

Predictive Maintenance via Deep Tech Solutions for Environmental and Social Impacts in Manufacturing (PreVEnT)

Akronim projekta: **PreVEnT**

Naslov projekta: **Predictive Maintenance via Deep Tech Solutions for Environmental
and Social Impacts in Manufacturing**

Broj projekta: **2023-1-RO01-KA220-VET-000151056**

Project Ref.: 2023-1-RO01-KA220-VET-000151056

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the National Agency and Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Pilot obuke

Pedagoška metodologija za hibridne fabrike učenja, znanja i obrazovanja (WBLTF)

Sadržaj:

UVOD	3
FABRIKE UČENJA (LF)	3
FABRIKE ZNANJA (OBRAZOVANJA) (TF)	4
UČENJE U OKVIRU FABRIKA OBRAZOVANJA ZASNOVANO NA RADU (WBLTF)	5
UVODENJE WBLTF-A:	6
HIBRIDNO UČENJE ZASNOVANO NA RADU. (HYBRID WORK-BASED LEARNING TEACHING FACTORIES (WBLTF))	7
ARHITEKTURA TRANSFORMACIJE:	8
PEDAGOŠKA METODOLOGIJA	10
1. LOGISTIKA	10
2. SARADNJA STUDENATA	11
3. POVEZIVANJE ŠKOLA I FABRIKA	11
4. INDUSTRIJSKI IZAZOVI I SERTIFIKACIJA	11
5. EVALUACIJA I UNAPREĐENJA	11
PEDAGOŠKI OKVIRI ZA HIBRIDNE FABRIKE UČENJA KROZ RAD WBLTF	11
ZAKLJUČAK	13
REFERENCE	14

Uvod

Ovaj dokument predstavlja sažetak metodologije razvijene u okviru evropskog projekta PreVEnT, sa ciljem da se obezbedi savremeni model učenja u skladu sa zahtevima industrije 4.0 i obrazovanja 4.0. U uvodnom delu ovog dokumenta predstavljeni su ključni pojmovi, kao što su „Learning Factories“ (LF)(fabrike učenja) i „Teaching Factories“ (TF)(fabrike znanja), uz osvrt na njihove razlike. Nakon toga, razmatraju se razlozi za njihovu integraciju u jedinstven metodološki pristup. U nastavku se analizira koncept učenja kroz rad u okviru modela „Teaching Factory“, a zatim se fokus stavlja na hibridni model – „Work-Based Learning Teaching Factory“ (WBLTF) – u kontekstu savremenih koncepata Industrije 4.0 i Obrazovanja 4.0, koje povezuje akademsko znanje sa realnim radnim iskustvom uz primenu digitalnih alata i tehnologija.

Fabrike učenja (LF)

Fabrike učenja su obrazovne sredine koje studentima pružaju praktično iskustvo u simuliranim industrijskim okruženjima. Fokusiraju se na razvoj inženjerskih kompetencija, sa akcentom na optimizaciju životnog ciklusa proizvoda, integraciju „lean“ metodologija, upravljanje energijom i smanjenje troškova. Osnovna ideja je da studenti uče kroz rešavanje problema u kontrolisanom, ali realističnom proizvodnom okruženju, čime se povećava njihova spremnost za izazove industrije.

Fabrike učenja predstavljaju inovativan pristup inženjerskom obrazovanju koji ujedinjuje dizajn, proizvodnju i poslovne koncepte kroz nastavne programe zasnovane na praktičnom radu (Lamancusa et al., 1997). Ključna uloga ovih fabrika jeste razvoj razumevanja celokupnog životnog ciklusa proizvoda, uz fokus na optimizaciju pojedinačnih faza tog ciklusa (Lamancusa et al., 1997). Wagner i saradnici (2012) detaljno su razmatrali neophodne osobine i funkcionalnosti koje ovakvi centri moraju da poseduju, naglašavajući njihov potencijal da razvijaju inovativna rešenja za fleksibilnost u proizvodnji i prenose ta rešenja u industrijsku praksu.

Danas se u okviru „learning factories“ istraživanja uglavnom fokusiraju na tri ključna aspekta: „lean“ proizvodnju (sistematski pristup eliminaciji otpada u proizvodnim procesima), smanjenu potrošnju energije i niskobudžetnu automatizaciju. U cilju ostvarenja obrazovnih ciljeva koriste se različiti scenariji nastave i simulacije realnih procesa.

Studije potvrđuju da fabrike učenja poboljšavaju primenu znanja i učenje usmereno na praktične aktivnosti u poređenju sa tradicionalnim obrazovanjem (Cachay et al., 2012). Ovaj metod donosi značajne koristi, kao što su skraćivanje trajanja obuke i smanjenje troškova za kompanije (Sadaj et al., 2021). Digitalne fabrike učenja dopunjuju fizičke, ubrzavajući proces učenja i pružajući bogatije iskustvo, naročito u predstavljenju metoda rešavanja problema, poputodređenih pristupa (Haghighi, 2014; Zadeh, 2014; Sieckmann et al., 2020). Iako digitalna rešenja ne mogu u potpunosti zameniti fizičke interakcije, ona služe kao vredna dopuna (Haghighi, 2014).

Dizajn fabrika učenja zahteva sistematičan pristup usmeren na kompetencije, koji integriše tri nivoa: samu fabriku učenja, obrazovni modul i proces učenja (Tisch et al., 2016). Ovaj pristup omogućava da fabrike učenja odgovaraju industrijskim zahtevima i efikasno razvijaju relevantne veštine. Fabrike učenja su pokazale obećavajuće rezultate u prenošenju metoda rešavanja problema, naročito kada se koristi stvarni sadržaj iz radnog okruženja polaznika (Sieckmann et al., 2020).

Fabrike učenja predstavljaju značajan iskorak u obrazovanju inženjera, jer povezuju teorijsko znanje sa praktičnim potrebama industrije.

Fabrike znanja (obrazovanja) (TF)

Fabrike obrazovanja predstavljaju inovativan pristup u strukovnom obrazovanju i osposobljavanju (VET), koji premošćuje jaz između akademskog učenja i industrijskog iskustva. Ovaj model omogućava studentima rad na stvarnim projektima u fabričkom okruženju, čime se unapređuju njihove tehničke veštine i izlažu inženjerskim izazovima.

Razvoj modela fabrika obrazovanja u VET institucijama podrazumeva planiranje, organizaciju, sprovođenje i evaluaciju programa (Nurtanto et al., 2017). Omogućavajući učenicima iskustva relevantna za industriju, ove fabrike pomažu u pripremi za tržište rada i mogu doprineti smanjenju nezaposlenosti među VET diplomcima (Putri et al., 2017). Takođe, uključivanje proizvodnih jedinica u poslovne aktivnosti škole može generisati prihode koji podržavaju održavanje opreme i razvoj ljudskih resursa, ali i pružaju učenicima autentično radno iskustvo.

Međutim, uvođenje fabrika obrazovanja u VET, institucijama donosi i određene izazove. Potrebno je uložiti napore u njihovo rešavanje kako bi se unapredio kvalitet strukovnih programa. Redovne evaluacije sprovođenja „teaching factories” su neophodne za razmatranje nastavnih aktivnosti, identifikaciju prepreka i određivanje oblasti za poboljšanje.

Fabrike obrazovanja donose značajne koristi za studente, nastavnike i industrijske partnere jer omogućavaju praktično iskustvo u stvarnim fabričkim uslovima, čime se premošćuje jaz između teorijskog znanja i primene u praksi (Teng et al., 2001). Ovaj pristup unapređuje tehničke veštine učenika, sposobnosti rešavanja problema i spremnost za rad. Integrisanjem radnog iskustva u školske programe i simulacijom proizvodnih procesa, fabrike obrazovanja doprinose formiranju kompetentnih diplomaca (Muslim, 2019). Osim tehničkih veština, ovaj model podstiče i razvoj mekih veština, kao što su timski rad, međuljudska komunikacija i izgradnja karaktera (Yunny Erlia Putri et al., 2019).

Iako postoje izazovi, poput ograničenih kapaciteta i resursa, implementacija fabrike obrazovanja pokazuje pozitivne rezultate, uključujući poboljšanje akademskog uspeha i veću zapošljivost diplomaca. Kroz simulaciju realnih proizvodnih procesa i usklađivanje sa zahtevima industrije, fabrike obrazovanja imaju ključnu ulogu u pripremi učenika za tržište rada u okviru strukovnog obrazovanja i osposobljavanja (VET).

Kako modeli fabrika učenja integrišu proizvodne procese sa aktivnostima učenja, oni pripremaju studente da zadovolje zahteve industrije i istovremeno razvijaju njihovu spremnost za rad u struci. U nastavku je sažetak ključnih elemenata fabrika obrazovanja:

1. Uspostavljanje upravljanja u okviru fabrika obrazovanja

Menadžment u fabrikama obrazovanja je strukturiran proces koji obuhvata planiranje, organizovanje, uvođenje i nadgledanje radi postizanja definisanih ciljeva.

2. Proces proizvodnje

Proces proizvodnje započinje zahtevom potrošača, koji menadžment pregleda i konsultuje se sa nastavnicima. Nakon odobrenja, administrativni deo procenjuje troškove proizvodnje i potencijalnu dobit. Zatim zahtev ide u proizvodno odeljenje, gde se vrši nadzor kako bi se sprečile greške. Gotovi proizvodi se kontrolišu u više faza, a konačnu proveru kvaliteta obavljaju nastavnici kako bi se osigurala usklađenost sa standardima. Kada proizvod prođe sve kontrole, proces proizvodnje se smatra završenim (Diwangkoro et al., 2020).

3. Marketing proces

Project Ref.: 2023-1-RO01-KA220-VET-000151056

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the National Agency and Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Marketing je fokusiran na usklađivanje proizvoda sa potrebama potrošača i održavanje standarda kvaliteta. Završeni proizvodi se ocenjuju kako bi se proverilo da li ispunjavaju zahteve i očekivanja

kvaliteta. Marketing odeljak prodaje proizvode koristeći strateške pristupe, koji obuhvataju: Usavršavanje osnovne ideje proizvoda, prenošenje potrebnih informacija ciljnoj grupi, efikasna isporuka proizvoda potrošačima, uspostavljanje cena prihvatljivih za kupce.

4. Proces evaluacije

Evaluacijom se sagledava učinak svih sektora unutar fabrika obrazovanja. Nastavnici, koji nastupaju kao konsultanti, pružaju povratne informacije i ocene koje služe kao merila uspeha studenata. Ova procena odražava sposobnost učenika da obavljaju zadatke i ispunjavaju industrijske standarde. Takav celovit pristup obrazovanju osigurava da su studenti dobro pripremljeni za profesionalno okruženje, premošćujući jaz između akademskog znanja i industrijske prakse (Diwangkoro et al., 2020).

Fabrike učenjasu uglavnom usmerene na inženjersko obrazovanje i razvoj kompetencija u oblastima dizajna, proizvodnje i poslovnih koncepata. Cilj je da osposobe studente veštinama potrebnim za rešavanje stvarnih izazova, fokusirajući se na realizaciju proizvoda, optimizaciju životnog ciklusa proizvoda i primenu metodologija poput “lean i low-cost” automatizacije. Sa druge strane, iako postoje sličnosti između ova dva modela, fabrike obrazovanja se fokusiraju na strukovno obrazovanje i osposobljavanje (VET), nastojeći da povežu akademsko učenje sa industrijskom praksom. Njihov cilj je da pripreme studente za konkretne radne pozicije omogućavajući im sticanje neophodnih veština kroz praktičan rad u proizvodnim procesima i blisku saradnju sa industrijom. Konkretno, fabrike učenja su više orijentisane na istraživanje i akademski rad, dok su fabrike obrazovanja fokusirane na strukovno obrazovanje i pripremu studenata za direktno zapošljavanje. Dakle, fabrike obrazovanja (TF) su napredniji, industrijski orijentisan i tehnološki vođen model, koji usklađuje stvarne zahteve industrije sa akademskim učenjem, dok sufabrike učenja (LF) obrazovni alat osmišljen da studentima pruži praktično iskustvo unutar simuliranog industrijskog okruženja.

Učenje u okviru fabrika obrazovanja zasnovano na radu (WBLTF)

Učenje kroz rad u fabrikama obrazovanja (WBLTF) postaje sve značajniji pristup u tehničkom obrazovanju jer povezuje školsko znanje sa stvarnim potrebama industrije. Tehničke škole, kao ustanove koje obrazuju stručne kadrove, imaju ključnu ulogu u korišćenju svojih resursa i uspostavljanju saradnje sa privredom, kako bi poboljšale zapošljivost svojih učenika. Integracijom modela učenja kroz rad u koncept fabrika obrazovanja, škole stvaraju dinamično i realistično okruženje za učenje, u kojem učenici stiču praktična znanja kroz strukturisano radno iskustvo.

Fabrike obrazovanja funkcionišu kao proizvodne jedinice unutar obrazovnog sistema, gde se industrijski procesi i modeli saradnje primenjuju u obrazovnom kontekstu. Na taj način učenici učestvuju u stvarnim proizvodnim izazovima i aktivnostima i uče kroz praktičan rad, usklađujući svoje veštine sa zahtevima tržišta. Ovaj model ne samo da poboljšava praktične sposobnosti učenika, već i jača veze između škola i industrije.

U savremenom tehnološkom okruženju, naročito s razvojem industrije 4.0, WBLTF pristupi dobijaju dodatni značaj. Napredne tehnologije u proizvodnji zahtevaju stalno usavršavanje radne snage. Ovaj

model učenja stavlja fokus na rešavanje stvarnih izazova koje donose industrijski partneri, čime se podstiču inovacije i konkurentnost.

Prema istraživanju [Yoto i saradnici, 2020], učenje kroz rad omogućava učenicima da steknu uvid u prakse savremenih industrija i da donesu promišljene karijerne odluke. Fabrike obrazovanja u

srednjim stručnim školama predstavljaju uspešnu primenu ovog koncepta, jer učenicima pružaju priliku da osete radno okruženje i razviju ključne kompetencije.

Kroz ovaj model, učenici bolje razumeju radne procese, stiču praktične veštine, usvajaju radne navike, razvijaju motivaciju, uče o disciplini i preuzimanju odgovornosti. Na primer, učenici tehničkih škola često dobijaju narudžbine od industrijskih partnera koje realizuju uz podršku mentora iz fabrike obrazovanja. Takva iskustva imitiraju realne proizvodne procese i pomažu učenicima da izgrade samopouzdanje i profesionalne veštine.

Fabrike obrazovanja predstavljaju spoj poslovnog i tehničkog obrazovanja, kombinujući praktična i teorijska znanja kako bi se ispunila očekivanja savremene industrije. Ovaj obrazovni model koristi sve raspoložive resurse tehničkih škola — uključujući stručne nastavnike, odgovarajuću infrastrukturu i potencijal učenika — kako bi obezbedio sveobuhvatno obrazovanje.

Uvođenje fabrika obrazovanja smatra se strateškim prioritetom, a sve veći broj tehničkih škola prihvata ovaj model s ciljem poboljšanja obrazovnih rezultata učenika i prevazilaženja jaza između školstva i industrije. Primenom ovog modela, škole omogućavaju učenicima da steknu dragoceno radno iskustvo i razviju veštine i osobine koje su neophodne za uspešan rad u savremenom industrijskom okruženju.

Uvođenje WBTLF-a:

Pripremna faza uvođenja modela fabrika obrazovanja zasnovanih na učenju kroz rad (WBTLF) obuhvata nekoliko ključnih koraka: proces socijalizacije, formiranje tima za implementaciju, izradu plana i definisanje obima rada, kao i pripremu potrebne dokumentacije za nastavu [Yoto i dr., 2020].

Socijalizacija: Uspešna primena WBTLF modela zahteva snažnu podršku i posvećenost rukovodstva škole, nastavnog osoblja i svih relevantnih aktera, jer ovaj pristup donosi promenu u tradicionalnom načinu učenja. Model se ne primenjuje samo na stručne (produktivne) predmete, već obuhvata celokupan nastavni proces. Cilj socijalizacije je da se obezbedi široka uključenost svih strana i osigura podrška menadžmenta, kako bi se omogućila uspešna primena modela.

Formiranje tima za implementaciju: Tim za implementaciju formira se na nivou ustanove i čine ga osobe koje dobro poznaju ciljeve stručnog obrazovanja, kao i faze i mehanizme sprovođenja modela fabrike obrazovanja. Rad tima traje onoliko koliko je potrebno za implementaciju i praćenje procesa.

Priprema plana i obima rada: Plan aktivnosti i definisanje obima delovanja fabrike obrazovanja izrađuju se na osnovu procene dostupnih resursa škole – kadrovskih, tehničkih i organizacionih.

Izrada nastavnih dokumenata: Dokumentacija za izvođenje nastave priprema se u skladu sa važećim standardima i uključuje podatke o vrstama proizvoda, radne listove, rasporede blok-nastave i druge prateće dokumente.

Upotrebom informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT), WBTLF omogućava dvosmernu razmenu znanja između industrije i učionice. Ova razmena se odvija kroz dva osnovna modela: „iz fabrike u učionicu“ i „iz laboratorije u fabriku“.

Sesije mogu biti organizovane po principu „jedan na jedan“, gde jedna fabrika saraduje sa jednom učionicom, ili „jedan na više“, gde jedna fabrika istovremeno komunicira sa više učionica.

Na ovaj način, WBTLF doprinosi razvoju novih modela saradnje između obrazovnog sektora i industrije, pri čemu su teme iz proizvodnje osnova ove razmene znanja [Mourtzis i dr., 2023].

Hibridno učenje zasnovano na radu. (Hybrid Work-Based Learning Teaching Factories (WBLTF))

Obrazovanje je tokom godina doživelo značajne promene, a digitalizacija je imala ključnu ulogu u transformaciji načina na koji se znanje prenosi i usvaja. Iako je ovaj proces započeo i pre globalne pandemije, zdravstvena kriza ga je značajno ubrzala, primoravajući obrazovne ustanove da brzo usvoje rešenja koja omogućavaju kontinuitet nastave i dostupnost obrazovanja za sve učenike.

U tom kontekstu, kao važan pristup ističe se personalizovano obrazovanje, koje je moguće ostvariti samo u okviru koncepta Obrazovanja 4.0. Ovaj pristup koristi metode zasnovane na podacima kako bi se obrazovni sadržaji prilagodili individualnim potrebama svakog učenika. Uz pomoć alata kao što su virtuelne učionice i sistemi za upravljanje učenjem (LMS), personalizovano obrazovanje postaje ključno za jačanje angažovanja učenika, poboljšanje obrazovnih rezultata i uvažavanje specifičnih karakteristika svakog pojedinca [Mourtzis i dr., 2023].

Paralelno sa razvojem industrije 4.0, dolazi do uvođenja naprednih tehnologija i međusobno povezanih sistema koji menjaju proizvodne i poslovne procese. Ova transformacija stavlja fokus na integraciju digitalnih alata, automatizaciju i pametne tehnologije, što zahteva i odgovarajućepriлагоđavanje obrazovnih sistema kako bi učenici bili spremni za dinamično, tehnološki zasnovano radno okruženje.

Industrija 4.0 nameće potrebu za prelaskom na Obrazovanje 4.0, koje podrazumeva pristup usmeren na učenika, sa akcentom na kritičko razmišljanje, kreativnost i učenje tokom celog života. Sve to je zasnovano na razvoju digitalne pismenosti.

U savremenom, brzo promenljivom okruženju, usmeravanje obrazovanja ka potrebama industrije postaje neophodno. Budući da se učenici i studenti sve više posmatraju kao korisnici obrazovnih usluga, visokoškolske ustanove i centri za obuku moraju da ispune njihova očekivanja nudeći fleksibilne, personalizovane programe.

Model hibridnih fabrika obrazovanja zasnovanih na učenju kroz rad (WBLTF) predstavlja obećavajuće rešenje za povezivanje obrazovanja sa industrijom, jer kombinuje teorijsko znanje sa praktičnim iskustvom u realnim, tehnološki unapređenim okruženjima.

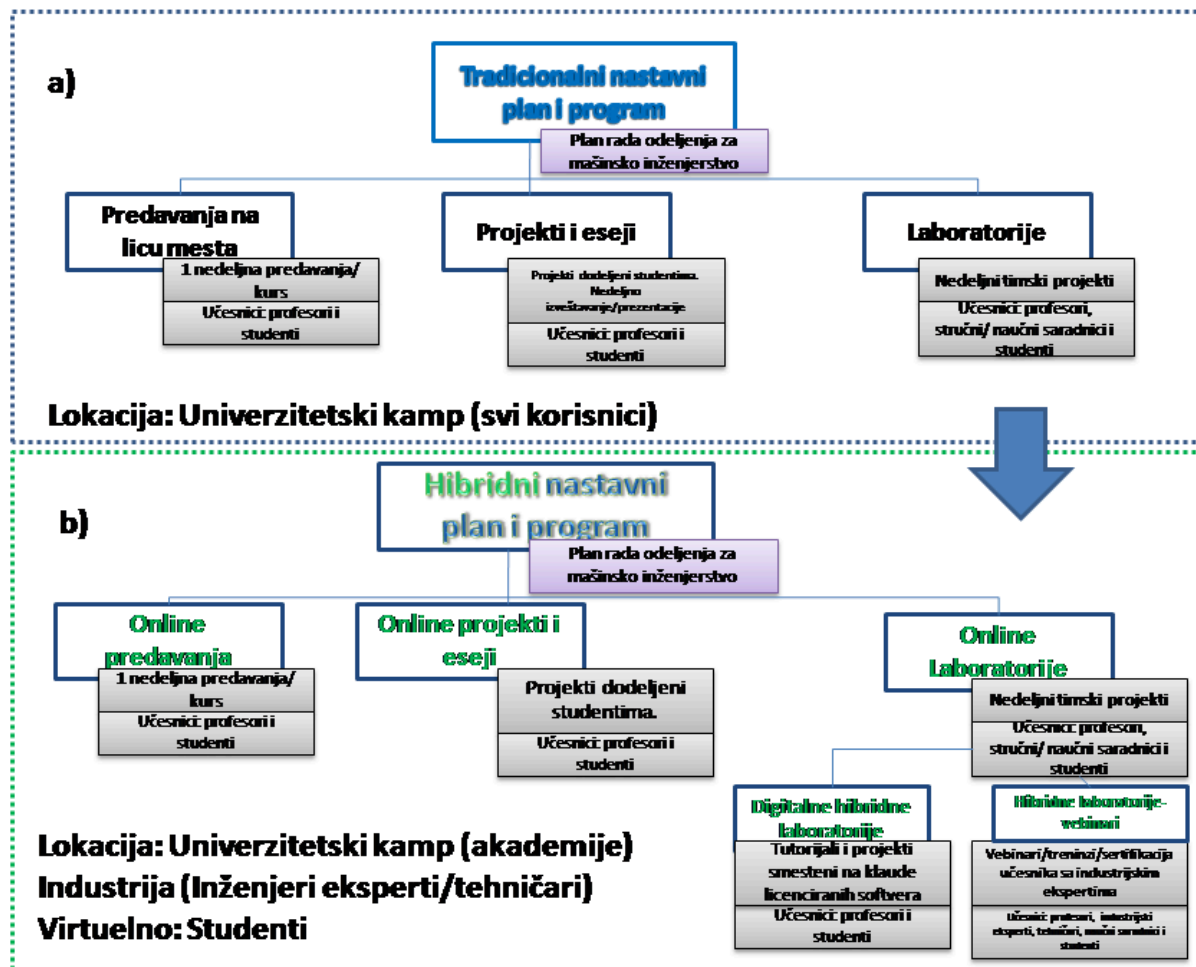
Ovaj hibridni pristup spaja personalizovano obrazovanje sa metodama učenja kroz rad, omogućavajući učenicima i studentima da razviju veštine i kompetencije koje su neophodne za rad u uslovima Industrije 4.0. Kroz jačanje saradnje između obrazovnih ustanova i privrede, ovaj model povećava spremnost mladih za tržište rada, usklađuje obrazovni sadržaj sa stvarnim potrebama i osigurava da obrazovanje ostane relevantno i efikasno u eri digitalne i industrijske transformacije.

Arhitektura transformacije:

Jednostavan primer arhitekture transformacije predstavili su [Mourtzis i saradnici, 2023], prikazan na Slici 1, koja ilustruje tradicionalnu i hibridnu strukturu nastavnog plana i programa na odeljenju za mašinsko inženjerstvo i vazduhoplovstvo.

Na slici 1.a prikazana je tradicionalna struktura nastavnog programa, zasnovanog na nastavi uživo i izvođenju časova u učionicama.

Nasuprot tome, slika 1.b prikazuje prilagođeni nastavni program razvijen za predloženi hibridni model nastave. Ovaj model kombinuje onlajn i učenje uživo, čime se obezbeđuje kontinuitet obrazovanja, ali i izlazi u susret sve kompleksnijim potrebama učenika i nastavnog osoblja u savremenom obrazovnom okruženju.



Slika1: Tradicionalni nastavni program (a) naspram hibridnog nastavnog programa učenja (b).ref [Mourtzis et, al. 2023]

Poređenje tradicionalnih i hibridnih nastavnih fabrika pokazuje značajne razlike u njihovom pristupu. Iako je osnovna struktura slična, ključne razlike uočavaju se u načinima komunikacije i interakcije.

U prvoj fazi, umesto zajedničkih sastanaka, hibridne nastavne fabrike koriste vebinare i komunikaciju u realnom vremenu. U drugoj fazi, svakodnevni sastanci zamenjuju se digitalnim ili virtuelnim susretima radi održavanja stalne saradnje. Treća faza podrazumeva prelazak sa neposrednih sastanaka sa mentorima na digitalni nadzor i evaluaciju, što omogućava daljinsko vođenje i podršku. Na kraju, umesto tradicionalnih pisanih izveštaja i prezentacija, u hibridnom modelu primenjuju se sastanci u realnom vremenu, vebinari i onlajn deljenje materijala, čime se povećava dostupnost i fleksibilnost.

Kao praktičan primer razvoja hibridnog nastavnog modela, implementirana je metoda u okviru kursa za upravljanje numerički programiranim mašinama (CNC), u kojoj je učestvovalo 55 studenata. Cilj je bio kombinovanje onlajn i nastave uživo [Mourtzis i dr., 2023]. Model se oslanja na kolaborativnu platformu zasnovanu na kladu, koja studentima i stručnjacima iz industrije omogućava pristup obrazovnim materijalima, digitalnim alatima i resursima poput proširene i virtuelne stvarnosti.

Profesori i tehničari imaju aktivnu ulogu u realizaciji modela kroz virtuelna predavanja i hibridne laboratorijske vežbe. Ovakav integrisani pristup studentima nudi teorijsko znanje i praktičnu obuku u oblasti CNC tehnologije, uspešno povezujući obrazovanje i industriju.

Pedagoška metodologija

Ovo poglavlje ima za cilj da predstavi pedagoški pristup za hibridni model učenja kroz rad (Work-Based Learning Teaching Factory – WBLTF), koji integriše napredne tehnologije u primeni prediktivnog održavanja (PM).

Cilj je da se polaznicima stručnog obrazovanja i obuka (VET) obezbede ključne kompetencije iz oblasti veštačke inteligencije (AI), mašinskog učenja, kolaborativne robotike, interakcije čoveka i mašine, kao i analize životnog ciklusa za održive strategije PM-a.

Metodologija se zasniva na inovativnim pedagoškim strategijama koje podstiču angažovanje studenata i poboljšavaju ishode učenja. U to spadaju nastava, kolaborativne aktivnosti, razvijanje kritičkog mišljenja i tehnike rešavanja problema, uz intenzivnu upotrebu tehnologije u učionici.

Ključni pedagoški elementi uključuju grupne diskusije, simulacije kroz postavljanje u date uloge i praktične aktivnosti, koje podstiču viši nivo mišljenja i razvoj veština primenljivih u realnim situacijama. Uvođenje sistema nagrađivanja, zasnovanog na neuronaučnimuvidima, dodatno jača motivaciju i posvećenost učenika. Pored toga, korišćenje alata za holističku analizu životnog ciklusa omogućiće studentima da testiraju napredna rešenja u oblasti PM-a, čime se podstiče dublje i praktičnije učenje.

Da bi se podržale ove strategije, metodologija uvodi i digitalnu kreativnost kroz masovne otvorene onlajn kurseve (MOOC), otvorene obrazovne resurse (OER). Ovakav pristup stvara dinamično i interaktivno okruženje za učenje, koje povećava angažovanost, smanjuje stopu odustajanja i pruža dodatnu podršku rizičnim grupama. Razvoj sistema mini kvalifikacija omogućiće studentima da jasno pokažu svoja znanja i kompetencije u oblasti PM-a, čineći ih fleksibilnijim i konkurentnijim na tržištu rada. Ova sveobuhvatna metodologija doprinosi povezivanju tradicionalnog obrazovanja sa savremenim zahtevima industrije.

Za uspešnu primenu ove metodologije, važno je obezbediti sledeće komponente:

1. Logistika

Za uspešno funkcionisanje hibridnog WBLTF modela ključna je dobra organizacija. To podrazumeva stabilnu komunikaciju između škola, industrijskih partnera i studenata, kao i obezbeđivanje potrebne infrastrukture, alata i mašina za praktičnu nastavu. Važno je i efikasno upravljanje finansijama kako bi se obezbedio kontinuitet razvoja i održavanja sistema.

2. Saradnja studenata

Studentima treba omogućiti fleksibilne načine uključivanja i završavanja programa, kako bi tempo učenja bio prilagođen njihovim potrebama i zahtevima industrije. Uključivanje stručnih nastavnika i industrijskih mentora ključno je za povezivanje teorije i prakse.

3. Povezivanje škola i fabrika

VET centri moraju uskladiti programe sa realnim potrebama industrije. Praktični rad u nastavnim fabrikama povezuje obrazovanje sa proizvodnim procesima, dok tehnološki ekosistemi omogućavaju deljenje resursa i zajednički razvoj novih rešenja. Ovo ima obostranu korist. Industriji jer dobija odgovore i rešenja za svoje realne problem, a učenicima jer se susreću sa stvarnim izazovima u radu.

4. Industrijski izazovi i sertifikacija

Model treba da odgovara na stvarne industrijske izazove kroz digitalne platforme i simulacije. Sertifikacija znanja i veština osigurava studentima prepoznatljive kvalifikacije na tržištu rada.

5. Evaluacija i unapređenja

Kontinuirano praćenje i evaluacija kompetencija studenata, kao i stalno unapređenje digitalnih platformi i nastavnog sadržaja, garantuju da model ostane relevantan i usklađen sa potrebama savremene industrije.

Pedagoški okviri za hibridne fabrike učenja kroz rad WBLTF

Pedagoški okvir usmeren je na kreiranje obrazovnog procesa koji objedinjuje teorijsko i praktično učenje kroz principe učenja kroz rad i nastavnih fabrika (WBLTF), u fizičkom i digitalnom okruženju. Oslanja se na postojeće koncepte *Learning Factories* (LF), *Teaching Factories* (TF) i *Hybrid Work-Based Learning Teaching Factories* (WBLTF), kombinujući tradicionalne i digitalne oblike nastave.

Za potrebe obrazovanja u oblasti prediktivnog održavanja uz primenu naprednih tehnologija u industriji, pedagoški okvir PreVEnT-a uvodi model implementacije u šest faza. Ovaj model kombinuje modularnu nastavu, saradnju sa realnim industrijskim okruženjem i digitalnu infrastrukturu, kako bi se obezbedilo potpuno hibridno iskustvo učenja kroz rad i nastavne fabrike.

Faza 1: Identifikacija industrijskog izazova

Proces učenja počinje identifikacijom stvarnog problema ili izazova iz industrije, direktno od partnera iz privrede. Izazov mora biti autentičan, rešiv i relevantan za aktuelne industrijske prakse ili inovacije. Nakon definisanja, problem se razlaže na manje, upravljive zadatke koji odgovaraju modularnim obrazovnim jedinicama – tzv. mikro-akreditacijama (MC). Svaki zadatak uključuje obrazloženje zašto

je njegovo rešavanje važno i kako utiče na industrijske procese, čime se motivišu studenti kroz smisljeno angažovanje.

Faza 2: Dizajn nastavnog programa putem mikro-akreditacija

Nakon definisanja problema, akademski partneri kreiraju putanju učenja kroz strukturu mikro-akreditacija. Obrazovni ciljevi se razlažu na MC-ove, pri čemu svaki predstavlja kompetenciju potrebnu za rješavanje dela industrijskog problema. U ovoj fazi definiše se i ciljna grupa – studenti, tehničko osoblje ili profesionalci u programima prekvalifikacije. Za svaki MC postavljaju se jasni ciljevi učenja, očekivani rezultati i potrebni preduslovi. Takođe, mapira se preporučeni redosled učenja kako bi studenti razvili koherentan i sveobuhvatan set veština u skladu sa potrebama industrije.

Faza 3: Realizacija projekta i interakcija sa industrijom

Studenti direktno pristupaju izazovu kroz kolaborativan i problem-orijentisan pristup. Počinju prikupljanjem i obradom podataka prema zahtevima MC-ova. Koristeći stečene veštine, posebno u AI, mašinskom učenju i relevantnim alatima, predlažu rešenja problema. Pod nadzorom akademskih mentora, ideje se razvijaju u funkcionalna rešenja ili modele, koji se potom prezentuju industrijskim mentorima radi validacije. Povratne informacije iz industrije omogućavaju studentima da analiziraju rezultate i unaprede svoja rešenja, spajajući teoriju i praksu u stvarnom kolaborativnom okruženju.

Faza 4: Priprema infrastrukture i organizacije

Za funkcionisanje hibridnog WBLTF modela neophodna je čvrsta infrastrukturna i organizaciona podrška. Ova faza uključuje uspostavljanje digitalnih i fizičkih prostora za učenje, kao što su udaljene laboratorije, data platforme, VR/AR tehnologija i alati za simulaciju. Formiraju se timovi akademskih i industrijskih mentora sa jasno definisanim ulogama i protokolima komunikacije. Studenti se raspoređuju u kolaborativne timove prema MC-ovima i zadacima, uz pristup realnim ili simuliranim industrijskim okruženjima, virtuelno ili uživo.

Faza 5: Validacija, praćenje i povratne informacije

Dok su projektne aktivnosti u toku, napredak i učinak studenata se pažljivo prate. U ovoj fazi primenjuju se dvostruki procesi validacije – akademska procena i industrijska kritika – kako bi se osiguralo da rešenja zadovoljavaju obrazovne i praktične standarde. Koriste se analitički alati i *dashboard-i* za praćenje napretka u realnom vremenu, uključujući tempo rada, stopu završetka i angažovanost. Takođe, ocenjuje se doprinos studenata i timova tokom praktičnih sesija i interakcija u fabrikama, čime se obezbeđuje transparentna procena performansi i napretka.

Faza 6: Adaptivno učenje i kontinuirano unapređenje

Poslednja faza fokusira se na personalizaciju učenja i kontinuirano unapređenje. Povratne informacije sa stvarnih industrijskih zadataka analiziraju se radi procene efekata i uspešnosti studentskih intervencija. Na osnovu dijagnostičkih procena i samoevaluacije, putevi učenja se dinamički prilagođavaju kako bi se popunile identifikovane praznine ili iskoristile naklonosti. Interaktivni mehanizmi povratnih informacija – digitalni *dashboard-i*, ocene kolega i ulazni podaci mentora – pomažu studentima da reflektuju svoje iskustvo i rezultate. Ovaj adaptivni proces osigurava da student, ne samo ispune industrijske standarde, već i da ostanu agilni i spremni za nove izazove i prilike.

Kroz ovu strukturiranu metodologiju u šest faza, okvir PreVenT-a osigurava da studenti stiču praktične, modularne i industrijski relevantne veštine, koje se mogu kontinuirano razvijati i proveravati u fizičkom i digitalnom okruženju.

Potvrda (validacija) predložene metodologije hibridne nastavne fabrike zasnovane na učenju kroz rad (WBLTF), je usklađenost sa relevantnom literaturom i postojećim modelima.

Ključni izvori koji daju teorijski i praktični osnov za metodologiju su:

- Requirements for Learning Factories (Christopher Prinz i dr., 2023)
- Teaching Factory educational paradigm (Chryssolouris i dr., 2016)
- Hybrid Teaching Factory model (Mourtzis i dr., 2023)
- Implementation model of Teaching Factory (Procedia CIRP, 2016)

Predložena pedagoška metodologija WBLTF pokazuje visoku usklađenost sa vodećim obrazovnim okvirima u savremenom industrijskom obrazovanju. Ona zadovoljava strukturne, pedagoške, tehnološke i kolaborativne kriterijume definisane kroz modele Learning Factories, Teaching Factories i Hybrid Teaching Factories.

Zaključak

Razvijena pedagoška metodologija za hibridni model učenja kroz rad i nastavne fabrike (WBLTF) uspostavlja strukturisan, fleksibilan i industrijski usklađen pristup stručnom i tehničkom obrazovanju. Integracijom modularnih mikro-akreditacija, stvarnih industrijskih izazova, digitalnih alata, personalizovanih putanja učenja i kontinuiranih povratnih informacija, ovaj okvir obezbeđuje da studenti stiču i teorijska znanja i praktične kompetencije. Time se polaznici pripremaju da sa sigurnošću, prilagodljivošću i inovativnošću odgovore na promenljive zahteve industrije i premoste jaz između obrazovanja i dinamične stvarnosti savremene proizvodnje.

Reference

- Lamancusa, J.S., Jorgensen, J.E. and Zayas-Castro, J.L., 1997. The learning factory—A new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum. *Journal of engineering Education*, 86(2), pp.103-112.
- Scholz, J.A., Sieckmann, F. and Kohl, H., 2020. Implementation with agile project management approaches: Case Study of an Industrie 4.0 Learning Factory in China. *Procedia Manufacturing*, 45, pp.234-239.
- 4- Haghighi, A., Shariatzadeh, N., Sivard, G., Lundholm, T. and Eriksson, Y., 2014, November. Digital learning factories: conceptualization, review and discussion. In *The 6th Swedish production symposium (SPS14)*. Citeseer.
- Wagner, D.A., Murphy, K.M. and De Korne, H., 2012. Learning first: A research agenda for improving learning in low-income countries.
- Cachay, J., Wennemer, J., Abele, E. and Tenberg, R., 2012. Study on action-oriented learning with a learning factory approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 55, pp.1144-1153.
- Sadaj, E.A., Hulla, M. and Ramsauer, C., 2020. Design approach for a learning factory to train services. *Procedia manufacturing*, 45, pp.60-65.
- Liu, X., Wang, X., Shi, B., Li, C. and Chen, W., 2022. Effect of Interdisciplinary Team Teaching on Postgraduate Students' Beliefs and Confidence in Academic Writing. *Creative Education*, 13(9), pp.2834-2855.
- Tisch, M., Ranz, F., Abele, E., Metternich, J. and Hummel, V., 2015. Learning factory morphology—study of form and structure of an innovative learning approach in the manufacturing domain. *Turkish online journal of educational technology*, 14(Special Issue 2), pp.356-363.
- Diwangkoro, E., 2020. Development of teaching factory learning models in vocational schools. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1456, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Nurtanto, M., Kholifah, N., Ahdhianto, E., Samsudin, A. and Isnantyo, F.D., 2021. A review of gamification impact on student behavioral and learning outcomes. *iJIM*, 15(21), p.23.
- Surya, E. and Putri, F.A., 2017. Improving mathematical problem-solving ability and self-confidence of high school students through contextual learning model. *Journal on Mathematics Education*, 8(1), pp.85-94.
- Diwangkoro, E., 2020. Development of teaching factory learning models in vocational schools. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1456, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Yoto, Y. and Marsono, M., 2020. Implementation of work-based learning at teaching factory in vocational education. *Teknologi dan Kejuruan: JurnalTeknologi, Kejuruan, dan Pengajarannya*, 43(2), pp.150-155.
- Mourtzis, D., Panopoulos, N. and Angelopoulos, J., 2023. A hybrid teaching factory model towards personalized education 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(12), pp.1739-1759.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D. and Rentzos, L., 2016. The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm. *Procedia CIRP*, 57, pp.44-48.
- Christopher Prinz, Chair of Production Systems (LPS) Annamaria Korfiati, Prof. Martin Kröll 2023. Further development of the concept of the learning and teaching factory