

Master studijski programi iz bioinformatike u Srbiji i svetu

Lazar Smiljković
Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
lazar.smiljkovic@etf.bg.ac.rs
0009-0004-8168-1924

Marko Mišić
Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
marko.misic@etf.bg.ac.rs
0000-0002-7369-4010

Jelica Protić
Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
jelica.protic@etf.bg.ac.rs
0000-0003-0846-0290

Abstract— U poslednje dve decenije, bioinformatika se razvila u važnu naučnu oblast koja primenjuje informacione tehnologije na biološke podatke kako bi rešavala složene biološke i medicinske probleme. U vezi sa tim postoji značajan rast potražnje za stručnjacima u ovoj oblasti. Prateći taj trend, akademske institucije širom sveta prilagođavaju svoje kurikulume zahtevima tržišta rada, nastojeći da usklade osnovna znanja, računarske veštine i interdisciplinarni pristup problemu. U okviru ovog rada se ispituju master programi bioinformatike na univerzitetima širom sveta, analizirajući kompetencije, strukturu kurikuluma, nastavne metode i praktičan rad. Rezultati pokazuju značajne razlike među postojećim programima, s posebnim naglaskom na projektno učenje, praktičnu primenu i povezivanje sa industrijom i kliničkom praksom. Ovi nalazi predstavljaju temelj za kreiranje novog master programa bioinformatike u Srbiji, koji bi kombinovao najbolje globalne prakse sa specifičnim lokalnim potrebama. U radu se analizirani programi iz sveta poredi sa jednim takvim predloženim programom u Srbiji.

Ključne reči— bioinformatika, edukacija, master studije

I. UVOD

U poslednjih nekoliko decenija, bioinformatika je postala ključna disciplina koja primenjuje informacione tehnologije na biološke podatke kako bi odgovorila na složene biološke i medicinske izazove. Sa razvojem tehnologija sekvenciranja genoma, analize velikih podataka i mašinskog učenja, povećana je potreba za stručnjacima koji mogu da koriste navedene alate kako bi unapredili naučna istraživanja i medicinsku praksu u cilju poboljšanja zdravlja i kvaliteta života ljudi [1][2]. Ključnu ulogu u tom pogledu je odigralo uspešno sprovođenje projekta sekvenciranja ljudskog genoma (*Human Genome Project*) od strane konzorcijuma institucija iz većeg broja država od 1990. do 2003. godine, ali i niza drugih projekata sekvenciranja živih organizama, od mikroorganizama, biljaka do životinja [3]. U tom periodu je generisana velika količina podataka koja je zahtevala različite softverske alate za dohvaćanje, smeštanje i analizu DNK sekvenci, kao i školovane istraživače za njihovu obradu [4].

Trenutno stanje obrazovanja u bioinformatici ukazuje na veliki globalni rast ponude akademskih programa, kako na osnovnim, tako i na master i doktorskim studijama, a taj trend neprekidno traje više od dve decenije [3][4][5][6]. Univerziteti širom sveta prilagođavaju svoje kurikulume kako bi zadovoljili rastuće zahteve tržišta rada, koje sve više vrednuje interdisciplinarna znanja i veštine. Razvijaju se i različite forme kratkih kurseva kako bi se studenti iz različitih obrazovnih sredina uspešno uključili u istraživanja na polju bioinformatike

[7]. Međutim, struktura i kvalitet ovih programa variraju, što otvara prostor za širu analizu kako bi se identifikovale najbolje prakse na akademskim institucijama širom sveta.

Globalna potreba za bioinformatičarima ogleda se u porastu biotehnoških i farmaceutskih istraživanja, kao i u razvoju personalizovane medicine. Paralelno s tim, lokalne specifičnosti, poput dostupnih resursa, regulatornih okvira i ekonomskih uslova, zahtevaju da akademski programi budu prilagođeni regionalnim potrebama. Republika Srbija je takođe prepoznala potrebu za razvojem ovakvih studijskih programa kroz javni konkurs „Master 4.0 Bioinformatika“ za predlaganje master studijskih programa iz oblasti bioinformatike od strane visokoškolskih institucija [8].

Sama inicijativa je imala za cilj razvijanje master studijskog programa koji prati tendencije savremene nauke da se nova naučna istraživanja i saznanja grade na osnovu obrade i integracije podataka iz različitih baza kroz povezivanje znanja iz različitih naučnih disciplina i istraživača sa različitim prethodnim oblastima obrazovanja. Ishod ovakvog studijskog programa treba da bude obezbeđivanje stručnjaka sposobnih za angažovanje u oblastima informatike, bazičnih prirodnih nauka, ekologije, prehrambene industrije, veterine, poljoprivrede, javnog zdravlja sa posebnim značajem u interdisciplinarnim istraživanjima, ali i primeni u industriji [8]. Na konkurs se prijavilo više akademskih konzorcijuma, a na javnom pozivu izabrana su tri predloga master studijskih programa sledećih konzorcijuma [9]:

- „Master 4.0 Bioinformatika“ pod vođstvom Medicinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- „Master 4.0 Bioinformatika“ pod vođstvom Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- „Master studijski program, sa pratećim kratkim programima studija-Master 4.0 Bioinformatika“ pod vođstvom Univerziteta u Kragujevcu.

Cilj ovog rada je da analizira postojeće master studijske programe iz oblasti bioinformatike u Evropi i svetu, i uporedi ih sa novim programom predloženim od strane konzorcijuma koji čine četiri fakulteta Univerziteta u Beogradu: Medicinski fakultet, Elektrotehnički fakultet, Hemijski fakultet, Stomatološki fakultet zajedno sa Institutom za onkologiju i radiologiju, a koji će biti uveden u Srbiji. Fokus je na identifikaciji ključnih kompetencija, strukture kurikuluma i metoda nastave, kako bi se utvrdile najbolje prakse i pružili

Ovaj rad je finansijski podržalo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije po ugovoru broj: 451-03-137/2025-03/200103 i 451-03-136/2025-03/200103. Autori se zahvaljuju na finansijskoj podršci.



konkretni predlozi za unapređenje navedenog domaćeg programa.

U ovom radu razmatrano je i upoređeno sedam master programa iz bioinformatike sa prestižnih svetskih univerziteta u Glazgovu [10], Melburnu [11], Lundu [12], Luevenu [13], Birmingemu [14], kao i programi sa Harvarda [15] i ETH u Cirihi [16]. Dodatno, dobijeni zaključci su zatim razmotreni i u slučaju novog programa bioinformatike u Srbiji.

Rad je podeljen na nekoliko poglavlja. U drugom poglavlju su definisane i bliže opisane najvažnije kompetencije koje bioinformatičar treba da poseduje na osnovu iskustava iz otvorene literature i prethodnih istraživanja. U trećem poglavlju su predstavljeni kurikulumi i nastavne metode sa izabranih svetskih univerziteta, kao i predloženog master studijskog programa u Srbiji. Četvrto poglavlje predstavlja uporednu analizu razmatranih programa sa diskusijom. U petom poglavlju je izložen zaključak rada sa smernicama za dalje istraživanja i unapređenja sličnih master studijskih programa iz oblasti bioinformatike.

II. OSNOVNE KOMPETENCIJE BIOINFORMATIČARA

Osnovne kompetencije predstavljaju ključne veštine i znanja koja bioinformatički program treba da razvije kod svojih studenata, a jedan skup takvih kompetencija je identifikovan u [17]. Te veštine treba da budu različite u zavisnosti od potreba i tipičnih radnih aktivnosti u istraživačkom ili industrijskom okruženju, pa autori studije [17] definišu čak deset različitih obrazovnih profila na ovom polju. Adekvatna identifikacija i analiza kompetencija omogućavaju strukturirano mapiranje kurikuluma i objektivno poređenje različitih studijskih programa [18].

Istraživanje sprovedeno u [18] uključilo je veći broj naučnika na rukovodećim položajima u okviru centara za istraživanja na polju bioinformatike u vezi sa obrazovnim profilom kadra koji se zapošljava u njihovim institucijama. Identifikovana je lista kompetencija od značaja koja uključuje četiri polja: biologiju, računarske i algoritamske metode obrade podataka, statistiku i matematiku, kao opšta znanja potrebna istraživački nastrojenoj osobi. Takođe, istaknut je značaj praktičnog rada i učešća industrije kroz samostalne i timske istraživačke projekte, kao i stručne prakse koje uključuju rešavanje realnih problema pod mentorstvom akademskih i industrijskih mentora.

Kao rezultat istraživanja, predložen je okvirni kurikulum master studijskog programa koji uključuje znanja iz oblasti kao što su osnove molekularne biologije, računarska biologija, računarske nauke, matematika i statistika, elementi fizike i hemije, ali i etika, preduzetništvo i osnove akademskog pisanja. Takođe su definisali tri specifične uloge sa različitim prethodnim obrazovanjima, motivacijom, ciljevima i tipičnim radnim aktivnostima kao što su korisnik bioinformatike, inženjer bioinformatike i naučnik bioinformatike sa idejom da se na različit način pristupi obrazovanju navedenih profila.

Na osnovu prethodno izloženog, u okviru ovog istraživanja su definisane su tri glavne kategorije kompetencija: biološko znanje, računarska i statistička pismenost, te interdisciplinarne veštine. One su iskorišćenje za poređenje različitih studijskih programa.

Prva kategorija, biološko znanje, obuhvata razumevanje biologije na molekularnom i sistemskom nivou, poznavanje genetike, genomike, transkriptomike, proteomike i metabolomike, kao i korišćenje bioloških baza podataka i alata. Ova kompetencija je ključna za interpretaciju i analizu bioloških podataka, posebno u kontekstu savremenih tehnologija sekvenciranja i analiza velikih *omics* skupova podataka. Na primer, kursevi poput "*Genomics & Next Generation Sequencing*" sa Univerziteta u Birmingemu ili "*Foundations of Genetics and Genomics*" sa Univerziteta u Melburnu doprinose razvoju ovih veština kod studenata.

Druga kategorija, računarska i statistička pismenost, uključuje veštine iz dva domena, programiranja (npr. Python, R, SQL), razvoja algoritama, baza podataka i drugog, primena statističkih metoda, kao i upravljanje velikim skupovima podataka. Ove veštine omogućavaju studentima da efikasno obrađuju i analiziraju podatke, kao i da razvijaju nove softverske alate za rešavanje bioloških problema. Kursevi poput "*Introduction to Programming*" sa Univerziteta u Melburnu ili "*Data Analytics and Statistical Machine Learning*" sa Univerziteta u Birmingemu pružaju solidnu osnovu za ove kompetencije.

Treća kategorija, interdisciplinarne veštine, obuhvata naučnu komunikaciju, timski rad i kritičko razmišljanje. Ove veštine su neophodne za uspešnu saradnju u interdisciplinarnim timovima i za jasno prenošenje rezultata istraživanja. Programi poput onih sa Univerziteta u Lundu i KU Lueven naglašavaju važnost ovih veština kroz istraživačke projekte i kurseve naučne komunikacije, dok Harvard integriše ove kompetencije kroz kurseve poput "*Biomedical Data Science*".

S obzirom da bioinformatički podaci često uključuju osetljive informacije, poput genetskih sekvenci i medicinskih podataka pacijenata, zaštita privatnosti i sigurnost podataka predstavljaju važne aspekte obrazovanja u ovoj oblasti. Master studijski programi širom sveta bi trebalo da integrišu ovu temu kroz specijalizovane kurseve koji se bave etikom, regulativom i tehnikama zaštite podataka. Međutim, može se primetiti da na većini master programa izostaju kursevi koji se bave ovom tematikom. Izuzetak je Univerzitet u Luevenu koji sadrži „*Privacy and Big Data*“ kao izborni kurs.

U kontekstu ovog istraživanja, programi master studija sa stranih univerziteta su detaljno analizirani sa stanovišta tema koje se obrađuju i kompetencija koje pružaju studentima kako bi se utvrdilo da li pokrivaju sve ključne kompetencije ili poseduju određene praznine koje treba popuniti. Za evaluaciju programa, svaki kurs je mapiran prema kompetenciji koju razvija u najvećoj meri kako bi se utvrdilo u kojoj meri su programi izbalansirani i da li nagingu ka nekoj od definisanih kategorija kompetencija.

Na primer, kurs "*Genomics & Next Generation Sequencing*" sa Univerziteta u Birmingemu pokriva kompetencije u oblasti molekularne biologije i analize podataka, dok kurs "*Bioinformatics: Programming in Python*" sa Univerziteta u Lundu razvija veštine iz računarstva i algoritamskog razmišljanja. Rezultati sprovedene analize prikazani su u Tabeli 1 koja omogućava vizuelno poređenje pokrivenosti kompetencija u različitim programima. Rezultati analize pokazuju relativno dobru izbalansiranost analiziranih studijskih programa, gde biološka znanja imaju prosečan udeo od 35-40%, računarska i statistička pismenost 45-50%, a interdisciplinarne veštine 15-20% u obrađenim temama.

TABELA I. PROCENAT POKRIVENOSTI OSNOVNIH KOMPETENCIJA ZA SVAKI ANALIZIRANI MASTER STUDIJSKI PROGRAM

Univerzitet	Biološko znanje (%)	Računarska i statistička pismenost (%)	Interdisciplinarne veštine (%)
Univerzitet u Glazgovu	40	40	20
Univerzitet u Melburnu	35	45	20
Univerzitet u Lundu	40	40	20
KU Lueven	30	50	20
Univerzitet u Birmingemu	40	40	20
ETH Cirihi	35	50	15
Univerzitet Harvard	30	50	20

III. ANALIZA KURIKULUMA I NASTAVNIH METODA

A. Programi u svetu

Struktura kurikuluma i metode nastave ključni su za osiguranje kvaliteta obrazovanja i obezbeđivanje praktičnih veština studentima u oblasti bioinformatike. Kurikulumi analiziranih programa sadrže tri osnovne komponente: osnovne kurseve, izborne kurseve i praktičnu nastavu, koje su detaljno analizirane u skladu sa smernicama iz [19].

Osnovni kursevi pružaju temeljno znanje iz biologije, bioinformatike i statistike. Na primer, kurs "*Foundations of Bioinformatics*" na Univerzitetu u Glazgovu fokusira se na osnove omics tehnologija, dok kurs "*Essentials of Mathematics, Statistics and Programming*" na Univerzitetu u Birmingemu pruža uvod u statističke metode i programiranje, neophodne za analizu bioloških podataka. Uglavnom su definisani tako da predstavljaju dopunu predznanja studenata koji dolaze sa različitim predznanjem sa osnovnih studija ili iz različitih naučno-stručnih oblasti, kao što su biomedicinske nauke, matematika i statistika, računarstvo.

Izborni kursevi omogućavaju specijalizaciju studenata u specifičnim oblastima. Program Univerziteta u Melburnu nudi kurseve poput "*Computational Genomics*", koji pokrivaju napredne tehnike analize podataka, dok ETH Cirihi nudi kurseve iz oblasti sistemske biologije i modelovanja. Fleksibilnost u izboru omogućava studentima prilagođavanje programa njihovim interesovanjima i karijernim ciljevima.

Istraživački projekti i praktična nastava čine ključni deo kurikuluma. Na primer, program na Univerzitetu u Lundu omogućava studentima rad na istraživačkim projektima različitog trajanja (7.5 do 60 ECTS), dok ETH Cirihi naglašava laboratorijske vežbe i praktičan rad sa industrijskim partnerima. Univerzitet Harvard integriše kliničku praksu kroz projekte kao što je "*Applied Computational Genomics*". U ovom istraživanju

razmatran je procenat praktične nastave koji se proteže kroz kurikulume. U to su uzeti u obzir praktični projekti, laboratorijska nastava, kao i završni (master) radovi koji postoje na svim programima.

Programi primenjuju različite nastavne metode, uključujući projektno učenje (*Project-Based Learning*), laboratorijske vežbe i rad na realnim podacima. Univerzitet u Birmingemu koristi interdisciplinarne grupne projekte, dok KU Lueven naglašava rad sa stvarnim bioinformatičkim izazovima u okviru kursa "*Integrated Bioinformatics Project*". Koristi se širok spektar alata, uključujući Python, R, SQL, *bash* i specijalizovane bioinformatičke platforme. Ovi alati omogućavaju studentima da razviju praktične veštine u analizi podataka, upravljanju velikim datasetovima i implementaciji algoritama za bioinformatičke analize.

Kvantitativni podaci ukazuju na razlike u distribuciji osnovnih i izbornih kurseva, kao i u procentualnom udelu praktične nastave. Dok Univerzitet u Birmingemu ima najveći udeo praktične nastave (40%), programi na ETH Cirihi i KU Lueven naglašavaju multidisciplinarnost i integraciju sa industrijom. Ovi rezultati prikazani su u Tabeli 2.

U ovoj analizi kursevi su podeljeni na osnovne i izborne. Osnovni kursevi pružaju temeljno znanje iz oblasti genetike, bioinformatike, statistike i računarskih nauka, dok izborni kursevi omogućavaju specijalizaciju u oblastima poput proteomike, metabolomike i naprednih bioinformatičkih metoda. U redovima koji prikazuju broj kurseva po kategorijama, vrednost "varira" znači da broj osnovnih i izbornih kurseva nije fiksiran već zavisi od prethodnog obrazovanja studenta ili ličnih preferencija unutar datog programa. Na primer, KU Lueven poseduje namenski "*Reorientation Package*" koji studentima omogućava da biraju kurseve iz oblasti biologije, statistike ili informatike, u zavisnosti od njihovog prethodnog akademskog porekla. Ovo dovodi do promenljivog broja osnovnih kurseva.

B. Program u Srbiji

Novi bioinformatički kurikulum koji je predložen u Srbiji od strane konzorcijuma pod vođstvom Medicinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu ima sveobuhvatan pristup obrazovanju u bioinformatici, s jasnim naglaskom na ključne kompetencije i široku raznovrsnost predmeta. Sami predmeti su tako koncipirani da pokrivaju šest glavnih oblasti koje su definisane Javnim pozivom [8]: molekularna biologija i bioinformatika, molekularna biologija i bioinformatički algoritmi, sekvenciranje bioloških uzoraka i analiza genetičkih podataka, statistika i nauka o podacima, informatika i programiranje, primenjena bioinformatika i bioetika. Studenti biraju 6 predmeta koji su podeljeni u četiri izborne grupe sa ukupno 19 predmeta u jednogodišnjem trajanju.

TABELA II. REZULTATI KVANTITATIVNE ANALIZE POSMATRANIH MASTER STUDIJSKIH PROGRAMA

Parametar	Univerzitet u Glazgovu	Univerzitet u Melburnu	Univerzitet u Lundu	KU Lueven	Univerzitet u Birmingemu	ETH Cirihi	Univerzitet Harvard
Trajanje programa	1 godina	2 godine	2 godine	2 godine	1 godina	2 godine	2 godine
Broj osnovnih kurseva	5	6	6	Varira	6	5	5
Broj izbornih kurseva	7	8	Varira	Varira	2	4	4
Procenat praktične nastave	15%	25%	35%	30%	40%	30%	30%

Prvu grupu čine predmeti iz tematskog jezgra bioinformatike kojima se dopunjuje prethodno znanje i popunjavaju nedostaci u znanju studenata iz različitih disciplina, što je u skladu sa preporukama za efikasno podučavanje bioinformatike [20]. Grupu čine predmeti "*Uvod u bioinformatiku*", "*Biostatistika*", "*Struktura biomolekula*", "*Osnove sekvenciranja*", "*Programiranje u bioinformatici*", "*Veštačka inteligencija u bioinformatici*". U zavisnosti od prethodnog stečenog akademskog zvanja i odgovarajućih znanja iz pojedinih oblasti studenti će izborom odgovarajućih predmeta u saradnji sa akademskim mentorima biti u prilici da dopune i prošire nedostajuća znanja iz oblasti bioinformatike, kako iz oblasti biomedicinskih nauka, tako i statistike i informatike.

Drugu grupu čine predmeti kao što su "*Bioinformatički algoritmi i analize*", "*Napredno mašinsko učenje i neuralne mreže*", "*Inženjerstvo velikih podataka u bioinformatici*" i "*Bioinformatički alati i baze podataka*". Cilj ovih predmeta je da se prošire znanja iz bioinformatike naprednim temama iz inženjerskog domena. Ponudeni predmeti uključuju raznovrsne teme iz tematskog jezgra bioinformatike koje uključuju korisnički aspekt analiza i alata, algoritamske pristupe, kao i obradu podataka tehnikama mašinskog učenja. Zastupljene su i teme u vezi pristupa za obradu velikih podataka s obzirom na očekivani volumen tipičnih bioinformatičkih podataka.

Treća grupa predmeta se fokusira na primene: "*Transkriptomika*", "*Kliničke velike baze podataka*", "*Proteomika sa uvodom u metabolomiku*", "*Napredne metode u biostatistici*", "*Informatika biomedicinskih slika*". Navedeni predmeti omogućavaju dalje usavršavanje u specifičnim bioinformatičkim oblastima koje uključuju široko polje omike, ali i obradu biomedicinskih slika, kliničkih podataka, kao i primenu naprednih statističkih metoda. Time se studentima omogućava uža specijalizacija u domenima od interesa.

Četvrta grupa predmeta naglašava profesionalne i etičke aspekte kroz predmete kao što su "*Osnove preduzetništva i naučne komunikacije*", "*Upravljanje projektima i podacima*", "*Etički principi u bioinformatici*", "*Zaštita podataka i sistema u bioinformatici*". Time se kod studenata omogućava razvoj veština potrebnih za saradnju u lokalnom i internacionalnom okruženju.

Studenti mogu izabrati od jedan do svih šest predmeta inženjerske orijentacije koje sprovodi Elektrotehnički fakultet. To omogućava veoma dobru specijalizaciju za one kojima su potrebni inženjerski aspekti i upotreba programiranja i veštačke inteligencije u svakodnevnom radu na analizi bioinformatičkih podataka.

IV. UPOREDNA ANALIZA PROGRAMA

Analizom u odnosu na druge programe obuhvaćene u prethodnoj analizi, može se primetiti nekoliko specifičnih prednosti i potencijalnih oblasti za unapređenje [21]. Program uključuje širok spektar kurseva koji pokrivaju osnovne i napredne aspekte bioinformatike, uključujući predmete poput "*Biostatistika*", "*Programiranje u bioinformatici*", "*Veštačka inteligencija u bioinformatici*" i "*Inženjerstvo velikih podataka u bioinformatici*". Ova raznovrsnost omogućava studentima da steknu solidne osnove u biologiji, statistici i programiranju, dok napredni kursevi pružaju specijalizovanu obuku u savremenim

tehnologijama i aplikacijama. Praktični elementi kao što su obavezna "Stručna praksa" i "Završni rad" pružaju studentima priliku za primenu teorijskog znanja, ali dodatak grupnih projekata ili laboratorijskih vežbi mogao bi dalje unaprediti iskustvo učenja.

Program se izdvaja uvođenjem kurseva kao što su "Veštačka inteligencija u bioinformatici", "Napredno mašinsko učenje i neuralne mreže" i "Napredne metode u biostatistici", što ukazuje na visok nivo inovativnosti. Ovi kursevi omogućavaju integraciju mašinskog učenja i veštačke inteligencije sa analizom bioloških podataka, čime se postavlja na nivo programa poput onog na Univerzitetu u Birmingemu, koji takođe naglašava mašinsko učenje. Interdisciplinarnost je dodatno osnažena kroz kurseve poput "Osnove preduzetništva i naučne komunikacije" i "Upravljanje projektima i podacima". Ove teme omogućavaju studentima da razviju širi spektar veština, relevantnih za akademsku i industrijsku karijeru, što je u skladu sa programima poput Harvarda i Melburna.

Ključne prednosti ovog programa su raznovrsnost kurseva koji pokrivaju fundamentalne i napredne teme, uvođenje inovativnih oblasti poput veštačke inteligencije i inženjeringa podataka i interdisciplinarnost veštine kroz predmete o komunikaciji i preduzetništvu. Na osnovu stečenog znanja kroz analizu master programa iz bioinformatike u Evropi i svetu može se predložiti i jedno poboljšanje: povećanje kliničkih aplikacija, posebno kroz kurseve o zaštiti podataka i radu sa velikim kliničkim bazama, što bi ga postavilo u ravan sa programima kao što su Harvard i Birmingem.

S druge strane, u poređenju sa programima kao što su KU Leuven i ETH Ciri, udeo praktične nastave u predloženom master studijskom programu u Srbiji bi mogao biti povećan. Međutim, takav zahtev je u koliziji sa trenutnim pravilima za akreditaciju studijskih programa koji zahteva određeni broj časova teorijske nastave. Takođe, primećuje se da je predloženi program relativno zahtevan za jednu godinu studiranja. Iskustva sa Elektrotehničkog fakulteta pokazuju da studenti uz rad ovakve programe često završavaju u dvostrukom, pa čak i trostrukom nominalnom trajanju studija. U tom smislu, čini se interesantna praksa sa Univerziteta u Birmingemu koja dozvoljava da se program sluša u trajanju od jedne godine sa punim angažovanjem ili dve godine sa parcijalnim angažovanjem studenata.

Ovako definisan master studijski program ima potencijal da postane vodeći u regionu, posebno ako se unaprede praktični elementi nastave i dodatno osnaži interdisciplinarni pristup. Integracija postojećih prednosti sa predloženim poboljšanjima osiguraće visok kvalitet obrazovanja i konkurentnost na globalnom nivou.

V. ZAKLJUČAK

Analizirani master programi iz oblasti bioinformatike predstavljaju vodeće primere obrazovnih kurikuluma, pružajući studentima potrebne veštine i znanja za suočavanje sa izazovima modernog istraživanja i industrije. Univerziteti u Glazgovu, Melburnu, Lundu i KU Leuvenu, Birmingemu, ETH Ciri i Harvardu pokazali su različite pristupe u definisanju osnovnih kompetencija, strukturi kurikuluma i primeni nastavnih metoda. Ova analiza, oslonjena na smernice iz radova o formiranju novih

kurseva iz bioinformatike, pružila je detaljan uvid u prednosti i nedostatke svakog programa.

Glavne prednosti uključuju sveobuhvatno pokrivanje osnovnih kompetencija, visok nivo praktične nastave i snažan fokus na interdisciplinarnost. Programi poput onih na Univerzitetu u Melburnu i ETH Cirihi istakli su se inovativnim kursevima, dok su programi u Lundu i KU Leuvenu naglasili fleksibilnost i prilagođavanje potrebama studenata. Pomenute smernice naglašavaju značaj praktične primene i integracije kliničkih i industrijskih aplikacija, što se posebno ističe u programima Univerziteta u Birmingemu i Harvardu.

Identifikacija nedostataka i oblasti za unapređenje takođe je bila deo ove analize. Programi koji pružaju ograničenu praktičnu obuku u programiranju ili nedovoljno razvijaju interdisciplinarnu veštine mogu biti razmatrani kao potencijalni kandidati za dodatno unapređenje. Ovaj pristup obezbeđuje objektivnu osnovu za dalje preporuke i implementaciju poboljšanja u bioinformatičkim programima.

Ovi nalazi pružaju okvir za razvoj novog master programa u Srbiji, koji može integrisati najbolje prakse iz analiziranih kurikuluma. Poseban akcenat treba staviti na povećanje praktične nastave, uvođenje inovativnih tehnologija poput veštačke inteligencije i proširenje interdisciplinarnih projekata. Usvajanjem ovih preporuka, novi program ima potencijal da postane vodeći u regionu, odgovarajući na globalne, a ne samo domaće potrebe u oblasti bioinformatike.

ZAHVALNICA

Istraživanje je delimično realizovano u prostorijama Palate nauke, Zadružbini Miodraga Kostića. Autori se zahvaljuju na podršci.

REFERENCE

- [1] S. Quazi, "Artificial intelligence and machine learning in precision and genomic medicine", *Medical Oncology*, vol. 39, issue 8, 2020, pp. 120.
- [2] Demirbaga, Ü., Aujla, G.S., Jindal, A., Kalyon, O., "Big Data Analytics in Bioinformatics", *Big Data Analytics*, Springer, Cham, 2024.
- [3] R. J. Zauhar, "University bioinformatics programs on the rise", *Nature biotechnology*, vol. 19, issue 3, 2001, pp 285-286.
- [4] M. L. den Besten, "The Rise of Bioinformatics", University of Oxford, MSc thesis, April 28, 2003, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1521649>
- [5] C. A. Ouzounis, "Rise and demise of bioinformatics? Promise and progress", *PLoS computational biology*, vol. 8, issue 4, 2012, pp. e1002487.
- [6] D. R. Smith, "Bringing bioinformatics to the scientific masses: As the demand for high-level bioinformatics is growing, training students in the field becomes ever more important", *EMBO reports*, vol. 19, issue 6, 2018, pp. e46262.
- [7] M. A. Chapman, "Work in Progress: Development of a Training Program to Prepare Students for an Immersive Bioinformatics Summer Research Experience", 2021 American Society for Engineering Education Virtual Annual Conference, July 2021.
- [8] "Javni poziv MASTER 4.0 za izbor studijskih programa master akademskih studija iz oblasti bioinformatike", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://prosveta.gov.rs/vesti/javni-poziv-master-4-0-za-izbor-studijskih-programa-master-akademskih-studija-iz-oblasti-bioinformatike/>
- [9] "Odluka o izboru predloga master studijskih programa, sa pratećim kratkim programima studija – Master 4.0 Bioinformatika", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://prosveta.gov.rs/vesti/odluka-o-izboru-predloga-master-studijskih-programa-sa-pratecim-kratkim-programima-studija-master-4-0-bioinformatika/>

- [10] University of Glasgow, "Bioinformatics", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://www.gla.ac.uk/postgraduate/taught/bioinformatics>.
- [11] University of Melbourne, "Master of Science (Bioinformatics)", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://study.unimelb.edu.au/find/courses/graduate/master-of-science-bioinformatics/structure/#nav>.
- [12] Lund University, "Master's programme in Bioinformatics", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://www.biologyeducation.lu.se/education/masters-degree-programmes/masters-programme-bioinformatics>.
- [13] KU Leuven, "Master of Bioinformatics", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://www.kuleuven.be/programmes/master-bioinformatics>.
- [14] University of Birmingham, "Bioinformatics MSc/Diploma/Certificate", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://www.birmingham.ac.uk/postgraduate/courses/taught/med/bioinformatics>.
- [15] Harvard Medical School, "Master of Medical Sciences in Biomedical Informatics Degree Program", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://dbmi.hms.harvard.edu/education/masters-program>.
- [16] ETH Zürich, "Master in Computational Biology & Bioinformatics", poslednji pristup: 2025-03-27, <https://cbb.ethz.ch/the-programme.html>.
- [17] N. Mulder, R. Schwartz, M. D. Brazas, C. Brooksbank, B. Gaeta, S. L. Morgan, M. A. Pauley, A. Rosenwald, G. Rustici, M. Sierk, T. Warnow, L. Welch, "The development and application of bioinformatics core competencies to improve bioinformatics training and education", *PLoS computational biology*, vol. 14, issue 2, 2018, pp. e1005772.
- [18] L. Welch, F. Lewitter, R. Schwartz, C. Brooksbank, P. Radivojac, B. Gaeta, M. V. Schneider, "Bioinformatics curriculum guidelines: toward a definition of core competencies", *PLOS computational biology*, vol. 10, issue 3, 2014, pp. e1003496.
- [19] S. McClatchy, K. M. Bass, D. M. Gatti, A. Moylan, G. Churchill, "Nine quick tips for efficient bioinformatics curriculum development and training", *PLoS Computational Biology*, vol. 16, issue 7, 2020, pp. e1008007.
- [20] A. Madlung, "Assessing an effective undergraduate module teaching applied bioinformatics to biology students", *PLoS computational biology*, vol. 14, issue 1, 2018, pp. e1005872.
- [21] T. K. Attwood, E. Bongcam-Rudloff, M. E. Brazas, M. Corpas, P. Gaudet, F. Lewitter, N. Mulder, P. M. Palagi, M. V. Schneider, C. W. G. van Gelder, GOBLET Consortium, "GOBLET: the global organisation for bioinformatics learning, education and training", *PLoS computational biology*, vol. 11, issue 4, 2015, pp. e1004143.

ABSTRACT

In the last two decades, bioinformatics has developed into an important scientific field that brings together biological data and information technologies to solve complex biological and medical problems. For that reason, there is a significant growth in the demand for experts in this field. Following this trend, academic institutions around the world are adapting their curricula to the demands of the labor market, trying to balance basic knowledge, computer skills and an interdisciplinary approach. This paper examines bioinformatics master's programs at universities around the world, analyzing competencies, curriculum structure, teaching methods and practical work. The results show significant differences among existing programs, with special emphasis on project-based learning, practical application, and linkage to industry and clinical practice. These findings represent the foundation for the creation of a new master's program in bioinformatics in Serbia, which would combine the best global practices with specific local needs. In the paper, the analyzed programs from around the world are compared with one such proposed program in Serbia.

MASTER'S DEGREE STUDY PROGRAMS IN BIOINFORMATICS IN SERBIA AND AROUND THE WORLD

Lazar Smiljković, Marko Mišić, Jelica Protić