МЕТРОПОЛИТАН УНИВЕРЗИТЕТ БЕОГРАД
Бр. 1-1-13060
20. 11. 2026 год.
БЕОГРАД, Тадеуша Кошћушка 63

Metropolitan univerzitet Beograd
Fakultet informacionih tehnologija

# IZVEŠTAJ O OCENI DOKTORSKE DISERTACIJE

## I PODACI O KOMISIJI

1. Datum i organ koji je imenovao komisiju

   Dana 14.10.2026. godine, Senat Univerziteta Metropolitan, broj odluke 10-10-00410/7

2. Sastav komisije sa naznakom imena i prezimena svakog člana, zvanja, naziv fakulteta, ustanove:
   1. Prof. dr Nemanja Zdravković, vanredni profesor, predsednik komisije, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd
   2. Prof. dr Dragan Domazet, profesor emeritus, mentor, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd
   3. Prof. dr Dijana Oreški, vanredni profesor, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, Hrvatska
   4. doc. dr Emilija Kisić, docent, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd
   5. doc. dr Dušan Simjanović, docent, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd

## II PODACI O KANDIDATU

1. Ime, ime jednog roditelja, prezime:

   Jovana Ljubodrag Jović

2. Datum rođenja, opština, država:

   02.08.1991., Prokuplje, Srbija

3. Naziv fakulteta, naziv studijskog programa osnovnih i diplomskih akademskih studija - master i stečeni stručni naziv

   Osnovne akademske studije: Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
   Studijski program: Računarstvo i informatika (2010-2014), diplomirani inženjer elektrotehnike i računarstva za Računarstvo i informatiku, opšti uspeh: 9,04, diplomski ispit:10,00.

   Master studije: Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
   Studijski program: Računarstvo i informatika, modul Softversko inženjerstvo (2014-2015), master inženjer elektrotehnike i računarstva za Računarstvo i informatiku, opšti uspeh: 10,00, diplomski ispit:10,00.

4. Godina upisa na doktorske studije i naziv studijskog programa doktorskih studija

   Upisana 2015. godine na doktorske studije Fakulteta informacionih tehnologija, Metropolitan univerziteta u Beogradu; studijski program: Softversko inženjerstvo

## III NASLOV DOKTORSKE DISERTACIJE

Razvoj studentskih modela za inteligentne sisteme e-učenja baziranih na primeni algoritama mašinskog učenja

## IV PREGLED DOKTORSKE DISERTACIJE

Doktorska disertacija je strukturirana u skladu sa metodologijom nauke o projektovanju (engl. Design Science), kroz iterativni razvoj i evaluaciju tri međusobno povezana artefakta: ontološkog modela nastavnog sadržaja, višeslojnog modela studenta i adaptivnog modela preporuke. Istraživački tok vodi od pregleda literature i identifikacije istraživačkog jaza, preko metodološkog i teorijskog okvira, do razvoja modela nastavnog sadržaja i modela studenta, njihove empirijske evaluacije na stvarnim obrazovnim podacima i zaključaka o ispunjenosti ciljeva i hipoteza.

Disertacija obuhvata 264 stranice osnovnog teksta (poglavlja 1–8), dok sa prilogom i pregledom literature 299 stranica. Pored toga, rad sadrži 27 tabela, 43 ilustracije, spisak od 278 bibliografskih jedinica i jedan prilog (Prilog A – prompt za generisanje objašnjivih preporuka).

Struktura rada organizovana je na sledeći način:

1. UVOD
    - 1.1. Predmet i ciljevi istraživanja
    - 1.2. Istraživačka pitanja i hipoteze
    - 1.3. Doprinosi disertacije
    - 1.4. Zadaci istraživanja
    - 1.5. Pregled sadržaja rada
2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE
    - 2.1. Personalizovano i adaptivno učenje
    - 2.2. Modeli sadržaja za učenje
    - 2.3. Modelovanje studenata
    - 2.4. Istraživački jaz i pozicioniranje originalnosti disertacije
3. METODOLOGIJA
    - 3.1. Istraživanja u softverskom inženjerstvu
    - 3.2. Metodologija nauke o projektovanju
    - 3.3. Primenjene metode istraživanja
    - 3.4. Vremensko i prostorno određenje predmeta istraživanja
    - 3.5. Podaci korišćeni u istraživanju
4. TEORIJSKI OKVIR ZA POSTAVLJANJE PROBLEMA
    - 4.1. Primena ontologije za razvoj modela nastavnih materijala
    - 4.2. Vizualizacija
    - 4.3. Metode za modelovanje znanja i ponašanja studenta
5. MODEL SADRŽAJA ZA UČENJE
    - 5.1. Ontološki model za organizaciju nastavnog sadržaja koji je u formi objekata učenja
    - 5.2. Adaptivna preporuka sadržaja i dinamička isporuka i vizualizacija nastavnih sadržaja

5.3. Proširenje ontološkog modela kompetencijskim okvirom
6. MODEL STUDENTA
6.1. Definicija i značaj modela studenta
6.2. Tehnike modelovanja studenata
6.3. Faza 1: Predikcija studentskog uspeha pomoću mašinskog učenja
6.4. Faza 2: Klasterovanje i analiza obrazaca učenja
6.5. Faza 3: Model kontinuiranog praćenja ovladanosti nastavnim sadržajem
7. REZULTATI I DISKUSIJA
7.1. Evaluacija modela nastavnih materijala
7.2. Evaluacija modela studenata
7.3. Adaptivni model
8. ZAKLJUČCI I BUDUĆI RAD
8.1. Zaključci istraživanja
8.2. Prednosti razvijenog pristupa
8.3. Nedostaci i ograničenja istraživanja
8.4. Budući rad
8.5. Ispunjenost ciljeva istraživanja
8.6. Ispunjenost hipoteza
8.7. Zaključna razmatranja
PRILOG A. Prompt za generisanje objašnjivih preporuka
LITERATURA

## V VREDNOVANJE POJEDINIH DELOVA DOKTORSKE DISERTACIJE

### 1. UVOD

Uvodno poglavlje postavlja problemski i istraživački okvir rada. Autorka polazi od uočenog nesklada između velike količine podataka koje generišu savremeni sistemi za e-učenje i njihove ograničene upotrebe za konkretnu, individualizovanu podršku studentima, i jasno pozicionira model studenta kao centralni fokus disertacije, u vezi sa modelom nastavnog sadržaja i adaptivnim modelom.

#### 1.1. Predmet i ciljevi istraživanja

Predmet istraživanja precizno je definisan kao razvoj i evaluacija fleksibilnog modela studenta za inteligentne sisteme e-učenja, zasnovanog na podacima o aktivnostima, rezultatima i proverama znanja, u vezi sa ontološkim modelom nastavnog sadržaja. Postavljena su četiri cilja, pri čemu autorka unapred i korektno ograničava značenje „jednostavnije integracije" u četvrtom cilju, što doprinosi preciznosti kasnijeg vrednovanja.

#### 1.2. Istraživačka pitanja i hipoteze

Formulisana su četiri istraživačka pitanja, opšta hipoteza i četiri posebne hipoteze, koje su međusobno usklađene i neposredno proizlaze iz ciljeva istraživanja. Hipoteze su postavljene tako da se mogu proveriti kroz razvijene artefakte i njihovu evaluaciju.

#### 1.3. Doprinosi disertacije

Doprinosi su sistematično razvrstani na teorijske, metodološke, softversko-arhitekturne i praktične, kao i empirijske, i objedinjeni u četiri centralna doprinosa. Posebno je vredno što autorka eksplicitno navodi da naučna novina nije u pojedinačnom algoritmu, već u

povezivanju komponenti u sledljiv lanac od dokaza do preporuke, kao i to što unapred određuje granice empirijskih tvrdnji.

1.4. Zadaci istraživanja

Osam zadataka istraživanja logično prati razvoj artefakata, od analize literature i razvoja ontološkog modela, preko kompetencijskog proširenja i tri faze modela studenta, do adaptivnog modela i evaluacije.

1.5. Pregled sadržaja rada

Dat je jasan pregled osam poglavlja disertacije, koji čitaocu olakšava praćenje istraživačkog toka.

**Ocena:** ***Uvodno poglavlje je jasno strukturirano i dobro motivisano. Predmet, ciljevi, istraživačka pitanja i hipoteze precizno su formulisani i međusobno usklađeni, a doprinosi su navedeni sistematično i uz odmereno određivanje granica tvrdnji. Poglavlje predstavlja solidnu osnovu za ostatak rada.***

## 2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

Poglavlje daje obuhvatan pregled oblasti relevantnih za temu disertacije: personalizovanog i adaptivnog učenja, modela nastavnog sadržaja, objekata učenja, ontologija, sistema preporuka i modelovanja studenata.

2.1. Personalizovano i adaptivno učenje

Autorka razgraničava pojmove personalizovanog i adaptivnog učenja i inteligentnih tutorskih sistema, opisuje tipove personalizacije i ključne komponente personalizovanih sistema (model studenta, model nastavnog sadržaja i sistem preporuka), čime uspostavlja terminološku osnovu rada.

2.2. Modeli sadržaja za učenje

Analizirani su pristupi kreiranju i strukturiranju nastavnih materijala, objekti učenja i repozitorijumi, ontološki pristupi i sistemi preporuka (kolaborativno filtriranje, preporuke zasnovane na sadržaju, kompetencijski i ontološki zasnovane preporuke), uključujući i pitanje objašnjivosti preporuka.

2.3. Modelovanje studenata

Prikazani su pojam modela studenta, reprezentacija znanja i kompetencija i tehnike modelovanja, sa posebnim osvrtom na pristupe zasnovane na algoritmima mašinskog učenja.

2.4. Istraživački jaz i pozicioniranje originalnosti disertacije

Ovaj odeljak je posebno kvalitetan. Kroz uporednu tabelu predloženi model se poredi sa relevantnim pristupima (OBSLO i MCM, kompetencijski koncept, Bajesovo praćenje znanja, PASER, ERSDO, ON-SMMILE i dr.), a istraživački jaz je precizno definisan kao nedostatak pristupa koji dokaz iz aktivnosti studenta operativno vodi kroz sve korake, od procene stanja do adaptivne odluke. Autorka jasno razgraničava sopstvene ranije rezultate od doprinosa disertacije.

**Ocena:** ***Pregled literature je obiman, savremen i funkcionalno povezan sa predmetom istraživanja (278 bibliografskih jedinica). Posebna vrednost poglavlja je eksplicitno pozicioniranje originalnosti u odnosu na postojeće pristupe, kojim je jasno pokazano šta je preuzeto, a šta predstavlja doprinos disertacije.***

## 3. METODOLOGIJA

Poglavlje obrazlaže izbor metodologije nauke o projektovanju kao istraživačkog okvira i povezuje njene faze sa strukturom disertacije.

3.1. Istraživanja u softverskom inženjerstvu

Razmatraju se istraživanja usmerena ka sticanju znanja i ka pronalaženju rešenja i njihov odnos u softverskom inženjerstvu.

3.2. Metodologija nauke o projektovanju

Prikazan je iterativni ciklus konceptualizacije problema, projektovanja rešenja i empirijske validacije, kao i dvodimenzionalni model doprinosa nauke o projektovanju.

3.3. Primenjene metode istraživanja

Dato je detaljno mapiranje faza metodologije na poglavlja disertacije. Posebno je vredno obrazloženje kako su nalazi prve dve iteracije modela studenta neposredno oblikovali zahteve treće iteracije, čime je iterativni karakter istraživanja dokumentovan, a ne samo deklarisan.

3.4. Vremensko i prostorno određenje predmeta istraživanja

Istraživanje obuhvata period od 2015. do 2026. godine i sprovedeno je pretežno u nastavnom okruženju Univerziteta Metropolitan, uz komparativnu analizu podataka Fakulteta organizacije i informatike u Varaždinu.

3.5. Podaci korišćeni u istraživanju

Jasno su opisani skupovi podataka po fazama: 1696 studentskih zapisa u prvoj fazi, 409 studenata (97 BMU i 312 FOI) u drugoj fazi, te dva predmeta u konačnoj fazi (Uvod u softversko inženjerstvo sa 37 studenata i 227 objekata učenja, i Objektno-orjentisano programiranje 2 sa 74 studenta i 126 objekata učenja), uz anonimni upitnik koji je popunilo 86 studenata. Navedeni su i postupci anonimizacije.

**Ocena:** ***Metodološki okvir je adekvatno izabran za istraživanje usmereno na razvoj i evaluaciju softverskih artefakata i dosledno je primenjen. Mapiranje faza metodologije na poglavlja disertacije i jasno razdvajanje skupova podataka po fazama povećavaju transparentnost i proverljivost istraživanja.***

## 4. TEORIJSKI OKVIR ZA POSTAVLJANJE PROBLEMA

Poglavlje daje teorijske osnove metoda koje se koriste u razvoju modela nastavnog sadržaja i modela studenta.

4.1. Primena ontologije za razvoj modela nastavnih materijala

Prikazana je metodologija razvoja ontologije prema Noy i McGuinness-u, koja predstavlja osnovu za razvoj ontološkog modela objekata učenja.

4.2. Vizualizacija

Obrađene su multidimenzionalne konceptualne mape kao način postepenog prikaza složene strukture nastavnog domena.

4.3. Metode za modelovanje znanja i ponašanja studenta

Prikazani su kompetencijski okvir razvoja nastavnih sadržaja, Bajesovo praćenje znanja (BKT) sa ocenjivanjem i ograničavanjem parametara, kontinuiranim opservacijama i izborom jedinice modelovanja, zatim klasterovanje obrazaca ponašanja i objašnjiva veštačka

inteligencija. Izlaganje je formalno korektno i potkrepljeno odgovarajućim matematičkim formulacijama.

**Ocena:** ***Teorijski okvir je funkcionalno izabran i sadrži upravo one koncepte i metode koji se kasnije primenjuju. Posebno je detaljno obrađen BKT, uključujući kontinuiranu formulaciju, što je neophodno za razumevanje konačnog modela studenta.***

## 5. MODEL SADRŽAJA ZA UČENJE

Poglavlje predstavlja ontološki model nastavnog sadržaja, razvijen u dve faze: osnovni model objekata učenja sa MCM vizualizacijom i sistemom OBSLO, i njegovo proširenje kompetencijskim okvirom.

### 5.1. Ontološki model za organizaciju nastavnog sadržaja koji je u formi objekata učenja

Model organizuje sadržaj kroz hijerarhiju znanje domena – oblast znanja – jedinica znanja – tema/podtema – objekat učenja i semantičke relacije (PO, HC, OR, HR, BA), uz razdvajanje koncepata od resursa, što omogućava proširivanje bez narušavanja strukture domena.

### 5.2. Adaptivna preporuka sadržaja i dinamička isporuka i vizualizacija nastavnih sadržaja

Opisana je softverska arhitektura sistema OBSLO sa komponentama za izradu ontologije (OAT) i za kreiranje MCM okruženja za učenje (MCMLEC), kao i primer vizualizacije ontologije na predmetu Baze podataka.

### 5.3. Proširenje ontološkog modela kompetencijskim okvirom

Ontološki model je integrisan sa kompetencijskim okvirom Univerziteta Metropolitan, tako da je svaki objekat učenja povezan sa ishodom učenja, kompetencijom, znanjem, veštinom i elementom verifikacije (VERIFY) na nivoima dubine N1, N2 i N3. Operativno tumačenje elementa VERIFY kao semantičke veze između objekta učenja i dokaza iz aktivnosti provere predstavlja jedan od ključnih originalnih elemenata rada.

**Ocena:** ***Model nastavnog sadržaja je jasno opisan, softverski realizovan i dosledno povezan sa kasnijim modelom studenta. Autorka korektno razgraničava ranije objavljeni osnovni model od proširenja razvijenog u disertaciji. Kompetencijski proširen model je, međutim, evaluiran posredno kroz model studenta, a ne zasebno, što autorka i sama navodi.***

## 6. MODEL STUDENTA

Poglavlje predstavlja centralni deo disertacije i opisuje iterativni razvoj modela studenta kroz tri faze.

### 6.1. Definicija i značaj modela studenta

Model studenta se definiše kao dinamička reprezentacija napretka i ovladanosti konkretnim nastavnim elementima, a ne kao statičan opis karakteristika studenta.

### 6.2. Tehnike modelovanja studenata

Obrazložen je iterativni razvoj modela, u kome je svaka faza imala poseban cilj i ukazala na ograničenja prethodnog pristupa.

### 6.3. Faza 1: Predikcija studentskog uspeha pomoću mašinskog učenja

Na 1696 studentskih zapisa iz četiri predmeta upoređeno je šest klasifikatora, pri čemu je SVM postigao najbolju prosečnu tačnost u unakrsnoj validaciji. Faza je pokazala mogućnost predikcije ishoda, ali i ograničenje agregiranog predstavljanja studenta.

6.4. Faza 2: Klasterovanje i analiza obrazaca učenja

Komparativnim klasterovanjem podataka dve institucije (BMU i FOI) identifikovani su obrasci angažovanja i pokazano je da oni zavise od nastavnog konteksta i granularnosti sadržaja, kao i da pripadnost klasteru ne opisuje dovoljno precizno stanje pojedinačnog studenta.

6.5. Faza 3: Model kontinuiranog praćenja ovladanosti nastavnim sadržajem

Konačni model ima tri sloja: ovladanost kompetencijama (kontinuirani BKT na nivou predmet – kompetencija predmeta – nivo dubine), ostvarenost nivoa i analitiku učenja sa ponašajnim tipovima formiranim isključivo iz atributa angažovanja. Jasno je definisan postupak transformacije aktivnosti provere u strukturirane dokaze, tok obrade i arhitektura modela.

**Ocena:** ***Poglavlje je metodološki najzrelije i predstavlja jezgro naučnog doprinosa disertacije. Iterativni razvoj je uverljivo obrazložen, a razdvajanje ovladanosti, ostvarenosti nivoa i ponašajnog obrasca nad istim dokazima predstavlja originalno i dobro argumentovano projektno rešenje.***

## 7. REZULTATI I DISKUSIJA

Poglavlje sadrži evaluaciju modela nastavnih materijala, modela studenta u sve tri faze i adaptivnog modela.

7.1. Evaluacija modela nastavnih materijala

Model je evaluiran kroz dve iteracije. U prvoj, studenti u OBSLO okruženju ostvarili su ukupnu stopu tačno rešenih zadataka od 75,20%, naspram 38,93% u linearnom LAMS okruženju, uz pozitivne ocene zadovoljstva. U drugoj iteraciji analiza stvarnih putanja učenja iskorišćena je za modifikaciju ontologije. Autorka korektno naglašava da su razlike deskriptivne, a ne uzročne.

7.2. Evaluacija modela studenata

Prediktivni SVM model ostvario je tačnost od 90,3% na testnom skupu, a klasterovanje je ukazalo na različite obrasce angažovanja u dve institucije. Konačni model, primenjen na predmete Uvod u softversko inženjerstvo i Objektno-orjentisano programiranje 2, pokazao je da ovladanost i ostvarenost nivoa nose različite informacije. Stabilnost je proverena analizom pragova, alternativnim ponderisanjem dokaza (promena do 0,8 procentnih poena), petostrukom unakrsnom validacijom (srednja apsolutna razlika 0,008 i 0,010) i analizom robustnosti klasterovanja (prosečna Jaccardova sličnost 0,90). Studenti su kontrolnu tablu i preporuke ocenili pozitivno.

7.3. Adaptivni model

Prikazan je postupak formiranja individualne putanje koji razlikuje pokušane slabe tačke od nepokušanih obaveznih sadržaja nivoa N1 i uključuje preduslove i osnovne varijante na osnovu ontoloških relacija. Poređenjem sa redosledom zasnovanim samo na proceni ovladanosti pokazano je da ontološko uređivanje čuva semantičke zavisnosti. Razmotrene su i mogućnosti integracije u postojeće sisteme e-učenja.

**Ocena:** ***Rezultati su prikazani detaljno, sistematično i uz odgovarajuće tabelarne i grafičke prikaze. Posebno je vredan obim provera stabilnosti i robustnosti, kao i dosledno razlikovanje dokaza o izvodljivosti i unutrašnjoj stabilnosti od dokaza o uzročnom efektu, koji nije bio predmet evaluacije.***

## 8. ZAKLJUČCI I BUDUĆI RAD

Završno poglavlje sumira rezultate istraživanja, daje odgovore na istraživačka pitanja i analizira ispunjenost ciljeva i hipoteza.

8.1. Zaključci istraživanja

Dati su sistematični zaključci i odgovori na sva četiri istraživačka pitanja, uz jasno navođenje granica svakog odgovora.

8.2. Prednosti razvijenog pristupa

Navedene su prednosti razvijenog pristupa, uz napomenu da svaku od njih treba tumačiti zajedno sa granicama evaluacije.

8.3. Nedostaci i ograničenja istraživanja

Ograničenja su obrađena izuzetno detaljno i grupisana prema vrstama validnosti (konstruktivna, interna, eksterna, validnost zaključivanja i reproduktivnost).

8.4. Budući rad

Predloženi su konkretni pravci daljeg rada, pre svega kontrolisana provera efekta preporuka, šira validacija na drugim predmetima i institucijama i nezavisna evaluacija jezički generisanih objašnjenja.

8.5. Ispunjenost ciljeva istraživanja

Pokazano je da su ciljevi istraživanja ostvareni u okviru sprovedene evaluacije.

8.6. Ispunjenost hipoteza

Opšta hipoteza i sve četiri posebne hipoteze (PH1–PH4) ocenjene su kao podržane, pri čemu je podrška hipotezi PH4 eksplicitno ograničena na značenje jednostavnije integracije definisano u odeljku 1.1.

8.7. Zaključna razmatranja

Završna razmatranja sažeto objedinjuju centralni doprinos i njegove granice.

**Ocena:** ***Zaključno poglavlje je sadržajno, kritično i intelektualno pošteno. Autorka ne preuveličava rezultate, precizno određuje granice u kojima su hipoteze podržane i daje realne i konkretne pravce budućeg istraživanja.***

## VI SPISAK NAUČNIH I STRUČNIH RADOVA KOJI SU OBJAVLJENI ILI PRIHVAĆENI ZA OBJAVLJIVANJE NA OSNOVU REZULTATA ISTRAŽIVANJA U OKVIRU RADA NA DOKTORSKOJ DISERTACIJI

1. Jović, J. L., Domazet, D. S., Zdravković, N. (2026). A Competence-Based Architecture for Personalized Adaptive Learning. *Applied Sciences*, 16, 9992. DOI: 10.3390/app16209992
2. Domazet, D. S., Jović, J. Lj. (2026). Teaching, Research and Application of AI at Belgrade Metropolitan University. *Interdisciplinary Description of Complex Systems (INDECS)*, 24(6), 761–773. DOI: 10.7906/indecs.24.6.7

3. Jović, J. Lj., Domazet, D. S., Vesić, N. O., Ranđelović, B. M., Simjanović, D. J. (2026). An Integrated AHP–Fuzzy AHP Evaluation Framework for Large Language Models in Software Engineering Education. *Mathematics*, 14, 1637. DOI: 10.3390/math14101637
4. Kisić, E., Raspopović Milić, M., Jović, J., Zdravković, N. (2026). Tracking Student Progress and Generating Personalized Recommendations Using Clustering and Explainable Artificial Intelligence. *Universal Access in the Information Society*, 25(1). DOI: 10.1007/s10209-025-01295-3
5. Jović, J., Raspopović Milić, M., Cvetanović, S. (2023). Multidimensional Concept Map Representation of the Learning Objects Ontology Model for Personalized Learning. *Journal of Internet Technology*, 24(5), 1043–1054. DOI: 10.53106/160792642023092405003
6. Conde, M. Á., Georgiev, A., López-Pernas, S., Jović, J., Crespo-Martínez, I., Raspopović Milić, M., Saqr, M., Pancheva, K. (2023). Definition of a Learning Analytics Ecosystem for the ILEDA Project Piloting. U: *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 444–453. DOI: 10.1007/978-3-031-34411-4_30
7. Grujić, A., Jović, J., Opačić, M., Kisić, E., Zdravković, N. (2025). Improving Student Engagement through Learning Analytics and Early Interventions with Learning Locker. *Proceedings of the 16th International Conference on e-Learning (eLearning-2025)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade, pp. 40–57. DOI: 10.46793/eLearning2025.040G
8. Oreški, D., Kisić, E., Jović, J., Raspopović Milić, M. (2023). Student Modeling with Clustering: Comparative Analysis of Case Studies in Two Higher Educational Institutions from Different Countries. *Proceedings of the 14th International Conference on e-Learning (eLearning-2023)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade (objavljeno i u *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 3696, pp. 45–54).
9. Jović, J., Kisić, E., Raspopović Milić, M., Domazet, D., Chandra, K. (2022). Prediction of Student Academic Performance Using Machine Learning Algorithms. *Proceedings of the 13th International Conference on e-Learning (eLearning-2022)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade, pp. 35–43 (objavljeno i u *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 3454, pp. 31–39).
10. Jović, J., Raspopović Milić, M., Domazet, D., Chandra, K. (2021). Educational Data Mining and Learning Analytics Tools for Online Learning. *Proceedings of the 12th International Conference on e-Learning (eLearning-2021)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade.
11. Jović, J., Raspopović Milić, M., Cvetanović, S., Domazet, D., Nikolić, R., Vejar, E. S. (2020). Intelligent Recommender System for Personalized Online Learning (IREP). *Proceedings of the 11th International Conference on e-Learning (eLearning-2020)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade.
12. Jović, J., Domazet, D., Raspopović Milić, M., Chandra, K. (2020). Student Model in Intelligent Tutoring Systems – A Systematic Review. *Proceedings of the 11th International Conference on e-Learning (eLearning-2020)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade, pp. 34–38.
13. Domazet, D., Jović, J., Damnjanović, M., Grković, V. (2020). Značaj informacionog sistema Univerziteta Metropolitan u obrazovnom procesu (The Importance of Using Information System at the Metropolitan University in Educational Process). *Zbornik radova XXVI skupa „Trendovi razvoja: Inovacije u modernom obrazovanju" (TREND 2020)*, Kopaonik, 16–19. februar 2020, rad T1.2-5, str. 191–194.
14. Jović, J., Raspopović Milić, M., Cvetanović, S., Chandra, K. (2019). Implementation of Machine Learning Based Methods in e-Learning Systems. *Proceedings of the*

*10th International Conference on e-Learning (eLearning-2019)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade, pp. 39–44.
15. Jović, J., Gavrilović, N., Domazet, D. (2019). Intelligent Tutoring Systems: A Systematic Review. *Proceedings of the 10th International Conference on e-Learning (eLearning-2019)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade.
16. Domazet, D., Gavrilović, N., Jović, J. (2019). Efficiency of Development of E-Learning Materials Based on Learning Objects. *Proceedings of the 10th International Conference on e-Learning (eLearning-2019)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade.
17. Jović, J., Cvetanović, S., Raspopović Milić, M., Chandra, K. (2018). Authoring Tool for Ontology Development for Online Learning. *Proceedings of the 9th International Conference on e-Learning (eLearning-2018)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade, pp. 69–74.
18. Jović, J., Cvetanović, S., Raspopović Milić, M. (2016). System for Learning Objects Retrieval in Ontology-Based Database Course. *Proceedings of the 7th International Conference on e-Learning (eLearning-2016)*, Belgrade Metropolitan University, Belgrade.

## VII ZAKLJUČCI ODNOSNO REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na osnovu integracije razvijenih modela i rezultata njihove evaluacije, istraživački ciljevi disertacije su ostvareni. Razvijen je i evaluiran ontološki model nastavnog sadržaja proširen kompetencijskim okvirom, višeslojni model studenta i adaptivni model koji stanje studenta prevodi u uređenu i sledljivu putanju učenja. Opšta hipoteza je podržana u granicama izvodljivosti i interpretabilnosti razvijenog procesa.

Sve četiri posebne hipoteze (PH1, PH2, PH3 i PH4) su podržane. Podrška hipotezi PH4 odnosi se na značenje jednostavnije integracije definisano u odeljku 1.1 disertacije: modeli su razvijeni kao modularne komponente razdvojene od konkretnog sistema za e-učenje, sa strukturiranim ulazima i izlazima, a demonstrirano je njihovo uključivanje kao dodatnog sloja nad postojećim institucionalnim sistemom, bez njegove zamene.

Hipoteze su u disertaciji definisane na sledeći način:

- **Opšta polazna hipoteza (OH):** *„Odgovarajućim modelom studenta, zasnovanim na metodama analitike učenja i algoritmima mašinskog učenja, kao i modelom nastavnog sadržaja zasnovanim na ontologiji, moguće je podržati personalizovano i adaptivno (prilagodljivo) e-učenje kroz praćenje napretka studenta, organizaciju nastavnih sadržaja i formiranje preporuka za dalje učenje.“*

  **Ocena:** Hipoteza je podržana. Ceo lanac od dokaza iz aktivnosti do procene stanja studenta i preporučenog sadržaja operacionalizovan je na stvarnim podacima dva predmeta (Uvod u softversko inženjerstvo i Objekstno-orjentisano programiranje 2).

- **Posebna hipoteza PH1:** *„Softverski sistem koji povezuje model studenta, razvijen primenom metoda analitike učenja i algoritama mašinskog učenja nad podacima o aktivnostima i rezultatima studenata u sistemu za e-učenje, i model nastavnog sadržaja, zasnovan na objektima učenja i strukturiran korišćenjem ontologije, može da podrži praćenje napretka studenta tokom učenja, kao i dinamičko određivanje i vizualizaciju nastavnog sadržaja koji se studentu preporučuje za dalji rad.“*

**Ocena:** Hipoteza je podržana. Sistem prati napredak studenta, dinamički određuje sadržaj za podršku i prikazuje ga kroz kontrolnu tablu i personalizovani prostor za učenje.

- **Posebna hipoteza PH2:** *„Analiza podataka o aktivnostima i rezultatima studenata u onlajn aktivnostima učenja, primenom metoda analitike učenja i algoritama mašinskog učenja, može podržati procenu nivoa ovladanosti određenim nastavnim sadržajem i identifikaciju delova sadržaja u kojima je studentu potrebna dodatna podrška, čime se omogućava bolje usklađivanje preporučenih sadržaja sa njegovim trenutnim stanjem učenja."*

**Ocena:** Hipoteza je podržana. Kontinuirani BKT daje stabilne procene ovladanosti (petostruka unakrsna validacija: srednja apsolutna razlika 0,008 za Uvod u softversko inženjerstvo i 0,010 za Objektno-orjentisano programiranje 2), a model razlikuje nedovoljnu ovladanost od odsustva dokaza.

- **Posebna hipoteza PH3:** *„Primena ontološkog modela za organizaciju objekata učenja može podržati proces personalizacije nastave i olakšati pronalaženje, povezivanje i vizualizaciju obrazovnih materijala."*

**Ocena:** Hipoteza je podržana. Stopa tačno rešenih zadataka u OBSLO okruženju iznosila je 75,20%, naspram 38,93% u linearnom LAMS okruženju (deskriptivno poređenje), a ontološko uređivanje putanje čuva relacije preduslova i odnose osnovnog i naprednog sadržaja.

- **Posebna hipoteza PH4:** *„Razvijeni model studenta i model nastavnog sadržaja, realizovani kao modularne komponente razdvojene od konkretnog sistema za e-učenje, mogu obezbediti jednostavniju integraciju u različite adaptivne i personalizovane kontekste e-učenja."*

**Ocena:** Hipoteza je podržana u smislu definisanom u odeljku 1.1 disertacije. Modeli su realizovani kao modularne komponente sa strukturiranim ulazima i izlazima, a demonstrirano je njihovo uključivanje kao dodatnog sloja nad postojećim institucionalnim sistemom, bez njegove zamene. Podrška ne obuhvata tvrdnju da je integracija jednostavnija i u drugim sistemima, jer konačni model nije integrisan i evaluiran na više nezavisnih LMS platformi.

Teorijski doprinos disertacije ogleda se u semantičkoj operacionalizaciji veze između objekta učenja i dokaza iz aktivnosti provere (element VERIFY) i u razdvajanju ovladanosti kompetencijama, ostvarenosti nivoa i ponašajnog obrasca. Metodološki doprinos čine postupak transformacije aktivnosti provere u strukturirane dokaze i postupak formiranja ontološki utemeljenih, sledljivih putanja učenja, uz razdvajanje adaptivne odluke od njenog jezičkog oblikovanja velikim jezičkim modelom. Praktični doprinos predstavljaju softverska implementacija sistema OBSLO, modela studenta i kontrolne table, kao i modularna arhitektura koja se može uvesti kao dodatni sloj nad postojećim sistemom za e-učenje.

Kao ograničenja istraživanja autorka navodi evaluaciju konačnog modela na dva predmeta jedne institucije, odsustvo kontrolisane provere uzročnog efekta preporuka, ograničenu količinu dokaza na nivou N3, zavisnost od kvaliteta stručnog mapiranja aktivnosti na nastavni sadržaj i neproverenu interoperabilnost sa drugim platformama. Preporuke za dalji rad, posebno kvazieksperimentalna evaluacija i primena na većem broju predmeta i institucija, realne su i neposredno proizlaze iz navedenih ograničenja.

## VIII OCENA NAČINA PRIKAZA I TUMAČENJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Način na koji su rezultati istraživanja prikazani i interpretirani u doktorskoj disertaciji pokazuje visok stepen metodološke doslednosti i istraživačke zrelosti autorke. Rezultati su prikazani redosledom koji prati razvoj artefakata, od evaluacije modela nastavnog sadržaja, preko tri faze modela studenta, do adaptivnog modela, uz jasno povezivanje sa postavljenim ciljevima, istraživačkim pitanjima i hipotezama.

Kvantitativni rezultati prikazani su kroz 27 tabela i 43 ilustracije i potkrepljeni odgovarajućim metrikama: tačnošću i matricom konfuzije prediktivnog modela, rezultatima klasterovanja, procenama ovladanosti i ostvarenosti nivoa na nivou kohorte i pojedinca, analizama osetljivosti pragova, alternativnim ponderisanjem dokaza, petostrukom unakrsnom validacijom, poređenjem kontinuirane i binarne BKT formulacije, analizom robustnosti klasterovanja i rezultatima upitnika sa proverom pouzdanosti skale (Kronbahov alfa 0,878).

Posebno treba istaći da autorka rezultate ne svodi na statističku ili prediktivnu uspešnost, već ih tumači u odnosu na nameru svakog artefakta i dosledno razlikuje dokaze o izvodljivosti, interpretabilnosti i unutrašnjoj stabilnosti od dokaza o uzročnom efektu i spoljašnjoj generalizaciji. Rezultati koji ne idu u prilog izabranim rešenjima, kao što je izostanak uniformne prediktivne prednosti kontinuirane BKT formulacije, otvoreno su prikazani i obrazloženi. Podrška hipotezi PH4 precizno je ograničena na unapred definisano značenje jednostavnije integracije, bez tvrdnje o interoperabilnosti sa drugim platformama.

Uzimajući u obzir sve navedeno, način prezentovanja i interpretacije rezultata u disertaciji je jasan, argumentovan i u skladu sa visokim akademskim standardima, a granice zaključaka su precizno određene, što dodatno potvrđuje naučnu utemeljenost rada.

## IX KONAČNA OCENA DOKTORSKE DISERTACIJE

1. Da li je disertacija napisana u skladu sa obrazloženjem navedenim u prijavi teme?

Doktorska disertacija je napisana u skladu sa obrazloženjem iz prijave teme. Kandidatkinja je dosledno sledila postavljeni predmet i ciljeve istraživanja i razvila model studenta za inteligentne sisteme e-učenja zasnovan na primeni metoda analitike učenja i algoritama mašinskog učenja, u vezi sa ontološkim modelom nastavnog sadržaja. Istraživanje je realizovano primenom metodologije nauke o projektovanju, kroz planirane faze razvoja, implementacije i evaluacije.

2. Da li disertacija sadrži sve bitne elemente?

Disertacija sadrži sve elemente koji se zahtevaju u naučnoistraživačkom radu ovog nivoa: jasno definisan problem, predmet, ciljeve, istraživačka pitanja i hipoteze, obuhvatan i savremen pregled literature sa eksplicitno određenim istraživačkim jazom, opisanu i dosledno primenjenu metodologiju, razvijene i softverski implementirane modele, empirijsku evaluaciju na stvarnim obrazovnim podacima, diskusiju rezultata, analizu ograničenja, pravce budućeg rada i odgovarajući spisak literature.

3. Po čemu je disertacija originalni doprinos nauci?

Originalni naučni doprinos disertacije ogleda se u razvoju integrisanog, sledljivog i kompetencijski zasnovanog pristupa personalizovanom e-učenju, u kome se pojedinačni dokaz iz aktivnosti provere semantički povezuje sa objektom učenja, ishodom učenja, kompetencijom i nivoom dubine, koristi za višeslojnu procenu stanja studenta i preko ontoloških relacija prevodi u uređenu i objašnjivu preporuku za dalje učenje. Posebno značajni doprinosi su operativno tumačenje elementa VERIFY, razdvajanje ovladanosti kompetencijama, ostvarenosti nivoa i ponašajnog obrasca, razlikovanje nedovoljne

ovladanosti od odsustva dokaza i razdvajanje adaptivne odluke od jezičkog oblikovanja objašnjenja. Rezultati istraživanja publikovani su u pet radova u međunarodnim časopisima (Applied Sciences, Interdisciplinary Description of Complex Systems, Mathematics, Universal Access in the Information Society i Journal of Internet Technology), jednom poglavlju u međunarodnom izdanju (Springer LNCS) i dvanaest konferencijskih radova, od čega jedanaest u zbornicima međunarodne konferencije eLearning, što potvrđuje naučnu i praktičnu relevantnost rezultata.

4. Nedostaci disertacije i njihov uticaj na rezultat istraživanja

Doktorska disertacija ne sadrži nedostatke koji bi značajno uticali na konačne rezultate istraživanja. Ograničenja, pre svega evaluacija konačnog modela na dva predmeta jedne institucije, odsustvo kontrolisane provere uzročnog efekta preporuka i neproverena integracija konačnog modela na više nezavisnih LMS platformi, kandidatkinja je sama prepoznala i detaljno obrazložila, a ona ne umanjuju valjanost zaključaka u okviru kojih su postavljeni, već određuju pravce budućeg istraživanja.

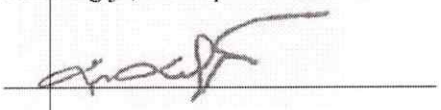
## X PREDLOG

***Na osnovu ukupne ocene disertacije kandidatkinje Jovane Lj. Jović, Komisija predlaže da se doktorska disertacija pod nazivom „Razvoj studentskih modela za inteligentne sisteme e-učenja baziranih na primeni algoritama mašinskog učenja" prihvati, a kandidatkinji odobri odbrana.***

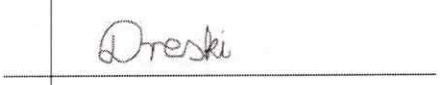
1. Prof. dr Nemanja Zdravković, vanredni profesor, predsednik komisije, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd



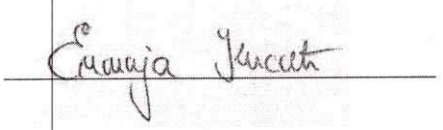
2. Prof. dr Dragan Domazet, profesor emeritus, mentor, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd



3. Prof. dr Dijana Oreški, vanredni profesor, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, Hrvatska



4. doc. dr Emilija Kisić, docent, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd



5. doc. dr Dušan Simjanović, docent, Fakultet informacionih tehnologija, Metropolitan univerzitet Beograd

