnost i karakteristike računala, robota ili strojeva da odrađuju zadatke za koji inače zahtijevaju inteligenciju čovjeka. Neki od tih zadataka su: prepoznavanje govora, vizualno prepoznavanje, donošenje odluka itd.

Umjetna inteligencija nudi asistenciju i pomoć čovjeku u svakodnevnom životu, ali i znatno mijenja način na rada u industriji. Usmjerena je na specifična područja primjene kao što su kontrola kvalitete, prediktivno održavanje, optimizacija procesa i robotika. Umjetna inteligencija u industriji odnosi se na korištenje algoritama i strojnog učenja za automatizaciju složenih zadataka, prepoznavanje uzoraka i stvaranje predviđanja. Analiziraju se i obrađuju velike količine podataka iz strojeva i sustava. Prednosti umjetne inteligencije su raznolike, izbjegavaju se neplanirani zastoji, smanjuju se troškovi održavanja, povećava se produktivnost poduzeća, povećava se kvaliteta proizvoda, a to sve dovodi do većeg zadovoljstva kupaca i pozitivnog imidža poduzeća. [12]

**Tablica 1. - Primjeri korištenja umjetne inteligencije**

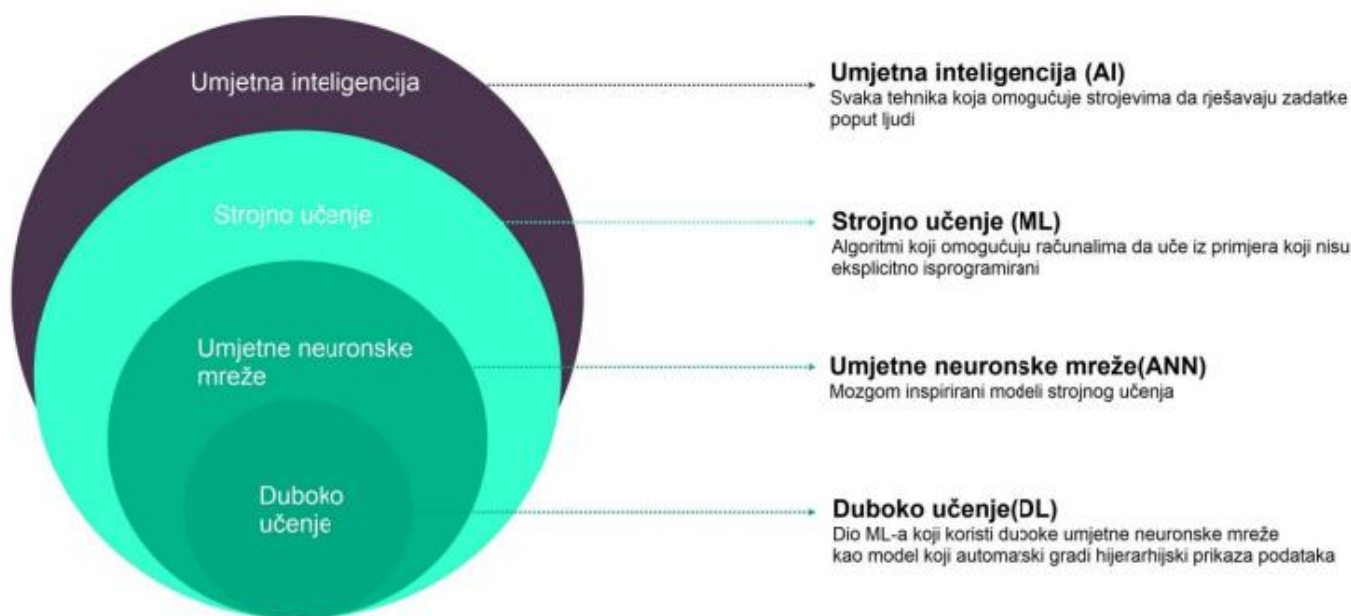
Industrija	Primjena umjetne inteligencije
Automobilska industrija	Autonomna vozila, optimizacija proizvodnje, kontrola kvalitete.
Medicina	Dijagnostika bolesti, personalizirani tretmani, analiza medicinskih podataka.
Energetika	Predviđanje potrošnje energije, upravljanje mrežom, optimizacija obnovljivih izvora.
Logistika	Optimizacija ruta dostave, upravljanje skladištima, praćenje pošiljki u stvarnom vremenu.
Građevina	Automatizirana oprema, praćenje sigurnosti na gradilištima, predviđanje kvarova.

Jedan od osnovnih koncepata umjetne inteligencije je strojno učenje koje omogućuje računalima da analiziraju velike količine podataka i prepoznaju obrasce, što im dalje omogućuje donošenje odluka baziranih na informacijama. Strojno učenje se bavi oblikovanje algoritama koji svoju učinkovitost poboljšavaju na temelju empirijskih podataka. Postoje tri glavne vrste strojnog učenja: nadzirano, nenadzirano i pojačano učenje. Nadzirano učenje koristi označene podatke (tj. podatke koji već imaju definirane odgovore) za treniranje modela, omogućavajući mu da predviđa odgovore na nove podatke. Nenadzirano učenje koristi neoznačene podatke, ono traži skrivene obrasce bez prethodno definiranih odgovora. Pojačano učenje je tehnika gdje model uči donositi odluke kroz nagrade i kazne, optimizirajući svoje ponašanje kroz interakciju s okolinom.

Drugi važan koncept umjetne inteligencije su duboke neuronske mreže koje se sastoje od slojeva neurona koji hijerarhijski obrađuju podatke, time im je omogućeno razumijevanje složenih uzoraka. Radi se o algoritmima inspiriranim načinom na koji ljudski mozak obrađuje informacije. One omogućuju analizu složenih podataka, prepoznavanje uzoraka i donošenje odluka na temelju tih podataka.



Duboko učenje, podskup strojnog učenja, koristi složene mreže za obradu podataka s višim stupnjem apstrakcije, što omogućava rješavanje izuzetno složenih zadataka. Ono koristi neuronske mreže za obradu podataka tako da oponaša ljudski mozak, omogućavajući modelima da obrađuju i interpretiraju složene podatke poput slika i zvuka. Odabir pravog algoritma ovisi o vrsti problema koji pokušavate riješiti i vrsti podataka s kojima radite. [13]



**Slika 18. - Podjela umjetne inteligencije [13]**

Postoje tri razine umjetne inteligencije. To su uža umjetna inteligencija, opća umjetna inteligencija, te superinteligencija. Kod uže umjetne inteligencije sustavi su dizajnirani za obavljanje specifičnih zadataka. Takvi sustavi nemaju opće sposobnosti razmišljanja i ne mogu obavljati zadatke izvan područja za koje su programirani. Primjeri uže inteligencije su autonomni automobili s ograničenom funkcionalnošću (npr. Tesla Autopilot) ili algoritmi koji preporučuju proizvode ili sadržaj na temelju korisnikovih interesa (npr. YouTube, Netflix, Amazon). Opća umjetna inteligencija odnosi se na sustave umjetne inteligencije sposobne za obavljanje širokog spektra intelektualnih zadataka na razini sličnoj ili superiornoj ljudskoj. Opća umjetna inteligencija nije ograničena na specifične zadatke, kao što je slučaj s užom umjetnom inteligencijom, već može razmišljati, učiti, prilagođavati se i donositi odluke u potpuno različitim kontekstima. Za sada je to još uvijek teorijski koncept, jer danas ne postoji tehnologija koja bi postigla tu razinu inteligencije. Superinteligencija se odnosi na hipotetski

oblik umjetne inteligencije koji bi bio daleko superiorniji od ljudske inteligencije u svim aspektima, uključujući kreativnost, rješavanje problema i emocionalnu inteligenciju. ASI bi premašila ljudske sposobnosti u svakom pogledu, potencijalno postavši najdominantnija i najmoćnija sila na planetu. [13]

Umjetna inteligencija postaje nezaobilazan alat za Industriju 4.0, mijenjajući način na koji tvrtke posluju. Iako donosi brojne prednosti, uspješna implementacija zahtijeva pažljivo planiranje, ulaganje i usklađivanje s etičkim i sigurnosnim smjernicama.

### **3.1.8. „Big Data“**

Količina podataka koja je dostupna poduzećima je svake godine sve veća, samim time poduzeća imaju sve veću količinu podataka koju treba obraditi i analizirati. Nove metode koje se pojavljuju u Industriji 4.0 stvaraju nove načine za iskorištavanje podataka. Informacije dolaze iz različitih izvora velikom brzinom i u raznovrsnim formatima, od strukturiranih numeričkih podataka u tradicionalnim bazama podataka do neorganiziranih tekstualnih dokumenata, e-mailova, videozapisa, i slično.

Karakteristike „Big Data“ omogućavaju generiranje ogromne količine podataka svake sekunde velikom brzinom. Zahvaljujući tome moguće je izvući značajne informacije koje su prije bile skrivene u nepreglednim gomilama podataka. „Big Dana“ također omogućuje veću sigurnost podataka, te donošenje odluka temeljenih na stvarnom vremenu, što otvara nove mogućnosti za inovacije. Korištenjem analitičkih alata i tehnika, poduzeća mogu prepoznati nove tržišne prilike, povećati učinkovitost operacija, i prilagoditi se promjenama u ponašanju kupaca.

Glavne prednosti uključuju poboljšanu učinkovitost, smanjene troškove, bolju uslugu korisnicima, poboljšano donošenje odluka, i sposobnost predviđanja budućih trendova. Također pomaže organizacijama da postanu agilnije, inovativnije i konkurentnije na tržištu. S obzirom da se prikuplja i analizira velika količina osobnih podataka, važno je osigurati da se takvi podaci obrade i koriste na etički prihvatljiv način, uz poštovanje prava na privatnost pojedinaca. Primjena „Big Dana“ tehnologije donosi ne samo financijske koristi već i stratešku prednost, brže inovacije i održiviji razvoj. [14]





Slika 19. - Pet najznačajnijih karakteristika "Big Data"[14]

### 3.1.9. Cyber – fizički sustavi

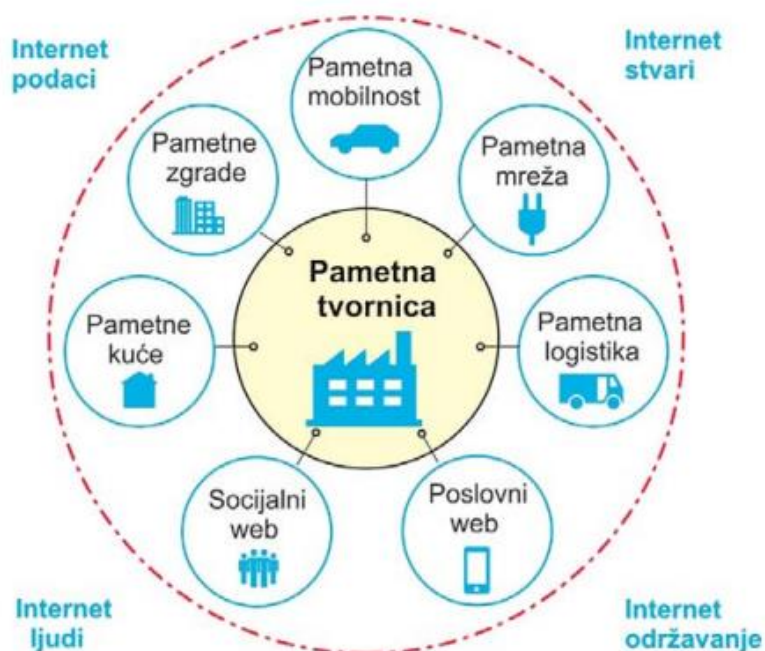
Cyber - fizički sustav (CPS) predstavlja mehanizam koji se kontrolira pomoću računalnih algoritama, čvrsto integriranih s internetom i njegovim korisnicima. U cyber - fizičkim sustavima, fizičke i softverske komponente duboko su povezane, svaka radi na različitim prostornim i vremenskim razmjerima, pokazujući različite i različite modalitete ponašanja, te međusobno djeluju na mnogo načina koji se mijenjaju s kontekstom. Primjeri CPS-a su pametne mreže, autonomne industrijski sustavi, medicinski nadzor, sustavi za kontrolu procesa, robotski sustavi, itd. Uključuje transdisciplinarni pristupe, spajanje teorije kibernetike, mehatronike, dizajna i znanosti o procesima. Kontrola procesa se često naziva ugrađenim sustavima. U ugrađenim sustavima naglasak je više na računskim elementima, a manje na intenzivnoj vezi između računalnih i fizičkih elemenata. [15]

CPS se smatra ključnim dijelom Industrije 4.0 jer omogućuje digitalizaciju i međusobnu povezanost u proizvodnim procesima. CPS omogućuje stvaranje digitalnih kopija fizičkih sustava, poznatih kao digitalni blizanci, za simulaciju, praćenje i optimizaciju performansi u stvarnom vremenu, time se smanjuju zastoji u proizvodnji, te se poboljšava kontrola kvalitete. Pomoću CPS-a i senzorskih podataka mogu se predvidjeti kvarovi strojeva prije nego što se

dogode, što smanjuje vrijeme zastoja i produžuje vijek trajanja opreme. Također, CPS omogućuje strojevima i robotskim sustavima da samostalno izvršavaju zadatke uz minimalan ljudski nadzor, što povećava produktivnost i minimizira mogućnost ljudske pogreške.

### 3.2 Pametne tvornice

Pametna tvornica predstavlja fleksibilan sustav koji može optimizirati preformanse, samostalno se prilagoditi novim uvjetima i učiti iz njih u stvarnom vremenu, te autonomno pokretati cjelokupne proizvodne procese. Zbog moćnijih računalnih i analitičkih mogućnosti pametne tvornice se razvijaju i rastu zajedno s potrebama tržišta, bilo da se radi promjenama u potražnji kupaca, širenju na nova tržišta, razvoju novih proizvoda, ugradnji novih procesa ili tehnologija. Najvažnija značajka pametnih tvornica je njihova povezanost. Pametne tvornice zahtijevaju povezivanje temeljnih procesa i materijala kako bi se prikupili podaci potrebni za rad u stvarnom vremenu. Pametne tvornice opremljene su sensorima kako bi sustavi mogli kontinuirano povlačiti skupove podataka iz novih i tradicionalnih izvora, osiguravajući da se podaci stalno ažuriraju i održavaju trenutne uvjete. [16]



Slika 20. - Pametna tvornica integrirana i umrežena u sustav [16]

---

### **3.2.1. Značajke pametnih tvornica**

U pametnim tvornicama postoje značajke koje osiguravaju bolji pregled sustava, te omogućuju donošenje kvalitetnijih odluka na temelju prikupljenih podataka.

Optimizacija pametnih tvornica omogućuje rad uz minimalnu ljudsku radnu snagu. Automatizirani rad, poboljšano praćenje i planiranje, optimizirana potrošnja energije samo su neka od svojstava pametnih tvornica koje mogu povećati proizvodnju, a time i prihode, smanjiti potrošnju i otpad. Važna odlika pametnih tvornica je transparentnost prikupljenih podataka. Transparentna mreža može osigurati da organizacija može donositi bolje odluke, te omogućuje organizaciji praćenje i nadzor u stvarnom vremenu. U pametnim tvornicama zaposlenici su proaktivni, što znači da zaposlenici mogu predvidjeti i djelovati prije nego se problemi pojave. To uključuje prepoznavanje anomalija, obnavljanje zaliha i inventara, prepoznavanja i prediktivno rješavanje pitanja kvalitete, te nadgledanje i održavanje sigurnosti. Agilna fleksibilnost pametnih tvornica omogućuje da se prilagodi rasporedu i promjenama u proizvodnji uz minimalne intervencije. Napredne pametne tvornice mogu same konfigurirati opremu i tokove materijala ovisno o proizvodu koji se gradi i promjenama u rasporedu, a zatim i uvidjeti učinak tih promjena. [16]

### **3.2.2. Konfiguracija pametnih tvornica**

Kao što ne postoji jedinstvena konfiguracija pametnih tvornica, tako i ne postoji jedinstveni obrazac da neka tvornica postane pametna tvornica. Svaka pametna tvornica može izgledati drugačije zbog različitog rasporeda linija, proizvoda, opreme za automatizaciju i drugih čimbenika. Međutim, usprkos razlikama u samim postrojenjima, komponente potrebne za nastanak pametne tvornice uglavnom su univerzalne i svaka od njih je važna: podaci, tehnologija, ljudi sigurnost.

Podaci su krovotok svake pametne tvornice. Snagom algoritamskih analiza podaci pokreću sve procese, otkrivaju operativne pogreške, pružaju korisniku povratne informacije i, kada se sakupe u dovoljnoj mjeri, mogu se koristiti za predviđanje operativne neučinkovitosti ili fluktuacija u nabavi i potražnji. Kako bi pokrenuli pametnu tvornicu, proizvođači bi trebali

imati sredstva za stvaranje i prikupljanje tokova podataka, upravljanje i pohranjivanje golemih količina generiranih informacija, te analiziranje i djelovanje na njih na različite, potencijalno sofisticirane načine.

Da bi pametna tvornica funkcionirala, oprema postrojenja trebala bi moći komunicirati međusobno, te sa središnjim kontrolnim sustavom. Također tvornice moraju razmotriti implementaciju modernih tehnologija povezanosti, te sustava za transakcije i planiranje poslovnih resursa, zatim Internet stvari i analitičke platforme, te Računalstvo u oblaku, Big Data i ostalih tehnologija svojstvenih Industriji 4.0.

Unatoč svim tehnologijama kojima su pametne tvornice opremljene, ona i dalje može ostati usmjerena na ljude. Cijela proizvodnja postaje bolje kontrolirana i predvidiva, a to umanjuje rizik za radnike koji ju nadziru, upravljaju i održavaju njene komponente. Radnici u svakom trenutku imaju uvid pomoću sustava za analizu podataka, te mogu primijetiti najslabije točke u proizvodnji i proaktivno reagirati, te su time i dalje poprilično važan faktor u radu tvornice. Također i sami radnici mogu biti praćeni sustavom za nadzor koji ih upozorava ukoliko postoji određena opasnost i ukoliko su ušli u zonu rizika.

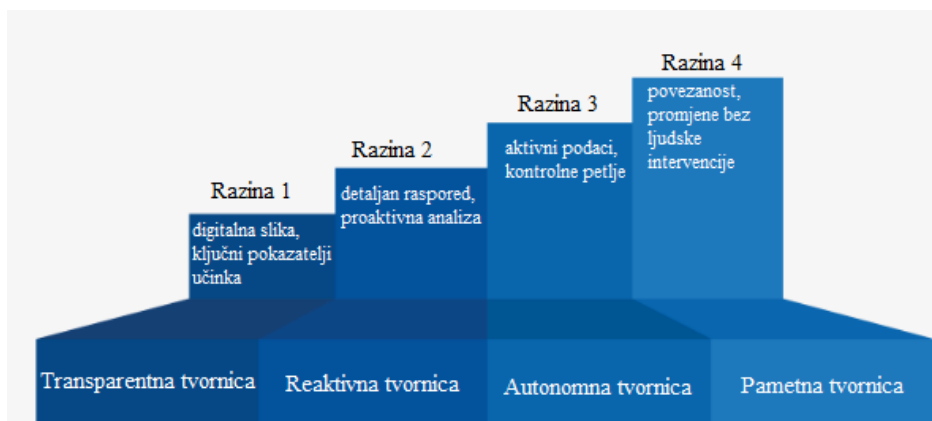
Zbog povezanosti pametnih tvornica veći je rizik od kibernetičkih napada nego u tradicionalni proizvodnim pogonima. U potpuno povezanom okruženju kibernetički napadi mogu imati rašireniji učinak i teže se je zaštititi od njih, s obzirom na mnogo točaka povezivanja. Upravo zbog toga kibernetička sigurnost treba biti važan prioritet pametnih tvornica. Tvrtke koje ulažu u sigurnosne tehnologije, obuku osoblja i praćenje prijetnji mogu izbjeći velike financijske gubitke, zaštititi reputaciju i osigurati dugoročni rast. [16]

### **3.2.3. Razine spremnosti tvornica**

Budući da neke tvornice nisu u mogućnosti brzo i jednostavno uvesti prethodno opisane tehnologije Industrije 4.0, u Tablica 2. prikazana je klasifikacija tvornica u četiri razine s obzirom na način korištenja podataka koji se prikupljaju za vrijeme proizvodnje. [17]

Tablica 2. - Razine spremnosti tvornica [17]

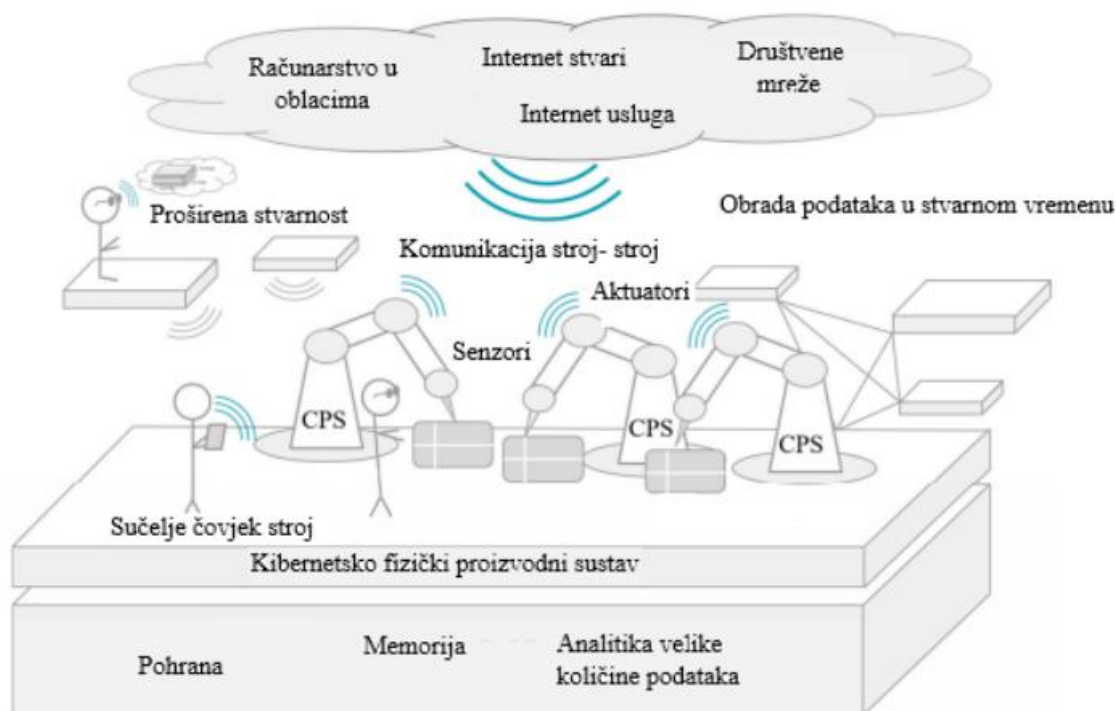
Razina tvornice	Opis
<b>Razina 1 – Transparentna tvornica</b>	Sortiranje i analiza podataka iziskuje ručni rad, a to oduzima mnogo vremena, a to može umanjiti efikasnost procesa unaprjeđenja proizvodnje. Sve je u prikupljanju podatka i korištenju ključnih pokazatelja učinka koji su dizajnirani kako bi svaki zaposlenik u svakom trenutku znao što se događa u proizvodnji.
<b>Razina 2 – Reaktivna tvornica</b>	Podaci koji su prikupljeni u prethodnoj fazi sada su komprimirani i vizualizirani. Cilj je brzo i ciljanim mjerama reagirati na neispravnosti, te proizvodne procese učiniti što predvidljivijim.
<b>Razina 3 – Autonomna tvornica</b>	Na temelju postignute reaktivnosti, treća faza uspostavlja lokalne standarde za automatsko upravljanje proizvodnim procesima. U trećoj fazi bitne su kontrolne petlje.
<b>Razina 4 – Pametna tvornica</b>	Tvornica sadrži sve tehnologije Industrije 4.0. Prikupljanje podataka, identifikacija problema i generiranje rješenja odvija se uz malo ili bez ljudskog doprinosa.



Slika 21. - Razine spremnosti tvornica

### 3.2.4. Planiranje tehnoloških procesa

Planiranje tehnoloških procesa u pametnim tvornicama predstavlja veliku transformaciju u planiranju tehnoloških procesa, u pristupu proizvodnji. Uvode se velike promjene u inovacijama i upravljanju proizvodnje, što je prikazano na Slika 22.



Slika 22. - Tehnologije kod pametne tvornice [16]

Važnu ulogu u transformacijskom procesu imaju digitalni blizanci. Digitalni blizanci predstavljaju virtualni model proizvoda ili čak cijelog sustava. Temelji se na virtualnom modelu samog objekta povezanog s informacijama iz stvarnog svijeta i omogućava duboko razumijevanje i optimizaciju svih promjena prije same implementacije. Time razvoj postaje neusporedivo brži i ekonomičniji, ali i sigurniji. Znatno se brže uklanjaju eventualne greške što skraćuje vrijeme razvoja, inženjerima daje bolje uvide u ponašanje proizvoda, ubrzava i pojednostavnjuje poboljšanje proizvoda.

Također, važnu ulogu u prikupljanju podataka u stvarnom vremenu ima Internet stvari (IoT), svojim sensorima i uređajima ima mogućnost praćenja tehnoloških procesa, što omogućuje

---

brzu dijagnostiku problema, optimizaciju procesa i efikasno upravljanje resursima. Dubinska analiza podataka prikupljenih putem IoT-a pomaže tvrtkama prepoznati obrasce i identificirati probleme u proizvodnji.

Automatizacija postaje sve češća pojava u proizvodnji. Roboti počinju obavljati gotovo sve operacije koje su do sada obavljali ljudi čime se povećava efikasnost, preciznost i kvaliteta, a smanjuju troškovi. Industrijski roboti posjeduju veliku brzini i preciznosti u obavljanju poslova koji se ponavljaju bez ili uz minimalnu ljudsku interakciju. Proizvođači sve više koriste nove vrste robota kao što su kolaborativni roboti (*Coboti*) i automatizirana vođena vozila (AGV) ili autonomni mobilni roboti (AMR) kako bi povećali agilnost, fleksibilnost i kvalitetu. Ovi roboti ne rade samo s ljudima, već omogućuju ljudima da se usredotoče na kreativnije i inovativnije zadatke.

Upotreba umjetne inteligencije (AI) u proizvodnji znatno će povećati kontrolu kvalitete, ona omogućuje vizualni pregled dijelova u različitim fazama procesa proizvodnje i na svim radnim mjestima, uključujući proizvodnju i montažu, s ciljem postizanja visoke kvalitete. U tradicionalnoj proizvodnji nasumično se odabire nekolicina proizvedenih dijelova i pregleda kao demonstracijski uzorak svih proizvedenih dijelova kako bi se otkrili mogući nedostaci i odstupanja dijelova. Ovom metodom se neki neispravni dijelovi možda neće uočiti, jer se ne pregledavaju svi proizvedeni dijelovi. Korištenje umjetne inteligencije omogućuje pregled svih proizvedenih dijelova uz vrlo visoku razinu inspekcije, što znatno povećava produktivnost i smanjuje mogućnost da neispravni dijelovi ostanu neprimijećeni.

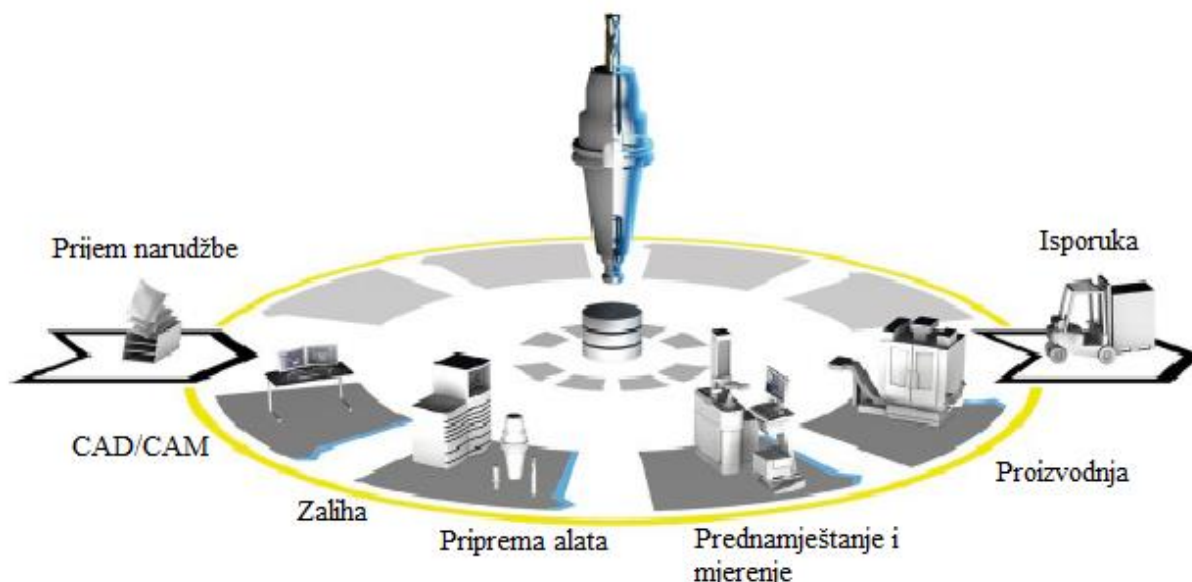
Napredna logistika i lanci opskrbe omogućuju bolje upravljanje dostavom materijala i proizvoda, što povećava učinkovitost i smanjuje troškove.

Svim tim promjenama tvrtke postaju konkurentnije i ostvaruju mogućnost da brže reagiraju na promjene na tržištu, čime se postiže bolja kvaliteta proizvoda, veća učinkovitost i niži troškovi proizvodnje. Kako bi proizvodne tvrtke iskoristile prednosti naprednih tehnologija, učinkovito implementirale planove i ostale konkurentne, vrlo im je važno stvoriti kulturu razvoja ljudskih potencijala i usvojiti pristup usmjeren na čovjeka, jer je uloga ljudi ključni čimbenik u postizanju tehničke izvrsnosti. [16]

#### 4. Razina umreženosti, digitalizacije i automatizacije unutar tvrtke Zoller

Jasno definirani podaci o alatima i sofisticirano upravljanje podacima o alatima su među temeljnim zahtjevima za pametnu tvornicu. Točna dokumentacija i upravljanje tim podacima ključni su za povećanje učinkovitosti i produktivnosti, osiguranje kontrole kvalitete i produljenje vijeka trajanja alata. Također, dobro organiziran sustav podataka o alatima omogućuje tvrtkama smanjenje troškova i fleksibilno reagiranje na promjene u proizvodnji.

Zollerovi proizvodi mogu se integrirati u postojeće proizvodne procese i jamče glatku razmjenu podataka. Zoller nudi sveobuhvatna rješenja za kreiranje podataka o alatima koja tvrtkama omogućuju optimiziranje upravljanja njihovim alatima. Postojeće strukture podataka mogu se preuzeti, podaci koji su već prikupljeni mogu se ponovno upotrijebiti, a podaci koji nedostaju mogu se preuzeti iz oblaka. Svi alati i komponente alata jasno su identificirani i pohranjeni u središnjoj bazi podataka alata “z.One” i njima se upravlja tijekom cijelog procesa proizvodnje. To znači da se podacima o alatu može pristupiti sa svih proizvodnih stanica u bilo koje vrijeme i s bilo kojeg mjesta. Također, uz upravljanje podacima o alatima, softver nudi upravljanje skladištem za alate, te prijenos podataka o alatima.



Slika 23. - Povezanost cijelog procesa proizvodnje



---

#### 4.1 Zoller TMS (Tool Management Solutions) softver

Zoller TMS (Tool Management Solutions) je sveobuhvatan softverski paket dizajniran za učinkovito upravljanje alatima u proizvodnim procesima. Omogućuje centralizirano upravljanje kompletnim alatima, pojedinačnim komponentama i tehničkim listovima, što olakšava njihovo brzo pronalaženje i smanjuje vrijeme zastoja u proizvodnji. Integracijom s CAD/CAM i ERP sustavima, TMS omogućuje besprijekoran prijenos podataka o alatima, uključujući glavne podatke, podatke o lokaciji skladišta, geometrijske mjere i vijek trajanja alata, što je ključno za precizno planiranje proizvodnje.

Softver je dostupan u različitim paketima (Bronze, Silver i Gold) koji se prilagođavaju rastućim potrebama korisnika, pružajući osnovne funkcije za upravljanje alatima, napredno upravljanje skladištem i sveobuhvatnu organizaciju proizvodnje. Bronze paket pruža osnovne funkcionalnosti za centralizirano upravljanje alatima i komponentama. Uključuje standardizirano vođenje podataka o alatima prema DIN 4000 normi, organizaciju tehničkih listova, te pregled nad kompletnim i pojedinačnim alatima. Ovaj paket idealan je za manje tvrtke koje žele osnovnu razinu organizacije i transparentnosti u skladištenju i praćenju alata. Za dodatnu fleksibilnost, omogućuje pristup podacima o alatima s bilo koje lokacije putem web - preglednika, osiguravajući da su informacije uvijek dostupne kada su potrebne. Silver paket podiže upravljanje alatima na napredniju razinu, dodajući mogućnosti upravljanja zalihama i praćenja lokacije alata u stvarnom vremenu. Uključuje funkcionalnosti poput povijesti uporabe, integracije s pametnim ormarićima, te automatizirano naručivanje kada zalihe padnu ispod određenog praga. Prikladan je za srednje velike tvrtke koje traže bolju kontrolu i optimizaciju troškova. Gold paket je najnapredniji i uključuje sve funkcije Bronze i Silver paketa, uz dodatne opcije za sveobuhvatno planiranje proizvodnih procesa. Podržava detaljno praćenje životnog vijeka alata, optimizaciju korištenja alata i potpunu integraciju s ERP i CAD/CAM sustavima. Ovaj paket namijenjen je velikim tvrtkama s kompleksnim potrebama u proizvodnji.

Korištenjem Zoller TMS softvera, tvrtke mogu optimizirati zalihe alata, smanjiti troškove naručivanja i osigurati da su alati uvijek na pravom mjestu u pravo vrijeme, čime se povećava ukupna učinkovitost proizvodnje. [18]

---

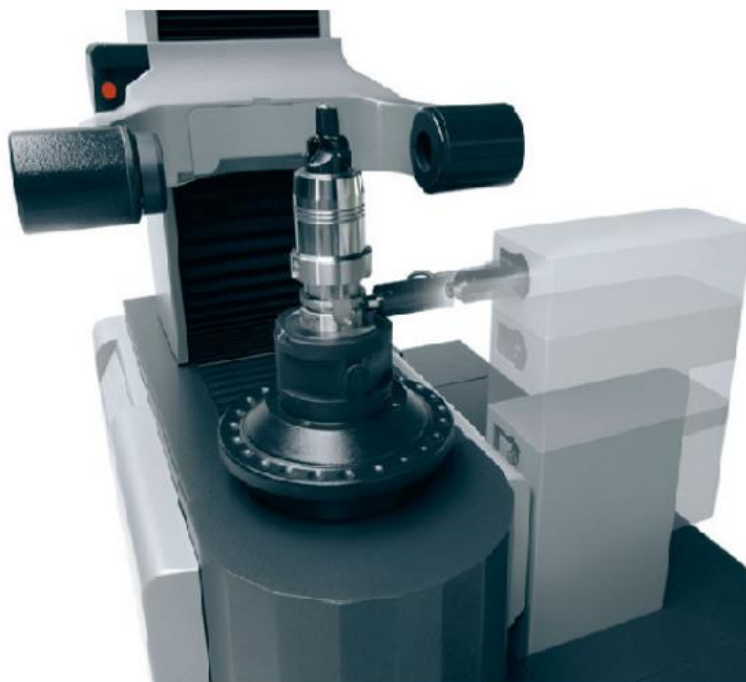
## 4.2 Prijenos podataka

Kao što je već spomenuto, komunikacija podacima između pojedinih elemenata proizvodnje čini osnovu pametnih tvornica. Klasičan način prijena podataka oslanja se na ručni unos podatka o alatu. On često dovodi do pogrešaka pri unosu koje mogu dovesti do skupih posljedica kao što su nekvalitetni proizvodi, time i potreba za daljnjom doradom proizvoda. Zatim postoji mogućnost da dođe do sudara vretena stroja koje ga može oštetiti i smanjiti mu vijek trajanja.

Postoji više dostupnih opcija za siguran i brz prijenos podataka s Zoller uređaja na CNC stroj, putem RFID čipa, putem postprocesora (DNC sustav) ili putem sustava kontrole proizvodnje više razine. Vrlo učinkovita opcija je i šifriranje stvarnih podataka u kodu podatkovne matrice, koji se skenira na naljepnici pomoću čitača spojenog na upravljač CNC stroja. Moderni prijenos podataka nudi značajne prednosti, traži minimalnu ručnu intervenciju, nudi poboljšanu kontrolu kvalitete, te znatno skraćuje vrijeme proizvodnje. Zollerove opcije za prijenos podataka također prate istrošenost alata i odstupanja, osiguravajući da se koriste samo funkcionalni alati i eliminirajući mogućnost pogreške operatera. [18]

### 4.1.1. Prijenos podataka putem RFID čipa

Prijenos podataka putem RFID čipa idealan je za velike tvrtke s modernim pogonom strojeva. RFID je tehnologija koja za razmjenu informacija između Zoller uređaja i CNC stroja koristi radio frekvenciju. RFID sustav sastoji se od dvije komponente, s jedne strane od nosača podataka tj. čipa (zvan transponder) i s druge strane od jednog pisača/čitača s antenom. Sustav radi pomoću elektromagnetskih valova koji se očitavaju pomoću pisača/čitača. Kada čip, odnosno transponder, dođe u područje dohvata antene, onda se na njega mogu pohraniti podaci ili se mogu očitati s njega. Čip (transponder) je najčešće ugrađen na prilagođenom držaču alata. Nakon što se alat izmjeri, podaci o alatu (geometrija, tip alata, vijek trajanja alata) se zapisuju na čip. (Slika 24.). Podaci o alatu ostaju spremljeni na čipu sve dok se ne obrišu ili dok se novi podaci na zapišu na čip. Nakon upisivanja podataka na čip, alat se stavlja u obradni centar gdje se podaci o alatu učitavaju pomoću čitača (Slika 25.) i prenose u upravljačku jedinicu CNC stroja. [18]



Slika 24. - Zoller uređaj sa RFID sustavom za pisanje/čitanje [18]

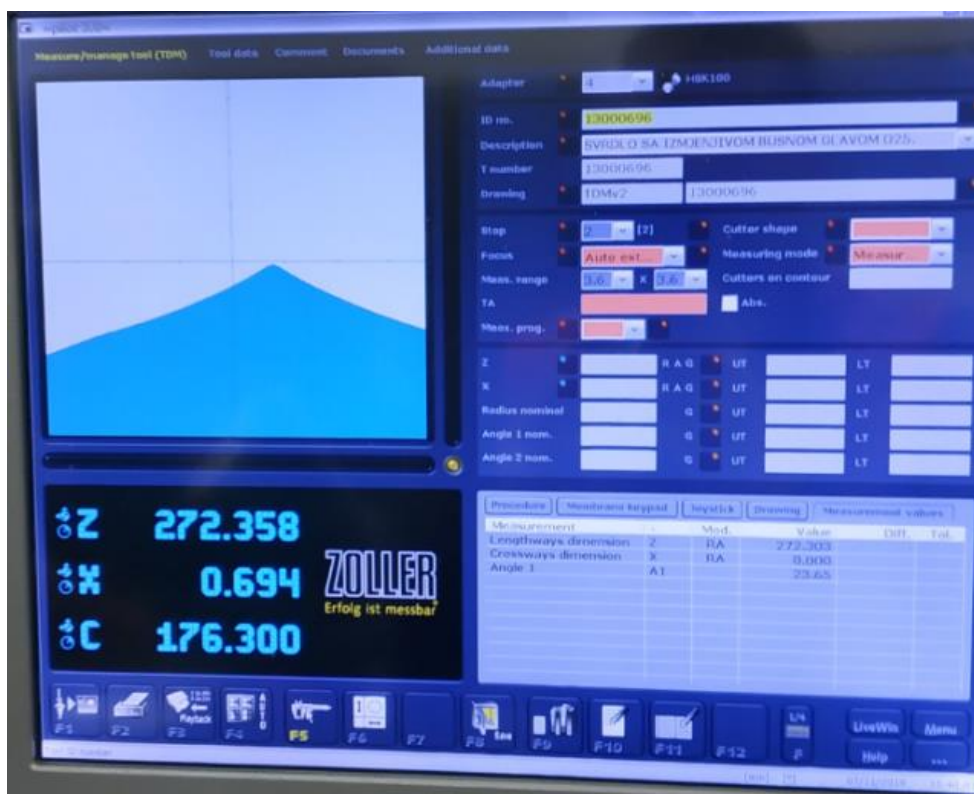


Slika 25. - RFID čitač u obradnom centru [18]

#### 4.1.2. Prijenos podatka putem postprocesora (DNC sustav)

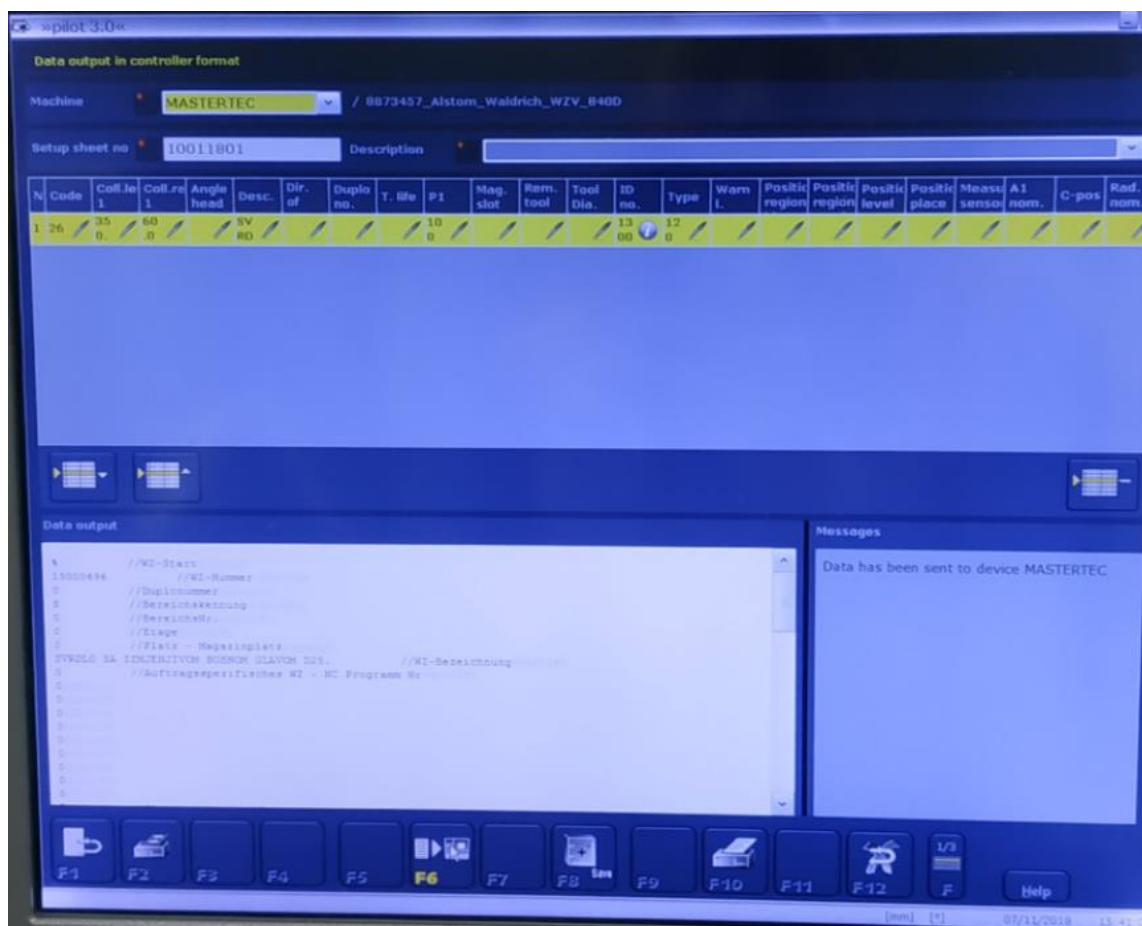
Prijenos podataka putem DNC mreže jedan je od najsigurnijih i najprikladnijih načina. Podaci o alatu izlaze izravno iz Zoller uređaja u upravljačku jedinicu CNC stroja. Komunikacija između Zoller uređaja i upravljačke jedinice stroja za obradu odvija se putem izlaznih formata ili tzv. postprocesora, oni se generiraju ovisno o proizvođaču stroja i upravljačkom sustavu koji stroj koristi. Zoller uređaju pomoću softvera „Data Input“ pretvara izmjerene vrijednosti u format prikladan za određeni upravljački sustav i šalje ih. Zoller posjeduje bazu podataka sa više od 230 gotovih izlaznih formata za širok spektar CNC strojeva. U većini slučajeva može se odmah koristiti jedan od tih formata bez ikakvih promjena i pretvoriti svoje izmjerene vrijednosti izravno u format specifičan za stroj, a ukoliko nijedan gotovi format ne odgovara određenom CNC stroju, moguće je izraditi gotovo svaki izlazni format ili prilagoditi postojeće izlazne formate potrebama stroja. [18]

Postupak započinje tako da se definiraju podaci o alatu, naziv, opis, njegov T – broj, zatim se definiraju parametri za mjerenje, te sa alat izmjeri. (Slika 26.)



Slika 26. - Mjerenje dužine alata na vrhu svrdla

Nakon što su uneseni podaci o alatu, te izmjerene vrijednosti na Zoller uređaju, odabire se CNC uređaj na koji se podaci šalju, te Zoller automatski pomoću postprocesora pretvara te podatke u format pogodan za određeni CNC stroj. (Slika 27.) Nakon toga pritiskom tipke podaci se šalju na CNC stroj i upisuju u njegovoj upravljačkoj jedinici.



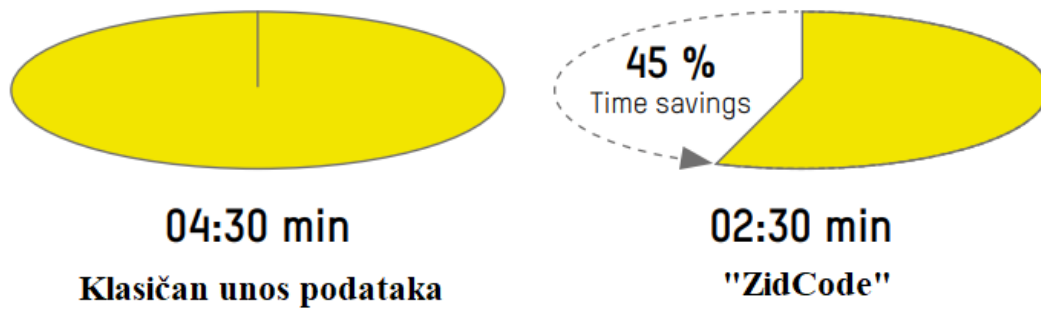
Slika 27. - pretvaranje podataka o alatu u programski kod

Korištenje DNC mreže za prijenos podataka sa Zollera na CNC strojeve omogućuje brzu, sigurnu i točnu razmjenu podataka. Time se smanjuju pogreške, povećava produktivnost i osigurava kvaliteta obrade.

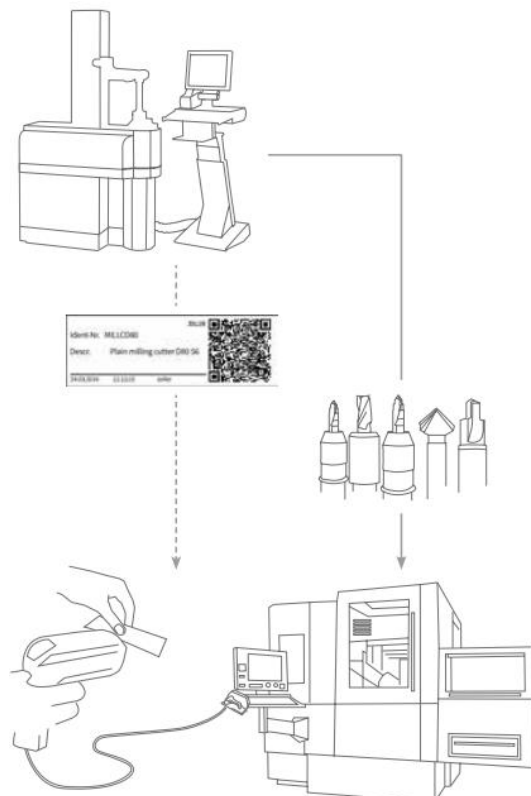
#### 4.1.3. „ZidCode“

Kod ove verzije prijenosa podataka podaci o alatu spremaju se u obliku podatkovne matrice. Nije potrebna mrežna povezanost već se podaci o alatu prenose skeniranjem QR koda. Postupak je jednostavan, najprije se željeni alat izmjeri na Zoller uređaju, a podaci o alatu zapisuju se na

etiketu u obliku QR koda pomoću softverske funkcije „ZidCode“. Podaci šifrirani u QR kodu ručnim se skenerom spojenim na CNC stroj automatski unose u odgovarajuća podatkovna polja CNC stroja. Slika 29.) Na ovakav način moguće je uštedjeti 45% vremena koje se potroši na ručni unos stvarnih podataka u CNC stroj, a pogreške pri unosu podataka u potpunosti se eliminiraju. Prednost je i što je ovakav princip prikladan za sve vrste CNC strojeva. [18]



Slika 28. - Vrijeme potrošeno za unos podataka za 6 alata [18]

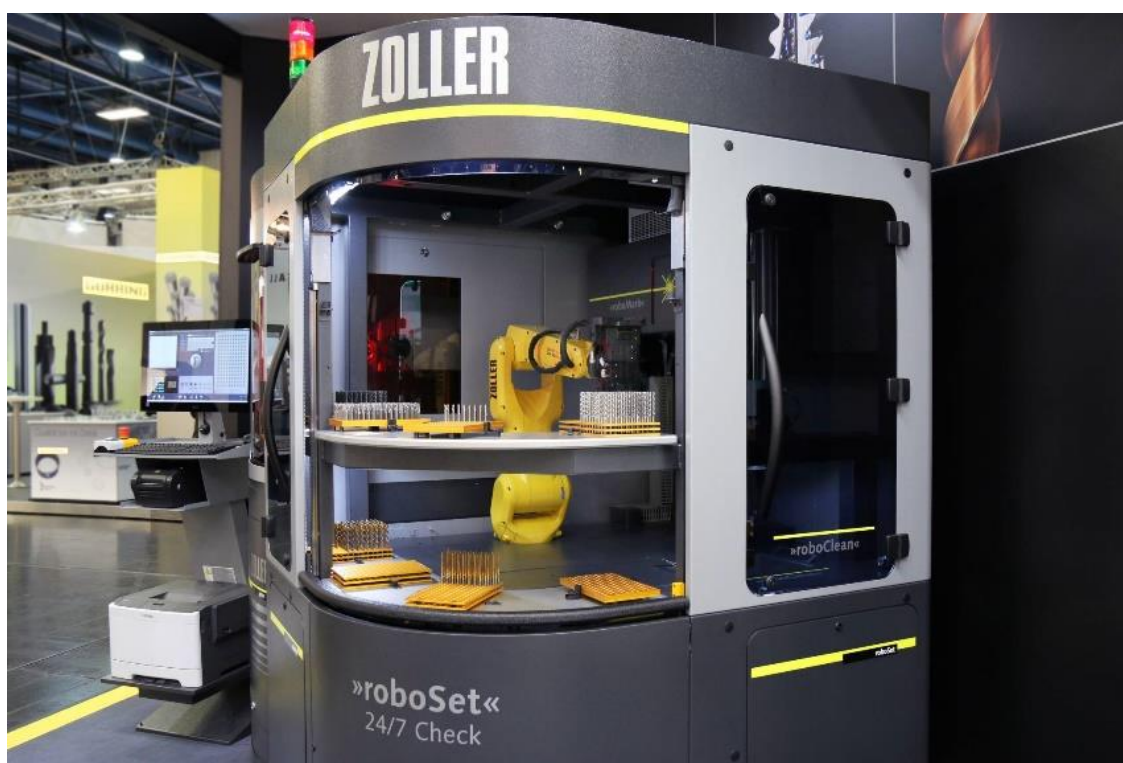


Slika 29. - Prijenos podataka o alatu putem ZidCode-a [18]



### 4.3 Zoller autonomni sustavi

U današnje vrijeme tvrtke se suočavaju s nedostatkom obučениh stručnih radnika, iz tog razloga automatizacija je nezaobilazan čimbenik pametnih tvornica. U tu svrhu Zoller je razvio uređaj „RoboSet“ (Slika 30.), koji predstavlja automatiziranu verziju klasičnog uređaja za mjerenje i namještanje alata, prikladan za proizvođače alata. On omogućuje potpuno automatiziranu manipulaciju alatima, što uključuje proces punjenja, mjerenja, inspekcije i upravljanja alatima bez potrebe za ručnim radom.



Slika 30. - uređaj "RoboSet" [19]

Opremljen sustavom s više paleta i dvostrukom hvataljkom, može potpuno automatski obraditi i dokumentirati veliki broj alata. Uređaj također jamči maksimalnu sigurnost procesa i točnost mjerenja kroz automatsku korekciju putanje tijekom dodavanja i sustav punjenja koji je mehanički odvojen od mjernog stroja. Jedini zadatak koji mora odraditi čovjek je definirati utovar alata putem softvera za upravljanje paletama. (Slika 31.) Nakon toga, „RoboSet“ obavlja sve funkcije od utovara, mjerenja i vađenja alata, do izdvajanja neispravnih alata, arhiviranja izmjerenih vrijednosti i izdavanja izmjerenih vrijednosti na liste. Čak potpuno automatizirano čisti alat pomoću funkcije „RoboClean“ koja omogućuje ultrazvučno i suho čišćenje kako na

alatu ne bi bilo mikročestica, prašine, te ostataka emulzije. Označavanje alata također se vrši automatizirano pomoću funkcije „RoboMark“, nakon mjerenja alata držač alata laserski se označava i pohranjuju se svi podaci o alatu. Također, postoji mogućnost povezivanja „RoboSet“ uređaja sa obradnim centrom za brz i jednostavan prijenos podataka o alatu. [19]

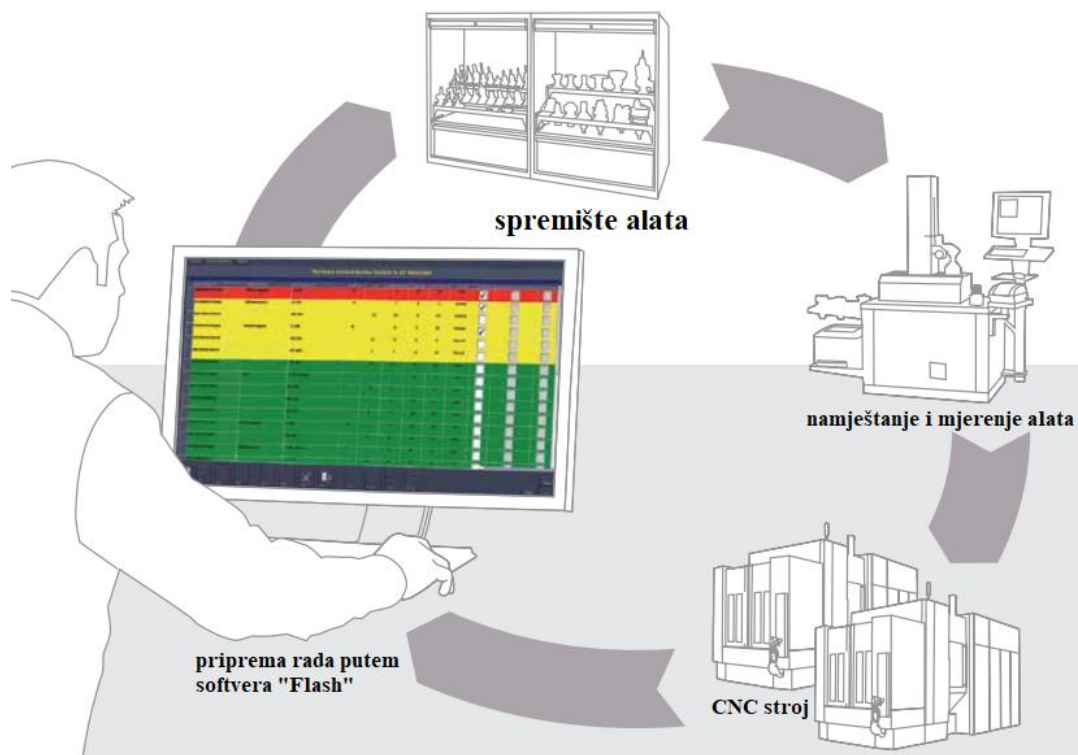


Slika 31. - Softver za upravljanje paletama

#### 4.4 Softver „Flash“

Softver za analizu proizvodnje „Flash“ osigurava optimalno iskorištavanje punog kapaciteta alata. Softver stvara komunikacija s CNC strojem, omogućuje praćenje svih alata koji se koriste u proizvodnom procesu, provjeru radnog vijeka alata, organiziranje alata i pravovremenu izmjenu alata. Ta povezanost prikazana je na Slika 32. Preostali vijek trajanja alata se ispituje na stroju neovisno o operateru i njihov status se prikazuje u bojama semafora, zahvaljujući tom prikazu korištenje alata može se optimalno organizirati. Kada određenom alatu životni vijek istekne, operateru dolazi obavijest da treba zamijeniti određeni alat. Ukoliko je alat označen žutom bojom, znači da mu životni vijek ističe uskoro, a ukoliko je označen crvenom bojom, znači da je alat potrošen, odnosno da mu je životni vijek već istekao. Time se sprječava gubitak kvalitete, lomljenje alata i zastoj stroja. Čim se određeni alat zamijeni, njegov status mijenja boju u zeleno i spreman je za korištenje. [18]





Slika 32. - Praćenje proizvodnog procesa putem softvera "Flash" [18]

#### 4.5 Pametni ormarići za upravljanje alatima

Zoller je razvio i liniju pametnih ormarića za organizaciju i skladištenje alata. Pametni ormarići su moderni sustavi za pohranu i upravljanje alatima, opremljeni naprednom tehnologijom poput RFID čipova, senzora i softvera za upravljanje podacima. Ovi ormarići omogućuju automatizirano praćenje alata, transparentno upravljanje zalihama i optimizaciju logističkih procesa unutar proizvodnog pogona. Integriraju se s drugim Zoller sustavima poput TMS (Tool Management Solutions), čime omogućuju praćenje alata u realnom vremenu. Zahvaljujući transparentnom stanju skladišta, prava količina alata uvijek je dostupna.

Osnovne funkcije pametnih ormarića su sigurna i organizirana pohrana alata, praćenje dostupnosti alata, te automatizacija procesa upravljanja zalihama. Kod Zollerovih pametnih ormarića alati su smješteni u zaštićenim i jasno definiranim odjeljcima, čime se izbjegavaju oštećenja i gubici. Također, radnicima je alat brzo dostupan zahvaljujući inteligentnom sustavu pretraživanja i optimiziranju rasporeda. Zollerov „Keeper“ (Slika 33.) predstavlja napredno rješenje za pohranu i upravljanje alatima te njihovim komponentama. U kombinaciji sa

softverom ZOLLER TMS Tool Management Solutions, ovaj sustav osigurava da je uvijek dostupna točna količina alata na unaprijed definiranom mjestu skladištenja, čime se eliminiraju pogreške pri uzimanju i zamjene alata. Integracija s TMS softverom omogućuje praćenje zaliha u stvarnom vremenu. Široke, ergonomске ručke omogućuju jednostavno otvaranje ladica jednom rukom, čak i kada su potpuno opterećene, poboljšavajući učinkovitost i sigurnost pri radu. Unutarnji okviri za alate su podesivi po visini, što omogućuje pohranu alata različitih veličina i oblika, prilagođavajući se specifičnim potrebama korisnika. „Keeper“ nudi setove za označavanje koji omogućuju trajno obilježavanje pozicija za pohranu alata, s oznakama vidljivim u tekstualnom obliku i kao DataMatrix kod, što olakšava brzo prepoznavanje i organizaciju alata.



**Slika 33. - Zollerov "Keeper" pametni ormar za upravljanje alatima [18]**

Zoller je razvio montažni otok „Z - Tower“ (Slika 34.), inovativno rješenje za montažu alata. Ovaj montažni otok pruža dobro osvijetljeno radno područje koje omogućuje efikasnu montažu alata. Radna površina uključuje kabelski kanal s utičnicama i mrežnim priključkom, osiguravajući praktičan pristup električnoj energiji i povezivost tijekom rada. Također, sadrži i zaslon osjetljiv na dodir koji je povezan sa TMS softverom, omogućujući korisnicima da imaju sve potrebne informacije, poput popisa dijelova potrebnih za montažu alata, detalje o alatima (dimenzije, broj upotreba, stanje alata), te dokumentaciju vezanu za obradu ili montažu. Softver prati stanje alata pohranjenih u Z-Toweru i upozorava na istrošenost alata, te daje informaciju ukoliko neki alat nedostaje ili je premješten.



**Slika 34. Zoller "Z – Tower“ [18]**

Kao dodatne opcije Zollerovi pametni ormarići se mogu konfigurirati putem TMS – a kako bi omogućili pristup određenim alatima samo ovlaštenim osobama, time se povećava sigurnost i smanjuje nepotrebna potrošnja. Ormarići su opremljeni i sustavom koji omogućuje automatsko otključavanje i zaključavanja vrata nakon autorizacije putem softvera. [18]

## 5. Daljnje unaprjeđenje tvrtke Zoller korištenjem koncepata Industrije 4.0

### 5.1 Sustav umjetne inteligencije za prediktivno održavanje alata

Iako Zoller već nudi napredne uređaje za mjerenje i inspekciju alata te upravljanje podacima, postoji prostor za daljnju automatizaciju i predviđanje problema. Klijenti u industriji često gube vrijeme i resurse zbog neplaniranih zastoja u proizvodnji, uzrokovanih trošenjem ili kvarovima alata.

Zoller bi mogao razviti i integrirati sustav temeljen na umjetnoj inteligenciji koji koristi podatke iz senzora na alatima i strojevima kako bi unaprijed predvidio trošenje ili kvar alata te optimizirao radne parametre za što dulji životni vijek alata. Industrija 4.0 temelji se na povezivanju strojeva, podataka i inteligentnih sustava radi automatizacije i optimizacije proizvodnih procesa. Prema tome, predložena implementacija sustava za prediktivno održavanje i optimizaciju alata uklapa se u ovu filozofiju. Cilj je povezati senzorske podatke sa softverskim rješenjima kako bi se stvorila potpuno integrirana i inteligentna mreža za upravljanje alatima.

Sustav bi se temeljio na naprednim sensorima ugrađenim u alate i strojeve, koji prate ključne radne parametre, kao što su:

- Vibracije
- Temperatura
- Trenje
- Akustični signali

Senzori bi bili povezani s centralnim sustavom putem IoT metoda. Korištenjem umjetne inteligencije i strojnog učenja radila bi se analiza podataka dobivenih sa senzora, te se identificiraju obrasci koji ukazuju na potencijalne kvarove prije nego što se dogode. Na primjer, ako se vibracije alata povećavaju, sustav može predvidjeti prekomjerno trošenje. Također, sustav bi imao mogućnost slanja pravovremene obavijesti za održavanje koja bi omogućila da se alat zamijeni ili popravi prije nego dođe do zastoja. Umjetna inteligencija uspoređivala bi

trenutne uvjete rada s idealnim parametrima i automatski šalje naredbe stroju za prilagodbu postavki.

Prednosti korištenja ovakvog sustava:

- **Smanjeni troškovi održavanja:** Pravovremeno održavanje sprečava skupe kvarove i zastoje u proizvodnji.
- **Produžen životni vijek alata:** Optimizacija parametara rada smanjuje trošenje alata.
- **Povećana produktivnost:** Eliminacija neplaniranih zastoja omogućuje stabilan i kontinuiran rad.
- **Poboljšanje konkurentnosti:** Zoller bi se pozicionirao kao lider u Industriji 4.0 kroz inovativnu integraciju tehnologija umjetne inteligencije.

Ovakav sustav ne samo da bi poboljšao unutarnje procese, nego bi i klijentima osigurao značajne uštede i povećao njihovu produktivnost. U konačnici, ovo rješenje osigurava da Zoller ostane lider u industriji te da postavi standarde za buduće generacije proizvodnih sustava.

## 5.2 Automatizacija procesa izmjene alata termo - stezanjem

Termo - stezanje je metoda pričvršćivanja alata koja osigurava iznimnu preciznost i stabilnost u radu. Međutim, proces zamjene alata termo - stezanjem je vremenski zahtjevan i podložan pogreškama. Automatizirani robot, posebno dizajniran za rukovanje izmjenom alata termo - stezanjem, može znatno poboljšati učinkovitost, sigurnost i ponovljivost u ovim procesima.

Automatizirani robot za izmjenu alata pomoću termo - stezanja dizajniran je za obavljanje svih koraka uključenih u zamjenu alata na temelju grijanja držača i njihovog brzog hlađenja. Glavni dio sustava čini robot s visokim stupnjem slobode, sposoban za precizno rukovanje alatima različitih veličina i oblika. Robot pomoću prilagodljivih hvataljki stavlja držač u indukcijski grijač. Za zagrijavanje držača alata koristi se tehnologija elektromagnetske indukcije, a u grijač treba ugraditi senzore koji osiguravaju kontrolu temperature, time se sprječava pregrijavanje ili oštećenje. Nakon zagrijavanja, robot precizno stavlja alat u držač. Zahvaljujući automatiziranim

---

senzorima, robot osigurava savršenu orijentaciju i pozicioniranje alata. Potom robot aktivira sustav za brzo hlađenje pomoću zraka, osiguravajući čvrsto stezanje alata. Na kraju procesa, robot prenosi držač s alatom na Zollerov uređaj za mjerenje, gdje se provjerava točnost postavljanja i geometrijski parametri alata. Izmjereni podaci o alatu se putem mreže šalju direktno na CNC stroj, a robot premješta gotov alat u unaprijed određeno skladišno mjesto ili ga transportira do proizvodnog pogona.

Ključne prednosti ovakvog sustava:

- **Povećana produktivnost:** Automatizirani sustav omogućava neprekidni rad, čak i tijekom noći ili vikenda, čime se značajno povećava kapacitet proizvodnje.
- **Preciznost i kvaliteta:** Robotski sustav osigurava savršenu ponovljivost svakog procesa, eliminirajući pogreške koje se mogu dogoditi tijekom ručne izmjene.
- **Sigurnost:** Sustav uklanja potrebu za ljudskom interakcijom s visokim temperaturama i teškim alatima, čime se smanjuje rizik od ozljeda.
- **Smanjenje troškova:** Dugoročno, automatizacija smanjuje troškove rada i održavanja, a brže izmjene alata smanjuju zastoje u proizvodnji.

---

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad detaljno istražuje povezivanje koncepata Industrije 4.0, temeljen na integraciji pametnih tehnologija poput Interneta stvari (IoT), cyber – fizičkih sustava (CPS), umjetne inteligencije (AI), itd., sa procesima u tvrtki Zoller, koja je poznata po tehnologijama upravljanja alatima i mjernim sustavima.

Industrija 4.0 transformira način na koji tvrtke proizvode, distribuiraju i upravljaju resursima. Prednosti poput povećane produktivnosti, smanjenja troškova, personalizirane proizvodnje i održivosti čine ove koncepte ključnim za budućnost industrije. Tvrtke koje uspješno implementiraju Industriju 4.0 ne samo da povećavaju svoju učinkovitost i profitabilnost, već postaju lideri u inovacijama i konkurentnosti na globalnom tržištu.

Njemačka tvrtka Zoller, globalno poznata po proizvodnji inovativnih uređaja za mjerenje i prednamještanje alata, čvrsto je usidrena u paradigmi Industrije 4.0. Njihovi proizvodi i rješenja savršeno se uklapaju u ovu industrijsku revoluciju, omogućujući tvrtkama povećanje produktivnosti, točnosti i fleksibilnosti u upravljanju alatima. Zollerovi uređaji i rješenja podržavaju automatizaciju, digitalizaciju i povezivanje, što su osnovne značajke Industrije 4.0

U konačnici su predstavljene dvije ideje za daljnje unaprjeđenje Zollerovih proizvoda korištenjem koncepata Industrije 4.0. Sustav umjetne inteligencije za prediktivno održavanje alata smanjio bi troškove održavanja, produljio bi životni vijek alata, povećao produktivnost, te bi poboljšao konkurentnost Zollerovih proizvoda na tržištu. Također, predstavljen je automatizirani sustav za izmjenu alata termo – stezanjem. Takav automatizirani sustav omogućava neprekidan rad, maksimalnu preciznost, te sigurnost procesa.

---

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.zoller.info/us/zoller-inside/the-company/zoller-inc>, Pristupljeno 2024.12.01.
- [2] <https://www.zoller.info/us/products/presetting-measuring>, Pristupljeno 2024.12.01.
- [3] <https://www.zoller.info/us/products/inspection-measuring>, Pristupljeno 2024.12.01.
- [4] <https://happtory.hr/industrija-4-0/>, Pristupljeno 2024.12.03.
- [5] <https://izit.hr/blog/aditivna-proizvodnja>, Pristupljeno 2024.12.04.
- [6] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/collaborative-robot-cobot>, Pristupljeno 2024.12.07
- [7] <https://www.kuka.com/en-de/future-production/human-robot-collaboration>, Pristupljeno 2024.12.07
- [8] <https://stamh.com/hr/industrijski-roboti>, Pristupljeno 2024.12.07
- [9] <https://rck.elpros.net/virtualna-stvarnost-vr-naspram-prosirene-stvarnosti-ar-u-cemu-je-razlika/>, Pristupljeno 2024.12.12.
- [10] <https://www.c-a-d.com.hr/post/pametna-proizvodnja-buducnost-stvaranja-je-digitalna>, Pristupljeno 2024.12.12.
- [11] <https://www.ibm.com/topics/cloud-computing>, Pristupljeno 2024.12.20.
- [12] <https://www.linkedin.com/pulse/role-artificial-intelligence-industry-40-game-changer-amartya-p/>, Pristupljeno 2024.12.22.
- [13] <https://community.hpe.com/t5/hpe-blog-uk-ireland-middle-east/artificial-intelligence-enough-of-the-hype-what-is-it/ba-p/7046672>, Pristupljeno 2024.12.23.
- [14] <https://www.ictbusiness.info/poslovna-rjesenja/sto-je-to-zapravo-big-data-i-gdje-se-primjenjuje>, Pristupljeno 2024.12.27.
- [15] <https://hr.panasystech.com/info/cyber-physical-system-36074640.html>, Pristupljeno 2024.12.27.
- [16] Deloitte University Press: The Smart Factory
- [17] <https://www.mpdv.com/en/industry-4-0/smart-factory-glossary/4-stage-model-of-the-smart-factory>, Pristupljeno 2024.12.29.
- [18] <https://www.zoller.info/us/products/tool-management>, Pristupljeno 2025.01.11.
- [19] <https://www.zoller.info/us/products/automation>, Pristupljeno 2025.01.13.