

ZNAČAJ OBRAZOVANJA IZ OBLASTI METROLOGIJE I MERNO-INFORMACIONIH SISTEMA U SAVREMENOM KONCEPTU INDUSTRIJE 4.0

Marjan Urekar¹, Nemanja Gazivoda², Đorđe Novaković³, Stefan Mirković⁴,
Marina Subotin⁵, Dragan Pejić⁶, Jelena Đorđević Kozarov⁷

^{1,2,3,4,5,6} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

⁷ Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

¹urekarm@uns.ac.rs, ²nemanjagazivoda@uns.ac.rs, ³djordjenovakovic@uns.ac.rs, ⁴mirkovicst@uns.ac.rs,

⁵marina.bulat@uns.ac.rs, ⁶pejicdra@uns.ac.rs, ⁷kozarov@elfak.ni.ac.rs

Kratak sadržaj: Koncept Industrija 4.0 predstavlja osnovu razvoja svih industrijskih grana u svetu tokom sledećih deset godina, gde se postojeći industrijski sistemi svih nivoa razvoja spajaju i/ili modernizuju sa „smart“ digitalnim tehnologijama: Internet of Things, 5G, Virtual/Augmented Reality, Artificial Intelligence, Machine Learning, Big Data, Cloud Computing, itd. Usvajanjem Digitalne platforme za Industriju 4.0 u 2019. godine, Srbija se uključila u aktivnu implementaciju ovog savremenog pristupa tehnološkom razvoju. Katedra za Električna merenja na FTN je prepoznala suštinski značaj metrologije i merenja u Industriji 4.0 i potrebu da se novim generacijama studenata omogući obrazovanje u ovoj inovativnoj oblasti putem ažuriranja postojećih i razvoja novih kurikuluma, prilagođenih zahtevima novog tehnološkog doba.

Ključne reči: Industrija 4.0, Električna merenja, Obrazovanje, Metrologija, IoT, 5G

THE IMPORTANCE OF EDUCATION IN THE FIELD OF METROLOGY AND MEASUREMENT-INFORMATION SYSTEMS IN THE MODERN CONCEPT OF INDUSTRY 4.0

Abstract: Industry 4.0 is the foundation for the development of all industries in the world over the next ten years, where existing industrial systems of all levels of development are merging and / or modernizing with smart digital technologies: Internet of Things, 5G, Virtual / Augmented Reality, Artificial Intelligence, Machine Learning, Big Data, Cloud Computing, etc. With the adoption of the Digital Platform for Industry 4.0 in 2019, Serbia has become involved in the active implementation of this modern approach to technological development. The Chair of Electrical Measurements at FTN has recognized the essential importance of metrology and measurement in Industry 4.0 and the need to enable new generations of students to be educated in this innovative field by updating existing and developing new curricula tailored to meet the requirements of the new technological age.

Key Words: Industry 4.0, Electrical measurements, Education, Metrology, Internet of Things, 5G

1. UVOD

Industrija 4.0 (I4.0), koncept Četvrte industrijske revolucije (IR) za narednu dekadu, prihvaćen je u celom svetu kao krucijalan u tehnološkom i industrijskom razvoju savremenog društva [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Prva IR donela je mehanizaciju i parne mašine, Druga IR masovnu proizvodnju, električnu energiju i merenja, Treća IR kompjutere, kontrolu, elektroniku i automatizaciju. Četvrta IR donosi integraciju klasičnih industrijskih metoda sa savremenim „smart“ tehnologijama i internetom. Tehnologije koje su ključne kada se priča o I4.0, su: Internet of Things, Industrial Internet of Things, Big Data, Virtual/Augmented Reality, Cloud Computing, Smart Tech, Cyber Physical Systems, 5G, Machine Learning, itd. Sve ove tehnologije su već prisutne u komercijalnim svakodnevnim uređajima i elektronskim proizvodima široke potrošnje, te je potrebno da i industrija ima benefit od primene ovih inovacija, pošto je poznato da se industrija uvek oslanja na isprobane i sigurne, iako možda već zastarele tehnologije, te da novim rešenjima prilazi nerado i sa skepsom. Ove tehnologije omogućavaju potpuno novi nivo kontrole, upravljanja i organizacije industrije u skoro svim poljima. Decentralizacija resursa, samostalnost odlučivanja sistema bez ljudske asistencije, udaljen monitoring i upravljanje, brza adaptacija novim uslovima i zahtevima, povezanost sa drugim sistemima širom sveta, veća efikasnost i sigurnost – samo su neki od razloga zašto je I4.0 prihvaćena u zemljama kao što su Kanada, Japan, Nemačka, Australija, Austrija, Švajcarska, SAD... Od početne ideje predstavljene 2011. u Nemačkoj, ovaj trend je postao opšteprihvaćen u svetu, pa se i Srbija 2019. godine zvanično uključila sa strategijom tehnološkog razvoja usvajanjem Digitalne platforme za Industriju 4.0, [7]. Za ekonomiju kao što je srpska, opterećenu zaostavštinom ratova, sankcija, privatizacije, nemara i stagnacije, ovo je jedinstvena prilika da se uključi i ostane u društvu tehnoloških lidera. Stoga je od velike važnosti da se buduće generacije inženjera već sada upute, obrazuju i zainteresuju za temu Industrije 4.0, koja svojom širinom i sveobuhvatnošću omogućava razvoj na svim poljima industrije i tehnologije. Katedra za

Električna merenja na FTN je prepoznala ovaj važni trenutak, i daje svoj doprinos edukaciji studenata u ovoj oblasti, ažurirajući postojeće i planirajući nove kurikulume koji se bave ulogom metrologije, merenja i merno-informacionih sistema u Industriji 4.0. Teme značaja i primene digitalnih merenja u Industriji 4.0 čine okosnicu budućeg razvoja. Ovaj rad predstavlja pregled šta je urađeno u inovacijama predmeta na Katedri i daje ideje za dalje unapređenje edukacije inženjera u ovoj oblasti.

2. RAZVOJ KURIKULUMA IZ METROLOGIJE I MERNO-INFORMACIONIH SISTEMA

Katedra za Električna merenja se uključila u razvoj pametnih mernih tehnologija projektom tehnološkog razvoja Ministarstva nauke, prosvete i tehnološkog razvoja TR32019 „Merenja u konceptu „pametne“ distributivne mreže“, 2011. godine, koicidirajući sa godinom kada je I4.0 zvanično i definisana. Istraživanja u okviru ovog projekta su rezultirala velikim brojem objavljenih naučnih radova, prototipova i komercijalnih mernih uređaja. Rezultati ovih istraživanja su omogućili nastavnom osoblju Katedre da se uključi u savremene tokove metrologije u oblasti pametnih distributivnih mreža, ali i u širem opsegu ostalih privrednih i industrijskih grana. Iskustvo saradnje sa fakultetskim nastavnicima, IEEE inženjerima i stručnjacima iz industrije iz Srbije i inostranstva, kao i praćenje aktuelnih tema u stručnoj literaturi i naučnim konferencijama, rezultovalo je zaključkom da se nove tehnologije razvijaju velikom brzinom i da bivaju odmah uključene u industrijske tokove proizvodnje, mnogo brže nego ranijih decenija. Ovo je ukazalo na potrebu da se domaća privreda, zakonodavci i stručnjaci iz ove oblasti što ranije uvide ove svetske tendencije, kako bi omogućili uključivanje Srbije u ove procese na svim nivoima. Drugi zaključak je još bitniji – potrebno je što ranije uključiti ove nove tehnologije u sistem obrazovanja mladih inženjera. Kada se kaže „što pre“, misli se „sada!“, jer svaka izgubljena godina obrazovanja je teško nadoknadiva u modernom privrednom okruženju, jer se od budućeg inženjera koji završi fakultet, očekuje da odmah može da se uključi u rad sa svim modernim tehnologijama koje su na raspolaganju. To, međutim, nije moguće, iz više različitih razloga. Promene u sistemu obrazovanja zahtevaju vreme, planiranje, organizaciju, analizu ishoda i posledica, usaglašavanje, finansijska sredstva, što znači da je nemoguće očekivati da se ovakve velike promene koje se sada već munjevito dešavaju u oblasti industrije, isprate na adekvatan način i prenesu mladim generacijama inženjera.

Na Katedri za Električna merenja izvršena je analiza i procena mogućnosti razvoja postojećeg kurikuluma i razvoja postojećeg, što je dovelo do nove strategije koja bi omogućila najbolji ishod za studente na smerovima vezanim za Merno-informacione sisteme (smer Merni sistemi na studijskom programu Energetika, elektronika i telekomunikacije i smer Merenje i regulacija), kao rezultat velikog zalaganja i entuzijazma nastavnog osoblja Katedre.

2.1. Prvi deo strategije unapređenja kurikuluma temama iz oblasti Industrije 4.0 – Budućnost

Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu je u postupku priprema za reakreditaciju, što je omogućilo razvoj i planiranje potpuno novih ali i ažuriranja postojećih kurikuluma. Katedra za Električna merenja ima jasnu viziju da je potrebno objediniti moderne informacione tehnologije sa merenjima i metrologijom, kao jedinim garantom da se prava, ispravna i pouzdana informacija iz fizičkog sveta unosi u sistem, obrađuje, prenosi i stornira na predviđenom mestu.

Iako je trenutno najveći naglasak u svim obrazovnim i privrednim granama upravo na aspektima moderne tehnologije (tako i kod I4.0), zbog aktuelnosti i velikog interesovanja upravo za najnovija dostignuća, pogrešno je zanemariti potrebu da se ta najnovija dostignuća integrišu sa postojećim sistemima, hardverom i fizičkim okruženjem putem senzora. Informacija koja se dobija putem senzora se digitalizuje, prenosi internetom, bežičnim komunikacijama, koduje se zaštitnim kodovima, automatizuju se procesi na osnovu tih informacija, veštačka inteligencija se kondicionira i donosi odluke na osnovu njih, rezultati se čuvaju i obrađuju velikom brzinom pomoću moćnih procesora. Ceo ovaj lanac obrade informacija zavisi od ulaznih informacija, a to su uglavnom podaci iz senzora. Ako se tim podacima bezrezervno veruje i ne uzimaju se u obzir granice grešaka, merne nesigurnosti, grube greške, preciznost, tačnost i ostali relevantni parametri, tada dolazi do pitanja da li možemo da verujemo radnjama koje proističu iz neproverene informacije?

Samovozeći automobili su jedna od vodećih grana razvoja auto industrije, pa se svaki napredak ali i problem prate sa velikim interesovanjem. Poznati su primeri gde autonomni sistem upravljanja prototipa kompanije Volvo, tokom testiranja na putevima u Australiji, nije prepoznao kengura pred vozilom i naleteo je na njega, [8], [9]. Na autoputevima Evrope nema velikih šansi da se nađe na kengura, za razliku od Australije, pa senzori nisu bili obučeni da prepoznaju i isprocesiraju profil kengura. Problem koji se ovde uviđa daljom logičkom indukcijom je: koji problemi mogu da ostanu neotkriveni testiranjem ovako složenog sistema u neadekvatnim uslovima koji se veoma razlikuju od okruženja gde će biti korišćen? Poznati su primeri gde je sistem automobila bio „zbuđen“ znaci, pa je umesto znaka stop protumačio da je znak za ograničenje brzine i izazvao sudar, te da je kamion na sporednom putu protumačen da je u pitanju saobraćajni znak za kamione, [10], [11]. Ovo su samo neki od (ekstremnih) primera koji ukazuju na potrebu da se sprega senzora i pametnih sistema mora poznavati kako u teorijskom smislu, tako i u tehničkom, te je potrebno poznavati sve relevantne parametre, granice grešaka i mogućnosti otkaza. Takođe, ovakvi sistemi se moraju detaljno ispitati u svim realnim radnim uslovima i okruženjima, što zahteva poznavanje rada sistema, senzora, protoka i obrade informacija, te problema koji se ne mogu simulirati softverski i nastaju samo u

praktičnoj eksploataciji na terenu.

Sve ovo ukazuje na širok spektar znanja i iskustava koja budući inženjer mora posedovati da bi bio relevantan u I4.0 okruženju. Međutim, prvi inženjer koji će završiti po novom programu rada prilagođenog I4.0 je udaljen 4-5 godina od sadašnjeg trenutka. Postavlja se pitanje: šta učiniti sa generacijama inženjera koje se sada obrazuju, koje uskoro završavaju fakultete, kako će oni biti osposobljeni da se snađu u novim uslovima industrijskih zahteva? Takođe, period od 4-5 godina obrazovanja u sadašnjim uslovima znači da će tehnologija za taj period da uznapreduje za barem jednu generaciju više. Iz razmatranja ovog problema je proistekao i drugi deo strategije Katedre.

2.2. Drugi deo strategije unapređenja kurikulumu temama iz oblasti Industrije 4.0 – Sadašnjost

Jasno je da se postojeći kurikulumi moraju izmeniti i ažurirati u dozvoljenim granicama, kako bi maksimalno omogućili studentima koji trenutno studiraju da dobiju kompetentna znanja iz oblasti I4.0.

Katedra se uključila u internacionalni program Erasmus+/KA2 „ELEMEND - Electrical Energy Markets and Engineering Education“, koji se bavi unapređenjem edukacije budućih inženjera na master studijskim programima iz oblasti pametnih distributivnih mreža, [12]. Kroz ovaj program je nabavljena oprema koja je unapredila nastavni proces: digitalni osciloskopi i funkcijski generatori, kao i pametna brojila za merenje kvaliteta parametara distributivne mreže. Postojeći programi vežbi su ažurirani kako bi se omogućila upotreba nove opreme, koja je omogućila izradu ispitnih i diplomskih radova koji uključuju praktična merenja.

Veći broj radova je prezentovan na stručnim konferencijama i objavljen u prestižnim časopisima, iz oblasti koje se direktno odnose na I4.0 – merenja u pametnim distributivnim mrežama [13], [14], [15], biomedicina [16], radioastronomija [17].

U predavanja iz predmeta „Projektovanje industrijskih uređaja i mernih sistema 1“ na 4. godini Merenja i regulacije uključena je oblast Industrije 4.0, ključni koncepti projektovanja elektronskih mernih uređaja i sistema koji se koriste u raznim oblastima industrije sa primerima: distributivne mreže, biomedicina, proizvodnja hrane i lekova, vojna industrija, elektronski uređaji široke potrošnje, multimedijalni uređaji, obrada metala, nafte i hemijskih jedinjenja, telekomunikacije, vazduhoplovna industrija, Internet of Things, i sl.

Iz predmeta „Metrologija“ na 4. godini Mernih sistema izrađena je maketa za vežbe iz predmeta „Uvod u industrijsku primenu merno-informacionih tehnologija“, koji se bavi osnovnim pojmovima iz oblasti I4.0, i koji je deo budućeg kurikulumu.

Iz predmeta „Merni sistemi u industrijskom okruženju“ na master studijama Mernih sistema, značajeno stavljen naglasak na nove tehnologije koje se uvode u industrijske sisteme. Da bi se studenti bolje upoznali sa ulogom mernih sistema u I4.0, uključeni su u program prezentacija studentskih naučnih radova na konferenciji ETRAN. Posle upoznavanja sa osnovama industrijskih mernih sistema, specifičnosti I4.0, studentima je omogućeno da uz pomoć nastavnika odaberu temu za rad koja se bavi nekom od mnogobrojnih grana I4.0, prema ličnim afinitetima ili željama za izradu diplomskog master rada. Prema temama koje su odabrane (biomedicina i zdravlje, pametne tehnologije u energetici, dronovi i vojna industrija, energetska efikasnost i obnovljivi izvori, Internet of Things), jasno je da su studenti prepoznali značaj I4.0 i njen značaj u budućnosti.

Iz predmeta „Odabrana poglavlja iz metrologije na doktorskim studijama“ (Energetika, elektronika i telekomunikacije), predstavljena je uloga i značaj metrologije, njeni osnovni postulati i primena u savremenim industrijskim primenama I4.0. Urađen je veliki broj simulacija kojima su potvrđene teoretske postavke iz metrologije u naprednim mernim sistemima.

Izrađen je veći broj završnih studentskih radova na osnovnim i master studijama iz raznih oblasti I4.0 na Katedri za Električna merenja: merenja u sportu, biomedicina, merenja EEG i EKG, Brain-to-Computer Interface, merenja u pametnim distributivnim mrežama, etaloniranje instrumenata za potrebe I4.0, makete i merni instrumenti za vežbe iz oblasti merenja u I4.0, itd. Sva praktična merenja koja su vršena za potrebe ovih radova su rađena u Laboratorija za metrologiju na FTN.

U decembru 2019. godine, na FTN je održana konferencija „Merno-informacione tehnologije MIT2019“, na kojoj su održana predavanja: „Značaj merenja i metrologije u konceptu Industrije 4.0“ [3] i „Projektovanje industrijskih mernih sistema za Industriju 4.0 i pametne distributivne mreže“ [4].

a. Dalji razvoj i izazovi

Na osnovu iskustava stečenih tokom perioda 2011-2019. godine, očekuju se dalje inovacije i unapređenja u nastavnom procesu. Novi kurikulumi u novom ciklusu akreditacije FTN omogućić će širu primenu modernih koncepata i opreme u nastavnom procesu, kao i edukaciju iz oblasti koje su sadašnjost i budućnost razvoja Industrije 4.0. Istraživanja i primena modernih tehnologija će doprineti modernizaciji edukativnih procesa i povećanja relevantnih znanja potrebnih za rad mladih inženjera u realnom privrednom i industrijskom sektoru budućnosti.

Uočeni u su osnovni problemi i izazovi koje je potrebno rešavati u nastupajućem periodu:

1. Edukacija i praksa mlađeg nastavnog kadra iz oblasti I4.0.
2. Saradnja sa privredom i industrijom koja primenjuje/planira da primeni I4.0 tehnologije.

3. Upoznavanje, edukacija i proširenje interesovanja studenata za I4.0, njen značaj, primenu tehnologija, metrologije i merno-informacionih sistema.
4. Prilagođenje nastavnog procesa konceptu I4.0
5. Saradnja i razmena praktičnih iskustava sa drugim istraživačima i industrijskim profesionalcima iz zemlje i inostranstva, u oblasti I4.0.
6. Povećanje vidljivosti sopstvenih istraživanja iz oblasti I4.0 (konferencije, radovi u časopisima, udžbenici, projekti, itd.).
7. Povećanje svesti domaće javnosti, zakonodavaca, nadležnih organa i relevantnih institucija o značaju primene I4.0 u domaćoj industriji i primeni merenja, metrologije i merno-informacionih sistema.
8. Finansiranje i nabavka sredstava, resursa i opreme za potrebe naučnih istraživanja i inoviranja nastavnog procesa iz oblasti vezanih za I4.0 (Evropski projekti, Fond za nauku, sredstva Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, sredstva Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost, itd.).

Stavke 1-6 su direktno ili indirektno već uključene u aktivnosti Katedre od 2011. godine do danas. Jasno je da najveći izazov predstavljaju stavke 7 i 8, gde je potrebno povećati svest o ključnom značaju I4.0, te na osnovu toga obezbediti potrebna sredstva. Finansiranje i oprema su ključni faktor realizacije unapređenja nastavnih aktivnosti iz oblasti I4.0 jer bez novih, savremenih uređaja, softvera i prateće opreme, nije moguće uključiti se u istraživanja i merenja iz oblasti I4.0.

3. ZAKLJUČAK

Katedra za Električna merenja je već od 2011. godine uključena u istraživanja iz oblasti Industrije 4.0, uvodeći inovacije u nastavni proces kako bi omogućila studentima da steknu osnovna znanja iz primene merenja u ovoj oblasti. Više nastavnih predmeta je dopunjeno predavanjima i praktičnim radovima iz oblasti I4.0, objavljeno je više stručnih radova, izrađeno više prototipova i komercijalnih uređaja, kao i veći broj studentskih završnih radova. U novom akreditacionom periodu, veći broj predmeta vezanih za merenja u industriji će imati još veći naglasak na značaj primene I4.0.

Podizanje svesti relevantnih činilaca o značaju I4.0, finansiranje i oprema su ključni za unapređenje nastavnih aktivnosti iz oblasti I4.0. Vreme je od velikog značaja u sadašnjem stanju ubrzanog razvoja i promene novih pametnih tehnologija u ovom konceptu, i svaka propuštena godina će predstavljati nenadoknadiv problem, kako za buduće inženjere, tako i za obrazovne institucije, industriju, privredu, pa samim tim i državu.

4. LITERATURA

- [1] C. J. Bartodziej, *The Concept Industry 4.0*, Springer Gabler, 2017.
- [2] *Industry 4.0, Study*, DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES, Eur. Parliament, 2016.
- [3] M. Urekar, et al., *Značaj merenja i metrologije u konceptu Industrije 4.0*, MIT2019, FTN Novi Sad, 2019.
- [4] M. Urekar, *Projektovanje industrijskih mernih sistema za Industriju 4.0 i pametne distributivne mreže*, MIT2019, FTN Novi Sad, 2019.
- [5] *How to manufacture a smarter factory, Welcome to Industry 4.0*, k3syspro, 2015.
- [6] *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*, World Economic Forum, 2015.
- [7] <https://novaekonomija.rs/vesti/pri%C4%8De-i-analize/usvojena-digitalna-platforma-za-industriju-40>
- [8] <https://www.bbc.com/news/technology-40416606>
- [9] <https://blog.grabcad.com/blog/2017/10/02/kangaroos-and-self-driving-cars/>
- [10] <https://techcrunch.com/2020/01/02/after-2019s-reality-check-whats-ahead-for-driverless-cars-in-2020/>
- [11] <https://www.digitaltrends.com/cars/self-driving-cars-confuse-stickers-signs/>
- [12] <http://elemend.ba/>
- [13] Urekar M., Gazivoda N., Pejić D., *The Core for High-Precision Stochastic Smart Grid Meter Based on Low-Resolution Flash ADC*, IEEE Trans. on Instr. and Meas., 2019, DOI: 10.1109/TIM.2018.2886868.
- [14] Urekar M., Pejić D., *Low Resolution Stochastic Flash ADC for High Precision Energy and RMS Voltage Measurements for Smart Grid*, CPEM 2018, Paris, 2018, DOI: 10.1109/CPEM.2018.8501106
- [15] Urekar M., Pejić D., Vujičić V., Avramov-Zamurović S., *Accuracy improvement of the stochastic digital electrical energy meter*, *Measurement*, Vol. 98, Elsevier, 2017, DOI: 10.1016/j.measurement.2016.11.038
- [16] Urekar M., Sovilj P., *EEG dynamic noise floor measurement with stochastic flash A/D converter*, *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 38, Elsevier 2017, DOI: 10.1016/j.bspc.2017.07.006
- [17] Urekar M., Gazivoda N., Đorđević-Kozarov J., *Stochastic Flash ADC in Hardware Correlator for Very Long Baseline Interferometry*, IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace 2018, Rome, 2018, DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453574