

# Robotika u STEM obrazovanju

Milan Matijević, *Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu*

**Apstrakt**—Rad daje pregled mogućnosti upotrebe robotike u STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) obrazovanju sa posebnim osvrtom na postojeću upotrebu na Univerzitetu u Kragujevcu.

**Ključne reči**—Robotika, STEM, Obrazovanje.

## I. UVOD

Duži niz godina, evidentan je trend većeg broja radova čiji je predmet stručne i/ili naučne rasprave baziran na ključnim rečima - robotika i obrazovanje [1-14]. Manji broj takvih radova bavi se novim konceptima obrazovanja u oblasti mehatronike i robotike [7, 9]. Značajno veći broj radova, povezan je sa konceptima STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) obrazovanja [1, 6]. Robot se koristi kao ilustrativni scenario da bi se jasnije, efikasnije, celovitije i zabavnije demonstrirali razni teorijski koncepti u prirodnim naukama i inženjerstvu. Novi koncepti obrazovanja poput problemski orjentisanog učenja (PBL - "problem based learning", DIY - "do it yourself", "Maker education") često koriste robot kao nastavno sredstvo. Prednosti koje robotika uvodi u obrazovanje jesu savremenost, očiglednost u efektima primene teorije i postignutih performansi ponašanja robota, sinergija tehnologija i oblasti inženjerskih nauka: mašinskog inženjerstva, elektrotehničkog inženjerstva i informatike (ICT tehnologija). Mehatronički pristup integracije proizvoda u slučaju gradnje robota je očigledan, i u obrazovnom smislu, koristi se u obrazovanju inženjera svih profila. Posebno, na nižim nivoima obrazovanja, u osnovnim, i srednjim školama, integracija malih robota i njihovo programiranje su stimulativni za učenike da sa većim interesovanjem pristupe savladavanju tzv. STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) disciplina [4, 15, 2, 3]. Neretko se organizuju takmičenja u gradnji i programiranju malih mobilnih robota za učenike osnovnih i srednjih škola, kao i za studente [15, 16, 17]. Svrha je popularizacija nauke i stvaralaštva, ali i okupljanje zainteresovane populacije đaka i studenata - da se izraze na kreativan način, prošire okvire svog obrazovanja i problemski orjentisano povezuju već stečena znanja. Kroz izazov i zabavu, studenti se podstiču na stvaralaštvo, istraživanje, kreativnost, preduzetništvo i odgovornost. Integracija proizvoda stimuliše usvajanje kompleksnog i multidisciplinarnog seta veština i znanja. Na ovaj način se u ranom uzrastu regrutuju i budući studenti [5-1]. Sem toga, istražuju se pristupi kako na najbolje načine iskoristiti obrazovni potencijal koji nudi gradnja i programiranje robota [10-14]. U [18, 19] su ilustrovani ishodi znanja studenata na primeru ostvarenih problemski orjentisanih zadataka u kojima

je robot korišćen za ilustrativni scenario kvaliteta primene relevantne teorije.

U [20] je delom predstavljena nastavna metodologija na studijskom programu za inženjere robotike i mehatronike. Istaknuto je da je u opštem slučaju cilj inženjerskog obrazovanja da svršeni student inženjerskih nauka bude osposobljen da projektuje i produkuje uređaje, mašine ili robote. Međutim, taj cilj ne bi smeo da bude deklarativan, već da se događa i kao ishod studentskih aktivnosti tokom studija. U tom smislu, kreativni rad poput robotskih takmičenja je važan i pomaže da se razvije dobar inženjer mehatronike ili robotike. U radu je preporučeni koncept iz sopstvenog iskustva visokoškolske ustanove - da robota razvija studentski tim sastavljen od studenata svih generacija četvorogodišnjeg studijskog programa, pri čemu stariji studenti imaju nivo odgovornosti projekatna mašinskih i elektro sklopova, dok mlađi studenti imaju zaduženje da produkuju delove i sklopove po projektima starijih kolega. Određene zadatke sprovode zajedno: diskusija idejnog rešenja robota, integracija i testiranje robota, operativne faze takmičenja, sve faze oko poboljšanja i redizajna robota. Stariji studenti projektuju i upravljačke algoritme, čijom programskom implementacijom na robotu se bave dominantno mlađi članovi tima. I jedni i drugi prolaze zajedno kroz faze planiranja, izrade, provere, eventualnog redizajna robota (gde dolazi do cikličnog ponavljanja pomenutih faza), i operativnog rada sa robotom u pripremi za takmičenje i na samom takmičenju. Procesi provere i testiranja robota omogućavaju da se iz uočenih grešaka stekne posebno inženjersko iskustvo i uoče interakcije posebno izučavanih teorijskih oblasti, a koje do tada nisu bile tako očigledne. Gradnja robota, priprema i sprovođenje takmičenja robota podučava studente i socijalnim aspektima timskog rada, i iskustvu integracije kompleksnog proizvoda u multidisciplinarnom okruženju (elektronika, elektrotehnika, mašinsko i informatičko inženjerstvo). Studenti pri planiranju, projektovanju, redizajnu robota, moraju da diskutuju željene tehničke specifikacije robota i da se za njih, gotovo uvek, kompromisno opredeljuju. Zapaziti, da prema metodologiji koja je preporučena u [20], student u toku školovanja više puta, svake školske godine, u toku prve tri godine osnovnih akademskih studija, nastupa na robotičarskim takmičenjima, u okviru različitih studentskih timova gde svake naredne godine ima sve odgovorniju poziciju u timu.

Na studijskom programu osnovnih akademskih studija "Mašinsko inženjerstvo" na Imperial College London, na drugoj godini studija, studenti su podeljeni u studentske timove sa zadatkom da projektuju, produkuju i testiraju pumpu. Taj projekat studenti iste generacije rade duž cele školske godine, i neophodna im je integracija znanja i veština iz šireg skupa nastavnih predmeta koje su pohađali. Po izradi

CAD modela, produkciji radnog kola, vratila, kućišta, rešavanja zaptivanja i sklapanja pumpe, potrebno je povezati pumpu sa elektromotornim pogonom i odgovarajućim upravljačko mernim sistemom, tako da je moguće demonstrirati i eksperimentalno verifikovati karakteristike pumpe. Neformalno rečeno, pokazace se “da li je pumpa ili mešalica”, i izmerice se sve relevantne karakteristike, što je takođe deo studentskog zadatka. U metodološkom smislu, u primeni je sličan koncept kao u [20], ali drugi tip studentskog proizvoda, čija produkcija uključuje drugi set kompetencija, i koji proizvode studenti timovi iste školske generacije.

Sve respektivne inženjerske škole u većoj ili manjoj meri koriste pristup koji je opisan u [20], i jasno je da realizacija takve nastavne tehnologije za sve studente upisanog studijskog programa, zahteva očigledna materijalna sredstva, dobro organizovan i nadasve kompetentan nastavni kadar. Najšire posmatrano, usled ograničenja resursa (i materijalnih, i nematerijalnih), evidentno je da većina inženjerskih škola, nije u mogućnosti da isprati opisanu nastavnu tehnologiju. Međutim, upravo svetski poznati univerziteti MIT i Harvard University su prvi koji su (2012, <https://www.edx.org/about-us>) pristupili organizaciji visokokvalitetnih i svima putem Interneta dostupnih nastavnih sadržaja, koji su sistematizovani kao MOOCs – Massive Open Online Courses [21]. Takvi elektronski sadržaji inženjerskog obrazovanja obuhvataju i laboratorijske aspekte nastave kroz demonstracione video materijale, simulacije, virtuelne laboratorije i laboratorije sa pristupom putem Interneta. Jasno je da nastavna tehnologija u [20] ne može biti adekvatno zamenjena alternativama koje su ponuđene u [21], iako nastavni materijal prezentuju najbolji profesori. Lično laboratorijsko iskustvo je nezamenljivo ako je dobro osmišljeno. Međutim, ako je ono nedostupno, i virtuelne opcije, i laboratorije putem Interneta su korisne.

U [7] je sumirano tekuće stranje virtuelnih laboratorija u STE (Science, Technology, Engineering) obrazovanju. Poseban akcenat je dat robotici, s obzirom na multidisciplinarni karakter robotike, i uticaje i fizike i svih grana inženjerskih nauka na robotiku. Rad je orijentisan na primene virtuelnih laboratorija u inženjerstvu i robotici, i preglednog je karaktera. Virtuelne laboratorije nisu nužno deo koncepta daljinskog učenja.

Reference [22, 23, 24] opisuju domete i neke upotrebe robotike sa monitoringom i upravljanjem putem Interneta. Korišćenje laboratorijskih resursa putem Interneta [14, 12] jeste jedan od pristupa koji je primenljiv na robotiku, čime se, teorijski posmatrano, smanjuju troškovi laboratorije naspram broja korisnika. Osnovna ideja je da laboratorijski resursi postaju dostupni korisnicima koji bez te opcije daljinskog pristupa ne bi uopšte imali pristup sličnim laboratorijskim resursima. Jasno, da nastavna tehnologija opisana u [20] ni približno ne može biti realizovana u laboratoriji sa pristupom putem Interneta. Laboratorijski zadaci su ograničeni na implementaciju softvera, izbor određenih eksperimentalnih opcija, i monitoring postignutih efekata. U [14] je opisan set laboratorijskih zadataka koji su putem Interneta organizovani da se mogu realizovati na (robotskom) DC motoru, a od značaja su za inženjersko obrazovanje.

Problem ograničenih resursa u inženjerskom obrazovanju se delom rešava upotrebom tzv. jeftinih robotskih kit-ova poput Asuro Robot Kit, NXT ili EV3 LEGO Mindstorms, i sličnih, koji se dalje mogu koristiti za gradnju svrshodnih laboratorijskih modela za STEM obrazovanje [1-6, 11-15]. U opticaju je više pristupa, počev od više mogućih ciljnih populacija, pa do ciljeva obrazovanja koje treba postići na određenom nivou. Na primer, za nastavu u oblasti informatike robotski kitovi mogu biti vrlo interesantni radi sticanja iskustava u programiranju mikrokontrolera i rada dinamičkih sistema sa integrisanim sensorima i aktuatorima, i shodno toj nameni, biraju se najjeftiniji kitovi. Međutim, takvi kitovi, usled nepreciznog spreznjanja mehaničkih delova, se rapidno brzo i habaju i postaju neupotrebljivi, tako da robotski kit jeste jeftin, ali ako bi se njegova cena računala po satu upotrebe, slika o tome bi bila realnija. Otuda je u [25, 8] predložen pristup da se mehanički delovi robota po potrebi isprintaju putem 3D printera. Takođe, komercijalni robotski kitovi mogu biti proširivani komponentama koje se mogu isprintati putem 3D printera ili jeftino fabrikovati na neki drugi način, a isto tako, i mikrokontrolerima koji ne pripadaju originalnom robotskom kitu [10]. I na ovaj način, iterativno, dolazimo opet do opcije da se samostalno pravi robotski kit, pri čemu novi koncepti fabrikacije (3D printanje mehaničkih delova, ugradnja jeftinih mikrokontrolera poput [10], itd.) pomažu da cena izrade prototipa bude što prihvatljivija. Sledeća iteracija, koja se, recimo, dogodila u Sloveniji radi animacije učenika osnovnih i srednjih škola, da bi se povećalo interesovanje za studije tehnike, jeste izrada velike serije namenskog robotskog kita najniže moguće cene, koji se zatim poklanjao školama u dovoljnom broju, a relevantne grupe nastavnika su se prethodno obučavale za kompetentno korišćenje istih. Tako je izgledao početak državnih dačkih takmičenja u robotici ilustrovanih referencom [15].

Potencijal robotike u STEM obrazovanju je nesporan. Međutim, u ekonomski ograničenim uslovima, inovacije u masovnom obrazovanju su limitirane lokalnom obrazovnom politikom na koju pojedinac ne može bitno da utiče.

Ovaj rad, pored već datog uvodnog preglednog karaktera o doprinosima robotike STEM obrazovanju, ima za cilj da pruži i saopštenje o aktuelnom stanju obrazovanja iz robotike i nastavnih tehnologija koje koriste robotiku kao ilustrativni scenario na Univerzitetu u Kragujevcu (UniK).

## II. INUSTRISKA ROBOTIKA I OBRAZOVANJE NA UNIK

Dolaskom FIAT-a u Kragujevac, u pogone kompanije FAS (Fiat Automobili Srbija), odnosno, u pogone FCA Srbija d.o.o. Kragujevac (FCA – Fiat Chrysler Automobiles), instalirano je oko 330 industrijskih robota. Tome treba dodati i prateće firme, tzv. “autokomponentaše”, koje su takođe opremljene industrijskim robotima poput pogona firme PMC Automotive d.o.o. Serbia – koja se dominantno bavi robotskim zavarivanjima, kako je to ilustrovano i na slici 1.

Na tržištu rada su se pojavili oglasi za zapošljavanje lica u okvirima kompetencija poput sledećeg:  
“Poznavanje robota KUKA i / ili ABB (za KUKA robote

poznavanje standarda VKRC / Global Standard 2); Poznavanje operacija: handling / lepljenje / zavarivanje / farbanje; Iskustvo u programiranju PLC (Siemens, Mitsubishi, Allen Bradley, Omron); Iskustvo u programiranju sistema vizualizacije HMI/Scada (WinCC, InTouch, Zenon); Poznavanje i mogućnost stvaranja elektronske dokumentacije (ePlan); Poznavanje industrijskih mreža (ProfiNet, Profibus, DeviceNet, inne)",

ali i zahtevi za strukovnim i kontinualnim obrazovanjem u robotici, što je uglavnom bilo rešavano u okviru obuka koje su organizovale same firme sa partnerima u zemlji i inostranstvu (u Poljskoj, napr.). Promena industrijskog ambijenta je otvorila mogućnosti studentske prakse i zapošljavanja u oblasti industrijske robotike. Neretko, boljim studentima na praksi, nuđene su u okviru istih firmi poslovne pozicije i u Poljskoj, i u Brazilu. Nove mogućnosti, uključujući i vrlo uočljive migracije radne snage u oba smera, su imale uticaja na podizanje popularnosti inženjerskih studija. Neočekivano, ove promene, iako su promovisane u okvirima lokalne zajednice, nisu značajno uticale na strukturu obrazovanja. Razlozi leže u oportunističkim odnosima unutar okoštalih kadrovskih struktura na visokoškolskim ustanovama koje finansira država u skladu sa administrativnim mehanizmima gde kvalitet usluga akreditovanog studijskog programa ne utiče na finansiranje. Neretko, princip autonomije univerziteta se oportuno tumači kao volja zaposlene većine. Takav ambijent nije povoljan za suštinski razvoj novih oblasti. Uticajnije istraživačke grupe, u želji da obezbede i sopstveno jačanje, koriste priliku da svojim istraživačima obezbede nastavne pozicije. Nedovoljno brojne nastavne i istraživačke grupe često bivaju majorizovane, ponekad svedene i na pojedince u lokalnoj sredini, i često su prinuđene da čitave nastavne oblasti dugoročno servisiraju sa očiglednim kadrovskim deficitom, osećanjem neperspektive, u strukturno i parametarski nelogičnom nastavnom okruženju. Na ovaj način, i nastava iz oblasti industrijske robotike na UniK nije značajno menjana u poslednjih 25 godina, i uglavnom je svedena na izučavanje mehanike robota, hidrauličnih i pneumatskih aktuatora, dok je i ukupan broj nastavnih predmeta na sva tri tehnička fakulteta UniK iz oblasti industrijske robotike trenutno simboličan. Membrane između različitih katedri istog fakulteta su trenutno prepreka za nastavnu saradnju, tako da dalji takvi pokušaji i ne postoje. Po saznanju autora, trenutno ne postoji ni jedan jedini industrijski robot u funkciji na UniK za sprovođenje obuka ma kog nivoa.



Sl. 1. PMC Automotive d.o.o. Serbia u Kragujevcu (17 robotizovanih linija i ostrva za montažu i zavarivanje sa preko 50 industrijskih robota)

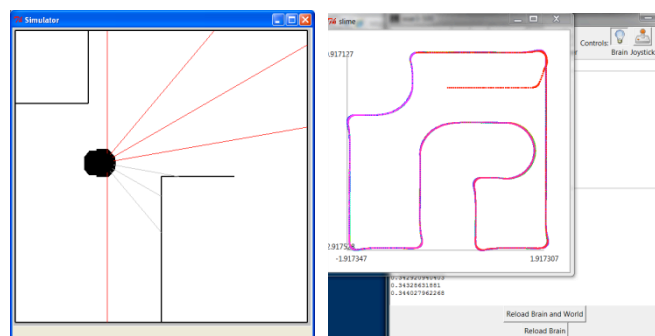
Modernizacija nastave iz oblasti industrijske robotike na UniK je pratila upotrebe alata koje su omogućili digitalni računari, i u tome se nije zaostajalo, a u istraživačkom smislu akcenat je bio na primenama veštačke inteligencije u industrijskoj robotici i fleksibilnoj automatizaciji. Izvesna infrastrukturna pomeranja u gradnji laboratorija u ovoj oblasti ostvarena su na Fakultetu za mašinstvo i građevinu u Kraljevu, gde je modernizovana laboratorija za fluidnu tehniku kroz nabavku robotskih pneumatskih manipulatora. Takođe, na Fakultetu inženjerskih nauka, u okviru CIM centra, unapređen je laboratorijski potencijal u oblasti fleksibilne automatizacije, dok je u okviru Centra za primenjenu automatiku unapređen laboratorijski potencijal u oblasti industrijske automatizacije.

### III. MOBILNA ROBOTIKA NA UNIK

Trenutno, laboratorijski potencijal na Univerzitetu u Kragujevcu (UniK) se u pogledu mobilne robotike sastoji od tri Pioneer 3DX mobilna robota i jednog DaNI mobilnog robota (firme National Instruments), koji su nabavljeni poslednjih godina iz sredstava međunarodnih obrazovno infrastrukturnih projekata u kojima je Fakultet inženjerskih nauka učestvovao. Pomenuti Pioneer 3DX roboti sa raznim pridruženim sensorima se koriste u nastavi i na Prirodno-matematičkom fakultetu (studijski program - Informatika) i na Fakultetu inženjerskih nauka (studijski program - Mašinsko inženjerstvo), i za studijsko istraživački rad studenata u okviru Centra za primenjenu automatiku.



Sl. 2. Pioneer 3DX mobilni robot sa pridruženim sensorima i WiFi adapterom



Sl. 3. GUI Python programa SoAR za monitoring i upravljanje robota

Specijalizovani nastavni predmeti iz oblasti mobilne robotike za sada ne postoje na UniK. Ideja nabavke pomenutih robota je bila transfer nastavnog predmeta koji se predaje na prvoj godini osnovnih akademskih studija na MIT, Cambridge [26].

Tačnije, ideja je bila celokupni transfer nastavne tehnologije koja je uglavnom opisana u [26], a koristi mobilne robote kao ilustrativni scenario da bi se studenti na efikasan i zanimljiv način upoznali sa principima sistemskog inženjerstva, principima rada sistema sa povratnom spregom, analizom i sintezom jednostavnih električnih kola, osnovama rada sa senzorima i aktuatorima, programiranjem u programskom jeziku Python, osnovama navigacije, mapiranja i lokalizacije robota, algoritmima pretrage i stohastičkim estimatorom. Pokazalo se da je nastavni predmet kompleksnosti poput [26] relativno teško implementirati u srpskim uslovima. Predmet pod naslovom “Izborni seminar” se više godina drži na studijskom programu Informatika Prirodno-matematičkog fakulteta, ali u delu koji isključuje hardverske aspekte i jedan deo matematičkih alata originalnog predmeta. Interesatno, na Fakultetu inženjerskih nauka nije došlo do interesovanja da se takav predmet implementira, već su neki delovi tog predmeta implementirani u predmete Robotika i mehatronika, Sensori i aktuatori, Merenje i upravljanje, Projektovanje SAU – shodno mogućnosti i autonomnoj volji predavača da se inovira nastavu u okviru pobrojanih nastavnih predmeta.

Pioneer 3DX robot je komercijalni proizvod, cene sa akademskim popustom oko 4600 USD, namenjen istraživanju i inženjerskom obrazovanju. Pogon robota je ostvaren preko dva nezavisno upravljana elektromotorna pogona. Treći točak je slobodan i ima ulogu stabilizatora. Dimenzionisan je da može da ponese teret od 17 kg, a maksimalna brzina je 1.2 m/s. Robot je opremljen sa 8 ultrazvučnih senzora (bočno i napred na SL1) i na osnovnoj ploči sadrži dodatne AD i DA konvertore preko kojih je moguća konekcija nezavisno umetnutih senzora i aktuatora. Komunikacija sa robotom se vrši preko standardnog RS-232 porta, pri čemu se komunikacija ostvaruje korišćenjem SIP (Status Information Packets) protokola. SIP je namenski pisan protokol i detaljno je opisan u dokumentaciji, čime je omogućeno da se klijentske aplikacije realizuju u bilo kom programskom jeziku. Da bi se omogućila veća fizička autonomija robota, umesto standardnog serijskog kabla, robotu je dodat takozvani radio modem, odnosno WiFi-RS232 adapter. Na taj način se robotom upravlja putem računara koji ima bežičnu konekciju.

Kroz studijski istraživački rad i projektne zadatke u okviru nastavnih predmeta, studenti na Univerzitetu u Kragujevcu su delovali nad ovim laboratorijskim modelom i izvan polaznog uzora [26]. Neki od kreativnih studentskih radova poslužili su za demonstracione scenarije korišćenja mobilne robotike u cilju promovisanja UniK i studijskih programa, oblasti robotike, informatike i automatskog upravljanja.

#### IV. LEGO MINDSTORMS U STEM OBRAZOVANJU

LEGO Mindstorms robotski kitovi, i NXT (već deset godina prisutan na globalnom tržištu), i noviji EV3 (i njegova izdanja), su daleko dostupniji po svojoj ceni od istraživačkih robotskih platformi poput Pioneer 3DX mobilnog robota. Iako se mogu smatrati i igračkama za decu stariju od 10 godina, našli su svoje mesto i kao nastavno sredstvo upotrebljivo na svim nivoima obrazovanja [1-2,11-15, 17]. Po maloprodajnoj ceni od 290 USD, NXT kit je dostupan na tržištu USA, dok je kod nas skuplji. Novija verzija EV3 je nešto skuplja, i nudi se

u različitim verzijama, i to upravo kao učilo za STEM obrazovanje. O STEM obrazovnim mogućnostima je i sam proizvođač posvetio puno pažnje na svojim Internet stranim na kojima su ponuđeni i izvesni nastavni materijali. Iako tumačeni kao jeftini i dostupni, u Srbiji LEGO robotski kitovi nisu zaživeli kao standardno nastavno sredstvo, kako na nižim, tako ni na višim nivoima obrazovanja. Dva su razloga: 1) materijalna strana nastavne podrške je tradicionalno bolno pitanje, tako da su i LEGO robotski kitovi realno nedostupni u masovnom obrazovanju, 2) nije razvijena metodologija takve nastavne podrške ni u pogledu obrazovanja đaka ni u pogledu obuke nastavnika, naspram sličnog, prisutnog u Sloveniji, na primer [12]. Na univerzitetskom nivou, zahvaljujući pre svega raznim EU programima donatorske ili kreditne pomoći Srbiji, vidno je popravljena materijalna baza nastave i istraživanja u poslednjih desetak godina, tako da su LEGO kitovi, kao nastavni resurs, dostupni na srpskim univerzitetima. Recimo, na Fakultetu inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu postoji oko 10 NXT robotskih kitova koji se koriste u nastavne svrhe, što je, nažalost, u ovom trenutku, odlična opremljenost u odnosu na druge škole i visokoškolske ustanove u lokalnom okruženju. Izneseni podatak sve govori kada je u pitanju sagledavanje laboratorijskog kapaciteta koji bi trebalo da se koristi u masovnom obrazovanju. Imajući upravo to u vidu pristupilo se organizaciji jednog dela laboratorijskih resursa sa pristupom putem Interneta što je opisano u [14] i ilustrovano na slici 5.



Sl. 4. LEGO Mindstorms NXT 8547 komplet: programabilna jedinica, tri DC motora sa integriranim enkoderima, dva senzora za dodir, sensor za boju ili količinu svetlosti, ultrazvučni sensor rastojanja.

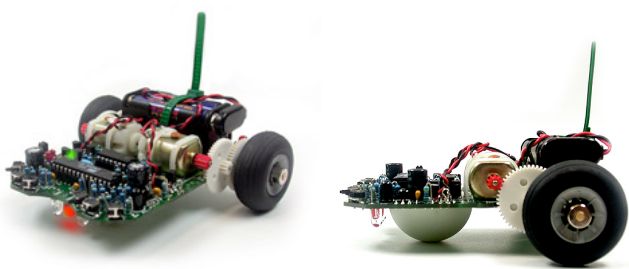


Sl. 4. Ilustracija koncepta LEGO Web Lab – a na Univerzitetu u Kragujevcu

Primer upotrebe LEGO robota je ilustrovan referencom [18], gde je dat studentski video prilog organizovane trke samobalansirajućih robota. Od studenata se traži da roboti budu programirani u programskom jeziku Python i da se pri tome koristi objektno orjentisano programiranje. Treba istaći da se LEGO robotika koristi isključivo kao ilustrativni scenario za nastavu iz predmeta u kojima se ne predaje robotika (razni predmeti šire oblasti automatskog upravljanja i informatike, i na Fakultetu inženjerskih nauka, i na PMF Kragujevac). Kada je u pitanju saradnja sa nižim nivoima obrazovanja u vezi LEGO robotike, đачkih takmičenja i sl., ona je uglavnom protokolarno promotivnog karaktera i nije porediva sa događajima iz regiona, poput đачkih takmičenja ilustrovanih referencom [15]. Doduše, upravo ove godine pod uticajem raznih seminara u Istraživačkoj stanici Petnica grupa kragujevačkih srednjoškolaca se kandidovala kao robotičarski takmičarski tim za [16], i sasvim samostalno napravila zapažen rezultat.

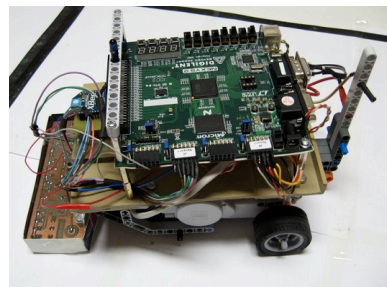
## V. ROBOTSKI KITOVI I OBRAZOVANJE NA UNIK

Asuro robotski kit, prikazan na slici 5, je prvi koji je korišćen na Fakultetu inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu. Motivacija je bila u u njegovoj ceni koja je bila višestruko niža od LEGO NXT Mindstorm kompleta u tom trenutku. Viđena namena je bila animacija studenata kroz takmičarske discipline u programiranju robota: praćenje crne line, robotski sumo, eliminacija objekata iz prostora oivičenog zatvorenom crnom crtom, praćenje izvora toplote, kretanje u lavirintu i robotski fudbal. U tom smislu, sem osnovnih kitova, kupljeni su i dodatni senzori, lopta i teren za robotski fudbal. Uskoro se pokazalo da ovi roboti imaju jako kratak vek trajanja, jer se mehanički delovi robota izuzetno brzo habaju. Posebno, plastični zupčasti parovi, ukoliko nisu bili dovoljno precizno spregnuti, bili su skloni brzom uništenju. S druge strane, planirani efekti su bili kratkoročno postignuti. Kontinuitet je zahtevao kontinuirana ulaganja i povećan angažman nastavnog osoblja.



Sl. 5. Asuro robotski kit (<http://www.arexx.com/>)

Na slici 6 je prikazan robot koji su studenti doktorskih studija UniK samostalno napravili radi ilustrativnog scenarija na ispitu koji se ticao programiranja i korišćenja FPGA.



Sl. 6. LEGO robot sa FPGA umesto NXT 2.0 upravljačke jedinice

Mobilni roboti slični modelima na slikama 5 i 6, a sa različitim sensorima (gde se, recimo, i mobilni telefon može iskoristiti kao senzor) se povremeno prave i testiraju i kao samostalna ostvarenja studenata u okviru njihovih završnih i diplomskih radova.

Odlični studentski radovi ohrabruju, ali ostaje pitanje nastavne tehnologije koja se može primeniti dosledno nad celokupnom generacijom studenata sa postojećim finansijskim inputima i raspoloživim vremenom i kompetencijama postojećeg nastavnog kadra.

## VI. ZAKLJUČAK

Laboratorijski rad bi po prirodi stvari trebalo da bude nezaobilazan deo inženjerskog obrazovanja, ali je zahtevan jer traži očigledne materijalne, ljudske i organizacione resurse. Iako je praktično nezaobilazan, laboratorijski rad je u našim uslovima zapostavljen, pa i sama nacionalna Komisija za akreditaciju i proveru kvaliteta ima visok prag tolerancije naspram toga, imajući u vidu da je materijalna strana nastave već duže vreme bolno pitanje.

U ovom trenutku, postoji znatna razlika u nastavnoj metodologiji STEM disciplina kod nas i u svetu, i ta razlika se ne može smanjivati sve dok trend štednje finansiranja obrazovanja ne zameni trend ulaganja u obrazovanje.

Rad daje izvestan pregled mogućnosti upotrebe robotike u STEM obrazovanju sa posebnim osvrtom na postojeću upotrebu i stanje robotike na Univerzitetu u Kragujevcu. Inercija koja prirodno postoji u usvajanju modela koji se primenjuju u svetu mogla bi biti smanjena ukoliko bi resorno Ministarstvo paralelno sa naučnim projektima finansiralo i projekte u obrazovanju. Na taj način bi se uticalo na relevantnije obrazovanje na svim nivoima, a samim tim i na stvaranje stabilnije i kvalitetnije i nastavne i naučne baze. Dakle, rešenje relevantnijeg modela obrazovanja je povezano sa novim modelima finansiranja nauke i obrazovanja, ali i sa eventualno novim modelima uprave i organizacije.

## ZAHVALNICA

Rad je nastao uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz finansiranje projekata TR33022 i TR33047, i delimično je motivisan projektom IZ74Z0\_160454/1 "Enabling Web-based Remote Laboratory Community and Infrastructure" of Swiss National Science Foundation.

## LITERATURA

- [1] F. Barreto, V. Benitti, "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review", *Computers & Education*, Volume 58, Issue 3, April 2012, Pages 978-988
- [2] C.M. Kim, D. Kim, J. Yuan, R.B. Hill, P. Doshi, C.N. Thai, "Robotics to promote elementary education preservice teachers' STEM engagement, learning, and teaching", *Computers & Education*, Volume 91, 15 December 2015, Pages 14-31
- [3] Amy Eguchi, "RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition", *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 75, Part B, January 2016, Pages 692-699
- [4] G. Nugent, B. Barker, N. Grandgenett, G. Welch, "Robotics camps, clubs, and competitions: Results from a US robotics project" *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 75, Part B, January 2016, Pages 686-691
- [5] U. Qidwai, R. Riley, S. El-Sayed, "Attracting Students to the Computing Disciplines: A Case Study of a Robotics Contest", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 102, 22 November 2013, Pages 520-531
- [6] S. Nag, J. G. Katz, A. Saenz-Otero, "Collaborative gaming and competition for CS STEM education using SPHERES Zero Robotics", *Acta Astronautica*, Volume 83, February–March 2013, Pages 145-174
- [7] V. Potkonjak, M. Gardner, V. Callaghan, P. Mattila, C. Guel, V. M. Petrović, K. Jovanović, "Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review", *Computers & Education*, Volume 95, April 2016, Pages 309-327
- [8] C. Schelly, G. Anzalone, B. Wijnen, J.M. Pearce, "Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom", *Journal of Visual Languages & Computing*, Volume 28, June 2015, Pages 226-237
- [9] G.E. Chamilotheoris, M.G. Papoutsidakis, "Shaping the Mechatronics courses for the control curriculum", *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 38, Issue 1, 2005, Pages 182-187
- [10] Jara, J. Pérez, D. Mira, F. Torres, "Experiences on using Arduino for laboratory experiments of Automatic Control and Robotics", *IFAC-PapersOnLine*, Volume 48, Issue 29, 2015, Pages 105-110
- [11] A. Cruz-Martín, J.A. Fernández-Madrigo, C. Galindo, J. González-Jiménez, C. Stockmans-Daou, J.L. Blanco-Claraco, "A LEGO Mindstorms NXT approach for teaching at Data Acquisition, Control Systems Engineering and Real-Time Systems undergraduate courses", *Computers & Education*, Volume 59, Issue 3, November 2012, Pages 974-988
- [12] Milan Matijević, Vladimir Cvjetković, Vojislav Filipović, Nikola Jović, "Basic Concepts of Automation and Mechatronics with LEGO MINDSTORMS NXT", *Tehnika*, Vol. 67, No.4, pp. 653 -66, ISSN 0040-2176, 2014
- [13] Андрија Станојевић, Радомир Митровић, Никола Јовић, Тијана Шуштерчић, Милан Матијевић, "LEGO NXT мотор у инжењерском образовању", *Зборник радова са 59. Конференције за електронику, телекомуникације, рачунарство, аутоматску и нуклеарну технику, ETRAN 2015*, стр. AU1.7.1-6 (1-6), ISBN 978-86-80509-71-6, Сребрно језеро, 8. – 11. јун 2015. године.
- [14] Nikola Jović, Vladimir Cvjetković, Milan Matijević, "Remote Control of LEGO MINDSTORMS NXT Motors Programmed in Python", *Proc. of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETAN 2015*, p. AU13.5.1-6 (1-6), ISBN 978-86-80509-71-6, Silver Lake (Srebrno Jezero), Serbia, June 8-11, 2015.
- [15] *Državno đачko i studentsko takmičenje u konstrukciji i programiranju mobilnih robota*: <http://www.robobum.um.si> (đачko takmičenje) <http://www.ro.feri.um.si/tekma/> (studentsko takmičenje), Univerzitet u Mariboru, 2016.
- [16] <http://www.eurobot.org>
- [17] Massachusetts Institute of Technology, MIT 6.270 Course: Autonomous Robotics Competition, <http://scripts.mit.edu/~6.270/>, Lecture Notes 2010-2014: <http://scripts.mit.edu/~6.270/contestants/>, 2014.
- [18] [https://www.youtube.com/watch?v=L\\_WtRNo1kLc](https://www.youtube.com/watch?v=L_WtRNo1kLc)
- [19] <https://www.youtube.com/watch?v=T0aTszEJBBw>
- [20] T. Akagi, S. Fujimoto, H. Kuno, K. Araki, S. Yamada, S. Dohta, "Systematic educational program for robotics and mechatronics engineering in OUS using robot competition", *Procedia Computer Science* 76, p. 2-8, 2015
- [21] [https://www.edx.org/course?search\\_query=Robotics](https://www.edx.org/course?search_query=Robotics)
- [22] K. Goldberg, *The Robot in the Garden: Telerobotics and Telepresence in the Age of the Internet*, MIT Press, 2001.
- [23] [https://www.youtube.com/watch?v=IjpnRHba\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=IjpnRHba_Y) (<https://www.youtube.com/watch?v=b0kHh-VuQA4>)
- [24] B. Kehoe, P. Abbeel, "A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation", *IEEE Trans. On Automation Science and Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp 398-409, 2015.
- [25] I. Gađanski, Đ. Čantrak, **M. Matijević**, R. Prodanović, "Stimulating innovations from university through the use of digital fabrication – case study of the SciFabLab at Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade", *Proceedings of the WBCInno2015 International conference*, ISBN: 978-86-499-0203-9, (p 18), Sept 18, 2015, Novi Sad, Serbia
- [26] K. Leslie, J. White, H. Abelson, D. Freeman, T. Lozano-Pérez, and I. Chuang. *6.01SC Introduction to Electrical Engineering and Computer Science I, Spring 2011*. (MIT OpenCourseWare: Massachusetts Institute of Technology), <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-01sc-introduction-to-electrical-engineering-and-computer-science-i-spring-2011>

## ABSTRACT

The paper gives an overview of the possible use of robotics in STEM education with special emphasis on the existing use of robotics in engineering education at the University of Kragujevac.

## Robotics in STEM Education

Milan Matijević