

RAZVOJ KURIKULUMA ZA MULTIDISCIPLINARNI PREDMET „KLINIČKO INŽENJERSTVO“

Marjan Urekar¹, Platon Sovilj²

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

¹urekarm@uns.ac.rs, ²platon@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Predmet "Kliničko inženjerstvo" je predmet druge godine OAS Biomedicinsko inženjerstvo na FTN-u. Ovaj multidisciplinarni predmet je osmišljen tako da obezbedi razumevanje osnova kliničkog inženjerstva, sposobnost rada u interdisciplinarnom timu kliničkih inženjera i lekara na razumevanju i rešavanju problema vezanih za primenu medicinske opreme i tehnologije u zdravstvenim ustanovama, sposobnost pretraživanja relevantne literature i drugih oblika informacija iz oblasti kliničkog inženjerstva i sposobnost prezentacije rezultata tih istraživanja, dobro poznavanje i razumevanje primene elektrotehnike i računarstva u kliničkom inženjerstvu, razumevanje principa rada i strukture biomedicinske instrumentacije i poznavanje mernih metoda i instrumentacije u biomedicinskom inženjerstvu. Sadržaj predmeta u svom uvodu obuhvata pojam, razvoj i ulogu kliničkog inženjerstva u organizaciji zdravstvenih centara.

Ključne reči: Biomedicina, Merenje, Kliničko inženjerstvo, Multidisciplinarnost, Analogna elektronika

CURRICULUM DEVELOPMENT FOR THE MULTIDISCIPLINARY SUBJECT “CLINICAL ENGINEERING“

Abstract: The subject "Clinical Engineering" is the subject of the second year of Undergraduate academic studies „Biomedical Engineering“ at the Faculty of Technical Sciences. This multidisciplinary course is designed to provide an understanding of the basics of clinical engineering, the ability to work in an interdisciplinary team of clinical engineers and physicians to understand and solve problems related to the application of medical equipment and technology in health facilities, the ability to search relevant literature and other forms of clinical engineering information. and ability to present the results of these researches, good knowledge and understanding of the application of electrical engineering and computing in clinical engineering, understanding of the principles and structure of biomedical instrumentation and knowledge of measurement methods and instrumentation in biomedical engineering. The content of the course in its introduction includes the concept, development and role of clinical engineering in the organization of health centers.

Key Words: Biomedicine, Measurement, Clinical Engineering, Multidisciplinarity, Analog Electronics

1. UVOD

Predmet "Kliničko inženjerstvo" je predmet druge godine Osnovnih akademskih studija (OAS) Biomedicinsko inženjerstvo na Fakultetu tehničkih nauka u kojem učestvuje Katedra za električna merenja sa Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije.

Prilikom razvoja kurikuluma za novu akreditaciju smera Biomedicinsko inženjerstvo 2020. godine, koristila su se već postojeća iskustva sa drugih smerova i predmeta, [1], [2]. Pošlo se od analize prethodnih iskustava postojećih studija i istraživanja potreba tržišta koje se u međuvremenu promenilo od prethodne akreditacije.

Jedno od osnovnih polazišta je da je u pitanju interdisciplinarni predmet, kao i sam smer. Medicina i tehnika čine okosnicu savremenog razvitka društva, što je dodatno istaknuto dešavanjima na globalnom nivou vezanim za pandemiju Covid-19 i sve posledice koje je ona direktno i indirektno proizvela.

Postavlja se pitanje kakvi su kadrovi potrebni u savremenom zdravstvenom okruženju? Da li postojeći kurikulumi omogućavaju potrebni nivo i kvalitet znanja koji se očekuje od diplomiranih studenata ovog smera? Zbog toga je očigledno da je pre nego što se započne sa definisanjem sadržaja kurikuluma predmeta, bilo potrebno ispitati sve zainteresovane strane u sistemu, učesnike (bivše i sadašnje studente, kao i profesore), širu akademsku zajednicu, stručnjake i poslodavce. Tek kada su podaci dobijeni kroz dijalog sa svim navedenim učesnicima, oni su analizirani, obrađeni kroz kontekst postojećih zahteva i mogućnosti fakulteta, te je definisana konačna forma predmeta.

2. OPIS ZAHTEVA I REŠENJA

Od samog početka, smer Biomedicinsko inženjerstvo se zasniva na multidisciplinarnom pristupu. Spoj medicine i tehnologije (elektrotehnike i računarstva) predstavlja veliki izazov kako bi ishodi učenja bili ne samo u skladu sa postavljenim normama, nego i direktno primenljivi u praksi, koja nosi specifičnu težinu jer se radi o medicini i direktnom uticaju na ljudske živote i zdravlje.

Kroz već pomenute kontakte i ankete, došlo se do nekoliko bitnih zaključaka:

Kako su Klinički centar Vojvodine i Dom zdravlja Novi Sad najčešće i najbliže odredište gde veći deo studenata radi praksu ili nalazi zaposlenje, prirodno je da se uz kolege sa Medicinskog fakulteta UNS, najviše podataka „sa

terena“ dobije upravo od njih. Iako su razmatranja sveobuhvatna i višeslojna, najsazetiji komentar u većini slučajeva bi bio da im je potreban stručnjak koji se razume u medicinski i tehnički deo podjednako, i da može da se prilagodi kako novim tako i tehnologijama starijeg datuma koja se još koristi, i još bitnije, da može da ta znanja direktno primeni u realnom okruženju. Ovo, naravno, zvuči jednostavno, međutim predstavlja veliki izazov. Biomedicinsko inženjerstvo je već od ranije imala ovaj cilj kao jedan od željenih ishoda, međutim pokazuje se da negde postoji još mesta za unapređenje.

Druga instanca je bio razgovor sa studentima. Bivši studenti su prenosili svoja iskustva u snalaženju na radu u praktičnim uslovima, pa je kombinacija formalnih i neformalnih kontakata ovde bila od velikog značaja jer je omogućila realniju i iskreniju sliku stvarnosti. Odatle se saznalo šta trenutno ocenjuju kao korisno znanje koje su stekli, što je ukazalo da te predmete i teme treba dodatno istaći. Čuli smo i utiske o delovima kurikuluma za koje ocenjuju da su bili suvišni, neadekvatni ili redundantni. Za neke teme smo ustanovili da su im suviše teške za usvajanje, da zbog nerazumevanja/težine nisu uložili potreban trud i da se ispostavilo da zbog toga sada žale, jer im bi to bilo sada veoma potrebno.

Sledeća grupa za anketiranje su bili sadašnji studenti, koji su izrazili neke svoje želje za znanjima koja očekuju ili bi voleli da dobiju, s obzirom na nove tehnologije i potrebe tržišta zapošljavanja. Posebno zanimljiv aspekt je bio veoma različit nivo predznanja o temama tehnologije i medicine sa kojima studenti dolaze na fakultet. Na smeru Biomedicinsko inženjerstvo su upisani studenti koji su završili opšte i matematičke gimnazije, srednje medicinske škole, elektrotehničke i mašinske srednje škole, ali i kao izuzetak, ponekad i iz potpuno drugačijih obrazovnih profila, poput poštanskih, saobraćajnih, tekstilnih i sl. Ovo ukazuje na šaroliko predznanje ovih studenata. Na prvoj godini studija svi dobijaju uvodna znanja iz svih potrebnih oblasti, ali u praksi se pokazuje da, očekivano, oni sa medicinskim predznanjem naginju ka temama direktno vezanim za medicinu, ali imaju problema sa usvajanjem i savladavanjem tehničkih sadržaja. Studenti sa predznanjem iz tehničkih škola, nemaju problem sa elektrotehnikom ali nisu ranije imali dodira sa medicinom van predmeta vezanih za biologiju u prethodnom školovanju. Studenti sa matematičkim predznanjem, imaju prednost u matematičkom pristupu u svim predmetima, ali imaju veće ili manje poteškoće sa usvajanjem praktične elektrotehnike/fizike ili medicine ako im to nisu bili predmeti od značaja. Ovo, neminovno, postaje problem u daljem radu, i mora se nešto učiniti kako bi se našlo najbolje rešenje.

Konačno, nastavnici su ocenili rad sa prethodnim grupama, šta su im prednosti ali i slabosti, objektivno gledano. Ono što je primećeno je vezano za prethodno navedeni problem, a to je kako motivisati studente da se bave i aspektima gradiva koja im nisu bila od ranije poznata. Razmenjena su iskustva u načinu rada i organizovanja nastave i nastavnih aktivnosti. Novonastale okolnosti su takođe pokazale koliko je planiranje sadržaja i rada na predmetu bitno. Predviđena mogućnost rada u on-line režimu se pokazala u uslovima nastave tokom pandemije, [1].

Analizom svih dobijenih podataka, došlo se do zaključka o sledećem:

1. Potrebno je što ranije staviti naglasak na multidisciplinarnost u toku visokoškolskog obrazovanja. Prva godina je početno upoznavanje sa svim osnovama iz svih potrebnih oblasti, ali već na drugoj godini je potrebno insistirati na uvođenju predmeta koji neguju ovakav način razmišljanja.

Rešenje: Uvođenje predmeta Kliničko inženjerstvo na drugu godinu OAS Biomedicinsko inženjerstvo na FTN.

2. Potrebno je oformiti predmet koji će na jasan i logičan način da objedini obe strane, medicinu i elektrotehniku, i istovremeno obrađuje obe teme, paralelno ali i sa presecima u kritičnim tačkama.

Rešenje: Logična adresa za rešavanje ovog problema su merenja u oblasti biomedicine ljudskog organizma. Jasno je da bi se vršila merenja na ispravan ali i bezbedan način, potrebno je studentima jasno pokazati sve relevantne probleme i izazove oba dela ovog zahteva. Studenti moraju da se upoznaju sa osnovama fiziologije ljudsko tela, koji su potrebni parametri za praćenje i kako ih meriti. Paralelno sa time, potrebno je studentima odmah ukazati na tehnička rešenja kojima se ta merenja ostvaruju, ali na nivou razumevanja prvenstveno analogne elektronike. Senzori i merni pretvarači su osnovni interfejsi sa kojima merimo relevantne parametre ljudskog organizma. Senzori daju promenu neke električne veličine (otpornost, napon, struja, kapacitivnost, induktivnost) srazmerno merenom parametru. Tu promenu je potrebno prilagoditi, pojačati i kondicionirati za potrebe daljeg korišćenja signala (prikaz na indikatoru, štampa, digitalizovanje), što se postiže mernim pretvaračima. I upravo su merni pretvarači bitan deo znanja stručnjaka koji treba posle završenih studija da koristi ove uređaje na višem nivou (tj. da ih primenjuju, analiziraju rezultate, otklanjaju probleme, unapređuju performanse). Da bi se uputili u rad osnovnih mernih pretvarača, studentima je potrebno znanje iz osnovnih gradivnih elemenata merne instrumentacije. Prednost ovog predmeta je što se merna instrumentacija istovremeno i direktno stavlja u kontekst biomedicinskog aspekta organizma koji se meri, što studentima omogućava pravovremeno usvajanje ideje o isprepletenosti ovih znanja i produbljuje istinsko shvatanje suštine multidisciplinarnosti.

3. Znanja vezana za osnovne gradivne elemente merne instrumentacije u obliku komponenti analogne elektronike, moraju biti predstavljeni tako da se spoznaju osnove rada kako bi studentima omogućilo fleksibilno znanje, tj. da mogu da putem dubljeg shvatanja osnovnih principa i topologija, razviju analitičke alate za razumevanje složenijih struktura i kola, što je nemoguće bez razumevanja početnih osnova. S druge strane, klasični pristupi u obrazovanju iz ovih tema su veoma obimni, zahtevni i

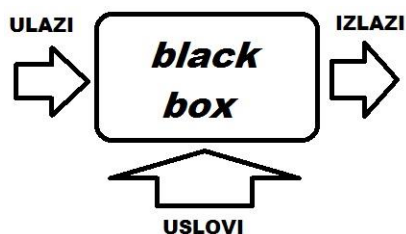
opterećujući za studente kojima će to biti samo deo potrebnog gradiva, ali i velika prepreka ako se sa time nisu od ranije upoznali.

Rešenje: Osnovna merna tehnika mernih pretvarača zasnovana je na principu korišćenja osnovnih gradivnih elemenata integrisane analogne elektronike – operacionih pojačavača. Odatle potiče ideja da se studentima već na drugoj godini pokažu praktična kola sa operacionim pojačavačima koja se koriste u obradi signala sa senzora za merenje biomedicinskih signala, u čemu postoji bogato iskustvo u nastavi tokom ranijeg perioda, [3].

Neki od sadržaja su: idealni operacioni pojačavač, invertujuće i neinvertujuće kolo, naponski bafer, diferencijalni pojačavač, integrator/NF filter, diferencijator/VF filter, naponski komparator, nelinearni pojačivači sa diodama, instrumentacioni pojačavač, [4], [5], [6], [7].

4. Potrebno je prilagoditi način rada svim studentima bez obzira ne prethodno znanje, na takav način da se potrebna znanja usvoje efikasnije i omogućće primenu u praksi. Problemi primećeni prethodnih godina su pokazali da studenti ovom gradivu pristupaju na nekoliko načina:
 - pamćenjem krajnjih formula, bez razumevanja suštine i mogućnosti analize kola koja su izmenjena u odnosu na bazična,
 - pristup analizi striktno kroz matematičke jednačine bez razumevanja rada i načina korišćenja komponenti,
 - klasični pristup učenja od početnih postulata rada elektronskih komponenti (PN spoj, tranzistori, analiza unutrašnje topologije složenih komponenti), što predstavlja opterećenje studenata koje dovodi do gubitka motivacije usled velikog obima potrebnih znanja da bi se uopšte došlo do analize rada mernih kola.

Kao rešenje je odabran poznati inženjerski pristup koji predstavlja kompromis između ovih opcija – tzv. *black box* analiza, kod koje se ne izučava unutrašnja arhitektura komponenti (operacionih pojačavača), već se komponente posmatraju kao „crna kutija“ gde nam nije važno šta je unutar „kutije“ i koji su unutrašnje zakonitosti rada, već se razmatra samo spoljašnji pogled, gde nam je bitno kakve izlaze dobijamo za određene ulaze, pod poznatim uslovima (Slika 1), tj. praktično se daje samo uputstvo za korišćenje sa setom jasno definisanih pravila. Ovaj efikasan način objašnjavanja rada predstavlja uobičajeni način učenja kada je potrebno da učenici savladaju korišćenje komponenti u realnim kolima, a kasnije, po potrebi, mogu se baviti i izučavanjem detalja unutrašnje arhitekture.



Slika 1. „Black box“ pristup analizi sistema

Ovime je postignut brži i efikasniji transfer znanja i izbegnuta zamka jednostranog izučavanja multidisciplinarnog predmeta putem bolje motivacije studenata da savladaju dve potpuno različite discipline (merna tehnika i biomedicina).

3. OPIS PREDMETA

Predmet je struktuiran tako da obezbedi sledeće ishode učenja:

- razumevanje osnova kliničkog inženjerstva;
- sposobnost rada u interdisciplinarnom timu kliničkih inženjera i lekara na razumevanju i rešavanju problema vezanih za primenu medicinske opreme i tehnologije u zdravstvenim ustanovama;
- sposobnost pretraživanja relevantne literature i drugih oblika informacija iz oblasti kliničkog inženjerstva i sposobnost prezentacije rezultata istraživanja;
- dobro poznavanje i razumevanje primene elektrotehnike i računarstva u kliničkom inženjerstvu;
- razumevanje principa rada i strukture biomedicinske instrumentacije;
- poznavanje mernih metoda u biomedicinskom inženjerstvu;
- sposobnost rada u interdisciplinarnom timu biomedicinskih inženjera i lekara na razumevanju i rešavanju problema vezanih za biomedicinska merenja i instrumentaciju.

Sadržaj predmeta u svom uvodu obuhvata pojam kliničkog inženjerstva, razvoj kliničkog inženjerstva i ulogu kliničkog inženjerstva u organizaciji zdravstvenih centara.

Sledeće nastavne jedinice čine kurikulum predmeta:

- Struktura i moduli biomedicinske instrumentacije.
- Merne veličine u biomedicinskim merenjima.
- Vrste i karakteristike biomedicinskih merno-akvizicionih sistema: merne veličine, opsezi intenziteta mernih veličina, opsezi frekvencija mernih veličina i standardni metodi merenja.
- Merni pretvarači u biomedicinskim merno-akvizicionim sistemima.
- Kondicioniranje signala u biomedicinskim merno-akvizicionim sistemima.
- Digitalizacija kondicioniranih signala u biomedicinskim merno-akvizicionim sistemima.
- Uloga računarskih i komunikacionih tehnologija u biomedicinskim merno-akvizicionim sistemima.
- Aplikacije za akviziciju podataka.
- Uvod u metode merenja različitih fizičkih veličina u biomedicinskim merenjima.
- Analogni merni instrumenti u biomedicinskom inženjerstvu.
- Digitalni merni instrumenti u biomedicinskom inženjerstvu.

Jedan od najvažnijih izazova predmeta, jeste da omogućiti studentu da razume kako je fizička realnost procesa ljudskog organizma, pomoću različitih analognih komponenti i analognih električnih kola, spregnuta u jedan širi biomedicinski merni ili merno-upravljački sistem. Ovo je, razume se, nemoguće postići bez mogućnosti da student ovlada razumevanjem upotrebne tj. funkcionalne vrednosti pomenutih analognih komponenti i analognih instrumentacionih električnih kola, pa se, između ostalih ključnih segmenata, upravo to i naglašava u nastavi.

4. ZAKLJUČAK

Predmet *Kliničko inženjerstvo* na OAS Biomedicinsko inženjerstvo je nastao kao potreba da se upotpune zahtevi objedinjenog nastavnog pristupa multidisciplinarnom opredeljenju spajanja znanja iz oblasti metrologije (merenja u biomedicini) i same medicine (biomedicina). Na osnovu prikupljenih podataka o zahtevima i potrebama poslodavaca i tržišta rada, iskustava i potreba studenata i iskustava nastavnika, razvijen je kurikulum novog predmeta sa naglaskom na objedinjenom pristupom teoriji biomedicinskih merenja i teorije mernih sistema i instrumentacije. Kako bi se omogućio ujednačen nivo znanja svih studenata, za pristup izučavanja elektronskih komponenti mernih pretvarača koristi se inženjerski pristup *black box* analize, gde se funkcionalnost elektronskih sistema posmatra sagledavanjem ulaza, izlaza i uslova rada, bez izučavanja unutrašnjih detalja sistema, što omogućuje efikasniji transfer znanja studentima, kao i pomoć da shvate i primene naučeno u sadejstvu sa elementarnim znanjima iz biomedicine. Postignut je dinamičniji i efikasniji sadržaj predmeta koji studentima omogućava brže i potpunije usvajanje znanja neophodnog kao preduslov za rad na višim godinama studija.

5. LITERATURA

- [1] Marjan Urekar, Platon Sovilj, Bojan Vujičić, Nemanja Gazivoda, *MERNO-INFORMACIONI SISTEMI: STUDIJSKI MODUL KAO REZULTAT NASTAVNOG PROJEKTA ERASMUS+ KA2 ELEMEND*, XXVII Skup Trendovi razvoja: "On-line nastava na univerzitetima", Novi Sad, 2021.
- [2] Marjan Urekar, Nemanja Gazivoda, Đorđe Novaković, Stefan Mirković, Marina Subotin, Dragan Pejić, Jelena Đorđević Kozarov, *ZNAČAJ OBRAZOVANJA IZ OBLASTI METROLOGIJE I MERNO-INFORMACIONIH SISTEMA U SAVREMENOM KONCEPTU INDUSTRIJE 4.0*, XXVI Skup Trendovi Razvoja, Kopaonik, 2020.
- [3] Platon Sovilj, Marjan Urekar, Ljubica Župunski, Mirjana Trobok, *Uvodni praktikum iz merenja bioelektričnih signala*, 35. Kongres metrologa, Palić, 2009.
- [4] Paul Horowitz, Winfield Hill, *The Art of Electronics*, 3rd ed., Cambridge University Press, 2015.
- [5] Alan S. Morris, *Measurement and Instrumentation Principles*, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, 2001.
- [6] Leslie Cromwell, Fred J. Weibell, Erich A. Pfeiffer, *Biomedical Instrumentation and Measurements*, 2nd ed., Prentice-Hall, 1980.
- [7] Richard C. Dorf (editor), *Sensors, Nanoscience, Biomedical Engineering, and Instruments*, 3rd ed., CRC Press, 2006.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: "Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije".