

Razvoj kompetencija iz područja industrije 4.0 kroz tvornicu za učenje

Đenadija, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:235:317688>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Anja Đenadija

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Anja Đenadija

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su vjerovali u mene i bili mi podrška kroz sve uspone i padove. Posebno se zahvaljujem svom ocu koji je imao jako puno strpljenja sa mnom i koji mi je pomogao ispuniti sve želje.

Za kraj se želim zahvaliti svome mentoru Miri Hegediću na pomoći i ukazanom povjerenju.

Hvala svima!

Anja Đenadija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ANJA ĐENADIJA** Mat. br.: 0035199650

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Razvoj kompetencija iz područja industrije 4.0 kroz tvornicu za učenje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of competencies in the field of Industry 4.0 through a learning factory**

Opis zadatka:

Tvornica za učenje je visoko kompleksno edukacijsko okruženje kojemu je cilj što realnije prikazati stvarnu tvornicu te je bitan alat za efikasnu prilagodbu radne snage na Industriju 4.0. Učenje se provodi praktičnim radom, studenti aktivno prolaze kroz materijal za učenje vezan uz sve dijelove proizvodnje te dodatno uče na koji ih način uz pomoć automatizacije i digitalizacije mogu povezati u jednu cjelinu. Primjenom koncepta tvornice za učenje rastu kompetencije studenata, ali i radnika iz industrije, što se pozitivno odražava i na poduzeća, odnosno na cijelu industriju.

U radu je potrebno:

1. Opisati koncept tvornice za učenje, bitne aspekte, potencijale i ograničenja te dati povijesni pregled koncepta.
2. Napraviti pregled postojećih tvornica za učenje u svijetu i Hrvatskoj te ih analizirati prema ključnim faktorima.
3. Na temelju rezultata prethodne analize osmisliti i izraditi digitalni prikaz navedenih tvornica.
4. Definirati proces razvoja edukacijskog materijala u tvornici za učenje na primjeru projekta u kojem sudjeluje više od 2 organizacije.
5. Definirati i izraditi jedan kratki edukacijski materijal na postojećem postavu tvornice za učenje.
6. Testirati edukacijski materijal sa stvarnim sudionicima i opisati rezultate.

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

Zadatak zadan:
5. svibnja 2022.

Rok predaje rada:
7. srpnja 2022.

Predvideni datum obrane:
18. srpnja do 22. srpnja 2022.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O TVORNICAMA ZA UČENJE.....	2
2.1. Razine znanja.....	2
2.1.1. Osnove.....	2
2.1.2. Svijest.....	2
2.1.3. Aplikacija i prijenos.....	2
2.2. Implementacija koncepta.....	3
2.2.1. Identifikacija bitnih aspekata.....	3
2.2.2. Strukturiranje modela.....	3
2.2.2.1. Tri stupa transformacije.....	4
2.2.2.2. Četiri faze transformacije.....	5
2.3. Potencijal tvornica za učenje.....	5
2.3.1. Potencijal za edukaciju.....	5
2.4. Ograničenja tvornica za učenje.....	7
3. ANALIZA POSTOJEĆIH TVORNICI ZA UČENJE.....	9
4. REPOZITORIJ POSTOJEĆIH TVORNICI ZA UČENJE.....	17
5. RAZVOJ EDUKACIJSKOG MATERIJALA U TVORNICI ZA UČENJE NA PRIMJERU PROJEKTA U KOJEM SUDJELUJE VIŠE OD DVIJE ORGANIZACIJE	21
5.1. Projektni menadžment.....	21
5.2. Analiza dionika i zahtjeva.....	21
5.3. Analiza i odabir potrebne opreme.....	24
5.4. Stvaranje materijala za učenje.....	24
5.5. Obuka zaposlenika i evaluacija.....	25
5.6. Testiranje probnog programa.....	26

5.7. Plan širenja i komercijalizacija.....	26
6. EDUKACIJSKI MATERIJAL ZA POSTOJEĆI POSTAV TVORNICE ZA UČENJE...	27
6.1. Smart Factory na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.....	27
6.2. Ishodi učenja.....	28
6.3. Detaljan opis edukacijskog sadržaja	28
7. TESTIRANJE EDUKACIJSKOG MATERIJALA.....	36
8. ZAKLJUČAK.....	41
LITERATURA.....	42

POPIS SLIKA

Slika 1.	Razine znanja	3
Slika 2.	Model transformacije	4
Slika 3.	Istraživanja kod tvornica za učenje	7
Slika 4.	Razvoj tvornica za učenje kroz vrijeme	9
Slika 5.	Lokacija tvornica za učenje	10
Slika 6.	Geografske lokacije tvornica za učenje	10
Slika 7.	Veličine tvornica za učenje.....	12
Slika 8.	Kategorije veličina tvornica za učenje	13
Slika 9.	Područja učenja	14
Slika 10.	Alati u tvornicama za učenje	16
Slika 11.	Metodologija razvoja repozitorija.....	18
Slika 12.	Primjer Excel tablice	18
Slika 13.	Početna stranica repozitorija.....	20
Slika 14.	Prikaz repozitorija.....	20
Slika 15.	Dionici definirani u upitniku	22
Slika 16.	Specifični interesi dionika	22
Slika 17.	Potencijale koristi za dionike.....	23
Slika 18.	Primjer detaljnog opisa dionika projekta	23
Slika 19.	SMART ishodi učenja.....	24
Slika 20.	Bloomova taksonomija.....	25
Slika 21.	CP Lab	27
Slika 22.	Primjer prezentacije o Industriji 4.0.....	29
Slika 23.	Primjer prezentacije o tvornicama za učenje	29
Slika 24.	Program RobotinoFactory	30
Slika 25.	Program FleetManager	31
Slika 26.	Novi nalog za proizvodnju.....	32
Slika 27.	Paleta i nosač.....	33
Slika 28.	Spuštanje obratka na nosač	33
Slika 29.	Bušenje	34
Slika 30.	Robotino	34
Slika 31.	Preša	34
Slika 32.	Skidanje proizvoda s proizvodne linije	35

Slika 33.	Ulazni test	36
Slika 34.	Rezultati ulaznog testa.....	37
Slika 35.	Izlazni test.....	38
Slika 36.	Stvarno i predviđeno vrijeme trajanja proizvodnje.....	39
Slika 37.	Usporedba vremena prije i poslije poboljšanja.....	39
Slika 38.	Izvještaj o efikasnosti proizvodnje.....	40

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mogućnosti učenja u tvornicama za učenje.....6

Tablica 2. Broj tvornica za učenje po državi.....11

Tablica 3. Veličine tvornica za učenje.....12

Tablica 4. Proizvodi tvornica za učenje.....15

POPIS KRATICA

Oznaka	Puni naziv	Prijevod
CPS	<i>Cyber-physical system</i>	Kibernetičko-fizički sustav
IALF	<i>International Association of Learning Factories</i>	Internacionalna asocijacija tvornica za učenje
CNC	<i>Computer numerical control</i>	Računalno numeričko upravljanje
MES	<i>Manufacturing execution system</i>	Sustav izvršenja proizvodnje
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>	Radiofrekventna identifikacija

SAŽETAK

Tvornica za učenje jedan je od edukacijskih alata koji se može koristiti za proučavanje tehnologija Industrije 4.0. Visoko je kompleksno edukacijsko okruženje koje se koristi kako bi se stvarna tvornica prikazala što realnije moguće.

S obzirom da postoji rastući trend otvaranja tvornica za učenje, u ovom radu je napravljena baza podataka postojećih tvornica za učenje te su iste analizirane uzimajući u obzir njihove najbitnije značajke. Baza podataka rezultat je pretraživanja dostupne znanstvene literature i javnih izvora. Kako bi baza podataka bila dostupna što većem broju ljudi, izrađen je i web repozitorij tvornica za učenje koji olakšava istraživački rad kroz jednostavniji pristup i omogućuje usporedbu i umrežavanje tvornica za učenje. Na postojećoj tvornici za učenje Fakulteta strojarstva i brodogradnje napravljen je i testiran kratki edukacijski sadržaj. Rezultati testiranja potvrdili su korisnost tvornica za učenje u akademskim ustanovama.

Ključne riječi: Industrija 4.0, Tvornica za učenje, Repozitorij tvornica za učenje, Edukacijski sadržaj

SUMMARY

The Learning Factory is one of the educational tools that can be used to study Industry 4.0 technologies. It is a highly complex educational environment that is used to present the actual factory as realistically as possible.

Given that there is a growing trend of opening learning factories, in this paper a database of existing learning factories was created and analysed taking into account their most important features. The database is the result of a search of available scientific literature and public sources. In order to make the database accessible to as many people as possible, a web directory of learning factories was created, which facilitates research work through a simpler approach and enables comparison and networking of learning factories. At the existing learning factory of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, a short educational content was created and tested. The test results confirmed the usefulness of learning factories in academic institutions.

Key words: Industry 4.0, Learning Factory, Learning Factory Directory, Educational Content

1. UVOD

Europa se u posljednja dva stoljeća suočava s industrijskim padom. Broj zaposlenih u tradicionalnoj proizvodnji značajno se smanjio, što predstavlja veliki problem [1]. Konkurencija (SAD, Japan, Brazil, Kina, Indija) je primjenom novih tehnologija smanjila gubitke, poboljšala kvalitetu proizvoda, povećala produktivnost i razinu prihoda te otvorila nova radna mjesta. Rješavanje ovog problema započelo je provođenjem Industrije 4.0. Pojam Industrija 4.0 se prvi puta spomenuo 2011. godine u Njemačkoj i označava automatizaciju i digitalizaciju postojećih pogona te gradnju novih, koristeći se modernom tehnologijom.

U posljednjih deset godina, od uvođenja Industrije 4.0, provedeno je istraživanje s ciljem utvrđivanja spremnosti država ili regija za implementaciju iste. 2015. godine istraživanje u kojem je sudjelovalo 159 tvrtki utvrdilo je da je stupanj industrije zrelosti 2,15 na skali od 1 do 4 [2]. Prema indeksu spremnosti ili performansi u odnosu na Industriju 4.0. istraživačka studija koju su proveli Atik i Ünlü [3] Hrvatsku je smještena na 18. mjesto među 33 europske zemlje, a studija koju su proveli Hejdukova i suradnici [4] pokazala je da u osam godina nije došlo do poboljšanja. Konačno, nedavna studija [5] pokazala je da postoji potencijal za implementaciju Industrije 4.0 u manje od 2 % hrvatskih tvrtki.

Kao i sve druge nove inicijative implementacija Industrije 4.0 stvara otpor zbog odbojnosti prema novom i neprovjerenom te zbog nedostatka informacija. Kako bi se riješio problem otpora potrebno je educirati zaposlenike i proširiti njihovu svijest o novim tehnologijama. Stoga bi u proces trebale biti uključene znanstvene institucije koje su u mogućnosti pomoći pripremiti radnu snagu za Industriju 4.0 uspostavljanjem tvornica za učenje [6] s obzirom na jedinstvene karakteristike malih i srednjih poduzeća.

Tvornica za učenje je visoko kompleksno edukacijsko okruženje kojemu je cilj što realnije moguće prikazati stvarnu tvornicu [7]. Studenti, tj. zaposlenici uče iz prve ruke, tako što sami prolaze kroz sve dijelove proizvodnje. Da bi nešto sami napravili moraju to dobro razumjeti, zato je ovo najbolji način učenja. Kontinuiranim radom i unaprjeđenjem procesa zaposlenici eliminiraju gubitke i samim time postaju kompetentniji i sposobniji za rješavanje raznih problema. Tvornica za učenje kao koncept oslanja se na Lean filozofiju proizvodnje.

2. OPĆENITO O TVORNICAMA ZA UČENJE

Koncept tvornice koja uči prvu puta je spomenut 1995. godine u SAD-u [8]. Penn State University stvorio je prostor sa svim potrebnim strojevima, alatima i materijalima pomoću kojih su se rješavali problemi iz industrije u što realističnijem okruženju. U ostatku svijeta je primjena ovog koncepta počela kasnije. Većina tvornica za učenje pokrenute su u zadnjem desetljeću. Osim u Europi i Aziji gdje s razvojem prednjače Njemačka, Japan, Kina i Indija koncept je prihvaćen i u Južnoj Americi. Za sada je u Južnoj Americi malo inicijativa, uglavnom u Brazilu i Kolumbiji.

Izvrsnost radnika i izvrsnost poduzeća usko su povezani. Poslovni uspjeh poduzeća se ostvaruje kroz uključenost zaposlenika. Zaposlenici se kontinuirano obrazuju kako bi razvili potrebne kompetencije i vještine. Njihova zadaća je da prepoznaju i realiziraju potencijal za unaprjeđenje. Kompetencije i vještine radnika su vrlo vrijedni poslovni resurs.

2.1. Razine znanja

Znanje koje se stiče primjenom ovog koncepta može se podijeliti u tri razine, osnove, svijest te aplikacija i prijenos [Slika 1] [9].

2.1.1. Osnove

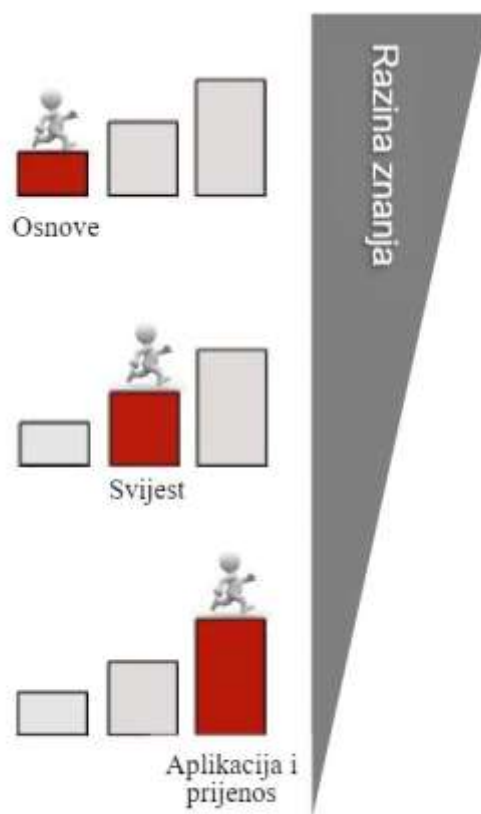
Osnovno znanje je prva razina učenja i u biti predstavlja podlogu bez koje se ne može nastaviti s učenjem. Razinu karakterizira poznavanje osnova proizvodnih procesa, poznavanje strojeva i alata, poznavanje osnova automatizacije te poznavanje osnova Lean metoda i principa .

2.1.2. Svijest

Svijest je druga razina učenja koja se nastavlja na osnovno znanje. Za daljnje učenje i kontinuirano unaprjeđenje potrebna je visoka razina volje i želje učenika. Razinu karakterizira poznavanje idealnih procesa u proizvodnji, svijest o tome što je kvalitetno i poznavanje proizvodnih sustava (konstrukcija i funkcija).

2.1.3. Aplikacija i prijenos

Aplikacija i prijenos je treća, najviša razina znanja. Ona podrazumijeva aplikaciju Lean metoda, aplikaciju sistema za upravljanje kvalitetom te sistematsko rješavanje problema i unaprjeđenje proizvodnih procesa.



Slika 1. Razine znanja [9]

2.2. Implementacija koncepta

S ciljem implementacije koncepta tvornice za učenje razvijen je proces istraživanja koji se sastoji od dvije faze, identifikacije bitnih aspekata te strukturiranja modela.

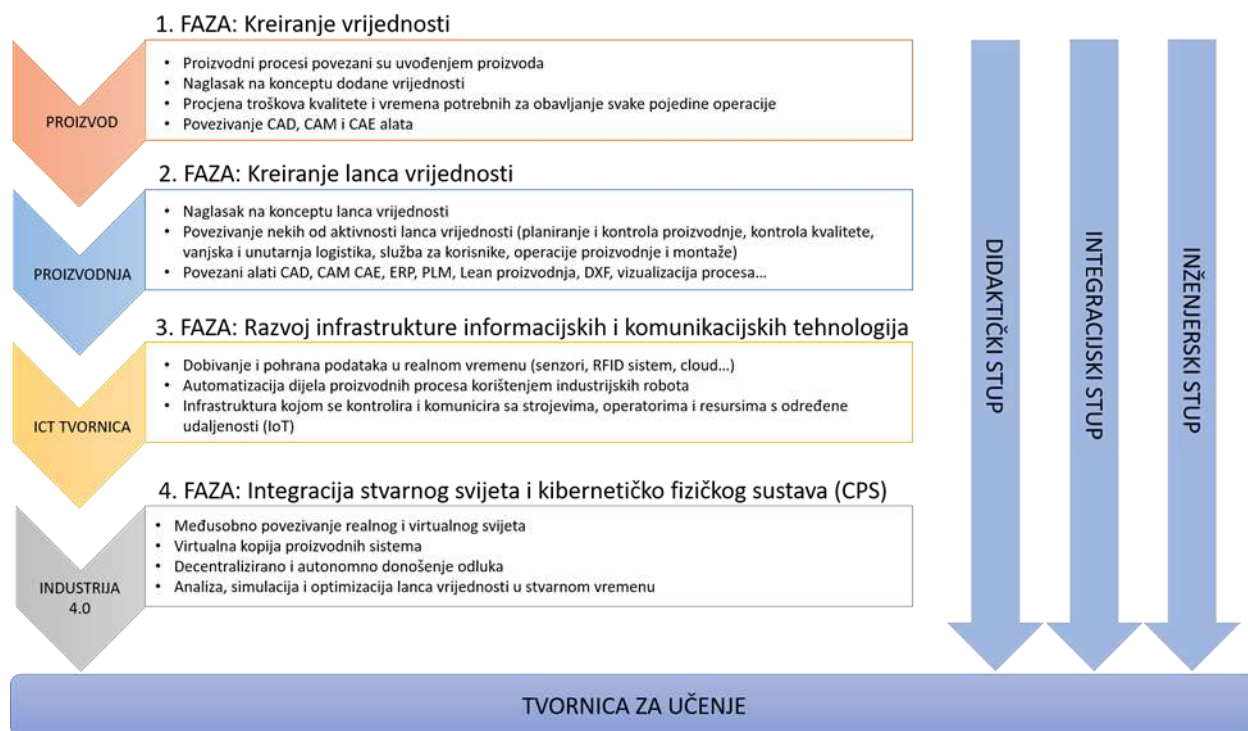
2.2.1. Identifikacija bitnih aspekata

Prva faza se sastoji od identifikacije bitnih aspekata tvornice za učenje kao što su tehnološka infrastruktura, strategije podučavanja tj. učenja, za koju ciljanu skupinu se razvija projekt, koja je osnovna tematika itd.

2.2.2. Strukturiranje modela

Druga faza se sastoji od strukturiranja modela koji se bazira na tri stupa. Stupovi u biti predstavljaju karakteristike koje se moraju steći prilikom primjene koncepta tvornice za učenje [Slika 2]. Model je podijeljen u četiri faze, kreiranje vrijednosti, kreiranje lanca vrijednosti,

razvoj infrastrukture informacijskih i komunikacijskih tehnologija te integracija stvarnog svijeta i kibernetičko fizičkog sustava (CPS) [Slika 2] [8].



Slika 2. Model transformacije [8]

2.2.2.1. Tri stupa transformacije

Svaki od stupova se sastoji od karakteristika koje se moraju razviti za tvornicu koja uči. Radnje koje se provode u četiri faze modela služe kako bi izgradile ova tri stupa, u većoj ili manjoj mjeri, ovisno o fazi projekta.

Karakteristike su podijeljene u stupove na temelju sličnosti. Na kraju su dobivena tri stupa [8]:

1. Didaktički stup – U ovaj stup spadaju ciljana skupina, cilj edukacije i strategije učenja. Fokusira se na odabir korisnika i njihove potrebe.
2. Integracijski stup – Ovaj stup se sastoji od konstruiranja, logistike te planiranja i kontrole proizvodnje. Cilj mu je integracija inženjerstva, administracije, marketinga i ekonomije.
3. Inženjerski stup – Sastavni dijelovi ovog stupa su tehnologije, inženjerski ciljevi i strategije. Pokretač je svih tehničko-tehnoloških sadržaja koji sudjeluju u konceptu tvornice za učenje.

2.2.2.2. Četiri faze transformacije

Realizacija koncepta postiže se izvršavanjem svake od četiri faze transformacije koje se usmjeravaju prema željenom cilju pomoću tri stupa transformacije.

Četiri faze su [8]:

1. Kreiranje vrijednosti – Uvođenjem proizvoda transformira se proizvodni proces. Iako je rezultat gotovi proizvod, glavni cilj ove faze je didaktički, od samog proizvoda bitnije je novo znanje korisnika. Odnosi se poglavito na didaktički stup.
2. Kreiranje lanca vrijednosti – U drugoj fazi transformacije, koja se odnosi na integracijski stup, uvode se logistika, planiranje i kontrola proizvodnje te operacije montaže za već razvijene proizvode iz prethodne faze. Ovom fazom se stvara lanac vrijednosti i u didaktičkom obliku i u obliku infrastrukture.
3. Razvoj infrastrukture informacijskih i komunikacijskih tehnologija – U trećoj fazi se uvode strategije proizvodnje i tehnologije koje se na njih odnose. Inženjerski stup je u prethodne dvije faze bio manje zastupljen, dok se ova faza uglavnom bazira baš na njemu.
4. Integracija stvarnog svijeta i kibernetičko fizičkog sustava (CPS) – Finalna faza transformacije. Izgradnjom stupova iz prethodnih transformacija razvijene su osnove za primjenu tvornice koja uči.

2.3. Potencijal tvornica za učenje

2.3.1. Potencijal za edukaciju

Kako bi proces učenja bio maksimalno efikasan treba pokriti više različitih koncepata učenja kao što su učenje temeljeno na problemima, aktivno učenje, situacijsko učenje, učenje u promjenjivom okruženju. Razni aspekti učenja pomažu pri savladavanju problema i usavršavanju kompetencija unutar tvornice za učenje [Tablica 1].

Tablica 1. **Mogućnosti učenja u tvornicama za učenje [10]**

Aspekti učenja	Tvornica koja uči kao sistem učenja
Stavljanje u kontekst	Vjerna replika stvarne tvornice omogućava učenje u kontekstu, tj. omogućava snalaženje u različitim problematičnim situacijama
Aktivacija učenika	Stjecanje i aplikacija znanja (aktivna faza)
Rješavanja problema	Rješavanje stvarnih problema koji se mogu dogoditi u industriji
Motivacija	Veća motivacija zbog realnosti i mogućnosti direktnog rješavanja problema
Grupni rad	Moguće je samoinicijativno učenje u grupama
Integracija misli i djela	Izmjene između praktičnog i teoretskog rada
Samoregulacija učenja	Uz vanjsko upravljanje procesom učenja, učenicima je omogućeno i da sami odlučuju što, kako i kada će učiti

Za procese učenja koji su orijentirani poslu postoje dva pristupa:

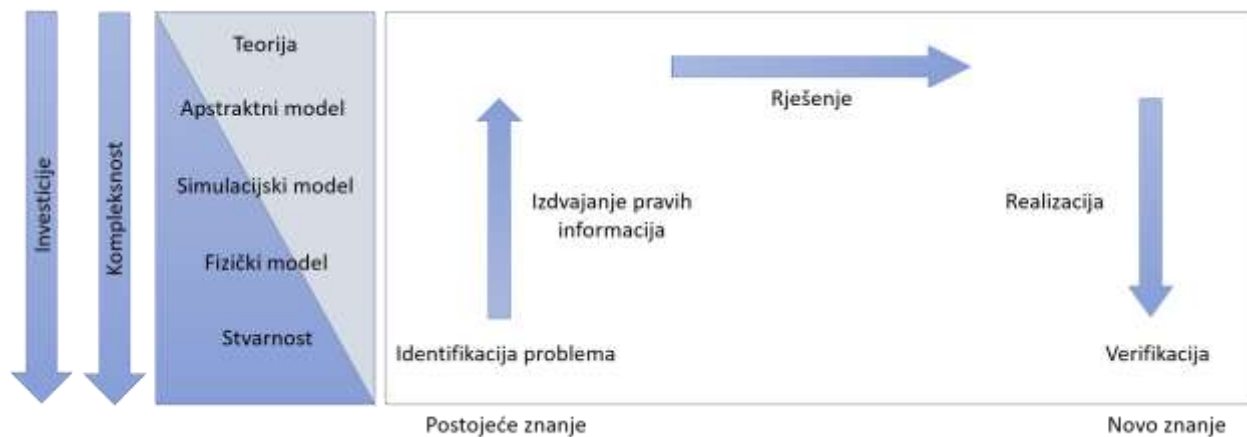
1. Asimilacija informacija – Metode i iskustva drugih se teoretski obrade te zatim primjene i testiraju.
2. Eksperimentalno učenje – Praktični rad je osnova za razumijevanje sadržaja koji se uči.

2.3.2. Potencijal za istraživanje

Tvornice za učenje mogu služiti i za istraživanje novih procesa [Slika 3]. Tijekom istraživanja problemi se utvrde, obrade te se rješenja provjere na infrastrukturi tvornice za učenje. Ovakvo rješavanje problema je povoljno zato jer su troškovi niži, a kompleksnost u odnosu na stvarnost je zadovoljavajuća.

Nadalje, kompanije žele pravovremeno biti upoznate s novom, inovativnom tehnologijom. Pošto je nova tehnologija veoma skupocjena, osoblje se u tvornici za učenje može upoznati s mogućnostima i karakteristikama tehnologije. Također mogu utvrditi da li im se isplati prilagoditi postojeće procese svojih postrojenja novoj tehnologiji i koji je pravi način da se to učini.

Tvornice koje uče također omogućavaju istraživanje i razvoj proizvoda te proizvodnih proces od kreiranja ideje do zrele faze.



Slika 3. Istraživanja kod tvornica za učenje [10]

2.4. Ograničenja tvornica za učenje

Tvornice koje uče na trenutnoj razini razvoja imaju određena ograničenja [10]:

1. Limitirani resursi
2. Limitirane mogućnosti mapiranja
3. Limitirana skalabilnost
4. Limitirana mobilnost
5. Limitirana efikasnost

Nedostatak resursa tijekom stvaranja tvornice za učenje predstavlja nepremostiv problem. Potrebno je osigurati odgovarajuću opremu i prostor za istu, sposobno osoblje i kvalitetan program koji će se predavati.

Tvornice za učenje, kao replika stvarnih tvornica, predstavljaju procese u industrijskom okruženju. Svaka tvornica je fokusirana na jednu temu stoga ne može adekvatno mapirati sve izazove i subjekte koji se u stvarnosti pojavljuju, što je u teoriji moguće.

Za razliku od tradicionalnih predavanja, gdje jedan predavač može podučavati i preko sto ljudi kod tvornica za učenje kapacitet je ograničen na deset do petnaest sudionika. Skaliranje je veoma ograničeno. Još jedna limitirajuća činjenica je da se u prostoru tvornice može održavati samo jedno predavanje u određenom vremenskom periodu.

Tvornice za učenje se grade na jednom mjestu i uglavnom se ne mogu premještati s jednog mjesta na drugo, ograničena im je mobilnost.

Efikasnost se vrlo rijetko mjeri. Kako bi se konstruirala efikasna tvornica u svakom trenutku se cilj mora uzeti u obzir, a on je najčešće razvoj znanja i vještina sudionika.

3. ANALIZA POSTOJEĆIH TVORNICA ZA UČENJE

Za potrebe ovog diplomskog rada napravljena je baza podataka u koju upisani svi bitni aspekti postojećih tvornica za učenje, naziv tvornice, lokacija, godina osnutka, proizvod koji se proizvodi, alati potrebni za proizvodnju i učenje te područja kojima se tvornice bave. Podaci su preuzeti iz stručne literature i postojećih repozitorija.

Tvornice za učenje mogu se primijeniti na razne načine. Stoga, se mogu klasificirati prema [11]:

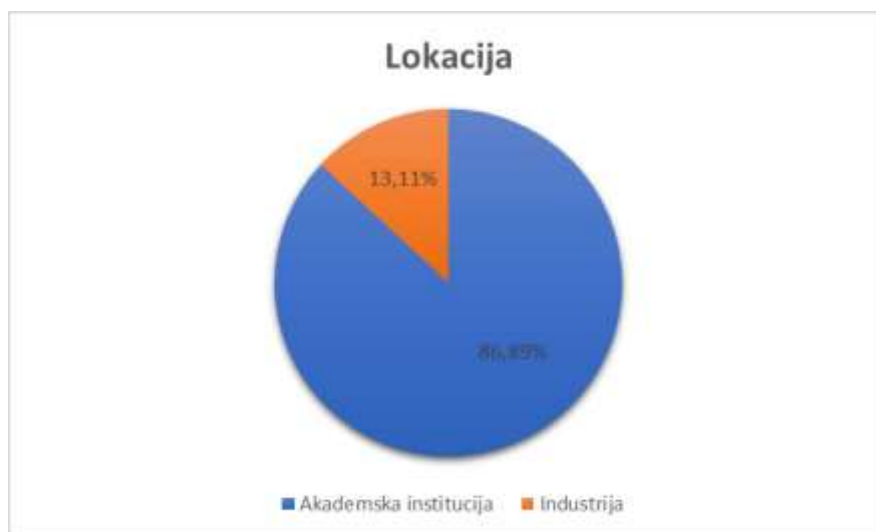
1. Svrsi: učenje, istraživanje i aplikacija, te kombinacija prethodno navedenih
2. Implementaciji: fizička, virtualna, stažiranje i zajednički procesi
3. Veličini: kompletne, skalirani moduli, *bench-top*, Lego i druge igre za učenje
4. Funkcionalnosti: statičke, operacionalne
5. Lokaciji: u laboratoriju, dijelom povezane s industrijom i u industriji

Od 1995. godine uspostavljene su mnoge tvornice za učenje [Slika 4].



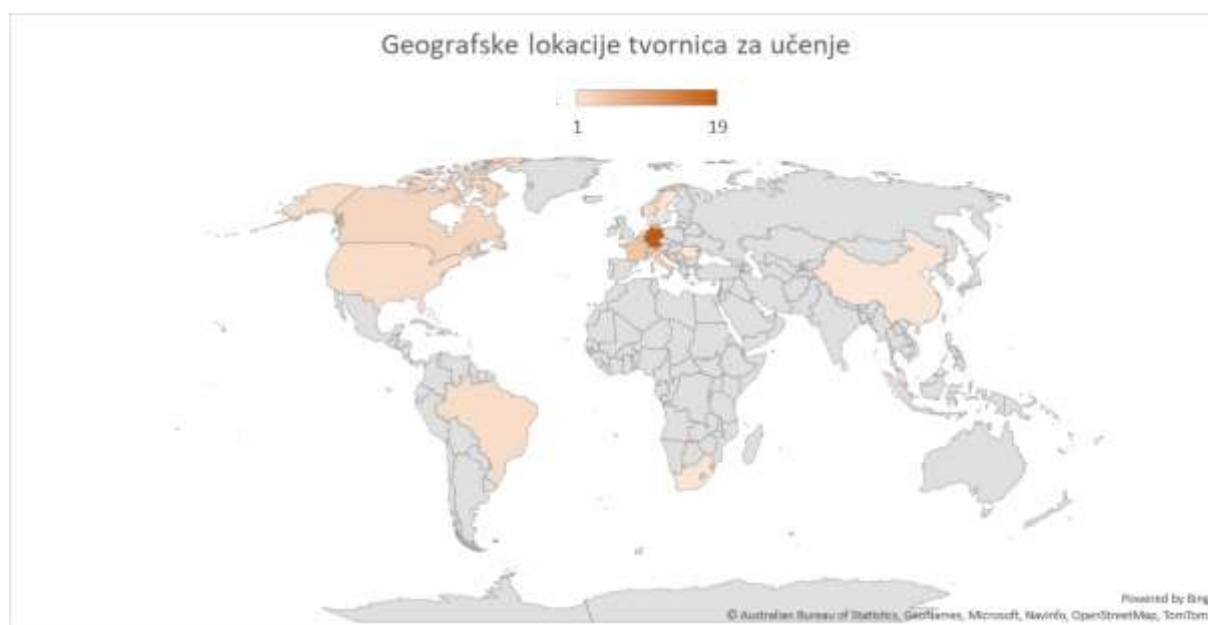
Slika 4. Razvoj tvornica za učenje kroz vrijeme

Većina tvornica za učenje trenutno se nalazi u sklopu akademskih ustanova, u obliku laboratorija [Slika 5]. S vremenom i razvojem tehnologije polako raste broj tvornica koje su povezane s industrijom ili se nalaze u sklopu neke postojeće tvornice.



Slika 5. Lokacija tvornica za učenje

Tvornice za učenje mogu se pronaći u svim dijelovima svijeta [Slika 6].



Slika 6. Geografske lokacije tvornica za učenje

Iako je koncept tvornice za učenje nastao u Sjedinjenim Američkim Državama, danas s njihovim razvojem prednjači Njemačka [Tablica 2].

Tablica 2. Broj tvornica za učenje po državi

	Država	Broj tvornica za učenje
1.	Njemačka	19
2.	Francuska	5
3.	Italija	4
4.	Austrija	3
5.	Kanada	3
6.	Nizozemska	3
7.	SAD	2
8.	Hrvatska	2
9.	Bosna i Hercegovina	2
10.	Brazil	2
11.	Norveška	2
12.	Luksemburg	1
13.	Rumunjska	1
14.	Grčka	1
15.	Mađarska	1
16.	Južnoafrička Republika	1
17.	Malezija	1
18.	Singapur	1
19.	Kina	1
20.	Portugal	1
21.	Estonija	1
22.	Švedska	1
23.	Jamajka	1
24.	Danska	1
25.	Irska	1

Mnoge su razlike među tvornicama, jedna od važnijih koja uvelike ograničava mogućnosti je veličina. Postoje manje tvornice kao što su Smart Factory, na FSB-u, Sveučilište u Zagrebu, s površinom od 35 m² te LEAN Learning Factory [12] na KTH Royal Institute of Technology u

Švedskoj s površinom od 66 m². Na drugom kraju spektra se pak nalaze E | Drive-Center [13] na Sveučilištu Friedrich Alexander s ukupnom površinom od 5247 m², na dvije lokacije, s više velikih i dobro opremljenih laboratorija te The Barrett Centre for Technology Innovation [14], Humbert College, u Kanadi sa površinom od 8640 m². Ostale tvornice se nalaze između ovih krajnosti [Slika 7] [Tablica3].



Slika 7. Veličine tvornica za učenje

Tablica 3. Veličine tvornica za učenje

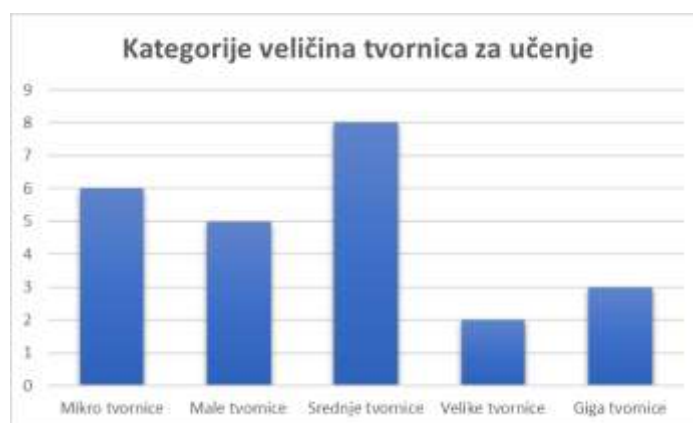
Naziv	Veličina [m ²]
Sveučilište u Zagrebu	35
KTH Royal Institute of Technology, Stockholm	66
Sveučilište u Sarajevu	100
Sveučilište u Splitu	114
Leibniz University Hannover	150
TU München	150
Sveučilište u Mostaru	200
Festo SE & Co. KG	220
MTA Sztaki	225
Delft University of Technology	370

Fraunhofer IPK, TU Berlin, ITCL	400
TU Darmstadt CiP	500
McKinsey & Company	500
University Malaysia Pahang	588
Penn State University	600
TU Braunschweig	800
Reutlingen University ESB Business School	800
TU Graz	800
TU Wien	900
TU Darmstadt ETA	1600
RWTH Aachen	1600
Daimler AG	3000
Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg	5247
Humber College	8640

Veličina tvornica za učenje može se podijeliti u više kategorija:

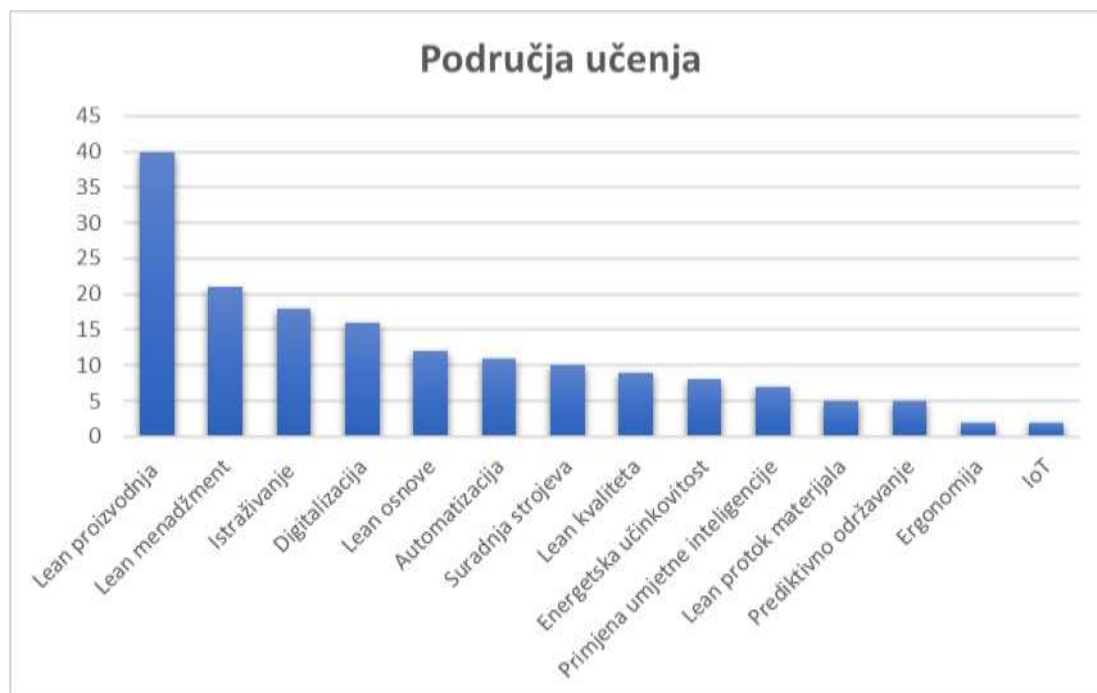
1. Mikro tvornice ($\leq 150 \text{ m}^2$)
2. Male tvornice ($150 \text{ m}^2 - 400 \text{ m}^2$)
3. Srednje tvornice ($400 \text{ m}^2 - 900 \text{ m}^2$)
4. Velike tvornice ($900 \text{ m}^2 - 2000 \text{ m}^2$)
5. Giga tvornice ($> 2000 \text{ m}^2$)

Najveći dio tvornica nalazi se u kategoriji srednje tvornice, čak njih osam [Slika 8]. broj mikro tvornica je šest, dok je malih tvornica sedam. Velikih i giga tvornica je manje pošto njihova implementacija zahtijeva više financijskih sredstava, rada, truda, educirane radne snage, itd.



Slika 8. Kategorije veličina tvornica za učenje

Iako je i veličina bitna, najvažnija razlika među tvornicama je područje učenja koje pokrivaju [Slika 9].



Slika 9. Područja učenja

Gotovo sve tvornice imaju za cilj studente, tj. radnike podučiti o *Lean* proizvodnji te *Lean* menadžmentu. Pošto su digitalizacija, automatizacija vrlo važni aspekti Industrije 4.0 veoma su zastupljene kod tvornica za učenje. Područje učenja ovisi o potrebama industrije tj. sveučilišta. Područje učenja osim o potrebama ovisi i o dostupnim monetarnim sredstvima. Bogatije tvornice se u pravilu sastoje od svih aspekata proizvodnje, od ulaza sirovog materijala ili poluproizvoda u proces do izlaska gotovog proizvoda iz procesa. One s malo manje sredstava se uglavnom bave montažom, kao jednim dijelom proizvodnje.

Uz prethodno navedene aktivnosti koje se više-manje mogu vidjeti u većini tvornica za učenje, postoje i određene specijalizirane tvornice što je Learning Factory for Optimal Machining (LOZ) na Tehničkom fakultetu u Münchenu koja se bavi rješavanjem problema vibracija na alatnim strojevima i u biti ne proizvodi ni jedan proizvod [15]. Specifična je i tvornica na sveučilištu *Politecnico di Milano* [16] gdje se također ne proizvodi proizvod nego se pomoću Lego kockica, senzora, softvera poput Pythona stvaraju sustav za praćenje, Load i Unload stanice te se ostvaruje komunikacija među strojevima, itd.

Tvornice koje se bave proizvodnjom imaju širok spektar različitih proizvoda [Tablica 4].

Tablica 4. Proizvodi tvornica za učenje

NAZIV	LOKACIJA	PROIZVOD
Center for industrial Productivity (CiP)	TU Darmstadt	Pneumatski cilindar
ETA-Factory	TU Darmstadt	Upravljački disk za hidraulične pumpe, Priključak osovine zupčanika
DFA Demofabrik Aachen	RWTH Aachen	Više različitih metalnih proizvoda za tvrtke izvan kampusa
E Drive-Center	Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg	Proizvodnja elektronike, elektromotora
Werk150	Reutlingen University ESB Business School	Robot za posluživanje kave, zaštitne maske / viziri
Festo-Learning Factory Scharnhausen	Festo SE & Co. KG	Ventili, elektronika
IFA-Learning Factory	Leibniz University Hannover	Helikopteri i komponente
LPS Learning Factory	Ruhr-Universität Bochum	Razni naručeni proizvodi
Lean Factory	Fraunhofer IPK, TU Berlin, ITCL	Farmaceutski proizvodi
Learning Factory aIE	University of Stuttgart	Stolni set
Global Production Learning Factory	Karlsruhe Institute of Technology	Elektromotori
Lernfabrik für Schlanke Produktion (LPS)	TU München	Zupčanici
MPS Lernplattform	Daimler AG	Različiti proizvodi
Operational Excellence Laboratory	Université du Luxembourg	Probijač rupa
LEAD Factory	TU Graz	Skuter
Learning and Innovation Factory (LIF)	TU Wien	Autić
Pilot Factory Industry 4.0	TU Wien	3D FDM pisač
Smart Mini Factory	Libera Università di Bolzano	Pneumatski cilindar, plamenik za kampiranje
Lego Factory	Politecnico di Milano	Etui za telefon
Learning Factory	Università Ca' Foscari Venezia	Ne proizvodi se nikakav proizvod
Digital Capability Center Venice	McKinsey & Company	Ne proizvodi se nikakav proizvod
Lean Learning Factory	Sveučilište u Splitu	Karer
FSRE Learning Factory	Sveučilište u Mostaru	Škare, platforma za podizanje
LMS Learning Factory	University of Patras	Dvobrzinski mjenjač, autić, studentska formula
Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre	University of Windsor	Zatezač remena, razni metalni dijelovi
Stellenbosch Learning Factory	Stellenbosch University	Komplet igračka za vlak
Learning factory for 5G and AI in production	Tongji University	5G adapter
INEXO Lyon	McKinsey & Company	Mehanički sat

Institute Nyenrode Lean	Nyenrode Business University	Pneumatski cilindar
LEAN learning factory	KTH Royal Institute of Technology, Stockholm	LEAN Temple - figura od metalnih blokova povezanih vijcima
Cyber-Physical Learning Factory	Norwegian University of Science and Technology	Role, skateboard
Smart Production Lab	Aalborg Universitet	Kućište mobitela
Computer Integrated Manufacturing Factory	Institute of Technology Sligo	Stolni set
LeanLab Norge	SINTEF	Kuća za igračke
Smart Factory	Sveučilište u Zagrebu	Kućište mobitela

Za izradu različitih proizvoda potrebni su različiti alati. Sve tvornice se koriste određenim softverima, ovisno o svojim potrebama, kao što su Solidworks, Python, Matlab, Simulink, softveri za virtualnu proizvodnju... Osim softvera mnoge tvornice koriste senzore koji pomažu pri postizanju željene razine digitalizacije i automatizacije.

Najčešće korišteni alati su roboti, alatni strojevi, montažne linije, strojevi za aditivnu proizvodnju [Slika 10]. Neke tvornice kao što je Lean Factory u sklopu tvornice Fraunhofer IPK [17], zbog svoje specifične namjene (farmaceutska industrija), koriste specifične alate, razne filtere, reaktore itd.



Slika 10. Alati u tvornicama za učenje

4. REPOZITORIJ POSTOJEĆIH TVORNICA ZA UČENJE

Web baziran repozitorij postojećih tvornica za učenje napravljen je na temelju ranije spomenute baze podataka u svrhu olakšanja daljnjeg istraživačkog rada lakšim pristupom podacima. Također omogućuje usporedbu i umrežavanje tvornica za učenje.

Prvi sličan repozitorij napravljen je 2015. godine te se sastojao od 18 tvornica za učenje zajedno s njihovim karakteristikama prema morfološkom modelu koji su predložili Tisch i suradnici [18]. Drugi sličan repozitorij sastoji se od članova Međunarodnog udruženja tvornica za učenje (IALF) i trenutno ima 20 upisanih tvornica za učenje, zajedno sa svim bitnim informacija kao što su operativni status, nedavni razvoj, područja istraživanja te partneri [19]. U prvi spomenuti repozitorij, od 2015. godine, upisane su samo 3 nove tvornice te sada sadrži 21 tvornicu za učenje. Iako se drugi repozitorij redovitije ažurira, on sadrži samo članove IALF-a.

S obzirom da je broj registriranih tvornica za učenje porastao i postoji trend daljnjeg porasta, vidljivo je da niti prvi niti drugi repozitorij ne prikazuju trenutno stanje. Stoga, postoji potreba za stvaranjem novog, ažuriranog repozitorija koji bi omogućio lakše dolaženje do informacija u sve većem broju tvornica za učenje. Također je izrazito bitno da se u repozitorij mogu dodavati nove tvornice te uređivati stare ako se neka od važnih značajki promijeni.

2.1. Razvoj baze podataka

Za razvoj online repozitorija korištena je metodologija koju je osmislio K. M. Eisenhardt [20] i ona opisuje metodologiju studije slučaja kao vrstu istraživačke strategije koja se koristi za razumijevanje trenutne dinamike.

Proces se temelji na sljedećim koracima [Slika 11]:

1. Istraživanje dostupne literature o tvornicama za učenje
2. Kreiranje baze podataka
3. Strukturiranje repozitorija
4. Statistička analiza baze podataka
5. Razvoj online repozitorija



Slika 11. Metodologija razvoja repozitorija

Razvoj baze podataka, kao što je već ranije rečeno, počeo je pretragom javno dostupnih informacija o tvornicama za učenje. Stvaranje baze podataka bio je ručni proces. Za svaku identificiranu tvornicu za učenje, informacije koje su bile dostupne zabilježene su u Excel tablicu [Slika 12]. Zabilježeni su operatori, lokacija, godina osnutka, veličina tvornice u m², vrsta institucije, alati koji se koriste, područje učenja, proizvod koji se proizvodi te reprezentativna slika tvornice. Većina informacija nije se mogla pronaći na jednom mjestu, tako da je bilo potrebno dodatno pretraživanje javnih izvora. Naziv operatera je naziv institucije u kojoj se nalazi tvornica za učenje. Lokacija, godina osnutka, veličina i alati sami su po sebi razumljivi. Vrsta institucije je varijabla s dva moguća ishoda, operator spada u područje privatnog sektora, tj. industrije ili je u sklopu akademske institucije. Područja učenja uključuju obrazovne teme za koje bi se tvornica mogla uspješno koristiti, a proizvod predstavlja predmet koji je proizveden koristeći ranije navedene operacije i alate.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
NADZV	OPERATER	LOKACIJA	VRSTA	Godina osnutka	VELIČINA	PROIZVOD	KATEGORIJE ALATA	PODRUČJE PRODUČAVANJA
1	Center for Industrial Productivity (CIP)	TU Darmstadt	Njemačka	2005	500 m ²	Premašinski cilindar	Proizvodna linija, Montažna linija, Alati	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
2	ETA-Factory	TU Darmstadt	Njemačka	2013	1600 m ²	Upravljački blok za hidrauliku	Proizvodna linija, Alati strojevi, Roboti	Lean Manufacturing, Istraživanje, En
3	DFA Demofabrik Aachen	RWTH Aachen	Njemačka	2012	1600 m ²	Vila različitih metalnih pre	Alati strojevi, Roboti, Oprema za izradu	Lean proizvodnja, Lean razmišljanje
4	Die Lernfabrik	TU Braunschweig	Njemačka	2012	800 m ²	FAA	Alati strojevi, Aditivna tehnologija	Istraživanje
5	E-1 Drive-Center	Friedrich-Alexander	Njemačka	2011	5267 m ²	Proizvodnja elektroničke, e	Alati strojevi, Aditivna tehnologija, Ro	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
6	E-1 Drive-Center	Friedrich-Alexander	Njemačka	2011	5267 m ²	Proizvodnja elektroničke, e	Alati strojevi, Aditivna tehnologija, Ro	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
7	WorkEDD	Heinzinger Universität	Njemačka	2011	800 m ²	Roboti za podizanje i sav	Alati strojevi, Aditivna tehnologija, Ro	Saradnja roboti i ljudi, 3D tehnologija
8	Photo-Learning Factory Schirnhausen	Heinz SE & Co. KG	Njemačka	2014	220 m ²	Vešeril, elektromotorni	Alati strojevi	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
9	IFG Learning Factory	Leibniz-Universität H	Njemačka	2009	150 m ²	Industrijski kompresor	Proizvodna linija, Alati strojevi, Roboti	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
10	LFS Learning Factory	Bayr-Universität Er	Njemačka	2009	NA	Baruti različitih proizvoda	Alati strojevi, Aditivna tehnologija, Ro	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
11	Lean Factory	Heinrich Heine, TU	Njemačka	2014	400 m ²	Farmaceutički proizvodi	Proizvodna linija	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
12	Learning Factory aIE	University of Stuttg	Njemačka	NA	NA	Stolovi set	Proizvodna linija, Alati strojevi	Lean manufacturing, Lean proizvodnja
13	Global Production Learning Factory	Karlsruhe Institute o	Njemačka	2018	NA	Elektronikostroj	VR	Digitalizacija, Lean manufacturing, Lea
14	Lernfabrik für Schalte-Produktion (LFS)	TU München	Njemačka	2009	150 m ²	Zupčanic	Aditivna tehnologija, Roboti, Softwar	Lean manag
15	Learning Factory for Optimal Machining	University of Stuttg	Njemačka	NA	NA	Ne proizvodi se nikakav pr	Alati strojevi	Istraživanje
16	MPS Lernfabrik	QinetiQ AG	Njemačka	2011	3000 m ²	RAI3Dni proizvod	Proizvodna linija, Montažna linija	Lean osnove, Lean manufacturing, Lea
17	Operational Efficiency Laboratory	Universität du Lusse	Njemačka	NA	NA	Proširivač napa	Montažna linija	Lean proizvodnja, Digitalizacija, Lean
18	LEAD Factory	TU Graz	Austrija	2014	800 m ²	Skeler	Montažna linija	Automatika učenje, Lean osnove
19	Learning and Innovation Factory (LIF)	TU Wien	Austrija	2012	NA	Arči	Alati strojevi, Roboti, Silajšće	Automatizacija, Lean manufacturing, L
20	Rise Factory Industry 4.0	TU Wien	Austrija	NA	800 m ²	3D FDM pištal	Proizvodna linija, Montažna linija, Softw	Digitalizacija, Lean osnove, Istraživa
21	Smart Mini Factory	Libera Università di	Italija	2012	NA	Premašinski cilindar, plam	Alati strojevi, Roboti	Automatizacija, Lean osnove, Istraživa
22	Logo Factory	Politecnico di Milan	Italija	2019	NA	Etik za telefon	Softwar, Logo, Senzori, Montažna linija, Softw	Lean proizvodnja, Lean osnove, Istraživa
23	Learning Factory	Università Ca' Fosc	Italija	2020	NA	Ne proizvodi se nikakav pr	NA	Lean manufacturing
24	Digital Capability Center Venice	McKinsey & Compag	Italija	2011	NA	Ne proizvodi se nikakav pr	Aditivna tehnologija, Roboti	Lean manufacturing, Digitalizacija, Lea
25	Lean Learning Factory	Siena/IBZ e Spitta	Hrvatska	2013	114 m ²	Korir	Aditivna tehnologija, Proizvodna linija	Lean osnove, Lean manufacturing, Lea
26	FSRE Learning Factory	Novi BBi e Mostar B	Hrvatska	2018	300 m ²	Škare, platforma za podiz	Alati strojevi, Montažna linija, Softwar	Lean proizvodnja, Lean manufacturing
27	Lean Learning Factory	University of Pitesti	Rumunjska	NA	NA	FAA	Montažna linija, Softwar	Lean proizvodnja, Lean osnove, Dige
28	UMS Learning Factory	University of Patras	Grčka	NA	NA	Dvostruki mjerač, autič	Alati strojevi, Roboti	Lean proizvodnja, Automatizacija, En
29	MTA Szaki Learning Factory Újpe	MTA Szaki	Mađarska	2018	225 m ²	Proizvod koji se razvija	Roboti	Lean proizvodnja
30	Intelligent Manufacturing Systems (IMS)	University of Windsor	Kanada	NA	NA	Zatvarač remena, razni me	Alati strojevi, Roboti	Istraživanje, Digitalizacija, Lean ka

Slika 12. Primjer Excel tablice

Kako bi baza podataka bila upotrebljiva potrebno ju je strukturirati. Analizirane se dvije varijable, alati i područje učenja te je bilo potrebno svesti ih na zajednički nazivnik. Kategorije su stvorene na temelju sličnosti, npr. glodanje, tokarenje, CNC obrada su spojeni u kategoriju strojna obrada. Ako određeni podaci ni na koji način nisu bili kompatibilni s drugima ostali su razdvojeni.

Zatim je baza podatka statistički analizirana, kao što je prikazano u prethodnom poglavlju. Na kraju su upotrijebljeni alati koji ne zahtijevaju poznavanje koda te je pomoću njih razvijen funkcionalan web repozitorij. No-code alati za front-end i backend odabrani su na temelju zahtijevanih kriterija. Backend rješenje je odabrano na temelju svoje prikladnosti za malu količinu podataka, mogućnosti da se dodaju privitci te je korištenje bilo besplatno. Front-end alat je morao biti kompatibilan s backend alatom, besplatan i morao je imati mogućnost dodavanja novih ulaza. Za kraj, i jedan i drugi alat moraju imati dobru podršku i održavanje u pozadini.

2.2. Razvoj Web aplikacije

Repozitorij, tj. backend, kreiran je u AirTable-u, u isto vrijeme, front-end je razvijen u Softr-u, softverskom rješenju bez koda.

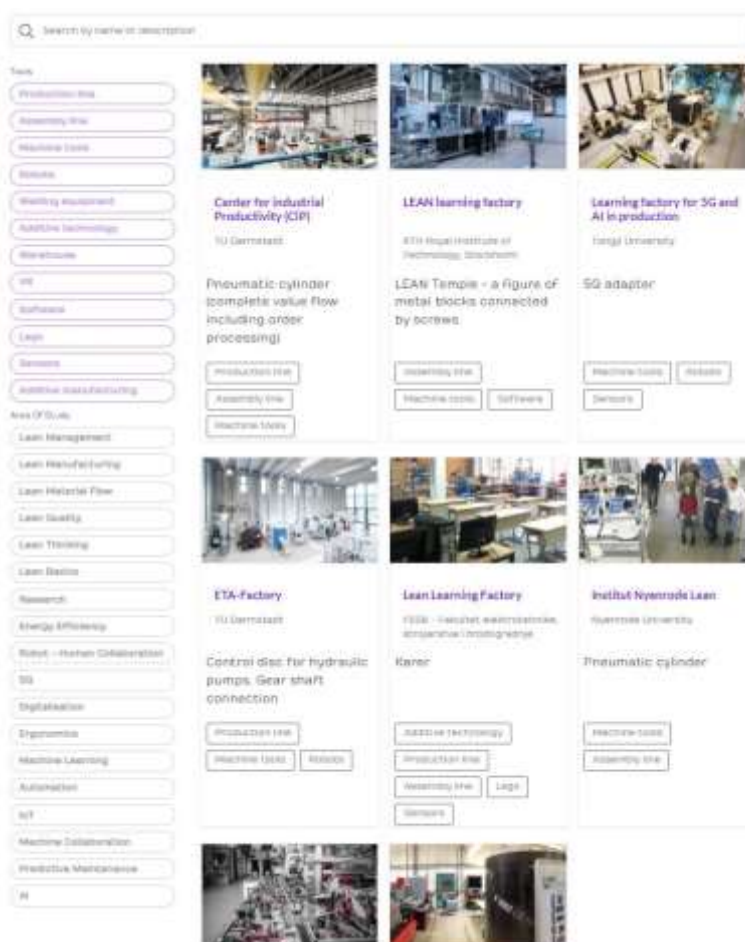
Za backend su razmatrane opcije bez koda, uključujući Google Sheets, Xano i AirTable. Google Sheets je dobro poznato rješenje, ali je diskvalificiran jer ne dopušta dodavanje privitaka, što je prijeko potrebno jer baza podataka sadržava slike. Xano bi čak mogao biti najbolje rješenja za veliki broj zapisa, u njemu ne postoje ograničenja istih. Pošto baza podatka ima 60 zapisa, nije potrebno koristiti tako složen alat za izradu repozitorija. Na kraju je izabran AirTable, najbolje radi s manjim bazama podatka, onima ispod 10 000 zapisa te je moguće dodavanje slika. Također je kompatibilan s većinom front-end alata.

U obzir pri odabiru front-end alata došli su Softr, Adako i Drona HQ. Drona HQ i Adako se nisu koristili pošto je za njihovu upotrebu potrebno platiti pretplatu. Softr je ispunjavao sve zadane uvjete te je i cijena bila zadovoljavajuća. Dodavanje novih informacija u bazu podataka je izrazito bitno. Pošto je cilj repozitorija biti središte informacija o tvornicama za učenje, iste moraju biti aktualne i redovito ažurirane.

Kako bi se olakšalo istraživanje i skratilo njegovo vrijeme dodana je mogućnost filtriranja podataka prema području učenja. Repozitorij [Slika 13] [Slika 14] dostupan je online na www.learningfactories.eu.



Slika 13. Početna stranica repozitorija



Slika 14. Prikaz repozitorija

5. RAZVOJ EDUKACIJSKOG MATERIJALA U TVORNICI ZA UČENJE NA PRIMJERU PROJEKTA U KOJEM SUDJELUJE VIŠE OD DVIJE ORGANIZACIJE

Projekti u kojima sudjeluje više organizacija moraju imati točno definirane sve sudionike, područje koje će se obrađivati unutar projekta te vremenski rok za izvršavanje istog. Također mora biti definirano da li je projekt nastavak neke postojeće aktivnosti ili se kreće s novom aktivnosti. Jedna od organizacija koje sudjeluju na projektu je voditelj projekta, samim time zadužena je za koordinaciju s drugim partnerima.

Projekt se odvija po unaprijed određenom planu u vrhu ispunjenja zadanih ciljeva. Plan provedbe sastoji se od više koraka:

1. Projektni menadžment
2. Analiza dionika i zahtjeva
3. Analiza i odabir potrebne opreme
4. Stvaranje materijala za učenje
5. Obuka zaposlenika i evaluacija
6. Testiranje probnog programa
7. Plan širenja i komercijalizacije

5.1. Projektni menadžment

Cilj projektnog menadžmenta je osigurati uspjeh projekta kroz njegov životni vijek izbjegavajući sve potencijalne opasnosti i rizike. Opisuje sve zajedničke aktivnosti koje treba provesti kako bi se svaki dio plana ispunio. U ovoj fazi projekta se dodjeljuju zadaci, nadzire se njihovo napredovanje i obavlja se kontrola kvalitete obavljenog posla. Pod projektni menadžment spada i koordinacija troškova kao što su putni troškovi, sastanci i slično.

5.2. Analiza dionika i zahtjeva

Analizom dionika (*Stakeholder* analiza) se definiraju ciljane grupe, te se definiraju trendovi na tržištu rada. Podaci za provedbu analize prikupljaju se pomoću upitnika koji svi sudionici ispunjavaju. U upitniku su definirani svi dionici [Slika 15], kao što su na primjer studenti, nastavno osoblje, osoblje zaduženo za istraživanje itd.

4.1. Skupine dionika

iskaznica	Skupine dionika	Podskupine dionika
SS1	Studenti	STEM
SS2		drugo
SF	Fakultetsko nastavno i znanstveno osoblje	-
SE1	Zaposlenici	Pripravnik/šegrt
SE2		Operateri strojeva/proizvodni radnici
SE3		Inženjer
SE4		Upravitelj/supervizor
SE5		drugi
SC1	Tvrtke	Proizvodna industrija
SC2		drugo
SP1	Javnost	Nezaposlen
SP2		Zainteresirani pojedinci
SI	Javne/državne institucije	-
SO	Ostalo	

Slika 15. Dionici definirani u upitniku [21]

Osim dionika definirani su i specifični interesi koje dionici imaju [Slika 16] te potencijalne koristi dionika [Slika 17].

4.2. Specifični interesi dionika

iskaznica	Specifični interesi dionika (opis)
I1	stjecanje općih znanja potrebnih za rad u proizvodnoj industriji budućnosti
I2	stjecanje specifičnih znanja o pojedinim tehnologijama
I3	upoznavanje s novim tehnologijama u proizvodnoj industriji
I4	prepoznavanje novih slučajeva uporabe i aplikacija za digitalne tehnologije u proizvodnom kontekstu
I5	stjecanje znanja potrebnih za implementaciju i integraciju novih tehnologija u postojeće proizvodne sustave
I6	stjecanje znanja potrebnih za korištenje/upravljanje novim proizvodnim tehnologijama
I7	utvrđivanje društvenog utjecaja implementacije novih tehnologija na zaposlenike
I8	identificiranje društvenog utjecaja novih proizvodnih paradigmi na društvo
I9	stjecanje uvida u širok raspon primjena novih tehnologija u različitim proizvodnim kontekstima
I10	stjecanje uvida u primjenu novih tehnologija u specifičnom kontekstu
I11	stjecanje znanja potrebnih za stvaranje inovativnih rješenja u specifičnom kontekstu
I12	pristup okolišu za obavljanje istraživačkih aktivnosti
I13	pristup okolišu za provođenje projekata dokazivanja koncepta
I14	prijenos znanja između aktera u proizvodnoj industriji
I15	prijenos znanja između regionalnih operatera tvornica za učenje
I16	nabava nove istraživačke i nastavne opreme
IO	drugo

Slika 16. Specifični interesi dionika [21]

4.3. Potencijalne koristi za dionike

iskaznica	Potencijalne koristi za dionike (opis)
B1	privlačenje novih i zadržavanje postojećih ljudskih resursa
B2	promjena karijere
B3	široko razumijevanje osnovnih principa novih proizvodnih paradigmi kao što je Industrija 4.0
B4	specifično razumijevanje pojedinih tehnologija u proizvodnoj industriji
B5	svijest o potencijalima i ograničenjima novih tehnologija u kontekstu proizvodnje
B6	svijest o sadašnjim i budućim izazovima vezanim uz proizvodnu industriju
B7	rušenje barijera i otpor prema novim tehnologijama
B8	ispravljanje negativne percepcije utjecaja novih tehnologija na društvo
B9	stvaranje realnih očekivanja u pogledu troškova i koristi od novih tehnologija
B10	povećanje broja osposobljenih djelatnika za nove tehnologije
B11	povećanje broja osposobljenih pojedinaca na tržištu rada
B12	smanjenje broja nezaposlenih na tržištu rada
B13	povećanje potražnje za radnicima od strane lokalne industrije
B14	poboljšanje nacionalne ekonomske situacije
B15	učenje novih vještina
B16	povećana vidljivost kao ključne institucije u industrijskom istraživanju i nastavi
B17	biti HUB za prijenos tehnologije u području industrije 4.0 (one stop shop za digitalnu transformaciju)

Slika 17. Potencijale koristi za dionike [21]

Ispunjavanjem upitnika definira se veza između dionika, njihovih specifičnih interesa i koristi koju potencijalno mogu ostvariti. Ti podaci se ručno upisuju u tablicu [Slika 18].

ID dionika*	Specifični interesi dionik (ID)	Važnost interesa dionika za uspjeh projekta	Potencijalne koristi za dionike (ID)	Projektne aktivnosti koje zahtijevaju sudjelovanje dionika	Uloga dionika u projektu	Učinci projekta na dionike
SS1 (studenti)	A I1, I2, I3, I12	B 1-visoka	C B3, B4, B5, B6, B15,	D WP2.1, WP2.3., WP 6	E 1- vrlo vjerojatno	F Povećano razumijevanje tema iz robotike, LCA i AI u proizvodnji. Privlačenje potencijalnih studenata.
SF 1 istraživanje	I2, I3, I4, I5, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13, I14, I15, I16	1-visoka	B3, B4, B5, B6, B7, B8, I14, B15, B16, B17	WP 3, WP 4, WP 5, WP 6, WP 7	1- vrlo vjerojatno	Povećano razumijevanje tema iz robotike, LCA i AI u proizvodnji. Povećane mogućnosti za istraživanje.
SF 2	I2, I3, I4, I7, I8, I9, I10, I1, I12, I13, I14, I15, I16	1-visoka	B3, B4, B5, B6, B7, B8, B14, B15, B16, B17	svi	1- vrlo vjerojatno	Povećano razumijevanje tema iz robotike, LCA i AI u proizvodnji. Povećane

Slika 18. Primjer detaljnog opisa dionika projekta [21]

Nakon što se prikupe podaci od svih dionika, ručno se unose u Excel tablicu koja ih sve objedinjuje i na njima se provodi statistička analiza te se podaci za svakog sudionika uspoređuju s drugima.

Analiza zahtjeva podijeljena je na dva dijela, na tehničke zahtjeve i na edukacijske zahtjeve. Tehnički zahtjevi uključuju specifikacije metoda, sistema i operacija koji se koriste te tehničke i netehničke rizike. Dok edukacijski zahtjevi uključuju identifikaciju vještina koje se trebaju podučavati ovisno o potrebama studenata te određivanje ciljeva učenja i efekata koji će proizaći iz učenja. Podaci se, također, prikupljaju pomoću upitnika koji je podijeljen na dvije tablice.

5.3. Analiza i odabir potrebne opreme

Na temelju analize zahtjeva odlazi se do zaključka koja je oprema potrebna za nastavak projekta. Svaki od sudionika zasebno, bira opremu koju želi kupiti na osnovu svojih financijskih mogućnosti i potreba. Tržište se pretražuje kako bi se pronašao proizvod koji zadovoljava sve uvjete. Nakon što je proizvod nabavljen potrebno ga je implementirati.

5.4. Stvaranje materijala za učenje

Stvaranje edukacijskih materijala direktno je povezano sa ishodima učenja. Ishodi učenja se mogu shvatiti kao ono što učenik zna, razumije i što može samostalno učiniti nakon završetka učenja, a to je definirano vještinama, znanjem i kompetencijama [21]. Ishodi učenja bi trebali biti (SMART):

1. Specifično određeni (eng. *Specific*)
2. Mjerljivi (eng. *Measurable*)
3. Dostižljivi (eng. *Attainable*)
4. Bitni (eng. *Relevant*)
5. Bazirani na vremenu (eng. *Time based*)



Slika 19. SMART ishodi učenja [22]

Jedan od alata koji pomaže pri određivanju ishoda učenja je Bloomova taksonomija. Najkorišteniji je teoretski okvir za planiranje, pripremu i vrednovanje obrazovanja [22]. Nastala je tijekom pedesetih godina prošloga stoljeća te se temelji na analizi intelektualnih ponašanja pomoću kojih učenici stječu akademska znanja. Sastoji se od šest razina [Slika 20], dosjećanje, shvaćanje, primjena, analiza, prosudba, stvaranje.



Slika 20. Bloomova taksonomija [23]

Prva razina, dosjećanje, predstavlja znanje te se odnosi na prisjećanje činjenica i osnovnih koncepata. Druga razina, shvaćanje, upućuje na to da je određena osoba spremna objasniti ideje ili koncepte. Treća razina, primjena, predstavlja upotrebu informacija u nepoznatim, novim situacijama. Četvrta razina, analiza, omogućuje uviđanje poveznica među idejama, dok se petom razinom, prosudbom, može opravdati neko stajalište ili odluka. Posljednja razina predstavlja stvaranje novog sadržaja.

5.5. Obuka zaposlenika i evaluacija

Prilikom stvaranja novih ishoda učenja treba uzeti u obzir sve razine i sukladno s njima napisati ishode. Nakon što su ishodi određeni biraju se najbolji načini na koji bi studenti mogli ispuniti te ciljeve koristeći svu dostupnu opremu.

Kako bi obuka zaposlenika započela potrebno je imati definiran sadržaj učenja. Nakon toga se pripremaju edukacijski materijali za željena područja u obliku tečaja. Osobe koje su osmislile edukacijski materijal, treneri, drže tečaj ostalim zaposlenicima koje će kasnije podučavati studente. Tečajeve mogu pohađati svi, neovisno o tome koje su organizacije član. Trenerima su bitne povratne informacije o načinu predavanja i sadržaju predavanja kako bi mogli na najbolji

način poboljšati iste. S obzirom da su „učenici“, visoko obrazovano nastavno osoblje njihove bi povratne informacije trebale biti izrazito korisne.

5.6. Testiranje probnog programa

U predzadnjoj fazi se osmišljeni i poboljšani sadržaji testiraju na studentima, već zaposlenim ljudima koji su željni novih znanja i na osobama koje traže posao. Treneri odlaze na druge ustanove i sudjeluju u testiranju ostalih probnih programa.

5.7. Plan širenja i komercijalizacija

Kada probni program pokaže zadovoljavajuće rezultate kreće širenje rezultata. Ciljnim skupinama, širenje će se vršiti putem socijalnih mreža, web stranica, priopćenja za javnost, publikacija u znanstvenim, tj. industrijskim časopisima te sudjelovanjem na konferencijama. Za kraj je potrebno zaštititi intelektualno vlasništvo, kako drugi bez naknade ne bi mogli koristiti rezultate projekta.

6. EDUKACIJSKI MATERIJAL ZA POSTOJEĆI POSTAV TVORNICE ZA UČENJE

6.1. Smart Factory na Fakultetu strojarstva i brodogradnje

Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, nalazi se tvornica za učenje pod nazivom Smart Factory. Osnovana je 2022. godine te je sufinancirana sredstvima iz Europske unije. Tvornicu čini Festova proizvodna linija za proizvodnju kućišta mobilnih telefona, CP Lab [Slika 21]. CP Lab se sastoji od više različitih modula, magazina, bušilice, preše, pokretne linije, robitina, mobilne ručne radne jedinice, skladišta rezervnih dijelova i ručnog skladišta.



Slika 21. CP Lab

Edukacijski materijal je napravljen u svrhu upoznavanja studenata s novonabavljenom opremom te s novim konceptima i idejama s kojima se ranije kroz svoje školovanje nisu imali prilike sresti.

6.2. Ishodi učenja

Koristeći ranije opisane metode definirani su ishodi učenja za kratki edukacijski materijal koji će se izvoditi na postojećoj tvornici za učenje. Nakon završetka edukacijskog sadržaja studenti će:

1. razlikovati MES sustave (*Manufacturing execution system*) od ostalih sustava
2. biti u stanju samostalno pokrenuti sustav, namjestiti sve potrebne parametre i proizvesti finalni proizvod
3. moći iskoristiti postojeće znanje kako bi predložili načine na koji se proizvodnja može optimizirati

Edukacijski sadržaj se provodi u interaktivnog predavanja u trajanju od sat vremena. Sastoji se od kratkog uvoda, predstavljanja tvornica za učenje i njihove povezanosti s Industrijom 4.0, upoznavanja s CP Labom, zatim slijede dvije vježbe i za kraj zaključak.

6.3. Detaljan opis edukacijskog sadržaja

Predavanja se provodi u više različitih dijelova koji su vremenski ograničeni. Dijeli se na:

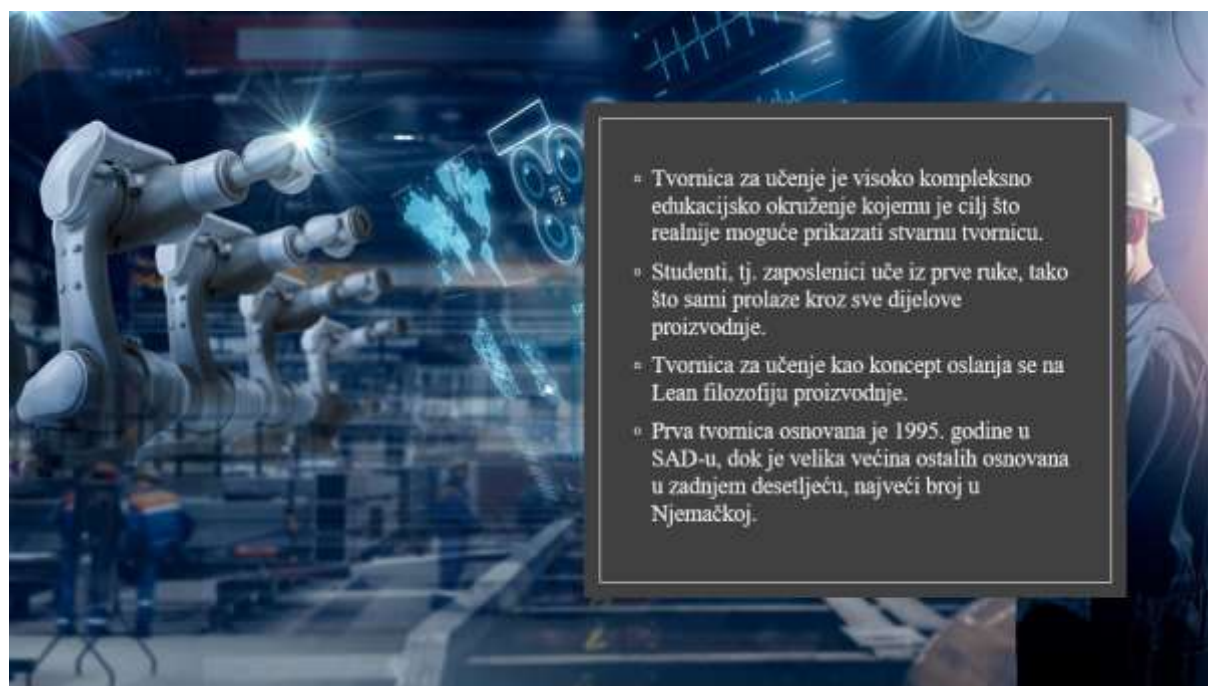
1. Kratki uvod u Industriju 4.0
2. Kratki uvod o tvornicama za učenje
3. Predstavljanje CP Lab sistema
4. Vježba 1
5. Vježba 2
6. Zaključak

Sudionicima je bitno ukratko objasniti što je to Industrija 4.0, koje su njene karakteristike [Slika 22], kada i gdje započeta te zašto. Pojam tvornice za učenje potrebno je staviti u okvir Industrije 4.0.



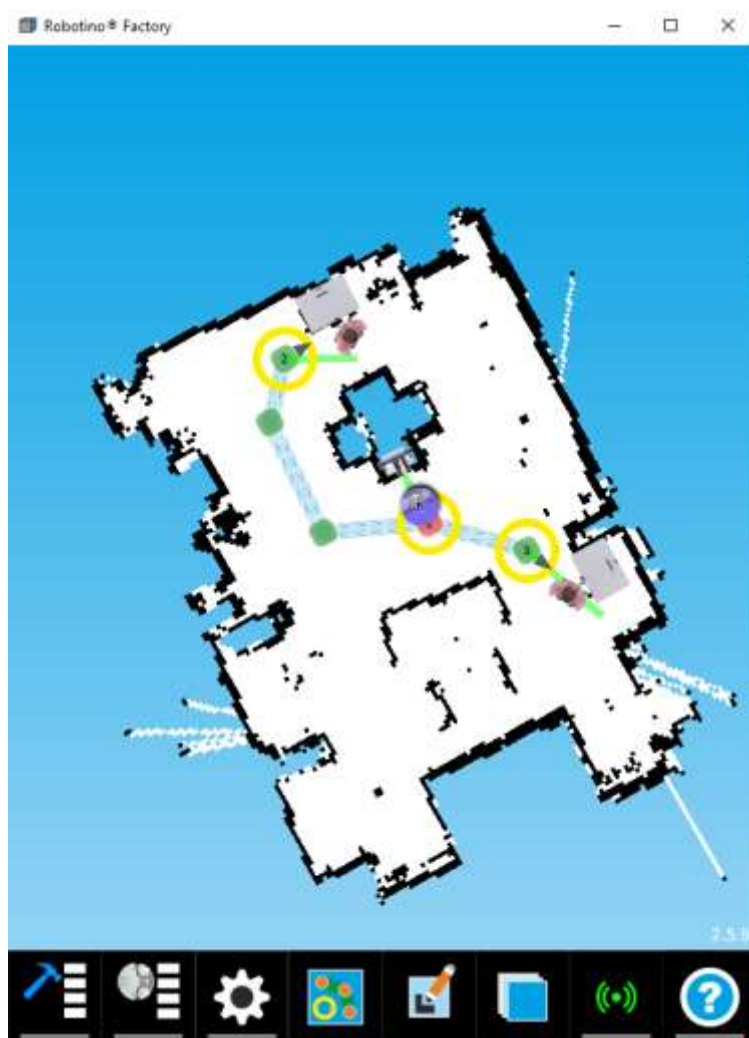
Slika 22. Primjer prezentacije o Industriji 4.0

Nakon toga potrebno je definirati tvornice za učenje [Slika 23], objasniti način na koji se uspostavlja te predstaviti repozitorij tvornica za učenje i objasniti njegovu svrhu.



Slika 23. Primjer prezentacije o tvornicama za učenje

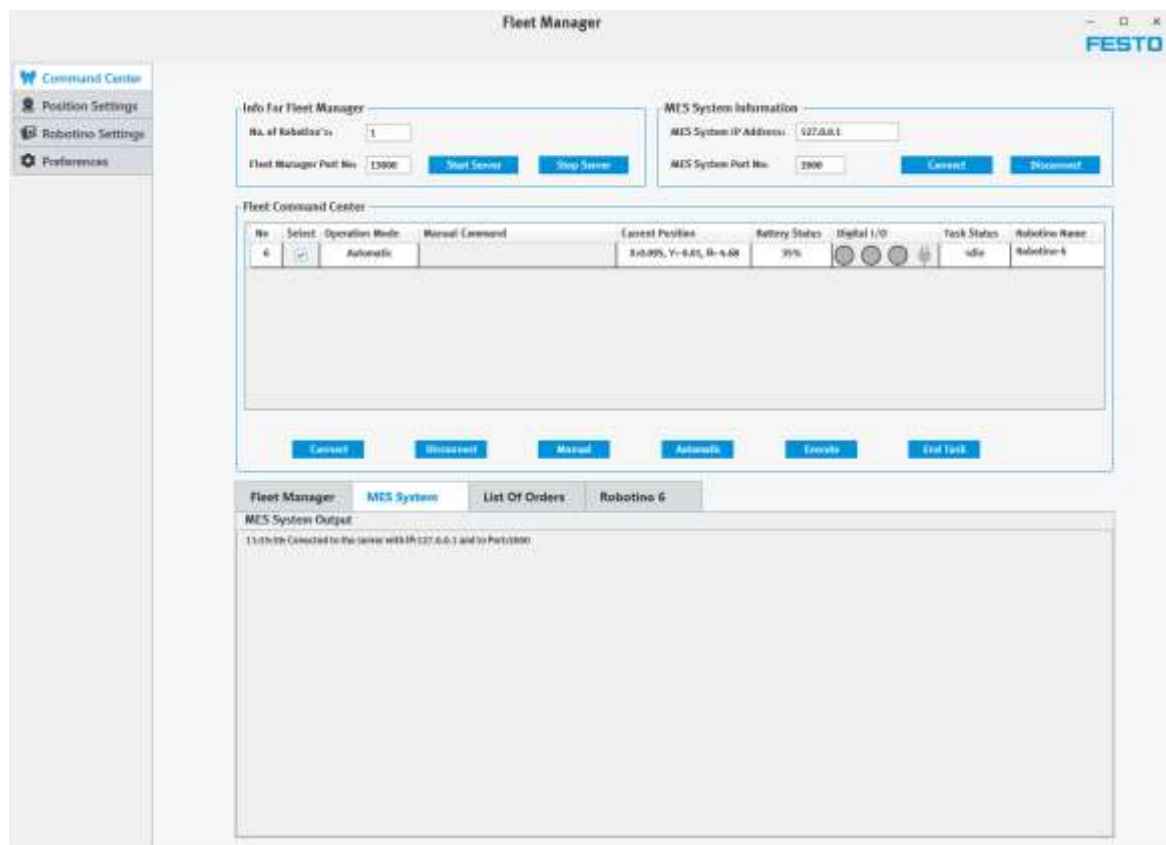
Predstavljanje CP Lab sistema počinje njegovim paljenjem. Na računaru se otvaraju svi potrebni programi, MES4, RobotinoFactory i FleetManager. Pomoću programa RobotinoFactory [Slika 24] Robotino, tj. mobilni robot s automatiziranim vođenjem, se spaja na MES sustav.



Slika 24. Program RobotinoFactory

U istom programu se izrađuje i mapa prostora u kojem se nalazi CP Lab te se na toj mapi označavaju početne i krajnje pozicije, te put po kojem će robot doći od jedne do druge. Prva pozicija je u biti preuzimanje palete na kojoj se nalazi donji dio kućišta za mobitel dok je druga pozicija ona na kojoj se ručno dodaje poklopac. Na drugoj poziciji se s proizvodne linije miče gotovi proizvod. Treća pozicija nije od nikakvog značaja za proizvodni proces, ona samo pokazuje koliki je opseg gibanja robota.

Program FleetManager [Slika 25] nam omogućava vidjeti trenutnu poziciju robota te stanje njegove baterije. On, također, služi i za odabir načina upravljanja robotom. Upravljanje može biti automatsko, u tom slučaju robot naredbe prima od MES sustava ili ručno, tada se u FleetManager-u odabiru željene pozicije.

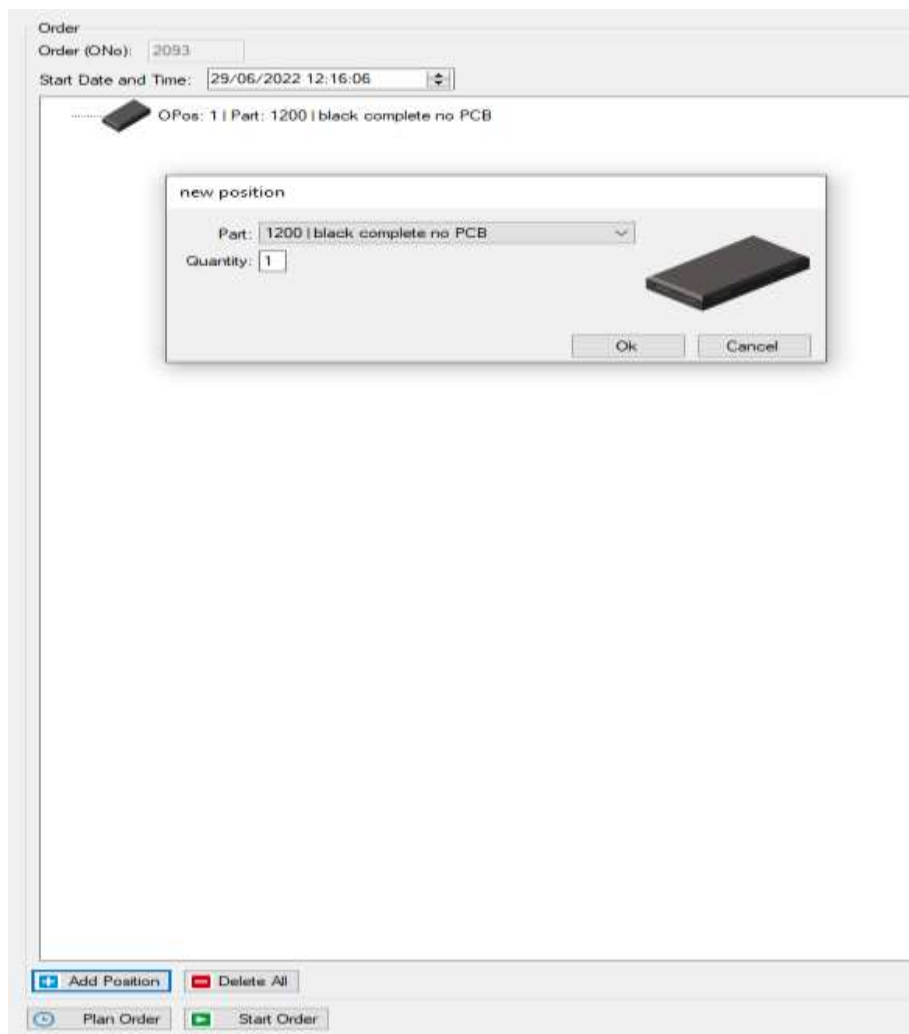


Slika 25. Program FleetManager

Nakon što je Robotino pozicioniran može se krenuti s proizvodnjom. U program MES4 unosi se novi nalog za proizvodnju [Slika 26]. Bira se proizvod koji se želi proizvesti, količina koja se proizvodi, te kada će početi proizvodnja, odmah ili nekada u budućnosti. Za početak odabran je proizvod po imenom *black complete no PCB* i proizvoditi će se samo jedan.

Na pokretnoj traci nalazi se paleta koja se po istoj kreće, dok se na paleti nalazi nosač [Slika 27]. Proizvodnja počinje kada se iz magazina na nosač spušta donji dio kućišta za mobitel [Slika 28], nakon što je ta radnja obavljena, paleta odlaze do sljedeće postaje koja simulira bušenje [Slika 29]. Iduća postaja je preša ali se ona u prvom prolazu ne izvodi jer još nije dodan gornji dio kućišta za mobitel. Nakon preše slijedi Robotino, koji paletu odvozi do stanice na kojoj se ručno dodaje drugi dio proizvoda [Slika 30]. Između preše i robotina nalazi se RFID senzor

koji služi za detekciju stanja paleta, da je u procesu proizvodnje ili nije. Kada je ručna montaža obavljena robot paletu vraća u početni položaj. Paleta ponovno prolazi kroz magazin i bušenje ali se ovaj put na tim stanicama ništa ne događa. Nakon toga se na preši dva dijela spajaju [Slika 31], te skoro gotovo proizvod nastavlja svoj put do robota koji ga vodi do ručne radne jedinice na kojoj se gotovi proizvod skida s proizvodne linije [Slika 32].



Slika 26. Novi nalog za proizvodnju



Slika 27. Paleta i nosač



Slika 28. Spuštanje obratka na nosač



Slika 29. Bušenje



Slika 30. Robotino



Slika 31. Preša



Slika 32. Skidanje proizvoda s proizvodne linije

U vježbi 1 studenti samostalno trebaju napraviti novu mapu u programu RobotinoFactory. U mapi treba biti označena putanja robota od početne točke do krajnje točke, te moraju biti ucrtane i obje radne jedinice. Studenti bi, na temelju ranije pokazanog i objašnjenog postupka, samostalno trebali obaviti zadatak.

Vježba 2 je malo dugotrajnija od prethodne vježbe. U proizvodnju se pušta isti proizvod kao i prije ali ovaj put ne jedan komad već dva komada. Proizvodnja se odvija sa jednom paletom na pokretnoj traci. Studentima je zadatak doći do rješenja kojim će se poboljšati proizvodnja uzimajući u obzir raspored stanica unutar PC Lab-a, vremena trajanja obrade, položaj senzora itd. Ključna je sposobnost određivanja uskog grla procesa.

Predviđeno vrijeme trajanja predavanja 60 minuta. Kratki uvod u Industriju 4.0 i kratki uvod u tvornice o učenju traju 5 minuta, predstavljanje PC Lab-a 10 min, vježba 1 15 minuta, vježba 2 20 minuta i zaključak 5 minuta.

Studenti prije početka rješavaju ulazni test u obliku Google Forms-a, dok nakon predavanja rješavaju izlazni test, također u obliku Google Forms-a kako bi se vrednovalo njihovo novostečeno znanje.

7. TESTIRANJE EDUKACIJSKOG MATERIJALA

Testiranje je provedena na relativno malenom uzorku od pet studenata. S obzirom da je prostor tvornice za učenje ograničen, nije bilo moguće provesti testiranje na većem uzorku. Ulazni test [Slika 33] sastoji se od pet pitanja, tri pitanja s višestrukim ponuđenim odgovorima te dva otvorena pitanja. Točan odgovor na svako pitanje donosi jedan bod. Maksimalan broj bodova je pet.

The image shows a screenshot of an online test interface. It consists of five vertically stacked question boxes, each with a light purple border. Each box contains a question, a point value, and a 'Your answer' field.

- Question 1:** "Odaberi netočno. *" (1 point). It is a multiple-choice question with three options: "Tvornica za učenje je visokokompleksno edukacijsko okruženje.", "Tvornica za učenje se ne oslanja na Lean filozofiju proizvodnje.", and "Cilj tvornice za učenje je što realnije prikazati stvarnu tvornicu."
- Question 2:** "Nabroji barem tri tehnologije Industrije 4.0." (1 point). It is an open-ended question with a text input field.
- Question 3:** "Što je to MES sustav?" (1 point). It is an open-ended question with a text input field.
- Question 4:** "Tvornica za učenje u svijetu ima: *" (1 point). It is a multiple-choice question with three options: "manje od 60", "otprilike 90", and "više od 120".
- Question 5:** "Tvornice za učenje se ne mogu nalaziti u industrijskim pogonima. *" (1 point). It is a multiple-choice question with two options: "Točno" and "Netočno".

Slika 33. Ulazni test

Rezultati ulaznog testa [Slika 34] nisu pretjerano dobri što je očekivano pošto studenti tokom studija nisu imali doticaja s ovom temom. Troje studenata točno su odgovorili na dva pitanja, jedan je točno odgovorio na tri pitanja, dok jedan nije točno odgovorio ni na jedno pitanje.

Uvidi



Slika 34. Rezultati ulaznog testa

Ni jedan odgovor na pitanje „Što je to MES sustav?“ nije bio točan. Isto pitanje se ponovilo i u izlaznom testu gdje su svi točno odgovorili na pitanje.

Izlazni test [Slika 35] se, također, sastojao od pet pitanja. Dva su pitanja s višestrukim ponuđenim odgovorima, a tri otvorena pitanja. Svako pitanje nosi jedan bod, maksimalan broj bodova je pet.

Rezultati izlaznog testa su zadovoljavajući, svi odgovori na četiri pitanja bili su točni, dok na jedno pitanje dvoje studenata nije odgovorilo točno.

Što je to MES sustav? *

Vaš odgovor

Koje radne stanice sadržava PC Lab?

Vaš odgovor

U kojem programu se ucrtavaju putanje po kojima se Robotino kreće? *

MES4

RobotinoFactory

FleetManager

Što predstavlja usko grlo u proizvodnji?

Preša

Bušilica

Ručna radna stanica

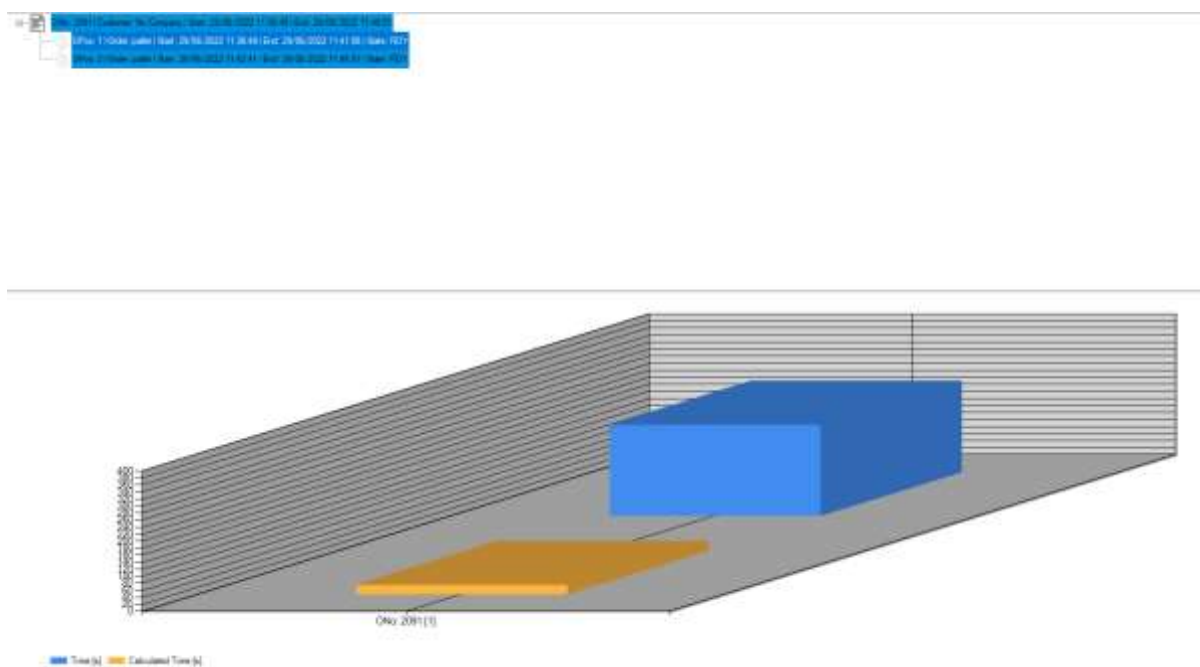
Robot

Na koji način bi poboljšao proces proizvodnje u PC Lab-u?

Vaš odgovor

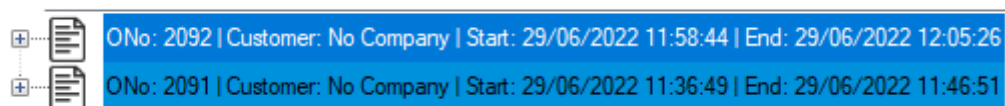
Slika 35. Izlazni test

Vježba 2 je dala odgovor na pitanje kako optimizirati proizvodnju. S obzirom da je predviđeno trajanje ciklusa značajno manje od stvarnog trajanja ciklusa postoje razni načini za optimizaciju [Slika 36]. Proizvodnja dva proizvoda u seriji poboljšana je dodavanjem druge palete. Kada se proizvodnja odvija s jednom paletom proces je dugotrajan i proizvodnja drugog proizvoda ne može početi dok prvi, gotovi proizvod nije maknut s proizvodne linije.



Slika 36. Stvarno i predviđeno vrijeme trajanja proizvodnje

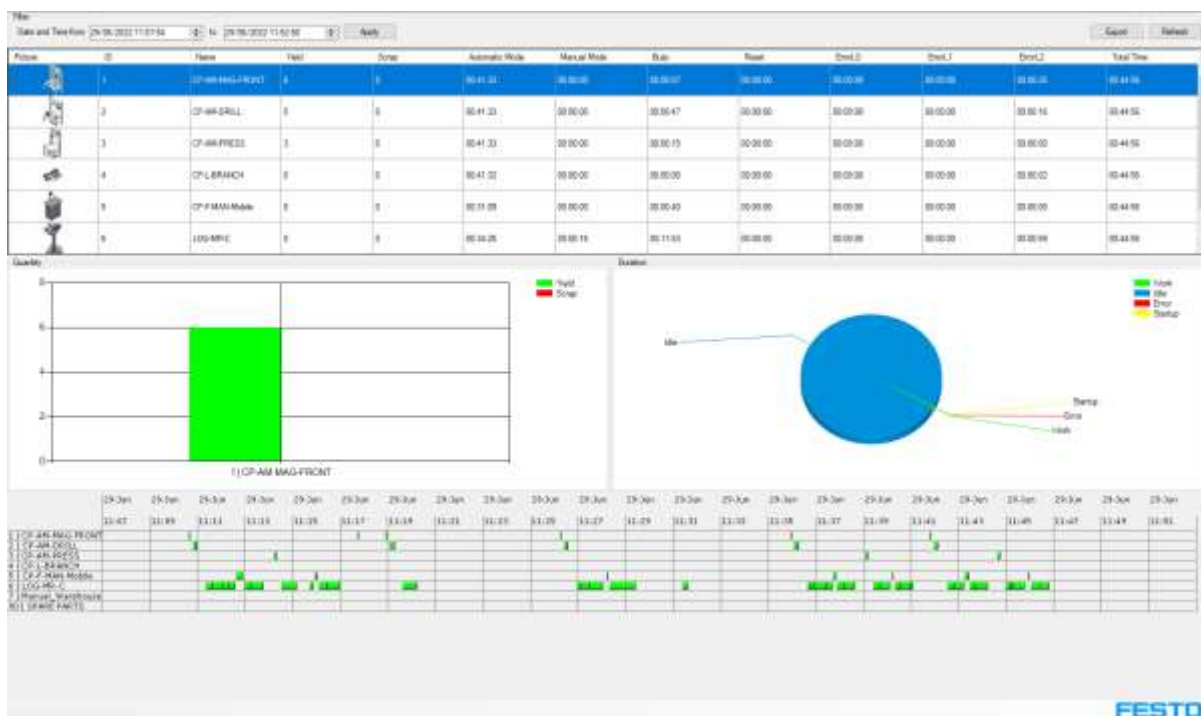
Kada se doda druga paleta vrijeme proizvodnje skraćuje se značajno pošto su oba obratka na proizvodnoj liniji istovremeno. Vrijeme je skraćeno s devet minuta i pedeset osam na šest minuta i četrdeset dvije sekunde [Slika 37].



Slika 37. Usporedba vremena prije i poslije poboljšanja

Ostale prijedloge za optimizaciju proizvodne linije nije bilo moguće isprobati na licu mjesta. Jedan od prijedloga bio je da se PC Lab-u nadoda još jedan magazin i to nakon operacije bušenja. U tom slučaju bi se odmah spojili gornji i donji dio kućišta, ne bi bila potrebna ručna stanica te bi se eliminirao i prijevoz palete robotom jer je nepotreban. Obradak bi nakon operacije spuštanja gornjeg dijela kućišta odmah išao na prešanje, ne bi morao kao do sada proći kroz proizvodnu liniju bez da se i jedna operacija izvodi. Također je jedan od prijedloga bi da se ručna radna jedinica premjesti bliže poziciji na kojoj se nalazi robot. Time bi se skratilo put koji robot treba prijeći, vrijeme proizvodnje bi se skratilo i efikasnost bi se povećala.

Bez poboljšanja prazan hod je izrazito velik, oduzima preko 95 % ukupnog vremena [Slika 38], samim time ni proizvodnja nije efikasna.



Slika 38. Izvještaj o efikasnosti proizvodnje

Studenti su samostalno savladali riješili oba zadatka koje su im predstavljena u obliku Vježbe 1 i Vježbe 2. Rezultati izlaznog testa su značajno bolji od rezultata ulaznog testa. Stoga, se može zaključiti da je testiranje edukacijskog materijala prošlo uspješno.

8. ZAKLJUČAK

Nedavne studije su pokazale kako Hrvatska zaostaje u provođenju Industrije 4.0 za zemljama Europske unije. Implementacija Industrije 4.0 stvara otpor zbog averzije prema novom i nepoznatom, stoga je vrlo bitno educirati zaposlenike i upoznati ih s novim tehnologijama. Tvornica za učenje je jedan od alata kojim je to moguće učiniti. U sklopu Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu osnovana je tvornica za učenje na kojoj je provedena edukacija opisana u ovom radu.

Pozitivni rezultati edukacije ukazali su na korisnost tvornica za učenje, ali se u obzir mora uzeti i relativno mali testni uzorak, koji je posljedica površinskog ograničenja same tvornice. Studenti, u okolini koja vjerno simulira realno stanje u industriji, imali su mogućnost dodatno proširiti svoje znanje i steći nova znanja koja će im pomoći u daljnjem radu.

Od svog začetka 1995. godine do danas koncept tvornice za učenje je napredovao. Za osnivanje tvornice za učenje potrebna su značajna ulaganja. S godinama su, obzirom na financijske mogućnosti osnivača, tvornice postajale sve veće te je i njihova kompleksnost rasla. Mnoge danas sadrže veliki broj strojeva raznih namjena, u njima se proizvode proizvodi različitih razina kompleksnosti, od jednostavnog vizira i maske za lice, do električnih motora. Tvornice za učenje, ovisno o opremi koju posjeduju, omogućuju simulaciju cijelog procesa proizvodnje počevši od razvoja proizvoda, pa sve do gotovog proizvoda. U proces su uključeni i planiranje proizvodnje, nabava potrebnih materijala, skladištenje istih, ali i skladištenje gotovih proizvoda, strojna obrada, montaža, kontrola kvalitete itd.

Pošto je veoma teško doći do informacija o tvornicama za učenje, čiji je broj u porastu, pokazala se potreba za repozitorijem, web mjestom koje objedinjava što više tvornica za učenje te sadržava sve bitne podatke o njima. U sklopu ovog rada razvijen je repozitorij koji trenutno sadržava 60 tvornica za učenje. S obzirom na jednostavnost korištenja i mogućnost filtriranja razvijeni repozitorij olakšava istraživački rad i omogućava usporedbu i umrežavanje tvornica za učenje. Također je omogućen i jednostavan unos novih ili uređivanje starih podataka o tvornicama za učenje, što olakšava ažuriranje sustava.

U zadnjih nekoliko godina akademska zajednica u Hrvatskoj prepoznala je potencijal tvornica za učenje te je započela s implementacijom ovog koncepta nadajući se da će se Industriju 4.0 približiti što većem broju industrijskih poduzeća. Obrazovanje poslodavaca, zaposlenika i studenata dovodi do poboljšanja cjelokupne industrije te do gospodarskog rasta.

LITERATURA

- [1] Berger R.: THINK ACT - Industry 4.0. The new industrial revolution How Europe will succeed, 2014.
- [2] Veža I., Mladineo M., Peko I.: Analysis of the current state of Croatian manufacturing industry with regard to Industry 4.0., *Proc. 15th Int. Sci. Conf. Prod. Eng. - CIM'*, pages 249–249, 2015.
- [3] Atik H. i Ünlü F.: The Measurement of Industry 4.0 Performance through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries, *Procedia Comput. Sci.*, 158:852–860, 2019.
- [4] Hejdukova P., Kurekova L. i Krechovska M.: The Measurement of Industry 4.0: An Empirical Cluster Analysis for Eu Countries, *Int. J. Econ. Sci.*, 9(1):121–134, 2020.
- [5] Hrbić R., Grebenar T.: Assessment of Readiness of Croatian Companies to Introduce I4.0 Technology, Narodna banka, Zagreb, 2021.
- [6] Trstenjak M., Opetuk T., Pavković D., Zorc D.: Industry 4.0 in Croatia - Perspective and Industrial Familiarity with the (New) Digital Concept, u *In Proceedings of 5th International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing*, pages 345–355, 2020.
- [7] Abele E., Chryssolouris G., Sihn W., Metternich J., Elmaraghy, Seliger G., Sivard G., Elmaraghy W., Hummel V., Tisch M., Seifermann S.: Learning factories for future oriented research and education in manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 66. 10.1016/j.cirp.2017.05.005., 2017.
- [8] Baenaa F., Guarina A., Moraa J., Sauzab J., Retatc S.: Learning Factory: The Path to Industry 4.0, *7th Conference on Learning Factories*, Darmstadt, 2017.
- [9] Abele E.: *Industrie 4.0 at PTW*, Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2016.
- [10] Tischa M., Metternicha J.: Potentials and limits of learning factories in research, innovation, *7th Conference on Learning Factories*, Darmstadt, 2017.
- [11] Wagnera U., AlGeddawyb T., ElMaraghyb H., Müller E.: The State-of-the-Art and Prospects of Learning Factories, *45th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Atena, 2012.

- [12] Elfar O. R.: Hybrid Learning Factories, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2015.
- [13] FAPS-Institute for Factory Automation and Production Systems, [Mrežno]. Available: <https://www.faps.fau.de/>. [Pokušaj pristupa 24. lipanj 2022.]
- [14] Barrett Centre for Technology and Innovation, [Mrežno]. Available: <https://humber.ca/barrett-centre-for-technology-innovation/innovation/labs-and-rooms.html>. [Pokušaj pristupa 24. lipanj 2022.]
- [15] International Association of Learning Factories, [Mrežno]. Available: <https://ialf-online.net/index.php/component/content/article/17-members/41-learning-factory-for-optimal-machining-loz.html?Itemid=101>. [Pokušaj pristupa 24. lipanj 2022.]
- [16] Lugaesia G., Frigerioa N., Mattaa A.: A New Learning Factory Experience Exploiting LEGO For Teaching Manufacturing Systems Integration, *10th Conference on Learning Factories*, Graz, 2020.
- [17] Petrusch N., Seickmann F., Menn J., Kohl H.: Integration of Active Pharmaceutical Ingredient production into a pharmaceutical Lean Learning Factory, *9th Conference on Learning Factories*, Darmstadt, 2019.
- [18] Tisch M., Ranz F., Abele E., Metternich J., Vera H.: Learning Factory Morphology - Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain, *Turk. Online J. Educ. Technol.*, no. 2, p. 9, 2015.
- [19] Members, International Association of Learning Factories, [Mrežno]. Available: <https://ialf-online.net/index.php/members.html>. [Pokušaj pristupa 24. lipanj 2022.]
- [20] Eisenhardt K. M.: Building theories from case study research, *Academy of management review*, 14(4):532–550, 1989.
- [21] Stakeholder analiza u sklopu projekta ConnectSEE, Zagreb, 2022.
- [22] Primožič M.: Learning Outcomes Workshop, EIT Manufacturing, 2022.
- [23] Nimac E.: Primjena Bloomove taksonomije znanja u nastavi, Agencija za odgoj i obrazovanje, [Mrežno]. Available: https://www.azoo.hr/app/uploads/uvezeno/images/razno/E._Nimac.doc. [Pokušaj pristupa 28. lipanj 2022.]