

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

Tamara K. Naumović

UPRAVLJANJE MIKROKREDENCIJALIMA
U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU
ZASNOVANO NA BLOKČEJN TEHNOLOGIJAMA

doktorska disertacija

Beograd, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Tamara K. Naumović

MANAGING MICRO-CREDENTIALS
IN HIGHER EDUCATION
BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

Mentor

prof. dr Dušan Barać, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

Članovi komisije

prof. dr Marijana Despotović – Zrakić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

prof. dr Zorica Bogdanović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

prof. dr Marko Mihić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

doc. dr Uroš Šošević, docent
Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

prof. dr Katarina Pažur Aničić, vanredni profesor
Fakultet organizacije i informatike, Univerzitet u Zagrebu, Varaždin

Datum odbrane: 202_. godine

Ovu disertaciju prvenstveno posvećujem sebi. Kao podsetnik da je borba uvek neprestana.

Hvala mami, koja me je naučila da se borim - za sebe, za prijatelje, za porodicu, za pravdu i istinu, za ljubav i prave vrednosti.

Hvala sestri, koja je moj celoživotni saborac.

Hvala bratu, koji me stalno podseća na moje vrednosti.

Hvala baki, koja je moj najveći navijač.

Hvala mom Suncu, koje je ovaj najteži period učinilo toplim, koje mi stalno ukazuje na nove perspektive, koje me je uverilo da može i drugačije.

Hvala mojim prijateljima na slobodnim ramenima za plakanje, otvorenim rukama za zagrljaje, pruženom prostoru za odmor, smejanje, razgovor i tišinu. Hvala Pekiju, Mici, Ogiju, Duletu, Miši, Joksi, Robiju, Mikiju, Eci, Tanji, Sari, Đi i Slađi.

Hvala kolegama studentima, koji su ovaj put učinili zanimljivijim i svrsishodnijim.

Hvala profesorima Katedre na podršci i smernicama tokom izrade ove disertacije br. 2.

Upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju zasnovano na blokčejn tehnologijama

Sažetak:

Predmet doktorske disertacije je razvoj modela za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju zasnovanog na blokčejn tehnologijama. Polazeći od potrebe za fleksibilnijim prepoznavanjem kompetencija stečenih kroz formalne i neformalne oblike učenja, istraživanje razmatra mikrokredencijale kao deo šireg socio-tehničkog sistema koji obuhvata obrazovne procese, različite uloge stejkholdera, institucionalne zahteve, zaštitu podataka i tehnološke mehanizme za obezbeđivanje poverenja i proverljivosti.

Centralni problem koji se razmatra u radu je ispitivanje mogućnosti integracije blokčejn tehnologija sa postojećim obrazovnim sistemima u cilju razvoja modela koji omogućava izdavanje, praćenje, verifikaciju i validaciju mikrokredencijala na transparentan, siguran i pouzdan način. Blokčejn se razmatra kao osnova za decentralizovani sistem koji rešava ključne izazove, poput autentičnosti zapisa, interoperabilnosti između institucija i integracije formalnih i neformalnih procesa učenja.

Cilj istraživanja bio je razvoj integrisanog modela upravljanja mikrokredencijalima koji povezuje kompetencije, ishode učenja i dokaze, strukturu i životni ciklus mikrokredencijala, poslovne procese i uloge ključnih stejkholdera. U okviru istraživanja identifikovane su uloge nosioca mikrokredencijala, pružaoca obrazovnih aktivnosti, izdavaoca, verifikatora i kreatora politika, kao i procesi sticanja, izdavanja, deljenja i održavanja mikrokredencijala. Posebna pažnja posvećena je mogućnosti evidentiranja i potvrđivanja kompetencija stečenih kroz neformalne i nastavne aktivnosti..

Empirijski deo istraživanja obuhvatio je ispitivanje stavova studenata i poslodavaca o vrednosti i prihvatanju mikrokredencijala. Rezultati su ukazali na značaj percipiranih koristi, poverenja, kredibiliteta izdavaoca i mogućnosti pouzdanog predstavljanja stečenih kompetencija. Na osnovu teorijskih i empirijskih nalaza razvijen je model arhitekture zasnovan na principima ugrađene bezbednosti i privatnosti, sa blokčejn tehnologijom kao decentralizovanim slojem poverenja i proverljivosti.

Predloženi model je implementiran i primenjen kroz razvoj funkcionalnog prototipa CredSeal platforme. Sistem primenjuje hibridni pristup u kojem se lični i detaljni obrazovni podaci čuvaju van blokčejn mreže, dok se kriptografski dokazi i podaci potrebni za proveru integriteta evidentiraju na Bloksberg mreži. Implementirani su procesi kreiranja šablona, prijavljivanja, izdavanja, prihvatanja, deljenja, verifikacije, opoziva i obnove mikrokredencijala, uz kontrolu vidljivosti podataka od strane njihovog nosioca. Korisničko iskustvo i upotrebljivost prototipa evaluirani su primenom USE upitnika nad različitim ulogama. Rezultati pokazuju visok nivo percipirane korisnosti, lakoće korišćenja, lakoće učenja i zadovoljstva, uz identifikovane pravce daljeg unapređenja sistema.

Rezultati disertacije pružaju osnovu za pouzdanije i transparentnije upravljanje mikrokredencijalima i povezivanje visokoškolskih ustanova, pojedinaca i tržišta rada uz očuvanje kontrole korisnika nad sopstvenim podacima.

Ključne reči: kompetencije, kredencijali, mikrokredencijali, visokoškolsko obrazovanje, upravljanje mikrokredencijalima, decentralizovani sistemi, blokčejn tehnologije, formalno i neformalno učenje

Naučna oblast: Informacioni sistemi i tehnologije

Uža naučna oblasti: Elektronsko poslovanje

Managing micro-credentials in higher education based on blockchain technologies

Abstract:

The subject of this thesis is the development of a blockchain-based model for micro-credential management in higher education. Starting from the need for more flexible recognition of competencies acquired through formal and non-formal learning, the research considers micro-credentials as part of a broader socio-technical system encompassing educational processes, different stakeholder roles, institutional requirements, data protection, and technological mechanisms for ensuring trust and verifiability.

The central problem addressed in the dissertation is the examination of possibilities for integrating blockchain technologies with existing educational systems in order to develop a model that enables the issuance, tracking, verification, and validation of micro-credentials in a transparent, secure, and reliable manner. Blockchain is considered as a foundation for a decentralized system that addresses key challenges such as record authenticity, interoperability between institutions, and the integration of formal and non-formal learning processes.

The aim of the research was to develop an integrated micro-credential management model that connects competencies, learning outcomes and evidence, the structure and lifecycle of micro-credentials, business processes, and the roles of key stakeholders. The research identified the roles of the micro-credential holder, education provider, issuer, verifier, and policy maker, as well as the processes of earning, issuing, sharing, and maintaining micro-credentials. Particular attention was devoted to the possibility of recording and validating competencies acquired through non-formal and extracurricular activities.

The empirical part of the research examined students' and employers' attitudes toward the value and adoption of micro-credentials. The results highlighted the importance of perceived benefits, trust, issuer credibility, and the ability to present acquired competencies in a reliable manner. Based on the theoretical and empirical findings, an architectural model was developed following the principles of security-by-design and privacy-by-design, with blockchain technology serving as a decentralized layer of trust and verifiability.

The proposed model was implemented and applied through the development of a functional prototype of the CredSeal platform. The system employs a hybrid approach in which personal and detailed educational data are stored *off-chain*, while cryptographic proofs and the data required for integrity verification are recorded on the bloxberg network. The implemented processes include template creation, application, issuance, acceptance, sharing, verification, revocation, and renewal of micro-credentials, while enabling holders to control the visibility of their data. The user experience and usability of the prototype were evaluated using the USE questionnaire across different user roles. The results indicate high levels of perceived usefulness, ease of use, ease of learning, and satisfaction, while also identifying directions for further system improvement.

The results of the dissertation provide a foundation for more reliable and transparent micro-credential management and for strengthening connections between higher education institutions, individuals, and the labor market while preserving users' control over their own data.

Keywords: competencies, credentials, micro-credentials, higher education, micro-credential management, decentralized systems, blockchain technologies, formal and non-formal learning

Scientific field: Information Systems and Technologies

Scientific subfield: E-business

Sadržaj

1	Uvod.....	1
1.1	Definisanje predmeta i cilja istraživanja.....	1
1.2	Polazne hipoteze	5
1.3	Metodologija istraživanja	6
1.4	Struktura i organizacija rada	8
2	Upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju.....	10
2.1	Pojam i upravljanje kompetencijama.....	10
2.2	Pedagoški pristupi za sticanje kompetencija u visokoškolskom obrazovanju	11
2.3	Prepoznavanje i validacija stečenih kompetencija	12
2.4	Upravljanje kredencijalima i mikrokredencijalima.....	14
2.5	Analiza stejkholdera u procesu upravljanja mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju 18	
3	Primena blokčejn tehnologija i decentralizovanih infrastruktura poverenja u obrazovanju	20
3.1	Blokčejn koncepti.....	20
3.2	Konsenzus algoritmi.....	20
3.3	Pametni ugovori	21
3.4	Analiza blokčejn platformi.....	22
3.5	Tokenizacija	1
3.6	Primena blokčejn tehnologija u visokoškolskom obrazovanju i upravljanju mikrokredencijalima 3	
3.7	Upravljanje identitetima	5
3.8	Privatnost i bezbednost u sistemima decentralizovanih kredencijala.....	6
4	Razvoj modela za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju primenom blokčejn tehnologija	8
4.1	Analiza postojećih modela.....	8
4.2	Analiza referentnih okvira kvalifikacija i kompetencija	9
4.3	Modelovanje mape stejkholdera	11
4.4	Modelovanje decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima 12	
4.5	Modelovanje poslovnih procesa	14
4.6	Modelovanje podataka	19
4.6.1	Konceptualni model podataka	19
4.6.2	Logički model podataka.....	24
4.6.3	Model metapodataka mikrokredencijala.....	34
4.6.4	Model kompetencija, ishoda učenja i dokaza	40
4.6.5	Hibridni model čuvanja podataka i zaštite privatnosti	45
4.7	Modelovanje infrastrukture i arhitekture decentralizovanog sistema.....	48
4.8	Modeliranje metrika za ocenu performansi razvijenog sistema	51
4.9	Metodološki postupak primene i evaluacije razvijenog sistema.....	53

4.9.1	Primena sistema u neformalnom obrazovanju.....	54
4.9.2	Primena sistema u formalnom obrazovanju.....	56
4.10	Poslovni model i održivost sistema.....	59
5	Implementacija modela.....	62
5.1	Projektovanje softverskog sistema.....	62
5.1.1	Analiza zahteva i tehnološki okvir sistema.....	62
5.2	Arhitektura sistema i softversko modelovanje.....	65
5.2.1	Dijagram konteksta.....	65
5.2.2	Dijagram kontejnera.....	66
5.2.3	Dijagram komponenti.....	67
5.3	Fizički model podataka i implementacija baze podataka.....	68
5.4	Razvoj pametnih ugovora za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima.....	70
5.4.1	Pametni ugovori.....	72
5.4.2	Struktura zapisa na blokčejn mreži.....	73
5.4.3	Sidrenje šablona i kredencijala.....	75
5.4.4	Provera, opoziv i ograničenja implementacije.....	77
5.5	Razvoj decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima.....	80
5.5.1	Autentifikacija i upravljanje korisničkim ulogama.....	81
5.5.2	Implementacija korisničkih portala.....	82
5.5.3	Tehnička realizacija zaštite podataka i javnog pristupa.....	90
5.5.4	Ograničenja implementiranog aplikacionog sloja.....	91
6	Primena razvijenog modela i analiza rezultata.....	92
6.1	Ispitivanje spremnosti stejkholdera.....	92
6.1.1	Istraživački model.....	95
6.1.2	Procedura istraživanja.....	97
6.1.3	Instrumenti.....	97
6.1.4	Analiza rezultata istraživanja.....	99
6.1.5	Diskusija.....	103
6.2	Evalvacija upotrebljivosti i korisničkog iskustva razvijene platforme.....	104
6.2.1	Cilj istraživanja i uzorak.....	104
6.2.2	Procedura istraživanja.....	105
6.2.3	Instrumenti.....	105
6.2.4	Analiza rezultata istraživanja.....	107
6.2.5	Ograničenja.....	110
7	Implikacije.....	112
8	Naučni doprinosi.....	116
9	Buduća istraživanja.....	119
10	Zaključak.....	121
11	Izjava o korišćenju generativne veštačke inteligencije.....	124

12	Literatura.....	125
13	Spisak ilustracija	142
14	Spisak slika.....	143
15	Spisak tabela	144
16	Prilozi.....	146
	Prilog 1 Anketa Spremnost stejkholdera na usvajanje mikrokredencijala	146
	Prilog 2 Anketa Evaluacija korisničkog iskustva i upotrebljivosti platforme za mikrokredencijale	148
17	Biografija.....	150

1 Uvod

1.1 Definisanje predmeta i cilja istraživanja

Predmet istraživanja ove disertacije je upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju zasnovano na blokčejn tehnologijama. Centralni problem koji se razmatrao u disertaciji je ispitivanje mogućnosti primene veb3 i specifično blokčejn tehnologija za praćenje kompetencija studenata i upravljanje mikrokredencijalima stečenim tokom visokoškolskog obrazovanja kroz formalne i neformalne procese obrazovanja.

U ovoj disertaciji pojam mikrokredencijala primarno se razmatra u skladu sa Preporukom Saveta Evropske Unije [1] o evropskom pristupu mikrokredencijalima za celoživotno učenje i zapošljivost, prema kojoj mikrokredencijal predstavlja zapis o ishodima učenja ostvarenim kroz mali obim učenja, procenjenim prema transparentnim i jasno definisanim standardima. Ovako postavljen konceptualni okvir omogućava razmatranje mikrokredencijala stečenih kroz formalne, neformalne i druge oblike učenja. Njegova primena u sistemu visokog obrazovanja Republike Srbije naknadno se razmatra u poglavlju 4.9, kroz usklađivanje sa Zakonom o visokom obrazovanju [2] i pravilnikom kojim su uređeni uslovi, realizacija i verifikacija mikrokredencijala [3].

Mikrokredencijali predstavljaju inovativno rešenje koje odgovara na savremene izazove u obrazovanju i tržištu rada, omogućavajući studentima da steknu, evidentiraju i verifikuju specifične kompetencije stečene kroz formalno i neformalno učenje [4]. U kontekstu ovog istraživanja, mikrokredencijali su ključni za izgradnju sistema koji obezbeđuje validnost, prenosivost i prepoznatljivost stečenih veština, posebno u eri digitalne transformacije i zahteva za kontinuiranim obrazovanjem. Tradicionalne diplome i sertifikati često ne uspevaju da obuhvate sve relevantne kompetencije studenata, dok mikrokredencijali pružaju fleksibilniji i brži način za dokumentovanje znanja i veština. Njihova primena omogućava lakšu integraciju sa postojećim obrazovnim i profesionalnim okvirima, čime se doprinosi boljem prepoznavanju kvalifikacija i unapređenju zapošljivosti.

Blokčejn (eng. *blockchain*) je deljena, distribuirana i decentralizovana baza podataka (eng. *distributed ledger*) koja omogućava čuvanje zapisa o transakcijama i praćenje imovine u okviru mreže [5]. Imovina u ovom slučaju podrazumeva krovni termin za opipljiva (kuća, automobil, novac, zemljište, roba) i neopipljiva (intelektualna svojina, patent, kompetencije) dobra [5]. Uvođenjem blokčejn tehnologije u sistem upravljanja mikrokredencijalima dodatno se osigurava transparentnost, bezbednost i autentičnost ovih digitalnih zapisa, čime se eliminišu izazovi vezani za verifikaciju i priznavanje sertifikata. Ovaj pristup ne samo da unapređuje upravljanje kompetencijama, već i podstiče institucionalnu saradnju, omogućavajući povezivanje visokoškolskih ustanova, poslodavaca i studenata u jedan integrisani ekosistem za doživotno učenje i profesionalni razvoj.

Razvoj digitalnih tehnologija i promena potreba za znanjima i veštinama podstakli su širu primenu fleksibilnih oblika obrazovanja, uključujući onlajn i hibridno učenje, kratke obrazovne programe i druge oblike formalnog i neformalnog učenja [6]–[8]. Ovakvi programi često su usmereni na sticanje specifičnih znanja i kompetencija u kraćem vremenskom periodu i prilagođeni su potrebama pojedinaca i tržišta rada. Po njihovom završetku polaznici mogu dobiti različite vrste sertifikata ili potvrda koje izdaju obrazovne institucije, organizacije ili pružaoci programa. Međutim, njihovo priznavanje i vrednovanje izvan konteksta u kojem su stečeni često je ograničeno usled neujednačenih standarda, različitog kvaliteta programa i nedostatka pouzdanih mehanizama za proveru stečenih kompetencija [9]–[11].

Da bi se stvorio način da ove sertifikacije dobiju priznanje, Savet Evropske Unije je 16. juna 2022. dostavio preporuku za mikrokredencijale za doživotno učenje i zapošljivost [1]. Ključne tačke ove preporuke uključuju:

- Zahteve za kontinualnim obrazovanjem: Sa ubrzanim procesima digitalne i zelene transformacije raste potreba da pojedinci kontinuirano stiču i unapređuju svoje kompetencije tokom celokupnog radnog veka. Digitalna transformacija odnosi se na širu primenu digitalnih tehnologija i promene koje one izazivaju u načinu rada, poslovanja i pružanja usluga [12], dok zelena transformacija [13]

podrazumeva prelazak ka održivijoj, resursno efikasnijoj i klimatski neutralnijoj ekonomiji. Ovaj kontekst nameće potrebu za inovativnim pristupima koji omogućavaju kontinualno usavršavanje.

- Definisanje koncepta mikrokredencijala: Mikrokredencijali predstavljaju evidenciju o ishodima učenja koje je student stekao u okviru nekog studijskog programa, formalnog ili neformalnog procesa obrazovanja. Bez zamene tradicionalnih kvalifikacija. Oni pružaju fleksibilnost i odgovaraju na novonastale zahteve u društvenom i profesionalnom domenu.
- Ciljeve i politike Evropske Unije: Ova preporuka korespondira sa Evropskim stubom socijalnih prava (eng. *European Pillar of Social Rights* – EPSR) [14] i teži ostvarenju cilja da do 2030. godine 60% odraslih učestvuje u programima obuke svake godine, osiguravajući kvalitet i transparentnost mikrokredencijala na nivou čitavog evropskog prostora.
- Podsticanje institucionalne saradnje: Preporuka poziva na saradnju između visokoškolskih ustanova, ustanova za stručno obrazovanje i drugih pružalaca obrazovnih programa.

Ovaj pristup nastoji da uspostavi koordinisani okvir koji gradi poverenje u mikrokredencijale i podržava pojedince u prilagođavanju modernim zahtevima tržišta rada, čime se doprinosi socio-ekonomskoj stabilnosti i održivom razvoju. Preporuka je bliže definisala značenja pojma „mikrokredencijali“, predstavila potrebne elemente za njihov opis i identifikovala glavne principe za njihovo definisanje, izdavanje i korišćenje.

U cilju boljeg razumevanja koncepta mikrokredencijala i modelovanja sistema za upravljanje mikrokredencijalima, potrebno je korišćenje standardizovanog rečnika pojmova. Naučna i stručna literatura razlikuje pojmove kompetentnosti i kompetencija, gde se prvi vezuje za radne zadatke i tehničke aspekte rada, a drugi za ponašanje [15]. U ovoj doktorskoj disertaciji biće korišćen IEEE standard za tehnologije učenja [16], koji definiše sledeće pojmove:

- kompetentnost (eng. *competence*) – nivo sposobnosti potreban za obavljanje zadatka ili aktivnosti,
- kompetencija (eng. *competency*) – skup veština i ponašanja potrebnih za obavljanje zadatka ili aktivnosti u određenom kontekstu

Dodatno, kredencijali kao pojam se definišu kao dokument izdat od strane odgovornog i ovlašćenog tela koje je utvrdilo da je pojedinac postigao specifične ishode učenja u odnosu na dati standard [17]. Kredencijal u ovom kontekstu je krovni termin koji uključuje diplome određenog stepena akademskih studija, druge diplome, licence, sertifikate, značke i profesionalne/industrijske sertifikate [18].

Kako se mikrokredencijali odnose na evidenciju ishoda učenja i potvrđivanje stečenih kompetencija u okviru različitih procesa obrazovanja, ova doktorska disertacija će se bazirati na formalnim okvirima kompetencija kao što su [19]–[21]. Pomenuti različiti procesi obrazovanja mogu se odnositi na formalne, neformalne i informalne (eng. *informal*) [1]. Ovo je posebno značajno, jer iako informalno učenje ne dovodi direktno do sticanja mikrokredencijala, može se uzeti u obzir prilikom validacije i identifikacije ishoda učenja pojedinca. Informalno učenje podrazumeva učenje koje je rezultat svakodnevnih aktivnosti vezanih, bilo privatnih ili poslovnih, i nije organizovano ili strukturirano u smislu ciljeva, vremena ili podrške učenju; može biti nenamerno iz perspektive učenika [22]. Primeri ishoda učenja stečenih kroz informalno učenje definisani preporukama za validaciju neformalnog i informalnog učenja [22] su veštine stečene životnim i radnim iskustvom, veštine upravljanja projektima ili IKT (informaciono-komunikacione tehnologije) veštine stečene na poslu, naučeni jezici i interkulturalne veštine stečene tokom boravka u drugoj zemlji, IKT veštine stečene van posla, veštine stečene kroz volontiranje, kulturne aktivnosti, sport, omladinski rad i kroz aktivnosti kod kuće.

U odnosu na informalno učenje, neformalni procesi obrazovanja se baziraju na jasno definisanim ciljevima učenja [23], vremenskom periodu i podršci tokom učenja [1], [22]. Neformalno učenje je polustrukturirano učenje, ugrađeno u planirane aktivnosti koje ne moraju biti eksplicitno označene kao učenje, ali sadrže važan element učenja [24]. Specifičnije, neformalno učenje je bilo koja organizovana, sistematična, edukativna aktivnost koja se izvodi kroz specifičan model učenja, a van formalnih okvira [25][26].

Konačno, formalno učenje se može definisati kao strukturirani proces učenja koji se odvija u organizovanom i institucionalizovanom okruženju, poput škola, univerziteta i drugih obrazovnih institucija [25], [26]. Formalno učenje je bazirano na ciljevima učenja koji su organizovani u linearnu progresiju [25], što zahteva specifične metode izvođenja nastave, davanja povratnih informacija i korektivnih akcija [27]. Ono je namerno i svesno kako od strane nastavnika ili edukatora, tako i od strane studenta ili učesnika [28], [29]. Takođe, formalno učenje rezultuje sertifikacijom i priznanjem kroz zvanične diplome ili kvalifikacije [25], [30], [31].

Imajući prethodno u vidu, ova disertacija se fokusirala na procese učenja i definisanje modela za upravljanje mikrokredencijalima stečenim kroz ove procese, i dala predlog okvira za primenu razvijenog modela u formalnom procesu obrazovanja. Neformalni procesi učenja koji su bili posmatrani u ovom istraživanju, odnose na specifične modele učenja unutar formalnog procesa, ali i kao nezavisne procese, kao što su učenje zasnovano na problemu (eng. *problem-based learning* – PBL) [32]–[37], projektno zasnovano učenje (eng. *project-based learning* – PjBL) [32], [38]–[42], učenje zasnovano na igri (eng. *game-based learning* – GBL) [43]–[46], učenje kroz studije slučaja (eng. *case-based learning* – CBL) [32], [47]–[50], učenje kroz izazove (eng. *challenge-based learning* – ChBL) [51]–[58], preduzetničko učenje [37], [53], [59]–[61], učenje zasnovano na radu (eng. *work-based learning* – WBL, ili *work-integrated learning* – WIL) [62]–[68] i dr. Navedeni modeli učenja postavljaju studenta u centar i omogućavaju personalizovano učenje i sticanje veština i kompetencija. Pored toga, što se ovi modeli koriste u formalnom procesu obrazovanja, kroz obavezne ili dodatne nastavne aktivnosti [69]–[73], vannastavne aktivnosti studenata, kao deo neformalnog i informalnog učenja, u velikoj meri doprinose sticanju različitih kompetencija [74]–[76]. Vannastavne aktivnosti studenata podrazumevaju učešća u radu studentskih organizacija, u preduzetničkim aktivnostima, na različitim takmičenjima (hakatoni, studije slučaja, debate, i dr.), na konferencijama i panel diskusijama, edukativnim radionicama, i dr.

Validnost, prenosivost i neporecivost stečenih kompetencija kroz navedene oblike obrazovanja, predstavlja centralni problem preporuka o mikrokredencijalima za celoživotno učenje i zapošljivost [1]. Jedan od načina prevazilaženja ovog problema, može se postići upotrebom blokčejn tehnologija.

Ključni elementi i prednosti blokčejna su: distribuiranost, nepromenljivost, transparentnost i sigurnost – što implicira da je svaki zapis u okviru blokčejn mreže dostupan svim korisnicima mreže i ne može biti promenjen. Jedina promena koja se može desiti u okviru blokčejn mreže je upisivanje novog zapisa [77]. Blokčejn tehnologija sprečava zloupotrebe kao što su falsifikovanje i poricanje sadržaja jer čuva celokupan zapis podataka u obliku vremenski obeleženih i međusobno povezanih blokova [78]. Zbog prednosti koje sa sobom donosi, blokčejn tehnologije su našle primenu u različitim oblastima kao što su [79] saobraćaj [80]–[82], pametna okruženja [56], [83]–[88], finansije [89]–[93], sigurnost i zaštita podataka [86], [94]–[96], zdravlje [96]–[99], infrastruktura i servisi e-uprave [100]–[104], obrazovanje [105]–[112].

Blokčejn tehnologije se sve više istražuju u pogledu svojih potencijalnih primena u visokoškolskom obrazovanju, nudeći rešenja za dugotrajna pitanja oko verifikacije kredencijala, bezbednosti podataka i privatnosti studenata:

- **Praćenje dostignuća studenata uz zaštitu privatnosti:** blokčejn nudi sigurne i decentralizovane načine upravljanja i provere autentičnosti zapisa i postignuća studenata, što povećava transparentnost i pouzdanost [105][106]. Ovo omogućava institucijama da održavaju pouzdane evidencije koje su zaštićene od neovlašćenih radnji u koje poslodavci i druge institucije mogu verovati. Blokčejn takođe podržava zaštitu intelektualne svojine, omogućavajući bezbedno deljenje obrazovnog sadržaja uz poštovanje prava kreatora sadržaja.
- **Decentralizovani obrazovni sistemi:** blokčejn može da stvori *peer-to-peer* model obrazovanja, gde se zapisi bezbedno distribuiraju među studentima, podstičući otvorenije i pristupačnije okruženje za učenje. Pametni ugovori, mogu olakšati proces edukacije automatizacijom sistema ocenjivanja i sertifikacije. Ovo ne samo da smanjuje administrativne troškove, već i osigurava poštovanje dogovorenih standarda za obrazovne rezultate [107].
- **Provera mikrokredencijala i interoperabilnost:** blokčejn tehnologije pružaju efikasan način za validaciju i upravljanje mikrokredencijalima, čineći proces bržim i pouzdanijim [111].

Korišćenjem blokčejna, institucije mogu da skladište detaljne informacije o mikrokredencijalima na pristupačan i bezbedan način, poboljšavajući kredibilitet takvih kredencijala, bez komplikovanih administrativnih procesa tipičnih za tradicionalne metode validacije, pre svega u segmentu validacije između različitih institucija, pa i različitih obrazovnih sistema.

Blokčejn tehnologije imaju potencijal da unaprede procese u visokom obrazovanju, posebno u oblasti verifikacije kredencijala, upravljanja evidencijama i razmene podataka između različitih aktera. Međutim, njihova šira primena u obrazovanju i sistemima mikrokredencijala i dalje je ograničena brojnim izazovima [113], među kojima se izdvajaju interoperabilnost sa postojećim informacionim sistemima i standardima, zaštita privatnosti i ličnih podataka, upravljanje digitalnim identitetima i kriptografskim ključevima, skalabilnost i troškovi implementacije, kao i pitanja upravljanja, institucionalne odgovornosti i prihvatanja od strane korisnika. Zbog toga je potrebno kontinuirano istraživanje kako bi se rešili ovi problemi i dalje razvili okviri za obrazovni sistem zasnovan na blokčejnu.

Cilj istraživanja ove disertacije je razvoj sveobuhvatnog i višedimenzionalnog modela za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju primenom blokčejn tehnologija. Model treba da unapredi postojeće prakse kada su u pitanju mikrokredencijali, omogući integraciju sa postojećim komponentama formalnih i neformalnih sistema obrazovanja, omogući nove poslovne modele za obrazovne institucije i motiviše studente, nastavno osoblje, visokoškolske ustanove, i druge stejkholdere, na celoživotno obrazovanje.

Blokčejn tehnologije su se u predloženom modelu koristile za razvoj sigurne platforme za čuvanje i razmenu podataka o stečenim kompetencijama studenata, kao i validaciju stečenih kompetencija kroz mikrokredencijale. Takođe, platforma omogućava olakšano izdavanje, verifikaciju i upravljanje mikrokredencijalima studenata, stečenih kroz različite oblike visokoškolskog obrazovanja, formalne i neformalne. Nakon što se podaci o stečenim kompetencijama i izdatim mikrokredencijalima studenata zabeleže, nijedna strana ih više ne može poreći ili promeniti.

U okviru razvijenog modela za upravljanje mikrokredencijalima u ovoj disertaciji, glavni učesnici i stejkholderi su studenti, nastavno i nenastavno osoblje i visokoškolska ustanova koja izdaje mikrokredencijale. Sve stečene kompetencije i mikrokredencijali studenta validirani su kroz pametne ugovore na Bloksberg (eng. *Bloxberg*) [114] blokčejn platformi.

Primena blokčejn tehnologija omogućuje da upravljanje mikrokredencijalima studenata postane deo procesa razvoja karijere. Mikrokredencijali i stečene kompetencije na ovaj način mogu biti dostupni zainteresovanim poslodavcima, ali i drugim visokoškolskim ustanovama. Shodno tome, identifikovani su sekundarni stejkholderi u ovom procesu, i to poslodavci, druge visokoškolske ustanove, partneri visokoškolske ustanove i kompanije.

Institucionalna podrška i praćenje razvoja karijere studenata tokom studija su već uspostavljeni procesi u brojnim visokoškolskim ustanovama [115]–[117]. Ovi procesi podrazumevaju različite mehanizme usmerene ka profesionalnom razvoju studenata, kao što su programi karijernog vođenja, savetodavne usluge i uspostavljanje kontakata sa potencijalnim poslodavcima. Međutim, i pored ovih napora, postoji potreba za integrisanim i sistemskim pristupom koji bi omogućio dugoročnu i sveobuhvatnu podršku studentima tokom celokupnog procesa njihovog razvoja, od upisa do zaposlenja. Model razvijen u ovoj disertaciji teži da unapredi postojeći sistem podrške, omogućavajući sveobuhvatno i kontinuirano praćenje karijernog razvoja studenata. Ovaj pristup predviđa integraciju različitih alata i metoda za praćenje individualnog napretka, procenu stečenih kompetencija, izdavanje kredencijala i mikrokredencijala za stečene kompetencije, kao i identifikaciju potreba za daljim profesionalnim razvojem.

U toku istraživanja realizovane su sledeće aktivnosti:

- pregled literature u oblasti primene i razvoja mikrokredencijala sa posebnim osvrtom na upotrebu u visokoškolskom obrazovanju,
- pregled literature u oblasti praćenja kompetencija studenata,
- analiza relevantnih okvira kompetencija,

- pregled literature u oblasti veb3 tehnologija sa posebnim osvrtom na blokčejn tehnologije i decentralizovane sisteme za praćenje kompetencija studenata,
- analiza dosadašnjih rezultata i specifikacija otvorenih problema,
- identifikacija stejkholdera i analiza spremnosti stejkholdera za korišćenje decentralizovanog sistema za praćenje kompetencija i upravljanje mikrokredencijalima studenata,
- razvoj modela za praćenje kompetencija studenata i upravljanje mikrokredencijalima baziran na decentralizovanim sistemima,
- modeliranje poslovnih procesa za praćenje kompetencija studenata i upravljanje mikrokredencijalima,
- projektovanje i implementacija decentralizovanog softverskog sistema za izdavanje, verifikaciju i upravljanje mikrokredencijalima,
- testiranje i evaluacija decentralizovanog sistema, uz definisanje cilja studije, prikupljanje i analizu podataka,
- sprovođenje eksperimenta i analiza rezultata

Aktivnosti vezane za razvoj softverskog sistema realizovane su po ISO/IEC TR 19759:2016 standardu i SWEBOOK metodologiji [118], [119]:

- definisanje zahteva softverskog sistema – definisanje softverskih i procesnih zahteva, analiza zahteva, specifikacija i validacija, selekcija alata za praćenje softverskih zahteva
- dizajn softverskog sistema – definisanje strukture i arhitekture softverskog sistema, definisanje korisničkog interfejsa, strategija i metoda za dizajn softvera
- razvoj softverskog sistema – odabir alata i tehnologija za razvoj softvera, odabir blokčejn platforme, razvoj softverskog sistema na osnovu predloženog dizajna, dokumentacija softverskog sistema, definisanje i odabir alata za testiranje softvera
- testiranje softvera – definisanje slučajeva testiranja, odabir tehnike za testiranje, definisanje procesa evaluacije testova, testiranje definisanih slučajeva, evaluacija softverskog sistema
- održavanje softvera – monitoring sistema, definisanje procesa modifikacije softverskog sistema, modifikacija sistema u slučaju grešaka, modifikacija sistema na osnovu zahteva za unapređenjem/promenom, dokumentacija procesa održavanja

1.2 Polazne hipoteze

Na osnovu definisanog predmeta i ciljeva istraživanja, u doktorskoj disertaciji biće ispitane sledeće hipoteze:

H.1 Predloženi model za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju doprinosi boljoj verifikaciji, kao i validaciji i priznavanju kompetencija stečenih kroz neformalno obrazovanje i pomaže u razvoju karijere i procesu zapošljavanja studenata.

H.2 Predloženi model za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju omogućava efektivnu integraciju kompetencija studenata stečenih kroz formalne i neformalne oblike obrazovanja.

H.3 Adekvatan balans između anonimnosti i transparentnosti na blokčejn mreži pozitivno utiče na spremnost stejkholdera za prihvatanje decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima studenata visokoškolskih ustanova.

H.4 Primena blokčejn tehnologija u upravljanju mikrokredencijalima studenata može da doprinese povećanju pouzdanosti, integriteta i javne proverljivosti informacija o kompetencijama i mikrokredencijalima studenata, uz odgovorno upravljanje ličnim podacima.

H.5 Integracijom razvijenog modela upravljanja mikrokredencijalima sa sistemima za upravljanje učenjem unapređuje se proces praćenja i validacije kompetencija studenata.

1.3 Metodologija istraživanja

Istraživanje sprovedeno u okviru ove disertacije zasniva se na kombinovanju teorijskih, empirijskih i razvojnih istraživačkih pristupa. Analiza i sinteza postojeće literature korišćene su za sistematizaciju teorijskih koncepata, identifikaciju postojećih modela i rešenja i utvrđivanje istraživačkog jaza. Empirijski deo istraživanja usmeren je na ispitivanje percepcija, potreba i spremnosti ključnih stejkholdera za prihvatanje mikrokredencijala, dok je razvojni deo usmeren na projektovanje, implementaciju i evaluaciju modela i informacionog sistema za upravljanje mikrokredencijalima.

Metodološki pristup kombinuje bihevioralnu nauku i nauku o dizajnu (eng. *Design Science Research* – DSR). Prema [120], bihevioralni pristup u istraživanju informacionih sistema usmeren je na razvoj i proveru teorija kojima se objašnjavaju ili predviđaju pojave povezane sa ljudima, organizacijama i tehnologijom, dok je DSR usmeren na razvoj i evaluaciju artefakata namenjenih rešavanju relevantnih problema. U ovoj disertaciji bihevioralna komponenta primenjena je prvenstveno u empirijskom ispitivanju percepcije i spremnosti stejkholdera, dok je DSR pristup korišćen za razvoj i evaluaciju modela, metodoloških postupaka i informacionog sistema za upravljanje mikrokredencijalima.

Istraživanje je realizovano kroz više međusobno povezanih faza prikazanih u Tabeli 1. Za svaku fazu navedene su osnovne aktivnosti, korišćene metode, ostvareni rezultati i povezanost sa polaznim hipotezama. Povezanost sa hipotezama označava deo istraživanja koji obezbeđuje teorijske, empirijske ili razvojne nalaze relevantne za njihovo razmatranje, dok se konačna ocena hipoteza izvodi sintezom rezultata sprovedenih istraživanja.

Tabela 1 Hodogram istraživanja¹

Faza istraživanja	Aktivnosti	Metode	Ključni rezultat	Povezanost sa hipotezama
1. Teorijska analiza i identifikacija problema	Analiza kompetencija, mikrokredencijala, formalnog i neformalnog učenja, blokčejn tehnologija i regulatornog okruženja	Analiza i sinteza literature, komparativna analiza	Teorijska osnova, istraživački jaz i početni zahtevi modela	H.1–H.5
2. Analiza postojećih modela i ekosistema	Analiza modela upravljanja MK, stejkholdera, njihovih uloga, procesa i vrednosnih tokova	Komparativna analiza, analiza stejkholdera, modeliranje poslovnih procesa	Zahtevi za razvoj modela i procesni okvir	H.1, H.2, H.5
3. Ispitivanje spremnosti stejkholdera	Ispitivanje koristi, odricanja, poverenja, percipirane vrednosti i namere usvajanja kod studenata i poslodavaca	Anketiranje, prošireni VAM, PLS-SEM, deskriptivna statistika, t-test	Empirijski nalazi o faktorima prihvatanja mikrokredencijala	H.1, H.2; nalazi relevantni za H.3
4. Razvoj modela i metodoloških postupaka	Definisanje strukture MK, metapodataka, životnog ciklusa, procesa, arhitekture, metodologije izdavanja, poslovnog modela i institucionalnog uvođenja	Modeliranje, BPMN, analiza standarda i regulative, arhitektonsko i poslovno modeliranje	Integrirani model upravljanja MK, metodološki postupci i poslovni model	H.1–H.5

¹ Skraćenice korišćene u Tabeli 1:

- Model usvajanja zasnovan na vrednosti (eng. *Value-Based Adoption Model* – VAM)
- Modelovanje strukturnim jednačinama metodom parcijalnih najmanjih kvadrata (eng. *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* – PLS-SEM)
- Notacija za modelovanje poslovnih procesa (eng. *Business Process Model and Notation* – BPMN)
- Nauka o dizajnu (eng. *Design Science Research* – DSR)
- Model softverske arhitekture zasnovan na nivoima konteksta, kontejnera, komponenti i koda (eng. *Context, Containers, Components and Code* – C4)
- Upitnik za procenu korisnosti, zadovoljstva i lakoće korišćenja (eng. *Usefulness, Satisfaction and Ease of Use* – USE)
- Mikrokredencijal – MK

5. Implementacija sistema	Projektovanje baze podataka, aplikacione arhitekture, pametnih ugovora i razvoj platforme	Metode softverskog inženjerstva, C4, BPMN, razvoj pametnih ugovora	Funkcionalni prototip CredSeal	H.2, H.4; arhitektonska osnova za H.5
6. Evaluacija razvijenog sistema	Provera funkcionalnosti i korisnička evaluacija	Funkcionalno testiranje, scenariji korišćenja, USE upitnik, deskriptivna analiza	Procena upotrebljivosti i identifikovanje mogućnosti unapređenja	Evaluacija praktične primenljivosti razvijenog artefakta
7. Sinteza rezultata	Povezivanje teorijskih, empirijskih i razvojnih nalaza	Analiza i sinteza	Zaključci, ocena hipoteza i naučni doprinosi	H.1–H.5

Razvojni deo istraživanja dodatno je strukturiran prema DSR pristupu. Ovaj pristup polazi od identifikovanog problema i kroz razvoj i evaluaciju artefakata nastoji da ponudi rešenje koje istovremeno poseduje praktičnu vrednost i naučnu utemeljenost [120]. Proces se može sagledati kroz tri međusobno povezana ciklusa: ciklus relevantnosti, ciklus rigoroznosti i ciklus dizajna [121].

Ciklus relevantnosti povezuje istraživanje sa problemima i zahtevima okruženja. U ovoj disertaciji zahtevi su izvedeni iz analize postojećih modela i sistema za upravljanje mikrokredencijalima, regulatornog i institucionalnog konteksta visokog obrazovanja, analize stejkholdera i njihovih procesa, kao i empirijskog istraživanja studenata i poslodavaca. Rezultati razvoja vraćeni su u korisničko okruženje kroz evaluaciju funkcionalnog prototipa.

Ciklus rigoroznosti obezbeđuje oslanjanje procesa razvoja na postojeću bazu znanja. Model i metodološki postupci razvijeni su na osnovu teorijskih rezultata iz oblasti mikrokredencijala, kompetencija, validacije formalnog i neformalnog učenja, blokčejn tehnologija, decentralizovanog identiteta i proverljivih kredencijala. Dodatnu osnovu činili su relevantni evropski i nacionalni regulatorni okviri, standardi, principi ugrađene bezbednosti i privatnosti, kao i metode razvoja i evaluacije informacionih sistema.

Ciklus dizajna predstavlja iterativni proces razvoja i evaluacije artefakata. Na osnovu identifikovanih zahteva razvijeni su model upravljanja mikrokredencijalima, odgovarajući metodološki postupci i arhitektura sistema, nakon čega je izvršena implementacija kroz prototip CredSeal. Funkcionalnom i korisničkom evaluacijom proveravana je primenljivost razvijenog rešenja, a rezultati evaluacije korišćeni su za identifikovanje njegovih ograničenja i mogućnosti daljeg unapređenja.

U skladu sa DSR pristupom, rezultati istraživanja sprovedenog u okviru ove disertacije mogu biti predstavljeni u obliku konstrukata, modela, metoda i implementiranih rešenja [120]. Njihova primena u okviru ove disertacije prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2 DSR artefakti razvijeni u okviru disertacije

Vrsta artefakta	Primena u disertaciji
Konstrukti	Elementi kojima je formalizovan domen upravljanja mikrokredencijalima: uloge stejkholdera, kompetencije, ishodi učenja, dokazi, metapodaci, statusi i životni ciklus mikrokredencijala
Modeli	Integrisani konceptualni i procesni model upravljanja mikrokredencijalima, model stejkholdera i vrednosnih tokova, model podataka, arhitektura sistema i poslovni model
Metode	Metodološki postupci sticanja i izdavanja mikrokredencijala u formalnom i neformalnom obrazovanju i <i>roadmap</i> za institucionalno uvođenje sistema u standardnu praksu visokoškolske ustanove
Implementirana rešenja	Funkcionalni prototip platforme CredSeal, kojim su implementirani ključni elementi modela, poslovni procesi i decentralizovani sloj poverenja

U empirijskom delu istraživanja primenjen je prošireni model usvajanja zasnovan na vrednosti. Podaci su prikupljeni strukturiranim onlajn upitnicima namenjenim studentima i predstavnicima poslodavaca. Za njihovu analizu korišćene su deskriptivna statistika, t-testovi i modelovanje strukturnim jednačinama metodom parcijalnih najmanjih kvadrata PLS-SEM. VAM istraživanje omogućilo je identifikovanje faktora koji utiču na percipiranu vrednost i nameru usvajanja mikrokredencijala iz perspektive dve ključne grupe stejkholdera. Za razvoj modela korišćene su metode modeliranja stejkholdera, podataka, arhitekture i poslovnih procesa. Poslovni procesi predstavljeni su primenom BPMN notacije, dok je arhitektura informacionog sistema modelovana primenom C4 pristupa. Razvoj softverskog sistema oslanjao se na principe i preporuke softverskog inženjerstva SWEBOK [119]. Posebna pažnja posvećena je principima ugrađene bezbednosti i privatnosti, minimizaciji podataka, razdvajanju podataka koji se čuvaju na blokčejn mreži i van nje, kao i kontroli pristupa i vidljivosti informacija.

Evaluacija implementiranog prototipa obuhvatila je funkcionalnu proveru ključnih poslovnih procesa i korisničku evaluaciju. Upotrebljivost i korisničko iskustvo procenjeni su primenom prilagođenog USE upitnika, kojim su obuhvaćene korisnost, lakoća korišćenja, lakoća učenja i zadovoljstvo. Time je evaluacija obuhvatila kako tehničku izvodljivost implementiranog rešenja, tako i njegovu prihvatljivost iz perspektive ključnih korisničkih uloga. Nakon prikupljanja podataka koristile su se statističke metode za pripremu, obradu i analizu podataka. Za dalje analize i vizuelizaciju rezultata istraživanja korišćeni su specijalizovani softverski alati, poput *SmartPLS* za modelovanje strukturnih jednačina metodom parcijalnih najmanjih kvadrata, *Microsoft Excel* za deskriptivnu statistiku i korelacionu analizu, *Microsoft Visio* i *Canva* za vizuelizaciju arhitekture, procesa i dijagrama, *Camunda* za modelovanje poslovnih procesa. Rezultati su predstavljeni tekstualno, tabelarno i grafički.

Kombinovanjem teorijske analize, empirijskog istraživanja stejkholdera i DSR pristupa omogućeno je da se upravljanje mikrokredencijalima razmatra istovremeno iz obrazovne, institucionalne, korisničke i tehnološke perspektive. Razvoj modela, metodoloških postupaka i platforme CredSeal time nije posmatran kao izolovana aktivnost razvoja softvera, već kao deo istraživačkog procesa u kojem su identifikacija problema, razvoj rešenja, njegova implementacija i evaluacija međusobno povezani.

1.4 Struktura i organizacija rada

U okviru ovog poglavlja biće predstavljen sumarni pregled disertacije po poglavljima.

Kako je glavni fokus ove disertacije razvoj modela za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, u drugom poglavlju su prikazani koncepti i modeli sticanja i upravljanja kompetencijama i kredencijalima, sa fokusom na mikrokredencijale. Ovo poglavlje bavi se upravljanjem kompetencijama i mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju, istražujući kako se veštine i znanja stiču, prepoznaju, validiraju i dokumentuju u kontekstu savremenih obrazovnih praksi. Definisani su i analizirani pojmovi kompetencija, kredencijala, mikrokredencijala i različitih oblika i modela obrazovanja i učenja. Posebna pažnja posvećena je pedagoškim pristupima i okvirima za sticanje kompetencija i kredencijala, koji omogućavaju studentima da steknu relevantne sposobnosti u skladu sa zahtevima tržišta rada. Dalje, poglavlje istražuje mehanizme prepoznavanja i validiranja stečenih kompetencija, uključujući formalne i neformalne pristupe vrednovanju. Završni deo fokusiran je na upravljanje kredencijalima i mikrokredencijalima kao savremenim metodama evidentiranja i priznavanja specifičnih kvalifikacija, sa ciljem unapređenja zapošljivosti i podrške doživotnom učenju.

U okviru ovog rada razvijen je i model decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, stoga se treće poglavlje bavi teorijskim osnovama blokčejna i njegovom primenom u visokoškolskom obrazovanju, specifično u kontekstu praćenja i validacije mikrokredencijala. Uvodni deo trećeg poglavlja posvećen je osnovnim konceptima blokčejna, objašnjavajući njegovu strukturu, principe rada i konsenzus algoritme, kao ključne mehanizme koji obezbeđuju sigurnost i integritet podataka u decentralizovanim sistemima. Posebna pažnja usmerena je na pametne ugovore, kao inovativni alat za automatizaciju i sigurno sprovođenje transakcija. Analizirane su različite blokčejn platforme, njihove funkcionalnosti i specifičnosti u kontekstu skalabilnosti, sigurnosti, interoperabilnosti, troškova održavanja i korišćenja, pravnih i regulatornih zahteva i okvira, kao i perspektive, održivosti,

fleksibilnosti i mogućnosti prilagođavanja. Na kraju, detaljno se razmatra primena blokčejn tehnologija i njihov potencijal za povećanje transparentnosti, efikasnosti i sigurnosti u procesima upravljanja kompetencijama i mikrokredencijalima, omogućavajući jednostavniju validaciju, praćenje i razmenu kredencijala u digitalnom formatu u širem obrazovnom okruženju.

U četvrtom poglavlju opisan je konkretan model za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju uz primenu blokčejn tehnologija, pružajući sveobuhvatan pregled koraka i tehnologija neophodnih za kreiranje i implementaciju funkcionalnog decentralizovanog sistema. Model decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, obuhvata analizu i mapiranje stejkholdera, kreiranje poslovnih procesa i potencijalnih poslovnih modela, strukturu podataka, kao i tehnološku infrastrukturu i arhitekturu sistema. Fokus je na integraciji blokčejn tehnologija u cilju obezbeđivanja transparentnosti, sigurnosti i pouzdanosti u upravljanju mikrokredencijalima. Cilj je kreiranje održivog sistema koji ne samo da podržava validaciju i upravljanje mikrokredencijalima, već i promoviše unapređenje kompetencija u skladu sa savremenim obrazovnim i tržišnim zahtevima.

Peto poglavlje obrađuje proces tehničke implementacije opisanog modela, kroz prizmu C4 modela softverske arhitekture, kao i prikaz i opis ekrana razvijene platforme kroz pogled različitih korisničkih uloga.

Primena razvijenog modela, analiza rezultata i evaluacija su predstavljeni u šestom poglavlju. Evaluacija je urađena kroz dve perspektive: prva je fokusirana na ispitivanje percepcije vrednosti mikrokredencijala za stejkholdere i njihove namere da takav sistem usvoje, dok je druga fokusirana na evaluacija sistemskog rešenja u kontekstu njegove upotrebljivosti i lakoće korišćenja.

U okviru sedmog poglavlja identifikovane su implikacije za različite stejkholdere, kao i društvene i tehnološke implikacije. Očekivani i postojeći naučni doprinosi ove disertacije su predstavljeni u osmom poglavlju, dok je u devetom poglavlju predložen dalji plan rada.

2 Upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju

U uslovima ubrzanih promena u obrazovanju i na tržištu rada, tradicionalni modeli izdavanja i priznavanja kredencijala sve češće se smatraju nedovoljnim za prepoznavanje celokupnog spektra znanja i veština pojedinaca [122], [123]. Iako formalne diplome i dalje imaju značajnu ulogu, one često ne uspeavaju da obuhvate sve kompetencije koje pojedinac razvija kroz vannastavne aktivnosti [124], naročito u inženjerskim i STEM (eng. *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) disciplinama, u kojima su projektno zasnovano učenje i praktičan rad posebno zastupljeni. Novija istraživanja dodatno ukazuju na to da digitalna transformacija i globalizacija preoblikuju visokoškolske ustanove, zahtevajući od njih usvajanje fleksibilnijih i tehnološki podržanih sistema kredencijala koji mogu da prepoznaju različite putanje učenja [123], [125]. Kao odgovor na ove izazove, mikrokredencijali su se pojavili kao instrument za priznavanje jasno definisanih i proverljivih ishoda učenja koji se često stiču izvan tradicionalnih kurikuluma [126].

Kompetencije predstavljaju skup znanja, veština i stavova koji omogućavaju pojedincima da uspešno izvršavaju određene zadatke u akademskom i profesionalnom kontekstu. Razlikuju se tehničke kompetencije, koje su vezane za određene oblasti stručnosti, i prenosive kompetencije, kao što su komunikacija, kritičko mišljenje i rad u timu [127].

Kredencijali su formalne potvrde o stečenim kvalifikacijama i kompetencijama koje izdaju obrazovne institucije, profesionalne organizacije ili druge nadležne ustanove [17][18]. Oni služe kao dokaz o završenim studijama, obukama ili stečenim sposobnostima i omogućavaju bolju prepoznatljivost na tržištu rada [128].

Mikrokredencijali, kao potvrde o ishodima učenja nastavne jedinice manjeg obima, omogućavaju studentima da steknu specifična znanja i veštine kroz kraće programe, sertifikate i digitalne bedževe [1]. Njihova primena u visokom obrazovanju omogućava veću fleksibilnost u učenju, personalizovane pristupe razvoju kompetencija i bolju prilagodljivost tržištu rada [129]. U ovom kontekstu, mikrokredencijali se mogu razumeti ne samo kao tehnološka inovacija, već i kao oblik inovacije znanja koji menja način na koji se učenje kreira, validira i razmenjuje unutar obrazovnih i profesionalnih ekosistema.

Različiti okviri i standardi su razvijeni kako bi se osigurao kvalitet, priznavanje i interoperabilnost kredencijala i mikrokredencijala [128]–[132]. U Evropi, Evropski okvir kvalifikacija (eng. *European Qualifications Framework* – EQF) [122] i Zajednički okvir za mikrokredencijale (eng. *Common Microcredential Framework* – CMF) [11], [20] definišu kriterijume koji osiguravaju validaciju i priznavanje ovih obrazovnih jedinica u različitim obrazovnim sistemima. Paralelno sa tim, u Sjedinjenim Američkim Državama zabeleženo je rastuće interesovanje za mikrokredencijale, pre svega pod uticajem potreba industrije i institucionalnih nastojanja da se obrazovanje bolje uskladi sa veštinama potrebnim u realnom okruženju [133], [134]. Noviji nalazi pokazuju da samo 6,8% visokoškolskih ustanova u SAD trenutno izdaje mikrokredencijale putem platformi kao što su *Credly* i *Accredible* [135], uprkos rastućoj potražnji poslodavaca [136]. Pored toga, institucije širom sveta rade na integraciji mikrokredencijala u tradicionalne nastavne programe, čime se stvaraju novi modeli učenja koji kombinuju formalno i neformalno obrazovanje [137].

Posmatrani koncepti zajedno čine osnovu za sagledavanje mikrokredencijala kao mehanizma za evidentiranje, validaciju i prepoznavanje kompetencija u visokoškolskom obrazovanju.

2.1 Pojam i upravljanje kompetencijama

Kompetencije predstavljaju kombinaciju znanja, veština i stavova neophodnih za uspešno obavljanje određenih zadataka ili uloga u akademskom i profesionalnom kontekstu. One mogu biti tehničke (eng. *hard skills*) ili prenosive (eng. *soft skills*) i služe kao osnova za razvoj obrazovnih i karijernih puteva studenata [127]. Upravljanje kompetencijama u visokom obrazovanju podrazumeva sistematski pristup

identifikaciji, razvoju, proceni i validaciji kompetencija u skladu sa potrebama društva i tržišta rada [1], [138].

Prema modelima kompetencija, moguće je razlikovati nekoliko vrsta [139]:

- Osnovne kompetencije (eng. *core competencies*) – ključne kompetencije koje su zajedničke svim profesijama, poput analitičkog mišljenja i sposobnosti rešavanja problema.
- Funkcionalne kompetencije (eng. *functional competencies*) – specifične kompetencije potrebne za obavljanje konkretnih zadataka unutar određene profesije.
- Bihevioralne kompetencije (eng. *behavioral competencies*) – kompetencije povezane sa ponašanjem i odnosima sa drugima, poput liderstva i sposobnosti upravljanja konfliktima

U okviru visokog obrazovanja, ovaj proces upravljanja kompetencijama uključuje:

- Razvoj okvira kompetencija – definisanje kompetencija koje su potrebne studentima za akademski i profesionalni uspeh [1].
- Mapiranje kompetencija – povezivanje kompetencija sa nastavnim programima i metodama učenja [127].
- Ocenjivanje i validacija kompetencija – korišćenje alata poput portfolija, digitalnih bedževa i formalnih ispita za potvrdu stečenih kompetencija [43].
- Dinamički modeli upravljanja kompetencijama – sistemi koji omogućavaju kontinuiranu adaptaciju kompetencija u skladu sa promenama u industriji i obrazovanju [140]

Kompetencije igraju ključnu ulogu u unapređenju visokog obrazovanja, jer omogućavaju studentima da steknu primenljive veštine koje su usklađene sa savremenim potrebama tržišta rada. Savremeni pristupi uključuju:

- Kompetencijski pristup nastavi (eng. *competence-based*) – fokus na ishode učenja umesto na tradicionalne metode nastave [141].
- Integraciju kompetencija u kurikulum – usvajanje standardizovanih modela kompetencija u okviru akademskih programa [142].
- Celoživotno učenje i razvoj kompetencija – obezbeđivanje fleksibilnih oblika učenja koji omogućavaju kontinuirani profesionalni razvoj [140]
- Korišćenje digitalnih platformi za praćenje kompetencija – implementacija sistema za upravljanje učenjem (eng. *Learning Management System* – LMS) koji omogućavaju studentima da prate svoj napredak u razvoju kompetencija

Sve ove aktivnosti imaju za cilj da visokoškolske institucije postanu ključni akteri u pripremi studenata za dinamične i kompleksne izazove savremenog društva.

2.2 Pedagoški pristupi za sticanje kompetencija u visokoškolskom obrazovanju

Pedagoški pristupi u visokom obrazovanju evoluirali su tokom vremena kako bi omogućili efikasnije i interaktivnije učenje, prilagođeno potrebama savremenog društva i tržišta rada. Umesto tradicionalnog, pasivnog usvajanja znanja, orijentisanog na nastavnika, moderni pristupi akcenat stavljaju na studenta i aktivno učenje, rešavanje problema, praktičnu primenu znanja i razvoj kritičkog mišljenja [143].

Prema istraživanjima u oblasti pedagogije, savremeni pristupi učenju oslanjaju se na konstruktivističke principe, koji naglašavaju aktivnu ulogu učenika u procesu sticanja znanja [143]. Konstruktivizam podrazumeva da studenti grade sopstveno znanje kroz interakciju sa okruženjem, uz podršku instruktora koji deluju kao fasilitatori učenja. Ovaj pristup je značajno doprineo razvoju inovativnih modela učenja koji se koriste u visokom obrazovanju [39].

Različiti pedagoški modeli razvijeni su kako bi se studenti pripremili za realne izazove i omogućili im da steknu konkretne, merljive kompetencije. Neki od najznačajnijih pristupa uključuju:

- **Aktivno učenje:** pristup koji podrazumeva adaptaciju nastavnog procesa tako da zahteva aktivno uključivanje studenata u konstruisanju sopstvenog razumevanja problema. Neke od tehnika aktivnog učenja su: diskusije, učenje zasnovano na problemu [32]–[37], učenje zasnovano na igri [43]–[46].
- **Kolaborativno učenje:** fokusira se na grupni rad i interakcije među studentima. Podrazumeva zajednički rad među studentima na postizanju zajedničkog cilja, deljenja znanja i veština, kao i učenja jedni od drugih. Modeli koji podstiču kolaborativno učenje su: [43]–[46], učenje kroz studije slučaja [32], [47]–[50], učenje kroz izazove [51]–[58],
- **Kooperativno učenje:** slično kao i kolaborativno učenje, kooperativno učenje takođe uključuje grupni rad, ali sa više strukturiranim pristupom. U kooperativnom učenju, učenicima se dodeljuju posebne uloge unutar grupe kako bi se podstaklo jednako učešće i doprinos svih članova. Jedan od pristupa koji omogućava ovakvo učenje je projektno zasnovano učenje [32], [38]–[42]
- **Kombinovano učenje:** kombinuje tradicionalno učenje licem u lice sa komponentama onlajn učenja. Omogućava fleksibilniji pristup obrazovanju i često uključuje mešavinu predavanja u učionici, onlajn diskusija i interaktivnih aktivnosti.

Pored ovih pristupa, poslednjih nekoliko godina, pojavili su se i drugi orijentisani na tržište rada, kao što su preduzetničko učenje [37], [53], [59]–[61] i učenje zasnovano na radu [62]–[68]. Dodatno, istraživanja pokazuju da tehnologija igra sve veću ulogu u transformaciji obrazovanja, omogućavajući personalizovano učenje, korišćenje adaptivnih sistema i primenu alata za učenje na daljinu. Kombinacija različitih pedagoških modela uz podršku digitalnih tehnologija može značajno unaprediti angažovanje studenata i poboljšati ishode učenja [143].

Navedeni modeli učenja postavljaju studenta u centar i omogućavaju personalizovano učenje i sticanje veština i kompetencija. Pored toga, što se ovi modeli koriste u formalnom procesu obrazovanja, kroz obavezne ili dodatne nastavne aktivnosti [69]–[73], vannastavne aktivnosti studenata, kao deo neformalnog i informalnog učenja, u velikoj meri doprinose sticanju različitih kompetencija [74]–[76]. Vannastavne aktivnosti predstavljaju važan put za sticanje neformalnih kompetencija. One uključuju sportske i umetničke aktivnosti, volontiranja i učešća u studentskim klubovima, i obezbeđuju okruženje u kome se odvija učenje izvan formalnog kurikuluma [144], pri čemu studenti razvijaju veštine koje često ostaju nevidljive u zvaničnoj akademskoj evidenciji. Dok je formalno obrazovanje dominantno usmereno na nastavu u učionici, neformalno i informalno učenje često se odvijaju tokom slobodnog vremena ili kroz volonterski angažman, što predstavlja važne oblike vannastavnog angažovanja [145]. Kako se navodi u [146], mikrokredencijali i digitalne značke omogućavaju formalizaciju ovih iskustava. Učešće studenata u vannastavnim aktivnostima, od studentskih organizacija [147] i preduzetničkih inicijativa [75], [148] do takmičarskih hakatona [71], [149], predstavlja značajno okruženje za razvoj naprednih multifunkcionalnih kompetencija, uključujući liderstvo [148], timski rad [65], kritičko mišljenje i digitalnu pismenost.

Svi ovi pristupi imaju zajednički cilj – razvoj primenljivih kompetencija koje će studentima omogućiti lakše zapošljavanje, prilagođavanje brzim promenama u industriji i nastavak učenja tokom celog života [39].

Mikrokredencijali su suštinski povezani sa priznavanjem ishoda učenja u okviru formalnog, neformalnog i informalnog konteksta učenja [19]–[21]. Iako informalno učenje, koje proizlazi iz svakodnevnih životnih i radnih aktivnosti, nije organizovano niti nužno namerno i najčešće ne vodi direktno ka sertifikaciji, ono se može uzeti u obzir prilikom procene i validacije ishoda učenja [1], [22]. Neformalno učenje je, s druge strane, polustrukturirano i ciljno usmereno, često ugrađeno u planirane obrazovne aktivnosti koje se odvijaju izvan formalnog kurikuluma [23]. Formalno učenje ostaje najstrukturiraniji oblik učenja, odvija se unutar institucija i vodi ka sticanju zvaničnih kvalifikacija [25].

2.3 Prepoznavanje i validacija stečenih kompetencija

Osvrćući se na prethodno navedene modele učenja dolazi se do jasnog pitanja validacije i priznavanja (prepoznavanja) kompetencija i veština stečenih kroz ove različite oblike. Kada je u pitanju formalno učenje, odnosno formalno obrazovanje, to pitanje ima jasan odgovor, uzimajući u obzir da iza stečene

diplome postoji rigorozan i pravno regulisan proces akreditacije ustanove koja izdaje diplomu, kao i programa za koji se diploma izdaje. Ako se govori o neformalnom i informalnom učenju, taj proces validacije nije uniformno rešen. Mikrokredencijali su kreirali prostor za operacionalizaciju ovog procesa kroz VNFIL (eng. *Validation of Non-Formal and Informal Learning*) okvir [150]. Ovaj okvir postavlja osnovnu smernicu za validaciju neformalnog učenja kroz četiri jasno izdvojene faze: identifikaciju, dokumentovanje, procenu i sertifikaciju. Ovakav strukturirani pristup osmišljen je tako da postignuća stečena kroz neformalno učenje učini proverljivim, čime se doprinosi unapređenju zapošljivosti i profesionalne mobilnosti. U praktičnom smislu, to znači da se kompetencije razvijene kroz vannastavne aktivnosti, kao deo neformalnog učenja, mogu prevesti u mikrokredencijale kroz strukturiran proces prikupljanja dokaza, mapiranja ishoda učenja, procene u odnosu na unapred definisane kriterijume i sertifikacije od strane kredibilnog izdavaoca.

Iako se moderno obrazovanje fokusiralo na studenta, ovaj pomak nam ukazuje na zanimljiv „paradoks motivacije i vremena“ (eng. *motivation-time paradox*): iako studenti pokazuju visok nivo angažovanja i snažnu unutrašnju motivaciju u neobaveznim vannastavnim aktivnostima, često nemaju dovoljno kapaciteta da im se u potpunosti posvete, jer formalni akademski zahtevi zauzimaju najveći deo njihovog vremena [151]. Empirijski nalazi iz [144] pokazuju da, iako učešće u vannastavnim aktivnostima podstiče unutrašnji psihološki razvoj, sama motivacija studenata nije dovoljna da moderira vezu između učešća u vannastavnim aktivnostima i akademskog uspeha. Posledično, javlja se situacija u kojoj studenti formalne zadatke mogu izvršavati rutinski, dok svoj najinovativniji i najprimenljiviji rad ostvaruju u neprepoznatim neformalnim okruženjima. Time nastaje jasan jaz između prostora u kojima se značajne kompetencije razvijaju i prostora u kojima se one formalno priznaju. Mikrokredencijali se u tom kontekstu mogu posmatrati kao potencijalni mehanizam za povezivanje ova dva domena, jer omogućavaju da se kvalitetan angažman u vannastavnim aktivnostima formalizuje i učini vidljivim, bez dodatnog povećanja percipirane „žrtve“ u pogledu studentskog vremena.

Omogućavanjem studentima da dokumentuju i prikažu kompetencije stečene kroz vannastavno angažovanje [152], mikrokredencijali mogu unaprediti njihove lične portfolije, podržati zapošljivost i validirati nelinearne putanje učenja. Validacija kompetencija putem mikrokredencijala usklađena je sa principima upravljanja znanjem, jer podstiče transparentnost, ponovnu upotrebljivost i prenos ishoda učenja između organizacionih i obrazovnih konteksta. Ovakav okvir omogućava kontinuirano usklađivanje individualnih obrazovnih postignuća sa dinamičnim očekivanjima tržišta rada.

Iako su vannastavne aktivnosti široko prepoznate kao podsticajna okruženja za razvoj prenosivih kompetencija, njihova vrednost na tržištu rada zavisi od toga da li se ta postignuća mogu prevesti u prepoznatljive i pouzdane signale za poslodavce [153]. Umesto univerzalnog prihvatanja svih oblika neformalnog učenja, poslodavci najčešće vrednuju vannastavna postignuća i mikrokredencijale na osnovu reputacije i tradicije konkretnih takmičenja, organizacija ili tela koja ih izdaju [154], [155]. Ovakvo „reputaciono signaliziranje“ (eng. *reputational signalling*) često je uslovljeno ličnim iskustvima i nivoom informisanosti menadžera, koji vrednost određenih veština mogu prepoznati samo ukoliko su lično upoznati sa aktivnošću ili pružaocem programa [153], [155]. Ovo je posebno značajno imajući u vidu da poverenje ostaje odlučujući faktor u procesu zapošljavanja i procene talenata, delujući kao primarni filter za poslodavce koji su inače skeptični prema netradicionalnim kvalifikacijama [153]–[155].

Savremeni poslodavci suočavaju se sa brzim transformacijama koje stvaraju urgentnu potrebu za specifičnim kompetencijama i veštinama, na koje tradicionalni obrazovni sistemi često ne mogu da odgovore dovoljno brzo [155]. Budući da tradicionalne diplome najčešće predstavljaju šire oblasti znanja, sve je izraženija potreba za granularnim dokazima o veštinama primenljivim u realnom radnom okruženju, kako bi se efikasno premostio nastali jaz u kompetencijama [153]. Digitalne značke i mikrokredencijali u ovom kontekstu postaju važni alati, jer omogućavaju visokoškolskim ustanovama da obezbede sveobuhvatan i proverljiv zapis o postignućima studenata, posebno o onima koja su stečena kroz neformalno učenje i vannastavne aktivnosti, a koja često ostaju nevidljiva u zvaničnim akademskim evidencijama [155]. Uprkos trenutno niskom nivou informisanosti o ovim alatima, novija istraživanja ukazuju na interesovanje industrije za njihovu primenu u procesima zapošljavanja, budući da integrisani

metapodaci pružaju transparentan dokaz o tome kako i kada su kompetencije procenjivane, čime se direktno odgovara na potrebe poslodavaca za autentičnošću i poverenjem u radnom kontekstu [154].

2.4 Upravljanje kredencijalima i mikrokredencijalima

Kredencijali predstavljaju dokument koji izdaje ovlašćeno telo kao potvrdu da je pojedinac postigao određene ishode učenja u skladu sa standardom, a kao krovni termin obuhvataju diplome, sertifikate, licence, značke i profesionalne ili industrijske sertifikate [17] [18].

Upravljanje kredencijalima u visokom obrazovanju tradicionalno je bilo usmereno na formalne akademske diplome i sertifikate koji svedoče o postignutim kvalifikacijama studenata. Ovaj proces se kroz istoriju uglavnom oslanjao na fizičke dokumente i centralizovane administrativne sisteme, koji su često bili nefleksibilni, skupi i vremenski zahtevni [156].

Tradicionalni modeli upravljanja kredencijalima uključuju nekoliko ključnih elemenata: izdavanje i verifikaciju, okvire i standarde, povezanost sa tržištem rada, ograničena fleksibilnost.

Izdavanje i verifikacija – univerziteti i akreditovane institucije izdaju diplome i sertifikate u papirnom obliku ili preko internih digitalnih sistema, a njihova verifikacija se često vrši ručno, što može biti složen i spor proces [157].

Okviri i standardi – nacionalni i međunarodni okviri, kao što su Evropski okvir kvalifikacija (EQF) i nacionalni standardi, definišu nivo i vrednost akademskih diploma i sertifikata [158].

Povezanost sa tržištem rada – poslodavci su tradicionalno koristili diplome kao osnovni dokaz kompetencija kandidata, oslanjajući se na ugled i akreditaciju institucije koja je izdala kredencijal [159].

Ograničena fleksibilnost – sistem je uglavnom usmeren na dugoročne obrazovne programe, bez mogućnosti dokumentovanja neformalnog i samostalnog učenja [160].

Iako je tradicionalni pristup upravljanju kredencijalima omogućio relativno stabilan sistem potvrđivanja akademskih postignuća, on je u velikoj meri centralizovan i nedovoljno prilagodljiv novim obrazovnim trendovima i potrebama tržišta rada. Ključni izazovi uključuju:

- Niska transparentnost i spor proces verifikacije – potreba za ručnim proverom dokumenata i administrativnim procedurama usporava zapošljavanje i priznavanje kvalifikacija na međunarodnom nivou [156].
- Ograničena vidljivost i prenosivost – diplome su često nekompatibilne između različitih obrazovnih sistema i poslodavci ih ne mogu lako analizirati bez dodatne verifikacije [157].
- Nemogućnost dokumentovanja neformalnog učenja – pojedinci koji steknu značajne veštine kroz neformalno obrazovanje, onlajn kurseve ili radno iskustvo često nemaju formalni kredencijal koji to potvrđuje [160].

Razvoj digitalnih tehnologija i novih modela edukacije doveo je do potrebe za fleksibilnijim i efikasnijim sistemima upravljanja kredencijalima. Ovaj pomak uključuje:

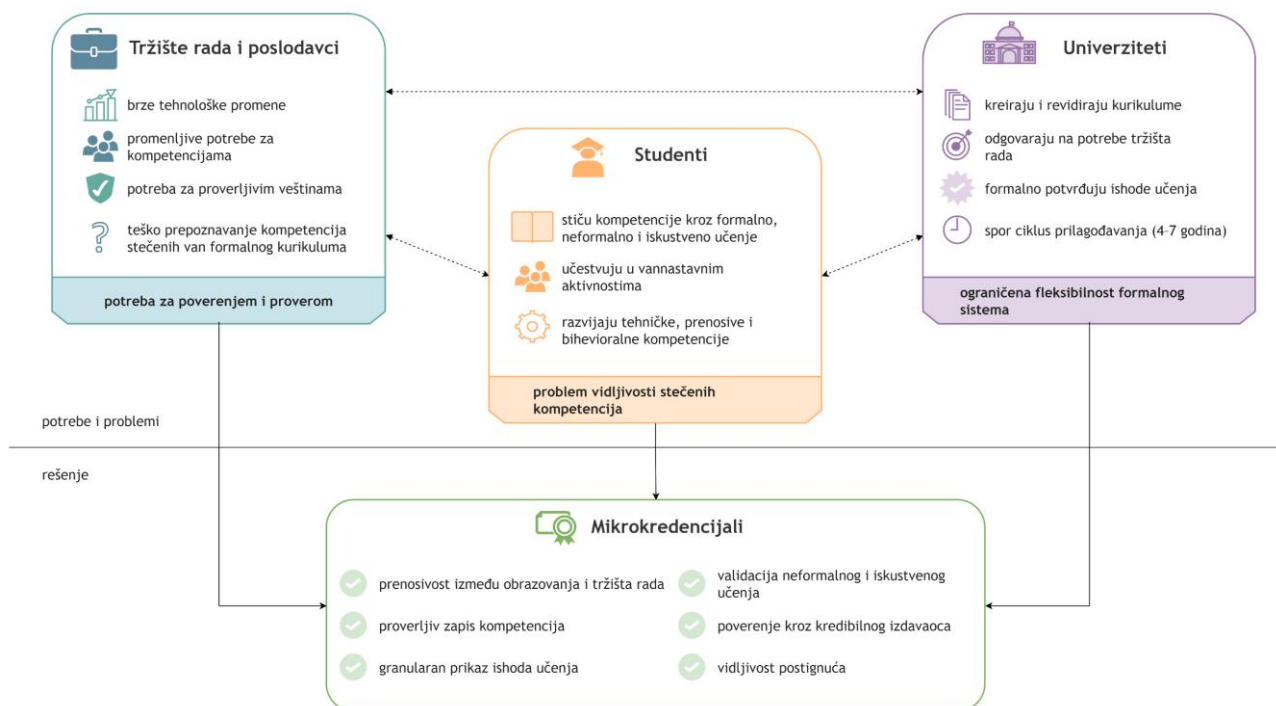
- Digitalizaciju kredencijala – uvođenje digitalnih sertifikata i blokčejn tehnologije omogućava veću sigurnost, transparentnost i lakšu verifikaciju dokumenata [157], [161].
- Integraciju sa tržištem rada – novi sistemi kredencijala uključuju alate za direktno povezivanje sa platformama za zapošljavanje i profilom kompetencija pojedinca [156].
- Modularni pristup kvalifikacijama – umesto dugogodišnjih akademskih programa, pojavljuju se kratkoročni programi sertifikacije koji omogućavaju bržu nadogradnju znanja i veština [160].

Koncept mikrokredencijala je u poslednjoj deceniji postao sve prisutniji u visokoškolskom obrazovanju kao odgovor na zahteve tržišta rada za fleksibilnim i ciljanim načinom sticanja veština. Evropska Unija [1], [122] i različite akademske institucije razvile su više modela i okvira koji definišu standarde za implementaciju mikrokredencijala u visokoškolskim sistemima [43], [130]. U svojoj osnovi,

mikrokredencijali predstavljaju zapis o ishodima učenja ostvarenim kroz kraća i prilagođena iskustva učenja, koja student stiče u okviru studijskog programa, formalnog ili neformalnog obrazovnog procesa [122]. Ovakvo razumevanje neposredno se može povezati sa ISCED (eng. *International Standard Classification of Education*) taksonomijom u obrazovanju, budući da mikrokredencijali predstavljaju institucionalizovan i planiran oblik učenja namenjen dopuni formalnog sistema u kontekstu celoživotnog učenja [128], [162].

Sve izraženiji značaj celoživotnog učenja, zajedno sa ubrzanim tehnološkim razvojem i promenljivim zahtevima tržišta rada [123], ukazao je na brojna ograničenja tradicionalnih sistema kvalifikacija, koji se često posmatraju kao rigidni, spori i resursno zahtevni. Iako formalne diplome i dalje imaju centralno mesto, njihovi kurikulumi često zaostaju za trendovima u industriji, što kod diplomaca dovodi do značajnih nedostataka u kompetencijama u oblastima u nastajanju [163], [164]. Kao posledica toga, neformalno i iskustveno učenje (eng. *experiential learning*), poput hakatona, praksi ili specijalizovanih programa obuke, omogućava razvoj vrednih kompetencija [165], ali ta postignuća često ostaju nevidljiva poslodavcima i nisu formalno prepoznata u akademskim evidencijama.

Kako bi se premostio jaz između iskustvenog učenja i formalnog priznavanja, Evropska unija [1], [22], [122], [161], [166] i različite akademske institucije [43], [130], [135] uspostavile su okvire koji definišu standarde za implementaciju mikrokredencijala u sistemima visokog obrazovanja. Radi obezbeđivanja transparentnosti i prenosivosti, smernice Evropske unije predviđaju da interoperabilni mikrokredencijal treba da sadrži standardizovane metapodatke: identifikaciju polaznika, naziv, ishode učenja, opterećenje izraženo kroz ESPB (Evropski Sistem Prenosa Bodova, eng. *European Credit Transfer and Accumulation System – ECTS*), nivo prema EQF okviru, vrstu procene i obezbeđenje kvaliteta [22], [150]. Ono što treba uzeti u obzir je da mikrokredencijali nisu zamena za tradicionalne kvalifikacije, mikrokredencijali nude fleksibilan, modularan i proverljiv mehanizam za potvrđivanje pojedinačnih kompetencija, čime se olakšava njihova integracija u postojeće obrazovne i profesionalne okvire [152]. Mikrokredencijali predstavljaju važan mehanizam za premošćavanje jaza između akademske pripreme i profesionalne spremnosti, posebno u inženjerskom obrazovanju, gde stalne tehnološke promene zahtevaju agilno usavršavanje i brzo sticanje novih kompetencija (Ilustracija 1).



Ilustracija 1 Mikrokredencijali kao mehanizam povezivanja tržišta rada, neformalnog učenja i visokog obrazovanja

Savremene obrazovne prakse sve se više oslanjaju na modele zasnovane na kompetencijama, dajući prednost dokazivim ishodima u odnosu na tradicionalno usmereno izvođenje nastave [43]. Iako upotreba

digitalnih platformi olakšava personalizovani razvoj [140]–[142], transformativna uloga visokoškolskih ustanova zavisi od prevazilaženja identifikovanih nedostataka u implementaciji i od razumevanja percepcija stejkholdera u vezi sa kredibilitetom ovih novih oblika sertifikacije.

Kroz sistemsku analizu literature [43][131], autori su se fokusirali na glavne karakteristike mikrokredencijala i visokoškolom obrazovanju, svest o njima, njihove benefite ali i izazove, kao i na efektivnost mikrokredencijala i faktore koji na nju utiču. Zaključili su da postoji veliki potencijal za primenu i implementaciju mikrokredencijala za različite stejkholdere – studente, univerzitete, druge edukatore, ali i poslodavce. Kao jedna bitna napomena tog istraživanja je da mikrokredencijali ne predstavljaju „pretnju“ makrokredencijalima. Dodatno, a takođe kroz sistemsku analizu, [130] autori su identifikovali 4 klastera dosadašnje analize i primene mikrokredencijala:

1. Mikrokredencijali i zapošljivost – obraćajući pažnju na kompetencije, potrebe tržišta, i zapošljivost
2. Studentska perspektiva – fokus je postavljen na studenta kao učesnika u procesu sticanja mikrokredencijala, njegovu motivaciju, aktivno angažovanje i učenje,
3. Dizajn i implementacija mikrokredencijala – izazovi u implementaciji, sa posebnim osvrtom na odabir tehnologija i osiguravanje kvaliteta
4. Dizajn kurikuluma i evaluacija znanja – gde je fokus na dizajnu programa i kurseva baziranih na kompetencijama, kao i na evaluaciji stečenog znanja, ocenjivanju i povratnim informacijama.

Za potrebe ove disertacije sprovedena je komparativna analiza 31 modela i sistema za upravljanje mikrokredencijalima identifikovanih u relevantnoj literaturi. Jedinicu analize predstavljao je pojedinačni model, okvir ili implementirano rešenje opisano u posmatranom radu. Analitičke dimenzije definisane su u skladu sa predmetom i istraživačkim pitanjima disertacije, sa ciljem identifikovanja nivoa implementacije, konteksta primene, obuhvaćenih procesa upravljanja mikrokredencijalima, povezanosti sa zapošljivošću i primene blokčejn tehnologija. Analiza je sprovedena prema sledećim dimenzijama::

1. Stadijum implementacije – pri čemu model može biti opisan samo jednim stadijumom implementacije:
 - 1.1. Teorijski predlog – autori su dali predlog okvira, softverskog sistema
 - 1.2. Implementacija/MVP – autori su dali predlog okvira, softverskog sistema i napravili MVP (eng. *Minimum Viable Product*), koji je testiran u procesu razvoju
 - 1.3. Evaluacija – autori su izvršili kompletnu implementaciju predloženog okvira, softverskog sistema i evaluirali na manjem skupu učesnika
 - 1.4. Implementiran u potpunosti – okvir, softverski sistem, je u potpunosti implementiran i koristi se u jednoj ili više institucija
2. Kontekst učenja (Formalnost) – pri čemu model može biti opisan sa više kriterijuma formalnosti:
 - 2.1. Formalno – autori su se fokusirali na domen formalnog obrazovanja/učenja
 - 2.2. Neformalno – autori su se fokusirali na domen neformalnog obrazovanja/učenja
 - 2.3. Informalno – autori su se fokusirali na domen informalnog obrazovanja/učenja
 - 2.4. Opšte/nedefinisano – autori se nisu fokusirani na specifičan domen obrazovanja/učenja
3. Identifikacija procesa/pogleda – pri čemu model može biti opisan sa više kriterijuma identiteta:
 - 3.1. Sticanje (eng. *earn*) – autori su identifikovali ugao/pogled učesnika/polaznika/studenta
 - 3.2. Izdavanje (eng. *issue*) – autori su identifikovali ugao/pogled izdavaoca
 - 3.3. Deljenje (eng. *share*) – autori su identifikovali ugao/pogled deljenja stečenih mikrokredencijala
 - 3.4. Održavanje (eng. *maintain*) – autori su identifikovali ugao/pogled održavanja mikrokredencijala
 - 3.5. Nedefinisano – autori nisu identifikovali ni jedan od procesa/pogleda
4. Zapošljivost (Z) – pri čemu model može biti opisan samo jednim kriterijumom zapošljivosti:
 - 4.1. Da – autori su identifikovali relevantnost mikrokredencijala u kontekstu zapošljivosti
 - 4.2. Ne – autori nisu identifikovali relevantnost mikrokredencijala u kontekstu zapošljivosti
5. Blokčejn implementacija (BL) – pri čemu model može biti opisan samo jednim kriterijumom u kontekstu implementacije blokčejn tehnologija:
 - 5.1. Da – autori su dali predlog implementacije okvira, softverskog sistema, na blokčejn tehnologijama

5.2. Ne – autori nisu dali predlog implementacije okvira, softverskog sistema, na blokčejn tehnologijama

Dodatno, za svaki model je identifikovan domen u kontekstu primene na specifične naučne oblasti, identifikovane od strane autora.

Na osnovu navedenih dimenzija izvršeno je kodiranje svakog analiziranog modela, a rezultati komparativne analize prikazani su u Tabela 3.

Tabela 3 Analiza modela za upravljanje mikrokredencijalima

R.br.	Rad	Stadijum implementacije	Formalnost	Identifikacija procesa /pogleda	Z	BL	Domen
1.	[167]	Teorijski predlog	Formalno	Nedefinisano	Ne	Ne	Opšte
2.	[168]	MVP	Formalno	Sticanje, Deljenje	Da	Da	Nauka o podacima
3.	[169]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno, Informalno	Sticanje, Deljenje	Da	Da	Opšte
4.	[170]	Teorijski predlog	Formalno	Izdavanje, Deljenje	Ne	Ne	Opšte
5.	[171]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno, Informalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Da	Opšte
6.	[172]	Teorijski predlog	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Ne	Opšte
7.	[20]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno, Informalno	Deljenje	Da	Ne	Opšte
8.	[126]	Teorijski predlog	Formalno	Nedefinisano	Da	Ne	Opšte
9.	[173]	Teorijski predlog	Formalno	Nedefinisano	Ne	Ne	Opšte
10.	[38]	Evaluacija	Formalno	Sticanje, Izdavanje	Ne	Ne	Matematika, PBL
11.	[174]	Teorijski predlog	Formalno	Izdavanje	Ne	Ne	Opšte
12.	[175]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno, Informalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Ne	Opšte
13.	[10]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Ne	Opšte
14.	[176]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno	Sticanje, Izdavanje	Da	Da	Opšte
15.	[112]	Implementiran u potpunosti	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Da	Biznis
16.	[177]	Evaluacija	Formalno	Sticanje, Izdavanje	Ne	Da	Opšte
17.	[178]	MVP	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Da	Opšte
18.	[179]	MVP	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Da	Opšte
19.	[180]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Da	Opšte
20.	[181]	Evaluacija	Formalno, Neformalno, Informalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Da	Opšte
21.	[182]	MVP	Formalno, Neformalno,	Sticanje	Ne	Da	Opšte
22.	[183]	MVP	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Ne	Da	Opšte
23.	[184]	Teorijski predlog	Formalno	Sticanje	Ne	Da	Opšte
24.	[4]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Ne	Opšte
25.	[185]	Teorijski predlog	Formalno	Sticanje, Izdavanje	Ne	Ne	Opšte
26.	[186]	Implementiran u potpunosti	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Da	Opšte
27.	[187]	Teorijski predlog	Formalno	Izdavanje	Ne	Da	Opšte
28.	[188]	Teorijski predlog	Formalno	Nedefinisano	Ne	Da	Opšte

R.br.	Rad	Stadijum implementacije	Formalnost	Identifikacija procesa / pogleda	Z	BL	Domen
29.	[189]	Teorijski predlog	Formalno	Izdavanje	Ne	Da	Opšte
30.	[190]	Teorijski predlog	Formalno, Neformalno	Izdavanje	Da	Da	Opšte
31.	[191]	Evalvacija	Formalno	Sticanje, Izdavanje, Deljenje	Da	Da	Opšte

Analizirajući tabelu, vidi se da samo 11 od 31 predloženih modela je u nekoj fazi implementacije na osnovu predloga, dok je pet [168], [178], [179], [182], [183] od tih 11 u fazi izgrađenog MVP-a, četiri [38], [177], [181], [191] u fazi evaluacije, a samo dva [112], [186] su u fazi šire upotrebe. Bitno je napomenuti i to da su [112], [186] kao tehnologije za implementaciju koristili blokčejn.

Sa druge strane samo 11 od 31 predloženih modela se bavi mikrokredencijalima u kontekstu neformalnog učenja, iako preporuke Evropske Komisije [1], [22] insistiraju na pronalaženju načina za priznavanje i validaciju kompetencija stečenih kroz neformalne procese. Takođe, kao jedna od dva osnovna načela preporuke [1] – zapošljivost, je identifikovana kao bitan deo implementacije mikrokredencijala samo u 13 od 31 predloženih modela.

Posmatrano prema procesima upravljanja mikrokredencijalima, 21 model obuhvata proces sticanja, 22 proces izdavanja, dok 17 modela razmatra deljenje stečenih mikrokredencijala. Nijedan od analiziranih modela ne obuhvata eksplicitno proces njihovog dugoročnog održavanja, uključujući promenu statusa, obnovu, zamenu ili druge aktivnosti tokom životnog ciklusa.

Posmatrajući 19 studija koje su izvestile o nekoj fazi implementacije izvan teorijskog predloga, uočava se da njih 9 razmatra ili koristi blokčejn tehnologiju u okviru svoje implementacije. Modeli kao što je *EduCTX* [178], [179] transformišu ESPB u digitalne značke zabeležene na sigurnom distribuiranom registru. Drugi autori [112], [186] koriste protokole sa višestrukim potpisom i decentralizovane identifikatore (DID) kako bi omogućili direktnu verifikaciju mikrokredencijala, bez potrebe za kontaktiranjem institucije izdavaoca. Administracija Univerziteta Sirakjuz (eng. *The Syracuse University administration*) [135] koristi *Accredible* [192] kao eksternu aplikaciju za izdavanje digitalnih znački, takođe zasnovanu na blokčejn tehnologiji, sa ciljem da se obezbedi „dodatni sloj sigurnosti, nepromenljivosti i zaštite od prevara za digitalne kredencijale“. Nije iznenađujuće što su pojedini autori izabrali blokčejn kao osnovu za implementaciju platformi za mikrokredencijale, imajući u vidu da su ključna svojstva blokčejn tehnologije decentralizacija, nepromenljivost, transparentnost i mogućnost revizije [193].

2.5 Analiza stejkholdera u procesu upravljanja mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju

Teorija stejkholdera razvila se kao odgovor na ograničenja pristupa koji organizaciju posmatraju prvenstveno iz perspektive akcionara. Friman [194] definiše stejkholdere kao „svaku grupu ili pojedinca koji može uticati na ostvarivanje ciljeva organizacije ili na koga ostvarivanje tih ciljeva može uticati“, čime se pažnja pomera sa uskog fokusa na vlasnike ka široj mreži aktera, uključujući zaposlene, korisnike, dobavljače, regulatorna tela i zajednice. Iz ove perspektive, organizacije su ugrađene u mreže odnosa, a njihov dugoročni uspeh zavisi od razumevanja i upravljanja tim odnosima, a ne samo od optimizacije pojedinačnog finansijskog ishoda.

Kasniji radovi [195] proširili su teoriju stejkholdera od deskriptivnog pitanja „ko su naši stejkholderi?“ ka normativnim pitanjima „ko bi trebalo da bude važan?“ i instrumentalnim pitanjima „kako odnosi sa stejkholderima utiču na performanse?“. Model salijentnosti stejkholdera (eng. *salience model*) [196] posebno je značajan za objašnjenje toga kojim stejkholderima će menadžeri verovatno dati prioritet. Autori ovog modela predlažu da salijentnost stejkholdera zavisi od posedovanja tri atributa: moći, odnosno sposobnosti da utiču na organizaciju; legitimnosti, odnosno društveno prihvaćenog ili odgovarajućeg odnosa sa organizacijom; i urgentnosti, odnosno vremenske osetljivosti i kritičnosti zahteva stejkholdera. Različite konfiguracije ovih atributa oblikuju latentne, očekujuće i definitivne stejkholdere, čime se obezbeđuje dinamička perspektiva za određivanje prioriteta u pogledu pažnje i resursa [197].

Paralelno sa razvojem teorije stejkholdera, metode analize i mapiranja stejkholdera razvijale su se kao praktični alati za strategijski i projektni menadžment. Ovi pristupi najčešće obuhvataju: (1) identifikaciju grupa stejkholdera; (2) analizu njihovih interesa, uticaja i očekivanja; (3) određivanje prioriteta među njima, na primer primenom modela salijentnosti, matrica moći i interesa ili sličnih tehnika; i (4) projektovanje strategija uključivanja i komunikacionih kanala prilagođenih svakoj grupi [197]. Mapiranje stejkholdera je proces vizuelnog predstavljanja podataka o akterima kako bi se razumeli njihovi odnosi, trendovi i uticaji. Ključni alati uključuju:

- Matrica moći i interesa (eng. *Power/Interest Grid*) [194]: Najčešće korišćen alat koji deli stejkholdere u četiri kvadranta (promoteri, defanzivci, latentni i apatični), diktirajući strategiju angažovanja za svaki.
- Metodologija MISS (eng. *Methodology for the Identification of Strategic Stakeholders*) [198]: Savremeni kvantitativni i digitalizovani pristup koji koristi uporednu analizu parova za identifikaciju kritičnih i ključnih stejkholdera na osnovu njihovog sistemskog uticaja na strateške ciljeve organizacije.
- Uravnotežena tabela rezultata (eng. *Balanced Scorecard*) [199]: Metod koji integriše stejkholdere u strateški menadžment kroz četiri perspektive: eksterni uticaj, finansije, procesi i strukture, i organizaciono učenje.
- „Luk“ stejkholdera (eng. *Stakeholder Onion*) [200]: Grafički prikaz koji locira stejkholdere u slojeve (ključni, primarni, sekundarni) i prikazuje njihove međusobne veze, saradnju ili konflikte

Imajući u vidu širinu i složenost obrazovnog ekosistema, teorija stejkholdera postepeno je prilagođavana kontekstu visokoškolskih ustanova [201]. Od univerziteta se očekuje da odgovore na očekivanja širokog spektra internih stejkholdera, kao što su studenti, akademsko i administrativno osoblje, kao i eksternih stejkholdera, uključujući poslodavce, javne organe, profesionalna tela, finansijere, lokalne zajednice, organizacije civilnog društva i druge aktere [202], [203]. Kako su se visokoškolske ustanove razvijale od relativno zatvorenih i autonomnih organizacija ka institucijama koje su sve više tržišno i misijski orijentisane, odnosi sa stejkholderima postali su ključni za legitimitet, finansiranje, regionalni razvoj i inovacije. Ketunen [204], [205] operacionalizuje teoriju stejkholdera u visokom obrazovanju predlažući mapu stejkholdera koja ih eksplicitno povezuje sa perspektivama *Balanced Scorecard* pristupa: eksternim uticajem, finansijama, procesima i saradnjom, kao i organizacionim učenjem. Interni stejkholderi, kao što su studenti, akademsko i drugo osoblje, razlikuju se od eksternih partnera i korisnika, pri čemu se svaka grupa pozicionira u skladu sa svojom ulogom u regionalnom razvoju, finansiranju, kolaborativnim procesima i izgradnji kapaciteta. Na ovaj način, teorija stejkholdera u visokoškolskim ustanovama pomera se od apstraktnih lista aktera „koji su važni“ ka procesno orijentisanim modelima koji objašnjavaju kako se odnosi grade, održavaju i vrednuju.

Noviji bibliometrijski pregledi [202] potvrđuju da se istraživanja o visokoškolskim ustanovama i analizi stejkholdera značajno proširuju tokom poslednjih 25 godina, pri čemu se kao glavne teme izdvajaju uključivanje stejkholdera, upravljanje stejkholderima, odnosi sa stejkholderima i perspektive stejkholdera. Istraživanja posebno naglašavaju: (i) trostruku spiralu odnosa između države, industrije i univerziteta [202], [206]; (ii) uključivanje stejkholdera u obezbeđenje kvaliteta i izveštavanje o održivosti [202], [207]; i (iii) ulogu studenata i poslodavaca kao ključnih stejkholdera u oblikovanju kurikuluma, unapređenju zapošljivosti i razvoju inovacija [202], [208], [209].

Za potrebe rada na ovoj disertaciji, teorija stejkholdera pruža i konceptualnu i metodološku osnovu [197]. Konceptualno, ona posmatra okvir ekosistema mikrokredencijala kao mrežu međuzavisnih aktera čije uloge, zahtevi i razmene vrednosti moraju biti usklađeni, umesto da se optimizuju isključivo u korist jedne organizacije. Metodološki, ona opravdava primenu mapiranja stejkholdera i analize procesa radi identifikacije: (a) ko su stejkholderi u inicijativama mikrokredencijala u visokom obrazovanju; (b) kako se njihove odgovornosti razlikuju kroz procese sticanja, izdavanja, deljenja i održavanja mikrokredencijala; i (c) gde postoje praznine, neusklađenosti ili nedovoljno podržane grupe stejkholdera [197]. Poglavlje četiri detaljno razvija mapu stejkholdera prilagođenu procesima mikrokredencijala i analizira povezane tokove procesa i tokove vrednosti u ekosistemu visokog obrazovanja.

3 Primena blokčejn tehnologija i decentralizovanih infrastruktura poverenja u obrazovanju

Primena blokčejn tehnologija u upravljanju mikrokredencijalima ne podrazumeva samo evidentiranje obrazovnih postignuća u distribuiranoj knjizi, već uspostavljanje šire infrastrukture poverenja koja podržava pouzdano izdavanje, čuvanje, razmenu i verifikaciju digitalnih kredencijala. Zbog toga se u ovom poglavlju najpre razmatraju osnovni blokčejn koncepti, konsenzus algoritmi i karakteristike relevantnih platformi, kao tehnološka osnova za izvršavanje pametnih ugovora i automatizaciju procesa upravljanja mikrokredencijalima. Nakon toga analiziraju se tokenizacija i postojeće primene blokčejna u visokoškolskom obrazovanju, ali i njihova ograničenja u pogledu privatnosti, interoperabilnosti i kontrole podataka. Posebna pažnja posvećena je decentralizovanom upravljanju identitetima, proverljivim kredencijalima, pristupima ugrađene bezbednosti i privatnosti, kao i *zero-knowledge proofs* mehanizmima, koji omogućavaju da se svojstva blokčejna koriste bez izlaganja ličnih i obrazovnih podataka.

3.1 Blokčejn koncepti

Prva implementacija savremene blokčejn tehnologije pripisuje se Satošiju Nakamotu, koji je 2008. godine, kao pojedinac ili grupa, objavio rad „*Bitcoin: Peer-to-Peer* elektronski novčani sistem“, predlažući direktno onlajn plaćanje između dve strane bez posrednika, zasnovano na kriptografskom dokazu umesto na poverenju [210]. Blokčejn tehnologija se zasniva na konceptu baza podataka kojima upravlja više učesnika, odnosno decentralizovanih baza podataka (eng. *distributed ledger technology* - DLT) [5], [211]. Na taj način podacima se garantuje integritet, kao i opšti pristup informacijama o transakcijama koje su se realizovale na mreži [193].

Blokčejn funkcioniše na konceptu pametnih ugovora (eng. *smart contracts*), gde se transakcije automatski izvršavaju po unapred definisanim pravilima. U primeru kupoprodaje, kupac emituje kod koji automatski prebacuje token prodavcu nakon isporuke proizvoda. Mrežni čvorovi verifikuju transakciju proverom da kupac zaista poseduje sredstva, a potom beleže transakciju u blokčejnu. Novi blokovi se dodaju kroz proces rešavanja matematičkih problema, čime se osigurava sigurnost i nepromenljivost podataka, dok se svaki pokušaj manipulacije odbija [210]. Pojedinačni blok čini skup transakcija koje predstavljaju zasebnu celinu. Na svakom bloku su upisani podaci o transakcijama, vremensku oznaku, ali i heš (eng. *hash*) vrednost prethodnog bloka.

Svaki blok je povezan sa prethodnikom i na taj način se formira lanac koji nije moguće izmeniti, i tako narušiti integritet podataka, bez saglasnosti čitave mreže [212]. Blokčejn tehnologija sprečava zloupotrebe kao što su falsifikovanje i poricanje sadržaja jer čuva celokupan zapis podataka u obliku vremenski obeleženih i međusobno povezanih blokova [78]. Jedina promena koja se može desiti u okviru blokčejn mreže je upisivanje novog zapisa [77].

3.2 Konsenzus algoritmi

Konsenzus algoritmi predstavljaju jedan od osnovnih koncepata koji se povezuju sa blokčejn tehnologijom [213]. Oni omogućavaju da decentralizovane mreže budu bezbedne, tako što definišu pravila izvršavanja transakcija i čuvanja novih podataka u lancu [213], [214]. Čvorovi moraju da se usaglase o trenutnom stanju pre ažuriranja lanca podataka. Ovaj automatizovani proces sprečava greške i obezbeđuje pouzdanost blokova i na taj način štiti mrežu od pretnji [214].

Osnovnu različitost između raspoloživih blokčejn platformi predstavlja implementacija konsenzus algoritama. Samim tim, došlo je do razvoja različitih konsenzus algoritama od kojih su najčešće primenjivani [193], [214]:

- *Proof of Work* (PoW) – koristi koncept rudarenja za rešavanje kompleksnih algoritama i potvrđivanje transakcija,
- *Proof of Stake* (PoS) – veću ulogu u odlučivanju imaju korisnici koji imaju veći broj tokena,

- *Delegated Proof of Stake* (DPoS) – varijacija PoS modela, gde korisnici imaju mogućnost da biraju svoje „zastupnike“ koji mogu da donose odluke umesto njih
- *Proof of Authority* (PoA) – za bezbednost su zaduženi validatori koji se verifikuju na osnovu identiteta i na taj način ulažu svoju reputaciju, ali i određena sredstva kao garant posvećenosti

Bitcoin, prvi blokčejn, usvojio je mehanizam konsenzusa *Proof of Work* 2009.godine. Time je PoW postao jedan od prvih mehanizama konsenzusa, ali vremenom su uvedeni i drugi inovativniji algoritmi konsenzusa.

Prilikom primene PoW algoritma, validacija transakcija, odnosno dodavanje novog bloka u lanac se ostvaruje rešavanjem matematičkih problema uz značajnu potrošnju resursa potrebnih za ovaj proces [214]. Blok kojem je odobreno priključivanje lancu dobija svoju identifikacionu heš vrednost, što uz sačuvane reference na prethodnike, čini taj blok permanentnim članom lanca [215].

Algoritam PoS je kreiran kao rešenje problema visoke potrošnje resursa tokom procesa rudarenja, gde svaki korisnik može postati validator ukoliko uloži sopstvena sredstva. Validatori imaju mogućnost da kreiraju i dodaju nove blokove u lanac. Pored toga, odgovorni su za utvrđivanje validnosti bilo kakvih novih blokova koji se emituju. Kao garant učesnicima, validatori imaju šansu da izgube svoju zaključanu imovinu ako se ponašaju neprimereno [214], [215].

DPoS predstavlja varijaciju PoS konsenzus algoritma. Za razliku od PoS ulaganje ličnih sredstava nije garant za validatora. Umesto toga, određeni izabrani delegati donose odluke umesto drugih. Učesnici imaju mogućnost da odaberu delegate koji će ih zastupati. DPoS predstavlja demokratski način izbora i funkcionisanja mreže [214], [216].

PoA predstavlja konsenzus algoritam u koji validatori svojim identitetom garantuju za bezbednost lanca. Mrežni menadžeri proveravaju pouzdanost kandidata za validatora. Pored identiteta, validator mora da uloži sopstvena sredstva kao dokaz posvećenosti [217]. Ovaj konsenzus značajno olakšava praćenje i kontrolu validatora u slučaju nedozvoljenog postupanja. Zbog jednostavnijeg pokretanja pravnih sankcija protiv malicioznih korisnika ovaj mehanizam je veoma siguran [214], [217].

3.3 Pametni ugovori

Pametni ugovori predstavljaju automatizovane programske skripte koje se izvršavaju na blokčejnu, omogućavajući transakcije bez potrebe za posrednicima. Oni obezbeđuju transparentnost, sigurnost i neizmenljivost uslova koji su definisani u njihovom kodu. Koncept pametnih ugovora prvi put je predložio Nik Sabo 1994. godine, ali je njihova široka primena postala moguća tek sa razvojem *Ethereum* platforme [213].

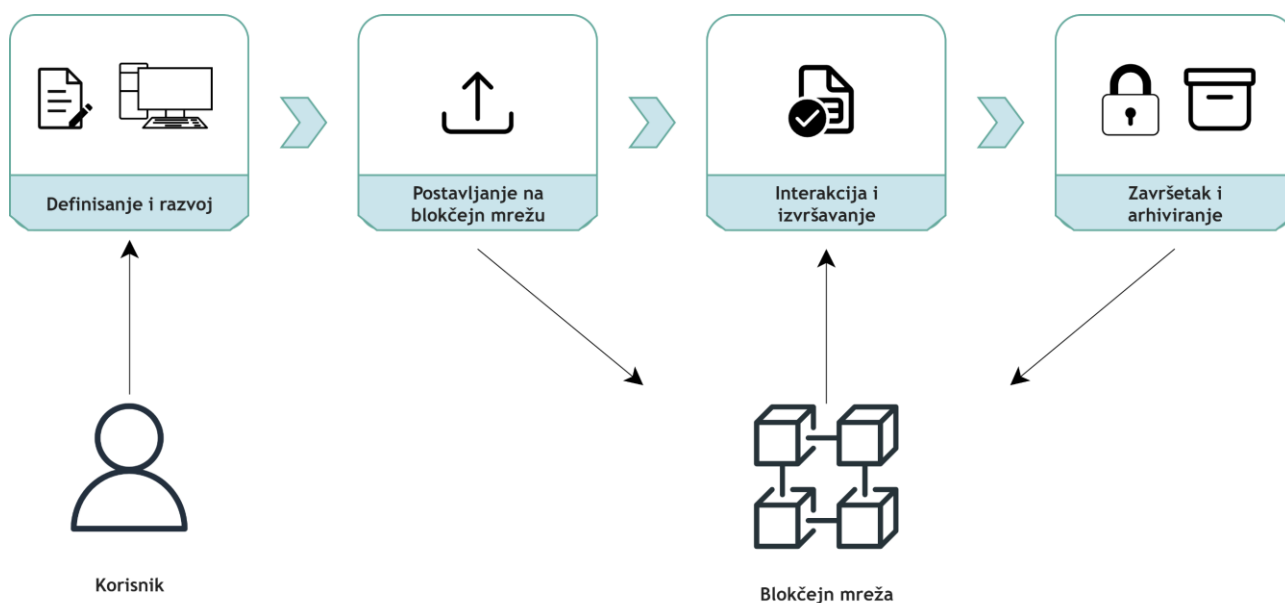
Pametni ugovori funkcionišu kroz decentralizovane blokčejn mreže i baziraju se na sledećim ključnim komponentama [218]:

- Kodiranje uslova i logike – uslovi ugovora zapisani su u programskom jeziku kao što su *Solidity* (*Ethereum*) ili *Rust* (*Solana*).
- Automatsko izvršenje – kada se ispune unapred definisani uslovi, ugovor se automatski izvršava bez potrebe za ručnim intervencijama.
- Neizmenljivost – jednom postavljeni na blokčejn, pametni ugovori ne mogu se izmeniti, što obezbeđuje sigurnost i transparentnost.

Proces funkcionisanja pametnog ugovora započinje definisanjem uslova, gde se ugovor kreira u obliku koda koji sadrži unapred definisane uslove i pravila. Nakon toga, ugovor se testira i postavlja na blokčejn mrežu, čime postaje neizmenljiv. Korisnici ili sistemi zatim komuniciraju sa ugovorom učitavajući podatke i zahteve, nakon čega blokčejn čvorovi proveravaju da li su uslovi ugovora ispunjeni. Kada se utvrdi da su svi zahtevi zadovoljeni, ugovor automatski izvršava definisane akcije, poput prenosa sredstava ili ažuriranja podataka. Na kraju, rezultati izvršenja trajno se beleže na blokčejnu, čime se obezbeđuje transparentnost i nepromenljivost podataka.

Ceo životni ciklus pametnih ugovora se sadrži od četiri uzastopne faze (Ilustracija 2) [213]:

1. Definisanje i razvoj – prvi korak je pisanje koda pametnog ugovora u programskom jeziku kao što je *Solidity*. Ova faza uključuje testiranje u kontrolisanim okruženjima kako bi se identifikovale potencijalne greške.
2. Postavljanje (eng. *deployment*) na blokčejn mrežu– jednom kada je kod pripremljen i testiranje završeno, pametni ugovor se postavlja na blokčejn, čime postaje nepromenljiv, i aktivan i dostupan za izvršavanje.
3. Interakcija i izvršavanje – korisnici interaguju sa pametnim ugovorom preko transakcija, koje automatski pokreću unapred definisane funkcije u kodu
4. Završetak i arhiviranje – nakon što je pametan ugovor izvršen, sva stanja uključenih aktera se ažuriraju, sve transakcije ostaju sačuvane na mreži, a predmet ugovora, što je uglavnom neka vrsta digitalnih novčanih sredstava ili imovine, se prenosi od jednog do drugog aktera.



Ilustracija 2 Životni ciklus pametnog ugovora (prilagođeno [213])

3.4 Analiza blokčejn platformi

Od nastanka prve blokčejn mreže 2009. godine *Bitcoin* [219], do danas je nastao veliki broj različitih platformi sa različitim namenama. Najpopularnije blokčejn platforme su:

Bitcoin [220]: prva blokčejn mreža sa istoimenom krypto valutom, zasnovana na *peer-to-peer* mreži, koja omogućava direktne elektronske transakcije bez potrebe za posrednicima, poput banaka. Satoši Nakamoto je 2008. godine predložio *Bitcoin* kao sistem za razmenu vrednosti baziran na kriptografskim dokazima umesto poverenja, rešavajući problem dvostrukog trošenja (eng. *double-spending*) korišćenjem *Proof-of-Work* konsenzus algoritma. *Bitcoin* transakcije se javno objavljuju i grupišu u blokove, koji se vremenski označavaju i povezuju u nepromenljivi blokčejn – lanac heširanih dokaza o radu (eng. *hash-based proof-of-work*).

Ethereum [221], [222]: decentralizovana blokčejn platforma otvorenog koda, dizajnirana da omogući izvršavanje pametnih ugovora i decentralizovanih aplikacija (eng. *Decentralized Application* – dApps) bez posrednika. Za razliku od *Bitcoin*, koji je primarno namenjen kao digitalna krypto valuta, *Ethereum* omogućava korisnicima da programiraju i automatizuju različite procese putem *Ethereum Virtual Machine* (EVM), što omogućava pokretanje pametnih ugovora na siguran i nepromenljiv način. Transakcije se obrađuju korišćenjem *Proof-of-Stake* konsenzus algoritma u okviru *Ethereum 2.0* ažuriranja, koje je zamenilo raniji *Proof-of-Work* model. Platforma podržava standarde kao što su ERC-20 za kreiranje fiat tokena i ERC-721 za NFT-ove, što omogućava razvoj novih finansijskih modela, decentralizovanih finansijskih (eng.

Decentralized Finance – DeFi), igara, upravljanja digitalnim identitetima i drugih aplikacija. *Ethereum* je trenutno jedan od najznačajnijih blokčejn projekata, ali se suočava sa izazovima kao što su visoke naknade za gas (eng. *gas fees*), skalabilnost i konkurencija drugih platformi za pametne ugovore.

HyperLedger

- *Fabric* [223], [224]: modularna blokčejn platforma dizajnirana za poslovne aplikacije koje zahtevaju visoku privatnost, bezbednost i efikasnost. Za razliku od javnih blokčejn platformi poput *Ethereum*-a, *Fabric* omogućava kreiranje privatnih i konzorcijskih blokčejn mreža, gde samo određeni entiteti mogu učestvovati u validaciji i obradi transakcija. Ključne karakteristike uključuju *plug-in* arhitekturu koja omogućava prilagođavanje konsenzus mehanizama, kanale (eng. *channels*) koji omogućavaju privatnost podataka između određenih učesnika, kao i podršku za *Chaincode*, što je *Fabric*-ova verzija pametnih ugovora, pisanih na programskim jezicima poput *Go*, *Java* i *JavaScript*. Ova platforma je posebno korisna za industrije kao što su lanci snabdevanja, finansije i zdravstvo, gde je potrebna identifikacija učesnika i kontrolisan pristup podacima. *Hyperledger Fabric* nudi skalabilnost i mogućnost integracije sa postojećim IT sistemima, što ga čini popularnim izborom za korporativne blokčejn primene.
- *Besu* [223], [225], [226]: otvorena i fleksibilna blokčejn platforma namenjena poslovnim aplikacijama, koja podržava i javne i privatne blokčejn mreže. Zasnovan na *Ethereum*-ovoj arhitekturi, *Besu* omogućava izvršavanje pametnih ugovora i decentralizovanih aplikacija uz kompatibilnost sa EVM-om. Jedna od glavnih prednosti ove platforme je podrška za različite konsenzus mehanizme, uključujući *Proof-of-Authority*, Istanbul *Byzantine Fault Tolerance* (BFT) i *Proof-of-Work*, što ga čini pogodnim za različite poslovne primene. *Hyperledger Besu* je popularan izbor za finansijske institucije, upravljanje lancima snabdevanja i digitalne identitete, jer nudi visok nivo privatnosti i skalabilnosti, uz mogućnost korišćenja permisivnog pristupa, koji ograničava učesnike mreže. *Besu* podržava JSON-RPC API, što omogućava jednostavnu integraciju sa postojećim sistemima i alatima, a zahvaljujući svojoj kompatibilnosti sa *Ethereum* mrežom, često se koristi za hibridna rešenja koja kombinuju prednosti javnog i privatnog blokčejna.

Polygon [227], [228]: skalabilno rešenje za *Ethereum* koje omogućava brže i jeftinije transakcije, istovremeno zadržavajući sigurnost i kompatibilnost sa *Ethereum* ekosistemom. *Polygon* funkcioniše kao *Layer 2*² mreža, koristeći nezavisne blokčejn mreže, vezane za *Ethereum* (eng. *sidechains*) i rešenja za skaliranje (eng. *rollups*) kako bi poboljšao performanse *Ethereum*-a, smanjio troškove gasa i povećao broj obrađenih transakcija u sekundi. Platforma se aktivno koristi za decentralizovane finansije, NFT tržišta, igre na blokčejnu i upravljanje digitalnim identitetima, a zbog svoje energetske efikasnosti i niskih troškova sve više je prihvaćena kao ključno rešenje za veb3 razvoj.

Tezos [229], [230]: samo-menjajuća (eng. *self-amending*) blokčejn platforma koja omogućava korisnicima da učestvuju u modifikaciji i ažuriranju protokola bez potrebe za grubim razdvajanjem (eng. *hard forking*). Ova platforma koristi *Proof-of-Stake* konsenzus mehanizam. Jedna od najznačajnijih karakteristika *Tezos*-a je mehanizam samo-menjanja, koji omogućava da se mrežni protokol automatski prilagođava i ažurira putem decentralizovanog sistema glasanja, što ga čini jednim od najfleksibilnijih blokčejn rešenja. *Tezos* takođe podržava *Turing-complete*³ pametne ugovore, napisane u programskom jeziku *Michelson*, koji je dizajniran za formalnu verifikaciju koda, čime se značajno smanjuje rizik od bezbednosnih propusta. Platforma je pogodna za decentralizovane finansije, digitalnu identifikaciju, NFT tržišta i korporativne blokčejn aplikacije.

Solana [231]–[233]: *Layer 1* (bazna) blokčejn platforma visokih performansi dizajnirana za brze i jeftine transakcije, uz zadržavanje decentralizacije i sigurnosti. Za razliku od tradicionalnih blokčejn mreža koje koriste samo *Proof-of-Work* ili *Proof-of-Stake* mehanizme, *Solana* uvodi *Proof-of-History* (PoH), inovativan mehanizam vremenskog označavanja koji omogućava mreži da postigne visoku brzinu obrade od 50.000

² Layer 2 – *off-chain* mreže, sistemi ili tehnologije izgrađene nad nekom osnovnom blokčejn mrežom koje služe da prošire mogućnosti bazne mreže, ponajviše u domenu snižavanja cene transakcija i povećanja skalabilnosti mreže [316]

³ Turing-complete pametni ugovori omogućavaju složene operacije, uključujući uslovne petlje, rekursiju i manipulaciju podacima [317]

transakcija u sekundi. Ovaj mehanizam minimizuje potrebu za komunikacijom između čvorova, čime se značajno smanjuje kašnjenje, vreme čekanja (eng. *latency*). Solana koristi Solana Virtual Machine (SVM) za izvršavanje pametnih ugovora, što omogućava programerima da grade decentralizovane aplikacije sa niskim troškovima gasa. Zahvaljujući svojoj skalabilnosti i brzini, Solana je postala popularna za decentralizovane finansije, NFT tržišta, veb3 aplikacije i blokčejn igre, ali je takođe suočena sa izazovima kao što su centralizacija čvorova i česte mrežne nestabilnosti.

Pored ovih osnovnih platformi, važno je istaći i dve blokčejn infrastrukture:

Bloxberg [114], [234], [235]: javno dostupna permisivna blokčejn mreža namenjena naučnoistraživačkoj i akademskoj zajednici. Bloksberg je pokrenut 2019. godine kao *Layer 1* mreža zasnovana na *Ethereum* arhitekturi, koja podržava EVM kompatibilne pametne ugovore. U originalnom modelu mreža koristi *Proof-of-Authority* konsenzus, pri čemu validacione čvorove održavaju identifikovane istraživačke i akademske institucije. Na taj način kombinuju se javna proverljivost zapisa i kontrolisano učešće u procesu validacije, uz nižu potrošnju energije i predvidljivije troškove u odnosu na javne mreže bez dozvole. Bloksberg je prvenstveno razvijen za vremensko označavanje, sertifikaciju i proveru integriteta naučnih podataka, ali se može koristiti i za evidentiranje kriptografskih dokaza o izdavanju, validnosti i opozivu obrazovnih kredencijala. Njegove prednosti u ovom domenu uključuju kompatibilnost sa *Ethereum* alatima, akademski model upravljanja i prilagođenost institucionalnim primenama, dok ograničenja proizlaze iz zavisnosti od skupa ovlašćenih validatora i upravljačke strukture mreže. Bloksberg se trenutno razvija u pravcu *Ethereum Layer 2* infrastrukture [234], zbog čega njegovu arhitekturu treba posmatrati kao evolutivnu.

European Blockchain Services Infrastructure – EBSI [236]: evropska infrastruktura blokčejn servisa koju razvijaju Evropska komisija, države članice Evropske unije, Norveška i Lihtenštajn radi uspostavljanja pouzdanih prekograničnih digitalnih javnih usluga. Za razliku od blokčejn platformi opšte namene, EBSI predstavlja decentralizovanu infrastrukturu poverenja zasnovanu na distribuiranim čvorovima, standardizovanim programskim interfejsima, pametnim ugovorima i kontrolisanim registrima poverenja. Infrastruktura podržava *Hyperledger Besu* sa IBFT 2.0 konsenzusom i *Hyperledger Fabric*, dok EBSI *Verifiable Credentials Framework* povezuje W3C proverljive kredencijale, decentralizovane identifikatore, digitalne novčanike i blokčejn registre. Glavne prednosti ove infrastrukture jesu usklađenost sa evropskim regulatornim i interoperabilnim okvirima, institucionalni model poverenja i podrška proverljivim kredencijalima, dok se ograničenja odnose na složenost institucionalnog uključivanja, zavisnost od registara poverenja i kontinuirani razvoj tehničkih standarda i infrastrukture.

Izbor odgovarajuće blokčejn infrastrukture za obrazovne kredencijale zahteva razmatranje ne samo osnovnih tehničkih karakteristika platforme, već i njene institucionalne primenljivosti. Prethodna istraživanja blokčejn rešenja za obrazovne kredencijale ukazuju na značaj modela upravljanja mrežom, programabilnosti, troškova, skalabilnosti, privatnosti i interoperabilnosti [113], [237] dok opšta istraživanja blokčejn infrastruktura dodatno ističu značaj mehanizma konsenzusa, finalnosti i performansi [212]. Energetska efikasnost i održivost infrastrukture u velikoj meri zavise od primenjenog konsenzusnog mehanizma [215]. Novije komparativne i sistematske studije blokčejn sistema u obrazovanju dodatno potvrđuju značaj navedenih dimenzija pri proceni njihove praktične primenljivosti [238]–[240]. Na osnovu navedenih nalaza, platforme su analizirane prema osam kriterijuma, grupisanih u dve celine: tehničke karakteristike infrastrukture i kriterijume koji određuju njenu institucionalnu primenljivost:

1. Tehničke karakteristike

- a. Model mreže i upravljanja (MU) – način pristupa mreži i učešća u validaciji transakcija, kao i osnovni model upravljanja infrastrukturom.
- b. Programabilnost i podrška pametnim ugovorima (PU) – mogućnost izvršavanja programske logike na mreži, što je značajno za automatizaciju procesa izdavanja, verifikacije, opoziva i obnavljanja digitalnih kredencijala.
- c. Konsenzus i finalnost (KF) – mehanizam kojim se postiže saglasnost o stanju mreže i način na koji transakcija postaje konačno potvrđena. Ova karakteristika utiče na bezbednost, pouzdanost i brzinu potvrđivanja zapisa [212], [217].

- d. Skalabilnost i performanse (SK) – sposobnost infrastrukture da podrži rast broja korisnika, transakcija, izdavanja i verifikacija, kao i dostupnost dodatnih mehanizama skaliranja [241].
2. Institucionalna primenljivost
- a. Model transakcionih i infrastrukturnih troškova (T^T) – način obračuna troškova korišćenja mreže, uključujući tržišne transakcione naknade kod javnih mreža i infrastrukturne troškove kod sistema sa kontrolisanim pristupom (eng. *permissioned*). Predvidljivost troškova je posebno značajna kod institucionalnog i masovnog izdavanja kredencijala.
 - b. Privatnost i kontrola pristupa (PK) – mogućnosti zaštite ličnih i obrazovnih podataka, ograničavanja pristupa i razdvajanja javno proverljivih zapisa od podataka koji se čuvaju van blokčejn mreže. Ovaj kriterijum je posebno važan zbog zahteva zaštite podataka i GDPR principa [237].
 - c. Interoperabilnost i usklađenost sa standardima (IS) – kompatibilnost sa drugim infrastrukturnim i aplikacionim sistemima, razvojnim ekosistemima i standardima relevantnim za digitalne kredencijale, uključujući W3C VC i DID modele.
 - d. Energetska efikasnost i održivost (EE) – relativna resursna i energetska zahtevnost mreže, prvenstveno određena modelom konsenzusa i infrastrukturom validatora [215].

Tabela 4 Analiza blokčejn platformi

Platforma	Tehničke karakteristike				Institucionalna primenljivost			
	MU	PU	KF	SK	TT	PK	IS	EE
Bitcoin	Javna, otvorena	<i>Bitcoin Script</i>	PoW; probabilistička	Niska L1	Tržišne	Javni zapisi	Ograničena	Niska
Ethereum	Javna, otvorena	EVM	PoS; ekonomska	L1 + L2	Dinamički gas	Javni zapisi	Visoka – EVM	Visoka
Hyperledger Fabric	Privatna/ konzorcijska	<i>Chaincode</i>	Raft / BFT ⁴ ; deterministička	Visoka	Infrastrukturni	Kanali, PDC	<i>Enterprise</i>	Visoka
Hyperledger Besu	Javna ili kontrolisana	EVM	PoS / QBFT / IBFT	Visoka	Zavisi od mreže	Zavisi od konfiguracije	Visoka – EVM	Visoka
Polygon PoS	Javna, otvorena	EVM	PoS / BFT	Visoka	Niske gas naknade	Javni zapisi	Visoka – EVM	Visoka
Tezos	Javna, otvorena	<i>Michelson</i>	PoS / <i>Tenderbake</i>	L1 + <i>rollups</i>	Niske	Javni zapisi	Srednja	Visoka
Solana	Javna, otvorena	SVM	PoS / <i>Tower</i> BFT	Veoma visoka	Niske	Javni zapisi	Srednja – SVM	Visoka
bloxberg	Javna, kontrolisani validatori	EVM	PoA	Srednja	Predvidljive	Javni dokaz	Visoka – EVM	Visoka
EBSI	Institucionalna, kontrolisana	Registri i servisi	BFT	Visoka	Infrastrukturni	<i>Holder-controlled</i>	Veoma visoka – VC/DID ⁵	Visoka

⁴ CFT (Crash Fault Tolerance) | BFT (Byzantine Fault Tolerance)⁵ VC (Verifiable Credential) | DID (Decentralized Identifier)

Uparedna analiza pokazuje da se razmatrane platforme razlikuju kako prema tehničkom modelu funkcionisanja, tako i prema uslovima njihove institucionalne primene. Javne mreže bez ograničavanja učešća, poput Eterijuma, Poligona, Tezosa i Solane, omogućavaju visok nivo javne proverljivosti i različite mehanizme skaliranja, ali zaštitu osetljivih obrazovnih podataka zahtevaju na dodatnim slojevima sistema. Nasuprot tome, konzorcijske infrastrukture i one sa kontrolisanim pristupom (eng. *permissioned*), poput *Hyperledger Fabric*-a, pružaju izraženiju kontrolu pristupa i predvidljiviji model upravljanja, uz manji stepen nezavisne javne proverljivosti.

U kontekstu obrazovnih kredencijala posebno su značajne infrastrukture koje povezuju javnu proverljivost, institucionalni model poverenja i interoperabilnost. Bloksberg kombinuje EVM kompatibilnost sa kontrolisanim skupom akademskih validatora, dok EBSI predstavlja evropsku infrastrukturu usmerenu na prekograničnu razmenu proverljivih digitalnih kredencijala i primenu standarda za proverljive kredencijale i decentralizovane identitete. Ove karakteristike predstavljaju osnovu za dalje razmatranje izbora infrastrukture za model upravljanja mikrokredencijalima razvijen u ovoj disertaciji.

3.5 Tokenizacija

Tokeni, u kontekstu blokčejna, su digitalni prikazi sredstava ili funkcionalnosti kojima se može trgovati ili koristiti u okviru određenog ekosistema [242]. Tokenizacija se odnosi na pretvaranje stvarnih sredstava poput imovine, umetnosti ili robe u tokene na blokčejnu, omogućavajući veću dostupnost, efikasnost i transparentnost u upravljanju imovinom i trgovini [243]. Ovaj proces omogućava delimično vlasništvo, lakšu prenosivost i potencijalno nove oblike stvaranja vrednosti putem pametnih ugovora i decentralizovanih aplikacija.

Klasifikacija tokena se može posmatrati iz različitih perspektiva [243]–[245]:

- **Klase:** kao najprepoznatljivija distinkcija, koja deli tokene na digitalni novac i kripto valute (eng. *cryptocurrencies*), bezbednosne tokene (eng. *tokenized security*) i uslužne tokene (eng. *utility tokens*), koji imaju široku primenu u kontekstu pristupa različitim servisima, funkcije upravljanja, glasanja, dokaza intelektualne i fizičke svojine, i dr.
- **Funkcije/svrhe:** tokeni zasnovani na imovini (eng. *asset-based tokens*), koji predstavljaju ili su povezani sa određenim stvarnim ili digitalnim resursima; tokeni za upotrebu (eng. *usage tokens*), koji omogućavaju pristup određenim uslugama ili platformama, slično pristupnim karticama; i radni tokeni (eng. *work tokens*), koji služe kao mehanizam nagrađivanja korisnika za određeno ponašanje ili aktivnost u okviru sistema
- **Uloge:** token kao pravo (eng. *right tokens*), koji omogućavaju vlasnicima određena prava u sistemu; tokeni za razmenu vrednosti (eng. *value exchange tokens*), koji služe kao sredstvo razmene unutar određene platforme; tokeni kao naknada (eng. *toll tokens*), koji omogućavaju pristup platformi ili uslugama uz plaćanje po korišćenju; funkcionalni tokeni (eng. *function tokens*), koji poboljšavaju korisničko iskustvo i nagrađuju korisnike za određene aktivnosti; valutni tokeni (eng. *currency tokens*), koji funkcionišu kao sredstvo plaćanja; i tokeni za ostvarivanje dobiti (eng. *earnings tokens*), koji nosiocima pružaju pravo na deo profita platforme.
- **Reprezentacije:** digitalna svojina, fizička svojina, zakonska prava
- **Zalihe/snabdevanja:** fiksne, zakazivane (eng. *schedule-based*)
- **Transakcione sposobnosti:** potrošivi (eng. *spendable*) koji se mogu trošiti unutar određene platforme za dobijanje proizvoda, usluga ili drugih vrednosti; nepotrošivi (eng. *non-spendable*), imaju drugu funkciju, kao što su predstavljanje prava, vlasništva ili pristupa određenim resursima
- **Vlasništva:** prenosivi i neprenosivi
- **Zamenljivosti:** zamenljivi (eng. *fungible*) i nezamenljivi (eng. *non-fungible*)
- **Nivoa:** blokčejn/nativni (eng. *blockchain/native*), protokolarni (eng. *protocol/non-native*), aplikacioni (eng. *decentralized applications* - dApps)
- **Lanca:** prema blokčejn mreži na kojoj su zasnovani, postoje četiri glavne kategorije u ovoj klasifikaciji: novi lanci sa novim kodom (eng. *new chains on new code*), koji su izgrađeni od osnove

sa originalnom arhitekturom; novi lanci na forkovanom kodu (eng. *new chains on forked code*), koji koriste postojeći blokčejn kod sa modifikacijama; forkovani lanci na forkovanom kodu (eng. *forked chains on forked code*), koji su rezultat razdvajanja (eng. *fork*) postojeće mreže i koda; i tokeni na aplikativnom sloju (eng. *application-layer tokens*), koji su izdati na vrhu postojećeg blokčejn protokola, poput ERC-20 tokena na Eterijum mreži.

Radi boljeg razumevanja odnosa između različitih parametara tokena, predložena je nova klasifikacija koja grupiše parametre prema njihovoj ulozi u dizajnu tokena. Ova klasifikacija obuhvata četiri glavne grupe [243]:

- Atributi svrhe (eng. *Purpose Attributes*) – Ovi parametri su povezani sa namenom tokena visokog nivoa. Generalizacija klasifikacije u odnosu na svrhu uključuje prethodno definisane klase, funkcije i uloge.
- Atributi upravljanja (eng. *Governance Attributes*) – Ova kategorija obuhvata parametre koji definišu šta token predstavlja i kako je povezan sa upravljanjem i funkcionisanjem platforme. Ova generalizacija obuhvata prethodno definisane klase reprezentacije i zaliha.
- Funkcionalni atributi (eng. *Functional Attributes*) – Ova grupa parametara opisuje operativne funkcije tokena, odnosno koje metode se mogu izvršavati nad njim. To uključuje klase vlasništva, zamenljivosti i transakcione sposobnosti.
- Tehnički atributi (eng. *Technical Attributes*) – Ovi parametri se odnose na tehničke aspekte protokola ili aplikacije na kojoj je token zasnovan. Oni uključuju elemente kao što su lanac/blokčejn mreža, pametni ugovori i standardi koji definišu ponašanje tokena unutar ekosistema, kao i nivoe primene.

Eterijum blokčejn platforma je preuzela inicijativu za definisanje standarda za tokene [246], [247]. Zajednica oko Eterijum mreže i platforme konstantno radi na unapređenju postojećih i definisanju novih standarda [247]. Najrelevantniji token standardi koji se koriste su [242], [247]:

- ERC-20 *Token Standard* – ovo je osnovni standard za tokene koji pruža bazične funkcionalnosti za prenos tokena kroz definisane pametne ugovore
- ERC-721 *Non-fungible Token (NFT) Standard* – definiše osnovne funkcionalnosti pametnih ugovora za praćenje i prenos NFT tokena, koji su u svojoj osnovi jedinstveni i čije se vlasništvo mora pratiti.
- ERC-1155 *Multi Token Standard* – definiše funkcionalnosti pametnih ugovora za upravljanje više tokena različitog tipa, bili oni zamenljivi (eng. *fungible*) ili nezamenljivi (eng. *non-fungible*)
- ERC-777 *Token Standard* – novi standard za interakciju i upravljanje tokenima koji kompatibilan sa prethodnim verzijama baziranim na ERC-20 standardu.
- ERC-223 *Token with transaction handling model* – još jedna nadogradnja ERC-20 standarda koja dodaje sigurnosne funkcionalnosti i rešava problem nestanka/gubitka ERC-20 tokena.
- ERC-1046: *tokenURI Interoperability* – nadograđuje ERC-20 standard sa funkcionalnostima ERC-721 standarda i proširuje standarde ERC-721 i ERC-1155 kako bi se omogućila interoperabilnost između tokena kreiranih korišćenjem ovih standarda.
- ERC-3525: *Semi-Fungible Token* – definiše funkcionalnosti polu-zamenljivih tokena, kompatibilan je sa ERC-721 standardom
- ERC-4519: *Non-Fungible Tokens Tied to Physical Assets* – definiše skup funkcionalnosti pametnih ugovora za NFT tokene koji se vezuju/odnose na fizička dobra/imovinu.
- ERC-5192: *Minimal Soulbound NFTs* i ERC-5485: *Consensual Soulbound Tokens* (SBT) – predstavljaju proširenja nad standardom ERC-721 čije funkcionalnosti omogućuju „vezivanje“ NFT-a za jedan nalog, bez mogućnosti prenošenja vlasništva.

NFT (eng. *Non-fungible Token*) su jedinstvena kriptografska digitalna sredstva na blokčejnu, koja sadrže specifične identifikacione informacije i kodove koji ih razlikuju jedan od drugog [248]. Za razliku od drugih kripto sredstava, NFT-ovi nisu zamenljivi međusobno, jer svaki poseduje jedinstvene

karakteristike. Oni se koriste za predstavljanje vlasništva kako nad digitalnim, tako i nad fizičkim resursima, kao što su digitalna umetnost, kolekcionarski predmeti, vlasnički dokumenti nekretnina, karte, pravni dokumenti i drugi oblici imovine [248], [249].

Glavne karakteristike NFT-ova uključuju [248], [250]:

- Jedinstvenost – svaki NFT je potpuno unikatan i ne može biti zamenjen drugim tokenom.
- Nedeljivost – NFT-ovi se ne mogu podeliti na manje delove, za razliku od kriptovaluta kao što su *Bitcoin* ili *Ether*.
- Nepromenljivost – pošto su smešteni na blokčejnu, NFT-ovi su nepromenljivi, osiguravajući sigurnost vlasništva.
- Vlasništvo i autentičnost – NFT-ovi pružaju dokaz o vlasništvu i autentičnosti digitalnih i fizičkih dobara/imovine.
- Interoperabilnost – NFT-ovi se mogu kupovati, prodavati i razmenjivati na različitim platformama, što povećava njihovu likvidnost i tržišnu dostupnost.

Iako bi SBT omogućavao da se mikrokredencijal predstavi kao jedinstven i neprenosiv NFT trajno povezan sa određenim blokčejn nalogom, ovakav pristup nije u potpunosti prilagođen zahtevima upravljanja obrazovnim kredencijalima [156], [251]. Njihovo evidentiranje na javnom blokčejnu može omogućiti povezivanje naloga sa obrazovnim postignućima, otežati zaštitu privatnosti i usklađivanje sa zahtevima za izmenu ili brisanje podataka, dok gubitak privatnog ključa može ugroziti pristup kredencijalu. Pored toga, SBT prvenstveno potvrđuje postojanje tokena i njegovu povezanost sa određenim nalogom, ali sam po sebi ne obezbeđuje standardizovanu strukturu obrazovnih tvrdnji, selektivno otkrivanje podataka i interoperabilnost između različitih sistema

3.6 Primena blokčejn tehnologija u visokoškolskom obrazovanju i upravljanju mikrokredencijalima

Jedan od ključnih izazova u implementaciji mikrokredencijala jeste obezbeđivanje njihove validnosti, prenosivosti i otpornosti na neovlašćene izmene u različitim obrazovnim sistemima [1], posebno kada studenti stiču kompetencije kroz raznovrsne putanje učenja. Tradicionalni sistemi akademskih kredencijala često su fragmentisani, centralizovani i oslonjeni na vremenski zahtevne procese verifikacije, što ograničava njihovu skalabilnost i interoperabilnost između institucija [156], [157]. Blokčejn tehnologija nudi rešenje omogućavajući decentralizovanu, nepromenljivu i transparentnu infrastrukturu za evidentiranje i verifikaciju obrazovnih postignuća. Kao distribuirani registar, blokčejn omogućava bezbedno praćenje materijalnih i nematerijalnih resursa [193], kao što su kompetencije i kredencijali, od strane svih stejkholdera u mreži, bez potrebe za centralizovanim posrednicima..

Ključne karakteristike blokčejna, kao što su nepromenljivost, transparentnost, distribuirani pristup i kriptografska sigurnost, odgovaraju na više trajnih izazova tradicionalnih sistema kredencijala u visokom obrazovanju: nedostatak poverenja i automatizacije u procesu verifikacije kredencijala [111], ograničenu kontrolu studenata nad sopstvenim podacima [189], kao i prepreke u priznavanju neformalnih i *cross-border* [106], [184] kvalifikacija.

Jedan ilustrativan primer je *EduCTX* [178], platforma zasnovana na blokčejn tehnologiji i usklađena sa ECTS sistemom. Ona omogućava univerzitetima da izdaju akademske kredite u obliku ECTX tokena, koji se evidentiraju na sigurnom distribuiranom registru i mogu se verifikovati putem protokola sa višestrukim potpisom [179]. Ovakav pristup podržava globalnu kompatibilnost, mobilnost studenata i direktnu verifikaciju od strane poslodavaca, istovremeno smanjujući administrativno opterećenje i unapređujući poverenje u kvalifikacije. Kada se krediti jednom izdaju na blokčejnu, oni postaju nepromenljivi, trenutno dostupni studentima i deljivi sa trećim stranama bez institucionalnog posredovanja [178], [179].

Pored pojedinačnih platformi, inicijative kao što je EBSI, odnosno Evropska infrastruktura za blokčejn servise (eng. *European Blockchain Services Infrastructure*) [236] razvijaju okvire za proverljive kredencijale na evropskom nivou. EBSI omogućava pouzdanu prekograničnu razmenu kredencijala kroz

decentralizovane identifikatore i proverljive kredencijale (eng. *Verifiable Credentials* – VC), usklađujući se sa standardima Evropske unije za digitalni identitet. Ove infrastrukture imaju za cilj da podstaknu interoperabilnost između obrazovnih institucija [252], unaprede transparentnost i podrže agendu celoživotnog učenja kroz bezbedne i korisnički kontrolisane ekosisteme kredencijala, zasnovane na premisi očuvanja privatnost. Nasuprot prethodno objašnjenim ERC standardima za NFT, proverljivi kredencijali predstavljaju kriptografski potpisane skupove tvrdnji koje izdavalac dodeljuje nosiocu, a koje nosilac čuva u digitalnom novčaniku i prezentuje verifikatoru. VC omogućavaju prenosivost, mašinsku čitljivost i kontrolisano ili selektivno deljenje podataka, bez potrebe da se lični i obrazovni podaci trajno čuvaju na blokčejnu.

Kako je primena blokčejn tehnologija u implementaciji modela identifikovana u 19 od 31 radova prethodno analiziranih u Tabeli 1, u narednoj tabeli biće prikazana analiza tih modela iz ugla:

1. Odabira blokčejn platforme – autori su jasno naznačili odabir blokčejn platforme za implementaciju modela
2. Konsenzus algoritma (KA) – autori su jasno naznačili odabir konsenzus algoritma, ili je on implicitno definisan odabirom blokčejn platforme:
 - 2.1. PoW (*proof-of-work*)
 - 2.2. PoS (*proof-of-stake*)
 - 2.3. DPoS (*Delegated proof-of-stake*)
 - 2.4. PoA (*proof-of-authority*)
3. Odabira tehnologije za implementaciju pametnih ugovora – autori su jasno naznačili tehnologije korišćenje u implementaciji pametnih ugovora
4. Odabira tipa blokčejna – autori su jasno naznačili tip blokčejna u kontekstu privatnosti:
 - 4.1. javni (*pub*),
 - 4.2. privatni (*pvt*),
 - 4.3. konzorcijum (*con*),
 - 4.4. hibridni (*hib*)
5. Odabira digitalnih novčanika – autori su jasno naznačili preferirani digitalni novčanik za povezivanje sa kreiranom aplikacijom ili predložili namenski razvijeno rešenje, ND u slučaju nedefinisano
6. Troška transakcije – u zavisnosti od odabira blokčejn platforme i načina implementacije pametnih ugovora, identifikovani su troškovi transakcije
7. Interoperabilnosti – identifikovana je među-platformska interoperabilnost u implementaciji pametnih ugovora
8. Načina upotrebe blokčejn tehnologija – autori su jasno naznačili način upotrebe blokčejn tehnologija: upravljanje identitetima (ID), upravljanje mikrokredencijalima (MK), drugo

U slučaju da se više radova odnosi na isti model ili isti softver, prikazani su okviru istog reda u tabeli (Tabela 5). Takođe radovi koji su dali predlog rešenja koji se konceptualno bazira na blokčejn tehnologijama, nisu uključeni u dalju analizu.

Tabela 5 Analiza primene blokčejn tehnologija u upravljanju mikrokredencijalima

Rad	Blokčejn platforma	KA	Tehn.	Tip	Dig. novčanik	Trošak trans.	Način upotrebe	Inter.
[168] [169]	<i>Ethereum</i> [253]	PoS	<i>Solidity</i> [254], <i>QualiChain</i> [255]	pub	ND	0.00023792 <i>ether</i>	MK	Da
[112]	<i>Ethereum</i> , <i>Bitcoin</i> [219]	PoW PoS	<i>Python</i> <i>Blockcert</i> [256]	pub	ND	<i>Bitcoin</i> 1.062 USD <i>Ethereum</i> 0.548 USD	MK	Da
[177]	<i>Ethereum</i>	PoW	<i>Java</i> , JS	pvt	ND	ND	MK	Ne
[178] [179]	ARK, <i>Ethereum</i>	DPoS PoA	ND	con	ND	0	MK	Da
[181]	<i>Ethereum</i> , <i>Bitcoin</i>	PoW PoA	<i>Blockcert</i> <i>Badgr</i> [257]	pub	ND	ND	MK	Da
[182]	<i>Ethereum</i>	PoS	<i>Solidity</i>	pub	<i>MetaMask</i> [258]	ND	MK	Da

[186]	<i>Hyperledger Besu</i> [225]	PoA	EBSI [236] W3C VCDM [259] OpenID CP [260]	con	<i>WaltID Wallet</i> [261]	0	MK ID	Da
[187]	<i>Hyperledger Besu</i>	PoA	EBSI W3C VCDM SSI [262]	con	Više [263]	0	MK ID	Da
[191]	<i>LinkChains</i> [264], [265]	ND	<i>MerQL</i>	ND	ND	ND	MK ID	Da

Na osnovu detaljnije analize predloženih modela, vidimo da samo 9 do 19 radova se bavi konkretnom implementacijom blokčejn tehnologija u svojim istraživanjima.

Zbog svoje lakoće implementacije i velike podrške, platforma *Ethereum* je najzastupljenija u izboru implementacije, a zatim *Bitcoin* i *HyperLedger Besu*, pri čemu su radovi, ranije identifikovani kao sa potpunom implementacijom i primenom, bazirani na *Ethereum*, *Bitcoin* [112] i *HyperLedger Besu* [186].

3.7 Upravljanje identitetima

Razmatranje koncepata samosuverenog identiteta, decentralizovanih identifikatora i proverljivih kredencijala neophodno je za razumevanje savremenih infrastruktura digitalnog poverenja u obrazovanju [266]. Iako blokčejn tehnologija obezbeđuje nepromenljivost i distribuiranu proverljivost zapisa, upravljanje mikrokredencijalima zahteva i mehanizme koji omogućavaju kontrolu korisnika nad identitetom, prenosivost kredencijala i verifikaciju bez stalnog oslanjanja na instituciju izdavaoca. Zbog toga SSI (eng. *Self-Sovereign Identity*), DID (eng. *Decentralized Identifiers*) i VC (eng. *Verifiable Credentials*) predstavljaju ključne koncepte za projektovanje sistema u kome su akademski i profesionalni kredencijali istovremeno proverljivi, interoperabilni i pod većom kontrolom njihovih nosilaca.

Samosuvereni identitet (SSI), nastao je kao odgovor na ograničenja centralizovanih i federativnih sistema identiteta, u kojima je korisnički identitet u velikoj meri pod kontrolom eksternih autoriteta, platformi ili institucionalnih posrednika [252]. U takvim sistemima pojedinci često nemaju dovoljno uvida u to kako se njihovi podaci čuvaju, dele ili ponovo koriste, niti imaju punu kontrolu nad otkrivanjem ličnih informacija [267]. SSI uvodi drugačiju paradigmu, u kojoj pojedinac postaje primarni kontrolor podataka o sopstvenom digitalnom identitetu i povezanim kredencijalima [268], [269].

Iz perspektive visokog obrazovanja, SSI je posebno značajan jer nosioca mikrokredencijala pomera iz uloge pasivnog subjekta institucionalnog upravljanja identitetom u ulogu aktivnog učesnika. Umesto ponovljenih zahteva za ručnom potvrdom od institucije izdavaoca, nosilac kredencijala može da ih čuva i prikazuje na kontrolisan i prenosiv način [267]. Ovakav pristup usklađen je sa modelom „trouglu poverenja“, koji uključuje izdavaoca, nosioca, odnosno studenta ili polaznika, i verifikatora [270]–[272].

Ovakav model posebno je relevantan u savremenim ekosistemima visokog obrazovanja koje karakterišu mobilnost, celoživotno učenje, nadograđivi kredencijali i priznavanje između različitih institucija [186], [197], [273]. U ovim kontekstima, SSI obezbeđuje konceptualnu osnovu za kontrolu usmerenu ka studentu, prenosivost identiteta i selektivno otkrivanje podataka, čime istovremeno podržava institucionalno poverenje i autonomiju studenata [111], [197], [274].

Paradigma samosuverenog identiteta operacionalizuje se prvenstveno kroz decentralizovane identifikatore (DID) i proverljive kredencijale (VC) [267], [274], [275]. DID predstavljaju globalno jedinstvene identifikatore koji omogućavaju entitetu da dokaže kontrolu nad sopstvenim identitetom primenom kriptografskih mehanizama, bez oslanjanja na centralizovani registar ili sertifikaciono telo [267], [275]. Ovaj identifikator je povezan sa DID dokumentom, koji sadrži javne ključeve i servisne krajnje tačke potrebne za pouzdanu digitalnu interakciju [276]. Za razliku od tradicionalnih identifikatora, DID su projektovani tako da podrže korisničku kontrolu, očuvanje privatnosti i interoperabilnost u različitim tehničkim okruženjima [274].

Proverljivi kredencijali predstavljaju digitalni ekvivalent pouzdanih dokumenata, kao što su diplome, sertifikati, transkripti ili zapisi o stečenim kompetencijama [252], [271], [274]. Njihova ključna prednost

ne ogleda se samo u digitalizaciji, već u kriptografskoj proverljivosti. VC omogućava da se tvrdnje izdaju u mašinski čitljivom formatu otpornom na neovlašćene izmene, čime se verifikatoru omogućava da potvrdi autentičnost i integritet kredencijala bez oslanjanja na ručnu institucionalnu potvrdu [171], [186].

U kontekstu visokog obrazovanja, kombinacija DID i VC predstavlja tehničku okosnicu decentralizovane infrastrukture poverenja [274]. Ona podržava prenosivost kredencijala i interoperabilnost između institucija, uz istovremeno smanjenje administrativnog opterećenja povezanog sa konvencionalnom verifikacijom sertifikata [197]. Novija istraživanja u oblasti decentralizovanih obrazovnih ekosistema naglašavaju da ova kombinacija može ojačati vlasništvo nosilaca nad kredencijalima, unaprediti poverenje i podržati dugoročnu proverljivost akademskih postignuća [113], [277].

3.8 Privatnost i bezbednost u sistemima decentralizovanih kredencijala

Digitalizacija akademskih zapisa i kredencijala omogućava njihovu efikasniju razmenu i proveru, ali istovremeno povećava rizike povezane sa neovlašćenim pristupom, prekomernim prikupljanjem podataka i gubitkom kontrole nad njihovim korišćenjem [189]. Ovi rizici posebno su izraženi u visokoškolskom obrazovanju, gde se obrađuju lični podaci, rezultati učenja, ocene, evidencije o kompetencijama i drugi podaci koji mogu imati dugoročan uticaj na akademski i profesionalni razvoj pojedinca. Zbog toga se privatnost i bezbednost ne mogu posmatrati samo kao dodatne funkcije sistema, već kao zahtevi koji moraju biti ugrađeni u njegovu arhitekturu od početka projektovanja [278].

Koncept ugrađene privatnosti (eng. *Privacy-by-Design* – PbD) zasniva se na pretpostavci da privatnost treba proaktivno uključiti u sve faze životnog ciklusa informacionog sistema [279]. Njegovi osnovni principi obuhvataju preventivno delovanje, privatnost kao podrazumevanu postavku, minimizaciju podataka, zaštitu tokom celog životnog ciklusa, transparentnost i usmerenost na interese korisnika. Ovaj pristup podrazumeva da korisnik ne mora dodatno da podešava sistem kako bi zaštitio svoje podatke, već da je najviši nivo zaštite primenjen automatski [280]. Princip je podržan i članom 25. Opšte uredbe o zaštiti podataka [281], kojim se zahteva zaštita podataka kroz dizajn i podrazumevane postavke, kao i standardima za projektovanje sistema koji obrađuju podatke o ličnosti. Komplementaran pristup predstavlja ugrađena bezbednost (eng. *Secure-by-Design* – SbD), prema kome se bezbednost tretira kao osnovni zahtev sistema, a ne kao naknadno dodat tehnički sloj [278]. Ovaj pristup obuhvata identifikaciju pretnji tokom projektovanja, primenu najmanjih potrebnih privilegija, bezbedno upravljanje identitetima i ključevima, kontrolu pristupa, zaštitu integriteta podataka i evidentiranje značajnih aktivnosti. Dok je PbD prvenstveno usmeren na kontrolu obrade i otkrivanja podataka [279], SbD obezbeđuje njihovu poverljivost, integritet i dostupnost. U sistemima za upravljanje mikrokredencijalima ova dva pristupa se dopunjuju, jer kredencijal mora istovremeno biti pouzdano proverljiv i zaštićen od neovlašćenog pristupa ili prekomernog otkrivanja podataka. Ovakvo povezivanje privatnosti, bezbednosti i poverenja čini osnovu arhitekture obrazovnih kredencijala bazirane na ugrađenoj bezbednosti.

Iako DID i VC omogućavaju decentralizovano i mašinski proverljivo poverenje, oni sami po sebi ne rešavaju u potpunosti napetost između proverljivosti i privatnosti. Upravo u tom kontekstu *zero-knowledge proofs* (ZKP), odnosno dokazi sa nultim znanjem, postaju posebno značajni. ZKP predstavljaju kriptografske tehnike koje jednoj strani omogućavaju da dokaže istinitost određene tvrdnje bez otkrivanja osnovnih podataka na osnovu kojih se ta tvrdnja dokazuje [282]. Primenjeni u obrazovnom kontekstu, oni omogućavaju nosiocu kredencijala da dokaže posedovanje validnog akademskog kredencijala bez otkrivanja celog dokumenta ili nepovezanih ličnih podataka [237], [282], [283].

Ovakav pristup direktno podržava selektivno otkrivanje podataka, princip prema kome se u procesu verifikacije deli samo minimalna količina informacija neophodna za konkretnu svrhu [266]. Na primer, poslodavcu može biti potrebna potvrda da je student ili polaznik završio određeni program, ali ne i pristup podacima koji omogućavaju ličnu identifikaciju, kao što su datum rođenja, nacionalni identifikacioni broj ili dodatni zapisi [113]. Slično tome, druga obrazovna institucija može zahtevati dokaz o ispunjenosti uslova za upis, ali bez pristupa celokupnoj akademskoj istoriji nosioca kredencijala. U takvim slučajevima, ZKP unapređuju i privatnost i poverenje, jer omogućavaju sprovođenje verifikacije bez prekomernog

otkrivanja podataka, čime se privatnost transformiše iz reaktivne mere u proaktivni princip projektovanja sistema [284].

Iz perspektive pristupa ugrađene bezbednosti, ZKP dodaju napredni sloj očuvanja privatnosti ekosistemima kredencijala [283], [285]. Savremeni okviri za akademsku verifikaciju sve češće integrišu ZKP, zk-SNARKs ili arhitekture zasnovane na zkEVM kako bi podržali sigurnu validaciju, unapredili usklađenost sa regulatornim zahtevima i smanjili izloženost osetljivih podataka studenata [111], [282], [283]. Ipak, ZKP ne treba posmatrati kao samostalno rešenje, već kao deo šire arhitekture poverenja koja uključuje pouzdanu identifikaciju izdavaoca, validaciju izvora podataka, proverljive kredencijale, upravljanje statusom i opozivom, kontrolu pristupa i revizioni trag. Njihova vrednost ogleda se u tome što omogućavaju da proverljivost i privatnost ne budu međusobno isključivi ciljevi, već istovremeno ostvarene karakteristike sistema za upravljanje mikrokredencijalima.

4 Razvoj modela za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju primenom blokčejn tehnologija

4.1 Analiza postojećih modela

Savremeni sistemi za upravljanje akademskim podacima i dalje se suočavaju sa ozbiljnim strukturnim izazovima, pri čemu se akademske evidencije najčešće vode u centralizovanim bazama podataka pod kontrolom institucija, što ih čini podložnim neefikasnostima i curenju podataka [286]. Kao što je prethodno istaknuto, nedostaci povezani sa silosima podataka (eng. *data silos*), niskim nivoom interoperabilnosti i oslanjanjem na ručnu verifikaciju direktno doprinose globalnom problemu falsifikovanja diploma i razvoju tzv. industrije „*degree mill*“ [113]. Ovaj problem generiše milijarde dolara godišnje kroz izdavanje lažnih sertifikata i transkripata, narušavajući poverenje u obrazovne institucije i tržište rada [241], [282]. Ručna verifikacija autentičnosti diploma danas u proseku traje oko 12 dana, što je neprihvatljivo u savremenom digitalnom društvu i stvara administrativno usko grlo za mobilnost studenata i zapošljavanje [287].

Kao odgovor na ove izazove, razvijeno je više blokčejn rešenja. Blokcert (eng. *Blockcerts*), inicijativa MIT Media Lab-a, predstavlja jedan od najstarijih i najšire korišćenih standarda za izdavanje digitalnih sertifikata usidrenih na *Bitcoin* ili *Ethereum* blokčejnu [113], [282]. Iako je Blokcert pokazao tehničku izvodljivost ovakvog pristupa, suočava se sa visokim transakcionim troškovima i nedostatkom ugrađenih mehanizama zaštite privatnosti, poput ZKP, što može dovesti do izlaganja osetljivih metapodataka tokom procesa verifikacije [270], [282]. Sa druge strane, platforma *EduCTX* bila je među prvim rešenjima koja su razvila koncept digitalnih kredita usklađenih sa ECTS sistemom, koristeći ARK i *Ethereum* infrastrukturu za globalni prenos i akumulaciju kredita [113], [288]. Međutim, rane verzije ovog sistema nisu u potpunosti koristile prednosti pametnih ugovora za automatizaciju složene poslovne logike, niti su implementirale standardizovane decentralizovane identifikatore (DID) koji bi studentima omogućili punu autonomiju. Specijalizovana akademska mreža Bloksberg, zasnovana na *Proof of Authority* (PoA) konsenzusu, nudi infrastrukturu prilagođenu istraživačkim i obrazovnim institucijama, obezbeđujući dugotrajnost i proverljivost kredencijala čak i u slučaju prestanka postojanja institucije izdavaoca [171].

Poseban značaj u evropskom kontekstu ima *European Blockchain Services Infrastructure* (EBSI), odnosno Evropska infrastruktura za blokčejn servise, kao zajednička inicijativa Evropske komisije i 27 država članica Evropske unije, koja postavlja osnove za prekograničnu razmenu akademskih podataka kroz Web3 model poverenja [236], [252]. EBSI integriše Evropski okvir za samosuvereni identitet (eng. *European Self-Sovereign Identity Framework* – ESSIF), čime omogućava razvoj digitalnih novčanika koji studentima daju punu kontrolu nad sopstvenim identitetom, bez oslanjanja na centralne registre. Pilot-projekti u okviru EBSI ekosistema, uključujući saradnje između univerziteta u Belgiji, Italiji i Rumuniji, pokazali su da je model zasnovan na SSI i VC standardima spreman za primenu na nacionalnom nivou, uz visok stepen uspešnosti verifikacije u realnom vremenu [186], [284]. EBSI transformiše paradigmu poverenja iz Web 2.0 modela „veruj platformi“ ka Web 3.0 imperativu „ne veruj, proveri“, u kome se kredibilitet diplome kriptografski potvrđuje, bez potrebe za direktnim kontaktiranjem institucije.

Uprkos ostvarenom napretku, analiza postojećih rešenja ukazuje na ključne nedostatke koji onemogućavaju potpuno ostvarivanje ekosistema sa ugrađenom bezbednošću. Najveći rizik predstavlja tzv. „*oracle security gap*“, odnosno bezbednosni jaz na granici između nasleđenih sistema, poput *Moodle* platforme, i blokčejna, gde netačni ili nekonzistentni podaci mogu biti trajno i nepovratno upisani u distribuirani registar. Pored toga, većina postojećih platformi i dalje se suočava sa konfliktom između nepromenljivosti blokčejna i prava na zaborav definisanog GDPR okvirom, budući da često neadekvatno razdvajaju podatke o ličnosti (eng. *Personal Identifiable Information* – PII) od kriptografskih dokaza. Nedostatak izvorne integracije ZKP tehnologije u većini postojećih rešenja primorava studente da dele celokupne transkripte čak i u situacijama kada je potrebna samo parcijalna verifikacija, čime se narušava princip minimizacije podataka. Ovi identifikovani nedostaci, od nesigurnosti *oracle* sloja do nepotpune zaštite privatnosti, predstavljaju osnovu za predlog nove, robusnije arhitekture koja će u nastavku rada biti definisana kroz principe ugrađene bezbednosti i ugrađene privatnosti.

4.2 Analiza referentnih okvira kvalifikacija i kompetencija

Razvoj modela za upravljanje mikrokredencijalima zahteva jasno određivanje načina na koji se definišu, opisuju i integrišu nivoi učenja, kompetencije i očekivani ishodi. Mikrokredencijal može sadržati naziv i opis obrazovnog postignuća, ali njegova šira upotrebljivost i mogućnost priznavanja zavise od toga da li su potvrđeni rezultati predstavljeni terminima koji su razumljivi i uporedivi između različitih obrazovnih institucija, sektora i tržišta rada. U tu svrhu razvijen je veliki broj okvira kvalifikacija i kompetencija, koji se razlikuju prema nameni, ciljnoj grupi, stepenu detaljnosti i oblasti primene. Pojedini okviri prvenstveno određuju nivo i složenost rezultata učenja, drugi definišu opšte ili transversalne kompetencije, dok su pojedini usmereni na profesionalne oblasti, tržište rada ili određene društvene izazove. Zbog toga nije moguće niti opravdano izabrati jedan okvir koji bi u potpunosti obuhvatio sve vrste kompetencija koje se mogu potvrđivati mikrokredencijalima.

Cilj analize nije sveobuhvatno razmatranje svih postojećih okvira, već identifikovanje referentnih struktura koje mogu podržati predloženi model u kontekstu visokog obrazovanja, celoživotnog učenja i različitih oblika neformalnih aktivnosti. Izbor je zasnovan na relevantnosti okvira za određivanje nivoa rezultata učenja, opis digitalnih, ličnih, socijalnih, preduzetničkih i stručnih kompetencija, kao i na mogućnosti njihovog povezivanja sa potrebama tržišta rada.

Posebna pažnja posvećena je primenljivosti okvira na neformalno učenje i vannastavne aktivnosti. Ove aktivnosti mogu istovremeno razvijati stručne, digitalne i transversalne kompetencije, zbog čega njihovo predstavljanje zahteva kombinovanje različitih referentnih izvora.

Analizom su obuhvaćeni Evropski okvir kvalifikacija [289], Nacionalni okvir kvalifikacija Republike Srbije [290], [291] i okvir kvalifikacija Evropskog prostora visokog obrazovanja [292], kao referentni sistemi za određivanje nivoa učenja. Kao okviri kompetencija razmatrani su *DigComp* [293], *LifeComp* [294] i *EntreComp* [295], dok su ESCO [296], evropski okvir e-kompetencija (e-CF) [297] i *GreenComp* [298] analizirani kao dopunski izvori za povezivanje sa tržištem rada, stručnim IKT kompetencijama i kompetencijama održivosti. Okviri se porede prema njihovoj svrsi, strukturi, načinu definisanja nivoa, obuhvaćenim vrstama kompetencija, primenljivosti u formalnom i neformalnom učenju, podršci za procenu i mogućnosti povezivanja sa mikrokredencijalima. Rezultati analize koriste se kao osnova za definisanje modela kompetencija, ishoda učenja i dokaza u nastavku rada.

Okviri kvalifikacija omogućavaju klasifikovanje rezultata učenja prema njihovom nivou, složenosti i stepenu samostalnosti koji se očekuje od pojedinca. Za predloženi model posebno su značajni Evropski okvir kvalifikacija, Nacionalni okvir kvalifikacija Republike Srbije i okvir kvalifikacija Evropskog prostora visokog obrazovanja.

- Evropski okvir kvalifikacija [289] predstavlja referentni okvir sa osam nivoa, definisanih preko ishoda učenja u oblastima znanja, veština, odgovornosti i samostalnosti. Njegova osnovna funkcija je omogućavanje poređenja kvalifikacija iz različitih nacionalnih sistema. Za mikrokredencijale je značajan zato što omogućava da se nivo aktivnosti učenja ili potvrđenog rezultata izrazi na način razumljiv izvan institucije koja ga je izdala.
- Nacionalni okvir kvalifikacija Republike Srbije povezuje nacionalne kvalifikacije i njihove nivoe sa Evropskim okvirom kvalifikacija [290]. Njegova primena omogućava da se ishodi i kompetencije potvrđeni mikrokredencijalom pozicioniraju u domaćem obrazovnom i kvalifikacionom sistemu. Međutim, dodeljivanje nivoa mikrokredencijalu zahteva oprez, jer manji obrazovni zapis ne mora samostalno predstavljati celovitu kvalifikaciju određenog nivoa. Nivo se zato prvenstveno odnosi na složenost ishoda učenja, a ne na izjednačavanje mikrokredencijala sa punom kvalifikacijom.
- Okvir kvalifikacija Evropskog prostora visokog obrazovanja usmeren [292] je na cikluse visokog obrazovanja i koristi Dablin deskriptore [299], koji obuhvataju znanje i razumevanje, primenu znanja, donošenje sudova, komunikaciju i sposobnost daljeg učenja. Njegov značaj za model ogleđa se u povezivanju mikrokredencijala sa očekivanim nivoima akademskog razvoja i generičkim ishodima visokog obrazovanja.

Za opis pojedinačnih kompetencija relevantnih za različite oblike učenja analizirani su *DigComp* [293], *LifeComp* [294] i *EntreComp* [295]. Ovi okviri imaju komplementarne funkcije, jer obuhvataju digitalne, lične, socijalne, preduzetničke i inovacione kompetencije koje se često razvijaju kroz aktivnosti izvan klasične predmetne nastave.

- *DigComp* [293] predstavlja evropski okvir digitalnih kompetencija i obuhvata kompetencije povezane sa informacijama i podacima, komunikacijom i saradnjom, kreiranjem digitalnog sadržaja, bezbednošću i rešavanjem problema. Okvir je relevantan za aktivnosti koje uključuju razvoj softvera, rad sa digitalnim alatima, upravljanje podacima, digitalnu saradnju i stvaranje digitalnih proizvoda. Njegova strukturisana organizacija i nivoi razvijenosti omogućavaju preciznije opisivanje digitalnih ishoda učenja.
- *LifeComp* [294] obuhvata lične i socijalne kompetencije, kao i kompetencije povezane sa učenjem. Posebno je značajan za opis sposobnosti kao što su samovrednovanje, fleksibilnost, saradnja, komunikacija, empatija, kritičko mišljenje i upravljanje sopstvenim učenjem. Ove kompetencije često predstavljaju važan rezultat timskog, projektnog i iskustvenog učenja, ali nisu dovoljno vidljive kada se vrednuje samo završni proizvod aktivnosti.
- *EntreComp* [295] opisuje preduzetničku kompetenciju kroz sposobnost prepoznavanja ideja i prilika, korišćenja raspoloživih resursa i pretvaranja ideja u delovanje. Okvir je posebno primenljiv na inovacione projekte, razvoj rešenja za realne probleme, rad u multidisciplinarnim timovima i aktivnosti koje zahtevaju inicijativu, planiranje i stvaranje vrednosti.

Za povezivanje kompetencija sa tržištem rada relevantan je ESCO [296], koji pruža višezjezičnu klasifikaciju veština, kompetencija, kvalifikacija i zanimanja. Ovaj okvir omogućava povezivanje pojedinačnih kompetencija sa konkretnim zanimanjima i profesionalnim profilima, čime se obrazovni ishodi mogu izraziti terminologijom koja je razumljiva i obrazovnim institucijama i poslodavcima. Na taj način ESCO može predstavljati vezu između kompetencija evidentiranih kroz mikrokredencijale i zahteva tržišta rada, omogućavajući standardizovanje opisivanja veština, poređenje kompetencija pojedinaca sa zahtevima određenih zanimanja i lakše tumačenje mikrokredencijala u procesima zapošljavanja i profesionalnog razvoja. Njegova vrednost u predloženom modelu nije u definisanju obrazovnog procesa, već u omogućavanju standardizovanog imenovanja kompetencija i njihovog povezivanja sa profesionalnim ulogama. Evropski okvir e-kompetencija [297] može se koristiti kao dopunski izvor za programe usmerene na profesionalne IKT kompetencije. Za razliku od *DigComp*-a, koji se odnosi na šire digitalne kompetencije građana, e-CF opisuje kompetencije relevantne za profesionalni rad u oblasti informacionih i komunikacionih tehnologija.

Uporedna analiza okvira na osnovu njihove funkcije, jedinice opisa, nivoa i dalje primene u modelu je prikazana u tabeli ispod (Tabela 6).

Tabela 6 Uporedna analiza okvira kompetencija

Okvir	Osnovna funkcija	Jedinica opisa	Nivoi	Primena u modelu
EQF [289]	Poređenje nivoa kvalifikacija	Ishodi učenja	8 nivoa	Referenca nivoa i složenosti
NOKS [290]	Nacionalno pozicioniranje kvalifikacija	Kvalifikacije i ishodi	Nacionalni nivoi povezani sa EQF	Domaći obrazovni kontekst
QF-EHEA [292]	Opis ciklusa visokog obrazovanja	Generički ishodi ciklusa	Ciklusi visokog obrazovanja	Akademski kontekst
<i>DigComp</i> [293]	Digitalne kompetencije	Pojedinačne digitalne kompetencije	Nivoi razvijenosti	Digitalni ishodi i veštine
<i>LifeComp</i> [294]	Lične, socijalne i kompetencije učenja	Transverzalne kompetencije	Progresija razvoja	Timski rad, samovrednovanje i učenje
<i>EntreComp</i> [295]	Preduzetničke i inovacione kompetencije	Kompetencije i oblasti	Nivoi progresije	Inovacije, inicijativa i stvaranje vrednosti
ESCO [296]	Povezivanje kompetencija i zanimanja	Veštine, kompetencije i zanimanja	Nema primarno nivoa	Veza sa tržištem rada

Okvir	Osnovna funkcija	Jedinica opisa	Nivoi	Primena u modelu
e-CF [297]	Profesionalne IKT kompetencije	IKT kompetencije	Nivoi stručnosti	Tehnički programi i projekti

Analiza pokazuje da okviri kvalifikacija i okviri kompetencija imaju različite, ali komplementarne funkcije. Prvi omogućavaju određivanje nivoa i šireg obrazovnog konteksta rezultata učenja, dok drugi omogućavaju precizno imenovanje i opis pojedinačnih kompetencija. Klasifikacije povezane sa tržištem rada dodatno omogućavaju povezivanje obrazovnih postignuća sa profesionalnim potrebama

4.3 Modelovanje mape stejkholdera

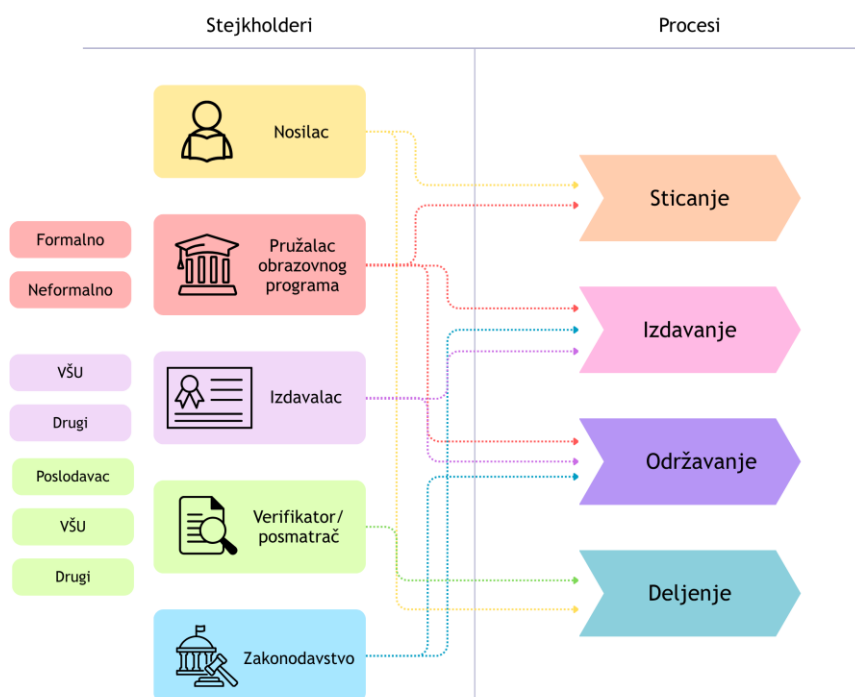
Polazeći od teorijskih osnova mikrokredencijala i teorije stejkholdera, kao i analize postojećih modela, ovo poglavlje se fokusira na identifikaciju svih relevantnih stejkholdera ekosistema mikrokredencijala u visokom obrazovanju [197]. U okviru analize radova iz oblasti upravljanja mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju dati su različiti predlozi modela i sistema, koji identifikuju slične stejkholdere:

- Zakonsku regulativa [130], [131]
- Visokoškolske institucije i njihove zaposlene (nastavno/nenastavno osoblje)
- Studenta / polaznika / učesnika
- Nastavnika / predavača
- Poslodavce

Iako postojeći okviri politika i institucionalne inicijative opisuju funkcionalne komponente sistema mikrokredencijala, oni retko jasno objašnjavaju kako različiti akteri međusobno deluju, kako su odgovornosti raspodeljene i kako se vrednost kreće kroz životni ciklus sticanja, izdavanja, deljenja i održavanja mikrokredencijala. Razumevanje ovih međuzavisnosti od ključnog je značaja za projektovanje interoperabilnih i pouzdanih sistema.

U ovoj disertaciji ekosistem mikrokredencijala konceptualizuje se kao mreža (Ilustracija 3) pet osnovnih uloga stejkholdera: 1) nosilac mikrokredencijala, 2) pružalac obrazovnog programa, 3) izdavalac, 4) verifikator i 5) zakonodavstvo i regulatorna tela .

1. Nosilac mikrokredencijala (eng. *earner*) - u širem kontekstu celoživotnog učenja, nosilac mikrokredencijala je svaki pojedinac koji stiče nova znanja i veštine u različitim okruženjima za učenje. Ta okruženja obuhvataju formalno učenje, prvenstveno programe visokog obrazovanja, kao i neformalno učenje, uključujući strukturirane ili polustrukturirane obrazovne formate kao što su profesionalne sertifikacije, *bootcamp* programi, letnje škole, obuke na radnom mestu i prilike za učenje zasnovane na projektima ili izazovima. Nosioci mikrokredencijala učestvuju u ekosistemu mikrokredencijala izborom putanja učenja, završavanjem predviđenih aktivnosti, prolaskom kroz procenu i, konačno, traženjem priznavanja svojih postignuća.
2. Pružalac obrazovnog programa (eng. *course provider*) – ova grupa stejkholdera obuhvata sve odgovorne za osmišljavanje i realizaciju iskustava učenja koja omogućavaju nosiocima da steknu kompetencije. U formalnim kontekstima to uključuje visokoškolske ustanove i nastavno osoblje, dok u neformalnim kontekstima obuhvata privatne organizacije za obuku, profesionalna tela, poslodavce koji sprovode programe razvoja zaposlenih, kao i edukatore koji primenjuju modele učenja zasnovane na projektima, problemima ili izazovima. Pored realizacije sadržaja, pružaoci obrazovnih programa najčešće sprovode i procenu kojom se utvrđuje da li je nosilac ispunio uslove potrebne za izdavanje mikrokredencijala.
3. Izdavalac (eng. *issuer*) – iako se uloga izdavaoca može preklapati sa ulogom pružaoca obrazovnog programa, ona ima posebnu funkciju u životnom ciklusu mikrokredencijala. Izdavaoci su odgovorni za formalno dodeljivanje mikrokredencijala, pri čemu obezbeđuju da su svi zahtevi učenja ispunjeni i da je kredencijal evidentiran, sačuvan i predstavljen u proverljivom formatu. Ovo razdvajanje odražava savremene prakse u sistemima digitalnih kredencijala, u kojima autoritet za izdavanje, procesi validacije i tehnološka infrastruktura mogu biti centralizovani u okviru posebnih institucionalnih jedinica ili eksternih platformi.



Ilustracija 3 Mapiranje procesa i stejkholdera u ekosistemu mikrokredencijala [151]

4. Verifikator/posmatrač (eng. *verifier*) – stejkholderi koji pristupaju mikrokredencijalima i procenjuju ih u svrhu donošenja odluka. Iako su verifikacija i pregled konceptualno različiti procesi, budući da se prvi odnosi na potvrđivanje autentičnosti, a drugi na uvid u sadržaj, oni se često odvijaju zajedno u procesima kao što su selekcija kandidata za zapošljavanje, akademski upis, priznavanje kredencijala ili profesionalno licenciranje. Ovi akteri su najčešće eksterni u odnosu na sam proces učenja, kao što su poslodavci, univerziteti koji procenjuju prijave kandidata, akreditaciona tela ili druge institucije kojima je potreban dokumentovan dokaz o kompetencijama.
5. Zakonodavstvo i regulatorna tela (eng. *policy maker*) – budući da mikrokredencijali predstavljaju relativno nov i razvojni format kredencijala, zakonodavstvo, regulatorna tela i donosioci politika imaju ključnu ulogu u uspostavljanju standarda, regulatornih okvira i mehanizama obezbeđenja kvaliteta. Ova grupa obuhvata nadležna ministarstva, nacionalna tela za kvalifikacije, akreditacione agencije, profesionalna udruženja i visokoškolske ustanove koje kolektivno deluju u definisanju politika, zahteva u pogledu metapodataka, okvira ishoda učenja i standarda interoperabilnosti. Njihove odluke utiču na priznavanje, prenosivost i dugoročnu održivost sistema mikrokredencijala.

Interakcija između ovih zainteresovanih strana odražava širu viziju celoživotnog učenja i priznavanja neformalnih obrazovnih dostignuća.

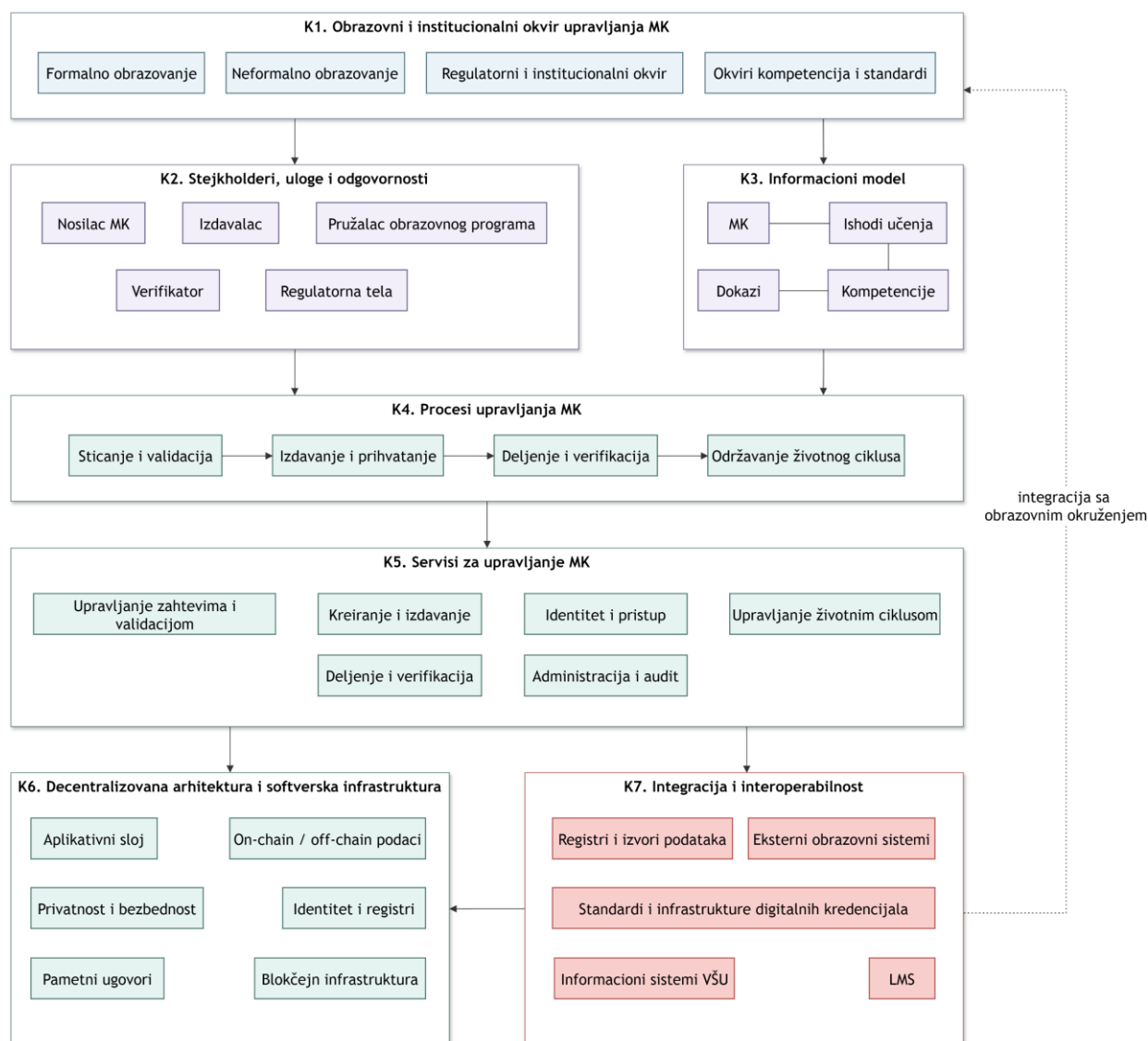
4.4 Modelovanje decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima

Na osnovu rezultata analize postojećih modela za upravljanje mikrokredencijalima, razmatranja okvira kompetencija relevantnih za formalno i neformalno obrazovanje, kao i modelovanja uloga, odgovornosti i međusobnih odnosa ključnih stejkholdera, u ovom potpoglavlju pristupa se modelovanju decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima u visokom obrazovanju. Predloženi model strukturiran je kroz sedam međusobno povezanih komponenti koje obuhvataju obrazovni, organizacioni, informacioni, procesni i tehnološki aspekt upravljanja mikrokredencijala.

Model decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima obuhvata sledeće komponente:

- K1. Obrazovni i institucionalni okvir upravljanja MK
- K2. Stejkholderi, uloge i odgovornosti
- K3. Informacioni model
- K4. Procesi za upravljanje mikrokredencijalima
 - Sticanje
 - Izdavanje
 - Deljenje
 - Održavanje
- K5. Servisi za upravljanje mikrokredencijalima
- K6. Decentralizovana arhitektura i softverska infrastruktura za upravljanje mikrokredencijalima
- K7. Integracija i interoperabilnost

Konceptualna struktura predloženog modela i međusobne veze njegovih osnovnih komponenti prikazane su na Ilustracija 4 **Error! Reference source not found.:**



Ilustracija 4 Detaljna struktura modela decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima

Obrazovni i institucionalni okvir (K1) definiše okruženje u kojem se mikrokredencijali primenjuju, dok komponenta stejkholdera (K2) određuje uloge, odgovornosti i odnose učesnika u sistemu. Informacioni model (K3) predstavlja osnovu za strukturiranje mikrokredencijala i njihovo povezivanje sa ishodima

učenja, kompetencijama i dokazima o njihovom ostvarivanju. Na ovoj osnovi definišu se procesi upravljanja mikrokredencijalima (K4), koji obuhvataju sticanje i validaciju, izdavanje i prihvatanje, deljenje i verifikaciju, kao i održavanje tokom životnog ciklusa. Njihovu realizaciju podržavaju odgovarajući servisi (K5), dok decentralizovana arhitektura i softverska infrastruktura (K6) obezbeđuju tehnološku osnovu za upravljanje identitetom, podacima, privatnošću, pametnim ugovorima i blokčejn zapisima. Komponenta integracije i interoperabilnosti (K7) omogućava povezivanje predloženog sistema sa postojećim obrazovnim, institucionalnim i eksternim informacionim sistemima.

Komponente modela ne posmatraju se izolovano, već kao međuzavisni elementi jedinstvenog sistema. Obrazovni kontekst, potrebe stejkholdera i struktura podataka određuju zahteve poslovnih procesa, koji se realizuju kroz aplikativne servise i decentralizovanu infrastrukturu, uz mogućnost integracije sa postojećim sistemima visokoškolskih ustanova. U narednim potpoglavljima pojedinačne komponente modela detaljnije su razrađene kroz modele podataka, poslovnih procesa, arhitekture, infrastrukture i odgovarajućih mehanizama upravljanja MK.

4.5 Modelovanje poslovnih procesa

Prilikom analize postojećih modela i predloga modela decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, identifikovani su sledeći poslovni procesi u celokupnom procesu upravljanja mikrokredencijalima:

- Priključivanje nove visokoškolske institucije decentralizovanom sistemu upravljanja mikrokredencijalima [178] [236]
- Registracija studenata [178] [181] [236]
- Registrovanje studentskih obaveza [178]
- Verifikacija studentskih mikrokredencijala [178] [184] [236]
- Sertifikacija – izdavanje/dodela mikrokredencijala [177] [181] [184] [236]
- Ispitivanje i kreiranje ispita [182]
- Kreiranje mikrokredencijala [112]
- Sticanje mikrokredencijala [187] [236]
- Deljenje i verifikacija mikrokredencijala [133], [151], [174]

Uzimajući u obzir prethodnu listu procesa, identifikovane su četiri grupe poslovnih procesa u kontekstu upravljanja mikrokredencijalima, koji će biti definisani u okviru ove disertacije:

1. Sticanje (eng. *earn*)
2. Izdavanje (eng. *issue*)
3. Deljenje (eng. *share*)
4. Održavanje (eng. *maintain*)

Sticanje

Sticanje mikrokredencijala predstavlja proces koji obuhvata sve aktivnosti koje student ili polaznik mora da ispuni kako bi stekao mikrokredencijal. Ovaj proces uključuje:

- Proveru identiteta – Verifikacija identiteta studenta kroz zvanične registre ili digitalne sisteme autentifikacije.
- Izbor mikrokredencijala – Korisnik identifikuje koji mikrokredencijal želi da stekne
- Ispunjavanje uslova za sticanje – Završetak nastavnih aktivnosti, onlajn kurseva, projektnih zadataka ili testiranja.
- Ispitivanje i evaluacija – Ocenjivanje znanja i veština.
- Potvrda uspešnosti – Nastavnik/ administrator potvrđuje ispunjenje svih kriterijuma.

Izdavanje

Izdavanje mikrokredencijala je proces koji upravlja institucija koja izdaje kredencijale. Ovaj proces podrazumeva:

- Registraciju na platformu – Visokoškolska ustanova ili organizacija kreira nalog u decentralizovanom sistemu mikrokredencijala.
- Registraciju programa i kurseva – Definisanje uslova i kriterijuma za dodelu mikrokredencijala.
- Definisanje i registracija mikrokredencijala
- Čuvanje, verifikacija i provera preduslova – Osiguravanje da je student ispunio sve zahteve i preduslove pre izdavanja mikrokredencijala.
- Izdavanje mikrokredencijala – Dodela digitalnog sertifikata, i evidencija na blokčejn platformu.

Deljenje

Deljenje mikrokredencijala podrazumeva njihovu upotrebu u različitim kontekstima, kao što su zapošljavanje, nastavak studija ili profesionalno umrežavanje. Ovaj proces obuhvata:

- Priznavanje mikrokredencijala – Univerziteti ili poslodavci verifikuju validnost mikrokredencijala kroz decentralizovani registar.
- Provera mikrokredencijala – Korišćenje alata za verifikaciju autentičnosti i validnosti digitalnih dokumenata.
- Deljenje mikrokredencijala za različite potrebe – Korišćenje u profesionalnom profilu, prijavama za posao, akademskim aplikacijama ili u sistemima za celoživotno učenje.

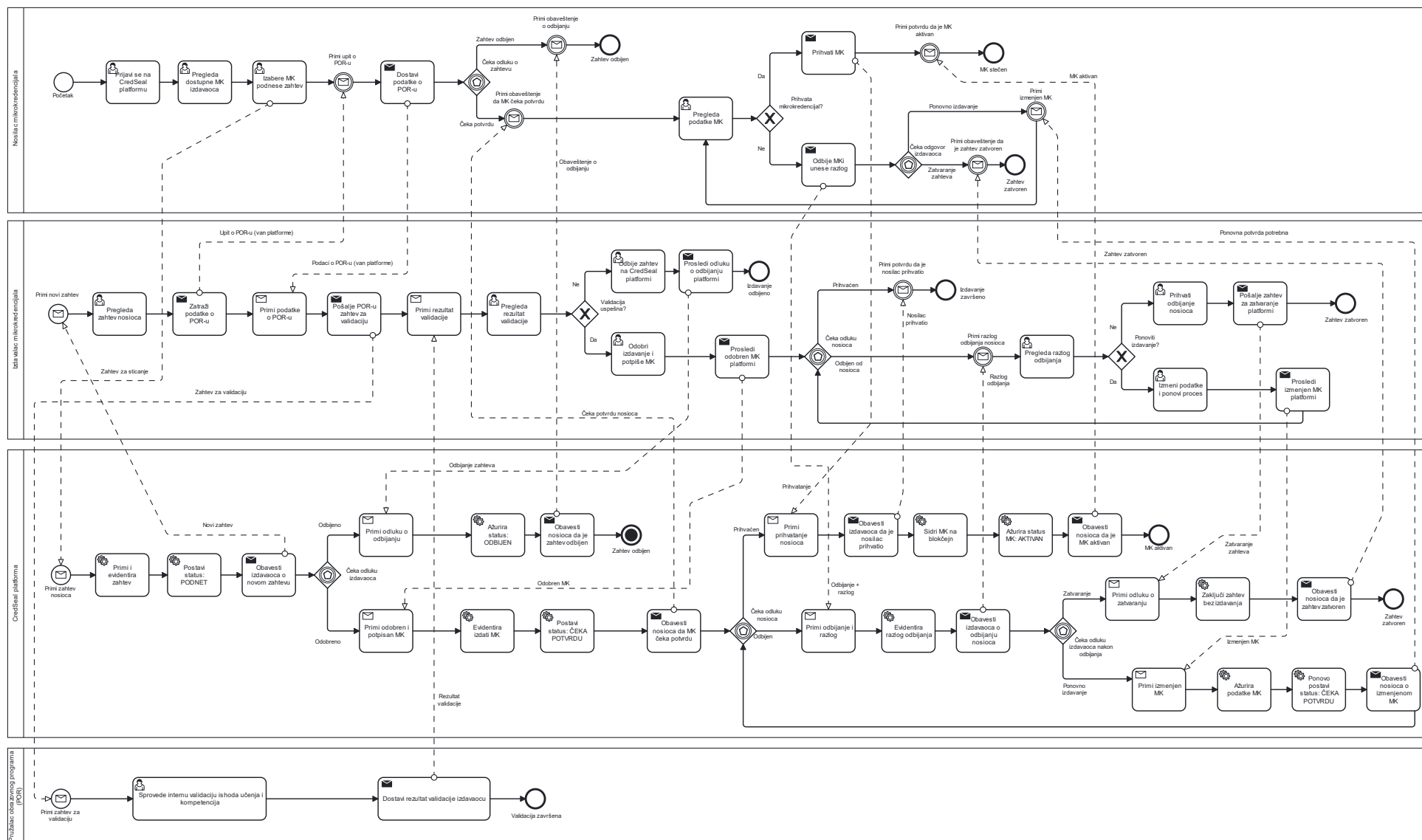
Održavanje

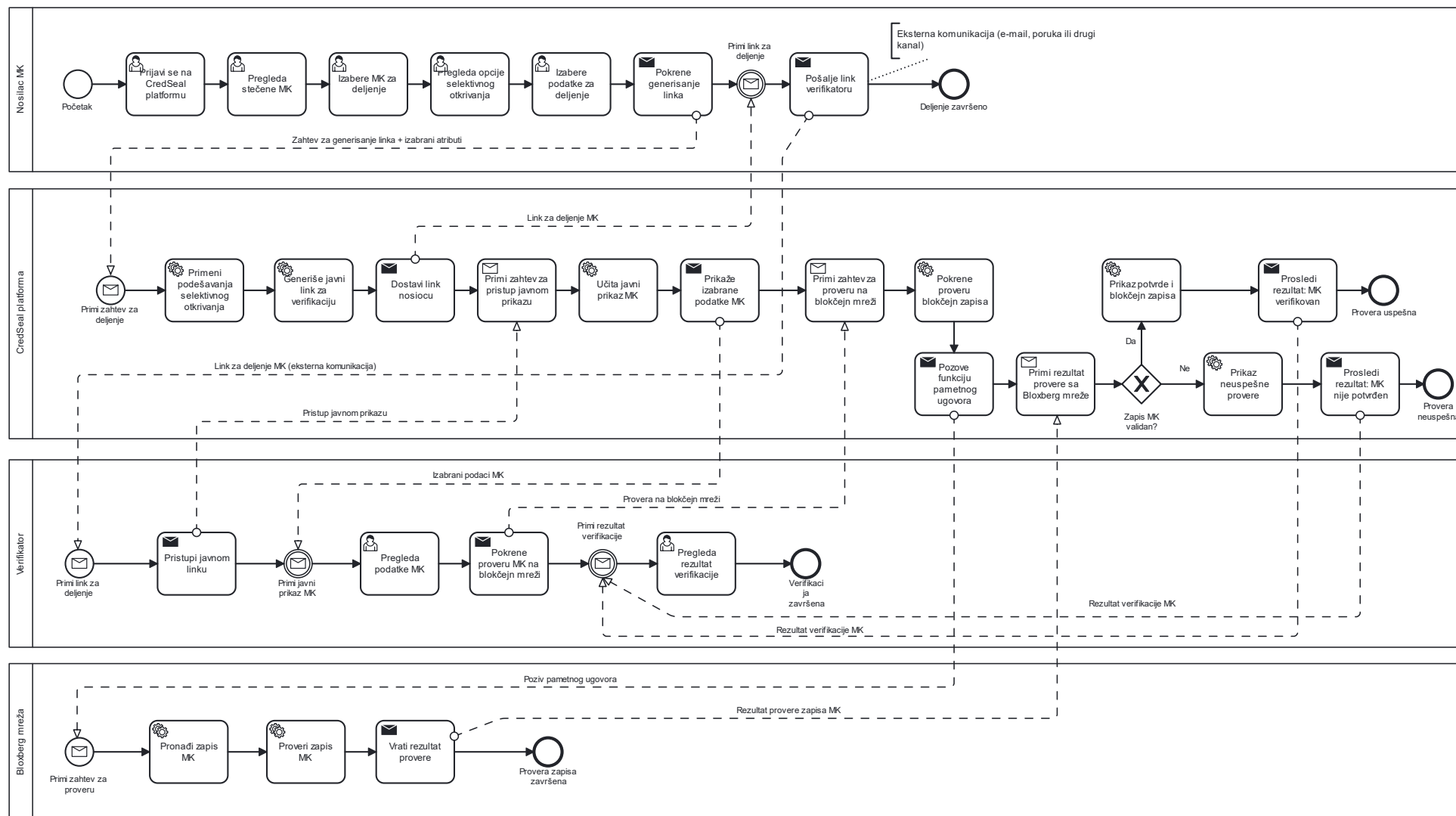
Održavanje mikrokredencijala odnosi se na dugoročnu validnost, ažuriranje i mogućnost ponovnog sticanja. Ključni aspekti ovog procesa uključuju:

- Dužinu trajanja validnosti – Određivanje vremenskog perioda nakon kojeg mikrokredencijal ističe ili treba da se obnovi.
- Obnavljanje mikrokredencijala – Korisnici mogu ponovno steći mikrokredencijal kroz dodatne obuke, testiranje ili verifikaciju stečenih veština.
- Integracija sa drugim sistemima – Povezivanje sa bazama podataka, akademskim zapisima i radnim profilima kako bi se osigurala trajna dostupnost i ažuriranje informacija.

BPMN dijagram (Ilustracija 5) prikazuje proces sticanja mikrokredencijala na zahtev nosioca kroz interakciju četiri učesnika: nosioca mikrokredencijala, izdavaoca, platforme za upravljanje mikrokredencijalima i pružaoca obrazovnog programa (POR). Proces započinje prijavljivanjem nosioca na platformu, pregledom dostupnih mikrokredencijala i podnošenjem zahteva za odabrani mikrokredencijal. CredSeal evidentira zahtev, postavlja odgovarajući status i prosleđuje obaveštenje izdavaocu. Izdavalac zatim od nosioca pribavlja podatke o pružaocu obrazovnog programa, pri čemu se ova komunikacija odvija van platforme, i prosleđuje POR-u zahtev za validaciju ostvarenih ishoda učenja i kompetencija. Nakon sprovedene interne validacije, POR dostavlja rezultate izdavaocu.

Na osnovu rezultata validacije, izdavalac donosi odluku o daljem postupanju. U slučaju neuspešne validacije, zahtev se odbija, status se ažurira na platformi, a nosilac se o tome obaveštava. Ukoliko je validacija uspešna, izdavalac odobrava i potpisuje mikrokredencijal, nakon čega se na platformi evidentira kredencijal. Nosilac zatim pregleda podatke mikrokredencijala i odlučuje da li ga prihvata. Prihvatanjem kredencijala pokreće se njegovo sidrenje na blokčejn. U slučaju da nosilac odbije mikrokredencijal, obavezan je da navede razlog odbijanja. Izdavalac razmatra navedeni razlog i može ili da zaključi zahtev bez izdavanja ili da izmeni podatke i ponovo odobri i potpiše mikrokredencijal. U slučaju ponovnog izdavanja, kredencijal se ponovo prosleđuje nosiocu na potvrdu, čime se formira iterativna petlja sve do prihvatanja mikrokredencijala ili konačnog zatvaranja zahteva. Dijagram na taj način obuhvata kompletan tok procesa, od inicijalnog zahteva i eksterne validacije postignuća do izdavanja, potvrde nosioca i konačnog evidentiranja mikrokredencijala na blokčejn mreži.





Ilustracija 6 BPMN dijagram procesa javne verifikacije izdatog mikrokredencijala

Na BPMN dijagramu (Ilustracija 6) prikazan je proces deljenja i verifikacije MK od strane eksternog verifikatora, kroz interakciju nosioca mikrokredencijala, platforme za upravljanje mikrokredencijalima, verifikatora i Bloksberg mreže. Proces započinje prijavljivanjem nosioca na platformu, pregledom stečenih mikrokredencijala i izborom kredencijala koji želi da podeli. Pre generisanja linka za deljenje, nosilac pregleda opcije selektivnog otkrivanja i određuje koje podatke želi da učini dostupnim verifikatoru. Na platformi se primenjuju izabrana podešavanja i generiše javni link za verifikaciju, koji nosilac zatim prosleđuje verifikatoru putem eksternog komunikacionog kanala.

Verifikator pristupa javnom linku i pregleda samo podatke mikrokredencijala koje je nosilac prethodno odobrio za prikaz. Ukoliko želi da proveri autentičnost kredencijala, pokreće funkciju „Proveri na blokčejn mreži“, nakon čega platforma inicira proveru odgovarajućeg blokčejn zapisa. Platforma putem funkcije pametnog ugovora upućuje zahtev Bloksberg mreži, koja pronalazi i proverava zapis mikrokredencijala i vraća rezultat provere platformi. Na osnovu odgovora Bloksberg mreže, na platformi se određuje da li je zapis mikrokredencijala validan i rezultat prikazuje na stranici za javnu verifikaciju. U slučaju uspešne provere verifikator dobija potvrdu validnosti i dostupne podatke o blokčejn zapisu, dok se u slučaju neuspešne provere prikazuje odgovarajući status i informacija da mikrokredencijal nije potvrđen. Na taj način proces povezuje kontrolu nosioca nad obimom podataka koji se dele sa nezavisnom proverom autentičnosti mikrokredencijala na blokčejn mreži.

Raspodela odgovornosti i učešća opisanih stejkholdera u procesu upravljanja mikrokredencijalima, prikazana u Tabeli 4, ukazuje ne samo na funkcionalne interakcije, već i na tokove vrednosti koji održavaju ekosistem mikrokredencijala. U središtu ovih tokova nalazi se prenos validiranih kompetencija od izdavaoca ka nosiocima mikrokredencijala, čime se omogućava formalno kreiranje pouzdanih digitalnih kredencijala. Izdavaoci generišu proverljive digitalne zapise o kredencijalima, koje koriste verifikatori i posmatrači. Oni zauzvrat nosiocima pružaju priznanje, mogućnosti i odluke koje za njih stvaraju dodatnu vrednost.

Pružaoци obrazovnih programa doprinose pedagoškom vrednošću i vrednošću procene, dok zakonodavstvo i regulatorna tela uspostavljaju okvire i standarde interoperabilnosti koji oblikuju poverenje na nivou celog sistema, njegovu usklađenost i dugoročnu održivost. Ovi tokovi vrednosti ilustruju međuzavisnost stejkholdera i naglašavaju potrebu za koordinisanim mehanizmima upravljanja, kako bi se obezbedili transparentnost, efikasnost i nesmetana primena mikrokredencijala u obrazovnim i profesionalnim kontekstima (Tabela 7).

Tabela 7 Raspodela odgovornosti i učešća stejkholdera u procesu upravljanja mikrokredencijalima [197]

Stejkholderi	Procesi			
	<i>Sticanje</i>	<i>Izdavanje</i>	<i>Deljenje</i>	<i>Održavanje</i>
Nosilac	Bira mikrokredencijal Završava aktivnosti učenja Dostavlja dokaze o stečenim kompetencijama Pristupa proceni	Potvrđuje ispunjenost uslova za izdavanje Odobrava korišćenje ličnih podataka za kreiranje kredencijala	Deli mikrokredencijal sa poslodavcima i visokoškolskim ustanovama Odobrava zahteve za verifikaciju Koristi mikrokredencijal u prijavama i profesionalnim profilima	Obnavlja mikrokredencijale kojima ističe važenje Ažurira evidenciju o učenju Ponovo se sertifikuje kada je to potrebno
Pružalac obrazovnog programa	Projektuje putanje učenja Realizuje nastavu u formalnom ili neformalnom kontekstu Sprovodi procenu Validira postignuća polaznika	Dostavlja validirane rezultate izdavaocu Definiše tehničke i pedagoške metapodatke	Pruža podršku pri tumačenju ishoda mikrokredencijala kada je to potrebno	Ažurira sadržaj programa povezan sa mikrokredencijalima Obezbeđuje usklađenost sa važećim standardima kompetencija

Stejkholderi	Procesi			
	<i>Sticanje</i>	<i>Izdavanje</i>	<i>Deljenje</i>	<i>Održavanje</i>
<i>Izdavalac</i>	Prima validirane podatke o proceni Potvrđuje ispunjenost preduslova	Registruje programe i metapodatke mikrokredencijala Generiše digitalne kredencijale Evidentira mikrokredencijale u centralizovanim ili decentralizovanim sistemima	Obezbeđuje proverljive formate kredencijala Odgovara na zahteve za verifikaciju Održava tragove za reviziju	Obezbeđuje dugoročan integritet podataka Upravlja pravilima isteka važenja Vremenom ažurira strukturu i metapodatke mikrokredencijala
<i>Verifikator/ posmatrač</i>	/	/	Potvrđuje autentičnost kredencijala Pregleda metapodatke i dokaze o učenju Koristi mikrokredencijale za donošenje odluka u vezi sa zapošljavanjem, upisom ili priznavanjem	Dostavlja povratne informacije izdavaocima i donosiocima politika o relevantnosti i kvalitetu mikrokredencijala
<i>Zakonodavstvo/ regulatorna tela</i>	Definiše okvire kvalifikacija koji podržavaju sticanje kompetencija	Uspostavlja regulatorne smernice i smernice za obezbeđenje kvaliteta Definiše standardne zahteve u pogledu metapodataka	Postavlja standarde interoperabilnosti i verifikacije između institucija	Obezbeđuje usklađenost sa nacionalnim i međunarodnim okvirima Ažurira politike u skladu sa potrebama tržišta rada i obrazovnog sistema

U ove četiri grupe procesa, tokovi vrednosti se javljaju u obliku validiranih kompetencija (od nosioca do izdavaoca), pouzdanih zapisa o ishodima učenja (od izdavaoca do verifikatora), priznanja i mogućnosti (od verifikatora do nosioca) i regulatornog usklađivanja (od regulatornih tela do svih aktera). Mapiranje ovih tokova pruža strukturiranu perspektivu o tome kako funkcionišu ekosistemi mikrokredencijala, otkriva potencijalna uska grla ili neusklađenosti i informiše dizajn transparentnijih, interoperabilnijih i na korisnika usmerenih okvira za izdavanje kredencijala i mikrokredencijala [197].

4.6 Modelovanje podataka

Modelovanje podataka predstavlja jedan od ključnih koraka u razvoju decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, jer omogućava formalno predstavljanje entiteta, njihovih atributa, međusobnih odnosa i pravila integriteta koja proizlaze iz prethodno definisanih procesa i uloga stejkholdera. Model mora da podrži celokupan životni ciklus mikrokredencijala, od definisanja obrazovnog programa i prikupljanja dokaza o učenju, preko validacije i izdavanja, do deljenja, verifikacije, obnavljanja i opoziva kredencijala. Poseban zahtev predstavlja povezivanje kompetencija stečenih kroz formalne i neformalne oblike obrazovanja sa proverljivim dokazima i standardizovanim metapodacima, uz očuvanje privatnosti nosilaca mikrokredencijala. Model podataka zato predviđa razdvajanje izvornih poslovnih podataka i kriptografskih podataka potrebnih za potvrđivanje njihovog integriteta. U nastavku su modeli predstavljeni na konceptualnom i logičkom nivou, dok se način njihovog čuvanja, razmene i povezivanja sa decentralizovanom infrastrukturom razmatra u narednom poglavlju, posvećenom infrastrukturi i arhitekturi sistema.

4.6.1 Konceptualni model podataka

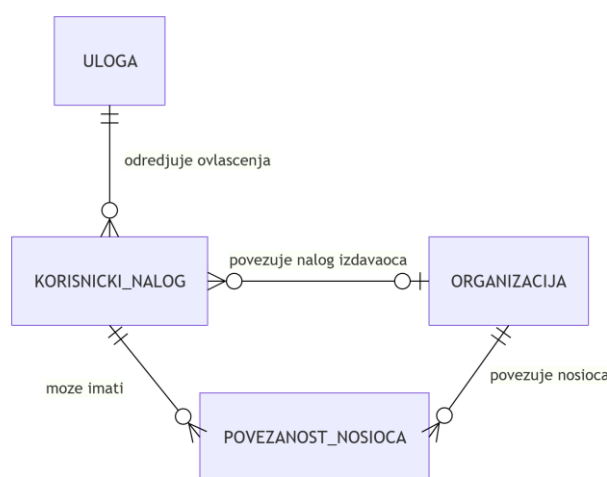
Konceptualni model podataka predstavlja poslovne entitete sistema i njihove međusobne odnose, nezavisno od konkretne tehnologije baze podataka i implementacionih detalja. Njegova osnovna svrha

jeste da obezbedi dosledno predstavljanje korisnika, organizacija, mikrokredencijala, kompetencija, ishoda učenja, dokaza i procesa njihove validacije tokom celokupnog životnog ciklusa kredencijala. U okviru modela mogu se izdvojiti šest međusobno povezanih celina: identiteti i institucionalni kontekst, definisanje mikrokredencijala, kompetencije i dokazi o učenju, prijava i izdavanje, životni ciklus i verifikacija, kao i decentralizovani zapisi i revizija. Ovakva podela omogućava da se odvoje podaci koji opisuju aktere i njihova ovlašćenja od podataka koji predstavljaju sadržaj i značenje mikrokredencijala, kao i od tehničkih zapisa potrebnih za proveru integriteta.

Konceptualni model podataka decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima, sa ključnim entitetima i njihovim međusobnim odnosima, prikazan je kroz ER (eng. *Entity-Relationship*) dijagrame u šest celina:

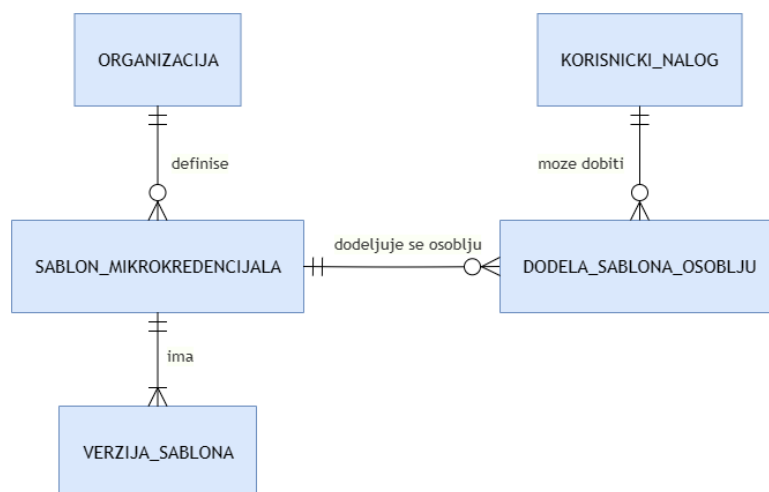
- identiteti i institucionalni kontekst;
- definisanje mikrokredencijala;
- kompetencije, ishodi učenja i dokazi;
- prijava, procena i izdavanje;
- životni ciklus, deljenje i verifikacija;
- decentralizovani zapisi i revizija.

Prvu celinu (Ilustracija 7) modela čine entiteti Korisnički nalog, Uloga, Organizacija i Povezanost nosioca. Korisnički nalog predstavlja identitet kojim korisnik pristupa platformi, dok Uloga određuje njegov osnovni skup ovlašćenja. Model razlikuje uloge nosioca, administratora izdavaoca, člana osoblja izdavaoca i administratora platforme. Korisnički nalozi administratora i osoblja izdavaoca povezani su sa jednom organizacijom, dok nosilac može biti povezan sa više organizacija. Organizacija se u okviru platforme posmatra kao izdavalac mikrokredencijala. Eksterni pružalac obrazovnog programa nije predstavljen kao aktivan korisnik platforme, jer se proces organizacije nastave, procene znanja i interne validacije razlikuje između institucija i ostaje izvan neposrednog obuhvata sistema.



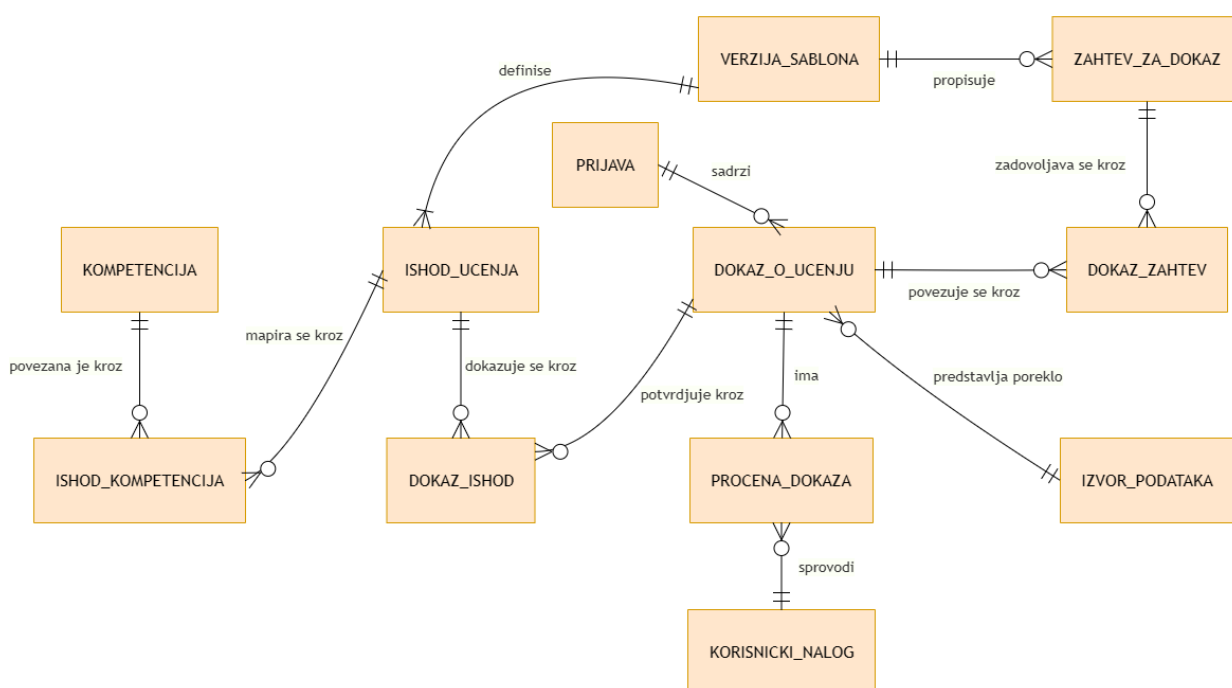
Ilustracija 7 ER dijagram identiteta i institucionalnog konteksta

Drugu celinu (Ilustracija 8) čine entiteti Šablon mikrokredencijala, Verzija šablona i Dodela šablona osoblju. Šablon mikrokredencijala definiše osnovnu strukturu i sadržaj određene vrste mikrokredencijala i pripada organizaciji koja ga izdaje. Pošto se sadržaj, kriterijumi i metapodaci mikrokredencijala mogu menjati tokom vremena, svaki šablon može imati više verzija. Verzija šablona predstavlja nepromenljivu specifikaciju na osnovu koje se podnose prijave i izdaju konkretni mikrokredencijali. Time se obezbeđuje da se naknadnim izmenama šablona ne promeni značenje ranije izdatih kredencijala. Administrator izdavaoca upravlja svim šablonima organizacije, dok se članovima osoblja određeni šabloni dodeljuju kroz entitet Dodela šablona osoblju.



Ilustracija 8 ER dijagram definisanja šablona mikrokredencijala

Treća celina (Ilustracija 9) odnosi se na kompetencije, ishode učenja, dokaze i procenu ostvarenih rezultata. Kompetencije predstavljaju znanja, veštine i sposobnosti koje se razvijaju ili potvrđuju određenom obrazovnom aktivnošću, dok ishodi učenja operacionalizuju kompetencije kroz iskaze o tome šta se očekuje da učesnik zna, razume ili može da primeni. Jedna kompetencija može biti predstavljena kroz više ishoda učenja, dok jedan ishod može doprinositi razvoju ili potvrđivanju više kompetencija. Ostvarenost ishoda učenja potvrđuje se dokazima koji mogu nastati u formalnom ili neformalnom obrazovnom kontekstu. Dokaz može predstavljati rezultat ispita, zadatak, projekat, digitalni proizvod, zapis iz sistema za upravljanje učenjem, repozitorijum izvornog koda, potvrdu mentora, rezultat evaluacije žirija ili drugi proverljivi rezultat aktivnosti učenja. Model omogućava da jedan dokaz podržava više ishoda, kao i da ostvarenje jednog ishoda bude potvrđeno većim brojem dokaza.



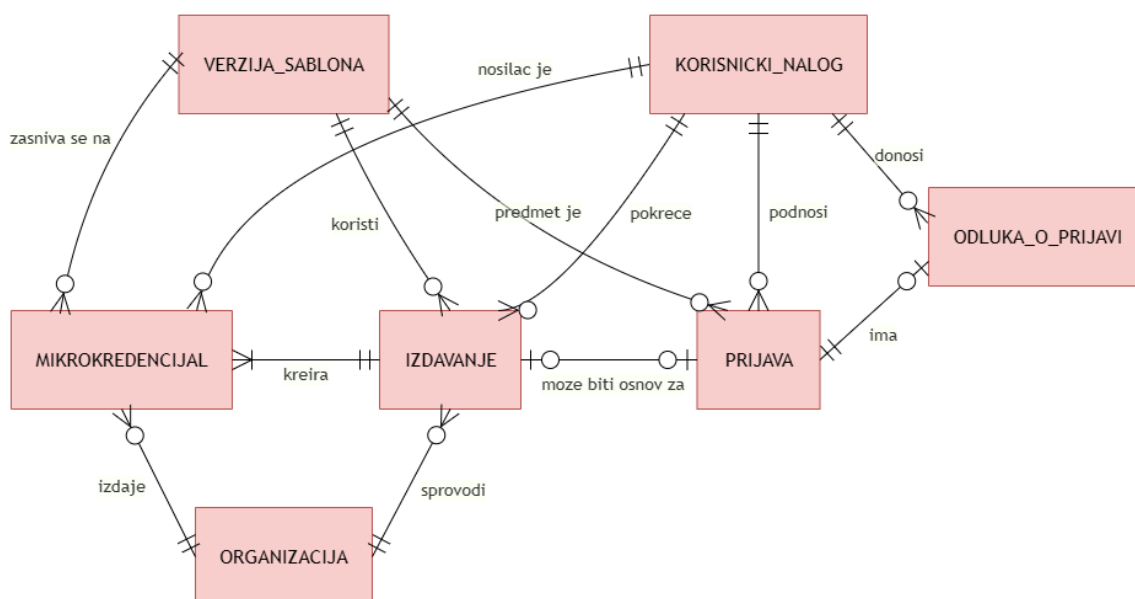
Ilustracija 9 ER dijagram odnosa kompetencija, ishoda učenja i dokaza

Procena dokaza predstavlja utvrđivanje da li dostavljeni ili preuzeti dokaz zadovoljava kriterijume definisane za konkretan ishod učenja. Procena se može odvijati u okviru obrazovne institucije, kod pružaoca obrazovnog programa ili pred ovlašćenim eksternim procenjivačem. Model evidentira rezultat

procene, njenog izvršioca, kriterijume, vreme i vezu sa odgovarajućim dokazom i ishodom učenja, nezavisno od informacionog sistema u kojem je procena sprovedena.

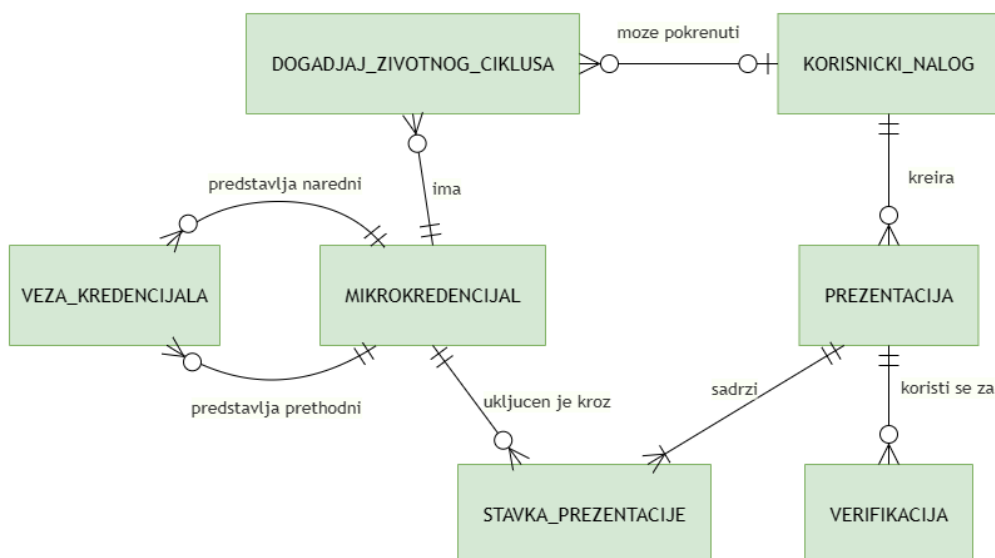
Četvrtu celinu (Ilustracija 10) čine entiteti Prijava, Odluka o prijavi, Izdavanje i Mikrokredencijal. Nosilac može podneti prijavu za konkretnu verziju šablona. Prijava može biti povezana sa dokazima, rezultatima procene ili potvrdom validacije koji predstavljaju osnov za donošenje odluke. Ovi podaci mogu biti neposredno dostavljeni ili preuzeti iz eksternog pouzdanog izvora. Na osnovu prijave i raspoloživih potvrda donosi se odluka o njenom odobravanju, odbijanju ili vraćanju na dopunu.

Izdavanje entiteta Izdavanje omogućava predstavljanje tri predviđena načina izdavanja. U prvom slučaju mikrokredencijal se izdaje na osnovu odobrene prijave nosioca. U drugom slučaju organizacija neposredno izdaje pojedinačni mikrokredencijal bez prethodne prijave. U trećem slučaju organizacija sprovodi grupno izdavanje, pri čemu jedan događaj izdavanja može proizvesti više mikrokredencijala. Svaki izdati mikrokredencijal povezan je sa svojim nosiocem, organizacijom izdavaocem i tačno određenom verzijom šablona.



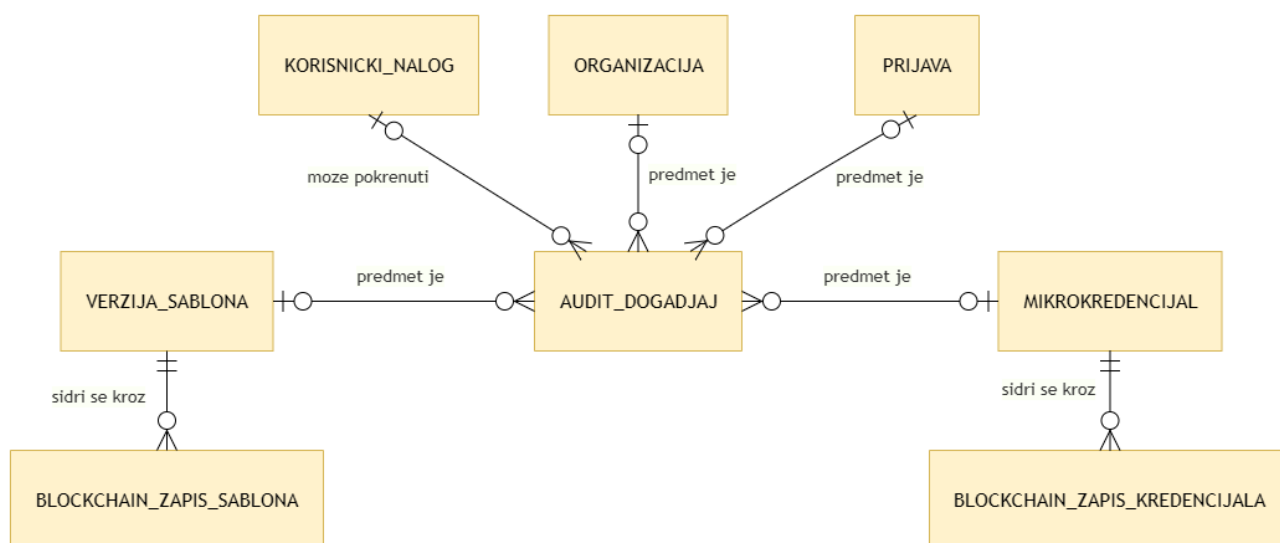
Ilustracija 10 ER dijagram odnosa prijave, procene i izdavanje mikrokredencijala

Peta celina modela (Ilustracija 11) obuhvata životni ciklus, povezivanje, deljenje i verifikaciju mikrokredencijala. Promene koje nastaju nakon izdavanja evidentiraju se kroz događaje životnog ciklusa. Ovi događaji mogu obuhvatiti aktiviranje, prihvatanje, istek, opoziv, obnovu ili zamenu mikrokredencijala. Na taj način se ne čuva samo trenutno stanje kredencijala, već i hronološki pregled njegovih promena. Veza između kredencijala omogućava evidentiranje odnosa između prethodnog i narednog kredencijala, naročito u slučajevima obnove ili zamene. Nosilac može kreirati prezentaciju koja predstavlja kontrolisani skup podataka o jednom ili više mikrokredencijala koje želi da podeli sa eksternim verifikatorom. Prezentacija se sastoji od stavki koje upućuju na izabrane mikrokredencijale. Na osnovu prezentacije sprovodi se verifikacija njihove autentičnosti, statusa i porekla. Verifikator nije modelovan kao registrovani korisnik platforme, jer proveru može obaviti eksterni učesnik kome je nosilac omogućio pristup prezentaciji.



Ilustracija 11 ER dijagram životnog ciklusa, deljenja i verifikacije mikrokredencijala

Poslednju celinu (Ilustracija 12) čine blokčejn zapisi i revizioni događaji (eng. *audit*). Za verzije šablona i izdate mikrokredencijale mogu se kreirati odgovarajući blokčejn zapisi koji sadrže kriptografske dokaze o njihovom sadržaju, vremenu evidentiranja i statusu. Osetljivi i lični podaci ne čuvaju se direktno na blokčejnu, već se na njemu evidentiraju njihovi kriptografski sažeci i podaci potrebni za proveru integriteta. Na ovaj način konceptualni model podržava hibridni pristup čuvanju podataka, u kojem se detaljni podaci čuvaju van lanca, dok blokčejn obezbeđuje dokaz nepromenljivosti i autentičnosti.



Ilustracija 12 ER dijagram blokčejn zapisa i revizije mikrokredencijala

Revizioni događaj predstavlja trag značajnih aktivnosti izvršenih u sistemu. On omogućava evidentiranje korisnika koji je pokrenuo određenu aktivnost, vremena njenog izvršenja i entiteta na koji se aktivnost odnosila. Revizioni događaji mogu biti povezani sa organizacijama, verzijama šablona, prijavama i mikrokredencijalima. Time se obezbeđuju sledljivost, transparentnost i mogućnost naknadne kontrole procesa upravljanja mikrokredencijalima.

Nakon definisanja konceptualnog modela podataka, pristupa se njegovoj detaljnijoj razradi na logičkom nivou. Dok konceptualni model prikazuje ključne poslovne entitete i njihove međusobne odnose, logički model precizira način njihove organizacije u relacije, atribute, primarne i strane ključeve, kao i ograničenja

integriteta. Na taj način se apstraktna struktura sistema prevodi u formalizovan model podataka koji predstavlja osnovu za kasniju fizičku implementaciju.

4.6.2 Logički model podataka

Logički model podataka predloženog sistema razvijen je na osnovu prethodno definisanog konceptualnog modela i obuhvata relacije potrebne za upravljanje korisničkim nalogima i organizacijama, definisanje i verzionisanje šablona, obradu prijave, evidentiranje rezultata validacije, izdavanje mikrokredencijala, praćenje njihovog životnog ciklusa, deljenje i verifikaciju, kao i evidentiranje blokčejn i revizijskih zapisa. Detaljni model kompetencija, ishoda učenja, dokaza i procena razmatra se zasebno, zbog njegovog značaja za povezivanje formalnih i neformalnih rezultata učenja. Za svaki entitet konceptualnog modela određene su odgovarajuće relacije i atributi, dok su veze više-prema-više razrešene uvođenjem spojnih relacija. Posebna pažnja posvećena je definisanju primarnih i stranih ključeva, obaveznosti pojedinih atributa, jedinstvenih ograničenja i poslovnih pravila kojima se obezbeđuju konzistentnost i integritet podataka.

Logički model je organizovan u pet međusobno povezanih celina:

- korisnički nalozi, uloge i organizacije;
- šabloni mikrokredencijala i verzionisanje;
- prijave, validacija i postupci izdavanje;
- mikrokredencijali, životni ciklus, prezentacija i verifikacija;
- blokčejn zapisi i proverljivost.

Svaka celina predstavljena je zasebnim logičkim dijagramom, nakon čega su opisane pripadajuće relacije, ključevi, ograničenja i poslovna pravila. Na kraju se svi parcijalni modeli objedinjuju u jedinstveni logički model podataka predloženog sistema.

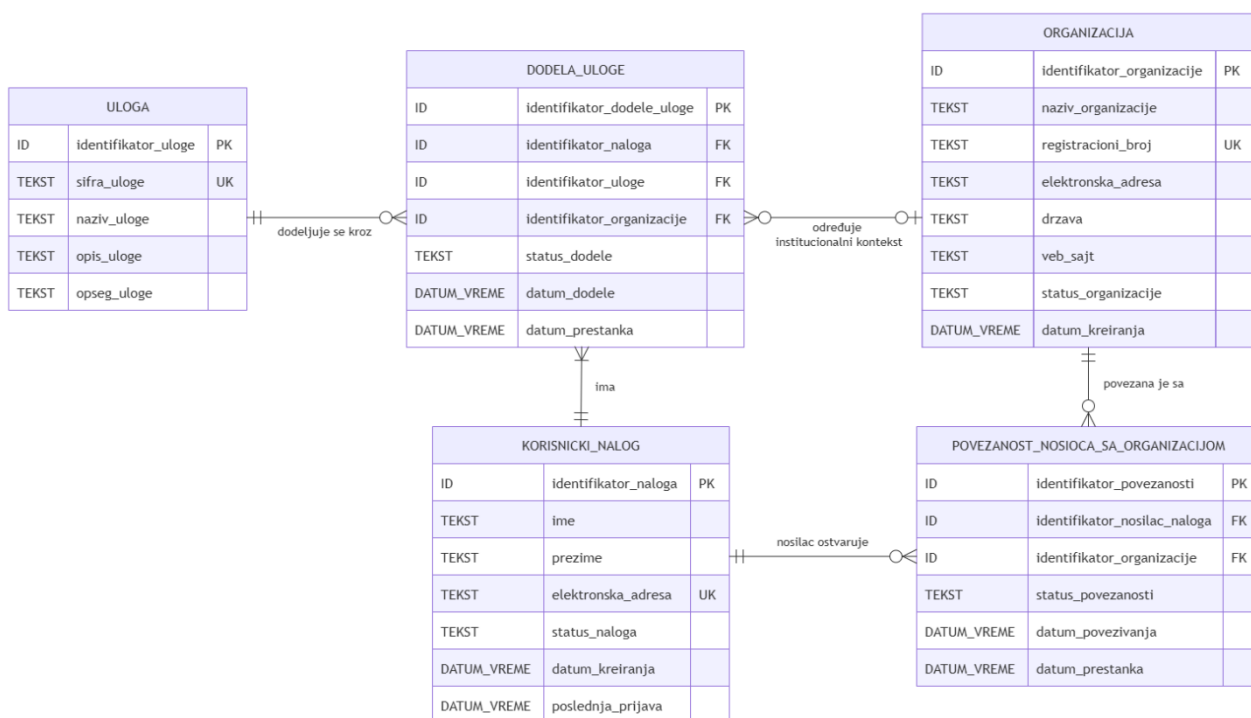
Korisnički nalozi, uloge i organizacije

Ovaj logički model obuhvata relacije Korisnički nalog, Uloga, Uloga korisničkog naloga, Organizacija i Povezanost nosioca sa organizacijom (Tabela 8). Korisnički nalog predstavlja identitet kojim korisnik pristupa platformi, dok se njegova ovlašćenja određuju jednom ili više dodeljenih uloga. Veza između korisničkog naloga i uloge modelovana je kao veza više-prema-više i razrešena relacijom Dodela uloge. Ova relacija, osim korisničkog naloga i uloge, sadrži i opcioni institucionalni kontekst. Za uloge administratora izdavaoca i člana osoblja izdavaoca organizacija je obavezna, jer se njihova ovlašćenja primenjuju u okviru konkretne institucije. Za uloge nosioca i administratora platforme organizacija se ne navodi u relaciji Dodela uloge. Administrator izdavaoca raspolaže ovlašćenjima na nivou cele organizacije, dok uloga člana osoblja (zaposlenog) omogućava operativni rad sa dodeljenim šablonima, zahtevima i postupcima izdavanja.

Tabela 8 Relacije logičkog modela korisničkih naloga, uloga i organizacije

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Korisnički nalog	identifikator naloga	—	Evidentiranje identiteta kojim korisnik pristupa platformi
Uloga	identifikator uloge	—	Evidentiranje unapred definisanih kategorija ovlašćenja
Dodela uloge	identifikator dodele uloge	identifikator naloga; identifikator uloge; identifikator organizacije, opciono	Povezivanje naloga sa ulogom i, kod institucionalnih uloga, organizacijom
Organizacija	identifikator organizacije	—	Evidentiranje institucija izdavalaca
Povezanost nosioca sa organizacijom	identifikator povezanosti	identifikator naloga nosioca; identifikator organizacije	Povezivanje jednog nosioca sa jednom ili više institucija

Uloga nosioca predstavlja isključivu ulogu korisničkog naloga i ne kombinuje se sa ulogama izdavaoca. Nosilac nalog nije neposredno vezan za samo jednu organizaciju, već se sa jednom ili više institucija povezuje preko relacije Povezanost nosioca sa organizacijom.



Ilustracija 13 ER dijagram logičkog modela korisničkih naloga, uloga i organizacije

Ovakvim modelovanjem (Ilustracija 13) razdvajaju se identitet korisničkog naloga, skup njegovih uloga i institucionalni kontekst u kojem se ovlašćenja primenjuju.

Poslovna pravila:

- Svaki aktivan korisnički nalog mora imati najmanje jednu aktivnu dodelu uloge.
- Dozvoljene uloge su nosilac, administrator izdavaoca, član osoblja izdavaoca i administrator platforme.
- Jedina dozvoljena kombinacija više uloga na jednom nalogu jeste kombinacija administratora izdavaoca i člana osoblja izdavaoca.
- Kombinovane uloge administratora i osoblja moraju se odnositi na istu organizaciju.
- Uloga nosilac ne može se kombinovati sa ulogama izdavaoca niti sa ulogom administratora platforme.
- Uloga administratora platforme ne kombinuje se sa drugim ulogama.
- Za dodelu uloge administratora izdavaoca ili člana osoblja izdavaoca obavezno se navodi organizacija.
- Za uloge nosilac i administratora platforme organizacija se ne navodi u relaciji Dodela uloge.
- Sve aktivne institucionalne uloge jednog korisničkog naloga moraju pripadati istoj organizaciji.
- Par korisnički nalog–uloga–organizacija mora biti jedinstven za aktivnu dodelu.
- Svaka aktivna organizacija mora imati najmanje jednog aktivnog administratora izdavaoca.
- Nije dozvoljeno ukloniti poslednju aktivnu administratorsku ulogu organizacije.
- Nosilac se sa organizacijama povezuje isključivo preko relacije Povezanost nosioca sa organizacijom.
- Par nosilac nalog–organizacija mora biti jedinstven za aktivnu povezanost.

- Sa organizacijom se preko relacije Povezanost nosioca može povezati samo nalog koji ima aktivnu i isključivu ulogu nosioca.
- Prestanak dodele uloge ili povezanosti evidentira se datumom prestanka, čime se može sačuvati istorija institucionalnog konteksta korisnika.

Šabloni mikrokredencijala i verzionisanje

Logički model ove celine obuhvata relacije Organizacija, Šablon mikrokredencijala, Verzija šablona, Ishod učenja, Kompetencija i Dodela šablona osoblju (Tabela 9). Organizacija predstavlja instituciju koja definiše i izdaje mikrokredencijale. Jedna organizacija može imati više šablona, dok svaki šablon pripada tačno jednoj organizaciji. Kreiranje, izmena, objavljivanje i arhiviranje šablona dozvoljeni su isključivo korisniku koji ima aktivnu ulogu administratora izdavaoca u organizaciji kojoj šablon pripada.

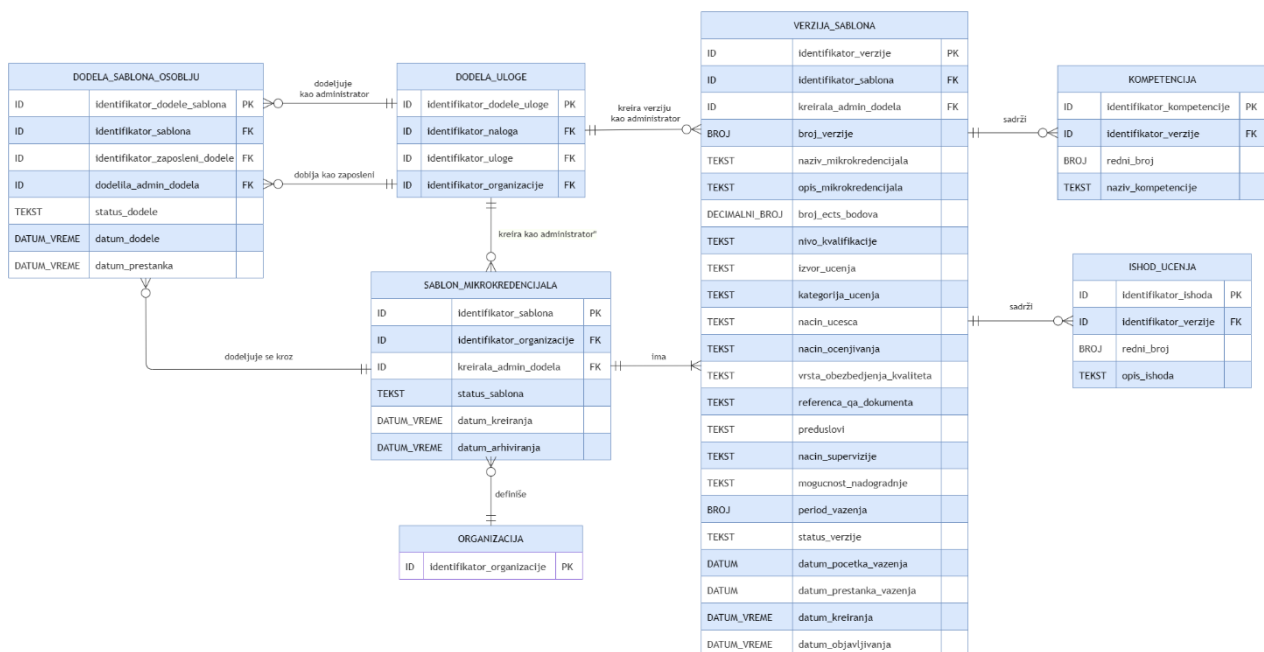
Šablon mikrokredencijala predstavlja stabilni identitet određene vrste mikrokredencijala, dok se njegov promenljivi sadržaj čuva kroz relaciju Verzija šablona. Svaki šablon mora imati najmanje jednu verziju. Verzija šablona predstavlja vremenski određenu specifikaciju mikrokredencijala i obuhvata njegov naziv, opis, obim, nivo, način realizacije, način ocenjivanja, vrstu obezbeđenja kvaliteta, preduslove, mogućnost povezivanja sa drugim mikrokredencijalima i druge relevantne metapodatke. Ishodi učenja i kompetencije predstavljaju sastavne elemente verzije šablona. Ishod učenja opisuje šta se očekuje da nosilac zna, razume ili može da primeni nakon završetka aktivnosti učenja, dok kompetencija predstavlja znanje, veštinu ili sposobnost koja se tom aktivnošću razvija ili potvrđuje. Iz ugla poslovnih procesa, ishodi učenja i kompetencije predstavljaju višestruke attribute verzije šablona. U relacionom logičkom modelu nije pogodno da se više ishoda ili kompetencija čuva u jednom složenom tekstualnom atributu. Zbog toga su oni prikazani kao zavisne relacije Ishod učenja i Kompetencija. Svaki pojedinačni ishod učenja i svaka pojedinačna kompetencija pripadaju tačno jednoj verziji šablona. Ovakvo modelovanje omogućava očuvanje njihovog redosleda, pojedinačno prikazivanje, pretraživanje i kontrolu obaveznosti, bez tretiranja ovih elemenata kao posebnog poslovnog domena.

Tabela 9 Relacije logičkog modela šablona i verzija šablona mikrokredencijala

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Šablon mikrokredencijala	identifikator šablona	identifikator organizacije; identifikator korisnika koji je kreirao šablon	Evidentiranje stabilnog identiteta i organizacione pripadnosti šablona
Verzija šablona	identifikator verzije	identifikator šablona; identifikator korisnika koji je kreirao verziju	Čuvanje vremenski određene specifikacije i sadržaja mikrokredencijala
Ishod učenja	identifikator ishoda	identifikator verzije	Evidentiranje pojedinačnih ishoda učenja koji pripadaju verziji šablona
Kompetencija	identifikator kompetencije	identifikator verzije	Evidentiranje pojedinačnih znanja, veština i sposobnosti koje verzija šablona razvija ili potvrđuje
Dodela šablona osoblju	identifikator dodele šablona	identifikator šablona; identifikator zaposleni dodele; identifikator korisnika koji je izvršio dodelu	Evidentiranje operativne odgovornosti osoblja za pojedine šablone

Korisnik koji istovremeno ima uloge administratora izdavaoca i člana osoblja izdavaoca može biti dodeljen određenom šablonu, ali se ta dodela vezuje za njegovu zaposleni ulogu. U tom slučaju korisnik u odnosu na dodeljeni šablon može nastupati kao operativni izdavalac, dok njegova administratorska uloga i dalje obezbeđuje šira ovlašćenja na nivou cele organizacije.

Relacija Dodela šablona osoblju omogućava da se određeni šablon dodeli korisniku koji u pripadajućoj organizaciji ima aktivnu ulogu člana osoblja izdavaoca. Dodela se ne vezuje neposredno za korisnički nalog, već za konkretnu dodelu uloge zaposleni. Time se obezbeđuje da se operativna odgovornost korisnika može proveriti u odnosu na njegovu ulogu i institucionalni kontekst.



Ilustracija 14 ER dijagram logičkog modela šablona i verzija šablona mikrokredencijala

Nakon objavljivanja, verzija šablona mikrokredencijala postaje nepromenljiva (Ilustracija 14). Naknadne izmene realizuju se kreiranjem nove verzije, čime se obezbeđuje da ranije podnete prijave i izdati mikrokredencijali ostanu povezani sa sadržajem koji je važio u trenutku njihovog nastanka.

Poslovna pravila:

- Svaki šablon pripada jednoj organizaciji, a može ga kreirati, objaviti i arhivirati samo korisnik sa aktivnom ulogom administratora izdavaoca u toj organizaciji.
- Član osoblja izdavaoca ne može samostalno kreirati, objavljivati niti arhivirati šablone.
- Svaki šablon mora imati najmanje jednu verziju, pri čemu broj verzije mora biti jedinstven u okviru šablona.
- Verzija u pripremi može se menjati do objavljivanja, dok je objavljena verzija nepromenljiva; svaka naknadna izmena zahteva kreiranje nove verzije.
- U okviru jednog šablona može postojati najviše jedna trenutno važeća objavljena verzija.
- Prijave i izdati mikrokredencijali uvek se povezuju sa tačno određenom verzijom šablona.
- Objavljena verzija mora sadržati sve obavezne metapodatke i najmanje jedan ishod učenja.
- Ishodi učenja i kompetencije pripadaju konkretnoj verziji šablona i nakon njenog objavljivanja ne mogu se menjati niti brisati.
- Šablon se može dodeliti samo korisniku sa aktivnom ulogom člana osoblja izdavaoca u istoj organizaciji, a dodelu vrši administrator te organizacije.
- Arhiviranje šablona onemogućava nove prijave i izdavanja, ali ne utiče na ranije izdate mikrokredencijale niti dovodi do brisanja istorijskih verzija i povezanih zapisa.

Prijave, validacija i izdavanje

Logički model ove celine obuhvata relacije Prijava, Odluka o prijavi, Potvrda validacije učenja, Postupak izdavanja i Stavka postupka izdavanja (Tabela 10). Model podržava tri osnovna načina izdavanja mikrokredencijala: izdavanje na osnovu odobrene prijave nosioca, neposredno pojedinačno izdavanje i grupno izdavanje.

Prijava predstavlja zahtev koji nosilac podnosi za sticanje mikrokredencijala na osnovu objavljene verzije šablona. Svaka prijava povezana je sa jednim korisničkim nalogom nosioca i jednom konkretnom verzijom šablona. Povezivanje sa verzijom, umesto samo sa osnovnim šablonom, obezbeđuje da prijava ostane vezana za sadržaj, kriterijume i druge podatke koji su važili u trenutku njenog podnošenja. Prijava

sadrži podatak o trenutnom statusu, datumu podnošenja, opcionalnom priloženom tekstu i vremenu poslednje promene. Status prijave pokazuje u kojoj se fazi obrade ona trenutno nalazi, dok se formalne odluke donete tokom obrade evidentiraju u relaciji Odluka o prijavi. Jedna prijava može tokom obrade imati više odluka. Svaka odluka sadrži vrstu odluke, obrazloženje, datum donošenja i dodelu uloge korisnika koji ju je doneo. Odluku može doneti administrator izdavaoca ili član osoblja izdavaoca koji je ovlašćen za rad sa predmetnim šablonom.

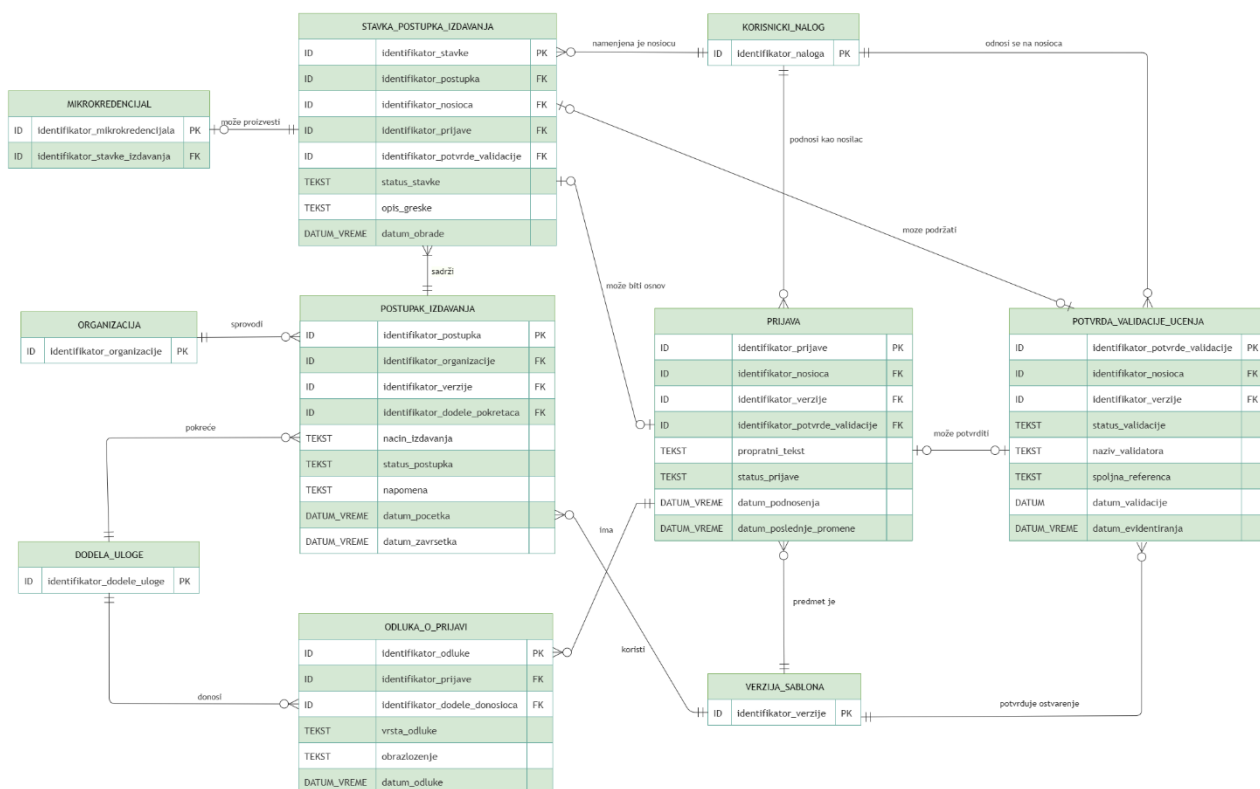
Tabela 10 Relacije logičkog modela prijave, validacije i izdavanja mikrokredencijala

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Prijava	identifikator prijave	identifikator nosioca; identifikator verzije šablona; identifikator potvrde validacije, opcionalno	Evidentiranje zahteva nosioca za sticanje mikrokredencijala
Odluka o prijavi	identifikator odluke	identifikator prijave; identifikator dodele uloge donosioca odluke	Evidentiranje formalnih odluka tokom obrade prijave
Potvrda validacije učenja	identifikator potvrde validacije	identifikator nosioca; identifikator verzije šablona	Evidentiranje rezultata eksternog postupka validacije bez čuvanja dokaza
Postupak izdavanja	identifikator postupka izdavanja	identifikator organizacije; identifikator verzije šablona; identifikator dodele uloge pokretača	Evidentiranje pojedinačne ili grupne poslovne aktivnosti izdavanja
Stavka postupka izdavanja	identifikator stavke	identifikator postupka; identifikator nosioca; identifikator prijave, opcionalno; identifikator potvrde validacije, opcionalno	Evidentiranje pojedinačnog rezultata izdavanja za jednog nosioca
Mikrokredencijal	identifikator mikrokredencijala	identifikator stavke izdavanja	Evidentiranje mikrokredencijala nastalog uspešnim završetkom stavke

Prikupljanje i procena dokaza o učenju ne modeluju se kao interni proces platforme. Ove aktivnosti obavlja pružalac obrazovnog programa u okviru sopstvenog postupka, koji može biti različit u zavisnosti od institucije, programa i načina ocenjivanja. U osnovnom logičkom modelu rezultat eksternog postupka predstavlja se relacijom Potvrda validacije učenja. Ona sadrži status validacije, podatke o subjektu koji je potvrdio rezultat, spoljnu referencu i vreme potvrđivanja. Detaljna struktura pojedinačnih dokaza i procena obrađuje se u posebnom modelu kompetencija, ishoda učenja i dokaza.

Potvrda validacije učenja ne sadrži pojedinačne dokaze, rubrike ili rezultate svake aktivnosti procene. Ona predstavlja strukturisanu potvrdu da je eksterni postupak sproveden i sadrži identifikator nosioca, verziju šablona, status validacije, naziv ili oznaku validatora, spoljnu referencu i datum validacije. Ova relacija omogućava integraciju sa eksternim informacionim sistemima bez standardizacije njihovih internih procesa.

Kod izdavanja na osnovu prijave potvrda validacije može biti povezana sa prijavom, a zatim korišćena i kao osnov za odgovarajuću stavku izdavanja. Kod neposrednog i grupnog izdavanja potvrda validacije može biti povezana direktno sa stavkom postupka izdavanja, bez prethodno podnete prijave. Postupak izdavanja predstavlja poslovnu aktivnost koju sprovodi organizacija izdavalac i u okviru koje se kreira jedan ili više mikrokredencijala. Svaki postupak povezan je sa jednom organizacijom, jednom verzijom šablona i dodelom uloge korisnika koji je pokrenuo izdavanje. Postupak sadrži podatke o načinu izdavanja, statusu, vremenu početka i završetka i opcionalnoj napomeni. Relacija Stavka postupka izdavanja uvedena je radi evidentiranja pojedinačnog rezultata izdavanja za svakog nosioca. Jedan postupak izdavanja sadrži jednu ili više stavki, dok se svaka stavka odnosi na jednog nosioca. Na taj način se jedinstveno modeluju pojedinačno i grupno izdavanje.



Ilustracija 15 ER dijagram logičkog modela prijave, validacije i izdavanja mikrokredencijala

Kod pojedinačnog izdavanja postupak sadrži jednu stavku. Kod grupnog izdavanja isti postupak sadrži više stavki, pri čemu svaka stavka može imati sopstveni status i rezultat. Time je moguće evidentirati da su neki mikrokredencijali uspešno izdati, dok su pojedine stavke završene greškom, bez poništavanja celog grupnog postupka. Stavka postupka izdavanja može biti povezana sa prijavom, ali ta veza nije obavezna. Ona postoji kod izdavanja zasnovanog na prijavi, dok kod neposrednog i grupnog izdavanja prijava ne postoji. Uspešno završena stavka proizvodi tačno jedan mikrokredencijal, dok stavka koja je još u obradi, otkazana ili neuspešna ne mora imati kreiran mikrokredencijal. Uvođenjem posebnih relacija (Ilustracija 15) Postupak izdavanja i Stavka postupka izdavanja obezbeđuje se sledljivost načina izdavanja, korisnika koji je postupak pokrenuo, svih nosilaca obuhvaćenih istom operacijom i pojedinačnih rezultata grupnog izdavanja.

Poslovna pravila:

- Prijavu može podneti samo nosilac, i to za objavljenu i važeću verziju šablona. Za istog nosioca i istu verziju šablona može postojati najviše jedna aktivna prijava.
- Prijavu može obrađivati administrator izdavaoca ili član osoblja kome je odgovarajući šablon dodeljen. Vraćanje na dopunu, odobravanje i odbijanje evidentiraju se kao odluke o prijavi.
- Konačno odbijena prijava ne može biti osnov za izdavanje, dok odobrena prijava može dovesti do izdavanja najviše jednog mikrokredencijala.
- Validacija rezultata učenja obavlja se izvan platforme, u okviru procesa pružaoca obrazovnog programa. Platforma može evidentirati status validacije i referencu na eksterni zapis, pri čemu se potvrda mora odnositi na istog nosioca i istu verziju šablona kao prijava ili stavka izdavanja.
- Postupak izdavanja može pokrenuti administrator izdavaoca ili član osoblja kome je šablon dodeljen. Korisnik koji ima obe uloge može biti evidentiran kao operativni izdavalac preko svoje zaposleni uloge.
- Podržana su tri načina izdavanja: izdavanje na osnovu odobrene prijave, neposredno pojedinačno izdavanje i grupno izdavanje.

- Pojedinačni postupak izdavanja sadrži jednu stavku, dok grupni postupak sadrži više stavki. Svaka stavka odnosi se na jednog nosioca i ima sopstveni status, čime se omogućava delimično uspešno grupno izdavanje.
- Uspešno završena stavka proizvodi najviše jedan mikrokredencijal, dok neuspešna, otkazana ili nedovršena stavka ne proizvodi mikrokredencijal.
- Kreirani mikrokredencijal inicijalno čeka potvrdu nosioca. Njegova poslovna validnost ne zavisi od uspešnosti blokčejn zapisa, čiji se status prati odvojeno.
- Prijave, odluke, postupci izdavanja i njihove stavke čuvaju se kao istorijski zapisi kada su povezani sa izdatim mikrokredencijalima ili evidencijom revizije.

Mikrokredencijali, životni ciklus, prezentacija i verifikacija

Logički model ove celine obuhvata relacije Mikrokredencijal, Događaj životnog ciklusa, Veza mikrokredencijala, Prezentacija, Stavka prezentacije, Podešavanje vidljivosti i Verifikacija (Tabela 11). Njima se predstavljaju trenutno stanje i istorija izdatog mikrokredencijala, njegovo povezivanje sa drugim mikrokredencijalima, način na koji ga nosilac deli sa trećim stranama i postupak provere njegove validnosti.

Mikrokredencijal nastaje uspešnim završetkom stavke postupka izdavanja i predstavlja digitalnu potvrdu rezultata učenja izdatu konkretnom nosiocu. Povezivanjem sa stavkom izdavanja moguće je utvrditi nosioca, organizaciju izdavaoca, verziju šablona, način izdavanja i korisnika koji je pokrenuo postupak. Relacija Mikrokredencijal čuva jedinstveni javni identifikator, datum izdavanja, opcioni datum isteka, trenutni status i podatke koji su specifični za konkretno izdavanje, poput ostvarene ocene. Nakon kreiranja mikrokredencijal se nalazi u statusu čekanja na potvrdu nosioca. Nosilac ga može prihvatiti, čime mikrokredencijal postaje aktivan, ili odbiti. Aktivni mikrokredencijal može kasnije isteći ili biti opozvan. Trenutni status čuva se neposredno u relaciji Mikrokredencijal, dok se istorija svih promena evidentira kroz relaciju Događaj životnog ciklusa.

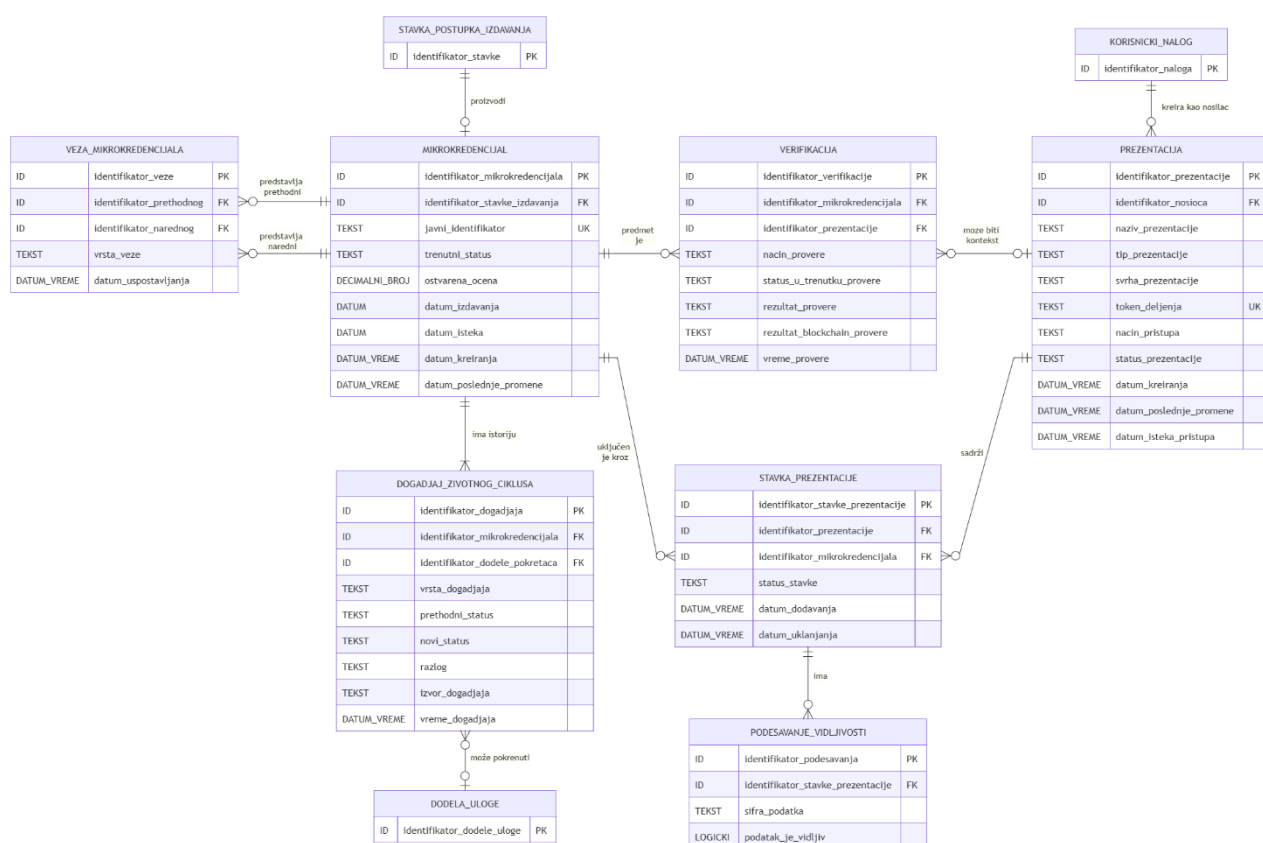
Događaj životnog ciklusa sadrži vrstu događaja, prethodni i novi status, vreme nastanka i razlog promene. Događaj može pokrenuti korisnik ili sistem. Na primer, prihvatanje pokreće nosilac, opoziv administrator izdavaoca, dok istek može automatski evidentirati sistem. Ova evidencija predstavlja poslovnu istoriju mikrokredencijala i razlikuje se od opšte revizije evidencije sistema. Relacija Veza mikrokredencijala koristi se kada novi mikrokredencijal predstavlja obnovu, zamenu ili nadogradnju prethodno izdatog mikrokredencijala. U takvom slučaju prethodni zapis se ne menja niti briše. Kreira se novi mikrokredencijal i evidentira vrsta veze između prethodnog i narednog zapisa.

Tabela 11 Relacije logičkog modela mikrokredencijala, životnog ciklusa, prezentacije i verifikacije

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Mikrokredencijal	identifikator mikrokredencijala	identifikator stavke izdavanja	Evidentiranje izdatog mikrokredencijala i njegovog trenutnog stanja
Događaj životnog ciklusa	identifikator događaja	identifikator mikrokredencijala; identifikator dodele uloge pokretača, opcionalno	Čuvanje istorije promena poslovnog statusa
Veza mikrokredencijala	identifikator veze	identifikator prethodnog; identifikator narednog mikrokredencijala	Evidentiranje obnove, zamene i nadogradnje
Prezentacija	identifikator prezentacije	identifikator nosioca	Evidentiranje načina na koji nosilac deli skup svojih mikrokredencijala
Stavka prezentacije	identifikator stavke prezentacije	identifikator prezentacije; identifikator mikrokredencijala	Povezivanje prezentacije sa jednim ili više mikrokredencijala
Podešavanje vidljivosti	identifikator podešavanja	identifikator stavke prezentacije	Određivanje podataka mikrokredencijala koji se prikazuju

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Verifikacija	identifikator verifikacije	identifikator mikrokredencijala; identifikator prezentacije, opciono	Evidentiranje rezultata neposredne ili prezentacione provere

Nosilac može deliti svoje mikrokredencijale kroz prezentaciju. Prezentacija predstavlja skup mikrokredencijala i podataka koje je nosilac učinio dostupnim trećim stranama. U modelu se razlikuju prezentacija profila i namenska prezentacija. Prezentacija profila predstavlja dinamički javni profil nosioca. Nosilac određuje koji su njegovi mikrokredencijali vidljivi i koji podaci se prikazuju. Promene vidljivosti odmah se odražavaju na sadržaj koji je dostupan preko istog linka. Zbog toga osobe koje imaju pristup profilu uvek vide trenutno važeći skup podataka, a ne sadržaj koji je bio vidljiv u trenutku kada je link prvobitno podeljen. Veza između prezentacije i mikrokredencijala je više-prema-više i razrešena je relacijom Stavka prezentacije.



Ilustracija 16 ER dijagram logičkog modela mikrokredencijala, životnog ciklusa, prezentacije i verifikacije

Jedna prezentacija može sadržati više mikrokredencijala, dok isti mikrokredencijal može biti uključen u više prezentacija (Ilustracija 16). Kod profilne prezentacije aktivne stavke predstavljaju mikrokredencijale koji su trenutno označeni kao vidljivi. Relacija Podešavanje vidljivosti omogućava određivanje pojedinačnih podataka koji se prikazuju uz mikrokredencijal, kao što su ocena, kompetencije, nivo, datum isteka, način ocenjivanja i drugi podaci. Na ovaj način nosilac može deliti mikrokredencijal bez obaveze da otkrije sve podatke koji su sa njim povezani.

Verifikacija predstavlja proveru validnosti jednog mikrokredencijala. Provera se može izvršiti neposredno, korišćenjem javnog identifikatora mikrokredencijala, ili u kontekstu profilne ili namenske prezentacije. Svaka verifikacija odnosi se na jedan mikrokredencijal, dok je veza sa prezentacijom opcionalna. Prilikom verifikacije proveravaju se trenutni poslovni status mikrokredencijala, integritet dostupnog zapisa i, kada postoji, blokčejn potvrda. Rezultat blokčejn provere evidentira se odvojeno od poslovnog statusa, jer odsustvo ili privremena nedostupnost blokčejn zapisa ne mora automatski značiti da je mikrokredencijal nevažeći.

Verifikator se ne predstavlja kao korisnički nalog, budući da proveru može izvršiti javni ili anonimni korisnik bez registracije na platformi. Relacija Verifikacija zato čuva podatke o predmetu, vremenu, načinu i rezultatu provere, ali ne zahteva identifikaciju osobe koja je proveru izvršila.

Poslovna pravila:

- Mikrokredencijal nastaje iz uspešno završene stavke izdavanja i inicijalno čeka potvrdu nosioca. Prihvatanjem postaje aktivan, dok odbijanjem prelazi u završni status.
- Opoziv može izvršiti samo administrator organizacije izdavaoca, dok se istek automatski evidentira nakon isteka definisanog roka. Svaka promena statusa čuva se kao događaj životnog ciklusa.
- Opozvani, istekli i odbijeni mikrokredencijali ne brišu se. Obnova ili zamena realizuje se izdavanjem novog mikrokredencijala i uspostavljanjem veze sa prethodnim zapisom.
- Nosioc može u prezentaciju uključiti samo mikrokredencijale koji su mu izdati. Jedan mikrokredencijal može biti uključen u više prezentacija, ali samo jednom u okviru iste prezentacije.
- Nosioc može imati najviše jednu aktivnu profilnu prezentaciju, dok može kreirati više namenskih prezentacija. Sadržaj profilne prezentacije dinamički se menja prema trenutnim podešavanjima vidljivosti.
- Podešavanja vidljivosti određuju koji podaci se prikazuju za svaki mikrokredencijal, ali ne menjaju njegov izvorni sadržaj niti poslovni status.
- Verifikacija se može izvršiti neposredno ili u kontekstu prezentacije. U oba slučaja proverava se trenutno stanje mikrokredencijala u trenutku pristupa, a ne stanje koje je važno u trenutku deljenja linka.
- Verifikacija je dostupna i anonimnom korisniku. Rezultat provere mora jasno prikazati da li je mikrokredencijal aktivan, istekao, opozvan ili odbijen.
- Poslovna validnost mikrokredencijala i rezultat blokčejn provere vode se odvojeno. Nepostojanje potvrđenog blokčejn zapisa samo po sebi ne poništava interno izdat mikrokredencijal.

Blokčejn zapisi i revizija

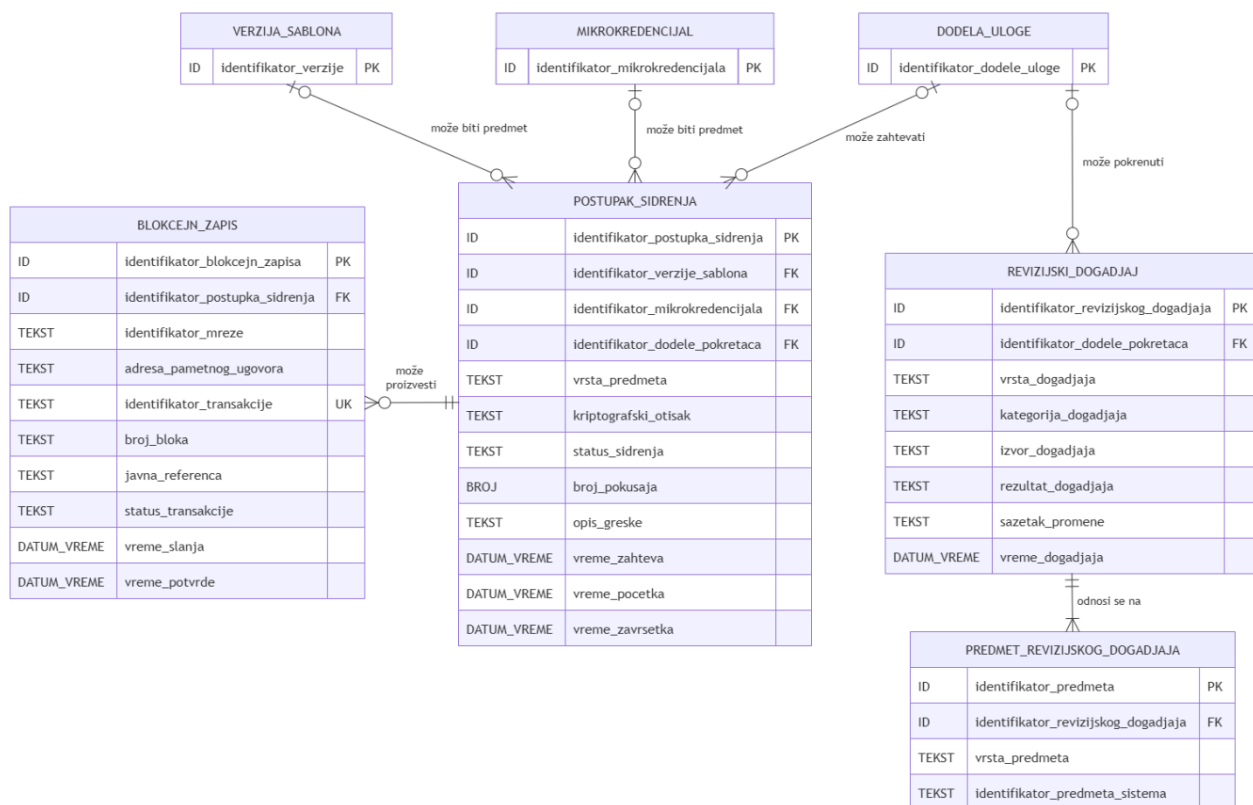
Logički model ove celine obuhvata relacije Postupak sidrenja, Blokčejn zapis, Revizijski događaj i Predmet revizijskog događaja (Tabela 12). Njima se omogućavaju evidentiranje postupka upisa podataka na blokčejn mrežu, čuvanje podataka o realizovanoj transakciji i formiranje revizijskog traga značajnih poslovnih i sistemskih aktivnosti. Blokčejn sidrenje može se odnositi na objavljenu verziju šablona mikrokredencijala ili na izdati mikrokredencijal. Na blokčejn se ne upisuje njihov celokupan sadržaj niti podaci o ličnosti, već kriptografski otisak i druge minimalne informacije potrebne za kasniju proveru integriteta i statusa zapisa. Relacija Postupak sidrenja evidentira zahtev za upis kriptografskog otiska verzije šablona ili mikrokredencijala na decentralizovanu infrastrukturu, njegov trenutni status i relevantne vremenske podatke. Jedan postupak odnosi se ili na verziju šablona ili na mikrokredencijal, ali ne na oba predmeta istovremeno. Postupak može pokrenuti ovlašćeni korisnik ili sistem, zbog čega je veza sa dodelom uloge pokretača opcionalna.

Tabela 12 Relacija logičkog modela blokčejn zapisa i revizije

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Postupak sidrenja	identifikator postupka sidrenja	identifikator verzije šablona, opcionalno; identifikator mikrokredencijala, opcionalno; identifikator dodele pokretača, opcionalno	Evidentiranje zahteva, statusa i pokušaja blokčejn sidrenja
Blokčejn zapis	identifikator blokčejn zapisa	identifikator postupka sidrenja	Evidentiranje transakcije i potvrde upisa na blokčejn mrežu
Revizijski događaj	identifikator revizijskog događaja	identifikator dodele pokretača, opcionalno	Evidentiranje značajnih poslovnih i sistemskih aktivnosti

Relacija	Primarni ključ	Strani ključevi	Namena
Predmet revizijskog događaja	identifikator predmeta	identifikator revizijskog događaja	Povezivanje revizijskog događaja sa jednim ili više poslovnih objekata

Relacija Blokčejn zapis sadrži podatke potrebne za identifikaciju i proveru realizovane transakcije, kao što su identifikator mreže, adresa pametnog ugovora, identifikator transakcije, broj bloka, javna referenca i vreme potvrde. Kriptografski otisak omogućava proveru da sadržaj verzije šablona ili mikrokredencijala nije neovlašćeno izmenjen nakon sidrenja. Blokčejn zapis ne zamenjuje izvorni poslovni zapis, već predstavlja dokaz njegovog integriteta i porekla, dok se potpuni poslovni podaci i podaci o ličnosti čuvaju van blokčejna. Detaljni mehanizmi izvršavanja transakcija, ponovljenih pokušaja i komunikacije sa blokčejn mrežom razmatraju se u poglavlju posvećenom infrastrukturi i arhitekturi sistema.



Ilustracija 17 ER dijagram logičkog modela blokčejn zapisa i revizije

Proverljivost sistema obezbeđuje se relacijom Revizijski događaj. Ona evidentira poslovno ili bezbednosno značajnu aktivnost, vreme njenog nastanka, vrstu događaja, rezultat, izvor i sažetak izvršene promene. Revizijski trag obuhvata, između ostalog, promene korisničkih uloga, upravljanje organizacijama i šablonima, obradu prijave, izdavanje i opoziv mikrokredencijala, promene podešavanja deljenja i izvršavanje postupaka sidrenja. Njegova svrha nije samo tehničko beleženje aktivnosti, već obezbeđivanje sledljivosti odgovornosti i mogućnosti naknadne kontrole poslovnih procesa. Jedan revizijski događaj može se odnositi na više poslovnih objekata. Na primer, izdavanje mikrokredencijala može biti povezano sa postupkom izdavanja, njegovom stavkom, korisničkim nalogom nosioca i nastalim mikrokredencijalom. Zbog toga se predmeti događaja evidentiraju kroz relaciju Predmet revizijskog događaja, koja sadrži vrstu i identifikator pogođenog objekta. Revizijski događaji predstavljaju neizmenljivi istorijski trag i ne koriste se kao zamena za trenutno stanje poslovnih entiteta. Trenutni statusi čuvaju se u pripadajućim relacijama, dok revizijski trag omogućava utvrđivanje ko je, kada i sa kakvim rezultatom izvršio određenu aktivnost (Ilustracija 17).

Poslovna pravila:

- Postupak sidrenja odnosi se ili na jednu verziju šablona ili na jedan mikrokredencijal. Na blokčejn se upisuju kriptografski otisak i minimalni podaci potrebni za proveru, bez podataka o ličnosti i celokupnog sadržaja zapisa.
- Sidrenje može zahtevati ovlašćeni korisnik ili ga može automatski pokrenuti sistem, dok tehničko izvršavanje transakcije obavlja sistemski proces.
- Neuspešno, odloženo ili otkazano sidrenje ne menja poslovnu validnost objavljene verzije šablona ili izdatog mikrokredencijala.
- Ponovljeni pokušaji sidrenja čuvaju se radi sledljivosti, ali samo potvrđeni blokčejn zapis koristi se kao važeća potvrda integriteta.
- Izmena sadržaja koji je već sidren zahteva novu verziju šablona ili novi mikrokredencijal i novi postupak sidrenja; postojeći potvrđeni zapis se ne menja.
- Revizijski događaji evidentiraju aktivnosti značajne za odgovornost, bezbednost i sledljivost poslovnih procesa, bez menjanja izvornog poslovnog zapisa.
- Jedan revizijski događaj može se odnositi na više poslovnih objekata, dok se sistemski događaji evidentiraju bez obaveznog korisničkog pokretača.
- Potvrđeni blokčejn zapisi i revizijski događaji ne brišu se niti naknadno menjaju, već se eventualne korekcije evidentiraju novim događajem ili novim postupkom.

Predstavljeni logički modeli određuju strukturu podataka potrebnu za realizaciju definisanih poslovnih procesa. Poseban model metapodataka mikrokredencijala, kompetencija, ishoda učenja i dokaza detaljnije razrađuje podatke potrebne za priznavanje rezultata formalnog i neformalnog učenja. Način povezivanja ovih podataka sa sigurnim orakl (eng. *oracle*) slojem, decentralizovanim registrima i drugim infrastrukturnim komponentama razmatra se u narednom poglavlju.

4.6.3 Model metapodataka mikrokredencijala

Metapodaci mikrokredencijala predstavljaju strukturisane podatke kojima se opisuje sadržaj, poreklo, obrazovna vrednost, način sticanja i trenutno stanje mikrokredencijala. Njihova uloga nije ograničena na prikaz osnovnih informacija o izdatom zapisu, već obuhvata obezbeđivanje njegove razumljivosti, uporedivosti, prenosivosti i proverljivosti u različitim obrazovnim, institucionalnim i profesionalnim kontekstima.

Bez standardizovanog skupa metapodataka, digitalni mikrokredencijal može potvrditi da je određen zapis izdat, ali ne mora pružiti dovoljno informacija za procenu njegovog značenja. Da bi organizacija, obrazovna institucija ili poslodavac mogao da protumači vrednost mikrokredencijala, potrebno je da utvrdi ko ga je izdao, kome je izdat, koje rezultate učenja potvrđuje, koliki je bio obim aktivnosti učenja, na koji način su rezultati procenjeni, koji sistem obezbeđenja kvaliteta je primenjen i da li je mikrokredencijal i dalje važeći.

Predloženi model metapodataka baziran je Preporukama Evropske Unije za mikrokredencijale [1], evropskom modelu učenja [166] i W3C standardu za proverljive kredencijale [259]. Treba da omogući:

- jednoznačnu identifikaciju mikrokredencijala, njegovog nosioca i izdavaoca;
- opis sadržaja i obrazovne vrednosti mikrokredencijala;
- povezivanje sa odgovarajućim ishodima učenja i kompetencijama;
- evidentiranje obima, nivoa, načina realizacije i procene aktivnosti učenja;
- opis mehanizama obezbeđenja kvaliteta;
- praćenje izdavanja, prihvatanja, isteka, opoziva, obnove i zamene;
- proveru porekla i integriteta zapisa;
- interoperabilnost sa drugim sistemima digitalnih kredencijala;
- kontrolisano deljenje podataka uz primenu principa minimalnog otkrivanja.

Model metapodataka nije ograničen na podatke koji nastaju u trenutku izdavanja. Pojedini elementi definišu se prilikom kreiranja šablona mikrokredencijala, drugi nastaju u odnosu na konkretnog nosioca i postupak izdavanja, dok se podaci o statusu, proveru i vezama sa drugim mikrokredencijalima dopunjuju tokom njegovog životnog ciklusa. Zbog toga se u predloženom modelu razlikuju metapodaci verzije šablona, metapodaci izdatog mikrokredencijala i metapodaci potrebni za upravljanje životnim ciklusom i proverljivost.

4.6.3.1 Referentni standardi i principi modela metapodataka

Osnovu predloženog modela predstavlja Preporuka Saveta Evropske unije o evropskom pristupu mikrokredencijalima za celoživotno učenje i zapošljivost [1]. Preporukom su definisani zajednički evropski elementi za opis mikrokredencijala, podeljeni na obavezne i opcione elemente. Cilj njihovog uvođenja jeste povećanje transparentnosti, uporedivosti, prenosivosti i mogućnosti priznavanja mikrokredencijala između institucija, sektora i država.

Obavezni evropski elementi obuhvataju:

- identifikaciju nosioca;
- naziv mikrokredencijala;
- državu ili region izdavaoca;
- telo ili organizaciju koja dodeljuje mikrokredencijal;
- datum izdavanja;
- ishode učenja;
- procenjeno radno opterećenje potrebno za ostvarivanje ishoda;
- nivo obrazovne aktivnosti, kada je primenljivo;
- vrstu procene;
- oblik učešća u aktivnosti učenja;
- vrstu primenjenog obezbeđenja kvaliteta.

Kao opcion elementi navode se preduslovi za pristup aktivnosti, način supervizije i provere identiteta tokom procene, ostvarena ocena, mogućnost kombinovanja mikrokredencijala i dodatne informacije. Podela na obavezne i opcione elemente ne znači da su svi obavezni podaci u svakom kontekstu javno dostupni. Njihova obaveznost odnosi se na potpunost zapisa, dok se način pristupa i prikazivanja određuje pravilima privatnosti i deljenja.

Evropski digitalni kredencijali za učenje (EDC) [161] predstavlja evropski okvir za kreiranje, izdavanje, čuvanje, deljenje i proveru digitalnih obrazovnih zapisa. U ovom okviru mikrokredencijal se posmatra kao jedna od mogućih vrsta digitalnog obrazovnog kredencijala. Pored semantičkog opisa obrazovnog postignuća, okvir omogućava povezivanje podataka sa organizacijom izdavaocem i primenu elektronskog pečata radi provere porekla i integriteta. W3C model proverljivih kredencijala [259] pruža opštu strukturu za predstavljanje digitalnih tvrdnji koje izdavalac daje o određenom subjektu. Njegovi osnovni elementi uključuju identifikator kredencijala, njegov tip, izdavaoca, subjekta na kojeg se odnosi, period važenja, sadržaj tvrdnji, status kredencijala i mehanizam kriptografske provere. Ovaj standard ne propisuje koje obrazovne metapodatke mikrokredencijal mora sadržati, ali pruža opšti okvir u kojem se takvi podaci mogu predstaviti kao proverljiv digitalni zapis. Sa druge strane, standard *Open Badges* [300] omogućava strukturisano predstavljanje pojedinačnih postignuća, kompetencija i mikrokredencijala. On povezuje podatke o nosiocu, izdavaocu, kriterijumima za sticanje i ostvarenom postignuću, uz mogućnost uključivanja dokaza i povezivanja sa okvirima kompetencija. Njegova uloga u predloženom modelu ogleda se u podršci prenosivosti, vizuelnom predstavljanju postignuća i razmeni podataka između obrazovnih i profesionalnih sistema.

Navedeni standardi imaju komplementarne uloge. Zajedno definišu semantičko jezgro podataka potrebnih za razumevanje mikrokredencijala, opštu strukturu proverljivog kredencijala i pružaju obrazovni okvir za njihovo digitalno izdavanje i proveru, dok *Open Badges* omogućava predstavljanje i razmenu pojedinačnih obrazovnih i profesionalnih postignuća. Predloženi model metapodataka zato ne

preuzima u celini strukturu samo jednog standarda, već usklađuje njihove relevantne elemente sa zahtevima prethodno definisanih poslovnih procesa i životnog ciklusa mikrokredencijala.

Model metapodataka zasniva se na principima standardizacije, interoperabilnosti, sledljivosti, neophodnosti, proširivosti i zaštite privatnosti.

- Standardizacija podrazumeva korišćenje zajednički definisanih elemenata i kontrolisanih vrednosti, kako bi mikrokredencijali različitih izdavalaca bili opisani na dosledan način. Standardizacija se ne odnosi na ujednačavanje sadržaja svih aktivnosti učenja, već na obezbeđivanje zajedničke strukture za njihovo opisivanje.
- Interoperabilnost omogućava da se podaci o mikrokredencijalu razmenjuju i tumače između različitih informacionih sistema, institucija, digitalnih novčanika i servisa za verifikaciju. Ona zahteva da značenje pojedinačnih elemenata bude precizno definisano i nezavisno od načina njihove fizičke implementacije.
- Sledljivost podrazumeva mogućnost povezivanja izdatog mikrokredencijala sa organizacijom izdavaocem, tačno određenom verzijom šablona, postupkom izdavanja, rezultatima validacije i promenama nastalim tokom njegovog životnog ciklusa. Na taj način se može utvrditi ne samo trenutno stanje zapisa, već i njegov nastanak i istorija.
- Neophodnost znači da model treba da sadrži podatke neophodne za razumevanje i proveru mikrokredencijala, bez nepotrebnog prikupljanja podataka o ličnosti. Podaci potrebni za internu obradu ne moraju istovremeno biti deo javno dostupnog ili deljenog zapisa.
- Proširivost omogućava uvođenje dodatnih metapodataka za pojedine obrazovne oblasti, vrste aktivnosti ili regulatorne zahteve, bez izmene osnovne strukture modela. Obavezno jezgro ostaje zajedničko, dok se specifični elementi mogu dodavati prema potrebama konkretnog konteksta.
- Zaštita privatnosti zahteva razdvajanje podataka koji su neophodni za identifikaciju nosioca od podataka koji se mogu javno prikazati ili selektivno deliti. Nosioc treba da može da kontroliše prikaz opcionih i osetljivih podataka, dok mogućnost provere autentičnosti i statusa mikrokredencijala mora ostati očuvana.

4.6.3.2 *Struktura metapodataka mikrokredencijala*

Metapodaci mikrokredencijala organizovani su u međusobno povezane grupe koje opisuju njegov obrazovni sadržaj, institucionalno poreklo, način sticanja, izdavanje, životni ciklus i proverljivost. Ovakva podela omogućava da se mikrokredencijal posmatra istovremeno kao obrazovna ponuda, individualno ostvareno postignuće i proverljiv digitalni zapis. Metapodaci ne nastaju svi u istom trenutku. Jedan deo definiše se prilikom kreiranja i objavljivanja verzije šablona mikrokredencijala. Ovi podaci zajednički su svim mikrokredencijalima koji se izdaju na osnovu iste verzije i obuhvataju naziv, opis, ishode učenja, kompetencije, obim rada, nivo, način realizacije i procene, preduslove i način obezbeđenja kvaliteta. Drugi deo nastaje tokom konkretnog postupka izdavanja i povezuje mikrokredencijal sa njegovim nosiocem, izdavaocem, datumom izdavanja, ostvarenim rezultatom i potvrdom validacije. Treća grupa podataka dopunjava se tokom životnog ciklusa i omogućava praćenje prihvatanja, isteka, opoziva, obnove, zamene, deljenja i verifikacije mikrokredencijala.

U predloženom modelu izdvajaju se grupe metapodataka definisane u tabeli ispod (Tabela 13).

Tabela 13 Grupe metapodataka mikrokredencijala

Grupa metapodataka	Namena
Identifikacioni metapodaci	Omogućavaju jednoznačno razlikovanje šablona, njegove verzije i pojedinačno izdatog mikrokredencijala. Pored naziva, oni obuhvataju jedinstvene identifikatore, jezik zapisa, verziju i odgovarajuće vremenske oznake.
Podaci o nosiocu i izdavaocu	Određuju subjekte između kojih nastaje odnos potvrđen izdatim mikrokredencijalom. Identitet nosioca mora biti nedvosmisleno povezan sa izdatim zapisom, ali podaci potrebni za internu identifikaciju ne moraju u celini biti javno dostupni. Podaci o izdavaocu obuhvataju naziv organizacije, državu ili region, institucionalni identifikator i druge informacije potrebne za proveru njenog statusa i odgovornosti.

Grupa metapodataka	Namena
Podaci o aktivnosti i kontekstu učenja	Opisuju program, predmet, kurs ili drugu aktivnost na osnovu koje je mikrokredencijal stečen. Uključuju vrstu i izvor učenja, način učešća, trajanje, preduslove i kontekst u kojem je aktivnost realizovana. Ovi elementi omogućavaju razlikovanje formalnih, neformalnih i drugih oblika učenja, bez promene osnovne strukture mikrokredencijala.
Ishodi učenja i kompetencije	Određuju obrazovno značenje mikrokredencijala. Ishodi opisuju ono što se očekuje da nosilac zna, razume ili može da primeni, dok kompetencije predstavljaju šire povezivanje znanja, veština i sposobnosti potvrđenih mikrokredencijalom.
Podaci o obimu, nivou i načinu realizacije	Omogućavaju procenu zahtevnosti i položaja aktivnosti učenja. Obim se može izraziti kroz procenjeno radno opterećenje, časove rada ili ESPB bodove kada je njihova primena opravdana. Nivo se može povezati sa odgovarajućim nacionalnim ili evropskim okvirom kvalifikacija, dok način realizacije razlikuje neposredno, onlajn, hibridno i samostalno učenje.
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Obuhvataju vrstu procene, kriterijume za uspešno ostvarivanje ishoda, način supervizije i provere identiteta, kao i primenjeni sistem obezbeđenja kvaliteta. Njihova svrha je da omoguće procenu pouzdanosti postupka na osnovu kojeg je mikrokredencijal dodeljen, a ne samo da evidentiraju njegov konačni rezultat.
Podaci o izdavanju i ostvarenom rezultatu	Odnose se na konkretno ostvarenje i uključuju datum izdavanja, tačnu verziju šablona, način izdavanja, eventualnu ocenu ili drugi rezultat i referencu na potvrdu validacije.
Podaci o životnom ciklusu	Omogućavaju praćenje trenutnog statusa mikrokredencijala i njegovih promena. Obuhvataju prihvatanje ili odbijanje od strane nosioca, datum isteka, opoziv i njegov razlog, kao i veze sa mikrokredencijalima koji predstavljaju obnovu, zamenu ili nadogradnju prethodnog zapisa.
Podaci o integritetu, poreklu i proverljivosti	Omogućavaju proveru porekla i neizmenjenosti mikrokredencijala. Ovoj grupi pripadaju kriptografski otisak, podaci o digitalnom potpisu ili pečatu, status kredencijala i reference potrebne za proveru u decentralizovanom registru.
Podaci o deljenju i kontroli pristupa	Određuju koji elementi mikrokredencijala mogu biti prikazani trećim stranama. Razdvajanje izvornog zapisa od njegove prezentacije omogućava nosiocu da kontroliše prikaz opcionih i osetljivih podataka, bez izmene samog mikrokredencijala i bez ugrožavanja mogućnosti provere njegove autentičnosti.

Za svaki element metapodataka potrebno je odrediti njegov naziv, obaveznost, trenutak nastanka i nivo dostupnosti. U skladu sa tim, elementi se mogu klasifikovati kao obavezni, uslovno obavezni ili opcioni. Obavezni elementi čine minimalno jezgro potrebno za pravilno tumačenje mikrokredencijala, uslovno obavezni primenjuju se kada su ispunjeni određeni uslovi, dok opcioni elementi omogućavaju detaljniji opis pojedinačnih obrazovnih i institucionalnih konteksta.

4.6.3.3 Klasifikacija metapodataka

Elementi metapodataka mikrokredencijala razlikuju se prema njihovom značaju za potpunost zapisa, trenutku u kojem nastaju i nivou dostupnosti (Tabela 14). Takva klasifikacija omogućava da se jasno odvoje podaci koji čine obavezno semantičko jezgro mikrokredencijala od elemenata koji se primenjuju samo u određenim obrazovnim ili životnim okolnostima, kao i od dodatnih podataka kojima se zapis detaljnije opisuje. Prema obaveznosti, metapodaci se dele na:

- obavezne elemente – bez ovih elemenata nije moguće jednoznačno protumačiti poreklo, sadržaj i obrazovnu vrednost mikrokredencijala;
- uslovno obavezne elemente – ovi elementi moraju biti evidentirani kada je odgovarajuća karakteristika primenljiva, kao što su datum isteka, ostvarena ocena ili nivo prema okviru kvalifikacija;
- opcione elemente – pomoću njih se omogućava potpuniji opis aktivnosti učenja, povezivanje sa drugim mikrokredencijalima i prilagođavanje različitim institucionalnim potrebama.

Metapodaci se razlikuju i prema trenutku njihovog nastanka. Podaci koji opisuju obrazovnu ponudu definišu se na nivou verzije šablona, podaci o konkretnom postignuću nastaju u postupku izdavanja, dok se informacije o isteku, opozivu, obnovi, deljenju i proveru dopunjuju tokom životnog ciklusa. Ovakvo razdvajanje sprečava nepotrebno ponavljanje istih sadržajnih podataka u svakom pojedinačno izdatom mikrokredencijalu i obezbeđuje njegovo trajno povezivanje sa tačno određenom verzijom šablona.

Tabela 14 Klasifikacija metapodataka mikrokredencijala

Grupa	Element metapodataka	Obaveznost	Nivo nastanka	Dostupnost
Identifikacioni metapodaci	Jedinstveni identifikator mikrokredencijala	Obavezno	Izdavanje	Javno ili deljeno
Identifikacioni metapodaci	Naziv mikrokredencijala	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Identifikacioni metapodaci	Jezik zapisa	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Identifikacioni metapodaci	Broj i identifikator verzije šablona	Obavezno	Verzija šablona	Javno ili deljeno
Podaci o nosiocu i izdavaocu	Identifikator nosioca	Obavezno	Izdavanje	Ograničeno ili selektivno
Podaci o nosiocu i izdavaocu	Naziv organizacije izdavaoca	Obavezno	Šablon i izdavanje	Javno
Podaci o nosiocu i izdavaocu	Država ili region izdavaoca	Obavezno	Šablon	Javno
Podaci o nosiocu i izdavaocu	Proverljivi ili institucionalni identifikator izdavaoca	Obavezno za digitalnu proveru	Organizacija i izdavanje	Javno
Podaci o aktivnosti i kontekstu učenja	Opis mikrokredencijala	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o aktivnosti i kontekstu učenja	Vrsta i izvor učenja	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o aktivnosti i kontekstu učenja	Oblik učešća u aktivnosti učenja	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o aktivnosti i kontekstu učenja	Preduslovi	Opciono	Verzija šablona	Javno
Ishodi učenja i kompetencije	Ishodi učenja	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Ishodi učenja i kompetencije	Kompetencije ili veštine	Obavezno u predloženom modelu	Verzija šablona	Javno ili deljeno
Podaci o obimu, nivou i načinu realizacije	Procenjeno radno opterećenje	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o obimu, nivou i načinu realizacije	Broj ESPB bodova	Uslovno obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o obimu, nivou i načinu realizacije	Nivo prema okviru kvalifikacija	Uslovno obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Vrsta i način procene	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Kriterijumi za uspešno ostvarenje	Obavezno u predloženom modelu	Verzija šablona	Javno ili deljeno
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Način supervizije i provere identiteta	Opciono	Verzija šablona	Javno ili deljeno
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Vrsta primenjenog obezbeđenja kvaliteta	Obavezno	Verzija šablona	Javno
Podaci o proceni i obezbeđenju kvaliteta	Referenca na dokument ili postupak obezbeđenja kvaliteta	Uslovno obavezno	Verzija šablona	Javno ili deljeno
Podaci o izdavanju i ostvarenom rezultatu	Datum izdavanja	Obavezno	Izdavanje	Javno
Podaci o izdavanju i ostvarenom rezultatu	Način izdavanja	Obavezno u predloženom modelu	Postupak izdavanja	Deljeno ili interno
Podaci o izdavanju i ostvarenom rezultatu	Ostvarena ocena ili rezultat	Uslovno obavezno	Izdavanje	Selektivno
Podaci o izdavanju i ostvarenom rezultatu	Referenca na potvrdu rezultata ili validacije	Uslovno obavezno	Izdavanje	Ograničeno

Grupa	Element metapodataka	Obaveznost	Nivo nastanka	Dostupnost
Podaci o životnom ciklusu	Trenutni status mikrokredencijala	Obavezno	Životni ciklus	Javno
Podaci o životnom ciklusu	Datum isteka	Uslovno obavezno	Izdavanje i životni ciklus	Javno ili deljeno
Podaci o životnom ciklusu	Datum i razlog opoziva	Uslovno obavezno	Životni ciklus	Status javno, razlog ograničeno
Podaci o životnom ciklusu	Veza sa prethodnim ili narednim mikrokredencijalom	Uslovno obavezno	Životni ciklus	Javno ili deljeno
Podaci o životnom ciklusu	Mogućnost kombinovanja i nadogradnje	Opciono	Verzija šablona	Javno
Podaci o integritetu, poreklu i proverljivosti	Kriptografski otisak zapisa	Obavezno za decentralizovanu proveru	Izdavanje ili sidrenje	Javno
Podaci o integritetu, poreklu i proverljivosti	Podaci o digitalnom potpisu ili elektronskom pečatu	Obavezno za proverljivi digitalni zapis	Izdavanje	Javno
Podaci o integritetu, poreklu i proverljivosti	Referenca na blokčejn ili drugi decentralizovani zapis	Uslovno obavezno	Sidrenje	Javno
Podaci o deljenju i kontroli pristupa	Status vidljivosti mikrokredencijala	Opciono	Prezentacija	Interno
Podaci o deljenju i kontroli pristupa	Vidljivost pojedinačnih elemenata	Opciono	Prezentacija	Interno
Podaci o deljenju i kontroli pristupa	Token ili druga referenca za pristup prezentaciji	Uslovno obavezno	Prezentacija	Ograničeno

Obavezni evropski elementi čine početnu osnovu modela, ali su u predloženoj strukturi dopunjeni podacima potrebnim za upravljanje verzijama, životnim ciklusom, kontrolisanim deljenjem i decentralizovanom proverom. Standardizovano evidentiranje identiteta nosioca, naziva, ishoda učenja, radnog opterećenja, nivoa, procene i obezbeđenja kvaliteta predstavlja važan uslov za transparentnost i prenosivost mikrokredencijala. Prošireni elementi ne menjaju semantičko jezgro mikrokredencijala, već omogućavaju njegovo upravljanje nakon izdavanja. Podaci o statusu, opozivu, povezanim kredencijalima, kriptografskom otisku i prezentaciji potrebni su da bi zapis ostao proverljiv, ažuran i kontrolisano dostupan tokom celog životnog ciklusa. Potreba za doslednom strukturom i potpunim skupom podataka naročito je značajna u okruženjima u kojima se mikrokredencijali razmenjuju između različitih obrazovnih platformi i sistema.

Predložena klasifikacija ne propisuje konkretne tipove podataka niti format njihove fizičke razmene. Ona određuje semantičko značenje svakog elementa i njegov položaj u životnom ciklusu mikrokredencijala, dok se tehnički način predstavljanja i provere razmatra u okviru modela infrastrukture i arhitekture sistema.

4.6.3.4 Privatnost i kontrola pristupa metapodacima

Model metapodataka mikrokredencijala mora istovremeno da omogući pouzdanu identifikaciju i proveru zapisa, ali i zaštitu podataka o ličnosti njegovog nosioca. Potpunost metapodataka ne podrazumeva da svi evidentirani podaci moraju biti javno dostupni. Zbog toga se u predloženom modelu razlikuju izvorni zapis mikrokredencijala, koji sadrži potpun skup podataka, i njegova prezentacija, kojom nosilac određuje koji će podaci biti dostupni određenom primaocu ili javnosti. Privatnost se zasniva na principima minimizacije podataka, ograničenja svrhe, selektivnog otkrivanja i kontrole pristupa. Prikupljaju se samo podaci potrebni za izdavanje, upravljanje i proveru mikrokredencijala, dok se njihova dostupnost određuje u skladu sa svrhom obrade i ulogom korisnika. Podatak može biti obavezan u izvornom zapisu, a istovremeno nedostupan ili delimično prikazan eksternom proveravaocu.

U skladu sa nivoom dostupnosti, metapodaci se mogu podeliti u tri grupe (Tabela 15).

Tabela 15 Podela metapodataka po nivou dostupnosti

Nivo dostupnosti	Namena	Primeri podataka
Javni podaci	Omogućavaju osnovno tumačenje i proveru mikrokredencijala	naziv mikrokredencijala, izdavalac, datum izdavanja, ishodi učenja, trenutni status
Selektivno dostupni podaci	Prikazuju se uz saglasnost nosioca i u zavisnosti od svrhe deljenja	ostvarena ocena, detaljne kompetencije, datum isteka, način procene, prethodno obrazovanje
Ograničeni podaci	Dostupni su samo ovlašćenim učesnicima sistema	puni identitet nosioca, interne reference validacije, razlozi opoziva, revizioni zapisi i tehnički podaci o pristupu

Javni podaci treba da budu dovoljni za razumevanje osnovnog značenja mikrokredencijala i proveru njegovog statusa. Međutim, identitet nosioca ne mora biti predstavljen punim skupom podataka o ličnosti. U zavisnosti od konteksta, može se koristiti jedinstveni identifikator, pseudonim, kriptografska referenca ili drugi podatak kojim se potvrđuje povezanost kredencijala sa njegovim nosiocem bez nepotrebnog otkrivanja identiteta. Selektivno dostupni podaci omogućavaju nosiocu da prilagodi obim deljenja konkretnoj svrsi. Promena vidljivosti ne menja sadržaj izvornog zapisa, već samo njegovu prezentaciju. Ograničeni podaci koriste se za interne procese izdavanja, validacije, upravljanja životnim ciklusom i revizije. Pristup ovim podacima zavisi od uloge korisnika i institucionalnog konteksta. Administrator izdavaoca i ovlašćeni član osoblja mogu pristupiti podacima potrebnim za obradu prijave i izdavanje, dok eksterni verifikator dobija samo podatke neophodne za utvrđivanje autentičnosti i trenutnog statusa mikrokredencijala.

Posebnu zaštitu zahtevaju metapodaci koji se odnose na dokaze o učenju i procenu. Dokumenti, detaljni rezultati procene, komentari procenjivača i druge informacije koje mogu sadržati podatke o ličnosti ne treba da budu sastavni deo javnog zapisa mikrokredencijala. U javnoj ili selektivno dostupnoj prezentaciji može se prikazati samo potvrda da je odgovarajući postupak validacije sproveden, zajedno sa podatkom o subjektu koji ga je izvršio i referencom potrebnom za proveru.

Kriptografski podaci potrebni za proveru integriteta takođe se moraju odvojiti od izvornog sadržaja. Kriptografski otisak, identifikator transakcije ili referenca na decentralizovani zapis mogu biti javno dostupni, jer sami po sebi ne treba da otkrivaju sadržaj dokumenta ili identitet nosioca. Dokumenti, podaci o ličnosti i detaljni rezultati čuvaju se van javno dostupne decentralizovane infrastrukture.

Model predviđa da verifikator može utvrditi da je mikrokredencijal izdao odgovarajući izdavalac, da zapis nije neovlašćeno izmenjen i da nije opozvan ili istekao, bez obaveznog pristupa svim podacima sadržanim u izvornom zapisu. Time se razdvajaju dokaz autentičnosti i integriteta od punog otkrivanja sadržaja mikrokredencijala.

Kontrola pristupa metapodacima zasniva se na kombinaciji uloge korisnika, vlasništva nad mikrokredencijalom, institucionalne pripadnosti i saglasnosti nosioca. Nosilac upravlja načinom prikazivanja i deljenja svojih mikrokredencijala, ali ne može menjati podatke koje je izdavalac potvrdio, niti sakrivanjem podataka promeniti njihov stvarni status.

Predloženi model privatnosti na taj način usklađuje potrebu za transparentnošću i proverljivošću sa zaštitom podataka o ličnosti. Konkretni mehanizmi selektivnog otkrivanja, pseudonimizacije, upravljanja digitalnim identitetima i čuvanja podataka van blokčejna detaljnije se razmatraju u poglavlju posvećenom infrastrukturi i arhitekturi decentralizovanog sistema.

4.6.4 Model kompetencija, ishoda učenja i dokaza

Model metapodataka mikrokredencijala definiše podatke potrebne za opis njegovog sadržaja, izdavaoca, nosioca, načina sticanja i statusa. Međutim, da bi mikrokredencijal predstavljao više od digitalne potvrde o učešću u određenoj aktivnosti, potrebno je uspostaviti jasnu vezu između kompetencija koje potvrđuje, očekivanih ishoda učenja, rezultata rada nosioca i postupka kojim je utvrđeno da su odgovarajući ishodi ostvareni. Model kompetencija, ishoda učenja i dokaza zato predstavlja obrazovnu i semantičku osnovu

postupka izdavanja mikrokredencijala. Njegova svrha je da omogući sledljivost od unapred definisanih očekivanja obrazovne aktivnosti do konkretnog dokaza i potvrđenog rezultata pojedinačnog nosioca. Na taj način moguće je utvrditi ne samo da je mikrokredencijal izdat, već i na osnovu kojih podataka, kriterijuma i odluka je njegovo izdavanje opravdano.

Model je razvijen na osnovu zaključaka analize referentnih okvira kvalifikacija i kompetencija prikazane u poglavlju 4.2. Analiza je pokazala da različiti okviri imaju komplementarne funkcije. Okviri kvalifikacija omogućavaju određivanje nivoa i složenosti rezultata učenja, okviri kompetencija pružaju strukturisane opise digitalnih, ličnih, socijalnih, preduzetničkih i stručnih kompetencija, dok klasifikacije povezane sa tržištem rada omogućavaju povezivanje obrazovnih rezultata sa profesionalnim ulogama i potrebama poslodavaca. Zbog toga predloženi model ne propisuje korišćenje jednog unapred izabranog okvira. Kompetencija ili ishod učenja mogu biti povezani sa jednim ili više referentnih izvora, pri čemu se evidentiraju naziv i verzija okvira, identifikator odgovarajućeg elementa, njegova oblast i nivo, kada je on definisan. Ovim se omogućava primena modela u različitim obrazovnim oblastima i kombinovanje stručnih i transverzalnih kompetencija u okviru jednog mikrokredencijala.

Osnovni elementi modela su kompetencija, ishod učenja, dokaz, validacija dokaza i procena ostvarenosti ishoda:

- Kompetencija predstavlja sposobnost pojedinca da znanje, veštine i stavove primeni u određenom kontekstu. Ona može biti stručna, digitalna, lična, socijalna, preduzetnička ili transverzalna. Kompetencija je širi konstrukt i najčešće se ne potvrđuje neposredno, već se operacionalizuje kroz jedan ili više konkretnih ishoda učenja.
- Ishod učenja predstavlja iskaz o tome šta se očekuje da učesnik nakon završene aktivnosti zna, razume ili može da primeni. Za razliku od opšte formulacije kompetencije, ishod učenja treba da bude dovoljno određen da bi njegovo ostvarivanje moglo biti provereno. Jedna kompetencija može biti predstavljena većim brojem ishoda učenja, dok jedan ishod može doprineti razvoju ili potvrđivanju više međusobno povezanih kompetencija.
- Dokaz predstavlja podatak, zapis, dokument ili digitalni artefakt na osnovu kojeg se može zaključivati o ostvarivanju jednog ili više ishoda učenja. Dokaz može nastati kao rezultat ispita, zadatka, projekta, praktične aktivnosti, prezentacije, digitalnog proizvoda, zapisa iz sistema za upravljanje učenjem, repozitorijuma izvornog koda, potvrde mentora, evaluacije komisije ili druge proverljive aktivnosti. Jedan dokaz može podržavati više ishoda učenja. Na primer, izrađeni softverski prototip može istovremeno predstavljati dokaz tehničkih, analitičkih i timskih kompetencija. Istovremeno, ostvarivanje jednog ishoda može zahtevati više dokaza, kao što su pisani rezultat, praktična demonstracija i usmena odbrana. Model zato predviđa vezu više-prema-više između dokaza i ishoda učenja.
- Pored samog dokaza, potrebno je evidentirati način na koji je proverena njegova pouzdanost. U tom smislu razlikuju se validacija dokaza i procena njegovog obrazovnog značenja.
 - Validacija dokaza obuhvata utvrđivanje njegovog porekla, autentičnosti, integriteta i važenja. Njome se proverava da li je dokaz nastao kod navedenog izvora, da li se odnosi na konkretnog učesnika, da li je sadržaj naknadno izmenjen i da li je izvorni zapis i dalje važeći.
 - Procena predstavlja utvrđivanje da li određeni dokaz zadovoljava kriterijume definisane za konkretan ishod učenja. Procena može biti kvantitativna, kroz poene, ocenu ili nivo ostvarenosti, ili kvalitativna, kroz obrazloženu odluku procenjivača. Validan dokaz ne mora nužno potvrđivati ostvarenje ishoda, jer autentičnost dokumenta ne znači da je njegov sadržaj dovoljan za ispunjavanje obrazovnog kriterijuma.

Osnovna logika modela može se predstaviti na sledeći način:

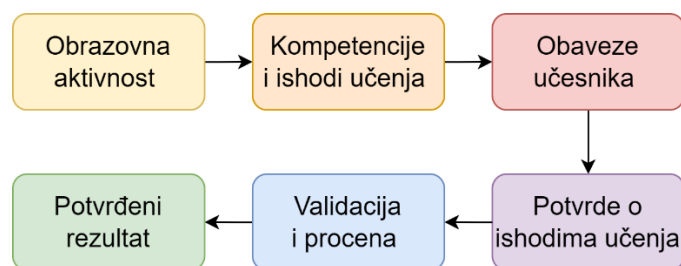
Kompetencija se operacionalizuje kroz ishode učenja. Ostvarenost ishoda potvrđuje se jednim ili više dokaza. Autentičnost i integritet dokaza utvrđuju se validacijom, dok se njihova relevantnost i dovoljnost utvrđuju procenom. Potvrđen skup ishoda i kompetencija predstavlja osnov za izdavanje mikrokredencijala.

Izdavanje mikrokredencijala ne mora zahtevati ostvarivanje svih ishoda na isti način. Za pojedine ishode mogu biti definisani obavezni i alternativni dokazi, minimalni pragovi, različiti nivoi uspešnosti ili kombinovani kriterijumi. Model zato treba da omogući evidentiranje zahteva za dokaz, kriterijuma procene i pravila prema kojima se skup pojedinačnih rezultata smatra dovoljnim za izdavanje mikrokredencijala. Predloženi model ne pretpostavlja da se svi dokazi, validacije i procene moraju kreirati u okviru iste informacione platforme. Oni mogu nastati u univerzitetskom informacionom sistemu, sistemu za upravljanje učenjem, repozitorijumu izvornog koda, sistemu partnerske organizacije ili drugom pouzdanom izvoru. Sistem za upravljanje mikrokredencijalima treba da evidentira njihov sadržaj ili referencu, poreklo, status validacije i potvrđeni rezultat, nezavisno od mesta na kojem je obrazovna aktivnost realizovana

4.6.4.1 Primena modela u formalnim i neformalnim oblicima učenja

Formalno visokoškolsko obrazovanje može se koristiti kao referentni okvir za povezivanje kompetencija, ishoda učenja, dokaza i rezultata procene. U okviru jednog predmeta unapred se definišu cilj i ishodi učenja, sadržaj, aktivnosti studenata, način vrednovanja i uslovi za ostvarivanje konačnog rezultata. Tokom realizacije predmeta student izvršava različite obaveze, poput izrade zadataka, polaganja testova i kolokvijuma, realizacije projekta, praktičnog rada ili završnog ispita. Rezultati ovih aktivnosti predstavljaju dokaze i potvrde koji se procenjuju prema unapred određenim kriterijumima, dok se ostvareni poeni, ocena ili drugi rezultat evidentiraju u zvaničnom institucionalnom sistemu.

Posmatrano iz ugla modela podataka, ovaj okvir obuhvata relativno jasan lanac sledljivosti (Ilustracija 18).



Ilustracija 18 Lanac sledljivosti u procesu izdavanja mikrokredencijala

Formalno obrazovanje zato pruža referentni obrazac za utvrđivanje elemenata koji su potrebni da bi određeni rezultat učenja bio pouzdano potvrđen. Međutim, cilj predloženog modela nije da se postupci formalnog studiranja neposredno prenesu na sve druge oblike obrazovanja. Potrebno je sačuvati funkcije pojedinačnih elemenata, dok se način njihovog ostvarivanja prilagođava vrsti aktivnosti učenja.

U neformalnom obrazovanju program ili nastavna aktivnost mogu biti organizovani kao letnja škola, intenzivni *bootcamp* program, hakaton, stručna radionica, projektno zasnovano učenje ili neki drugi vid aktivnosti. U takvim aktivnostima ishodi učenja mogu biti podjednako jasno definisani kao u formalnom obrazovanju, ali se dokazi i način njihove procene razlikuju. Umesto klasičnog ispita, dokaz može biti funkcionalni prototip, repozitorijum izvornog koda, prezentacija, izveštaj, portfolio, praktična demonstracija, rezultat timskog rada ili potvrda mentora. Ključni elementi formalnog obrazovanja mogu se funkcionalno povezati sa odgovarajućim elementima neformalnog učenja (Tabela 16).

Tabela 16 Uporedni prikaz ključnih elemenata formalnog i neformalnog obrazovanja

Formalno visoko obrazovanje	Odgovarajući element neformalnog učenja
Studijski program ili predmet	Program letnje škole, <i>bootcamp</i> -a, hakatona ili projekta
Cilj i ishodi predmeta	Ciljevi programa i očekivani ishodi aktivnosti
Predispitne i ispitne obaveze	Zadaci, praktične aktivnosti, izazovi, projekti i demonstracije
Ispitni zadatak ili studentski rad	Digitalni proizvod, prototip, kod, prezentacija, izveštaj ili portfolio
Nastavnik ili ispitna komisija	Instruktor, mentor, stručni procenjivač, žiri ili eksterni partner
Poeni i ocena	Bodovi, nivo ostvarenosti, rezultat prema rubrici ili odluka o uspešnom završetku
Zvanična evidencija rezultata	Potvrda validacije, evidencija procene i izdati mikrokredencijal
ESPB i nivo studija	Procenjeno radno opterećenje i nivo složenosti ishoda, kada su primenljivi

Bez obzira na oblik učenja, izdavanje mikrokredencijala zasnovanog na kompetencijama zahteva da budu definisani očekivani ishodi, prihvatljivi dokazi, kriterijumi procene i subjekt odgovoran za potvrđivanje rezultata. Samo prisustvo aktivnosti ne predstavlja nužno dovoljan dokaz o ostvarivanju ishoda učenja. Zbog toga model treba da omogući razlikovanje mikrokredencijala kojim se potvrđuje učešće od mikrokredencijala kojim se potvrđuje uspešno završavanje aktivnosti ili ostvarivanje određenih kompetencija. Neformalno učenje može se realizovati kroz različite aktivnosti i organizacione oblike, kao što su radionice, seminari, takmičenja, projekti, intenzivni programi i drugi oblici angažovanja. U okviru ove disertacije fokus je na nekoliko karakterističnih primera koji su relevantni za okruženje Fakulteta organizacionih nauka, a koji ilustruju različite pristupe definisanju ishoda, prikupljanju dokaza i sprovođenju procene (Tabela 17).

Letnja škola najčešće obuhvata kombinaciju predavanja, radionica, timskih aktivnosti i završnog rada. Dokazi mogu uključivati prisustvo obaveznim aktivnostima, rezultate kratkih provera znanja, praktične zadatke, završni projekat i njegovu prezentaciju. Prisustvo može biti uslov za sticanje mikrokredencijala, ali ne treba automatski da se izjednači sa potvrdom kompetencije. Kada mikrokredencijal potvrđuje ostvarene ishode, potrebno je evidentirati rezultate zadataka ili projekta i procenu mentora ili instruktora.

Bootcamp program zasniva se na intenzivnom praktičnom radu i postepenom razvoju primenljivih znanja i veština. Kao dokazi mogu se koristiti programski kod, rezultati automatskih testova, verzije izrađenog rešenja, tehnička dokumentacija, praktične demonstracije i mentorska procena. Jedan završni proizvod može potvrđivati više stručnih i transverzalnih ishoda, dok podaci iz repozitorijuma mogu omogućiti praćenje kontinuiteta rada i individualnog doprinosa. Kod tehničkih programa posebno je značajno da se automatski generisan rezultat, kao što je prolazak testova, razlikuje od stručne procene kvaliteta, bezbednosti, održivosti i prikladnosti izrađenog rešenja.

Hakaton predstavlja specifičan kontekst jer se završni rezultat najčešće ostvaruje timskim radom, dok se mikrokredencijal izdaje pojedincu. Timski prototip, prezentacija, dokumentacija i ocena stručnog žirija mogu predstavljati zajedničke dokaze, ali nisu uvek dovoljni za potvrđivanje individualnih kompetencija svakog člana. Model zato treba da omogući evidentiranje uloge učesnika, njegovog pojedinačnog doprinosa, konkretnih zadataka, potvrde mentora ili članova tima i rezultata individualne procene. Na taj način se sprečava da se uspeh tima bez dodatnih podataka automatski pripiše svakom učesniku u istom obimu.

Projektno zasnovano učenje omogućava procenu ne samo završnog proizvoda već i procesa njegovog nastanka. Dokazi mogu uključivati specifikaciju projekta, plan rada, međurezultate, repozitorijum sa istorijom izmena, projektnu dokumentaciju, izveštaje, finalni proizvod i njegovu prezentaciju. Pored stručnih ishoda, projekat može potvrđivati planiranje, saradnju, rešavanje problema, komunikaciju i refleksiju. Procenu može izvršiti nastavnik, mentor ili eksterni partner, a model može obuhvatiti i samoprocenu i vršnjačku procenu kao dopunske izvore podataka. Međutim, konačnu potvrdu ostvarenosti ishoda mora dati ovlašćeni procenjivač.

Tabela 17 Uporedni prikaz karakterističnih elemenata različitih oblika učenja u neformalnom obrazovanju

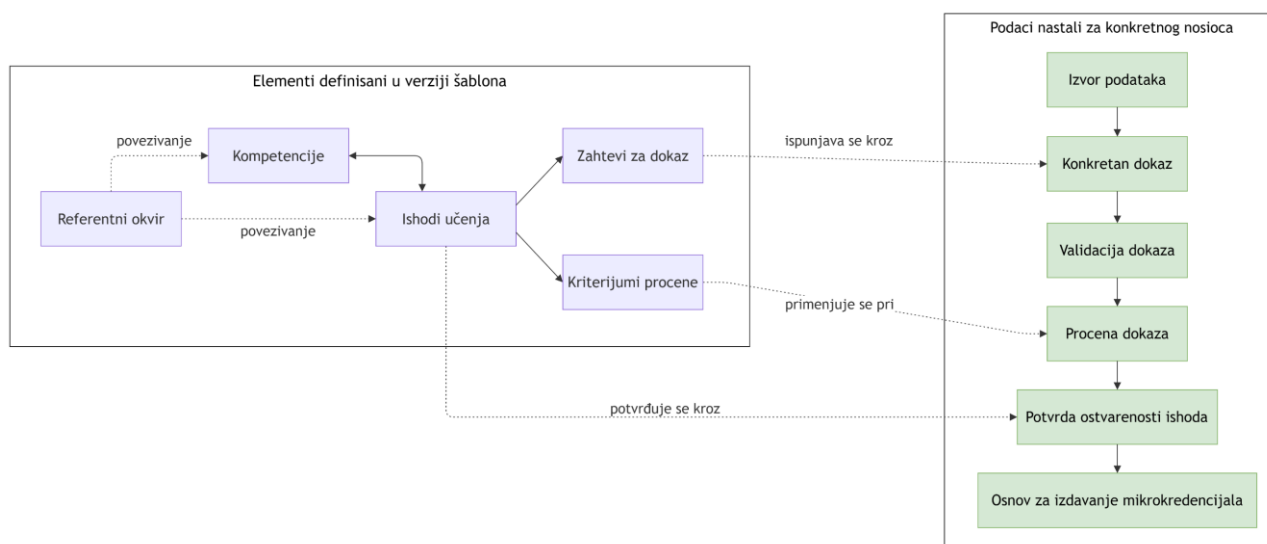
Oblik učenja	Tipični dokazi	Procenjivač	Poseban zahtev modela
Formalni predmet	zadaci, kolokvijumi, projekat, ispit	nastavnik, saradnik ili komisija	povezivanje dokaza sa poenima, ocenom i zvaničnom evidencijom
Letnja škola	prisustvo, kviz, praktični zadatak, završni projekat i prezentacija	instruktor ili mentor	razlikovanje učešća, završavanja i potvrđene kompetencije
Bootcamp	izvorni kod, automatski testovi, prototip, dokumentacija i demonstracija	instruktor, mentor ili stručni procenjivač	kombinovanje automatske validacije i stručne procene
Hakaton	timski prototip, prezentacija, repozitorijum, ocena žirija	stručni žiri, mentor ili organizator	razdvajanje timskog rezultata od individualnog doprinosa
Projektno zasnovano učenje	plan, među-rezultati, završni proizvod, izveštaj i prezentacija	nastavnik, mentor ili eksterni partner	praćenje procesa rada i procena stručnih i transverzalnih ishoda

Predloženi model treba da podrži sve navedene slučajeve bez kreiranja posebne strukture podataka za svaki oblik učenja. Razlike između njih predstavljaju se kroz vrstu aktivnosti, definisane ishode, zahteve za dokazima, izvore podataka, kriterijume i način procene. Time se obezbeđuje jedinstven model koji se može prilagoditi različitim obrazovnim kontekstima, uz očuvanje sledljivosti i uporedivosti rezultata. Jedinstvenost strukture ne znači da svi oblici učenja imaju isti stepen formalizacije. Kod formalnog predmeta pouzdanost se u velikoj meri zasniva na institucionalno definisanim procedurama i zvaničnoj evidenciji. Kod neformalnih aktivnosti veći značaj mogu imati identitet pružaoca programa, jasnoća kriterijuma, kvalitet dokaza, transparentnost procene i mogućnost potvrđivanja individualnog doprinosa. Model zato ne određuje vrednost rezultata prema tome da li je učenje formalno ili neformalno, već prema kvalitetu i proverljivosti podataka na osnovu kojih je rezultat potvrđen.

4.6.4.2 Struktura i međusobna povezanost elemenata modela

Predloženi model prikazan na ilustraciji ispod (Ilustracija 19) povezuje elemente koji se unapred definišu u okviru verzije šablona mikrokredencijala sa podacima koji nastaju tokom potvrđivanja rezultata konkretnog nosioca. Na taj način prikazan je sled od kompetencija i očekivanih ishoda učenja do dokaza, njihove validacije i procene, potvrde ostvarenosti ishoda i osnova za izdavanje mikrokredencijala. Model se sastoji iz dva dela:

- Prvi deo modela obuhvata referentne okvire, kompetencije, ishode učenja, zahteve za dokaz i kriterijume procene. Kompetencije predstavljaju šire sposobnosti koje mikrokredencijal razvija ili potvrđuje, dok se kroz ishode učenja određuje šta se očekuje da nosilac zna, razume ili može da primeni. Kompetencije i ishodi mogu biti povezani sa odgovarajućim elementima referentnih okvira, čime se omogućavaju njihova standardizacija, uporedivost i povezivanje sa širim obrazovnim ili profesionalnim kontekstom. Za svaki ishod učenja definišu se prihvatljivi zahtevi za dokaz i kriterijumi procene. Zahtevom za dokaz određuje se vrsta rezultata, dokumenta ili digitalnog artefakta koji treba dostaviti ili preuzeti iz pouzdanog izvora. Kriterijumi procene definišu uslove na osnovu kojih se utvrđuje da li dostavljeni dokaz potvrđuje ostvarivanje odgovarajućeg ishoda.
- Drugi deo modela odnosi se na podatke koji nastaju za konkretnog nosioca. Dokaz potiče iz određenog izvora podataka i predstavlja konkretan rezultat aktivnosti učenja. Nakon njegovog evidentiranja sprovodi se validacija, kojom se proveravaju poreklo, autentičnost, integritet i važenje dokaza. Validan dokaz zatim se procenjuje prema kriterijumima prethodno definisanim u verziji šablona. Na osnovu rezultata jedne ili više procena donosi se odluka o ostvarenosti konkretnog ishoda učenja. Potvrda ostvarenosti zato se vezuje za ishod učenja, a ne neposredno za dostavljeni dokaz. Time se jasno razdvaja pouzdanost dokaza od njegovog obrazovnog značenja, jer autentičan i validan dokaz ne mora nužno biti dovoljan za potvrđivanje ishoda ukoliko ne zadovoljava propisane kriterijume.



Ilustracija 19 Struktura i međusobna povezanost elemenata modela mikrokredencijala

Veze između dva dela modela prikazane su putem tri isprekidane veze, koje pokazuju kako se unapred definisana pravila primenjuju na konkretnog nosioca:

- Zahtev za dokaz → konkretan dokaz – dokaz predstavlja konkretan odgovor na unapred definisani zahtev.
- Kriterijum procene → procena dokaza – procena se sprovodi prema kriterijumima utvrđenim u šablonu.
- Ishod učenja → potvrda ostvarenosti ishoda – potvrda pokazuje da li je konkretni nosilac ostvario unapred definisani ishod.

Kada su potvrđeni svi obavezni ishodi ili drugi uslovi definisani verzijom šablona, ostvareni rezultati predstavljaju osnov za izdavanje mikrokredencijala. Ovakva struktura omogućava sledljivost od unapred definisane kompetencije do konkretnog dokaza i konačne potvrde rezultata nosioca.

Predloženi model omogućava da se različiti oblici učenja predstavljaju kroz jedinstvenu strukturu, bez propisivanja konkretnog načina realizacije nastave, prikupljanja dokaza ili sprovođenja procene. Njegova primena zasniva se na definisanju proverljivih ishoda učenja, odgovarajućih zahteva za dokaz i kriterijuma procene, kao i na evidentiranju rezultata validacije i potvrde ostvarenosti ishoda za konkretnog nosioca. Potvrđeni ishodi zatim se povezuju sa postupkom izdavanja i predstavljaju obrazovni osnov izdatog mikrokredencijala.

4.6.5 Hibridni model čuvanja podataka i zaštite privatnosti

Primena blokčejn tehnologije u upravljanju mikrokredencijalima ne podrazumeva da se celokupan sadržaj poslovnih zapisa čuva na blokčejnu. Nepromenljivost i javna ili distribuirana dostupnost blokčejn zapisa nisu pogodni za čuvanje podataka o ličnosti, dokumenata, detaljnih rezultata procene i drugih podataka koji se mogu menjati, ograničeno koristiti ili ukloniti u skladu sa pravilima institucije i zahtevima zaštite privatnosti. Zbog toga se predlaže hibridni model u kojem se izvorni poslovni podaci čuvaju van blokčejna, dok se na blokčejnu evidentiraju minimalni kriptografski podaci potrebni za proveru njihovog integriteta, porekla i statusa. Blokčejn u predloženom modelu predstavlja sloj poverenja i proverljivosti, a ne zamenu za institucionalne informacione sisteme i baze podataka. Potpuni sadržaj šablona, mikrokredencijala, prijava i dokaza ostaje u poslovnom sistemu, dok se njihov kriptografski otisak može povezati sa odgovarajućim blokčejn zapisom. Na taj način moguće je proveriti da li je sadržaj naknadno izmenjen, bez njegovog neposrednog objavljivanja na decentralizovanoj infrastrukturi. Ovakvo razdvajanje (Tabela 18) nadovezuje se na prethodno definisani logički model, u kojem blokčejn zapis ne zamenjuje izvorni poslovni objekat, već predstavlja dokaz njegove neizmenjenosti i porekla.

Van blokčejna (eng. *off-chain*) čuvaju se podaci potrebni za realizaciju poslovnih procesa i potpuno predstavljanje mikrokredencijala. Ovoj grupi pripadaju:

- podaci o identitetu nosioca i korisničkim nalogima;
- celokupan sadržaj šablona i izdatog mikrokredencijala;
- prijave, odluke i interne napomene;
- dokazi o učenju i povezani dokumenti;
- rezultati validacije i procene;
- komentari procenjivača i obrazloženja odluka;
- dokumenti i reference povezani sa obezbeđenjem kvaliteta;
- podešavanja vidljivosti i kontrole pristupa;
- tajne, privatni ključevi i drugi zaštićeni kriptografski materijal.

Ovi podaci mogu se čuvati u institucionalnim bazama podataka, repozitorijumima dokumenata, sistemima za upravljanje učenjem ili drugim kontrolisanim izvorima. Mesto njihovog čuvanja zavisi od vrste podatka, odgovornosti institucije, perioda zadržavanja i zahtevanog nivoa zaštite. Na blokčejnu (eng. *on-chain*) se evidentira ograničen skup podataka potreban za proveru, koji obuhvata:

- kriptografski otisak verzije šablona;
- kriptografski otisak izdatog mikrokredencijala;
- referencu na šablon ili njegovu verziju;
- identifikator ili adresu izdavaoca;
- status ili referencu potrebnu za proveru opoziva;
- vremensku oznaku evidentiranja;
- identifikator transakcije i druge tehničke podatke o potvrđenom zapisu.

Tabela 18 Upporedni prikaz namena slojeva hibridnog modela čuvanja podataka

Sloj čuvanja	Vrste podataka	Osnovna svrha
Poslovni sloj van blokčejna	podaci o ličnosti, potpuni sadržaj mikrokredencijala, prijave, dokazi, procene, odluke i dokumenti	realizacija poslovnih procesa i potpuno predstavljanje zapisa
Blokčejn sloj	kriptografski otisci, reference, identifikator izdavaoca, status opoziva i vremenske oznake	potvrđivanje integriteta, porekla i statusa
Prezentacioni sloj	podaci koje je nosilac izabrao za deljenje	kontrolisano prikazivanje podataka eksternom verifikatoru

Kriptografski otisak formira se na osnovu unapred određene reprezentacije sadržaja. Prilikom provere ponovo se izračunava otisak dostupnog zapisa i poredi sa vrednošću evidentiranom na blokčejnu. Podudaranje potvrđuje da sadržaj nije promenjen nakon sidrenja. Ukoliko se sadržaj objavljene verzije šablona ili izdatog mikrokredencijala mora promeniti, ne menja se postojeći potvrđeni blokčejn zapis, već se kreira nova verzija ili novi poslovni objekat i sprovodi novo sidrenje.

4.6.5.1 *Primena principa ugrađene privatnosti*

Predloženi hibridni model zasniva se na tome da zaštita privatnosti bude ugrađena u strukturu sistema i način upravljanja podacima, a ne uvedena kao naknadna tehnička mera. Princip ugrađene privatnosti primenjuje se kroz sedam pravila [279] zasnovanih na izboru podataka koji se prikupljaju, njihovo razdvajanje prema mestu čuvanja, ograničavanje pristupa i kontrolisano deljenje. Literatura razlikuje opšte principe zaštite privatnosti, normativne zahteve kojima se oni formalizuju i konkretne strategije njihove primene [280].

U predloženom modelu ovi principi se primenjuju kroz sledeća projektna opredeljenja:

- Proaktivna i preventivna zaštita privatnosti ostvaruje se identifikovanjem rizika pre izbora mesta i načina čuvanja podataka. Zbog nepromenljivosti i distribuirane dostupnosti blokčejn zapisa,

podaci o ličnosti, dokazi, detaljni rezultati procene i interne odluke ne upisuju se neposredno na blokčejn.

- Ugrađena privatnost znači da najviši nivo zaštite ne zavisi od dodatne aktivnosti nosioca. Podrazumevano se javno prikazuje samo minimalni skup podataka potreban za tumačenje i proveru mikrokredencijala, dok su identitet nosioca, ostvarena ocena, dokazi i drugi osetljivi elementi ograničeni ili selektivno dostupni. Ovakav pristup odgovara principima ograničenja svrhe, ograničenja prikupljanja i minimizacije podataka, prema kojima se obrađuju samo podaci neophodni za unapred određenu svrhu.
- Ugrađivanje privatnosti u strukturu modela ostvaruje se razdvajanjem poslovnog, blokčejn i prezentacionog sloja. Potpuni poslovni podaci čuvaju se u kontrolisanom institucionalnom okruženju, na blokčejnu se evidentiraju kriptografski otisci i minimalne reference, dok prezentacija sadrži samo podatke izabrane za konkretnu svrhu deljenja.
- Privatnost i funkcionalnost sistema nisu međusobno isključivi - zaštita podataka ne onemogućava proverljivost mikrokredencijala. Razdvajanjem izvornog sadržaja od kriptografskog dokaza moguće je potvrditi poreklo, integritet i trenutni status zapisa bez objavljivanja njegovog potpunog sadržaja (*Zero Knowledge Proof* - ZKP). Na taj način se izbegava izbor između privatnosti i poverenja, jer model istovremeno podržava zaštitu nosioca i potrebe izdavaoca i verifikatora. Ovakav pristup odgovara principu pune funkcionalnosti, prema kojem se privatnost ne posmatra kao ograničenje drugih legitimnih ciljeva sistema.
- Zaštita tokom celog životnog ciklusa podataka obuhvata prijavu, prikupljanje ili preuzimanje dokaza, validaciju, izdavanje, deljenje, verifikaciju, istek i opoziv mikrokredencijala. Pristup podacima menja se u zavisnosti od faze i svrhe obrade, dok se podaci ne čuvaju duže niti u širem obimu nego što je potrebno. Literatura [279] ovaj princip povezuje sa neprekidnom zaštitom, kontrolom pristupa, vođenjem evidencije i bezbednim upravljanjem podacima od njihovog nastanka do prestanka potrebe za njihovim čuvanjem.
- Vidljivost, transparentnost i odgovornost ostvaruju se jasnim definisanjem svrhe obrade, porekla podataka, uloga učesnika i evidencije izvršenih aktivnosti. Nosilac treba da bude informisan o podacima koji se prikupljaju, njihovoj nameni i načinu deljenja, dok revizijski zapisi omogućavaju utvrđivanje ko je, kada i u kom institucionalnom kontekstu pristupio podacima ili izvršio određenu promenu. Transparentnost se pritom ne odnosi na javno objavljivanje osetljivih podataka, već na mogućnost provere da sistem postupa u skladu sa definisanim pravilima.
- Usmerenost na nosioca mikrokredencijala ostvaruje se njegovom kontrolom nad načinom predstavljanja i deljenja izdatih mikrokredencijala. Nosilac može odrediti koje će mikrokredencijale i metapodatke uključiti u prezentaciju, dok eksterni verifikator pristupa samo odobrenom skupu podataka. Ova kontrola ne omogućava izmenu podataka koje je izdavalac potvrdio niti prikrivanje stvarnog statusa kredencijala, već određuje obim njihovog otkrivanja. Time se podržavaju izbor, kontrola i aktivna uloga korisnika u upravljanju sopstvenim podacima, koji se u literaturi prepoznaju kao osnovni elementi korisnički usmerenog pristupa privatnosti.

Pored navedenih principa, model primenjuje strategije minimizacije, razdvajanja, skrivanja, ograničenja pristupa, pseudonimizacije i omogućavanja kontrole korisnika. Sistematski pregled literature [278] ove strategije izdvaja kao najčešće načine operacionalizacije pristupa ugrađene privatnosti u digitalnim sistemima. Njihova konkretna tehnička realizacija kroz mehanizme kontrole pristupa, selektivnog otkrivanja, upravljanja identitetima i zaštite kriptografskog materijala razmatra se u okviru modela infrastrukture i arhitekture sistema.

4.6.5.2 *Konceptualni model prava pristupa*

Prava pristupa određuju se na osnovu uloge korisnika, institucionalnog konteksta, vlasništva nad podatkom, dodele odgovornosti i saglasnosti nosioca (Tabela 19). Predloženi model razlikuje nosioca, člana osoblja izdavaoca, administratora izdavaoca, administratora platforme i eksternog verifikatora.

Tabela 19 Prava pristupa platformskih uloga kategorijama podataka

Kategorija podataka	Nosilac	Osoblje izdavaoca	Administrator izdavaoca	Administrator platforme	Verifikator
Korisnički profil	sopstveni podaci	ograničeni podaci potrebni za obradu	prema institucionalnom ovlašćenju	sistemska i administrativni podaci	nema pristup
Šablon MK	pregled objavljenih verzija	dodeljeni šabloni	upravljanje šablonima organizacije	sistemska kontrola	javni elementi
Prijava	sopstvene prijave	dodeljene prijave	prijave organizacije	samo kada je neophodno za administraciju sistema	nema pristup
Dokazi	sopstveni dokazi	tokom ovlašćene obrade	prema odgovornosti organizacije	bez podrazumevanog pristupa sadržaju	samo podatak koji je selektivno podeljen
Validacija i procena	sopstveni rezultat u dozvoljenom obimu	podaci potrebni za postupak	prema ovlašćenju	ograničeno	samo potvrđeni rezultat kada je podeljen
MK	sopstveni MK	MK izdati kroz dodeljene postupke	MK organizacije	sistemska podaci bez podrazumevanog pristupa punom sadržaju	podaci uključeni u prezentaciju
Prezentacija	kreiranje i upravljanje	nema neposredno upravljanje	nema neposredno upravljanje	tehnička administracija	pristup na osnovu dobijene reference
Revizijski zapis	ograničeno	aktivnosti iz sopstvenog domena	aktivnosti organizacije	sistemska revizijski podaci	nema pristup

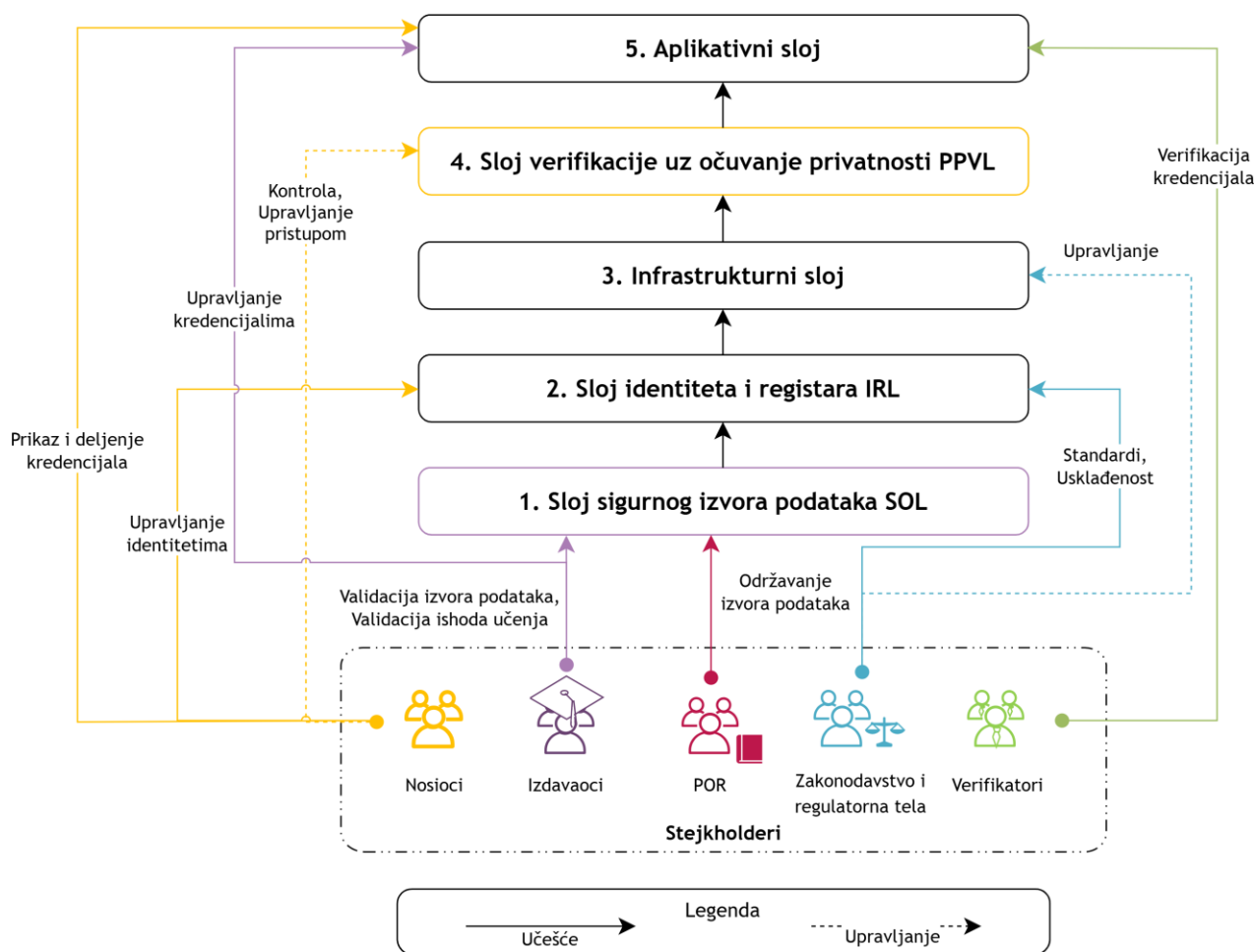
Administrator platforme upravlja organizacijama, korisničkim ulogama i sistemskim pravilima, ali njegova uloga ne podrazumeva automatski pristup potpunim podacima o nosiocima, dokazima i procenama. Takav pristup može biti omogućen samo kada je neophodan za rešavanje konkretnog sistemskog ili bezbednosnog problema i mora biti evidentiran u revizijskom tragu. Predložena matrica određuje konceptualna pravila pristupa. Konkretni mehanizmi njihove realizacije, uključujući politike pristupa na nivou redova baze podataka, autentifikaciju, upravljanje ključevima i autorizaciju servisa, razmatraju se u poglavljima posvećenim infrastrukturi, arhitekturi i implementaciji sistema.

Hibridni model na ovaj način omogućava da se prednosti blokčejn tehnologije koriste za potvrđivanje integriteta i porekla mikrokredencijala, bez neposrednog izlaganja njihovog potpunog sadržaja i podataka o ličnosti. Istovremeno se uspostavljaju jasne granice između poslovnog, blokčejn i prezentacionog sloja, čime se privatnost i kontrola pristupa ugrađuju u osnovnu strukturu predloženog sistema.

4.7 Modelovanje infrastrukture i arhitekture decentralizovanog sistema

U ovom potpoglavlju definisana je referentna struktura decentralizovanog sistema za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju. Predloženi sistem zasniva se na konceptualnoj petoslojnoj arhitekturi i hibridnoj infrastrukturi koja povezuje institucionalne izvore podataka, aplikativne servise, poslovno skladište podataka i decentralizovanu bazu podataka. Institucionalni sistemi ostaju primarni izvori podataka o korisnicima, obrazovnim aktivnostima, dokazima i rezultatima procene, dok blokčejn sloj omogućava evidentiranje kriptografskih potvrda, proveru integriteta i praćenje statusa izdatih mikrokredencijala. Infrastruktura treba da podrži celokupan tok upravljanja mikrokredencijalima: preuzimanje i validaciju obrazovnih podataka, upravljanje identitetima i izdavaocima, kreiranje i izdavanje mikrokredencijala, njihovo čuvanje i kontrolisano deljenje, proveru autentičnosti i integriteta, kao i opoziv i druge promene koje nastaju tokom životnog ciklusa. Posebna pažnja posvećena je povezivanju institucionalnog poverenja sa kriptografskom proverljivošću, uz primenu principa ugrađene bezbednosti i ugrađene privatnosti.

Na ilustraciji ispod (Ilustracija 20) prikazan je konceptualni model petoslojne arhitekture. Prikaz ne bi trebalo tumačiti samo kao tehnički dizajn sistema, već i kao model učešća stejkholdera, koji pokazuje na koji način različiti akteri doprinose korišćenju, održavanju i legitimnosti platforme.



Ilustracija 20 Konceptualni model petoslojne arhitekture sistema za upravljanje mikrokredencijalima

U osnovi arhitekture nalazi se sloj sigurnog izvora podataka (eng. *Secure Oracle Layer* - SOL) [266], koji obuhvata sisteme u kojima se generišu i čuvaju dokazi o učenju. Tu spadaju sistemi za upravljanje učenjem, kao što su *Moodle*, *Canvas* ili *Teams*, studentski informacijski sistemi, platforme za procenu i drugi repozitorijumi podataka povezanih sa kompetencijama. Ovi sistemi obezbeđuju obrazovne dokaze iz kojih se izvode potvrde, kao što su završetak kursa, rezultati procene, učešće u vannastavnim aktivnostima ili validirana iskustva neformalnog učenja. Međutim, budući da se institucionalni sistemi mogu razlikovati prema kvalitetu, potpunosti i internom upravljanju, ovaj sloj se ne tretira kao jednostavno okruženje za unos podataka. Umesto toga, on funkcioniše kao *secure-oracle* čija je svrha validacija izvornih podataka pre njihovog ulaska u proces izdavanja kredencijala. SOL sprovodi višestruku validaciju izvora, na primer unakrsnom proverom akademskih evidencija, rezultata procene i digitalno potpisanih institucionalnih potvrda. Na taj način se rešava bezbednosni jaz porekla podataka, jer se obezbeđuje da se samo provereni i međusobno usklađeni podaci transformišu u dokaze o kredencijalima.

Drugi sloj obuhvata identiteta i registre (eng. *Identity and Registry Layer* - IRL) [266], koji se direktno integriše sa uspostavljenim uslugama poverenja za decentralizovani identitet i upravljanje kredencijalima. Na ovom nivou platforma koristi decentralizovane identifikatore za predstavljanje ključnih aktera ekosistema, uključujući nosioce kredencijala i institucije kao pouzdane izdavaoce. Uloga ovog sloja jeste da obezbedi da svaki akter bude predstavljen globalno jedinstvenim i proverljivim identifikatorom, dok pouzdani registri čine osnovu za prepoznavanje legitimnih izdavalaca i odobrenih struktura kredencijala. Ovaj sloj podržava logiku samosuverenog identiteta (eng. *Self Sovereign Identity* - SSI), u kojoj nosioci zadržavaju kontrolu nad kredencijalima koje poseduju, dok institucije zadržavaju svoj autoritet priznatih izdavalaca.

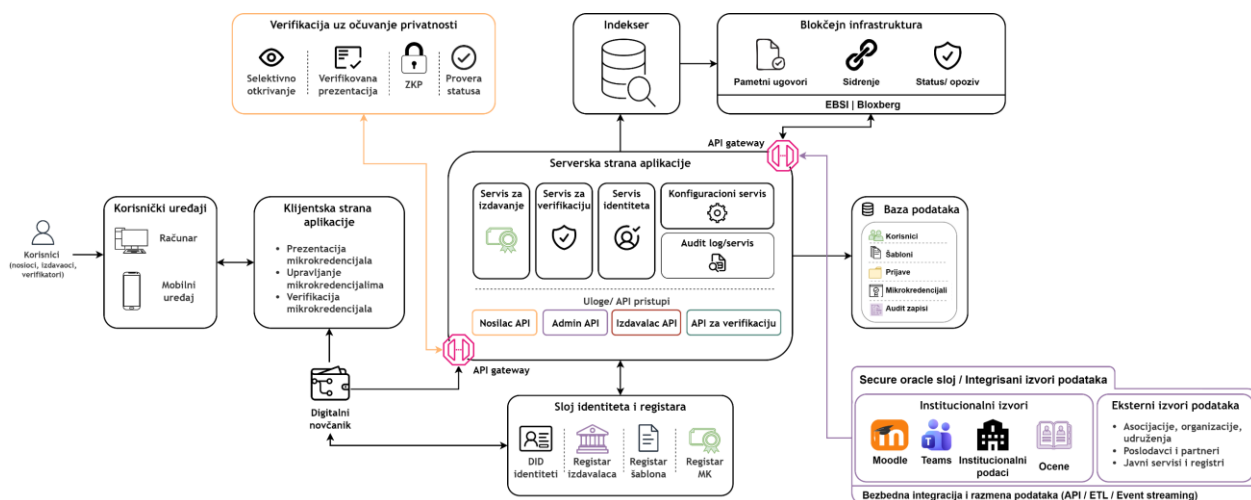
Treći sloj predstavlja je sloj infrastrukture koji se oslanja na postojeće blokčejn infrastrukture (EBSI i Bloksberg). Ovaj sloj obezbeđuje distribuirano okruženje čvorova u kome se mogu usidriti reference povezane sa kredencijalima, potvrde izdavalaca, informacije o statusu i dokazi integriteta. Njegova funkcija jeste da podrži autentičnost, sledljivost i otpornost sistema kroz pouzdanu infrastrukturu javnog sektora. Istovremeno, ovaj sloj podržava interoperabilnost između različitih institucionalnih i nacionalnih konteksta, što je posebno značajno u sistemima visokog obrazovanja koje sve više oblikuju celoživotno učenje, mikrokredencijali i mobilnost studenata.

Iznad ove osnove, arhitektura uvodi sloj verifikacije uz očuvanje privatnosti (eng. *Privacy-Preserving Verification Layer* – PPVL) [266], koji predstavlja glavno funkcionalno unapređenje postojećih rešenja. Standardni tokovi digitalnih kredencijala često se oslanjaju na digitalne potpise, ali i dalje zahtevaju prikazivanje celokupnih dokumenata ili prekomerne količine metapodataka. Nasuprot tome, scenariji verifikacije u visokom obrazovanju često zahtevaju selektivniji pristup koji u većoj meri uvažava privatnost. Poslodavci, partnerske institucije ili akreditaciona tela često treba da potvrde samo jednu konkretnu tvrdnju, na primer da li je student završio određeni kurs, poseduje važeći kredencijal ili ispunjava određeni prag, bez pristupa njegovom celokupnom transkriptu ili nepovezanim ličnim podacima. Kako bi se podržala ovakva potreba, predložena arhitektura uključuje mehanizme dokaza sa nulnim znanjem (eng. *Zero Knowledge Proof* - ZKP), koji omogućavaju selektivno otkrivanje podataka. Posredstvom ovog sloja, nosilac kredencijala može da dokaže validnost određene tvrdnje bez otkrivanja punog sadržaja kredencijala. Time se platforma značajno više usklađuje sa principima ugrađene privatnosti, budući da se verifikacija transformiše iz prikazivanja celokupnog dokumenta u dokazivanje pojedinačnih tvrdnji. Konceptualno, ovaj sloj predstavlja vezu između pouzdane infrastrukture kredencijala i stvarnih zahteva zaštite privatnosti u visokom obrazovanju.

Na vrhu modela nalazi se aplikativni sloj [266], koji obuhvata korisničke servise putem kojih se platforma praktično koristi. Za nosioce, ovaj sloj je prvenstveno predstavljen digitalnim novčanicima putem kojih primaju, čuvaju, upravljaju i prikazuju svoje mikrokredencijale. Za univerzitete, aplikativni sloj obuhvata interfejs za izdavanje i administrativne alate koji podržavaju kreiranje, izdavanje, ažuriranje i opoziv kredencijala. Za poslodavce i druge verifikatore, on obuhvata portale za verifikaciju ili aplikacione programske interfejsa putem kojih se dostavljene prezentacije mogu efikasno i pouzdano proveriti.

Posmatrano u celini, pet slojeva predložene platforme čine koherentnu arhitekturu za upravljanje mikrokredencijalima u visokom obrazovanju zasnovanu na konceptima ugrađene sigurnosti. Model obezbeđuje ulaznu stranu sistema putem validirane veze sa institucionalnim sistemima za učenje zasnovane na sigurnom oraklu, dok izlaznu stranu štiti verifikacijom uz očuvanje privatnosti. Između ove dve tačke oslanja se na decentralizovani identitet, pouzdane registre i interoperabilnu infrastrukturu, kako bi mikrokredencijali bili ne samo tehnički proverljivi, već i institucionalno smisleni i prenosivi između različitih konteksta. U tom smislu, predloženu arhitekturu ne bi trebalo razumeti samo kao tehničko rešenje za izdavanje digitalnih kredencijala, već kao strukturirani model poverenja namenjen sledećoj generaciji ekosistema kredencijala u visokom obrazovanju.

Predloženi model razvijen je kao modularna i infrastrukturno prenosiva arhitektura (Ilustracija 21). Njegovi osnovni slojevi i funkcije nisu vezani za jednu blokčejn mrežu, programski jezik ili konkretnu platformu. EBSI [236] se razmatra kao referentna evropska infrastruktura digitalnog poverenja zbog podrške decentralizovanim identifikatorima (DID), proverljivim kredencijalima (VC) i registrima pouzdanih izdavalaca (TIR). Eksperimentalna implementacija modela realizovana je na Bloksberg *Layer 1* [114] infrastrukturi i biće predstavljena u poglavlju 5 posvećenom implementaciji.



Ilustracija 21 Komponente arhitekture decentralizovanog sistema za upravljanje mikrokredencijalima

Komponente ovog sistema uključuju:

- Blokčejn platforma – na blokčejn platformi biće zabeležene informacije o stečenim/izdatim mikrokredencijalima polaznika. Izdavanje mikrokredencijala će biti izvršeno upotrebom pametnih ugovora, čije su potpisne strane polaznik i izdavalac.
- Centralizovana baza podataka – u okviru centralizovane baze podataka biće skladišteni podaci o institucijama, kursevima, programima, mikrokredencijalima, korisnicima
- Indeksar – rešenja za indeksiranje igraju vitalnu ulogu u ekosistemu decentralizovanih aplikacija tako što čine blokčejn podatke pristupačnijim i pretraživijim. Kako blokovi rastu u veličini i složenosti, preuzimanje specifičnih podataka direktno iz lanca može biti sporo i zahteva puno resursa. Indeksar rešava ovaj izazov stvaranjem strukturiranih, indeksiranih baza podataka koje omogućavaju brže i efikasnije pronalaženje podataka. Mnoga rešenja za indeksiranje nude sinhronizaciju podataka u realnom vremenu, obezbeđujući da se decentralizovana aplikacija odmah obaveštava kada se dogode relevantni događaji.
- Serverska strana aplikacije – sastoji se od svih aplikativnih programskih interfejsa (eng. *Application Programming Interface* – API) za različite uloge nad sistemom, kao i servisa kao što su konfiguracioni servisi, servisi identiteta, servisi za verifikaciju, servisi za izdavanja i servisa revizije.
- Klijentska strana aplikacije – grafički korisnički interfejs koji omogućava različitim korisnicima interakciju sa sistemom.
- Sloj identiteta i registara – omogućava pouzdanu identifikaciju nosilaca, izdavalaca i drugih učesnika, kao i proveru njihovih ovlašćenja. Obuhvata decentralizovane identifikatore i registre pouzdanih izdavalaca, šablona i drugih referentnih elemenata sistema.
- *Secure oracle* sloj – povezuje platformu sa institucionalnim i eksternim izvorima podataka, kao što su *Moodle*, *Microsoft Teams*, studentski informacioni sistemi i repozitorijumi dokaza. Njegova uloga je da proveri poreklo, integritet i relevantnost podataka pre njihovog korišćenja u procesu izdavanja mikrokredencijala.
- Verifikacija uz očuvanje privatnosti – omogućava proveru autentičnosti, integriteta i statusa mikrokredencijala bez otkrivanja nepotrebnih podataka o nosiocu. Ovaj deo podržava selektivno otkrivanje, proverljive prezentacije i, kada je potrebno, primenu dokaza sa nultim znanjem.

4.8 Modeliranje metrika za ocenu performansi razvijenog sistema

Ocena performansi razvijenog sistema zasniva se na skupu metrika kojima se prati njegova upotrebna i tehnička vrednost. Izbor metrika oslanja se na standardne modele evaluacije kvaliteta informacionih i softverskih sistema, posebno ISO/IEC 25010, koji definiše karakteristike kvaliteta sistema i softverskih proizvoda, ISO/IEC 25023, koji definiše mere za njihovu kvantitativnu evaluaciju, i ISO/IEC 25022, koji se odnosi na kvalitet sistema u upotrebi [301]–[303]. U kontekstu blokčejn sistema, tehnička

evaluacija se dodatno zasniva na metrikama kao što su vreme odziva i latencija transakcija, propusnost, uspešnost izvršenja, skalabilnost i potrošnja resursa, koje se primenjuju u postojećim okvirima za poređenje blokčejn infrastruktura [304], kao i u istraživanjima blokčejn sistema za obrazovne kredencijale [284].

U skladu sa tim, metrike su grupisane na metrike poslovnih procesa, koje pokazuju u kojoj meri sistem unapređuje aktivnosti različitih stejkholdera, i tehnološke metrike, kojima se ocenjuju performanse, pouzdanost, dostupnost, bezbednost i troškovi funkcionisanja platforme. Njihova primena omogućava poređenje procesa pre i nakon uvođenja sistema, identifikovanje ograničenja i donošenje odluka o njegovom daljem unapređenju i širenju.

Metrike poslovnih procesa (Tabela 20) treba da pokažu da li platforma pojednostavljuje i unapređuje upravljanje mikrokredencijalima i drugim proverljivim kredencijalima.

Tabela 20 Metrike poslovnih procesa

Oblast	Metrika	Način merenja
Efikasnost izdavanja	Prosečno vreme od ispunjenja uslova do izdavanja kredencijala	Vreme između evidentiranja završetka i izdavanja
Efikasnost postupka	Broj koraka potrebnih za registraciju programa i izdavanje kredencijala	Analiza procesa pre i nakon primene sistema
Administrativno opterećenje	Prosečno vreme rada administrativnog i nastavnog osoblja po programu ili kredencijalu	Evidencija trajanja izvršenih aktivnosti
Uspešnost procesa	Udeo uspešno izdatih kredencijala bez naknadnih ispravki	Broj ispravnih izdanja u odnosu na ukupan broj
Kvalitet podataka	Broj nepotpunih, neusaglašenih ili pogrešno unetih zapisa	Evidencija grešaka i zahteva za korekciju
Upotreba sistema	Broj registrovanih programa, izdatih kredencijala i aktivnih korisnika	Sistemska evidencija
Verifikacija	Broj i uspešnost izvršenih provera kredencijala	Evidencija zahteva i rezultata verifikacije
Prihvatanje korisnika	Zadovoljstvo i percipirana korisnost po grupama stejkholdera	Upitnici i intervjui
Kontrola nosioca	Udeo uspešno izvršenih radnji čuvanja, prihvatanja, skrivanja i deljenja kredencijala	Evidencija korisničkih radnji
Interoperabilnost procesa	Udeo programa kod kojih su podaci uspešno preuzeti iz povezanih institucionalnih izvora	Broj uspešnih integracija u odnosu na ukupan broj pokušaja

Upotrebna vrednost ne treba da bude posmatrana jedinstveno, već iz perspektive ključnih stejkholdera:

- Nosioc: jednostavno preuzimanje, kontrola i selektivno deljenje kredencijala
- Izdavalac: brže izdavanje, pouzdanija evidencija i manje administrativnih grešaka, centralizovan pregled programa uz proverljive i decentralizovano kontrolisane kredencijale
- Pružalac obrazovnog programa: standardizovana registracija programa, ishoda i kriterijuma
- Verifikatori: brza i pouzdana provera autentičnosti i statusa kredencijala
- Regulatorna tela: transparentnija evidencija i pouzdaniji podaci za praćenje kvaliteta

Sa druge strane, tehnološke metrike (Tabela 21) odnose se na performanse infrastrukture i pouzdanost ključnih sistemskih funkcija. Njihov izbor prati standardne dimenzije kvaliteta softverskih sistema, kao što su efikasnost performansi, pouzdanost i bezbednost [303], dok su vreme izvršenja, uspešnost transakcija, skalabilnost i troškovi dodatno prilagođeni specifičnostima blokčejn infrastrukture [284], [304].

Tabela 21 Tehnološke metrike

Oblast	Metrika	Način merenja
Performanse	Vreme odziva ključnih funkcija platforme	Prosečno i maksimalno vreme odziva
Izdavanje	Trajanje kreiranja i evidentiranja kredencijala	Vreme izvršenja transakcije
Verifikacija	Vreme potrebno za proveru kredencijala	Vreme od zahteva do rezultata
Pouzdanost	Udeo uspešno izvršenih transakcija	Uspešne transakcije u odnosu na ukupan broj
Dostupnost	Dostupnost platforme u posmatranom periodu	Procenat vremena rada sistema

Oblast	Metrika	Način merenja
Skalabilnost	Promena vremena odziva sa rastom broja korisnika i kredencijala	Testiranje pri različitim opterećenjima
Troškovi	Trošak izdavanja, čuvanja i verifikacije kredencijala	Trošak infrastrukture i blokčejn transakcija
Integritet	Broj otkrivenih neslaganja između kredencijala i evidentiranog blokčejn zapisa	Kontrolne provere
Bezbednost	Broj neuspešnih pokušaja neovlašćenog pristupa ili izmene	Bezbednosni dnevnici
Privatnost	Udeo uspešnih selektivnih prikaza podataka bez otkrivanja nepotrebnih atributa	Funkcionalno i bezbednosno testiranje
Opoziv	Vreme potrebno da promena statusa kredencijala postane proverljiva	Vreme od opoziva do ažurirane provere

Predložene metrike omogućavaju višedimenzionalnu ocenu sistema, pri čemu se njegova uspešnost ne određuje samo tehničkim performansama, već i doprinosom efikasnosti poslovnih procesa i vrednošću koju ostvaruju različite grupe stejkholdera. Konačan skup metrika može biti prilagođen fazi primene sistema, tako da se tokom pilotiranja prvenstveno prate upotrebljivost, vreme izdavanja, pouzdanost i zadovoljstvo korisnika, dok se u kasnijim fazama uključuju skalabilnost, troškovi i interoperabilnost na institucionalnom nivou.

4.9 Metodološki postupak primene i evaluacije razvijenog sistema

Kako bi se prešlo sa konceptualne arhitekture definisane u poglavlju 4.7 na praktično usvajanje, predloženu petoslojnu arhitekturu potrebno je implementirati kroz faznu mapu puta (eng. *roadmap*) koja započinje razvojem minimalno održivog proizvoda (eng. *Minimum Viable Product* – MVP), nastavlja se kontrolisanom institucionalnom evaluacijom, a zatim se postepeno proširuje ka široj organizacionoj i međuinstitucionalnoj integraciji [266]. Predloženi postupak ne odnosi se na tehničku realizaciju sistema, već definiše faze kroz koje se proveravaju njegova funkcionalna primerenost, prihvatljivost za različite korisničke grupe i mogućnost integracije u postojeće institucionalne procese.

Mapa puta obuhvata četiri međusobno povezane faze:

1. Priprema evaluacije - u ovoj fazi definišu se predmet evaluacije, korisničke grupe, scenariji korišćenja, instrumenti i pokazatelji uspešnosti. Predmet evaluacije čine ključni procesi upravljanja mikrokredencijalima, uključujući podnošenje i obradu zahteva, izdavanje, prihvatanje, pregled, deljenje i verifikaciju mikrokredencijala. U evaluaciju se uključuju studenti kao nosioci, nastavno i administrativno osoblje kao izdavaoci i odabrani eksterni akteri kao verifikatori.
2. Kontrolisana evaluacija - ova faza podrazumeva kontrolisanu evaluaciju sistema u okviru ograničenog institucionalnog okruženja. Korisnici izvršavaju unapred definisane scenarije, nakon čega se prikupljaju kvantitativni i kvalitativni podaci. Kvantitativna evaluacija biće sprovedena korišćenjem USE upitnika, kojim se procenjuju korisnost, jednostavnost korišćenja, jednostavnost učenja i zadovoljstvo korisnika. Kvalitativni deo obuhvata otvorene komentare, evidentirane poteškoće i predloge za unapređenje procesa i korisničkog interfejsa. Analiza rezultata sprovodi se odvojeno prema korisničkim ulogama, imajući u vidu da nosioci, izdavaoci i verifikatori imaju različite ciljeve i očekivanja.
3. Institucionalna primena - treća faza obuhvata unapređenje sistema na osnovu rezultata prve evaluacije i njegovu primenu u širem institucionalnom okruženju. U ovoj fazi proširuje se broj korisnika i obrazovnih aktivnosti, uvode se dodatni izdavaoci i proverava usklađenost predloženih procesa sa postojećim institucionalnim procedurama. Primena može uključiti i povezivanje sa institucionalnim izvorima podataka radi automatizovanog pribavljanja i validacije dokaza o učenju. Šira institucionalna primena treba da bude praćena obukom korisnika i ponovljenom evaluacijom na većem uzorku. Cilj druge evaluacije jeste da se proverí da li su rezultati početne faze održivi u realističnijim organizacionim uslovima i da li sistem podržava veći broj korisnika, programa i različitih načina sticanja mikrokredencijala.

4. Proširenje ekosistema - završna faza odnosi se na institucionalizaciju sistema i njegovo proširenje prema drugim visokoškolskim ustanovama, obrazovnim organizacijama, poslodavcima i nadležnim telima. U ovoj fazi razmatraju se interoperabilnost, međuinstitucionalno priznavanje, usklađivanje procedura i definisanje odgovornosti za izdavanje, kontrolu kvaliteta i održavanje statusa mikrokredencijala.

Svaka faza predstavlja osnovu za narednu i omogućava postepeno povećavanje broja korisnika, procesa i povezanih sistema. Svrha ove mape puta nije samo ispitivanje tehničke izvodljivosti, već i proveru da li predloženi model, sa ugrađenom bezbednošću, može da funkcioniše u realnom okruženju visokog obrazovanja, oblikovanom institucionalnim tokovima rada, očekivanjima korisnika i regulatornim ograničenjima.

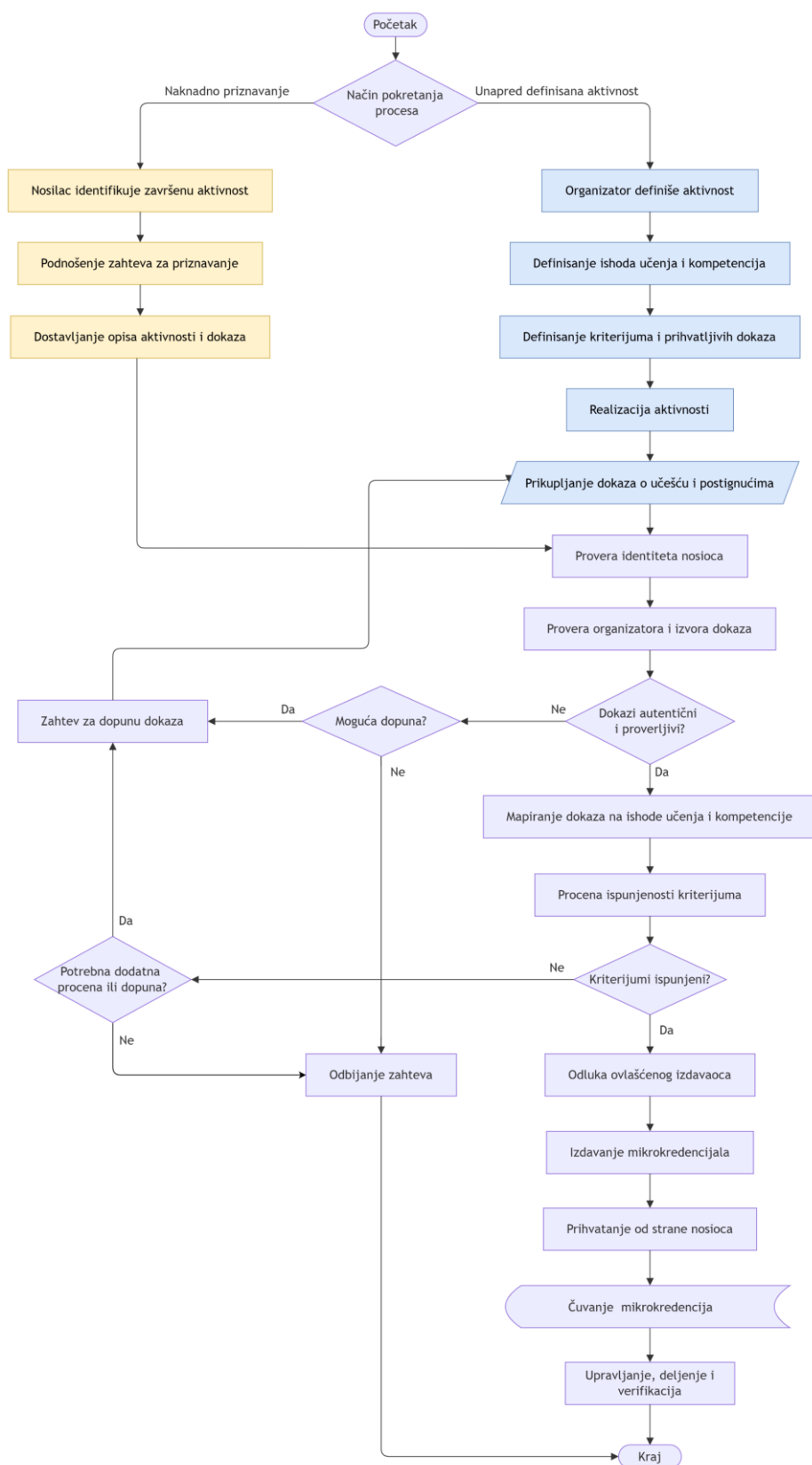
Predloženi metodološki postupak istovremeno predstavlja okvir za naknadnu evaluaciju implementiranog sistema. Razvoj i implementacija platforme za upravljanje mikrokredencijalima definisana je u narednom poglavlju, a njena evaluacija biće sprovedena prema ovde definisanim fazama, korisničkim grupama, scenarijima i pokazateljima. Na taj način se obezbeđuje kontinuitet između razvoja modela, njegove implementacije i empirijske provere.

Primena postupka zavisi i od konteksta u kojem se mikrokredencijal stiče. Formalno i neformalno učenje razlikuju se prema izvorima dokaza, načinu pokretanja procesa, stepenu automatizacije i postupku validacije. U narednim potpoglavljima su posebno definisani postupci primene sistema u formalnom i neformalnom učenju.

4.9.1 Primena sistema u neformalnom obrazovanju

Primena sistema u neformalnom obrazovanju odnosi se na priznavanje znanja, veština i kompetencija stečenih izvan redovnih nastavnih aktivnosti i formalno akreditovanih programa. Ovaj oblik primene obuhvata aktivnosti kao što su letnje škole, *bootcamp* programi, hakatoni, stručne prakse, volontiranje, radionice, studentski projekti, takmičenja i angažovanje u studentskim organizacijama. Za razliku od formalnog obrazovanja, u kojem se ostvareni ishodi najčešće potvrđuju evidencijom položenog ispita, u neformalnom obrazovanju potrebno je utvrditi vezu između aktivnosti, ostvarenih ishoda učenja i dostupnih dokaza.

Predloženi metodološki postupak treba da bude dovoljno fleksibilan da podrži različite oblike neformalnog učenja, ali i dovoljno strukturiran da obezbedi pouzdanost i uporedivost izdatih mikrokredencijala. Zbog toga se proces ne zasniva samo na potvrđi učešća, već na proveru ostvarenih rezultata i demonstriranih kompetencija. Mikrokredencijal se izdaje kada je moguće utvrditi da je nosilac ispunio unapred definisane kriterijume ili dostavio dovoljno pouzdane dokaze na osnovu kojih se ti kriterijumi mogu naknadno proceniti. Primena sistema može se realizovati kroz dva osnovna modela (Ilustracija 22). Prvi model odnosi se na unapred definisano izdavanje mikrokredencijala za organizovane i strukturirane aktivnosti. U ovom slučaju organizator, visokoškolska ustanova ili drugo ovlašćeno telo unapred definiše naziv mikrokredencijala, ishode učenja, kompetencije, kriterijume sticanja, način procene i prihvatljive dokaze. Ovaj model pogodan je za letnje škole, *bootcamp* programe, hakatone, stručne radionice i druge aktivnosti sa jasno definisanim programom, trajanjem i očekivanim rezultatima. Drugi model odnosi se na naknadno priznavanje kompetencija stečenih kroz aktivnosti koje prethodno nisu bile povezane sa sistemom. Nosilac u tom slučaju podnosi zahtev za priznavanje aktivnosti i dostavlja odgovarajuće dokaze. Ovaj model može se primeniti na stručne prakse, volontiranje, učešće u projektima, angažovanje u studentskoj organizaciji ili druge oblike neformalnog i iskustvenog učenja. Ovlašćeni izdavalac zatim procenjuje relevantnost aktivnosti, pouzdanost izvora i usklađenost dokaza sa kriterijumima predviđenim za određeni mikrokredencijal.



Ilustracija 22 Dijagram procesa metodološkog postupka izdavanja mikrokredencijala u neformalnom obrazovanju

Poseban oblik neformalnog učenja predstavlja angažovanje u studentskim organizacijama. Ove aktivnosti često traju duže, obuhvataju različite uloge i stvaraju kompetencije kroz kontinuirani doprinos, timski rad, organizaciju događaja, upravljanje projektima, komunikaciju sa partnerima, finansijsko planiranje i rukovođenje drugim članovima. Zbog toga se njihovo priznavanje ne može zasnivati samo na formalnom članstvu u organizaciji. Preporučuje se da visokoškolska ustanova uspostavi postupak u kojem studentska

organizacija ili njen ovlašćeni mentor potvrđuje ulogu studenta, period angažovanja, realizovane zadatke i ostvarene rezultate. Studentska organizacija u tom slučaju predstavlja izvor dokaza, dok konačnu procenu i odluku o izdavanju donosi ovlašćeni institucionalni izdavalac. Time se priznaje značaj studentskog angažovanja, a istovremeno čuva institucionalna odgovornost za kvalitet izdatog mikrokredencijala.

Uvođenje ovakvog postupka omogućava da se značajan deo vannastavnog angažovanja studenata učini vidljivim i proverljivim. Istovremeno, potrebno je izbeći prekomerno izdavanje mikrokredencijala za aktivnosti bez jasnih ishoda ili odgovarajuće procene. Zbog toga primena sistema u neformalnom obrazovanju treba da se zasniva na principima proverljivosti, transparentnih kriterijuma, pouzdanih dokaza i odgovornosti ovlašćenog izdavaoca. Na taj način mikrokredencijali mogu povezati neformalno učenje sa formalnim obrazovnim i profesionalnim okruženjem, bez potrebe da se svaka aktivnost pretvara u formalni predmet ili deo studijskog programa. Njihova funkcija je da dokumentuju i potvrde kompetencije koje bi u postojećim institucionalnim evidencijama često ostale nevidljive.

4.9.2 Primena sistema u formalnom obrazovanju

Primena razvijenog sistema u formalnom visokoškolskom obrazovanju treba da se zasniva na postepenom uvođenju, jasnom institucionalnom upravljanju i razlikovanju različitih vrsta digitalnih potvrda. Posebno je važno razdvojiti mikrokredencijale u smislu važećih propisa Republike Srbije od drugih proverljivih digitalnih zapisa o obrazovnim postignućima.

Prema Zakonu o visokom obrazovanju [2] i Pravilniku o uslovima, načinu sprovođenja i verifikaciji kratkih programa studija i mikrokredencijala [3], mikrokredencijal predstavlja poseban mali program studija koji ima jasno definisanu strukturu, svrhu, ishode učenja, kurikulum, način provere znanja i vezu sa potrebama tržišta rada. Takav program organizuje se nezavisno od redovne nastave na akademskim i strukovnim studijama i može se realizovati tek nakon verifikacije od strane Nacionalnog tela za akreditaciju i obezbeđenje kvaliteta u visokom obrazovanju. Zbog toga se platforma ne može koristiti za automatsko izdavanje mikrokredencijala za svaki položen ispit ili drugu pojedinačnu aktivnost. U okviru sistema potrebno je razlikovati tri osnovne kategorije:

- verifikovane mikrokredencijale, koji se izdaju za programe usvojene na nivou visokoškolske ustanove i verifikovane od strane NAT-a;
- proverljive digitalne potvrde za vannastavne programe, kao što su letnje škole, *bootcamp* obuke, hakatoni i drugi programi celoživotnog učenja koji imaju definisane ishode i način provere, ali nemaju status mikrokredencijala prema nacionalnim propisima;
- proverljive digitalne zapise o formalnim postignućima, kojima se mogu potvrditi položeni ispiti, ostvareni ishodi učenja, projekti, stručna praksa ili drugi elementi akreditovanog studijskog programa.

Na taj način bi proverljivi kredencijali (eng. *Verifiable Credentials* – VC) predstavljali širi tehnički format za izdavanje i proveru različitih obrazovnih zapisa, dok bi oznaka mikrokredencijala bila rezervisana isključivo za programe koji ispunjavaju propisane institucionalne i regulatorne uslove.

Proces izdavanja započinje utvrđivanjem osnova za izdavanje kredencijala (Ilustracija 23). Kada je reč o postignuću ostvarenom u okviru akreditovanog studijskog programa, podatak se preuzima iz zvanične studentske evidencije, nakon čega se proveravaju identitet studenta i ostvareni rezultat. Na toj osnovi može se izdati proverljiva digitalna potvrda, ali ne i mikrokredencijal. Kod vannastavnih obrazovnih programa najpre se priprema predlog programa, koji treba da sadrži cilj, ishode učenja, sadržaj, trajanje, način realizacije, kriterijume završetka i način provere stečenih znanja i kompetencija. Predlog zatim prolazi postupak odlučivanja na nivou nadležne katedre ili organizacione jedinice i Nastavno-naučnog veća.

Ukoliko program nije verifikovan kao mikrokredencijal, nakon njegove realizacije i potvrđivanja ostvarenih kriterijuma izdaje se VC o uspešno završenom vannastavnom programu. Ukoliko je program

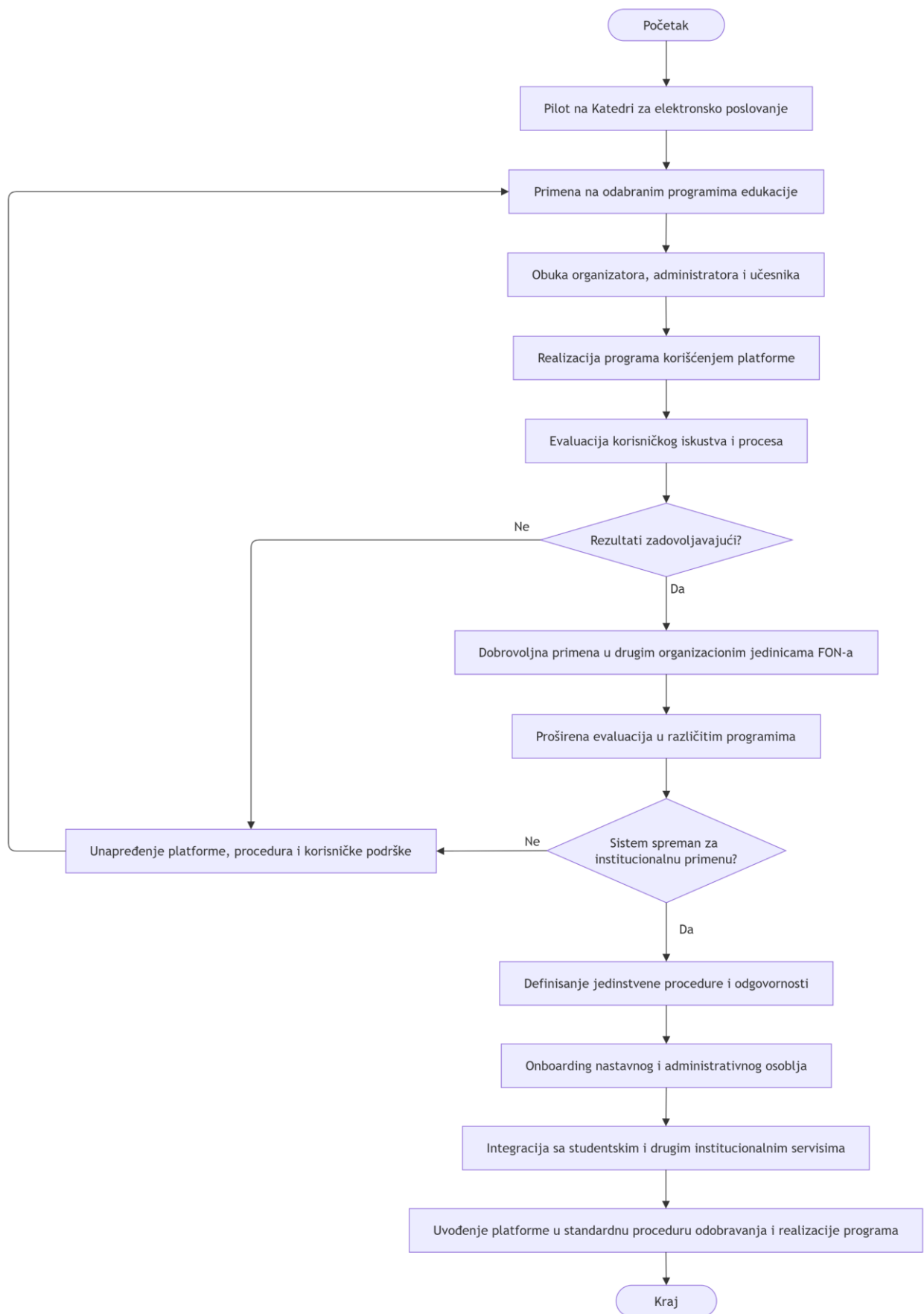
prethodno verifikovan od strane NAT-a, registruje se kao zvanični mikrokredencijal i po završetku se izdaje odgovarajući sertifikat.



Ilustracija 23 Dijagram procesa metodološkog postupka izdavanja mikrokredencijala u formalnom obrazovanju

Platforma u ovom procesu ne određuje pravni status programa, već sprovodi odluke nadležnih institucionalnih i regulatornih organa. Ona omogućava standardizovano evidentiranje programa, upravljanje ulogama izdavalaca, povezivanje dokaza sa ishodima, izdavanje kredencijala i proveru njihovog statusa.

Od procesa izdavanja kredencijala treba odvojiti *roadmap* (Ilustracija 24) uvođenja platforme u praksu Fakulteta organizacionih nauka (FON). U skladu sa prethodno definisanim metodološkim postupkom, primena bi počela pilotiranjem na nivou Katedre za elektronsko poslovanje, kroz vannastavne aktivnosti koje Katedra već organizuje, kao što su letnje škole, *bootcamp* obuke i hakatoni.



Ilustracija 24 *Roadmap* uvođenja platforme u standardnu praksu FONa

Početna faza omogućila bi proveru sistema na ograničenom broju programa, organizatora i polaznika. U ovoj fazi potrebno je obučiti organizatore, administratore i korisnike, sprovesti programe korišćenjem

platforme i evaluirati razumljivost postupka, korisničko iskustvo, jasnoću odgovornosti i usklađenost platforme sa postojećim procedurama. Na osnovu rezultata prve evaluacije unapređuju se platforma, proceduralna pravila i korisnička podrška. Kada početni rezultati budu zadovoljavajući, sistem se može ponuditi drugim katedrama, centrima i organizacionim jedinicama FON-a na dobrovoljnoj osnovi. Proširena primena omogućava proveru modela na različitim vrstama programa i utvrđivanje zajedničkih zahteva. Nakon probnog perioda potrebno je definisati jedinstvenu institucionalnu proceduru koja obuhvata:

- nadležnosti organizacionih i stručnih organa;
- postupak registracije programa;
- obavezne podatke o programu, ishodima i proceni;
- kriterijume za izbor vrste kredencijala;
- odgovornost za odobravanje izdavanja;
- način vođenja evidencije i kontrole kvaliteta;
- upravljanje pristupom i zaštitu podataka.

Pre prelaska na redovnu primenu potrebno je sprovesti proces obuke nastavnog i administrativnog osoblja i upoznati studente sa načinom preuzimanja, čuvanja i deljenja kredencijala. Sistem zatim može biti povezan sa postojećim studentskim, nastavnim i karijernim servisima i uveden kao deo standardne procedure odobravanja i realizacije vannastavnih obrazovnih programa.

4.10 Poslovni model i održivost sistema

Poslovni model sistema se zasniva na stvaranju institucionalne vrednosti i pružanju pratećih infrastrukturnih, obrazovnih i stručnih usluga. Polazeći od principa ugrađene bezbednosti, nosilac kredencijala zadržava kontrolu nad svojim podacima i odlučuje kome će, u kom obimu i u koju svrhu omogućiti pristup kredencijalu. Stoga, sistem nije koncipiran kao klasična komercijalna platforma čija se održivost zasniva na prodaji podataka, naplati pristupa kredencijalima ili posredovanju između nosilaca i poslodavaca.

Osnovna funkcija sistema jeste da visokoškolskim ustanovama obezbedi pouzdanu infrastrukturu za razvoj, izdavanje, čuvanje i proveru mikrokredencijala i drugih proverljivih obrazovnih potvrda. Sistem istovremeno podržava razvoj programa celoživotnog učenja, saradnju sa privredom, standardizaciju obrazovnih zapisa i veću prenosivost stečenih znanja, veština i kompetencija. U idealnom scenariju, sistem bi se razvijao kao univerzitetska ili nacionalna infrastruktura, finansirana kroz javna sredstva, institucionalne budžete i nacionalne i evropske projekte usmerene na digitalizaciju obrazovanja i razvoj celoživotnog učenja. Međutim, njegova dugoročna održivost može biti dodatno podržana kroz ograničene komercijalne i partnerske aktivnosti koje ne narušavaju vlasništvo korisnika nad podacima.

Predloženi model može se odrediti kao hibridni javno-institucionalni i partnerski model. Njega čine dva međusobno povezana sloja:

1. osnovni javni i institucionalni sloj, kojim se finansiraju razvoj i održavanje zajedničke infrastrukture;
2. uslužni i partnerski sloj, kroz koji se pružaju prilagođene usluge drugim institucijama, kompanijama, komorama i javnim organizacijama.

Osnovni sistem treba da ostane usmeren na obrazovne i javne interese, dok se dodatni prihodi mogu ostvarivati kroz različite mehanizme poput: implementacije, razvoja programa, obuke, integracije i tehničku podršku.

Tabela 22 Mehanizmi finansiranja i stvaranja prihoda

Mehanizam	Partneri ili finansijeri	Predmet finansiranja	Karakter modela
Javno i projektno finansiranje	Ministarstva, univerziteti, nacionalni i evropski fondovi	Razvoj infrastrukture, standardizacija, pilotiranje i širenje sistema	B2G / javna infrastruktura
Institucionalna implementacija	VŠU, univerziteti, komore i javne ustanove	Prilagođavanje platforme, konfiguracija uloga, obuka, integracija i održavanje	B2B / B2G
Partnerski obrazovni programi	Kompanije, javne institucije i profesionalna tela	Razvoj i realizacija programa za zaposlene, studente ili druge ciljne grupe	B2B2C / B2G2C
Razvoj mikrokredencijala	VŠU, kompanije, komore i stručna udruženja	Analiza potreba, ishodi, kurikulum, procena i dokumentacija za verifikaciju	Stručna usluga
White-label implementacija	Druge obrazovne i profesionalne institucije	Institucionalna verzija platforme sa sopstvenim identitetom i procedurama	B2B / B2G
Digitalizacija postojećih potvrda	Obrazovne ustanove, komore i sertifikaciona tela	Prevođenje postojećih sertifikata u VC format i uspostavljanje registra	B2B / B2G
Obuka i podrška	Ustanove koje uvode sistem	Onboarding izdavalaca, administratora i drugih korisnika	Prateća usluga

Navedeni mehanizmi (Tabela 22) ne podrazumevaju komercijalizaciju podataka nosilaca. Predmet naplate su infrastruktura, razvoj programa, institucionalna implementacija, integracija, obuka i podrška. Nosilac kredencijala zadržava kontrolu nad njegovim čuvanjem i deljenjem.

Na osnovu prethodno identifikovanih mehanizama finansiranja i stvaranja prihoda, poslovna logika razvijenog sistema može se objediniti primenom *Business Model Canvas* - BMC okvira [305] (Ilustracija 25). Ovaj prikaz omogućava da se na jednom mestu sistematizuju ključni partneri, aktivnosti, resursi, korisnički segmenti, vrednosna ponuda, struktura troškova i mogući tokovi finansiranja. Pri tome, BMC ne predstavlja klasičan tržišni model usmeren na maksimizaciju profita, već okvir za sagledavanje načina na koji sistem stvara vrednost za učesnike i obezbeđuje dugoročnu institucionalnu i finansijsku održivost.

Ključni partneri Visokoškolske ustanove, univerziteti, ministarstva, NAT, kompanije, komore, profesionalna i sertifikaciona tela, javne institucije, projektni konzorcijumi	Ključne aktivnosti Razvoj i održavanje platforme, upravljanje VC i mikrokredencijalima, razvoj programa, institucionalna implementacija, obuka, integracija i podrška	Vrednosna ponuda Pouzdanost i privatno upravljanje obrazovnim kredencijalima, interoperabilnost, kontrola nosioca nad podacima, podrška celoživotnom učenju i saradnji sa privredom	Odnosi sa korisnicima i partnerima Institucionalna saradnja, dugoročna podrška, zajednički razvoj programa, obuka i dokumentovane procedure	Korisnički i partnerski segmenti Studenti i polaznici, VŠU, nastavno i administrativno osoblje, kompanije, javne institucije, komore i profesionalna tela
	Ključni resursi Softverska infrastruktura, DID/VC i blokčejn komponente, institucionalni registri, stručni kadar, regulatorna i obrazovna ekspertiza		Kanali Fakulteti, univerziteti, studentski i obrazovni servisi, centri za celoživotno učenje, kompanije, komore i javne institucije	
Struktura troškova Razvoj, hosting, održavanje, bezbednost, integracije, korisnička podrška, obuka, regulatorno usklađivanje, kontrola kvaliteta			Tokovi finansiranja i prihoda Javni i evropski projekti, institucionalni budžeti, partnerski programi, white-label implementacije, razvoj programa, integracije, obuke i održavanje	

Ilustracija 25 BMC šablon poslovne logike sistema [305]

Iako je poslovni model sistema primarno predstavljen kroz klasični BMC, njegova decentralizovana komponenta zahteva dodatno razmatranje mehanizama poverenja, validacije i upravljanja mrežom.

Decentralizovani BMC [306] proširuje tradicionalni okvir elementima kao što su uspostavljanje poverenja, podsticaji validatorima, mrežno upravljanje i kanali interakcije. U kontekstu razvijenog sistema, ove elemente nije potrebno preuzeti u izvornom obliku, jer platforma ne podrazumeva potpuno decentralizovano upravljanje niti finansijske podsticaje validatorima. Umesto toga, postojeći BMC može se dopuniti opisom načina na koji se poverenje ostvaruje primenom DID i VC standarda, institucionalnih registara, kvalifikovanih elektronskih potpisa, mehanizama opoziva i blokčejn zapisa, dok se upravljanje zasniva na jasno podeljenim nadležnostima visokoškolskih ustanova, regulatornih tela, izdavalaca, nosilaca i verifikatora. Posebnu komponentu predstavlja kontrola nosioca nad podacima i deljenjem kredencijala, čime se decentralizacija u ovom modelu pre svega ostvaruje kroz raspodelu kontrole, proverljivost i smanjenje zavisnosti od jednog centralnog posrednika, a ne kroz potpunu decentralizaciju institucionalnog odlučivanja.

5 Implementacija modela

5.1 Projektovanje softverskog sistema

U ovom poglavlju detaljno je opisan proces projektovanja, modelovanja i implementacije softverskog rešenja veb platforme namenjene izdavanju, upravljanju i verifikaciji mikrokredencijala i digitalnih sertifikata pod nazivom CredSeal. Predloženo rešenje projektovano je kao hibridni veb sistem koji povezuje centralizovane servise računarstva u oblaku (eng. *cloud*) sa decentralizovanom Bloksberg blokčejn infrastrukturom.

Kroz poglavlje će biti prikazana konceptualna analiza sistema, modelovanje kroz nivoe C4 modela, struktura relacionog modela podataka, mehanizmi asinhronog izvršavanja transakcija, kao i bezbednosni aspekti realizovani direktno nad bazom podataka.

5.1.1 Analiza zahteva i tehnološki okvir sistema

Implementacija razvijenog modela realizovana je kroz prototip veb platforme CredSeal korišćenjem *Lovable* alata, namenjene kreiranju, izdavanju, upravljanju, deljenju i verifikaciji mikrokredencijala. Sistem je projektovan kao hibridno rešenje koje povezuje centralizovane servise računarstva u oblaku za upravljanje korisnicima, podacima i poslovnom logikom sa javnom blokčejn mrežom koja se koristi za kriptografsko sidrenje šablona i izdatih kredencijala. Na taj način institucionalna odgovornost za izdavanje i upravljanje kredencijalima ostaje u okviru visokoškolske ustanove, dok se blokčejn koristi za obezbeđivanje integriteta i proverljivosti zapisa.

Razvoj prototipa zasnovan je na funkcionalnim i nefunkcionalnim zahtevima izvedenim iz prethodno definisanih poslovnih procesa, korisničkih uloga, modela podataka i arhitekture sistema. Funkcionalni zahtevi određuju operacije koje sistem treba da podrži, dok nefunkcionalni zahtevi definišu karakteristike povezane sa bezbednošću, privatnošću, pouzdanošću, interoperabilnošću i korisničkim iskustvom.

Funkcionalni zahtevi sistema

Funkcionalnosti platforme organizovane su prema ključnim domenima upravljanja mikrokredencijalima (Tabela 23).

Tabela 23 Pregled realizovanih funkcionalnih celina i njihovih statusa implementacija

Funkcionalna celina	Ključne funkcionalnosti	Status implementacije
Upravljanje institucijama i korisnicima	Kreiranje institucija, korisničkih naloga, organizacionih uloga i pripadnosti korisnika institucijama	Implementirano, uz delimično realizovan javni tok registracije institucije
Upravljanje zaposlenima i nosiocima	Dodavanje zaposlenih, dodela uloga administratora i osoblja, kreiranje i grupni unos nosilaca	Implementirano
Upravljanje šablonima	Kreiranje, uređivanje, verzionisanje, objavljivanje i arhiviranje šablona mikrokredencijala	Implementirano
Registracija šablona na Bloksberg mreži	Generisanje kriptografskog otiska i registracija verzije šablona u pametnom ugovoru	Implementirano uz lokalni <i>fallback</i> režim
Prijavljivanje za mikrokredencijal	Pregled dostupnih programa, podnošenje prijave i praćenje njenog statusa	Implementirano
Obrada prijava	Pregled prijava, promena statusa, zahtev za dopunu i odbijanje	Implementirano, uz ograničenu upotrebu komentara
Direktno izdavanje	Izdavanje pojedinačnog kredencijala na osnovu objavljenog šablona	Implementirano
Grupno izdavanje	Uvoz podataka putem CSV datoteke i izdavanje većeg broja kredencijala	Implementirano
Prihvatanje i odbijanje	Prihvatanje, odbijanje, ponovno slanje i uklanjanje odbijenog kredencijala	Implementirano

Funkcionalna celina	Ključne funkcionalnosti	Status implementacije
Privatnost i deljenje	Podešavanje javne vidljivosti kredencijala i pojedinačnih atributa	Implementirano
Javna verifikacija	Provera autentičnosti kredencijala putem javnog linka ili QR koda	Implementirano
Upravljanje životnim ciklusom	Izdavanje, prihvatanje, obnova, zamena, isticanje i opoziv kredencijala	Implementirano
Blokcejn sidrenje	Asinhrona obrada, praćenje statusa i ponovno pokretanje neuspelih transakcija	Implementirano
Izvoz kredencijala i dokaza	Generisanje PDF, JSON i ZIP paketa sa podacima i blokcejn dokazom	Implementirano
Obaveštenja	Obaveštenja o promenama statusa, izdavanju, opozivu i isteku	Implementirano unutar aplikacije
Revizioni trag	Evidentiranje odabranih administrativnih i sistemskih aktivnosti	Delimično implementirano
EBSI integracija	Izdavanje i verifikacija kroz EBSI infrastrukturu	Nije implementirano

Funkcionalni opseg prototipa obuhvata pet osnovnih kategorija korisnika: administratora platforme, administratora institucije, osoblje institucije, nosioca kredencijala i javnog verifikatora. Svakoj ulozi dodeljen je poseban skup funkcionalnosti i nivo pristupa podacima. Administrator platforme upravlja institucijama, korisnicima i globalnim podešavanjima. Administrator institucije upravlja šablonima, zaposlenima i procesima izdavanja, dok osoblje institucije obavlja operativne aktivnosti nad dodeljenim šablonima. Nosilac podnosi prijave, prihvata ili odbija kredencijale, upravlja njihovom vidljivošću i deljenjem, dok javni verifikator proverava samo podatke koje je nosilac učinio dostupnim.

Većina osnovnih funkcionalnosti implementirana je na produkcionalnoj putanji prototipa. Delimično realizovane funkcije odnose se prvenstveno na javnu registraciju institucija, dostavljanje dokaznog materijala, potpuni revizioni trag i izvršavanje opoziva na blokcejn mreži. Inicijalnim planom implementacije razmatrana je EBSI [236] platforma kao infrastrukturna baza, ali zbog nedostupnosti EBSI platforme, prototip je implementiran na Bloksberg blokcejn infrastrukturi.

Nefunkcionalni zahtevi sistema

Nefunkcionalni zahtevi definisani su tako da podrže bezbedno i pouzdano funkcionisanje sistema u institucionalnom okruženju (Tabela 24). Njihov fokus je na zaštiti podataka, izolaciji organizacija, raspoloživosti ključnih funkcija, interoperabilnosti i otpornosti na nedostupnost blokcejn mreže.

Tabela 24 Pregled nefunkcionalnih zahteva po oblastima

Oblast	Zahtev
Bezbednost pristupa	Pristup funkcionalnostima i podacima mora biti ograničen prema korisničkoj ulozi i pripadnosti instituciji
Izolacija podataka	Korisnici jedne institucije ne treba da imaju pristup internim podacima drugih institucija
Privatnost nosioca	Nosilac samostalno određuje da li je kredencijal javno dostupan i koji se atributi prikazuju
Minimalizacija <i>on-chain</i> podataka	Lični i obrazovni podaci ne smeju se direktno čuvati na javnoj blokcejn mreži
Integritet	Izmena sadržaja kredencijala mora biti uočljiva poređenjem lokalnog i blokcejn zapisa
Pouzdanost izdavanja	Neuspeh blokcejn transakcije ne sme dovesti do gubitka lokalno kreiranog kredencijala
Asinhrono izvršavanje	Operacije blokcejn sidrenja ne smeju blokirati rad korisničkog interfejsa
Interoperabilnost	Kredencijal i prateći dokaz treba da budu dostupni u strukturiranom formatu pogodnom za nezavisnu obradu
Prenosivost	Korisnik treba da može preuzeti PDF, JSON i paket dokaza izvan platforme
Revizija	Značajne aktivnosti treba evidentirati radi naknadne provere
Upotrebljivost	Interfejs treba da bude prilagođen različitim korisničkim ulogama i uređajima
Otpornost na greške	Sistem treba da podrži ponovno izvršavanje neuspelih poslova i rad u degradiranom režimu

Posebno značajan nefunkcionalni zahtev predstavlja odvajanje poslovnog procesa izdavanja od vremena izvršavanja blokcejn transakcije. Nakon kreiranja kredencijala, posao sidrenja smešta se u red za obradu,

iz kojeg se transakcije izvršavaju asinhrono. Statusi poslova omogućavaju praćenje obrade i ponovno pokretanje neuspelih transakcija. Kada blokčejn RPC servis ili pristupni ključ nisu dostupni, sistem prelazi u lokalni *fallback* režim, pri čemu se osnovne funkcionalnosti nastavljaju bez potvrđenog blokčejn zapisa.

Tehnološki okvir

Platforma CredSeal razvijena je kao veb aplikacija zasnovana na kombinaciji klijentskih, serverskih i blokčejn tehnologija, kao tehnologija računarstva u oblaku (Tabela 25).

Tabela 25 Osnovne tehnološke komponente platforme CredSeal

Tehnologija	Uloga u sistemu
<i>React</i>	Razvoj korisničkog interfejsa
<i>TypeScript</i>	Implementacija klijentske i serverske logike
<i>TanStack Router</i>	Rutiranje, organizacija stranica i upravljanje zaštićenim rutama
<i>TanStack createServerFn</i>	Izvršavanje serverske poslovne logike
<i>Supabase Auth</i>	Autentifikacija korisnika
<i>PostgreSQL</i>	Čuvanje relacionih i strukturiranih podataka
<i>Supabase Storage</i>	Čuvanje dokumenata i datoteka van blokčejn mreže
<i>Row Level Security</i>	Kontrola pristupa redovima baze podataka
JSONB	Čuvanje fleksibilnih struktura kredencijala i pratećih podataka
Bloksberg	Javna blokčejn mreža za sidrenje i proveru zapisa
<i>Solidity</i> pametni ugovori	Registracija šablona i životnog ciklusa kredencijala
ethers.js	Komunikacija aplikacije sa Bloksberg mrežom
SHA-256 i Keccak-256	Generisanje kriptografskih otisaka i <i>commitment</i> vrednosti
PDF, JSON i ZIP generatori	Izvoz kredencijala i paketa dokaza
QR kodovi	Deljenje javnih verifikacionih veza

Tehnološki skup tehnologija korišćenih za razvoj platforme obuhvata:

- *Supabase*, koji obezbeđuje relacionu bazu podataka *PostgreSQL*, servise autentifikacije, skladištenje datoteka i bezbednosne politike na nivou redova
- Javnu blokčejn mrežu Bloksberg, u okviru koje se vrši kriptografsko sidrenje (eng. *anchoring*) podataka.
- Klijentski deo aplikacije realizovan je primenom *Single Page Application* (SPA) paradigme, korišćenjem biblioteke *React*, programskog jezika *TypeScript* i sistema za rutiranje i upravljanje stanjima *TanStack Router*.

Iako se sistem oslanja na *Supabase* infrastrukturu, trenutna implementacija ne koristi *Supabase Edge Functions*. Serverska logika realizovana je kroz *TanStack createServerFn* module i jednu javnu HTTP rutu namenjenu pokretanju podsetnika za istek kredencijala.

Centralizovani deo sistema obuhvata autentifikaciju, bazu podataka, skladištenje datoteka, korisničke uloge i izvršavanje poslovne logike. Decentralizovani deo obuhvata javnu Bloksberg mrežu i pametne ugovore koji se koriste za registraciju kriptografskih dokaza o šablonima i kredencijalima. Zbog ovakve raspodele odgovornosti platformu je preciznije odrediti kao hibridni sistem sa decentralizovanim slojem poverenja, a ne kao potpuno decentralizovanu aplikaciju.

U delu razvoja korisničkog interfejsa korišćena je platforma *Lovable*, koja primenjuje generativnu veštačku inteligenciju za podršku razvoju veb aplikacija. Njena primena bila je ograničena na generisanje i prilagođavanje elemenata korisničkog interfejsa, povezivanje postojećih funkcionalnosti i ubrzavanje iterativnog razvoja prototipa. Korišćenje alata sprovedeno je u skladu sa Opštim smernicama za korišćenje generativne veštačke inteligencije na Fakultetu organizacionih nauka, posebno principima transparentnosti, zaštite podataka, revizije i validacije generisanih rezultata i odgovornosti korisnika za njihovu tačnost i konačnu primenu. Sav generisani kod i konfiguracije naknadno su pregledani, testirani i prilagođeni zahtevima razvijenog modela, dok *Lovable* nije korišćen za donošenje istraživačkih zaključaka niti za samostalno definisanje arhitekture, poslovne logike ili bezbednosnih pravila sistema.

5.2 Arhitektura sistema i softversko modelovanje

Arhitektura platforme CredSeal predstavljena je primenom C4 modela (eng. *Context, Containers, Components, and Code*) [307], koji omogućava hijerarhijski prikaz softverskog sistema kroz različite nivoe apstrakcije:.

- Dijagram konteksta (eng. *Context Diagram*) – Najviši nivo apstrakcije koji postavlja sistem u središte ekosistema, prikazujući njegove spoljne granice, korisnike i eksterne sisteme sa kojima komunicira.
- Dijagram kontejnera (eng. *Container Diagram*) – Fokusira se na unutrašnju arhitekturu aplikacije višeg nivoa, raščlanjujući sistem na zasebno izvršne tehnološke celine (kontejnere) kao što su klijentske aplikacije, pozadinske baze podataka ili *serverless* radni procesi.
- Dijagram komponenti (eng. *Component Diagram*) – Opisuje pojedinačni kontejner i dekomponuje ga na logičke celine (komponente), identifikujući njihove odgovornosti, unutrašnje module i interfejs koda.
- Kod (eng. *Code*) – Najniži nivo koji se bavi detaljima same implementacije (klase, interfejsi, funkcije i objekti baze podataka).

CredSeal je realizovan kao hibridni softverski sistem koji povezuje centralizovane servise računarstva u oblaku sa javnom blokčejn infrastrukturom. Centralizovani deo sistema obuhvata autentifikaciju, upravljanje korisničkim ulogama, poslovnu logiku, bazu podataka i skladištenje datoteka. Decentralizovani deo koristi se za kriptografsko sidrenje podataka o šablonima i izdatim kredencijalima na Bloksberg mreži. Na blokčejn mrežu se ne upisuju lični i obrazovni podaci, već samo kriptografski otisci, *commitment* vrednosti i ograničeni metapodaci potrebni za proveru integriteta zapisa.

U nastavku ovog poglavlja detaljno su razrađena prva tri nivoa C4 arhitekture za platformu CredSeal.

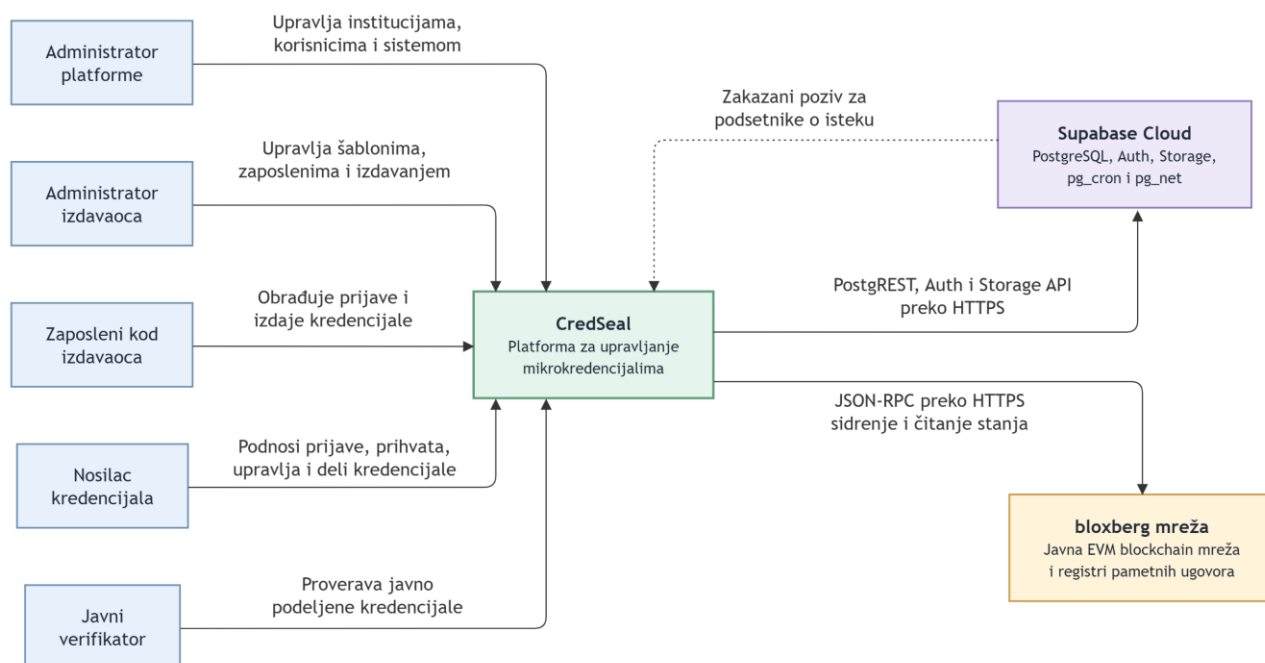
5.2.1 Dijagram konteksta

Dijagram konteksta predstavlja platformu CredSeal kao jedinstven sistem i prikazuje njene odnose sa ljudskim akterima i spoljnim tehnološkim sistemima. U implementaciji su identifikovane sledeće grupe korisnika:

- administrator platforme;
- administrator institucije izdavaoca;
- zaposleni institucije izdavaoca;
- nosilac kredencijala;
- javni verifikator.

Administrator platforme upravlja institucijama, korisnicima, ulogama i sistemskim evidencijama. Administrator institucije upravlja šablonima mikrokredencijala, zaposlenima, nosiocima i procesima izdavanja. Zaposleni institucije obrađuje prijave i izdaje kredencijale na osnovu dodeljenih šablona. Nosilac podnosi prijave, prihvata ili odbija izdate kredencijale, upravlja njihovom vidljivošću i preuzima paket dokaza. Javni verifikator pristupa samo podacima koje je nosilac označio kao javne i ne mora biti autentifikovan.

Platforma komunicira sa *Supabase* infrastrukturom i Bloksberg mrežom. *Supabase* obezbeđuje relacionu bazu podataka, autentifikaciju, skladištenje dokumenata i zakazivanje sistemskih poslova. Bloksberg predstavlja javnu EVM blokčejn mrežu na kojoj su implementirani pametni ugovori za registraciju verzija šablona i sidrenje kredencijala.



Ilustracija 26 C4 model - dijagram konteksta

Na nivou konteksta (Ilustracija 26) sistem se ne posmatra kao potpuno decentralizovana aplikacija. Institucije i dalje donose odluke o programima, ocenjuju ispunjenost uslova i izdaju kredencijale, dok blokčejn pruža dodatni sloj integriteta i proverljivosti.

5.2.2 Dijagram kontejnera

Dijagram kontejnera (Ilustracija 27) prikazuje glavne izvršne i skladišne celine sistema. U okviru CredSeal sistema izdvajaju se klijentski deo (eng. *frontend*) i aplikacioni server, dok se *Supabase* i *Bloksberg* koriste kao spoljne infrastrukturne celine (Tabela 26).

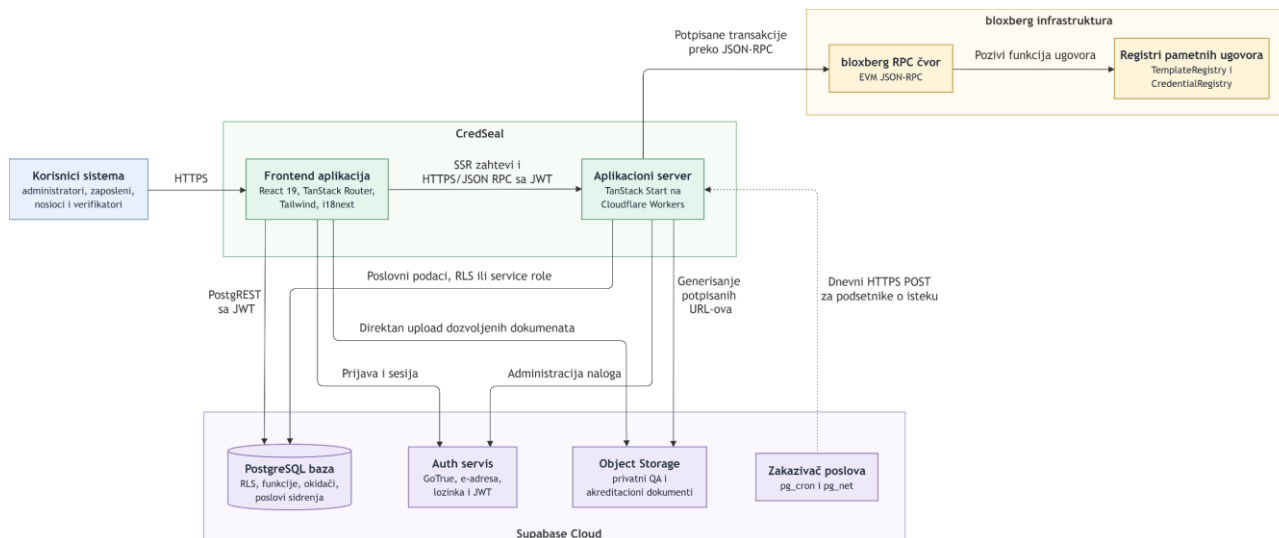
Tabela 26 C4 model pregled i specifikacija kontejnera

Kontejner	Tehnologija	Osnovna odgovornost
Frontend aplikacija	<i>React, TanStack Router, TypeScript</i>	Korisnički interfejs, rutiranje, sesija, lokalizacija i pokretanje korisničkih akcija
Aplikacioni server	<i>TanStack Start na Cloudflare Workers</i>	SSR, serverske funkcije, poslovna logika, generisanje dokaza i komunikacija sa blokčejn mrežom
PostgreSQL baza	<i>Supabase PostgreSQL</i>	Čuvanje poslovnih podataka, RLS politike, funkcije, okidači i poslovi sidrenja
Auth servis	<i>Supabase GoTrue</i>	Autentifikacija putem e-adrese i lozinke, sesije i JWT tokeni
Object storage	<i>Supabase Storage</i>	Čuvanje akreditacionih i QA dokumenata
Zakazivač	<i>pg_cron i pg_net</i>	Pokretanje podsetnika za kredencijale kojima ističe rok važenja
Bloksberg RPC	<i>EVM JSON-RPC</i>	Komunikacija aplikacionog servera sa blokčejn mrežom
Registar pametnih ugovora	<i>Solidity</i>	Registracija verzija šablona i sidrenje podataka o kredencijalima

Klijentski deo aplikacije realizovan je kao *React* aplikacija sa podrškom za serversko renderovanje. Pored komunikacije sa aplikacionim serverom, klijentski deo neposredno pristupa pojedinim *Supabase* servisima koristeći korisnički JWT i pravila pristupa definisana RLS politikama. Direktni pristup koristi se za čitanje i izmenu dozvoljenih podataka, autentifikaciju i otpremanje QA i akreditacionih dokumenata.

Aplikacioni server predstavlja jedinstvenu izvršnu celinu realizovanu u *TanStack Start* okviru i *Cloudflare Workers* okruženju. On izvršava zaštićene serverske funkcije, administrativne operacije, generisanje PDF, JSON i ZIP dokaza, obradu poslova sidrenja i komunikaciju sa *Bloksberg* mrežom. U ovom sloju čuvaju se i serverske tajne, uključujući privatni ključ blokčejn naloga i *Supabase service role* ključ.

PostgreSQL baza predstavlja primarno skladište stanja sistema. Pored poslovnih podataka, u njoj se nalaze RLS politike, pomoćne funkcije, okidači, notifikacije, revizioni zapisi i tabele poslova za asinhrono blokčejn sidrenje. Red za sidrenje nije zaseban izvršni sistem, već skup zapisa koje obrađuju serverske funkcije.



Ilustracija 27 C4 model - dijagram kontejnera

Komunikacija između klijenta i aplikacionog servera odvija se putem HTTPS protokola, uz prosleđivanje korisničkog JWT-a. Pristup bazi i autentifikacionom servisu realizovan je preko *PostgREST* i *GoTrue* interfejsa. Aplikacioni server komunicira sa Bloksberg mrežom preko JSON-RPC protokola i potpisuje transakcije digitalnim novčanikom.

5.2.3 Dijagram komponenti

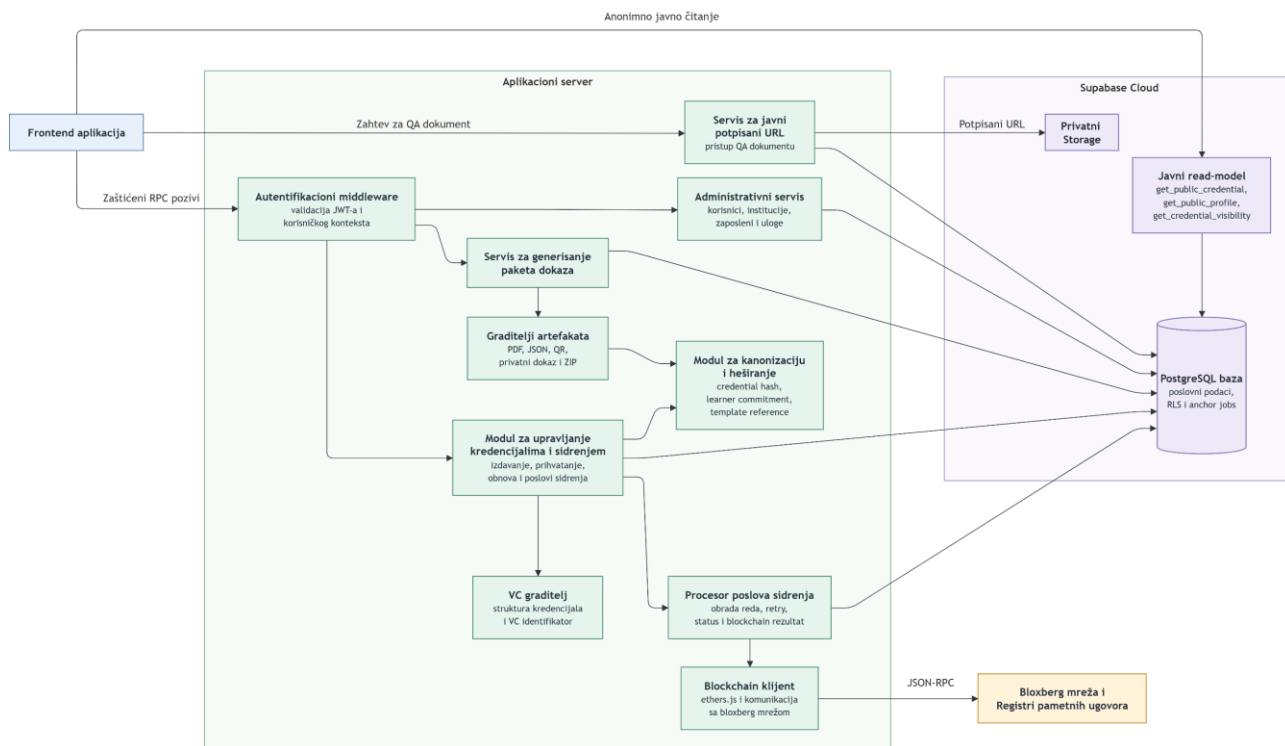
Treći nivo C4 modela detaljnije prikazuje komponente (Ilustracija 28, Tabela 26) aplikacionog servera koje učestvuju u izdavanju kredencijala, generisanju dokaza, blokčejn sidrenju i javnoj verifikaciji.

Tabela 27 C4 model pregled i specifikacija komponentata

Komponenta	Odgovornost
Autentifikacioni <i>middleware</i>	Provera korisničkog JWT-a i formiranje konteksta autentifikovanog korisnika
Modul za izdavanje i sidrenje	Izdavanje, prihvatanje, odbijanje, obnova i upravljanje poslovima sidrenja
Modul za kanonizaciju i heširanje	Formiranje kanonskih podataka i generisanje kriptografskih vrednosti
VC graditelj	Formiranje strukture kredencijala i njegovog identifikatora
Procesor poslova sidrenja	Obrada reda poslova, <i>retry</i> mehanizam i evidentiranje rezultata transakcije
Blokčejn klijent	Komunikacija sa Bloksberg mrežom primenom biblioteke ethers.js
Servis za paket dokaza	Pokretanje generisanja prenosivog paketa za nosioca
Graditelji artefakata	Generisanje PDF, JSON, QR, privatnog dokaza i ZIP paketa
Servis javnog potpisanog URL-a	Kontrolisani pristup javno dostupnom QA dokumentu
Administrativni servis	Upravljanje korisnicima, institucijama, zaposlenima i ulogama
Javni <i>read-model</i>	Vraćanje samo javno dozvoljenih podataka o kredencijalu i profilu

Pre izvršavanja zaštićenih funkcija autentifikacioni *middleware* proverava validnost korisničkog tokena. Poslovne operacije zatim koriste korisnički kontekst ili, kod posebno kontrolisanih administrativnih operacija, *service role* pristup. Modul za izdavanje i sidrenje predstavlja centralnu komponentu poslovne logike. On koordinira formiranje kredencijala, generisanje kriptografskih vrednosti, upis lokalnog zapisa i kreiranje posla za blokčejn sidrenje. Sidrenje se obrađuje asinhrono kako vreme potvrde blokčejn transakcije ne bi blokiralo osnovni tok aplikacije.

Komponenta za kanonizaciju formira deterministički prikaz podataka na osnovu kojeg se izračunavaju kriptografski otisak dokumenta, *commitment* nosioca i referenca šablona. VC graditelj formira strukturirani zapis kredencijala koji se koristi za izvoz i generisanje pratećih dokaza.



Ilustracija 28 C4 model - dijagram komponenta

Procesor poslova sidrenja preuzima poslove iz baze, proverava njihovo stanje, poziva blokčejn klijent i nakon izvršenja evidentira heš transakcije, broj bloka i konačni status. U slučaju neuspeha podržani su ponovno pokretanje i ograničen broj pokušaja. Servis za generisanje paketa dokaza kombinuje podatke iz baze i blokčejn zapisa i kreira prenosive artefakte koje nosilac može čuvati van platforme. Paket može da obuhvati PDF sertifikat, strukturirani JSON zapis, QR kod, potvrdu o verifikaciji, privatni dokaz i ZIP arhivu.

Javna verifikacija realizovana je kombinacijom javnih ruta i SECURITY DEFINER funkcija baze. Funkcije `get_public_credential`, `get_public_profile` i `get_credential_visibility` vraćaju samo podatke koje je nosilac označio kao javne. Pristup QA dokumentima dodatno je ograničen vremenski važećim potpisanim URL-ovima.

5.3 Fizički model podataka i implementacija baze podataka

Model podataka platforme CredSeal realizovan je u relacionoj *PostgreSQL* bazi u okviru *Supabase* infrastrukture. Fizička implementacija zasnovana je na prethodno definisanom konceptualnom modelu i obuhvata podatke o korisnicima, institucijama, šablonima mikrokredencijala, prijavama, izdatim kredencijalima i blokčejn zapisima. Pored osnovnih poslovnih entiteta, baza sadrži pomoćne strukture za upravljanje ulogama, verzionisanje, evidentiranje životnog ciklusa, obradu poslova sidrenja, obaveštenja i revizioni trag. U svim osnovnim tabelama koriste se UUID identifikatori, čime se omogućava jedinstveno identifikovanje zapisa nezavisno od redosleda njihovog kreiranja i smanjuje mogućnost predviđanja identifikatora u javnim rutama. Veze među entitetima realizovane su stranim ključevima, dok se pojedini podaci namerno čuvaju i kao nepromenljivi snimci, kako bi se sačuvalo stanje koje je važno u trenutku objavljivanja šablona ili izdavanja kredencijala.

U fizičkoj implementaciji razlikuju se četiri osnovne kategorije podataka:

1. poslovni podaci, koji obuhvataju organizacije, šablone, prijave i kredencijale;
2. lični i osetljivi podaci, koji obuhvataju profile korisnika i tajne korišćene za formiranje *commitment* vrednosti;
3. operativni podaci, kao što su redovi poslova, statusi obrade, obaveštenja i revizioni zapisi;

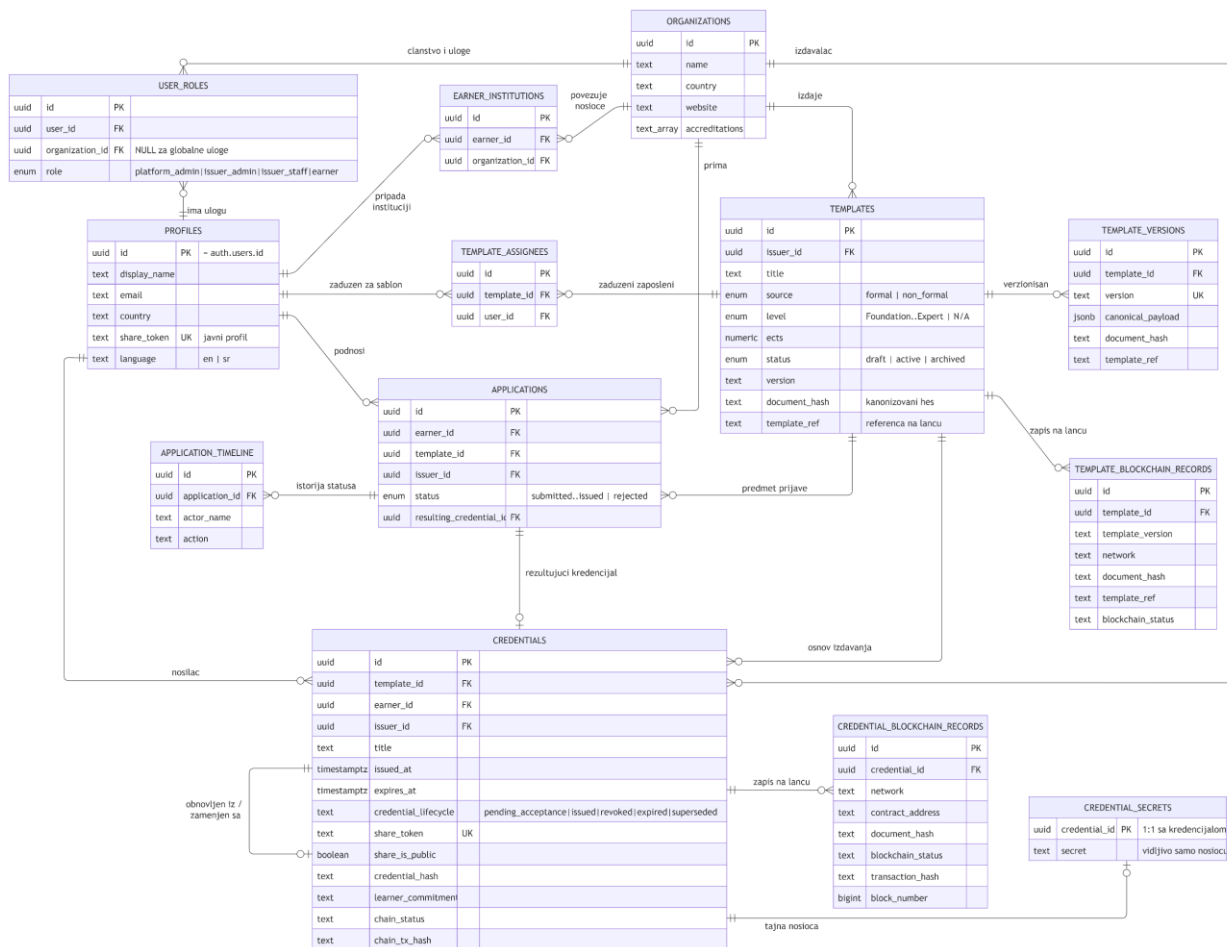
4. blokčejn metapodaci, koji obuhvataju kriptografske otiske, adrese ugovora, transakcije i brojeve blokova.

Ovakva podela omogućava da se potpuni sadržaj kredencijala i lični podaci čuvaju u kontrolisanom *off-chain* okruženju, dok se u blokčejn sloju evidentiraju samo podaci potrebni za potvrđivanje integriteta. Način generisanja tih vrednosti, njihov upis u pametne ugovore i obrada blokčejn transakcija detaljnije su prikazani u narednom poglavlju.

Osnovu modela čine entiteti prikazani na pojednostavljenom ER dijagramu (Ilustracija 29):

- korisnik i korisnička uloga;
- organizacija;
- šablon mikrokredencijala i njegova verzija;
- prijava nosioca;
- izdati kredencijal;
- blokčejn zapis šablona ili kredencijala.

Podaci o korisniku razdvojeni su između autentifikacionog sistema i tabele Profiles. Autentifikacioni identitet čuva se u *Supabase Auth* sistemu, dok Profiles sadrži podatke potrebne aplikaciji, kao što su prikazano ime, e-adresa, država, identifikacioni broj studenta i podešavanja javnog profila. Veza je realizovana odnosom jedan prema jedan, pri čemu identifikator profila odgovara identifikatoru korisnika u autentifikacionom sistemu. Uloge se čuvaju u posebnoj tabeli user_roles, a ne u profilu korisnika. Jednom korisniku može biti dodeljeno više uloga, uključujući različite uloge u okviru iste organizacije. Organizacijski kontekst evidentira se povezivanjem uloge sa identifikatorom institucije.



Ilustracija 29 Pojednostavljeni ER dijagram osnove modela

Ovakvo rešenje podržava razdvajanje globalne uloge administratora platforme od uloga administratora i zaposlenih pojedinačnih izdavalaca.

Tabela `Organizations` predstavlja institucije koje učestvuju u sistemu kao izdavaoci ili pružaoci obrazovnih aktivnosti. Sa organizacijom su povezani šabloni mikrokredencijala, korisničke uloge, prijave i izdati kredencijali. Šablon mikrokredencijala predstavlja osnovu za njegovo izdavanje. Tabela `Templates` sadrži opis obrazovne aktivnosti, ishode učenja, veštine, obim, nivo, način procene, oblik učešća, preduslove i podatke o obezbeđenju kvaliteta. Objavljivanjem šablona kreira se zapis u tabeli `template_versions`, koja čuva nepromenljivi snimak njegove konkretne verzije. Na taj način kasnije izmene šablona ne menjaju podatke na osnovu kojih je kredencijal prvobitno izdat. Tabela `Applications` povezuje nosioca, izabrani šablon i instituciju izdavaoca. Ona evidentira tok obrade prijave i, nakon uspešnog izdavanja, može biti povezana sa rezultujućim kredencijalom. Promene stanja prijave dodatno se beleže u vremenskoj liniji.

Centralni entitet fizičkog modela predstavlja tabela `Credentials`. Ona sadrži podatke o nosiocu, izdavaocu, izvoru učenja, stečenim veštinama, nivou, datumu izdavanja, roku važenja, statusu, parametrima deljenja i stanju blokčejn sidrenja. Kredencijal je povezan sa šablonom na osnovu kojeg je izdat, ali istovremeno sadrži i snimak pojedinih podataka relevantnih u trenutku izdavanja. Blokčejn stanje fizički je odvojeno u tabelama `credential_blockchain_records` i `template_blockchain_records`. One čuvaju podatke o mreži, adresi pametnog ugovora, kriptografskom otisku, transakciji, broju bloka i vremenu potvrde. Time se poslovni sadržaj kredencijala odvaja od tehničkih podataka potrebnih za proveru njegovog zapisa na blokčejn mreži.

Životni ciklus prijave i kredencijala evidentira se kombinacijom statusnih polja, vremenskih oznaka i povezanih zapisa. Status prijave može obuhvatiti podnošenje, pregled, prikupljanje dokaza, potvrdu pružaoca, izdavanje ili odbijanje. Istorija promene stanja čuva se u tabeli `application_timeline`, čime se osnovni zapis prijave ne opterećuje kompletnom istorijom procesa. Kod kredencijala se razlikuju poslovni status i detaljnije stanje životnog ciklusa. Polje `credential_lifecycle` prati stanja kao što su čekanje na prihvatanje, izdavanje, opoziv, istek, zamena i odbijanje. Sažeti status kredencijala automatski se usklađuje sa životnim ciklusom primenom okidača u bazi. Na taj način izbegava se nezavisna i potencijalno nekonzistentna izmena dva statusna polja. Obnova kredencijala ne menja postojeći zapis, već kreira novi kredencijal. Veze `renewed_from_id` i `superseded_by_id` omogućavaju praćenje prethodne i naredne verzije, dok originalni zapis ostaje sačuvan kao deo istorije.

Operativni podaci za blokčejn sidrenje čuvaju se u tabelama `credential_anchor_jobs` i `template_anchor_jobs`. Svaki posao sadrži stanje obrade, broj pokušaja, podatke o poslednjoj grešci, vreme narednog pokušaja i heš transakcije. Razdvajanje reda poslova od osnovnih poslovnih tabela omogućava asinhronu obradu blokčejn transakcija bez blokiranja procesa izdavanja.

Nakon potvrde transakcije tehnički podaci se evidentiraju u odgovarajućoj tabeli blokčejn zapisa. Pojedina blokčejn polja istovremeno se čuvaju i uz osnovni entitet radi efikasnijeg prikaza u korisničkom interfejsu. Merodavan tehnički zapis predstavljaju posebne tabele blokčejn evidencije, dok denormalizovana polja omogućavaju brže čitanje najčešće prikazivanih podataka.

5.4 Razvoj pametnih ugovora za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima

Blokčejn sloj platforme CredSeal realizovan je kao decentralizovani sloj beleženja i proverljivosti, dok se potpuni poslovni i lični podaci čuvaju van blokčejn mreže. Njegova osnovna uloga je da omogući evidentiranje kriptografskih otisaka objavljenih verzija šablona i izdatih mikrokredencijala, kao i naknadnu proveru njihove neizmenjenosti.

Za implementaciju su razvijena dva pametna ugovora: `TemplateRegistry`, namenjen registraciji verzija šablona mikrokredencijala, i `CredentialRegistry`, namenjen evidentiranju izdatih kredencijala. Ugovori su implementirani u programskom jeziku *Solidity*, uz korišćenje *OpenZeppelin* mehanizama za upravljanje ulogama i privremeno zaustavljanje izvršavanja. Aplikacioni sloj komunicira sa ugovorima preko EVM JSON-RPC interfejsa i biblioteke *ethers*.

Za implementaciju prototipa izabrana je Bloksberg mreža, EVM (eng. *Ethereum Virtual Machine*) kompatibilna blokčejn infrastruktura usmerena na akademske i istraživačke primene. Izbor ove mreže

omogućio je korišćenje standardnih *Ethereum* razvojnih alata, *Solidity* pametnih ugovora i postojećih biblioteka za komunikaciju sa EVM mrežama. Bloksberg je u prethodnim istraživanjima razmatran i kao pogodna infrastruktura za izdavanje mikrokredencijala zbog akademskog usmerenja i primene *Proof-of-Authority* konsenzusa. Mreža je u aplikaciji konfigurisana preko JSON-RPC endpointa, pri čemu je identifikator mreže 8995. RPC adresa, privatni ključ blokčejn naloga i adrese pametnih ugovora čuvaju se kao serverske promenljive okruženja i nisu dostupni klijentskoj aplikaciji. U implementaciji se koristi jedan blokčejn nalog / digitalni novčanik koji potpisuje transakcije. Naziv konkretne institucije izdavaoca čuva se u *on-chain* zapisu u tekstualnom obliku, ali se institucije na blokčejn mreži trenutno ne razlikuju zasebnim kriptografskim adresama. Ovakvo rešenje pojednostavljuje upravljanje prototipom, ali predstavlja oblik tehničke centralizacije blokčejn pristupa.

Pametni ugovori postavljeni su na Bloksberg mreži na adresama prikazanim u tabeli ispod (Tabela 28).

Tabela 28 Adrese pametnih ugovora na Bloksberg mreži

Pametni ugovor	Adresa
TemplateRegistry (Slika 1)	0xBf55f8413Dff2Aeb136c6d385BB7caE2d1080FAc
CredentialRegistry (Slika 2)	0x082aBf0423d43E4286bC61151E34377e1Bc69596



Slika 1 Pregled Bloksberg blok pretraživača - Template registry



Slika 2 Pregled Bloksberg blok pretraživača - Credential Registry

Aplikacija pre slanja transakcije proverava dostupnost RPC čvora, stanje naloga, konfiguraciju ugovora i postojanje odgovarajuće uloge za izdavanje. Ukoliko blokčejn sloj nije konfigurisan ili mreža nije dostupna, osnovni proces izdavanja kredencijala se ne prekida, već se posao sidrenja zadržava u redu za kasniju obradu.

5.4.1 Pametni ugovori

Pametni ugovor `TemplateRegistry` upravlja registracijom konkretnih verzija šablona mikrokredencijala. Svaka objavljena verzija identifikuje se vrednošću `templateRef`, koja predstavlja ključ zapisa u ugovoru. Ugovor čuva kriptografski otisak sadržaja šablona, identifikator šablona, verziju, adresu izdavaoca, vreme objavljivanja, naziv institucije i status zapisa. Šablon može imati jedan od sledećih statusa:

- `None`, kada zapis ne postoji;
- `Active`, kada je verzija registrovana i može se koristiti za izdavanje;
- `Archived`, kada je verzija arhivirana i više se ne koristi za nova izdavanja.

Arhiviranje šablona ne utiče na prethodno izdate kredencijale koji se pozivaju na tu verziju. Ugovor sprečava ponovnu registraciju istog `templateRef`, upis praznog identifikatora, praznog otiska dokumenta, nevažeće verzije ili praznog naziva institucije.

Pametni ugovor `CredentialRegistry` upravlja zapisima o izdatim kredencijalima. Svaki kredencijal identifikuje se vrednošću `credentialId`, koja predstavlja ključ odgovarajućeg *on-chain* zapisa. Ugovor prilikom izdavanja proverava da li je referencirani šablon registrovan i aktivan u ugovoru `TemplateRegistry`. Kredencijal u ugovoru može imati status:

- `None`, kada ne postoji;
- `Active`, kada je izdat i važeći;
- `Revoked`, kada je opozvan;
- `Superseded`, kada je zamenjen drugim kredencijalom.

Prikazana funkcija (Slika 3) implementira osnovnu logiku upisa mikrokredencijala u `CredentialRegistry`. Izvršavanje je dozvoljeno samo nalogu sa ulogom `ISSUER_ROLE` i dok ugovor nije pauziran. Pre upisa proveravaju se jedinstvenost identifikatora, aktivnost referencirane verzije šablona i ispravnost roka važenja. Ugovor zatim čuva kriptografski otisak dokumenta, *commitment* nosioca, referencu šablona i ograničene metapodatke, dok puni sadržaj kredencijala ostaje van blokčejn mreže.

```

function issueCredential(
    bytes32 credentialId,
    bytes32 documentHash,
    bytes32 learnerCommitment,
    bytes32 templateRef,
    uint64 expiresAt,
    string calldata issuerNameSnapshot
) external onlyRole(ISSUER_ROLE) whenNotPaused {
    if (_credentials[credentialId].status != CredentialStatus.None) {
        revert CredentialAlreadyExists(credentialId);
    }
    if (documentHash == bytes32(0)) revert InvalidDocumentHash();
    if (learnerCommitment == bytes32(0)) revert InvalidLearnerCommitment();
    if (templateRef == bytes32(0)) revert InvalidTemplateRef();
    if (!templateRegistry.isTemplateActive(templateRef)) {
        revert UnknownOrInactiveTemplate(templateRef);
    }
    if (expiresAt != 0 && expiresAt <= block.timestamp)
        revert InvalidExpiry();
    if (bytes(issuerNameSnapshot).length == 0) revert EmptyIssuerName();

    uint64 issuedAt = uint64(block.timestamp);
    _credentials[credentialId] = CredentialRecord({
        documentHash: documentHash,
        learnerCommitment: learnerCommitment,
        templateRef: templateRef,
        issuer: msg.sender,
        issuedAt: issuedAt,
        expiresAt: expiresAt,
        status: CredentialStatus.Active,
        issuerNameSnapshot: issuerNameSnapshot
    });

    emit CredentialIssued(
        credentialId,
        learnerCommitment,
        templateRef,
        msg.sender,
        documentHash,
        issuedAt,
        expiresAt,
        issuerNameSnapshot
    );
}

```

Slika 3 Prikaz delova koda pametnog ugovora CredentialRegistry – issueCredential()

Istek roka važenja nije poseban status. On se utvrđuje poređenjem vrednosti `expiresAt` sa trenutnim vremenom blokčejn bloka. Kada je `expiresAt` jednak nuli, kredencijal nema definisan rok važenja.

Oba ugovora koriste uloge `DEFAULT_ADMIN_ROLE` i `ISSUER_ROLE`. Registracija šablona i izdavanje kredencijala dozvoljeni su samo adresama sa ulogom izdavaoca. Administratorska uloga omogućava upravljanje ulogama i pauziranje ugovora. Funkcije koje menjaju stanje ugovora mogu se izvršavati samo dok ugovor nije pauziran.

5.4.2 Struktura zapisa na blokčejn mreži

Na blokčejn mrežu se ne upisuje pun sadržaj šablona ili kredencijala. Umesto toga, čuvaju se identifikatori, kriptografski otisci i ograničeni metapodaci potrebni za proveru integriteta i statusa zapisa.

Za verziju šablona čuvaju se podaci definisani tabelom (Tabela 29).

Tabela 29 Struktura podata šablona mikrokredencijala

Podatak	Namena
templateRef	Jedinstvena referenca konkretne verzije šablona
templateIdHash	Kriptografski izveden identifikator šablona
documentHash	Otisak kanonizovanog sadržaja šablona
version	Numerički kod verzije
issuer	Adresa naloga koji je izvršio registraciju
publishedAt	Vreme registracije na mreži
status	Aktivna ili arhivirana verzija
issuerNameSnapshot	Naziv institucije u trenutku registracije

Za kredencijal čuvaju se podaci definisani tabelom (Tabela 30).

Tabela 30 Struktura podata jednog izdatog mikrokredencijala

Podatak	Namena
credentialId	Jedinstveni <i>on-chain</i> identifikator kredencijala
documentHash	Otisak kanonizovanog VC sadržaja
learnerCommitment	Pseudonimizovana veza između nosioca i kredencijala
templateRef	Referenca verzije šablona
issuer	Adresa blokčejn naloga izdavaoca
issuedAt	Vreme izdavanja prema blokčejn bloku
expiresAt	Rok važenja ili nula kada ne postoji
status	Aktivno, opozvano ili zamenjeno stanje
issuerNameSnapshot	Naziv institucije izdavaoca

Na lanac se ne upisuju ime i prezime nosioca, e-adresa, broj indeksa, ocena, veštine, ishodi učenja, ECTS, kompletan VC zapis, dokazi, QA dokumenta, komentari, razlog opoziva u otvorenom tekstu niti tajna korišćena za formiranje *commitment* vrednosti.

Ovakva podela predstavlja hibridni model čuvanja podataka. Blokčejn pruža nepromenljivi zapis kriptografskog otiska, dok se puni sadržaj i podaci koji mogu sadržati lične informacije čuvaju u kontrolisanom *off-chain* okruženju.

Pre generisanja kriptografskih otisaka vrši se kanonizacija JSON sadržaja. Kanonizacija rekurzivno sortira ključeve objekata, zadržava redosled elemenata u nizovima i zatim formira deterministički JSON zapis. Na taj način isti skup podataka proizvodi isti ulaz za heš funkciju nezavisno od redosleda ključeva u izvornom objektu. Za različite namene koriste se SHA-256 i Keccak-256 algoritmi.

SHA-256 koristi se za formiranje otiska kanonizovanog sadržaja:

$$\text{documentHash} = \text{SHA256}(\text{canonicalJson}(\text{payload}))$$

Ovaj postupak primenjuje se i na sadržaj verzije šablona i na VC sadržaj izdatog kredencijala.

Keccak-256 koristi se za izvođenje identifikatora, reference šablona i *commitment* vrednosti nosioca. Referenca šablona formira se kombinovanjem identifikatora šablona, oznake verzije i otiska njegovog sadržaja:

$$\text{templateRef} = \text{Keccak256}(\text{templateIdHash} \parallel \text{versionHash} \parallel \text{documentHash})$$

Commitment nosioca formira se na osnovu heširanog identifikatora nosioca, identifikatora konkretnog kredencijala i slučajno generisane tajne:

$$\text{learnerCommitment} = \text{Keccak256}(\text{earnerIdHash} \parallel \text{credentialIdHash} \parallel \text{randomSecret})$$

Slučajna tajna generiše se posebno za svaki kredencijal i čuva se van lanca u tabeli `credential_secrets`. Pristup toj vrednosti omogućen je samo nosiocu konkretnog kredencijala. Na blokčejn se upisuje samo izvedeni *commitment*, iz kojeg nije moguće neposredno odrediti identitet nosioca bez dodatnih ulaznih vrednosti.

5.4.3 Sidrenje šablona i kredencijala

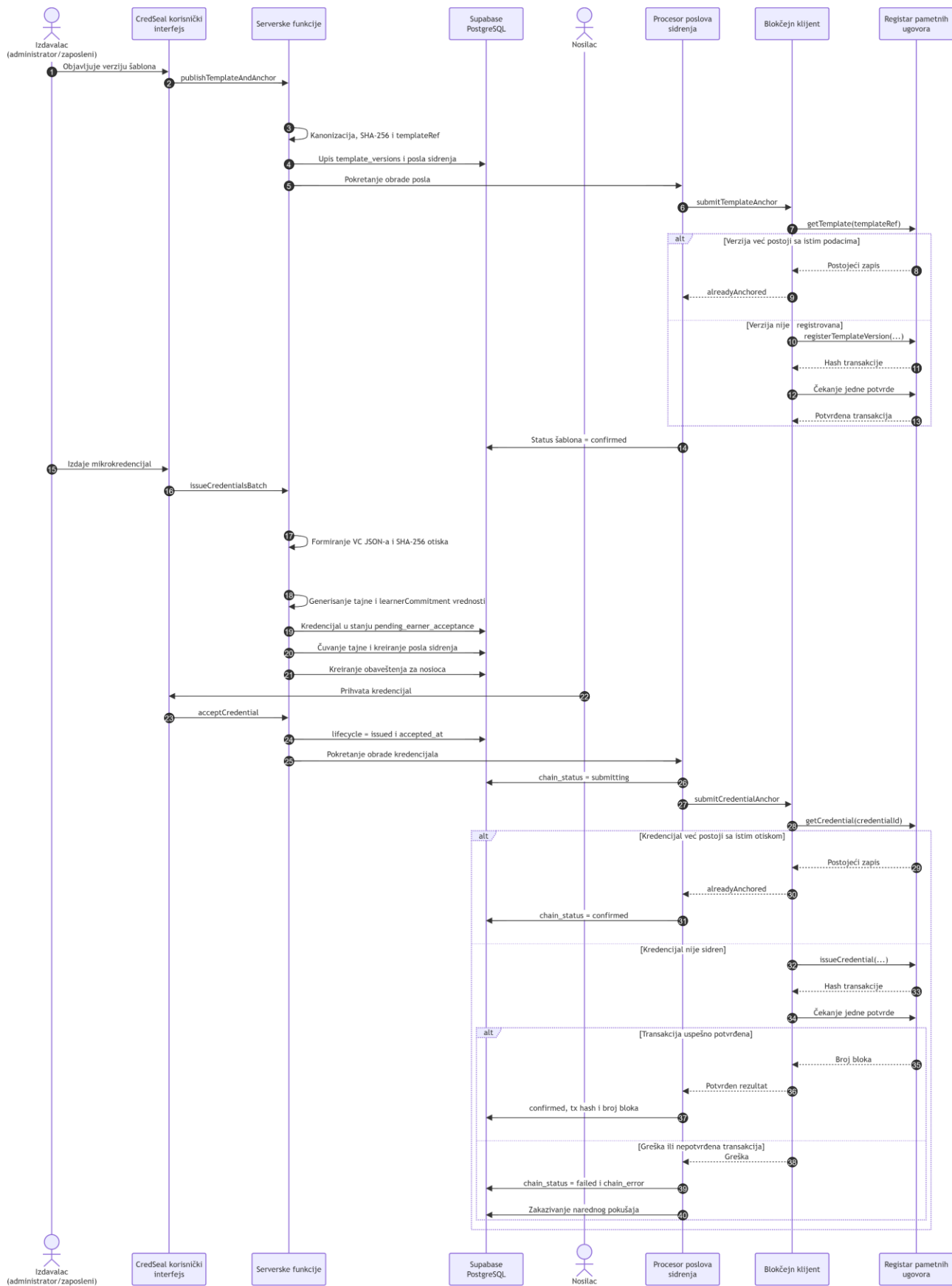
Blokčejn sidrenje započinje objavljivanjem verzije šablona. Aplikacija formira kanonizovani sadržaj, izračunava `documentHash` i `templateRef`, čuva nepromenljivi zapis u tabeli `template_versions` i kreira posao (eng. *job*) za blokčejn sidrenje. Procesor zatim poziva funkciju `registerTemplateVersion` pametnog ugovora `TemplateRegistry`. Pre slanja transakcije proverava se da li zapis sa istim `templateRef` već postoji. Ukoliko postojeći zapis sadrži isti otisak i istog izdavaoca, proces se smatra uspešno završenim bez slanja nove transakcije. Ukoliko je za isti ključ pronađen drugačiji sadržaj, obrada se prekida greškom.

Izdavanje kredencijala u aplikaciji i njegovo blokčejn sidrenje predstavljaju odvojene operacije. Prilikom izdavanja formira se VC zapis, izračunavaju `documentHash`, `templateRef` i `learnerCommitment`, a kredencijal se čuva u bazi. Istovremeno se kreira odgovarajući posao sidrenja. Kada kredencijal zahteva potvrdu nosioca, blokčejn sidrenje se aktivira tek nakon prihvatanja. Odbijeni kredencijal se ne upisuje na blokčejn mrežu.

Pre slanja transakcije procesor proverava:

- da li je verzija šablona prethodno potvrđena na blokčejnu;
- da li je nalog ovlašćen za izdavanje;
- da li kredencijal već postoji u ugovoru;
- da li se postojeći otisak podudara sa lokalnim zapisom.

Ukoliko zapis ne postoji, poziva se funkcija `issueCredential`. Nakon jedne potvrde bloka, u bazi se čuvaju heš transakcije, broj bloka, adresa ugovora, adresa izdavaoca i vreme potvrde.



Ilustracija 30 Dijagram sekvence izdavanja i blokčejn sidrenja mikrokredencijala

Prikazani tok (Ilustracija 30) potvrđuje da blokčejn transakcija ne blokira izdavanje i prihvatanje kredencijala. Eventualni problem sa mrežom menja samo status sidrenja, dok osnovni poslovni zapis ostaje sačuvan u sistemu.

Sidrenje šablona i kredencijala realizovano je asinhrono preko tabela `template_anchor_jobs` i `credential_anchor_jobs`. Red poslova nalazi se u *PostgreSQL* bazi i ne predstavlja poseban softverski servis. Procesor po jednom pokretanju preuzima najviše deset poslova za svaku vrstu entiteta. Obrađuju se poslovi sa statusom `queued` ili `failed`, pod uslovom da broj prethodnih pokušaja nije dostigao pet.

Status posla prolazi kroz sledeća stanja:

`queued → running → done`

ili:

`queued → running → failed`

Status samog blokčejn zapisa detaljnije evidentira faze kao što su čekanje, slanje i potvrda transakcije.

U slučaju greške primenjuje se eksponencijalno povećavanje vremena do narednog pokušaja. Interval se izračunava polazeći od jednog minuta i ograničava na najviše jedan sat. Nakon pet neuspešnih pokušaja posao ostaje u stanju `failed` i zahteva ručno ponovno pokretanje. Sidrenje kredencijala zavisi od prethodno potvrđenog šablona. Ukoliko šablon još nije registrovan, posao za kredencijal se odlaže i ponovo pokušava nakon kraćeg intervala. Nakon uspešnog sidrenja šablona mogu se automatski aktivirati poslovi njegovih nepotvrđenih kredencijala.

Aplikacija podržava ručno pokretanje, ponovno pokušavanje, otkazivanje i dopunjavanje poslova. Međutim, ne postoji automatski zakazani proces koji periodično obrađuje red. Procesor se pokreće iz aplikacionog interfejsa ili serverske funkcije. Pre slanja svake transakcije vrši se čitanje postojećeg stanja pametnog ugovora. Ovim se postiže idempotentnost – ponovljeni zahtev ne proizvodi novu transakciju ukoliko je identičan zapis već potvrđen na lancu.

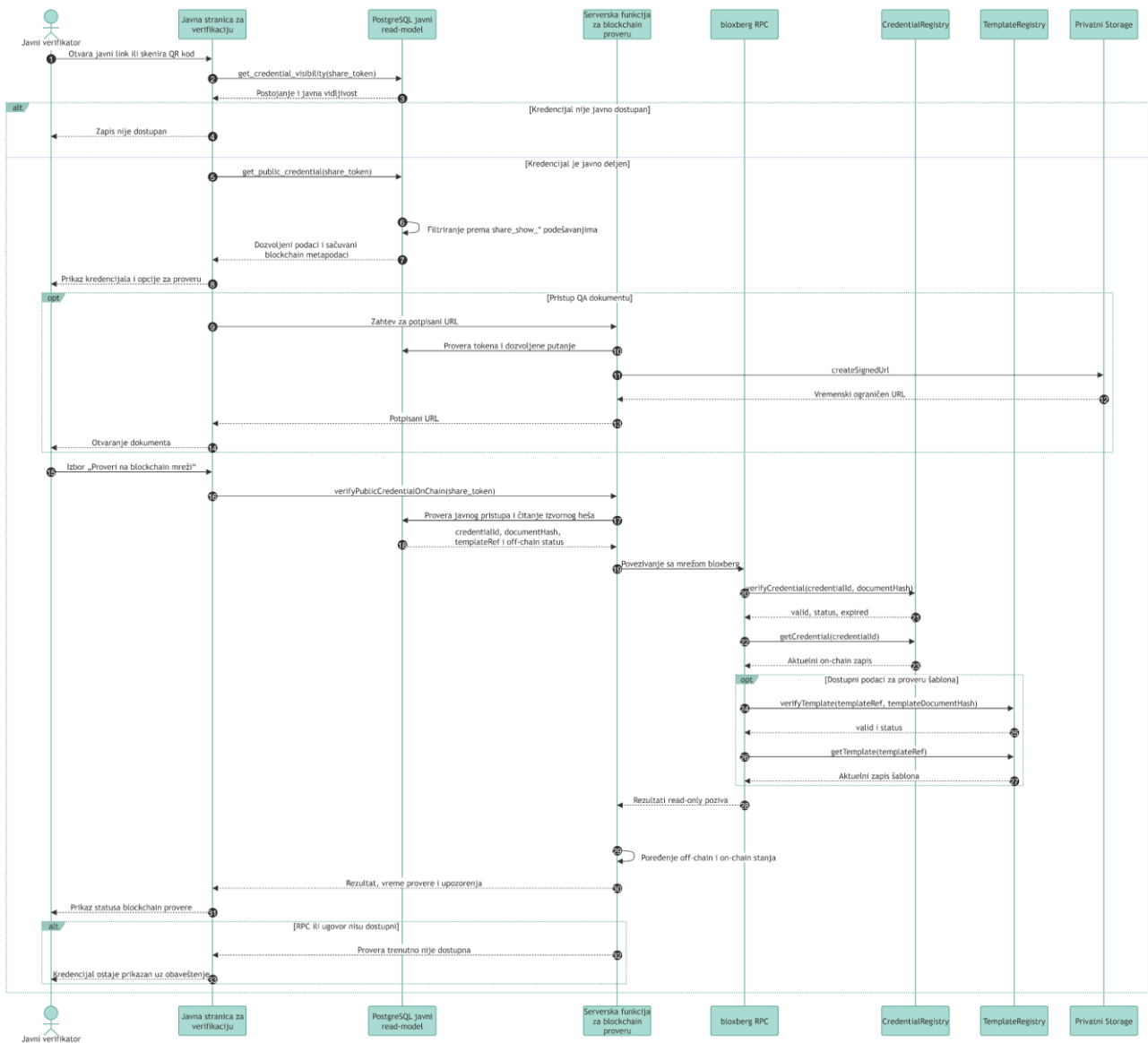
Greške se evidentiraju i uz osnovni entitet i uz posao sidrenja. Posebno se čuvaju broj pokušaja, poslednja greška, vreme pokušaja i vreme naredne obrade. Prilagođene greške pametnih ugovora prevode se u čitljivije poruke, uključujući slučajeve duplikata, nepostojećeg šablona ili nevažeće reference.

5.4.4 Provera, opoziv i ograničenja implementacije

Pametni ugovori implementiraju funkcije `verifyTemplate` i `verifyCredential`, koje omogućavaju poređenje predstavljenog otiska sa zapisom u ugovoru (Ilustracija 31). Funkcija `verifyCredential` dodatno vraća status kredencijala i informaciju o isteku roka važenja. Javna stranica platforme CredSeal najpre prikazuje podatke o kredencijalu koji su dostupni kroz javni *off-chain* model podataka. Neposredna provera blokčejn zapisa ne izvršava se automatski pri otvaranju stranice, već je verifikator pokreće izborom opcije „Proveri na blokčejn mreži“. Ovim se izbegavaju nepotrebni RPC pozivi pri svakom otvaranju javnog linka, dok se verifikatoru omogućava da u trenutku potrebe proveri aktuelno stanje pametnog ugovora. Nakon pokretanja provere, aplikacioni server izvršava *read-only* pozive funkcijama `verifyCredential` i `getCredential`. Na osnovu dobijenog rezultata proveravaju se:

- postojanje kredencijala na blokčejn mreži;
- podudarnost kriptografskog otiska;
- aktuelni *on-chain* status;
- istek roka važenja;
- referenca povezane verzije šablona;
- podudarnost *off-chain* i *on-chain* stanja.

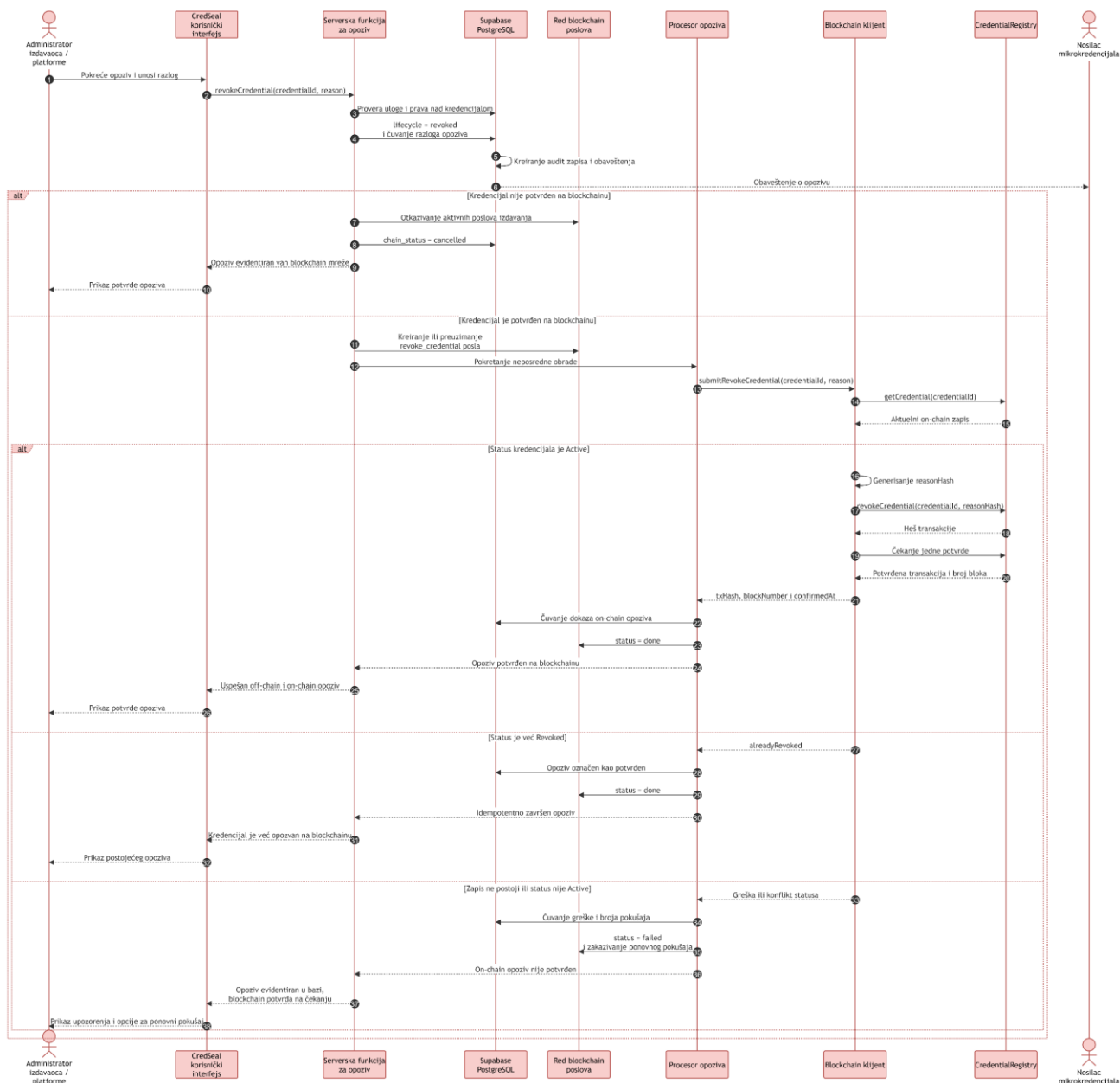
Kada su dostupni potrebni podaci o šablonu, analogna provera izvršava se pozivima funkcija `verifyTemplate` i `getTemplate`. Rezultat se prikazuje zajedno sa vremenom provere, identifikatorom mreže, adresom ugovora, adresom blokčejn naloga izdavaoca i eventualnim upozorenjima o neusaglašenosti podataka. Provera se izvršava preko serverskog JSON-RPC poziva i ne zahteva privatni ključ niti blokčejn transakciju, jer su korišćene funkcije tipa `view`. Ukoliko RPC čvor nije dostupan ili ugovor nije pravilno konfigurisan, javni prikaz kredencijala ostaje dostupan, dok se korisniku prikazuje obaveštenje da neposredna blokčejn provera trenutno nije mogla biti izvršena.



Ilustracija 31 Dijagram sekvenci procesa provere i verifikacije mikrokredencijala

Pametni ugovor `CredentialRegistry` podržava opoziv funkcijom `revokeCredential` (Ilustracija 32). Opoziv kredencijala realizovan je i u *off-chain* i u *on-chain* sloju (). Nakon što ovlašćeni korisnik opozove kredencijal, promena se najpre evidentira u bazi, a zatim se za prethodno sidren kredencijal pokreće poseban posao tipa `revoke_credential`. Procesor ovog posla izvršava prethodno čitanje zapisa iz ugovora i poziva funkciju `revokeCredential` samo kada je kredencijal pronađen i ima status `Active`. Ukoliko je zapis već opozvan, operacija se smatra uspešno završenom, čime je obezbeđena idempotentnost. Za obradu opoziva koristi se zaseban tok, odvojen od izdavanja i zamene kredencijala, tako da poslovi `revoke_credential` i `supersede_credential` ne prolaze kroz logiku funkcije `issueCredential`. U slučaju privremene nedostupnosti mreže ili neuspešne transakcije, opoziv ostaje evidentiran u bazi, dok se *on-chain* operacija zadržava u redu i može biti ponovljena. Nakon potvrde transakcije čuvaju se heš transakcije, broj bloka i vreme potvrde, a javna verifikacija prikazuje usklađen *off-chain* i *on-chain* status.

Obnova kredencijala realizovana je izdavanjem novog zamenskog kredencijala, umesto izmenom postojećeg zapisa. Novi kredencijal dobija sopstveni identifikator, kriptografski otisak, *commitment* vrednost nosioca i ažurirani rok važenja, nakon čega se sidri na blokčejn mreži. Tek nakon uspešne potvrde novog zapisa poziva se funkcija `supersedeCredential`, kojom se originalni kredencijal označava statusom `Superseded`. Na taj način čuva se nepromenljivost istorijskih zapisa i uspostavlja proverljiva veza između originalnog i zamenskog kredencijala.



Ilustracija 32 Dijagram sekvenci procesa opoziva mikrokredencijala

Ukoliko originalni kredencijal nije bio sidren na blokčejn mreži, zamena se evidentira samo u *off-chain* sloju. Proces obnove podržava idempotentno izvršavanje i ponovno pokretanje nakon greške, čime se sprečava kreiranje duplih zamenskih kredencijala i omogućava nastavak neuspešno završenog procesa. Na javnoj stranici originalnog kredencijala prikazuje se informacija da je kredencijal zamenjen, uz vezu ka novom kredencijalu kada je on javno dostupan.

Najvažnija ograničenja implementiranog blokčejn sloja su:

- obrada reda poslova nema automatski zakazano izvršavanje;
- nakon prve potvrde bloka ne vrši se dodatna provera dubine potvrde;
- dostupnost manuelne verifikacije zavisi od dostupnosti Bloksberg RPC čvora.

Uprkos navedenim ograničenjima, implementirani blokčejn sloj omogućava registraciju nepromenljivih otisaka objavljenih šablona i prihvaćenih kredencijala, uz zaštitu ličnih i obrazovnih podataka izvan javnog lanca. Time se realizuje osnovni cilj prototipa: dodavanje decentralizovanog sloja integriteta i proverljivosti postojećem informacionom sistemu za upravljanje mikrokredencijalima.

5.5 Razvoj decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrokredencijalima

Na osnovu prethodno definisane arhitekture razvijen je sistem CredSeal za upravljanje životnim ciklusom mikrokredencijala, kompetencijama i povezanim dokazima. Sistem je realizovan kao hibridno rešenje u kome se aplikaciona logika, korisnički podaci, dokumenti i operativna stanja čuvaju u centralizovanom okruženju, dok se blokčejn koristi kao decentralizovani sloj integriteta, potvrde kredencijala i proverljivosti.

Aplikacija podržava upravljanje šablonima, izdavanje i prihvatanje kredencijala, javno deljenje, proveru, opoziv, obnovu i vođenje revizionog traga. Istovremeno, podaci koji mogu neposredno identifikovati nosioca ne upisuju se na blokčejn mrežu. Na lancu se čuvaju samo kriptografski otisci, reference šablona, *commitment* vrednosti, statusi i ograničeni podaci o izdavaocu.

CredSeal je razvijen kao veb-aplikacija zasnovana na *React* i *TanStack Start* okruženju. Klijentski sloj koristi *TanStack Router* za rutiranje, *TanStack Query* za upravljanje asinhronim podacima, *Tailwind CSS* i *shadcn/ui* za realizaciju korisničkog interfejsa. Aplikacioni server izvršava se u *Cloudflare Workers* okruženju uz *nodejs_compat* režim. Serverska logika organizovana je kroz dve osnovne kategorije modula:

- `*.functions.ts`, koji predstavljaju tanke omotače zasnovane na `createServerFn` (Slika 4);
- `*.server.ts`, koji sadrže serversku poslovnu logiku i nisu dostupni klijentskom sloju.

Ovakva podela omogućava jasno razdvajanje izvršavanja u pregledaču i na serveru. Klijentske komponente pozivaju isključivo serverske funkcije, dok pristup privilegovanim *Supabase* klijentima, privatnim ključevima, blokčejn provajderima i internim podacima ostaje ograničen na serverske module.

```
import { createServerFn } from "@tanstack/react-start";

export const verifyPublicCredentialOnChain = createServerFn({ method: "POST" })
  .inputValidator((d: { shareToken: string }) => {
    if (!d || typeof d.shareToken !== "string" || d.shareToken.length < 6) {
      throw new Error("Invalid input");
    }
    return { shareToken: d.shareToken };
  })
  .handler(async ({ data }) => {
    const { runPublicChainVerification } = await import("./verify-public.server");
    return runPublicChainVerification(data.shareToken);
  });
```

Slika 4 Prikaz delova koda serverske strane - `createServerFn`

Glavna blokčejn orkestracija realizovana je u modulu `anchor.functions.ts`, koji objedinjuje serverske funkcije za objavljivanje šablona, izdavanje, prihvatanje, opoziv, obnovu i obradu reda poslova. Komunikacija nižeg nivoa sa Bloksberg mrežom smeštena je u modul `bloxberg.server.ts`, dok se pojedinačne vrste poslova obrađuju kroz namenski procesor u `worker.server.ts`. Obnova kredencijala izdvojena je u zaseban modul `renewal.server.ts`, a javna *on-chain* provera u module `verify-public.server.ts` i `verify-read.server.ts`.

Podaci se čuvaju u *PostgreSQL* bazi u okviru *Supabase* platforme. Pored osnovne perzistencije, baza izvršava deo autorizacije, generisanje obaveštenja, usklađivanje statusa i vođenje revizionog traga. *Supabase* Storage koristi se za privatno čuvanje dokumentacije o kvalitetu i akreditaciji.

Komunikacija između glavnih komponenti može se predstaviti sledećim tokom:

korisnički interfejs → serverska funkcija → baza i skladište → blokčejn procesor
→ bloxberg RPC → pametni ugovor

Integracija komponenti realizovana je kroz jasno razdvojene modula klijentskog, serverskog, blokčejn i sloja podataka. Korisnički interfejs ne pristupa neposredno bazi podataka, privilegovanim ključevima niti pametnim ugovorima, već poziva serverske funkcije definisane pomoću mehanizma `createServerFn`.

One validiraju ulazne podatke i prosleđuju zahtev odgovarajućim serverskim (eng. *server-only*) modulima, u kojima se izvršavaju poslovna logika, pristup bazi, generisanje kriptografskih vrednosti i komunikacija sa blokčejn mrežom. Operacije u sistemu mogu biti sinhronne i asinhronne. Sinhronne operacije obuhvataju autentifikaciju, čitanje i izmenu podataka u bazi, upravljanje javnim prikazom i generisanje dokaznih paketa. Blokčejn upisi se evidentiraju kroz posebne zapise i redove poslova, čime se poslovna operacija odvaja od dostupnosti mreže i omogućava ponovno izvršavanje nakon privremenih grešaka.

U komunikaciji sa blokčejn slojem koriste se dva načina pristupa. Transakcije koje menjaju stanje pametnih ugovora izvršavaju se serverski, korišćenjem sistemskog novčanika i privatnog ključa. Nasuprot tome, javna verifikacija koristi isključivo RPC pozive za čitanje (eng. *read-only*) preko `JsonRpcProvider` objekta, bez novčanika, privatnog ključa i slanja transakcije. Rezultati blokčejn operacija, uključujući status, heš transakcije, broj bloka i greške, vraćaju se u sloj podataka i koriste u korisničkim portalima, javnoj verifikaciji i revizionom tragu. Na taj način aplikacioni i blokčejn sloj nisu nezavisni sistemi, već povezane komponente jedinstvenog životnog ciklusa mikrokredencijala.

5.5.1 Autentifikacija i upravljanje korisničkim ulogama

Autentifikacija korisnika realizovana je korišćenjem *Supabase* Auth servisa. Prilikom poziva serverske funkcije, *middleware* `requireSupabaseAuth` proverava pristupni token i u kontekst poziva dodaje identitet korisnika, njegove `claim` podatke i *Supabase* klijent koji poštuje RLS politike.

Uloge se ne čuvaju direktno u profilu, već u zasebnoj tabeli `user_roles`, koja povezuje korisnika, ulogu i organizaciju. Sistem podržava sledeće uloge:

- administrator platforme;
- administrator izdavaoca;
- zaposleni izdavaoca;
- nosilac mikrokredencijala;
- verifikator.

Anonimni posetilac može imati ulogu javnog verifikatora bez kreiranja naloga, ali samo kroz javno dostupne rute i ograničene SQL funkcije.

Autorizacija se sprovodi na tri nivoa:

- kroz RLS politike baze (Tabela 31);
- kroz `SECURITY DEFINER` funkcije za proveru uloga i pripadnosti organizaciji;
- kroz eksplicitne provere u serverskim funkcijama.

Za privilegovane operacije može se koristiti *Supabase service-role* klijent, ali tek nakon što je pozivalac prethodno autorizovan. Time se sprečava da samo posedovanje serverskog poziva bude dovoljno za zaobilazanje kontrole pristupa. Sistem podržava i višestruke uloge istog korisnika. Na primer, korisnik može u istoj instituciji istovremeno biti administrator i zaposleni izdavaoca. Klijentski sloj agregira sve uloge i bira primarnu prema definisanom prioritetu.

Tabela 31 RLS politike baze podataka

Grupa podataka	Operacije	Dozvoljeni pristup	Osnovni mehanizam izolacije
<code>profiles</code>	SELECT, INSERT, UPDATE	vlasnik profila, administrator platforme i povezano osoblje izdavaoca	<code>auth.uid()</code> i funkcija <code>can_view_profile</code>
<code>user_roles</code>	SELECT, INSERT, DELETE	vlasnik naloga, administrator platforme i administrator institucije	identitet korisnika i pripadnost organizaciji
<code>organizations</code>	SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE	javni pregled; izmene administratora platforme ili institucije	<code>is_platform_admin</code> i <code>has_role_in_org</code>

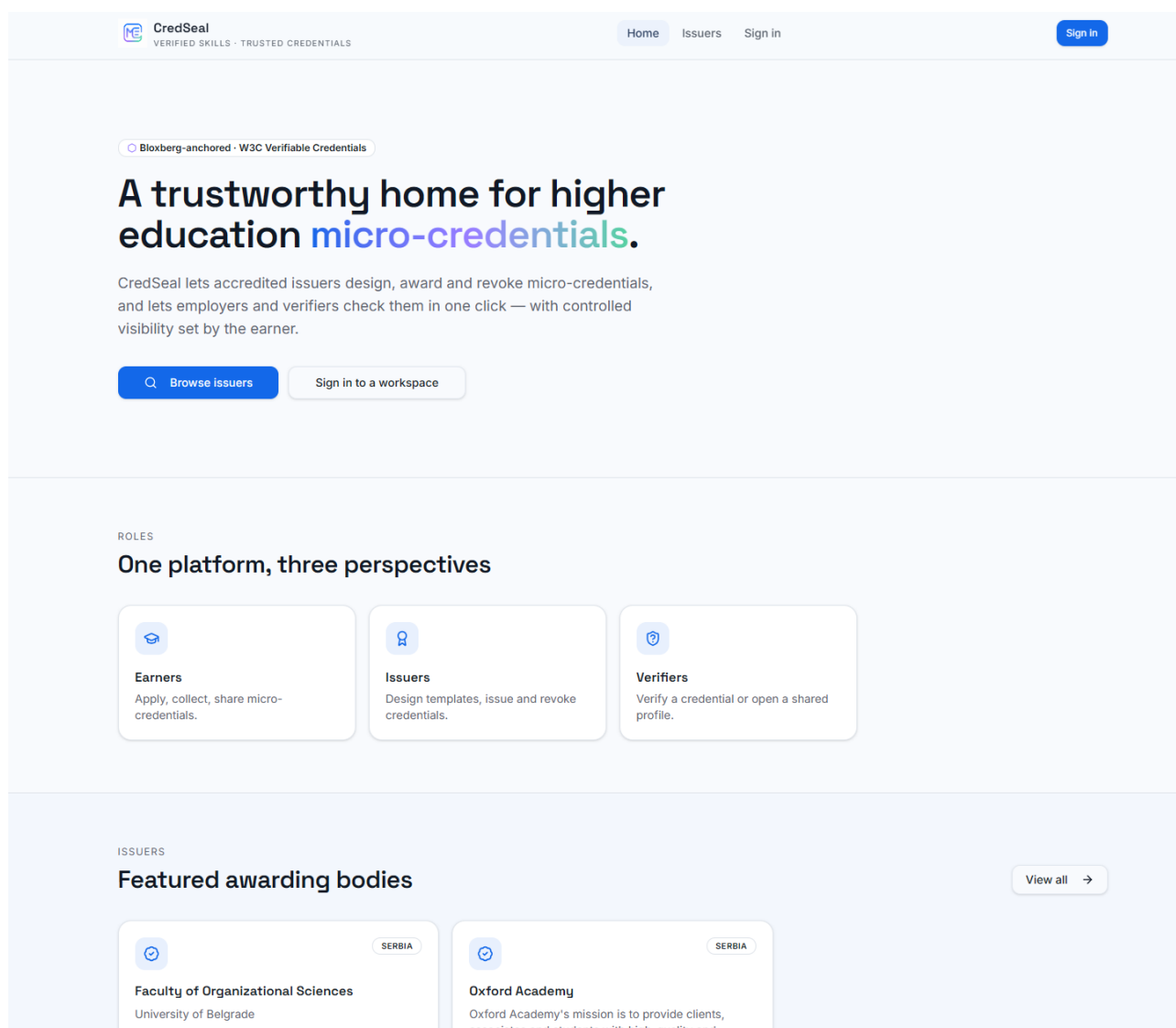
Grupa podataka	Operacije	Dozvoljeni pristup	Osnovni mehanizam izolacije
templates	SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE	javni pregled; izmene administratora izdavaoca	issuer_id i članstvo u organizaciji
template_versions	SELECT, INSERT	administrator izdavaoca, dodeljeni zaposleni i administrator platforme	veza sa organizacijom šablona i is_template_assignee
applications	SELECT, INSERT, UPDATE	nosilac prijave, administrator izdavaoca, dodeljeni zaposleni i administrator platforme	vlasništvo nad prijavom i issuer_id
credentials	SELECT, INSERT, UPDATE	nosilac, izdavalac, dodeljeni zaposleni i administrator platforme	earner_id, issuer_id i template_id
credential_secrets	SELECT	isključivo nosilac povezanog kredencijala	korelisana provera vlasništva nad kredencijalom
earner_institutions	SELECT, INSERT, DELETE	nosilac i osoblje povezane institucije	organization_id
Blokčejn zapisi	SELECT, INSERT, UPDATE	javni pregled tehničkih dokaza; izmene samo ovlašćenog izdavaoca	javno čitanje heševa i transakcija, organizaciona kontrola upisa
Blokčejn poslovi	SELECT, INSERT, UPDATE	administrator platforme, administrator izdavaoca i dodeljeni zaposleni	organizacija šablona ili kredencijala
credential_renewals	SELECT	članovi institucije izdavaoca i administrator platforme	is_org_member i issuer_id
Obaveštenja	SELECT, UPDATE	konkretni korisnik ili korisnici određene uloge u instituciji	for_user_id, for_role i for_org_id
Revizioni i sistemski zapisi	SELECT	administrator platforme	is_platform_admin
Čuvanje dokumenta	SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE	čitanje prema politici <i>bucket-a</i> ; izmene administratora institucije	putanja sa identifikatorom organizacije

Politike pristupa oslanjaju se na identitet autentifikovanog korisnika, pripadnost organizaciji i poslovnu vezu sa konkretnim zapisom. Složenije provere izdvojene su u SECURITY DEFINER funkcije, kao što su has_role_in_org, is_template_assignee, can_access_application i can_view_profile. Na taj način se izolacija podataka sprovodi neposredno na nivou baze, nezavisno od kontrola u korisničkom interfejsu i aplikacionom serveru.

Posebna pažnja posvećena je izolaciji institucija. Pristup profilima i podacima drugih korisnika dozvoljen je samo kada postoji opravdana veza kroz instituciju, prijavu ili izdati kredencijal. Na sličan način ograničen je i pristup redu blokčejn poslova, tako da korisnik može obrađivati samo poslove institucija kojima pripada.

5.5.2 Implementacija korisničkih portala

Korisnički interfejs organizovan je kroz javne i ulogom zaštićene rute. Putem javnih ruta korisnik može doći do počne strane (Slika 5) i strane za logovanje, kao i stranice nosioca ukoliko nosilac podeli svoje kredencijale i lični profil. Aplikacija sadrži posebne funkcionalne celine za administraciju platforme, rad izdavaoca, rad nosioca i javnu proveru.

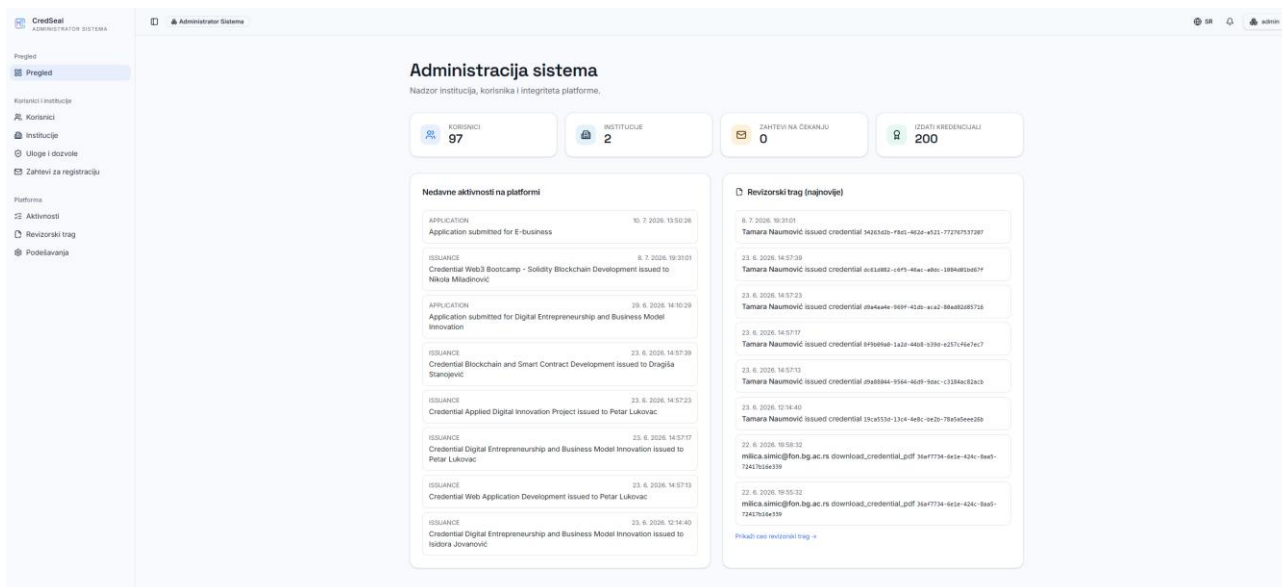


Slika 5 CredSeal platforma - Početna stranica

Portal administratora platforme

Administrator platforme upravlja institucijama, korisnicima i globalnim postavkama sistema (Slika 6). Ova uloga ima pristup pregledima organizacija, članstava, sistemskih događaja i širem revizionom tragu.

Administratorske operacije izvršavaju se kroz serverske funkcije koje nakon provere uloge koriste privilegovani pristup bazi. Administrator platforme može pregledati i poslove blokčejn reda svih institucija.



Slika 6 CredSeal platforma | Portal administratora platforme – Kontrolna tabla

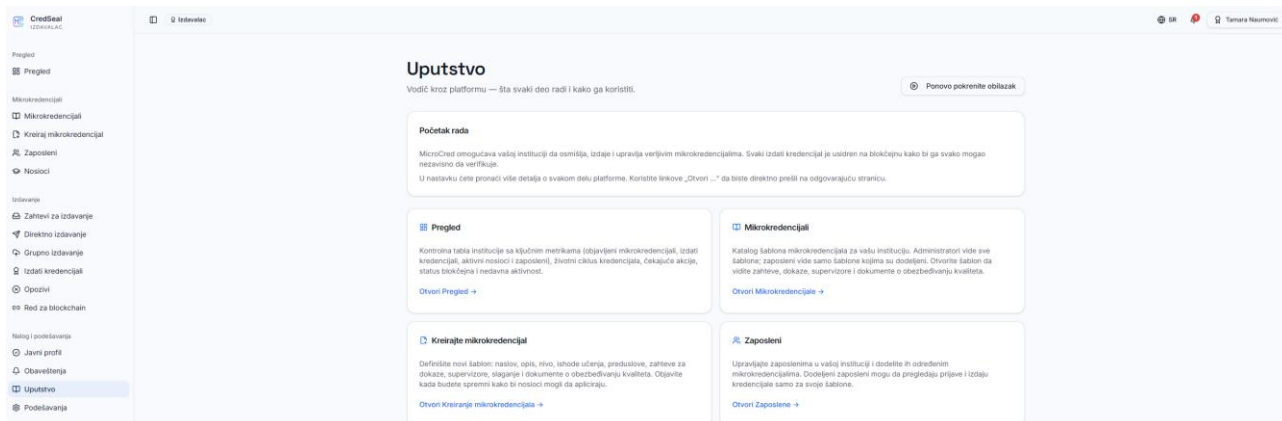
Portal izdavaoca

Portal izdavaoca namenjen je administratorima i zaposlenima institucije. Njegove ključne funkcije obuhvataju:

- pregled kontrolne table institucije
- kreiranje i upravljanje šablonima mikrokredencijala;
- objavljivanje verzija šablona;
- dodavanje dokumenata o kvalitetu i akreditaciji;
- pojedinačno i grupno izdavanje kredencijala;
- pregled prijave nosilaca;
- opoziv i obnovu kredencijala;
- pregled statusa blokčejn sidrenja;
- ručno pokretanje i ponavljanje poslova.

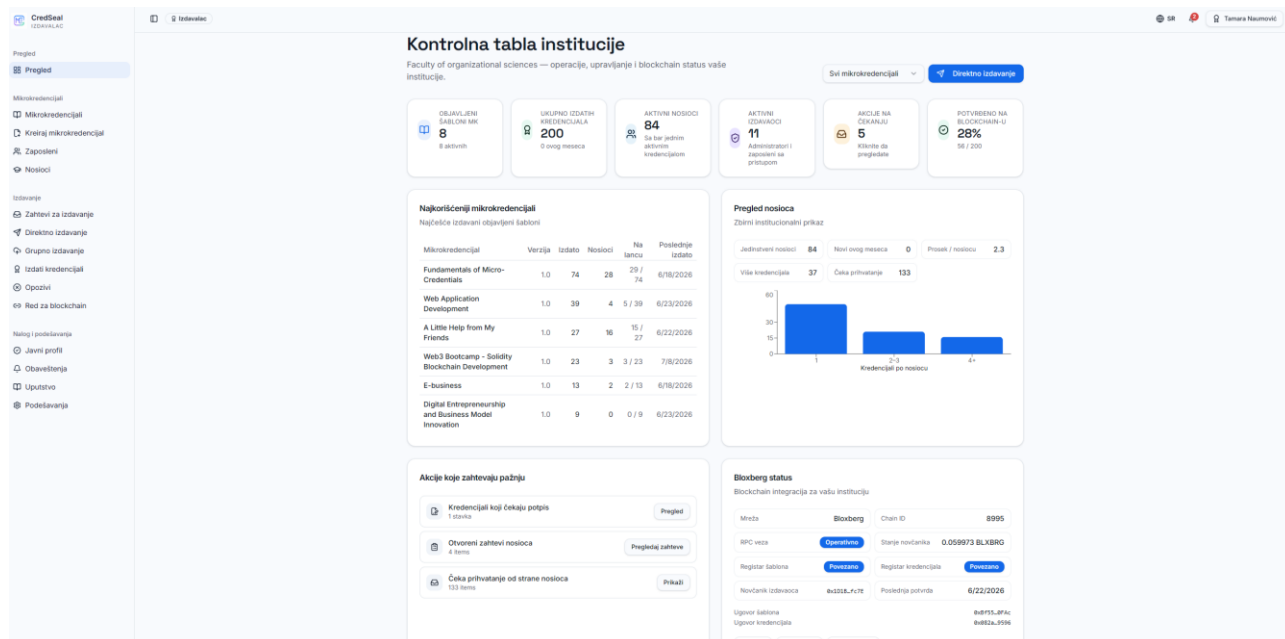
Administrator izdavaoca ima šira prava od zaposlenog. Zaposleni može raditi samo sa šablonima i procesima koji su mu dodeljeni, dok administrator ima mogućnost upravljanja šablonima, upravljanja korisnicima, upravljanja institucijom, upravljanja opozivima i blokčejn sidrenjem.

Prilikom prvog logovanja na sistem, korisniku se prikazuje „vodič za obilazak“ platforme, ukazujući na ključne akcije i aktivnosti na platformi. Korisnik u svakom momentu može pristupiti vodiču i uputstvu kroz glavni meni platforme (Slika 7).



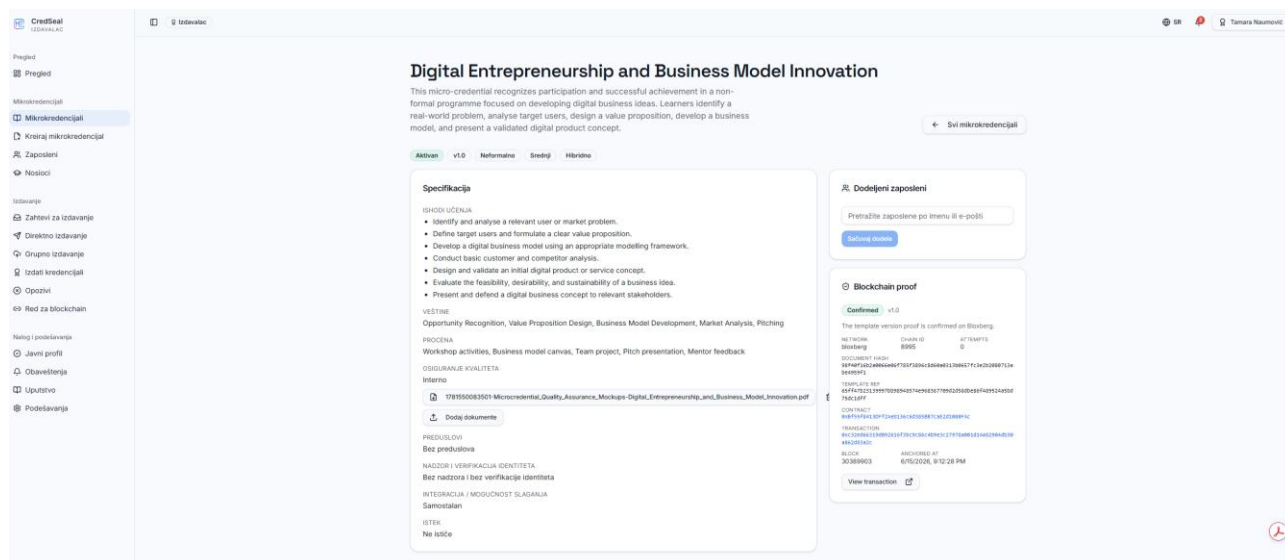
Slika 7 CredSeal platforma | Portal izdavaoca - Stranica za uputstvo za korišćenje platforme

Kontrolna tabla (Slika 8) dostupna je za sve korisnike institucije i prikazuje osnovne statističke informacije o stanju institucije na platformi, kao i operativne informacije o radu Bloksberg mreže, akcijama koje zahtevaju pažnju i aktivnostima zaposlenih unutar institucije.



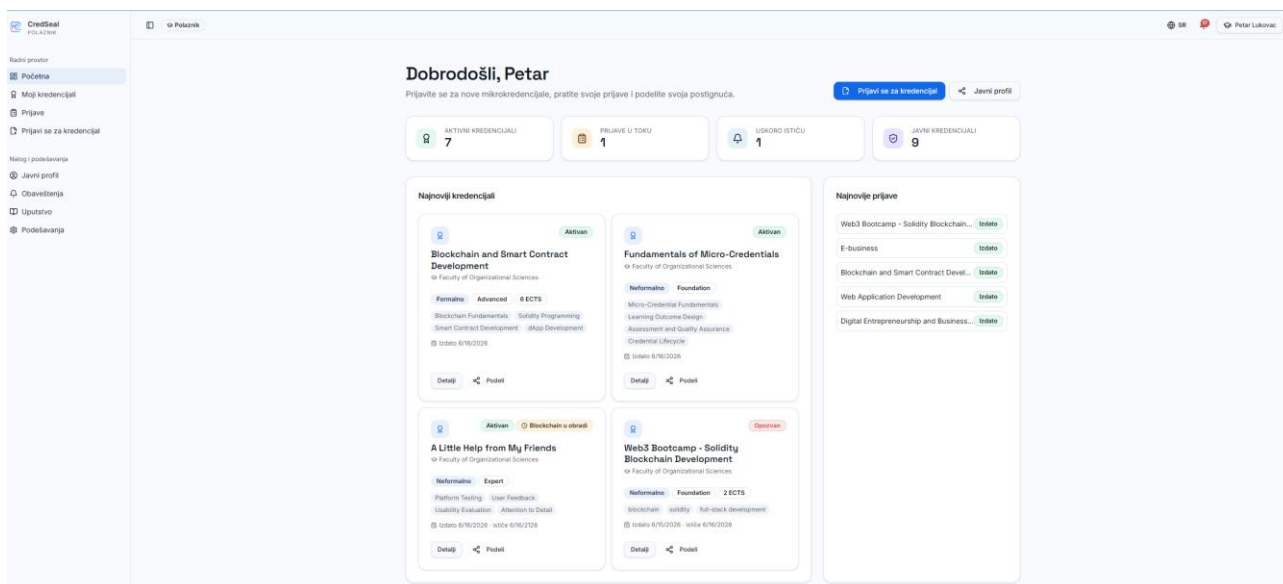
Slika 8 CredSeal platforma | Portal izdavaoca - Prikaz kontrolne table izdavaoca

Stranice za upravljanje šablonima mikrokredencijala omogućavaju njihovu pretragu, filtriranje, prikaz i upravljanje pojedinačnim šablonom (Slika 9), kao i kreiranje novog. Prikaz pojedinačnog šablona omogućava uvid u sve informacije unete prilikom kreiranja šablona, a definisane u poglavlju 4.6. Ova stranica dodatno omogućava dodelu zaposlenih za upravljanje izdavanjem mikrokredencijala nad datim šablonom.



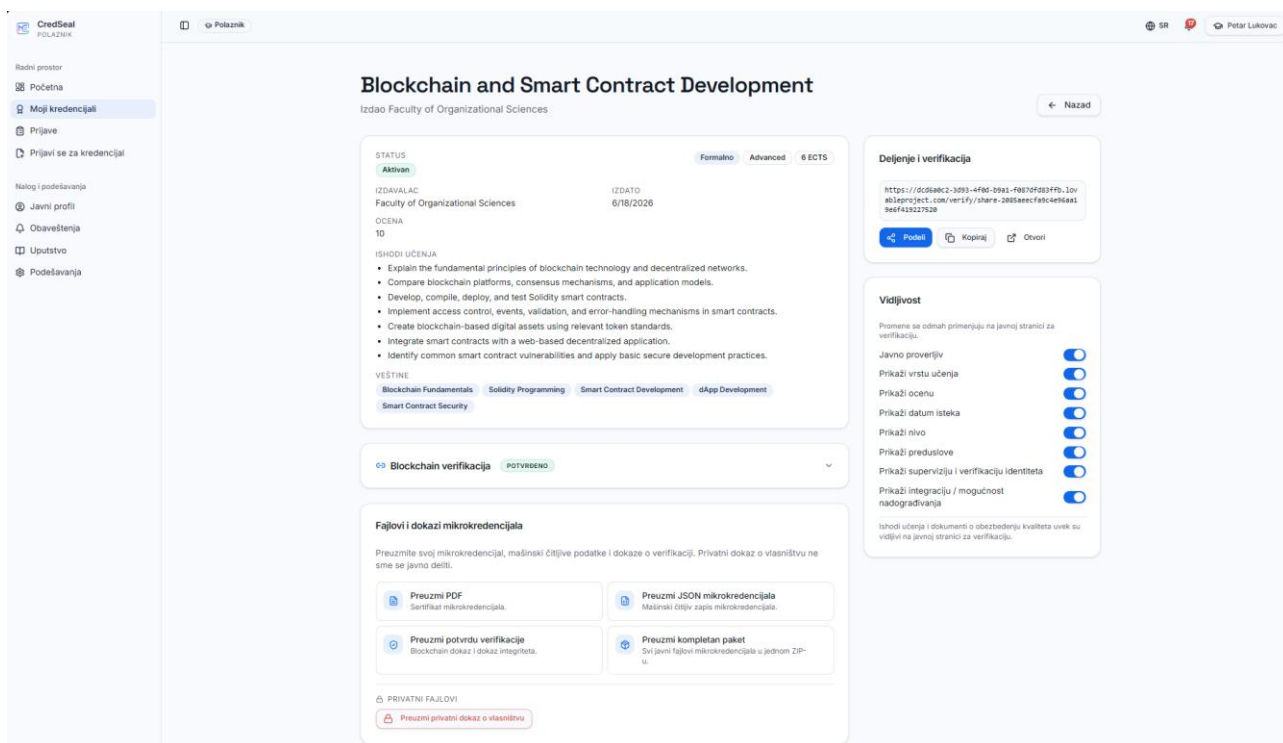
Slika 9 CredSeal platforma | Portal izdavaoca - Prikaz stranice za prikaz i upravljanje pojedinačnim šablonom mikrokredencijala

Stranica za kreiranje šablona mikrokredencijala dozvoljava odabir opcije za registraciju šablona na blokčejn mrežu (Slika 10), pored osnovnih podataka o šablonu. Time se omogućava da šabloni budu dostupni za izdavanje, u slučaju da je blokčejn mreža nedostupna za sidrenje. Sidrenje na blokčejn mrežu može biti urađeno naknadno kroz red za blokčejn.



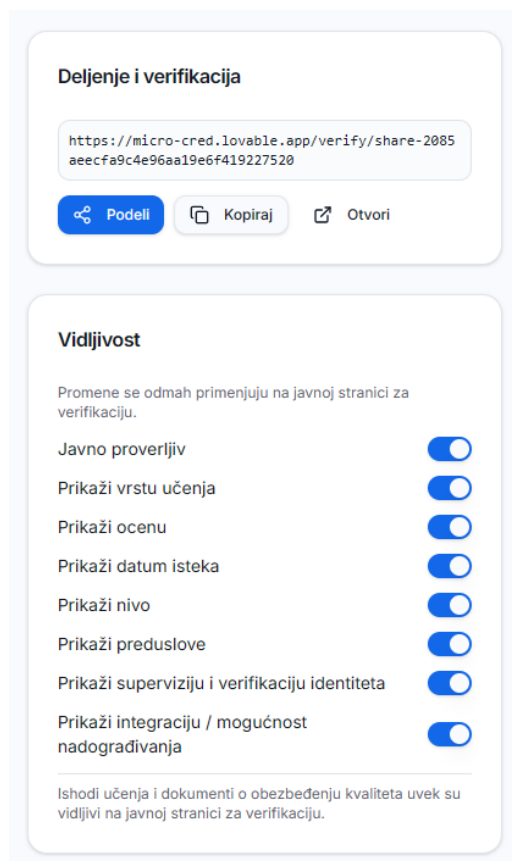
Slika 12 CredSeal platforma | Portal nosioca - Početna stranica

Stranica pojedinačno izdatog mikrokredencijala (Slika 13) pruža informacije o šablonu za koji je mikrokredencijal vezan, informacije o blokčejn verifikaciji, mogućnost preuzimanja digitalnih dokaza o mikrokredencijalu, kao i opcije za upravljanje vidljivošću i deljenjem kredencijala.



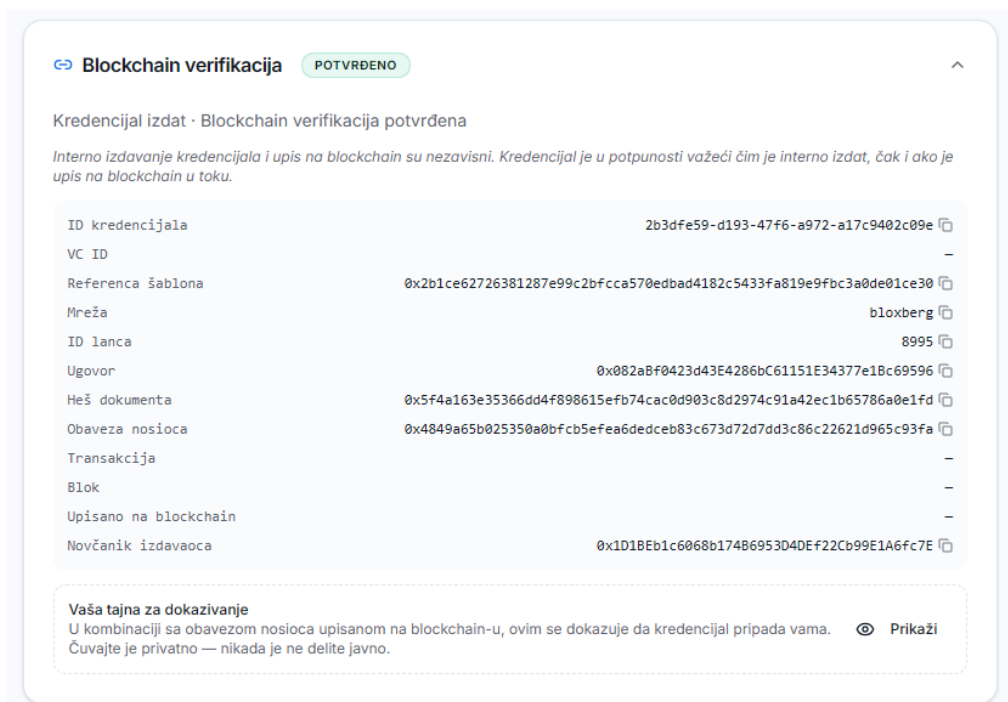
Slika 13 CredSeal platforma | Portal nosioca - Pregled izdatog mikrokredencijala

Vodeći se konceptom ugrađene privatnosti omogućeno je da nosilac može upravljati pristupom različitim informacijama za pojedinačne kredencijale (Slika 14), ali i celom profilu korisnika.



Slika 14 CredSeal platforma | Portal nosioca - Prikaz dela stranice za prikaz izdatog mikrokredencijala - Upravljanje vidljivošću i deljenjem

Dodatno za svaki kredencijal i profil se generiše nasumični heš za URL, tako da je onemogućena namenska pretraga profila nosioca, kao i njihovih kredencijala. Takođe, u okviru sekcije blokčejn verifikacija (Slika 15), nosilac može pristupiti privatnoj tajni koja se koristi za dokazivanje veze sa *commitment* vrednošću, ali isključivo kroz posebno autorizovanu serversku funkciju.



Slika 15 CredSeal platforma | Portal nosioca - Prikaz dela stranice izdatog mikrokredencijala - Blokčejn verifikacija

Javna stranica za verifikaciju

Javna stranica `/verify/$id` koristi `share_token` kao identifikator javno podeljenog kredencijala (Slika 16). Stranica najpre učitava samo podatke dozvoljene javnim podešavanjima. Blokčejn provera ne izvršava se automatski, već je posetilac pokreće manuelno izborom opcije za proveru.

The screenshot shows the CredSeal platform interface for verifying a credential. The header includes the CredSeal logo, navigation links (Home, Issuers, Sign in), and a 'Sign in' button. The main content area displays details for a credential titled 'Blockchain and Smart Contract Development', issued by the 'Faculty of Organizational Sciences'. The credential is marked as 'Active'.

EARNER
Petar Lukovac

LEARNING SOURCE
Formal education

ISSUED
6/18/2026

GRADE
10

LEVEL
Advanced

WORKLOAD
6 ECTS

LEARNING OUTCOMES

- Explain the fundamental principles of blockchain technology and decentralized networks.
- Compare blockchain platforms, consensus mechanisms, and application models.
- Develop, compile, deploy, and test Solidity smart contracts.
- Implement access control, events, validation, and error-handling mechanisms in smart contracts.
- Create blockchain-based digital assets using relevant token standards.
- Integrate smart contracts with a web-based decentralized application.
- Identify common smart contract vulnerabilities and apply basic secure development practices.

SKILLS

- Blockchain Fundamentals
- Solidity Programming
- Smart Contract Development
- dApp Development
- Smart Contract Security

CREDENTIAL DETAILS

QUALITY ASSURANCE
Internal and external

PREREQUISITES
Full-stack development

SUPERVISION & IDENTITY VERIFICATION
Supervised onsite with identity verification

INTEGRATION / STACKABILITY
Stackable towards another credential

QUALITY ASSURANCE DOCUMENTS

1781549975110-Microcredential_Quality_Assurance_Mockups-Bloc... [Download](#)

Blockchain verification **CONFIRMED**

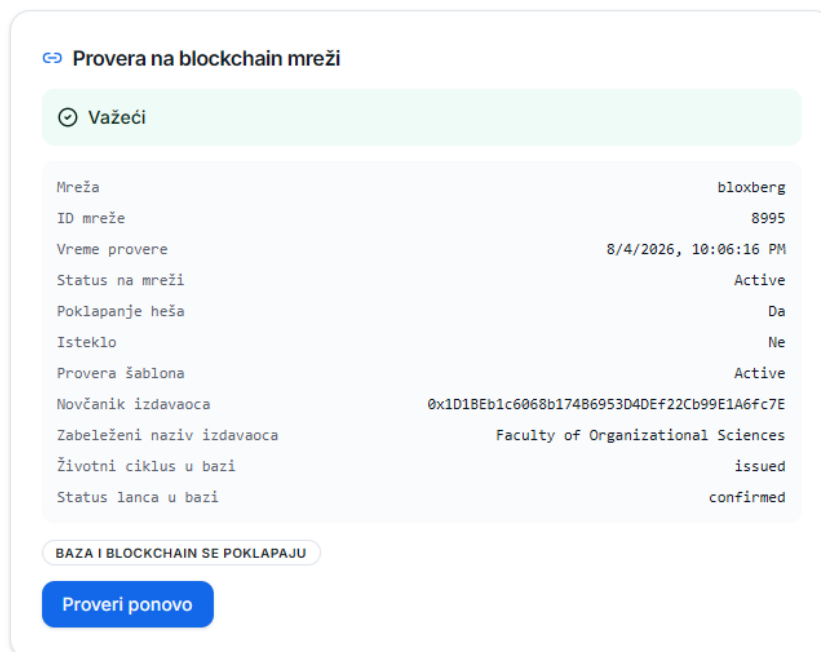
Blockchain verification

Live blockchain verification has not been performed yet.

[Verify on blockchain](#)

Slika 16 CredSeal platforma | Verifikacija - Javna stranica podeljenog mikrokredencijala

Nakon klika (Slika 17), serverska funkcija izvršava `read-only` pozive funkcijama `verifyCredential`, `getCredential`, `verifyTemplate` i `getTemplate`. Rezultat prikazuje stanje na blokčeju, podudarnost heša, status, istek i eventualna odstupanja u odnosu na bazu.



Slika 17 CredSeal platforma | Verifikacija - Provera mikrokredencijala i potvrda na blokčejn mreži

5.5.3 Tehnička realizacija zaštite podataka i javnog pristupa

Zaštita podataka u sistemu CredSeal nije ograničena na kontrole korisničkog interfejsa, već je realizovana kombinacijom modela podataka, RLS politika, serverske autorizacije i ograničenih javnih funkcija. Na taj način se pravila pristupa primenjuju nezavisno od klijentske aplikacije i neposredno na nivou baze i serverske logike.

Javno deljenje kredencijala kontroliše se poljem `share_is_public`, dok se prikaz pojedinačnih kategorija podataka određuje dodatnim `share_show_*` atributima. Ova podešavanja ne utiču samo na vizuelni prikaz, već i na sadržaj odgovora koji se formira za anonimnog korisnika. Javni podaci učitavaju se kroz ograničene SECURITY DEFINER funkcije `get_public_credential` i `get_public_profile`, koje proveravaju token za deljenje i iz odgovora isključuju attribute za koje nosilac nije omogućio prikaz. Anonimni verifikator zato ne pristupa neposredno internom zapisu kredencijala. Javni token predstavlja tehnički identifikator deljene stranice i nije jednak internom identifikatoru kredencijala. Pristup javnom sadržaju dozvoljen je samo kada je deljenje aktivno, dok se interni podaci, kao što su puni VC sadržaj, kanonizovani zapis, identifikator nosioca i njegova tajna, ne vraćaju kroz javne funkcije.

Manuelna blokčejn verifikacija takođe je odvojena od početnog učitavanja stranice. Tek nakon zahteva korisnika serverska funkcija učitava tehnička polja kredencijala, proverava da li je kredencijal javno podeljen i izvršava čitajuće RPC pozive prema Bloksberg mreži. Za proveru se koristi izvorno sačuvani heš kredencijala, a ne sadržaj javnog prikaza, jer on može sadržati samo izabrani podskup atributa. Ovaj postupak ne zahteva privatni ključ niti slanje blokčejn transakcije. Slučajna tajna nosioca čuva se van lanca, u zasebnoj tabeli `credential_secrets`. RLS politika dozvoljava pristup samo autentifikovanom nosiocu povezanog kredencijala, dok izdavaoci i administratori nemaju direktan pristup ovoj vrednosti. Na blokčejn mreži čuva se samo izvedena *commitment* vrednost, koja bez dodatnih ulaznih podataka ne omogućava neposredno određivanje identiteta nosioca.

Pristup ostalim internim podacima uređuje se kombinacijom RLS politika i pomoćnih funkcija, kao što su `has_role_in_org`, `is_template_assignee`, `can_access_application` i `can_view_profile`. Time se pristup ograničava prema identitetu korisnika, njegovoj ulozi, pripadnosti organizaciji i poslovnoj vezi sa konkretnim zapisom. Posebno je značajno da osoblje izdavaoca ne može pregledati profile korisnika drugih institucija ukoliko ne postoji odgovarajuća veza kroz članstvo, prijavu ili izdati kredencijal.

Dokumentacija i dokazni paketi takođe se obrađuju serverski. Dok se dokumenti o kvalitetu i akreditaciji čuvaju u privatnim *Storage bucket*-ima, dokazni paketi generišu se na zahtev ovlašćenog korisnika. Pre njihovog formiranja proveravaju se pravo pristupa i integritet sačuvanog sadržaja, a preuzimanje se evidentira u revizionom tragu.

Opisani pristup omogućava razdvajanje tri kategorije podataka: internih podataka dostupnih ovlašćenim korisnicima, javno podeljenih atributa i tehničkih blokčejn dokaza. Time se postiže da blokčejn ostane sloj integriteta i proverljivosti, bez izlaganja kompletnog sadržaja kredencijala i podataka o nosiocu.

5.5.4 Ograničenja implementiranog aplikacionog sloja

Iako su ključne funkcionalnosti sistema povezane sa blokčejn slojem, implementirani prototip zadržava određena tehnička ograničenja.

- Red blokčejn poslova nema autonomni planer, već njegovu obradu pokreće ovlašćeni korisnik kroz aplikacioni interfejs. Zbog toga posao koji je odložen nakon neuspešnog pokušaja neće nužno biti ponovo obrađen bez naknadne aktivnosti korisnika. Jedini automatski zakazani proces u sistemu odnosi se na generisanje podsetnika o isteku kredencijala.
- Javni čitljivi sadržaj kredencijala zavisi od dostupnosti centralne baze. Blokčejn zapis omogućava proveru heša, statusa i reference šablona, ali ne sadrži dovoljno podataka za samostalnu rekonstrukciju kompletnog kredencijala. U slučaju nedostupnosti aplikacije ili baze moguće je proveriti postojanje blokčejn zapisa, ali ne i prikazati puni sadržaj bez prethodno preuzetog dokaznog paketa.
- Manuelna blokčejn verifikacija zavisi i od dostupnosti izabranog Bloksberg RPC čvora, mada njegov privremeni prekid ne onemogućava prikaz javnih podataka iz baze.
- Dokazni paketi generišu se na zahtev i ne čuvaju se trajno u okviru sistema. Njihova kasnija dostupnost zato zavisi od ponovnog pristupa aplikaciji, osim kada ih je korisnik prethodno preuzeo i sačuvao izvan platforme.
- Javni linkovi trenutno nemaju ugrađeni rok važenja niti mogućnost rotacije tokena kroz korisnički interfejs. Nosilac može da uključi ili isključi javno deljenje, ali ne može da zameni postojeći token novim bez dodatne administrativne intervencije.
- Heš transakcije opoziva čuva se u zapisu blokčejn posla, dok javna stranica prvenstveno prikazuje podatke o prvobitnom sidrenju. Zbog toga dokaz o opozivu nije prikazan na isti način kao dokaz izdavanja, iako se aktuelni status kredencijala može proveriti neposrednim čitanjem pametnog ugovora.

Navedena ograničenja ne sprečavaju realizaciju osnovnih poslovnih procesa, ali ukazuju na pravce daljeg razvoja: automatizaciju obrade reda poslova, unapređenje upravljanja javnim tokenima, nezavisniju verifikaciju i strože ograničavanje pojedinih RLS i *Storage* politika.

Razvijeni prototip predstavlja implementaciju predloženog modela i omogućava njegovu proveru kroz tehničko testiranje i evaluaciju sa relevantnim korisničkim grupama.

6 Primena razvijenog modela i analiza rezultata

6.1 Ispitivanje spremnosti stejkholdera

Empirijsko istraživanje [151] sprovedeno je sa ciljem ispitivanja i potvrđivanja pretpostavki na kojima se zasniva predloženi model za upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju. Posebna pažnja usmerena je na proveru da li model doprinosi efikasnijoj verifikaciji i priznavanju kompetencija stečenih kroz neformalno obrazovanje, kao i njihovoj primeni u razvoju karijere i procesima zapošljavanja studenata, što je obuhvaćeno hipotezom H.1. Istovremeno, istraživanje je usmereno i na ispitivanje mogućnosti modela da omogući efektivnu integraciju kompetencija stečenih kroz formalne i neformalne oblike obrazovanja, u skladu sa hipotezom H.2. U tom kontekstu, analizirane su percepcije dve ključne grupe stejkholdera, studenata kao nosilaca mikrokredencijala i poslodavaca kao verifikatora, kako bi se utvrdilo u kojoj meri mikrokredencijali mogu predstavljati pouzdan, relevantan i primenljiv instrument povezivanja obrazovnih postignuća sa zahtevima tržišta rada.

Cilj ovog istraživanja [151] jeste ispitivanje percipirane vrednosti mikrokredencijala i namere njihovog usvajanja među studentima i poslodavcima. Kako bi se ispitale percepcije stejkholdera o mikrokredencijalima stečenim kroz neformalno učenje u kontekstu inženjerskog obrazovanja, formulisana su sledeća istraživačka pitanja:

IP1: Kakav je odnos između percipiranih koristi, odricanja i poverenja, sa jedne strane, i percipirane vrednosti mikrokredencijala stečenih kroz neformalno učenje u inženjerskom obrazovanju, sa druge strane?

IP2: Kako poslodavci procenjuju relevantnost i pouzdanost mikrokredencijala kojima se potvrđuju kompetencije stečene kroz neformalno učenje?

IP3: Kako studenti procenjuju relevantnost i pouzdanost mikrokredencijala kojima se potvrđuju kompetencije stečene kroz neformalno učenje?

IP4: U kojoj meri se neformalne i vannastavne aktivnosti tokom studija prepoznaju kao vredni izvori kompetencija u kontekstu mikrokredencijala?

Mapiranje stejkholdera [197] predstavljalo je osnovu za projektovanje istraživačkog instrumenta i tumačenje podataka prikupljenih anketiranjem dve primarne grupe: studenata kao nosilaca mikrokredencijala i poslodavaca kao verifikatora. Cilj istraživanja bio je da se ispita percipirana vrednost mikrokredencijala iz perspektive ove dve grupe stejkholdera, kao i njihova namera da prihvate mikrokredencijale kao priznati oblik potvrđivanja veština u obrazovnom okruženju i na tržištu rada, posebno kada je reč o kompetencijama stečenim kroz modele neformalnog učenja. Primenom modela usvajanja zasnovanog na vrednosti, u istraživanju su empirijski ispitani faktori koji utiču na usvajanje inovacija u obrazovnim ekosistemima, odnosno način na koji percipirane koristi, odricanja i poverenje oblikuju širenje mikrokredencijala kao obrazovne i organizacione inovacije.

Za prikupljanje empirijskih podataka primenjen je pristup uzorkovanju bez verovatnoće (eng. *non-probability sampling*), korišćenjem anonimnog onlajn upitnika kreiranog u alatu *Microsoft Forms* tokom školske 2024/2025. godine. Istraživanjem su obuhvaćeni studenti svih nivoa studija i poslodavci uključeni u procese zapošljavanja i procene kandidata. Upitnik se sastojao iz tri glavna dela: (i) demografskog dela prilagođenog svakoj grupi ispitanika, koji je obuhvatao podatke o studentima, odnosno profil kompanije; (ii) informativnog modula kojim je predstavljen koncept mikrokredencijala; i (iii) skupa tvrdnji ocenjenih Likertovom skalom, kojima je procenjivano pet konstrukata VAM modela (eng. *Value-Based Adoption Model*): koristi, odricanja, poverenje, percipirana vrednost i namera usvajanja, u akademskom i profesionalnom kontekstu. Radi obezbeđivanja integriteta podataka, pre sprovođenja analize primenjen je rigorozan postupak prečišćavanja podataka. Nepotpuni odgovori, neželjeni unosi i odgovori koji su sadržali nečitljive ili nedosledne podatke isključeni su iz konačnog skupa podataka.

Prva grupa stejkholdera: nosioci

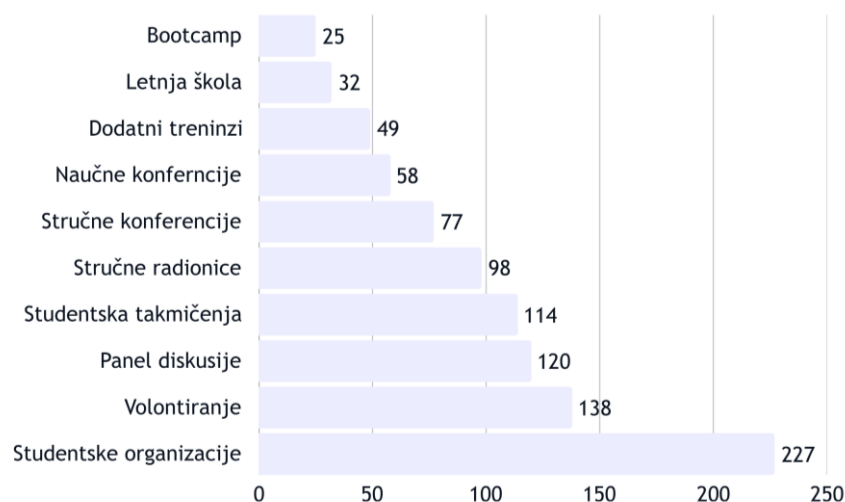
Predstavnici prve grupe stejkholdera bili su studenti, a uzorak je obuhvatio 500 validnih odgovora. Ispitanici su regrutovani putem institucionalnih kanala distribucije, kao što su zvanične fakultetske imejl liste i studentski portali. Od ukupnog broja ispitanika, 56,4% (n = 282) činile su osobe ženskog pola, a 43,4% (n = 217) osobe muškog pola, dok jedan ispitanik nije želeo da se izjasni o polu. Primarnu ciljnu grupu činili su studenti završnih godina osnovnih akademskih studija, budući da su najbliži završetku studija i ulasku na tržište rada, zbog čega predstavljaju najrelevantnije kandidate za neposredno usvajanje mikrokredencijala. Istovremeno, percepcija studenata nižih godina smatrana je podjednako značajnom, jer oni imaju mogućnost da tokom celokupnog akademskog puta strateški stiču i akumuliraju mikrokredencijale, čime mogu da oblikuju svoje profesionalne profile već od ranijih faza studiranja.

Iako je upitnik bio dostupan studentima svih nivoa studija, većinu uzorka, odnosno 95,4% ispitanika (n = 477), činili su studenti osnovnih akademskih studija (Tabela 32). Među njima je bio 101 student prve godine, 153 studenta druge godine, 31 student treće godine i 166 studenata četvrte godine, dok je dodatnih 26 ispitanika navelo da pohađa neku od viših godina osnovnih studija. Studenti master akademskih studija činili su 2,8% uzorka (n = 14), a studenti doktorskih akademskih studija 1,8% (n = 9). Ovakva raspodela odgovara prirodno nižim stopama upisa i manjem ukupnom broju studenata na poslediplomskim nivoima studija. Kada je reč o starosnoj strukturi, 92% ispitanika pripadalo je starosnoj grupi od 18 do 24 godine, dok je 8% bilo uzrasta između 25 i 34 godine. Većina ispitanika imala je prebivalište u Srbiji, prvenstveno u Beogradu, dok je jedan ispitanik bio iz Slovenije, a jedan iz Bosne i Hercegovine.

Tabela 32 Demografska analiza studenata – nivo studija

Nivo studija	Godina studija	Frekvencija	%	Ukupno	Ukupno %
Osnovne akademske studija	Prva	101	20.2%	477	95.4%
	Druga	153	30.6%		
	Treća	31	6.2%		
	Četvrta	166	33.2%		
	Više godine	26	5.2%		
Master akademske studija	Prva	12	2.4%	14	2.8%
	Druga	2	0.4%		
Doktorske akademske studije	-	9	1.8%	9	1.8%
Ukupno		500	100%	500	100%

Kada je reč o prethodnom iskustvu, 74% ispitanika navelo je da je aktivno učestvovalo u vannastavnim aktivnostima tokom studija (Slika 2). Analizirajući odgovore dela upitnika koji se odnosi na prethodno poznavanje koncepta mikrokredencijala (Prilog 1, sekcija – Uvod u mikrokredencijale) svega je 15% ispitanika pre učešća u istraživanju bilo upoznato sa pojmom mikrokredencijala, dok je 44,4% ispitanika navelo da poseduje najmanje jedan mikrokredencijal. Ovakav rezultat može se posmatrati kao signal nedovoljne terminološke prepoznatljivosti koncepta mikrokredencijala, uprkos relativno značajnoj praktičnoj zastupljenosti srodnih oblika kredencijala među studentima.



Ilustracija 33 Demografska analiza studenata - učešće u vannastavnim aktivnostima (prilagođeno iz [151])

Druga grupa stejkholdera: poslodavci

Imajući u vidu da verifikatori mogu imati različite uloge, kao što je objašnjeno u poglavlju 4.3, ovo istraživanje bilo je usmereno na pojedince koji aktivno učestvuju u procesima zapošljavanja i procene kandidata, a čija je uloga da u profesionalnom kontekstu proveravaju i procenjuju kredibilitet mikrokredencijala. Poslodavci su prvenstveno kontaktirani putem fakultetske baze partnerskih organizacija, koja obuhvata približno 80 kompanija sa kojima je uspostavljena saradnja. Pozivi za učešće poslati su svim partnerima, nakon čega su sistematski upućivani podsetnici putem imejla i platforme *LinkedIn*. Pored toga, upitnik je distribuiran putem profesionalnih društvenih mreža, ličnih profesionalnih kontakata i internih mreža u okviru industrije, kako bi se obezbedio strateški obuhvat ispitanika.

Ispitanici su ukupno naveli da su zaposleni u 45 različitih kompanija, dok je 12 učesnika odlučilo da ne navede naziv poslodavca. Od ukupno 63 primljena odgovora, tri su isključena zbog nepotpunosti, tako da je konačan uzorak obuhvatio 60 validnih odgovora. Imajući u vidu ciljanu prirodu baze partnerskih organizacija, stopa odgovora u okviru institucionalne mreže iznosila je približno 56% na nivou organizacija, što se može smatrati veoma zadovoljavajućim i reprezentativnim za ovu vrstu eksplorativne analize.

Veličina kompanija u kojima su ispitanici bili zaposleni takođe je bila raznovrsna. Šest ispitanika radilo je u preduzećima sa manje od deset zaposlenih, 15 u kompanijama sa 10 do 50 zaposlenih, devet u kompanijama sa 51 do 250 zaposlenih, dok je 30 ispitanika bilo zaposleno u velikim preduzećima. Najzastupljeniji je bio sektor informacionih tehnologija ($n = 20$), zatim konsultantski sektor ($n = 7$) i obrazovanje ($n = 6$), dok su preostali ispitanici bili raspoređeni u sektorima kao što su osiguranje, bankarstvo, proizvodnja i automobilska industrija. Dominantna zastupljenost sektora informacionih tehnologija i konsultantskih usluga, koji zajedno čine 45% uzorka, posebno je relevantna jer ove industrije karakterišu brze tehnološke promene, pri čemu formalni kurikulumi često ne uspevaju da u potpunosti prate potrebe tržišta. Zbog toga se ove industrije mogu posmatrati kao rani usvojitelji (eng. *early-adopters*) verifikacije veština stečenih kroz neformalno učenje.

Uzorak je obuhvatio 60% ispitanika muškog i 40% ispitanika ženskog pola. Kada je reč o starosnoj strukturi, tri ispitanika bila su mlađa od 24 godine, 22 su pripadala starosnoj grupi od 25 do 34 godine, 20 grupi od 35 do 44 godine, dok je 15 ispitanika bilo starije od 45 godina. Obrazovna struktura bila je raznovrsna: 13 ispitanika završilo je osnovne akademske studije, dvoje osnovne strukovne studije, 28 master akademske studije, četvero master strukovne studije, troje specijalističke akademske studije, šestoro doktorske studije, dok je četvero ispitanika završilo srednju školu.

Uloge ispitanika obuhvatale su rukovodioce na najvišem nivou ($n = 15$), stručnjake iz oblasti ljudskih resursa ($n = 8$), menadžere ($n = 13$), kao i druge pozicije, poput vođa timova, tehničkih rukovodilaca i inženjera. Uključivanje donosilaca odluka na višim nivoima, uključujući rukovodioce, stručnjake za

ljudske resurse i menadžere, bilo je namerno, kako bi nalazi odražavali stratešku perspektivu osoba koje definišu politike zapošljavanja, a ne samo operativne aspekte procesa regrutacije.

Prilikom procene kandidata, ispitanici su na petostepenoj skali ocenili značaj različitih vrsta dokaza na sledeći način: diplome i potvrde o formalnom obrazovanju ocenjene su prosečnom ocenom 4,22, profesionalni sertifikati ocenom 3,70, portfolio ocenom 4,27, a preporuke ocenom 4,10. Međutim, kvalitativni nalazi istraživanja ukazuju na postojanje efekta reputacionog signaliziranja. Poslodavci sertifikate ne posmatraju kao neutralne dokaze, već kao signale čija vrednost zavisi od ugleda i legitimnosti institucije izdavaoca. Ovaj nalaz objašnjava zbog čega se poverenje pokazalo kao znatno snažniji prediktor percipirane vrednosti kod poslodavaca ($\beta = 0,404$) nego kod studenata. Percipirana vrednost veština i kompetencija stečenih kroz neformalno učenje u procesu zapošljavanja ocenjena je prosečnom ocenom 3,62. Iako je svega 13 ispitanika pre učešća u istraživanju bilo upoznato sa pojmom mikrokredencijala, njih 45, odnosno 75%, navelo je da i sami poseduju najmanje jedan mikrokredencijal.

6.1.1 Istraživački model

Model usvajanja zasnovan na vrednosti (eng. *Value-Based Adoption Model – VAM*) predstavlja teorijski okvir razvijen radi objašnjenja namere pojedinaca da usvoje nove tehnologije, proizvode ili usluge na osnovu njihove percipirane vrednosti [308]. Utemeljen na Modelu prihvatanja tehnologije (eng. *Technology Acceptance Model – TAM*), VAM proširuje tradicionalna istraživanja usvajanja tako što, pored percipirane korisnosti i jednostavnosti korišćenja, uključuje i koristi i odricanja povezana sa odlukom o usvajanju [308], [309].

Za razliku od TAM modela [310] i Objedinjene teorije prihvatanja i upotrebe tehnologije (eng. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology – UTAUT*) [311], koji prvenstveno naglašavaju korisnost, jednostavnost korišćenja, očekivane performanse ili društveni uticaj, VAM eksplicitno uzima u obzir i odricanja povezana sa usvajanjem. Zbog toga je posebno prikladan za istraživanje mikrokredencijala, kod kojih pojedinci ne procenjuju samo da li je određena opcija korisna, već i da li je vredna uloženog napora u odnosu na prisutne rizike i neizvesnosti. Pored toga, ovo istraživanje nije prvenstveno usmereno na prihvatanje konkretnog tehnološkog alata ili platforme. Umesto toga, ispituje se da li se mikrokredencijali percipiraju kao vredan i kredibilan mehanizam za priznavanje kompetencija stečenih kroz neformalno učenje i vannastavne aktivnosti.

Mikrokredencijali predstavljaju oblik obrazovne i organizacione inovacije čije usvajanje ne zavisi samo od očekivane korisnosti, već i od toga da li stejkholderi smatraju da očekivane koristi prevazilaze potreban napor, vreme i druge moguće troškove. U kontekstu visokog obrazovanja, sticanje i korišćenje mikrokredencijala može zahtevati od studenata dodatno vreme za razumevanje procesa izdavanja kredencijala, dokumentovanje postignuća i snalaženje u novim sistemima priznavanja. Iz perspektive poslodavaca, vrednost mikrokredencijala procenjuje se i u odnosu na njihov kredibilitet, uporedivost i relevantnost za procese zapošljavanja i procene talenata.

U skladu sa prethodnom literaturom, identifikovanim istraživačkim nedostacima i srodnim empirijskim istraživanjima [131], [309], u ovom istraživanju VAM model je proširen uključivanjem konstrukta poverenja, kojim se odražava uloga kredibiliteta, institucionalne reputacije i pouzdanosti sistema u usvajanju mikrokredencijala. Poverenje je posebno značajno u kontekstu obrazovnih inovacija, u kojima legitimnost i priznavanje izdatih kredencijala predstavljaju ključne preduslove njihovog prihvatanja među stejkholderima.

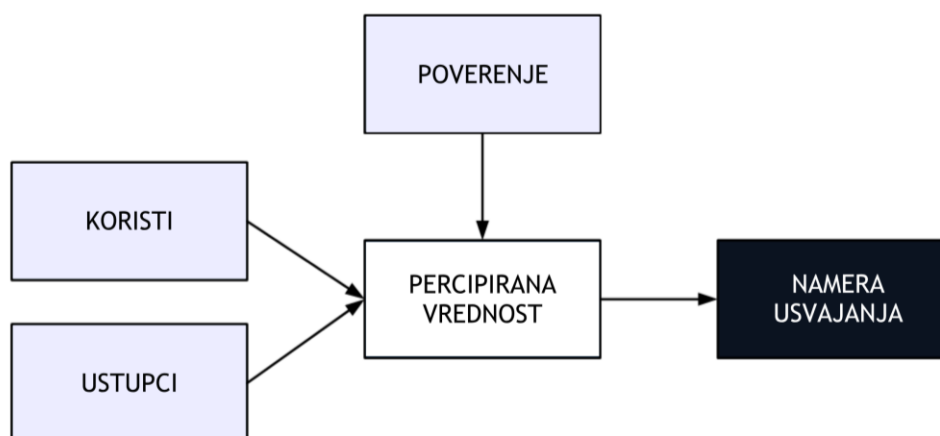
Prilagođeni istraživački model u ovom istraživanju [151] stoga obuhvata pet konstrukata:

- *Percipirana korist* (eng. *Perceived Benefits - B*): Stepem u kojem se mikrokredencijali percipiraju kao sredstvo koje donosi prednosti, kao što su unapređenje zapošljivosti, profesionalno priznanje i usklađenost sa potrebama tržišta rada. U kontekstu ovog istraživanja, ovaj konstrukt odražava i potencijal mikrokredencijala da omoguće priznavanje obrazovnih postignuća stečenih kroz vannastavne aktivnosti i neformalno učenje, koja često ostaju nevidljiva u formalnim akademskim evidencijama.

- *Percipirana odricanja* (eng. *Perceived Sacrifices - S*): Percipirani troškovi ili naponi povezani sa sticanjem i korišćenjem mikrokredencijala, uključujući ulaganje vremena, savladavanje novih sistema i moguće finansijske troškove. Ovaj konstrukt je posebno značajan imajući u vidu paradoks motivacije i vremena povezan sa učešćem studenata u vannastavnim aktivnostima, kao i potencijalnu primenu blokčejn tehnologije u razvoju sistema.
- *Poverenje* (eng. *Trust - T*): Stepjen poverenja u institucije izdavaoce, sigurnost sistema za izdavanje kredencijala i percipirani kredibilitet mikrokredencijala u akademskom i profesionalnom kontekstu. U ovom istraživanju, poverenje odražava i značaj kredibilnih izdavalaca i uspostavljenih okvira priznavanja za oblikovanje prihvatanja mikrokredencijala među stejkholderima.
- *Percipirana vrednost* (eng. *Perceived Value - PV*): Sveobuhvatna procena vrednosti mikrokredencijala, koja se formira odmeravanjem percipiranih koristi u odnosu na percipirana odricanja i pod uticajem poverenja.
- *Namera usvajanja* (eng. *Adoption Intention - AI*): Verovatnoća da će pojedinac nastojati da stekne i koristi mikrokredencijale kao validan oblik priznavanja veština i kompetencija.

Izabrani konstrukti usklađeni su sa širim teorijskim okvirom istraživanja i istraživačkim pitanjima formulisanim u poglavljima 2 i 3. Preciznije, percipirane koristi oslanjaju se na literaturu koja se odnosi na zapošljivost, celoživotno učenje, vidljivost veština i usklađivanje visokog obrazovanja sa potrebama tržišta rada, posebno u kontekstu priznavanja kompetencija razvijenih kroz neformalno učenje i vannastavne aktivnosti. Percipirana odricanja obuhvataju napor, vreme, prilagođavanje i moguće proceduralne ili finansijske troškove povezane sa uključivanjem u novi oblik izdavanja kredencijala. Ovaj konstrukt je naročito značajan imajući u vidu prethodno razmatranu tenziju između motivacije studenata za učešće u vannastavnim aktivnostima i ograničenog vremena dostupnog uz formalne akademske obaveze, ali i potencijalnu primenu decentralizovanih rešenja, poput blokčejn tehnologije.

Konstrukt poverenja zasniva se na literaturi koja se odnosi na validaciju, institucionalnu legitimnost, kredibilitet izdavaoca i značaj pouzdanih mehanizama priznavanja kompetencija stečenih izvan formalnih kurikuluma. Percipirana vrednost predstavlja ukupnu evaluativnu procenu koja se formira odmeravanjem percipiranih koristi i odricanja, uz uticaj poverenja, dok namera usvajanja odražava spremnost stejkholdera da prihvate mikrokredencijale kao smislen i legitiman oblik priznavanja veština i kompetencija.



Ilustracija 34 Prošireni model usvajanja zasnovan na vrednosti VAM [151], [308]

Odnosi između navedenih konstrukata u predloženom istraživačkom modelu [151] prikazani su na Slici 3, pri čemu su percipirane koristi, percipirana odricanja i poverenje modelovani kao prediktori percipirane vrednosti, dok je percipirana vrednost modelovana kao prediktor namere usvajanja.

6.1.2 Procedura istraživanja

Istraživački postupak obuhvatio je prilagođavanje VAM modela potrebama ovog istraživanja, operacionalizaciju istraživačkih konstrukata i definisanje tvrdnji za svaki od njih: percipirane koristi, percipirana odricanja, poverenje, percipiranu vrednost i nameru usvajanja. Istraživanje je sprovedeno putem onlajn upitnika, osmišljenog sa ciljem procene spremnosti i stavova studenata i poslodavaca prema usvajanju mikrokredencijala. Svi učesnici bili su obavešteni da je njihovo učešće dobrovoljno i anonimno, kao i da će prikupljeni podaci biti korišćeni isključivo u istraživačke svrhe.

Istraživanje je sprovedeno kroz tri faze.

1. U prvoj fazi razvijen je istraživački instrument na osnovu prilagođenog VAM modela i izvršeno je njegovo pilotiranje na preliminarnom uzorku od 54 studenata i 15 predstavnika poslodavaca. Na osnovu povratnih informacija izvršene su manje izmene formulacija tvrdnji, dodatno su objašnjeni ključni pojmovi i uklonjena su redundantna pitanja.
2. U drugoj fazi, konačne verzije upitnika distribuirane su elektronskim putem, tokom školske 2024/2025. godine, korišćenjem institucionalnih kanala, profesionalnih mreža i direktne komunikacije. Učešće je bilo dobrovoljno i anonimno, a ispitanici su prethodno obavešteni o svrsi istraživanja i načinu korišćenja prikupljenih podataka.
3. U trećoj fazi izvršeni su pregled i prečišćavanje prikupljenih podataka, nakon čega je formiran konačan uzorak od 500 studenata i 60 predstavnika poslodavaca. Na konačnom uzorku sprovedene su procena mernog i strukturnog modela primenom PLS-SEM metode, deskriptivna analiza i dodatne statističke analize u skladu sa istraživačkim pitanjima.

6.1.3 Instrumenti

Prikupljanje podataka sprovedeno je primenom jedinstvenog strukturiranog upitnika koji se sastojao iz tri glavna dela: demografskog upitnika, uvodnog modula o mikrokredencijalima i strukturiranog upitnika zasnovanog na VAM modelu (Prilog 1).

- Odeljak 1 – Demografski podaci: obuhvatao je prikupljanje osnovnih podataka relevantnih za odgovarajuću grupu ispitanika.
- Odeljak 2 – Uvod u mikrokredencijale: ispitanicima je predstavljen kratak informativni tekst kojim su definisani mikrokredencijali i objašnjena njihova svrha u obrazovnom i profesionalnom kontekstu. Na taj način obezbeđeno je da svi ispitanici pre odgovaranja na evaluativne tvrdnje imaju ujednačeno osnovno razumevanje koncepta. Ovaj odeljak sadržao je i pitanja kojima je procenjavana prethodna upoznatost ispitanika sa mikrokredencijalima.
- Odeljak 3 – Merne tvrdnje zasnovane na VAM modelu: centralni deo istraživačkog instrumenta sastojao se od tvrdnji ocenjenih petostepenom Likertovom skalom, od „u potpunosti se ne slažem“ do „u potpunosti se slažem“. Tvrdnje su razvijene u skladu sa modelom usvajanja zasnovanim na vrednosti, na osnovu standardizovanih VAM upitnika[308], [309].
 - Percipirana korist (B) – 18 tvrdnji, na primer: „Mikrokredencijali mogu povećati zapošljivost“ i „Mikrokredencijali stečeni za veštine i kompetencije razvijene kroz neformalno učenje predstavljali bi vrednu dopunu formalnim kvalifikacijama“.
 - Percipirana odricanja (S) – 4 tvrdnje, na primer: „Sticanje mikrokredencijala zahteva značajno ulaganje vremena“ i „Spreman/spremna sam da platim razumnu naknadu za sticanje mikrokredencijala koji poslodavci priznaju“.
 - Poverenje (I) – 10 tvrdnji, na primer: „Imam poverenja u mikrokredencijale koje izdaju priznate institucije“.
 - Percipirana vrednost (PV) – 4 tvrdnje, na primer: „Sticanje mikrokredencijala vredno je potrebnog truda“ i „Smatram da mikrokredencijali predstavljaju vredan način formalnog priznavanja veština i znanja stečenih kroz neformalno učenje“.

- Namera usvajanja (AI) – 4 tvrdnje, na primer: „Nameravam da steknem mikrokredencijal u bliskoj budućnosti“ i „Spreman/spremna sam da prihvatim mikrokredencijale kao legitiman dokaz stečenih kompetencija“.

Formulacije u upitniku bile su neznatno prilagođene studentima i poslodavcima kako bi odražavale njihove različite uloge u ekosistemu mikrokredencijala, odnosno uloge nosilaca kredencijala i verifikatora. Struktura mernog instrumenta prati metodološki okvir uspostavljen u istraživanjima [308], [309], u kojima se za složene konstrukte, kao što su percipirane koristi, koristi veći broj indikatora kako bi se obuhvatile sve relevantne dimenzije, uključujući zapošljivost, transparentnost i celoživotno učenje. Sa druge strane, konstrukti percipirane vrednosti, percipiranih odricanja i namere usvajanja operacionalizovani su kao homogeni konstrukti sa po četiri indikatora, što predstavlja uobičajenu praksu u VAM literaturi i omogućava da model bude pojednostavljen bez narušavanja njegovih psihometrijskih svojstava. Opravdanost ovakvog pristupa potvrđena je i visokim vrednostima kompozitne pouzdanosti (CR) i prosečno izdvojene varijanse (AVE), prikazanim u nastavku istraživanja.

Procena mernog modela sprovedena je na konačnom uzorku primenom PLS-SEM metode. U prvom koraku analizirana su spoljna opterećenja indikatora, nakon čega je nekoliko indikatora sa niskim vrednostima uklonjeno radi unapređenja konvergentne validnosti, uz očuvanje konceptualnog obuhvata konstrukata. Detaljni rezultati ove procene prikazani su u odeljku posvećenom analizi rezultata.

Nakon uklanjanja navedenih indikatora, procenjene su pouzdanost i validnost konačnog mernog modela. U Tabela 33 prikazani su intervali poverenja (CI), dok su u Tabela 34 prikazane vrednosti kompozitne pouzdanosti (CR) i prosečno izdvojene varijanse (AVE) za sve konstrukte, posebno za upitnike namenjene studentima i poslodavcima.

Tabela 33 Intervali poverenja

	Studenti (N=500)				Poslodavci (N=60)			
	Originaln i uzorak	Srednja vrednost	2.50%	97.50%	Originaln i uzorak	Srednja vrednost	2.50%	97.50%
B → PV	0.538	0.539	0.437	0.641	0.365	0.423	0.149	0.762
PV → AI	0.74	0.741	0.683	0.793	0.774	0.78	0.656	0.885
S → PV	0.226	0.228	0.127	0.336	0.148	0.117	-0.131	0.336
T → PV	0.127	0.126	0.022	0.225	0.404	0.383	0.099	0.625

Vrednosti intervala poverenja prikazani u Tabela 33 ukazuju na to da su odnosi B→PV, T→PV i PV→AI statistički značajni u obe grupe stejkholdera, budući da njihovi intervali poverenja ne obuhvataju nulu. Odnos S→PV statistički je značajan kod studenata, dok kod poslodavaca interval poverenja obuhvata nulu, što ukazuje na odsustvo statistički značajnog uticaja percipiranih odricanja na percipiranu vrednost. Ovaj problem je razmotren tokom unapređenja modela uklanjanjem indikatora sa niskim spoljnim opterećenjima, uz istovremeno očuvanje konceptualnog obuhvata konstrukta.

Tabela 34 Kompozitna pouzdanost (eng. *Composite reliability*) i izdvojena prosečna varijansa (eng. *average variance extracted*)

	Studenti (N=500)			Poslodavci (N=60)		
	CA	CR	AVE	CA	CR	AVE
Koristi	0.947	0.953	0.543	0.946	0.952	0.526
Odricanja	0.799	0.869	0.625	0.747	0.834	0.561
Poverenje	0.901	0.919	0.559	0.841	0.879	0.517
Percipirana vrednost	0.872	0.922	0.797	0.849	0.909	0.769
Namera usvajanja	0.836	0.902	0.753	0.925	0.964	0.93

Nakon unapređenja modela (Tabela 34), svi konstrukti u obe grupe stejkholdera ispunjavaju preporučene granične vrednosti za internu konzistentnost i konvergentnu validnost (CR > 0,70; AVE > 0,50). Ovi rezultati potvrđuju da merne tvrdnje sa prihvatljivim nivoom pouzdanosti obuhvataju konstrukte kojima su namenjene, čime je obezbeđena čvrsta osnova za naknadnu procenu strukturnog modela.

Diskriminantna validnost procenjena je primenom *Fornell–Larcker* kriterijuma i HTMT' odnosa, pri čemu su u svim slučajevima ispunjeni preporučeni kriterijumi.

Dobijeni rezultati potvrđuju da konačni skup indikatora poseduje zadovoljavajuća psihometrijska svojstva i da se može koristiti za procenu strukturnog modela u narednim analizama.

6.1.4 Analiza rezultata istraživanja

Analiza je sprovedena u nekoliko faza, počevši od procene mernog modela, nakon čega su usledile procena strukturnog modela i interpretacija rezultata u kontekstu istraživačkih pitanja. Budući da se ovo istraživanje [151] bavi postojećim nedostatkom u literaturi koji se odnosi na priznavanje i validaciju veština stečenih kroz neformalno učenje među različitim stejkholderima u obrazovnom i profesionalnom kontekstu, posebna pažnja posvećena je obezbeđivanju pouzdanosti i validnosti mernih instrumenata.

Upitnik je najpre pilotiran na preliminarnom uzorku od 54 nosioca mikrokredencijala, odnosno studenta, i 15 verifikatora, odnosno poslodavaca, nakon čega je izvršeno nekoliko izmena. Ove izmene prvenstveno su se odnosile na dodatno objašnjavanje ključnih pojmova u okviru upitnika, preformulisane pojedinih tvrdnji radi veće jasnoće i uklanjanje redundantnih pitanja. Konačna verzija istraživačkog instrumenta primenjena je u periodu od maja do jula 2024. godine. Od ukupno 500 studenata koji su popunili upitnik, njih 497 bilo je sa Univerziteta u Beogradu – Fakulteta organizacionih nauka.

Nakon prikupljanja podataka na konačnom uzorku od 500 studenata i 60 poslodavaca, sprovedena je procena mernog modela primenom PLS-SEM metode. U okviru procese uklonjeno je nekoliko indikatora sa niskim spoljnim opterećenjima kako bi se unapredila konvergentna validnost, uz očuvanje konceptualnog integriteta svakog konstrukta. U modelu nosilaca mikrokredencijala uklonjen je jedan indikator iz konstrukta percipiranih koristi (B10) i jedan indikator iz konstrukta poverenja (T4), što je dovelo do povećanja vrednosti prosečno izdvojene varijanse (AVE) za oba konstrukta. U modelu verifikatora uklonjena su tri indikatora iz konstrukta poverenja (T3, T7 i T8), čime je vrednost AVE povećana sa 0,439 na vrednost iznad preporučenog praga od 0,50. Vrednosti kompozitne pouzdanosti (CR) i prosečno izdvojene varijanse za konačne konstrukte prikazane su u Tabeli 34, dok su intervali poverenja za svaki konstrukt prikazani u Tabeli 33.

U nastavku su predstavljeni rezultati u skladu sa istraživačkim pitanjima IP1–IP4. Za IP2 i IP3, koja se odnose na percepciju relevantnosti i pouzdanosti mikrokredencijala, rezultati dve grupe stejkholdera prikazani su paralelno kako bi se olakšalo njihovo poređenje.

IP1: Kakav je odnos između percipiranih koristi, percipiranih odricanja i poverenja, sa jedne strane, i percipirane vrednosti mikrokredencijala stečenih kroz neformalno učenje u inženjerskom obrazovanju, sa druge strane?

Rezultati modelovanja strukturnim jednačinama (SEM) pružaju jasne dokaze o postojanju statistički značajnih odnosa između ispitivanih konstrukata u obe grupe stejkholdera (Tabela 35). Kod studenata, odnosno nosilaca mikrokredencijala, percipirane koristi (B) pokazale su se kao najsnažniji prediktor percipirane vrednosti (PV) ($\beta = 0,538$; $p < 0,001$), objašnjavajući značajan deo varijanse ovog konstrukta. Ovaj nalaz ukazuje na to da što studenti više prepoznaju materijalne i nematerijalne koristi mikrokredencijala, kao što su povećana zapošljivost, transparentno priznavanje veština i usklađenost sa potrebama tržišta rada, to ih više vrednuju kao formalni način priznavanja kompetencija stečenih kroz neformalno učenje.

Tabela 35 Koeficijenti putanja β i značajnost p

Putanja	Studenti β (p)	Poslodavci β (p)
B-> PV	0.538 (<0.001)	0.365 (0.022)
S -> PV	0.226 (<0.001)	0.148 (0.226)
T -> PV	0.127 (0.015)	0.404 (0.003)
PV-> AI	0.74 (<0.001)	0.774 (<0.001)

Percipirana odricanja (S) takođe su pokazala statistički značajan, ali slabiji uticaj na percipiranu vrednost (PV) ($\beta = 0,226$; $p < 0,001$), što ukazuje na to da napor, vreme i potencijalni finansijski troškovi povezani sa sticanjem mikrokredencijala u manjoj meri utiču na način na koji studenti procenjuju njihovu vrednost. Konstrukt poverenja (T), iako statistički značajan ($\beta = 0,127$; $p = 0,015$), imao je najslabiji uticaj na percipiranu vrednost. To ukazuje na to da je poverenje u institucije izdavaoce i bezbednost sistema za izdavanje kredencijala relevantno, ali da ima sekundarnu ulogu u odnosu na percipirane koristi prilikom oblikovanja ukupne percepcije vrednosti kod studenata.

Kod poslodavaca, odnosno verifikatora, struktura odnosa između konstrukata neznatno se razlikuje. Iako percipirane koristi ponovo imaju pozitivan i statistički značajan uticaj na percipiranu vrednost ($\beta = 0,365$; $p = 0,022$), uloga poverenja znatno je snažnija ($\beta = 0,404$; $p = 0,003$) nego kod studenata. Ovaj rezultat pokazuje da za poslodavce poverenje u kredibilitet mikrokredencijala, reputaciju izdavaoca i mehanizme verifikacije ima centralnu ulogu u oblikovanju njihove percipirane vrednosti. Nasuprot tome, percipirana odricanja nemaju statistički značajan uticaj na percipiranu vrednost u ovoj grupi ($\beta = 0,148$; $p = 0,226$), što ukazuje na to da su poslodavci manje osetljivi na troškove ili složenost povezane sa sticanjem i verifikacijom mikrokredencijala, a da su više usmereni na njihovu pouzdanost i praktičnu korisnost.

U obe grupe percipirana vrednost snažno predviđa nameru usvajanja mikrokredencijala (studenti: $\beta = 0,740$; $p < 0,001$; poslodavci: $\beta = 0,774$; $p < 0,001$), čime se potvrđuje da viši nivo percipirane vrednosti neposredno povećava verovatnoću usvajanja ili prihvatanja mikrokredencijala kao validnih instrumenata za priznavanje veština i kompetencija. Objašnjena varijansa (R^2) konstrukta percipirane vrednosti znatno je viša kod studenata (0,699) nego kod poslodavaca (0,542), što ukazuje na to da uključeni prediktori potpunije obuhvataju odrednice percipirane vrednosti u studentskom uzorku.

Posmatrano u celini, nalazi pokazuju da percipirane koristi predstavljaju dominantan pokretač percipirane vrednosti kod studenata, dok poverenje ima uporedivo snažnu ulogu kod poslodavaca [151]. Percipirana odricanja imaju sekundarnu ulogu kod studenata, dok je njihov uticaj kod poslodavaca zanemarljiv i statistički beznačajan. Ovi rezultati naglašavaju potrebu za prilagođenim komunikacionim strategijama pri promovisanju usvajanja mikrokredencijala u inženjerskom obrazovanju, pri čemu bi studentima trebalo predstaviti njihove konkretne i neposredne koristi, dok bi u komunikaciji sa poslodavcima naglasak trebalo staviti na kredibilitet izdavalaca, pouzdanost i proverljivost kredencijala.

IP2 i IP3: Kako stejkholderi procenjuju relevantnost i pouzdanost mikrokredencijala kojima se potvrđuju kompetencije stečene kroz neformalno učenje?

Deskriptivna analiza pet konstrukata – percipiranih koristi, percipiranih odricanja, poverenja, percipirane vrednosti i namere usvajanja – pruža uvid u način na koji studenti, odnosno nosioci mikrokredencijala, i poslodavci, odnosno verifikatori, procenjuju relevantnost i pouzdanost mikrokredencijala kojima se potvrđuju kompetencije stečene kroz neformalno učenje (Tabela 36).

Kod studenata su najviše prosečne ocene zabeležene za konstrukte poverenja ($M = 3,99$) i percipiranih odricanja ($M = 3,98$), što ukazuje i na poverenje u kredibilitet mikrokredencijala i na spremnost da se ulože vreme, trud ili resursi u njihovo sticanje. Studenti su se u najvećoj meri saglasili sa tvrdnjama da mikrokredencijali doprinose postepenoj izgradnji ličnog profesionalnog identiteta i brenda (B2, $M = 4,22$), kao i da podstiču celoživotno učenje (B13, $M = 4,19$). Međutim, bili su uzdržaniji kada je reč o fleksibilnosti mikrokredencijala u poređenju sa tradicionalnim diplomama (B10, $M = 3,43$) i njihovoj ulozi u međunarodnom priznavanju (B12, $M = 3,56$).

Tabela 36 Deskriptivna analiza VAM konstrukata

	Studenti (N=500)					Poslodavci (N=60)				
Konstrukt	M	stdev	min	maks	med	M	stdev	min	maks	med
B	3.914	1.026	1	5	4	4.098	0.712	1.611	5	4.139
S	3.979	1.049	1	5	4.25	4.304	0.618	2.5	5	4.5
T	3.995	1.016	1	5	4.2	4.195	0.642	2.8	5	4.3
PV	3.953	0.988	1	5	4	4.133	0.837	2	5	4.333
AI	3.915	0.990	1	5	4	4	1.008	1.5	5	4

Legenda: M - srednja vrednost, stdev - standardna devijacija, min - minimum, maks - maksimum, med - medijana

Kod poslodavaca je najpozitivnije ocenjen konstrukt percipiranih odricanja ($M = 4,30$), posebno njihova spremnost da koriste nove platforme i alate radi podrške verifikaciji i primeni mikrokredencijala ($S2, M = 4,73$). Visoke prosečne ocene zabeležene su i za konstrukt poverenja ($M = 4,28$), pri čemu su poslodavci iskazali visok stepen saglasnosti sa tvrdnjama da su mikrokredencijali koje izdaju ugledne institucije kredibilni ($T7, M = 4,62$) i da je uključivanje institucija od ključnog značaja za njihovo šire usvajanje ($T6, M = 4,55$). Istovremeno, poslodavci su iskazali nešto niži stepen saglasnosti u pogledu namere usvajanja ($M = 4,00$), naročito kada je reč o potencijalnoj prednosti koju bi nosioci mikrokredencijala mogli imati u odnosu na druge kandidate u procesu zapošljavanja ($B18, M = 3,77$).

Radi boljeg razumevanja načina na koji su ispitanici tumačili poverenje, važno je naglasiti da konstrukt poverenja nije obuhvatao samo tvrdnje povezane sa bezbednošću sistema, već i sa reputacijom izdavaoca, institucionalnim učešćem i regulatornom podrškom. Potpuna lista tvrdnji koje čine ovaj konstrukt prikazana je u Prilogu 1.

Dodatni komentari poslodavaca ukazuju na to da je ovo poverenje uslovno, a ne apsolutno. Mikrokredencijali se percipiraju kao korisni signali kompetencija, ali ne i kao samostalna zamena za akademske diplome ili profesionalno iskustvo, osim kada ih podržavaju kredibilni izdavaoci i jasni mehanizmi verifikacije. Pored toga, analiza procesa zapošljavanja pokazuje da poslodavci već primenjuju različite prakse kako bi prevazišli ograničenja tradicionalnih diploma: portfolio ($M = 4,27$), preporuke ($M = 4,10$), sertifikate ($M = 3,70$) i dokaze o veštinama i kompetencijama stečenim kroz neformalno učenje ($M = 3,98$). Ovi nalazi ukazuju na to da poslodavci postignuća ostvarena kroz neformalno učenje prepoznaju kao značajne, ali komplementarne signale, koji pružaju detaljniji uvid u stvarne sposobnosti kandidata nego sama diploma.

Ovi rezultati [151] ukazuju na to da obe grupe stejkholdera percipiraju mikrokredencijale kao relevantne i pouzdane, ali sa različitim naglascima.

- Studenti poverenje prvenstveno povezuju sa transparentnim prikazivanjem kompetencija i njihovom usklađenošću sa dugoročnim ličnim i profesionalnim razvojem.
- Poslodavci pouzdanost mikrokredencijala povezuju sa reputacijom institucija izdavalaca i postojanjem odgovarajućih regulatornih okvira.

Ove razlike naglašavaju značaj projektovanja sistema mikrokredencijala koji istovremeno uzimaju u obzir razvojne aspiracije korisnika i zahteve povezane sa kredibilitetom. Na taj način, mikrokredencijali mogu biti podjednako relevantni nosiocima koji nastoje da dobiju priznanje svojih veština i verifikatorima odgovornim za potvrđivanje kompetencija u profesionalnim kontekstima.

IP4: U kojoj meri se neformalne i vannastavne aktivnosti tokom studija prepoznaju kao vredni izvori kompetencija u kontekstu mikrokredencijala?

Relevantnost neformalnog učenja i vannastavnih aktivnosti procenjena je neposredno, kroz pitanja o učešću u vannastavnim aktivnostima i posedovanju mikrokredencijala, kao i posredno, kroz tvrdnje zasnovane na VAM modelu koje se odnose na vrednost mikrokredencijala kao oblika formalnog priznavanja kompetencija stečenih izvan tradicionalnih kurikuluma.

Rezultati pružaju snažne dokaze da angažovanje u vannastavnim aktivnostima značajno oblikuje i percipiranu vrednost (Tabela 37) i nameru usvajanja mikrokredencijala (Tabela 38). Studenti koji su aktivno učestvovali u vannastavnim aktivnostima značajno su više ocenili vrednost mikrokredencijala ($M = 4,07$ naspram $M = 3,63$; $t(201) = 4,70$; $p < 0,001$) i pokazali izraženiju nameru njihovog usvajanja ($M = 4,01$ naspram $M = 3,65$; $t(208) = 3,98$; $p < 0,001$). Slično tome, studenti koji su već posedovali mikrokredencijale iskazali su višu percipiranu vrednost ($M = 4,19$ naspram $M = 3,76$; $t(494) = 5,68$; $p < 0,001$) i veću nameru njihovog usvajanja ($M = 4,15$ naspram $M = 3,73$; $t(478) = 2,04$; $p = 0,042$).

Unakrsna analiza dodatno je potvrdila ovaj obrazac, pokazujući da je 50% studenata angažovanih u vannastavnim aktivnostima navelo da poseduje mikrokredencijale, u poređenju sa svega 28% studenata koji nisu bili uključeni u takve aktivnosti.

Tabela 37 Analiza percipirane vrednosti – t-test za dva nezavisna uzorka uz pretpostavku nejednakih varijansi

	Da li posedujete mikrokredencijale?		Da li učestvujete u nekim vannastavnim aktivnostima?	
	Da	Ne	Da	Ne
Srednja vrednost (M)	4.192192192	3.761390887	4.067567568	3.625641026
Varijansa	0.622522975	0.820918716	0.682865793	0.907864573
Ukupno	222	278	370	130
df	494		201	
t Stat	5.677733797		4.703167754	
P(T<=t) jednostrani test	1.16561E-08		2.37753E-06	
t kritična vrednost jednostrani test	1.647944008		1.652469842	
P(T<=t) dvostrani test	2.33121E-08		4.75507E-06	
t kritična vrednost dvostrani test	1.96477774		1.971836507	

Tabela 38 Analiza namere usvajanja – t-test za dva nezavisna uzorka uz pretpostavku nejednakih varijansi

	Da li posedujete mikrokredencijale?		Da li učestvujete u nekim vannastavnim aktivnostima?	
	Da	Ne	Da	Ne
Srednja vrednost (M)	4.148648649	4.009009009	4.009009009	3.648717949
Varijansa	0.631901132	0.676823165	0.676823165	0.825687405
Ukupno	222	370	370	130
df	478		208	
t Stat	2.04215		3.983441	
P(T<=t) jednostrani test	0.020842		4.7E-05	
t kritična vrednost jednostrani test	1.648048		1.652212	
P(T<=t) dvostrani test	0.041685		9.39E-05	
t kritična vrednost dvostrani test	1.964939		1.971435	

Ovi nalazi ukazuju na to da vannastavne aktivnosti i aktivnosti neformalnog učenja ne predstavljaju samo pogodno okruženje za razvoj kompetencija, već funkcionišu i kao praktične ulazne tačke za usvajanje mikrokredencijala u inženjerskom obrazovanju.

Sa druge strane, odgovori poslodavaca pokazuju da se neformalne i vannastavne aktivnosti prepoznaju kao vredni izvori kompetencija, gotovo ravnopravno sa formalnim kvalifikacijama. Prilikom procene kriterijuma za zapošljavanje, poslodavci su kao najznačajnije ocenili portfolio (M = 4,27) i formalno obrazovanje (M = 4,22), zatim preporuke (M = 4,10) i veštine stečene kroz neformalno učenje (M = 3,98), dok su sertifikati dobili najnižu prosečnu ocenu (M = 3,70). Ovakav rezultat pokazuje da praktične i dokazive kompetencije, koje se često stiču kroz neformalno obrazovanje, imaju centralnu ulogu u donošenju odluka o zapošljavanju. Pored toga, iako je pre istraživanja svega 22% ispitanika bilo upoznato sa pojmom mikrokredencijala, čak 75% je navelo da poseduje najmanje jedan mikrokredencijal, što ukazuje na to da poslodavci već praktično dolaze u kontakt sa ovim konceptom. Rezultati PLS-SEM analize dodatno potvrđuju ovakvo tumačenje: percipirana vrednost pokazala se kao najsnažniji prediktor namere usvajanja ($\beta = 0,774$; $p < 0,001$), pri čemu su je prvenstveno oblikovali poverenje ($\beta = 0,404$; $p = 0,003$) i percipirane koristi ($\beta = 0,365$; $p = 0,022$), dok uticaj percipiranih odricanja nije bio statistički značajan. Ovi nalazi ukazuju na to da su poslodavci skloni prihvatanju mikrokredencijala kao kredibilnih

pokazatelja kompetencija, naročito kada ih izdaju institucije od poverenja, kao i da ih prepoznaju kao mehanizam za formalnu validaciju veština stečenih kroz neformalno učenje.

Nalazi ovog istraživanja [151] potvrđuju da mikrokredencijali proistekli iz aktivnosti neformalnog učenja imaju visoku percipiranu vrednost i među studentima i među poslodavcima u kontekstu inženjerskog obrazovanja. Kod studenata su se percipirane koristi i poverenje pokazali kao najznačajniji pokretači vrednosti, neposredno oblikujući njihovu nameru usvajanja mikrokredencijala. Poslodavci su, sa druge strane, kao odlučujuće faktore istakli kredibilitet, institucionalno poverenje i mogućnost dokazivanja kompetencija. Preciznije, odgovori poslodavaca ukazuju na to da poverenje u mikrokredencijale nije samo tehničke prirode, odnosno povezano sa bezbednošću sistema i mehanizmima verifikacije, već je u velikoj meri i institucionalno, jer zavisi od reputacije, prepoznatljivosti i legitimnosti institucije izdavaoca. Jedan od ispitanika posebno je istakao da, iako je otvoren prema mikrokredencijalima, postoji značajan strah od „obrazovnog otpada“ i komercijalizacije sertifikata, što bi, ukoliko ne postoji stroga regulativa, moglo dovesti do „inflacije“ kvalifikacija. Ovakva podudarnost nalaza pokazuje da obe grupe stejkholdera prepoznaju ulogu mikrokredencijala u premošćavanju jaza između formalnog obrazovanja i dinamičnih zahteva tržišta rada.

Rezultati ukazuju na dvojaku dinamiku: snažnu teorijsku privlačnost mikrokredencijala, ali opreznije praktično usvajanje. Iako obe grupe, studenti i poslodavci, prepoznaju neformalno učenje kao vredan izvor kompetencija, studenti mikrokredencijale vide kao način dokumentovanja vannastavnog angažovanja, dok ih poslodavci prvenstveno procenjuju kroz prizmu kredibiliteta, prepoznatljivosti izdavaoca i standardizacije. Iz perspektive poslodavaca, mikrokredencijali se stoga ne percipiraju kao neutralni i samostalni artefakti, već kao signali čija vrednost u velikoj meri zavisi od ugleda i pouzdanosti institucije ili organizacije koja ih izdaje. Ovakva tenzija u skladu je sa prethodnim istraživanjima koja zapošljivost i celoživotno učenje izdvajaju kao osnovne pokretače usvajanja mikrokredencijala [1], [156], [172], [312]. Međutim, za razliku od brojnih ranijih istraživanja koja su bila pretežno usmerena na formalno obrazovanje ili systemske okvire, ovo istraživanje pruža empirijske uvide u neformalno učenje i vannastavne aktivnosti, oblast koja je i dalje nedovoljno zastupljena u literaturi. Usvajanje mikrokredencijala može se posmatrati kao procesna inovacija u visokoškolskim ustanovama, kojom se redefinišu načini na koje se znanje stvara, potvrđuje i prenosi između akademskog sektora i privrede.

6.1.5 Diskusija

Na osnovu empirijskih nalaza mogu se izdvojiti i određene praktične preporuke [151] za razvoj ekosistema mikrokredencijala. Pre svega, njihovo prihvatanje ne zavisi samo od tehničke proverljivosti, već i od kredibiliteta izdavaoca, transparentnosti načina sticanja i procene kompetencija i jasnog značenja kredencijala za nosioce i verifikatore. Zbog toga je potrebno standardizovati osnovne elemente mikrokredencijala, uključujući ishode učenja, kompetencije, način procene, obim učenja i informacije o izdavaocu i obezbeđenju kvaliteta.

Posebnu pažnju potrebno je usmeriti na kompetencije stečene kroz neformalno učenje i vannastavne aktivnosti. Njihovo priznavanje trebalo bi zasnivati na dokumentovanim dokazima i unapred definisanim kriterijumima procene, a ne samo na učešću u određenoj aktivnosti. U definisanje relevantnih kompetencija i kriterijuma njihove validacije poželjno je uključivati i poslodavce, imajući u vidu značaj koji ova grupa pridaje praktičnoj relevantnosti kompetencija i reputaciji izdavaoca.

Konačno, mikrokredencijali bi trebalo da budu podržani interoperabilnim digitalnim formatima i pouzdanim mehanizmima verifikacije, uz kontrolu nosioca nad deljenjem podataka. Time se omogućava njihova prenosivost između obrazovnog i profesionalnog okruženja, uz istovremeno očuvanje poverenja i privatnosti.

6.2 Evaluacija upotrebljivosti i korisničkog iskustva razvijene platforme

Nakon ispitivanja spremnosti ključnih stejkholdera za prihvatanje mikrokredencijala [151], sprovedena je evaluacija razvijene platforme CredSeal. Za razliku od prethodnog istraživanja, koje je bilo usmereno na opšte stavove i nameru usvajanja mikrokredencijala, ova faza odnosila se na neposredno iskustvo korisnika nakon praktičnog rada sa platformom.

Evaluacija je sprovedena kao empirijsko istraživanje zasnovano na samostalnom izvršavanju unapred definisanih korisničkih scenarija. Nakon testiranja, ispitanici su procenili upotrebljivost platforme pomoću prilagođenog USE upitnika [313], [314]. Ovakav pristup omogućio je sagledavanje platforme iz perspektive različitih korisničkih uloga, ali i identifikovanje funkcionalnih i elemenata interfejsa koje je potrebno unaprediti.

6.2.1 Cilj istraživanja i uzorak

Osnovni cilj istraživanja bio je da se proceni da li razvijeni prototip omogućava jasno, jednostavno i korisno izvršavanje ključnih procesa upravljanja mikrokredencijalima. Evaluacija je bila usmerena na korisnost platforme, lakoću korišćenja, lakoću učenja i ukupno zadovoljstvo korisnika. Pored opšte procene upotrebljivosti, cilj je bio da se utvrde razlike u iskustvu između korisničkih grupa i izdvoje konkretni predlozi za dalji razvoj platforme. U skladu sa tim, definisana su sledeća istraživačka pitanja:

IP1: Kako korisnici procenjuju korisnost, lakoću korišćenja, lakoću učenja i zadovoljstvo platformom CredSeal?

IP2: Koje funkcionalnosti i elementi korisničkog interfejsa zahtevaju dodatno unapređenje?

IP3: Kako se procene platforme razlikuju između nosilaca mikrokredencijala, institucionalnih korisnika izdavaoca i verifikatora?

Istraživačka pitanja nisu bila usmerena na proveru uzročno-posledičnih odnosa niti statistički reprezentativno poređenje populacija. Istraživanje je imalo evaluacioni karakter, sa ciljem procene razvijenog prototipa i određivanja smernica za njegov dalji razvoj.

U istraživanju je učestvovalo ukupno 48 ispitanika iz Srbije. Svaki ispitanik testirao je platformu kroz jednu korisničku ulogu. Struktura uzorka prikazana je u Tabela 39.

Tabela 39 Struktura uzorka prema korisničkoj ulozi

Korisnička uloga	Broj ispitanika	Udeo u uzorku
Nosilac mikrokredencijala	37	77,1%
Izdavalac	3	6,3%
Administrator izdavaoca	1	2,1%
Poslodavac/verifikator	7	14,6%
Ukupno	48	100,0%

Uzorak je formiran namenskim izborom ispitanika koji odgovaraju korisničkim ulogama definisanim u modelu. Studenti su regrutovani putem fakultetske elektronske pošte i učestvovali su kao nosioci mikrokredencijala. Uloge izdavaoca i administratora izdavaoca preuzeli su profesori Katedre za elektronsko poslovanje i članovi Uprave Fakulteta organizacionih nauka. Poslodavci, odnosno potencijalni verifikatori, kontaktirani su putem podataka koje su dobrovoljno ostavili tokom prethodnog istraživanja spremnosti stejkholdera.

Testiranje je sprovedeno u periodu od juna do avgusta 2026. godine. Ispitanici su elektronskom poštom dobili pisano uputstvo, korisnički scenario (Prilog 2 Anketa | Evaluacija korisničkog iskustva i upotrebljivosti platforme za mikrokredencijale) i, kada je to bilo potrebno, pristupne podatke za platformu. Testiranje je bilo samostalno i nenadgledano. Ispitanici su koristili sopstvene računare ili mobilne uređaje, bez neposredne pomoći istraživača tokom izvršavanja zadataka. Na taj način procene lakoće korišćenja i lakoće učenja odnosile su se na samostalno snalaženje korisnika u sistemu.

Sve osobe uključene u konačni uzorak potvrdile su da su testirale platformu i popunile sve tvrdnje USE upitnika. Zbog toga nijedan odgovor nije isključen iz osnovne analize.

6.2.2 Procedura istraživanja

Istraživački postupak obuhvatio je prilagođavanje USE upitnika potrebama ovog istraživanja, operacionalizaciju istraživačkih konstrukata i definisanje tvrdnji za svaki od njih: korisnost, lakoća korišćenja, lakoća učenja i zadovoljstvo. Istraživanje je sprovedeno putem onlajn upitnika, a svi učesnici bili su obavešteni da je njihovo učešće dobrovoljno i anonimno, kao i da će prikupljeni podaci biti korišćeni isključivo u istraživačke svrhe.

Istraživački postupak organizovan je u tri glavne faze:

1. Dizajn i distribucija upitnika

Korišćenjem alata *Microsoft Forms* kreiran je jedan upitnik, namenjen svim ispitanicima. Upitnik je sadržao svrhu istraživanja, kratko objašnjenje koncepta mikrokredencijala i obaveštenje o dobrovoljnosti učešća i naučnoj upotrebi podataka. Distribuiran je putem elektronske pošte uz dostavljena uputstva i scenarije korišćenja (Prilog 2 Anketa | Evaluacija korisničkog iskustva i upotrebljivosti platforme za mikrokredencijale) za svaku od uloga.

2. Dizajn scenarija korišćenja

Scenariji su bili prilagođeni funkcijama koje pojedinačna uloga obavlja u životnom ciklusu mikrokredencijala. Za svaki zadatak definisani su situacija, koraci, kriterijum uspešnog završetka i elementi na koje je korisnik trebalo da obrati pažnju, kao što su jasnoća naziva, broj koraka, razumljivost statusa, povratne poruke sistema i mogućnost ponovnog samostalnog izvršavanja zadatka. Scenariji za svaku od grupa su definisani na sledeći način:

- Nosioци su testirali prijavljivanje, pregled dostupnih mikrokredencijala, podnošenje i praćenje prijave, pregled izdatog mikrokredencijala, prihvatanje ili odbijanje, upravljanje vidljivošću, javno deljenje, verifikaciju, javni profil i obaveštenja. Svi nosioci imali su unapred izdat testni mikrokredencijal *Fundamentals of Micro-Credentials*, čime je omogućeno testiranje funkcija koje zahtevaju postojanje kredencijala. U okviru scenarija deljenja i verifikacije manuelno su proveravali njegovu autentičnost.
- Korisnici u ulozi izdavaoca testirali su pregled dodeljenih šablona, obradu prijave, pojedinačno i grupno izdavanje, praćenje blokčejn sidrenja, pregled izdatih kredencijala, pretragu, filtriranje i obaveštenja. Administrator izdavaoca testirao je dodatne funkcije upravljanja institucijom, zaposlenima, korisničkim ulogama, nosiocima, šablonima i redom blokčejn poslova.
- Verifikatori nisu imali korisnički nalog. Platformi su pristupali preko javno podeljenih linkova i testirali tri osnovne funkcionalne celine: pregled javnog profila nosioca, pregled pojedinačnog mikrokredencijala i manuelnu proveru autentičnosti zapisa. Ovi zadaci bili su razrađeni kroz podzadatke koji su obuhvatili pregled podataka o izdavaocu, statusa, ishoda učenja, veština, javno podeljenih atributa i rezultata blokčejn provere.

3. Struktura i sadržaj upitnika

Upitnik je sadržao pitanja o prethodnom poznavanju mikrokredencijala, korisničkoj ulozi i demografskim karakteristikama. Završni deo upitnika sastojao se od niza tvrdnji ocenjenih primenom petostepene Likertove skale, od potpunog neslaganja do potpunog slaganja. Tvrdnje su definisane na osnovu smernica za definisanje USE upitnika, a prilagođeno kontekstu platforme za upravljanje mikrokredencijalima.

6.2.3 Instrumenti

Prikupljanje podataka sprovedeno je primenom jedinstvenog strukturiranog upitnika koji se sastojao iz tri glavna dela: uvodnog modula o mikrokredencijalima, demografskog upitnika i strukturiranog upitnika zasnovanog na USE upitniku (Prilog 2 Anketa | Evaluacija korisničkog iskustva i upotrebljivosti platforme za mikrokredencijale).

Centralni deo instrumenta zasnovan je na USE upitniku (eng. *Usefulness, Satisfaction and Ease of Use*), koji se koristi za procenu korisnosti, lakoće korišćenja, lakoće učenja i zadovoljstva softverskim rešenjima (Tabela 40). U prethodnim istraživanjima USE je primenjivan nakon praktičnog korišćenja razvijenog softvera, uz prilagođavanje tvrdnji predmetu evaluacije i uključivanje otvorenih pitanja o problemima i predlozima. U ovom istraživanju instrument je prilagođen kontekstu platforme za upravljanje mikrokredencijalima. Zadržane su četiri osnovne dimenzije, ali su formulacije pojedinih tvrdnji prilagođene procesima pregleda, izdavanja, upravljanja i verifikacije mikrokredencijala.

Tabela 40 Struktura prilagođenog USE upitnika

Dimenzija	Broj tvrdnji	Predmet procene
Korisnost	6	funkcionalna celovitost, efikasnost, kontrola, očekivana i opšta korisnost
Lakoća korišćenja	7	jednostavnost, potreban trud, broj koraka, doslednost, ispravljanje grešaka i preglednost
Lakoća učenja	4	brzina učenja, pamćenje postupaka i samostalnost u radu
Zadovoljstvo	4	opšte zadovoljstvo, priyatnost, preporuka i ukupno iskustvo
Ukupno	21	

Sve tvrdnje bile su pozitivno formulisane i ocenjivane petostepenom Likertovom skalom:

- u potpunosti se ne slažem;
- delimično se ne slažem;
- neutralan/na sam;
- delimično se slažem;
- u potpunosti se slažem.

Isti skup tvrdnji prikazan je svim korisničkim ulogama. To omogućava pregled ukupne procene platforme, ali zahteva oprez prilikom poređenja pojedinih stavki. Na primer, tvrdnje o boljoj kontroli nad sopstvenim stečenim mikrokredencijalima i doprinosu akademskom razvoju neposredno su relevantne prvenstveno za nosioce. Zbog toga su sve tvrdnje analizirane deskriptivno, dok su poređenja između korisničkih grupa sprovedena samo tamo gde je značenje tvrdnje podjednako primenljivo na sve posmatrane uloge.

Učešće u istraživanju bilo je dobrovoljno. Upitnikom nisu prikupljani ime, lična adresa elektronske pošte niti drugi neposredni identifikatori ispitanika. Nazivi kompanija i institucija korišćeni su isključivo za razumevanje strukture uzorka i anonimizovani su pre prikazivanja rezultata. Tokom testiranja korišćeni su testni nalozi, podaci i dokumenti, a ispitanicima je ukazano da ne unose stvarne poverljive podatke.

USE upitnik ne definiše univerzalni prag na osnovu kog se softver može jednoznačno proglasiti prihvatljivim ili neprihvatljivim. Zbog toga se procena prihvatljivosti platforme zasnivala na kombinovanju više pokazatelja: položaja prosečnih ocena u odnosu na neutralnu vrednost skale, zastupljenosti pozitivnih odgovora, međusobnog odnosa četiri dimenzije i sadržaja komentara ispitanika. Pozitivna ukupna procena prototipa podrazumeva dominantno pozitivne odgovore u svim dimenzijama i odsustvo ponavljajućih problema koji onemogućavaju završetak ključnih zadataka.

Na kraju upitnika nalazilo se otvoreno pitanje namenjeno komentarima i predlozima. Sadržajni odgovori analizirani su sažetim kvalitativnim postupkom. Komentari su induktivno grupisani prema ponavljajućim temama, kao što su jednostavnost korišćenja, navigacija, povratne poruke sistema, vreme odziva, mobilni prikaz, jasnoća blokčejn podataka, upravljanje deljenjem i relevantnost prikazanih kompetencija. Rezultati kvalitativne analize korišćeni su kao dopuna numeričkim ocenama i osnova za formulisane preporuke za unapređenje platforme.

6.2.4 Analiza rezultata istraživanja

Analiza odgovora je izvršena po svakoj grupi ispitanika, kao i po tvrdnjama za četiri dimenzije USE upitnika. Za svaku tvrdnju izračunati su:

- broj i procenat odgovora u svakoj kategoriji;
- aritmetička sredina;
- standardna devijacija;
- procenat pozitivnih odgovora, određen kao zbir odgovora „delimično se slažem“ i „u potpunosti se slažem“.

Pored ukupnog uzorka, rezultati su prikazani i prema korisničkoj ulozi kada je takvo poređenje sadržinski opravdano. Zbog malog broja i neujednačene zastupljenosti institucionalnih korisnika, tri izdavaoca i jedan administrator izdavaoca, grupisani su u kategoriju institucionalnih korisnika izdavaoca. Poređenje grupa bilo je isključivo deskriptivno i nisu primenjivani testovi statističke značajnosti.

Tabela 41 Rezultati USE evaluacije prema dimenzijama

Dimenzija	Broj tvrdnji	AS	SD	Ispitanici sa prosečnom ocenom ≥ 4
Korisnost	6	4,53	0,67	87,5%
Lakoća korišćenja	7	4,51	0,72	87,5%
Lakoća učenja	4	4,75	0,64	95,8%
Zadovoljstvo	4	4,82	0,59	97,9%

Analiza odgovora pokazuje izrazito pozitivnu procenu razvijene platforme u sve četiri dimenzije prilagođenog USE upitnika (Tabela 41). Najviša prosečna ocena zabeležena je za zadovoljstvo korisnika, dok je relativno najniže, ali i dalje visoko, ocenjena lakoća korišćenja.

Prosečne ocene svih dimenzija nalaze se iznad vrednosti 4,50, što ukazuje da su ispitanici platformu dominantno procenili kao korisnu, jednostavnu za savladavanje i prijatnu za upotrebu. Najviši rezultat dimenzije zadovoljstva pokazuje da su povremeni problemi tokom izvršavanja pojedinih zadataka imali ograničen uticaj na ukupno korisničko iskustvo. Lakoća učenja ocenjena je višom ocenom od lakoće korišćenja. Ovakav rezultat ukazuje da su ispitanici veoma brzo razumeli logiku rada sistema i postali samostalni, iako su kod pojedinih funkcionalnosti uočili nedoslednosti.

Dimenzija korisnosti (Tabela 42) obuhvatila je procenu funkcionalne celovitosti platforme, efikasnosti pregleda i verifikacije mikrokredencijala, kontrole nad kredencijalima i njenog doprinosa akademskom i profesionalnom razvoju.

Tabela 42 Rezultati tvrdnji u dimenziji korisnosti

Tvrdnja	AS	SD	Pozitivni odgovori
Platforma sadrži sve funkcionalnosti koje su mi potrebne za rad sa mikrokredencijalima	4,52	0,87	89,6%
Omogućava efikasniji proces pregleda i verifikacije mikrokredencijala	4,75	0,60	95,8%
Omogućava mi bolju kontrolu i uvid u moje stečene mikrokredencijale	4,46	1,09	79,2%
Korisna je za moj akademski i profesionalni razvoj	4,31	0,90	79,2%
Radi sve što bih očekivao/la da radi	4,46	0,82	89,6%
Uopšteno govoreći, platforma je izuzetno korisna	4,69	0,78	95,8%

Najvišu ocenu dobila je tvrdnja da platforma omogućava efikasniji pregled i verifikaciju mikrokredencijala, dok je gotovo isti nivo saglasnosti ostvaren kod opšte procene korisnosti platforme. Ovi rezultati pokazuju da su korisnici prepoznali osnovnu vrednost sistema u objedinjavanju podataka o kredencijalima i pojednostavljivanju njihove provere. Relativno niže ocene tvrdnji o kontroli nad stečenim mikrokredencijalima i doprinosu akademskom i profesionalnom razvoju posledica su njihove različite relevantnosti za korisničke uloge. Kod nosilaca je tvrdnja o boljoj kontroli i uvidu ocenjena sa 4,81, uz 94,6% pozitivnih odgovora, dok je kod verifikatora njena prosečna ocena iznosila 2,57. Verifikatori ne upravljaju sopstvenim kredencijalima, već pristupaju javno podeljenim podacima, zbog čega se njihov odgovor ne može tumačiti kao negativna ocena funkcionalnosti platforme. U ovoj grupi prosečna ocena iznosila je 4,43, uz 86,5% pozitivnih odgovora.

Tabela 43 Rezultati tvrdnji u dimenziji lakoće korišćenja

Tvrdnja	AS	SD	Pozitivni odgovori
Platforma se lako i jednostavno koristi	4,54	0,99	89,6%
Zahteva minimalan trud za korišćenje	4,54	0,94	91,7%
Omogućava korišćenje funkcionalnosti u minimalnom broju koraka	4,60	0,74	89,6%
Koristi se bez napora	4,63	0,84	91,7%
Nisam primetio/la nedoslednosti prilikom korišćenja	4,29	1,09	79,2%
Mogu brzo i lako da ispravim greške	4,46	0,74	89,6%
Interfejs platforme veoma je jasan i pregledan	4,54	0,85	91,7%

Analizirajući rezultate dimenzije lakoće korišćenja (Tabela 43) može se videti da je najvišu ocenu dobila tvrdnja da se platforma koristi bez napora, dok su veoma visoko ocenjeni i minimalan trud potreban za korišćenje, broj potrebnih koraka i preglednost interfejsa. To pokazuje da je osnovna organizacija portala i navigacije bila razumljiva korisnicima koji su sistem testirali samostalno i bez pomoći istraživača. Najniža ocena u ovoj dimenziji odnosi se na odsustvo nedoslednosti. Iako je 79,2% ispitanika dalo pozitivan odgovor, 10,4% bilo je neutralno, a 10,4% izrazilo je određeni stepen neslaganja. Ovaj rezultat odgovara komentarima u kojima su pomenuti sporija obrada prihvatanja kredencijala, kašnjenje pri osvežavanju statusa, prazna stranica nakon odjavljivanja i povremeno nejasno stanje blokčejn sidrenja.

Lakoća učenja predstavlja jednu od najbolje ocenjenih dimenzija (Tabela 44).

Tabela 44 Rezultati tvrdnji u dimenziji lakoće učenja

Tvrdnja	AS	SD	Pozitivni odgovori
Brzo sam naučio/la kako da koristim platformu	4,79	0,65	97,9%
Lako sam zapamtio/la kako se platforma koristi	4,77	0,66	97,9%
Proces savladavanja rada na platformi bio je jednostavan	4,77	0,69	95,8%
Brzo sam postao/la samostalan/na i vešt/a u radu na platformi	4,67	0,75	93,8%

Gotovo svi ispitanici naveli su da su brzo naučili i zapamtili način korišćenja platforme. Nijedna tvrdnja nije imala više od 2,1% negativnih odgovora. Rezultati su posebno značajni imajući u vidu da je testiranje bilo nenadgledano. Ispitanici su dobili pisana scenarija, ali nisu imali neposrednu pomoć istraživača. Visoke ocene zato ukazuju da su struktura navigacije, nazivi glavnih sekcija i redosled osnovnih aktivnosti bili dovoljno intuitivni za samostalno korišćenje.

Zadovoljstvo je ostvarilo najvišu prosečnu ocenu (Tabela 45) među svim posmatranim dimenzijama.

Tabela 45 Rezultati tvrdnji u dimenziji zadovoljstva

Tvrdnja	AS	SD	Pozitivni odgovori
Zadovoljan/a sam radom platforme	4,81	0,64	97,9%
Platforma je prijatna za upotrebu	4,79	0,68	95,8%
Rado bih preporučio/la platformu kolegama	4,77	0,69	95,8%
Korišćenje platforme bilo je pozitivno iskustvo	4,90	0,59	97,9%

Najviša pojedinačna ocena u celom upitniku zabeležena je kod tvrdnje da je korišćenje platforme bilo pozitivno iskustvo. Visoko su ocenjeni i spremnost na preporuku i opšte zadovoljstvo radom sistema. Ovi rezultati ukazuju da uočeni tehnički nedostaci i nedostaci interfejsa nisu narušili opšti stav korisnika prema platformi. Naprotiv, ispitanici su prototip dominantno doživeli kao funkcionalno i prijatno rešenje koje ima potencijal za praktičnu primenu.

6.2.4.1 Rezultati prema korisničkoj ulozi

Zbog neujednačene veličine grupa, rezultati prema ulozi analizirani su deskriptivno. Tri ispitanika u ulozi izdavaoca i jedan administrator izdavaoca objedinjeni su u grupu institucionalnih korisnika.

Tabela 46 Prosečne ocene USE dimenzija prema korisničkoj ulozi

Dimenzija	Nosioci (n = 37)	Institucionalni korisnici (n = 4)	Verifikatori (n = 7)
Korisnost	4,67	4,29	3,93
Lakoća korišćenja	4,52	4,18	4,69
Lakoća učenja	4,73	4,56	4,96
Zadovoljstvo	4,80	4,81	4,93

Sve grupe (Tabela 46) veoma su visoko ocenile lakoću učenja i zadovoljstvo platformom. Najviše ocene kod verifikatora mogu se povezati sa manjim brojem i jednostavnijom prirodom njihovih zadataka, koji nisu zahtevali prijavljivanje niti izmenu podataka. Verifikatori su pristupali javnom profilu i kredencijalu i pokretali manuelnu proveru, dok su institucionalni korisnici prolazili kroz složenije administrativne procese. Niža ukupna ocena korisnosti kod verifikatora ne predstavlja nezadovoljstvo javnom verifikacijom. Ona je prvenstveno rezultat dve tvrdnje koje se odnose na kontrolu nad sopstvenim kredencijalima i akademski razvoj. Kada se posmatraju samo četiri tvrdnje korisnosti koje su podjednako primenljive na sve uloge, prosečna ocena verifikatora iznosi 4,36.

Kod institucionalnih korisnika najniža je bila lakoća korišćenja. Iako je i ovaj rezultat pozitivan, ukazuje da procesi upravljanja šablonima, zaposlenima, prijavama, izdavanjem i blokčejn poslovima nose veću operativnu složenost. Zbog veoma malog broja institucionalnih ispitanika, ovaj rezultat treba posmatrati kao indikaciju, a ne kao osnovu za generalizovanje.

Nosioci su korisnost ocenili najvišom ocenom od svih grupa. Posebno su pozitivno ocenili efikasnost pregleda i verifikacije, kontrolu nad stečenim kredencijalima i opštu korisnost platforme. To pokazuje da je portal uspešno podržao osnovne potrebe korisnika kome je kredencijal izdat.

6.2.4.2 Kvalitativna analiza komentara i predloga

Otvoreni odgovori analizirani su sažetim tematskim postupkom (Tabela 47). Jedan komentar mogao je biti svrstan u više tema, pa se broj pojavljivanja tema ne sabira do ukupnog broja ispitanika.

U 27 odgovora navedena je konkretna primedba ili predlog za unapređenje, dok su ostali komentari uglavnom sadržali opštu pohvalu, potvrdu da nisu uočeni problemi ili odgovor bez dodatnog sadržaja. Dominantna tema komentara bila je jednostavnost platforme. Ispitanici su je opisivali kao preglednu, intuitivnu i laku za korišćenje, a više njih navelo je da bi je rado koristilo i u budućnosti. Ovi nalazi potvrđuju visoke kvantitativne rezultate lakoće učenja i zadovoljstva.

Tabela 47 Ključne teme u komentarima ispitanika

Tema	Broj komentara	Najčešće napomene
Jednostavnost, intuitivnost i pozitivno iskustvo	24	preglednost, lako snalaženje, odsustvo suvišnih funkcionalnosti
Navigacija, klikabilnost i raspored elemenata	12	klikabilne kartice, položaj dugmadi, povratak na prethodnu stranicu, aktivni elementi kontrolne table
Povratne poruke, vreme odziva i osvežavanje statusa	7	loader tokom prihvatanja, kašnjenje promene statusa, jasnija potvrda izvršene akcije
Kontrola deljenja i vidljivosti	5	jasnije izdvajanje javne vidljivosti, potvrda pre deljenja, prikaz sakrivenih atributa
Mobilni prikaz i vizuelno prilagođavanje	4	ponašanje bočnog menija, responzivnost kontrolne table, dodatne boje i vizuelni elementi
Uputstva, objašnjenja i terminologija	4	objašnjenja, uvodno predstavljanje koncepta, jasniji nazivi funkcionalnosti
Poslovna relevantnost i dokazi o kompetencijama	4	veza kompetencija sa radnim mestom, kriterijumi ocenjivanja, praktično dokazivanje veštine

Tema	Broj komentara	Najčešće napomene
Jasnoća blokčejn informacija	3	prevelika količina tehničkih podataka, nejasni statusi i potreba za jednostavnijim prikazom
Poređenje, integracije i izveštavanje	3	poređenje kandidata, povezivanje sa HR sistemima i preuzimanje izveštaja

Najveći broj konkretnih predloga odnosio se na navigaciju i interakciju sa elementima. Korisnici su očekivali da kartice kredencijala i pokazatelji na kontrolnoj tabli budu klikabilni, bez potrebe za dodatnim izborom dugmeta „Details“ ili „Continue“. Predloženo je i bolje pozicioniranje dugmadi, jasnije ponašanje menija obaveštenja i pravilno preusmeravanje nakon odjavljivanja ili korišćenja opcije za povratak.

Druga značajna grupa komentara odnosila se na povratne informacije sistema. Tokom prihvatanja kredencijala pojedini korisnici nisu bili sigurni da li je zahtev obrađen, jer su dugmad postajala neaktivna bez prikaza indikatora učitavanja. Pomenuto je i da se status prihvaćenog kredencijala nije uvek odmah osvežavao. Uvođenje indikatora obrade, neposrednog osvežavanja stanja i jasnijih potvrda zato predstavlja prioritet za unapređenje korisničkog iskustva.

Kod deljenja kredencijala ispitanici su predložili jasnije razdvajanje opcije kojom se ceo kredencijal čini javnim od opcija za prikaz pojedinačnih atributa. Kao korisna unapređenja navedeni su pregled izabranih podešavanja pre deljenja, upozorenje da isključivanje javne dostupnosti deaktivira ranije podeljen link i vizuelno označavanje dela kredencijala na koji se pojedinačna opcija odnosi. Komentari koji se odnose na blokčejn ukazuju da tehnički detalji imaju vrednost za proverljivost, ali mogu opteretiti korisnika koji nije upoznat sa tehnologijom. Predloženo je da se osnovni rezultat provere prikaže jednostavno, dok bi detalji o transakciji, ugovoru i statusu sidrenja bili dostupni kao opciono proširenje.

Verifikatori su platformu prepoznali kao sredstvo za bržu proveru kredencijala i sagledavanje kompetencija kandidata. Njihovi predlozi bili su usmereni na poslovnu interpretaciju podataka, a ne na osnovnu upotrebljivost. Posebno su izdvojene potrebe za:

- prikazom relevantnosti kompetencija za određeno radno mesto;
- detaljnijim opisom zadatka i kriterijuma ocenjivanja;
- razlikovanjem individualnog doprinosa od timskog rada;
- poređenjem kompetencija više kandidata;
- integracijom sa HR, *talent-management* i *learning-management* sistemima;
- preuzimanjem sažetog izveštaja o verifikovanim kompetencijama.

Ovi komentari ukazuju da dalji razvoj ne treba da bude usmeren samo na tehničku verifikaciju kredencijala, već i na njihovo prevođenje u informacije koje su neposredno upotrebljive u procesima selekcije, razvoja i upravljanja talentima.

Rezultati pokazuju da je razvijeni prototip prihvatljiv iz perspektive ključnih korisničkih grupa. Sve četiri USE dimenzije ostvarile su prosečne ocene više od 4,50, dok je najmanje 87,5% ispitanika u svakoj dimenziji imalo prosečnu ocenu 4 ili više. Posebno visoke ocene lakoće učenja potvrđuju da se platforma može savladati samostalno, dok rezultati zadovoljstva pokazuju da su korisnici imali pozitivno iskustvo i bili spremni da platformu preporuče drugima. Uočena ograničenja odnose se prvenstveno na povratne poruke sistema, osvežavanje statusa, pojedine navigacione obrasce i prikaz tehničkih blokčejn informacija, a ne na nerazumevanje osnovne logike sistema. Kombinovani rezultati kvantitativne i kvalitativne analize potvrđuju da prototip podržava osnovne procese izdavanja, upravljanja, deljenja i verifikacije mikrokredencijala. Istovremeno, identifikovani predlozi daju konkretne smernice za dalje unapređenje interfejsa, stabilnosti operacija i poslovne primenljivosti podataka o kompetencijama.

6.2.5 Ograničenja

Metodološka ograničenja istraživanja proističu iz namernog i prigodnog uzorka, neravnomerne zastupljenosti korisničkih uloga i činjenice da su svi ispitanici bili iz Srbije. Posebno mali broj institucionalnih korisnika i verifikatora nije omogućio statističko ispitivanje razlika između korisničkih

grupa, zbog čega su njihovi rezultati analizirani isključivo deskriptivno. Dobrovoljno učešće u istraživanju moglo je dovesti i do pristrasnosti samoselekcije, jer su se za testiranje potencijalno češće odlučivali ispitanici zainteresovani za mikrokredencijale i digitalne tehnologije.

Procene su zasnovane na samostalno prijavljenom iskustvu, bez automatskog merenja vremena izvršavanja zadataka, broja grešaka, uspešnosti završetka scenarija ili drugih objektivnih pokazatelja efikasnosti. Ispitanici su koristili različite uređaje i tehnička okruženja, čiji uticaj na korisničko iskustvo nije posebno kontrolisan. Takođe, nisu svi izvršavali isti broj niti istu vrstu zadataka, jer su scenariji bili prilagođeni njihovim korisničkim ulogama. Isti skup USE tvrdnji prikazan je svim ispitanicima, iako pojedine tvrdnje, naročito one koje se odnose na kontrolu nad stečenim mikrokredencijalima i akademski razvoj, nisu bile podjednako relevantne za sve uloge. Zbog toga su rezultati prema korisničkim grupama tumačeni samo za tvrdnje koje odgovaraju njihovim stvarnim zadacima i načinu korišćenja platforme.

Istraživanje je sprovedeno nakon kratkotrajnog testiranja, pa rezultati ne obuhvataju iskustvo dugoročne, učestale i institucionalne upotrebe platforme. Korisnička evaluacija nije obuhvatila sve tehničke funkcionalnosti sistema, uključujući obnovu kredencijala i *on-chain* opoziv, koji je proveravan zasebnim tehničkim testiranjem. Zbog navedenog, nalazi se prvenstveno odnose na evaluaciju razvijenog prototipa i ne mogu se neposredno generalizovati na sve potencijalne korisnike ili institucionalna okruženja.

7 Implikacije

Rezultati istraživanja sprovedenih u okviru ove disertacije pokazuju da primena mikrokredencijala ne predstavlja samo uvođenje novog oblika digitalnog sertifikata, već podrazumeva promene u načinu na koji se kompetencije definišu, evidentiraju, potvrđuju i razmenjuju između pojedinaca, visokoškolskih ustanova i tržišta rada. Empirijski nalazi ukazuju na značaj percipirane vrednosti, poverenja, kredibiliteta izdavaoca, transparentnosti i jednostavne verifikacije, dok razvijeni model i njegova implementacija pokazuju na koji način se ovi zahtevi mogu operacionalizovati kroz poslovne procese, strukturu mikrokredencijala, kontrolu pristupa i tehnološki sloj poverenja. Zbog toga se implikacije istraživanja mogu razmatrati na nivou nosioca (studenta), visokoškolskih ustanova, tržišta rada, zakonodavstva, tehnološkog razvoja i šireg društvenog konteksta.

Tabela 48 Pregled ključnih implikacija istraživanja

Oblast	Implikacija	Moguća operacionalizacija
Nosioci (Studenti)	Veća vidljivost stečenih kompetencija	Digitalni portfolio kompetencija, dokazivanje vannastavnih i projektnih postignuća, selektivno deljenje mikrokredencijala
Nosioci (Studenti)	Veća prenosivost postignuća	Prijave za međunarodne programe, mobilnost, prakse, zapošljavanje i frilens angažmane (eng. <i>freelancing</i>)
Visokoškolske ustanove	Prilagođavanje obrazovne ponude	Kraći programi, programi celoživotnog učenja, mikrokredencijali povezani sa kompetencijama i ishodima učenja
Visokoškolske ustanove	Povezivanje formalnog i neformalnog učenja	Validacija aktivnosti kroz projekte, letnje škole, hakatone, studentske organizacije i stručne programe
Visokoškolske ustanove	Integracija sa postojećim sistemima	Povezivanje sa LMS sistemima, studentskim informacionim sistemima i institucionalnim evidencijama
Međuinstitucionalna saradnja	Zajednički obrazovni programi	Zajedničko izdavanje, međunarodni programi i prenosivi digitalni kredencijali
Tržište rada / Poslodavci	Selekcija zasnovana na kompetencijama	Brža provera znanja, veština i dokaza umesto oslanjanja isključivo na diplomu i CV
Tržište rada / Poslodavci	Prepoznavanje dodatnih znanja i veština	Povezivanje kompetencija sa zanimanjima i zahtevima radnih mesta, npr. primenom ESCO klasifikacije
Zakonodavstvo i regulatorna tela	Standardizacija i interoperabilnost	Usklađivanje metapodataka, ishoda učenja, ESPB, nivoa, procene i obezbeđenja kvaliteta
Zakonodavstvo i regulatorna tela	Međunarodna prenosivost	Usklađivanje sa evropskim okvirima i digitalnim infrastrukturama za kredencijale
Tehnološki aspekt	Blokcejn kao sloj poverenja	Čuvanje kriptografskih dokaza i statusa, uz zadržavanje detaljnih i ličnih podataka van blokcejn mreže
Društveni aspekt	Podrška celoživotnom učenju	Vidljivije i prenosivije evidentiranje manjih jedinica učenja tokom čitavog profesionalnog razvoja

Implikacije za nosioce mikrokredencijala

Za studente, odnosno nosioce mikrokredencijala, ključna implikacija odnosi se na mogućnost da kompetencije stečene izvan klasične predmetne nastave postanu vidljivije i proverljivije. Projekti, stručne radionice, letnje škole, hakatoni, studentske organizacije, volontiranje i drugi oblici neformalnog učenja mogu doprineti razvoju značajnih stručnih i prenosivih kompetencija, ali njihova vrednost često ostaje nedovoljno vidljiva u tradicionalnoj akademskoj dokumentaciji. Mikrokredencijali omogućavaju da se takva postignuća povežu sa konkretnim ishodima učenja, kompetencijama i dokazima o njihovom sticanju, umesto da se evidentira samo činjenica da je pojedinac učestvovao u određenoj aktivnosti. Ovakav pristup je u skladu i sa nalazima istraživanja koji ukazuju da studenti mikrokredencijale vide kao dopunu formalnim kvalifikacijama i način za pouzdanije predstavljanje svojih kompetencija.

Praktična vrednost ovakvog pristupa prevazilazi korišćenje mikrokredencijala unutar matične visokoškolske ustanove. Student može formirati digitalni portfolio proverljivih postignuća koji se koristi prilikom konkurisanja za praksu ili zaposlenje, međunarodne programe mobilnosti, stipendije, dodatne obrazovne programe ili projektne i frilens angažmane. Umesto dostavljanja različitih potvrda i sertifikata čiju autentičnost druga strana mora zasebno proveravati, mikrokredencijal može objediniti informacije o izdavaocu, stečenim kompetencijama, ishodima učenja, načinu procene i dokazima. U budućim

interoperabilnim okruženjima ovakvi kredencijali mogu biti prenosivi i kroz digitalne novčanike, uključujući infrastrukture usklađene sa konceptom *European Digital Identity Wallet* (EUDI *Wallet*), čime se dodatno podržava kontrola pojedinca nad sopstvenim kredencijalima i njihovim deljenjem.

Implikacije za visokoškolske ustanove

Za visokoškolske ustanove mikrokredencijali otvaraju mogućnost da prošire obrazovnu ponudu bez zamene postojećih studijskih programa. Njihova primena može biti usmerena na razvoj kraćih i modularnih programa celoživotnog učenja, stručnog usavršavanja i programa koji odgovaraju na nove potrebe tržišta rada. Na taj način institucija može brže razvijati sadržaje iz novih tehnoloških i poslovnih oblasti, a pojedincima omogućiti postepeno sticanje manjih, jasno definisanih celina znanja i kompetencija. Literatura i rezultati prethodnog istraživanja u okviru disertacije takođe ukazuju da se mikrokredencijali pre svega posmatraju kao dopuna, a ne zamena tradicionalnim kvalifikacijama.

Moguća integracija ne odnosi se samo na kreiranje novih programa. Mikrokredencijali mogu biti povezani sa postojećom digitalnom infrastrukturom ustanove, kao što su *Moodle* ili drugi LMS sistemi, studentski informacioni sistemi, evidencije o projektima i programima stručnog razvoja. Na primer, uspešno završena aktivnost i odgovarajući dokaz o ostvarenim ishodima učenja mogu predstavljati ulaz za proces izdavanja mikrokredencijala, dok se njegovo izdavanje i status dalje evidentiraju u sistemu za upravljanje mikrokredencijalima. Time se izbegava stvaranje potpuno paralelnog obrazovnog sistema, već se mikrokredencijali integrišu sa postojećim procesima i informacionim sistemima ustanove.

Dodatna implikacija odnosi se na međunarodnu i međuinstitucionalnu saradnju. Zajedničke letnje škole, kratki programi, projekti i kursevi koje realizuje više univerziteta mogu biti praćeni interoperabilnim digitalnim kredencijalima sa jasno definisanim izdavaocem, obimom učenja, ishodima i kriterijumima procene. Standardizovani metapodaci i digitalni formati povećavaju mogućnost da takav kredencijal bude razumljiv i proverljiv izvan institucije u kojoj je nastao. U evropskom kontekstu relevantni pravci uključuju *European Learning Model*, *Europass Digital Credentials* i interoperabilne modele proverljivih kredencijala. Pri tome je posebno važno razlikovati evidentiranje učešća od validacije stečene kompetencije. Za aktivnosti neformalnog i vannastavnog učenja visokoškolske ustanove bi trebalo da definišu koje aktivnosti mogu biti predmet validacije, očekivane ishode i kompetencije, potrebne dokaze i kriterijume ocenjivanja. Time se sprečava da mikrokredencijal postane samo digitalna potvrda prisustva i jača njegova kredibilnost prema drugim institucijama i poslodavcima. Ovakav pristup podrazumeva definisanje kategorija aktivnosti, povezivanje sa ishodima i kompetencijama, prikupljanje odgovarajućih dokaza i primenu unapred definisanih kriterijuma procene.

Implikacije za poslodavce i tržište rada

Rezultati istraživanja sprovedenog u okviru ove disertacije pokazuju da poslodavci mikrokredencijale mogu koristiti kao dodatni signal kompetencija kandidata, ali da njihovo prihvatanje zavisi od kredibiliteta izdavaoca, transparentnosti procesa sticanja i pouzdanosti verifikacije. Praktična implikacija jeste mogućnost pomeranja dela procesa selekcije sa pristupa zasnovanog prvenstveno na formalnim kvalifikacijama ka pristupu koji uključuje konkretne kompetencije i dokaze o njihovom sticanju. Diploma i dalje pruža informacije o nivou i oblasti formalnog obrazovanja, dok mikrokredencijali mogu dati granularniji prikaz specifičnih znanja i veština kandidata. Takav pristup može biti posebno značajan u oblastima u kojima se potrebne kompetencije brzo menjaju. Poslodavac može dobiti neposredniji uvid u kompetencije razvijene kroz dodatne kurseve, projekte, hakatone, profesionalne obuke ili druge aktivnosti, kao i u način na koji su one procenjene. Standardizovano označavanje kompetencija i njihovo povezivanje sa klasifikacijama kao što je ESCO dodatno omogućava vezu između obrazovnih ishoda i zahteva konkretnih zanimanja. Time mikrokredencijali mogu doprineti preciznijem profilisanju kandidata i identifikovanju razlike između postojećih i potrebnih kompetencija.

Digitalna verifikacija može smanjiti i administrativno opterećenje procesa selekcije. Umesto neposrednog kontaktiranja institucije radi potvrđivanja autentičnosti dokumenta, verifikator može proveriti poreklo, integritet i status kredencijala kroz sistem. To ne znači automatizovano donošenje odluke o kandidatu, već omogućava da se deo procesa koji se odnosi na proveru dokumentacije obavi brže, dok odluka o relevantnosti konkretne kompetencije ostaje u domenu poslodavca. Mikrokredencijali mogu imati

primenu i nakon zapošljavanja, kroz planiranje internog razvoja zaposlenih, identifikovanje nedostajućih kompetencija i evidentiranje ciljano sprovedenih programa stručnog usavršavanja.

Implikacije za zakonodavstvo i regulatorna tela

Za regulatorna tela rezultati empirijskog istraživanja ukazuju da tehnička proverljivost sama po sebi nije dovoljna za šire prihvatanje mikrokredencijala. Potrebni su jasno definisani standardi koji omogućavaju da različiti izdavaoci opisuju mikrokredencijale na standardizovan način. To uključuje najmanje identitet nosioca i izdavaoca, naziv mikrokredencijala, ishode učenja, obim učenja, nivo, način procene, način učešća i mehanizme obezbeđenja kvaliteta. U evropskom kontekstu ovaj pravac je usklađen sa Preporukom Saveta EU o evropskom pristupu mikrokredencijalima, kao i sa povezivanjem sa ECTS, EQF/QF-EHEA i standardizovanim modelima digitalnih obrazovnih kredencijala. Standardizovani metapodaci predstavljaju jedan od osnovnih uslova da mikrokredencijal bude razumljiv i prenosiv između različitih institucija i nacionalnih sistema.

Za nacionalni kontekst to podrazumeva dalji razvoj veze između evropskih smernica, nacionalnog okvira kvalifikacija, pravila obezbeđenja kvaliteta i procedura priznavanja. Posebno pitanje predstavlja odnos formalno organizovanih mikrokredencijala i kompetencija razvijenih kroz neformalno i vannastavno učenje. Takve aktivnosti ne treba automatski izjednačavati sa formalno priznatim mikrokredencijalima, ali je moguće razvijati procedure njihovog dokumentovanja, vrednovanja i povezivanja sa formalnim obrazovnim putevima gde regulatorni okvir to omogućava.

Tehnološke implikacije

Na tehnološkom nivou, regulatorni i standardizovani razvoj trebalo bi da prati evropske inicijative za digitalne kredencijale i digitalni identitet. Interoperabilnost ne podrazumeva samo mogućnost prenosa datoteke između dva sistema, već postojanje zajedničkog semantičkog modela, pouzdanog identiteta izdavaoca, mašinski čitljivog formata i standardizovanog načina provere. Pravci kao što su *Europass* digitalni kredencijali, proverljivi kredencijali i *EUDI Wallet* mogu predstavljati osnovu za buduće prekogranično korišćenje, uz odgovarajuće pravno i institucionalno usklađivanje.

Razvijeni model i prototip ukazuju i na širu tehnološku implikaciju primene blokčejn tehnologije. Blokčejn u ovakvom sistemu ne treba posmatrati kao bazu podataka u koju se prenosi kompletna obrazovna evidencija, već kao specijalizovani sloj poverenja i proverljivosti. Poslovni, obrazovni i lični podaci mogu ostati u kontrolisanim informacionim sistemima, dok se na blokčejn evidentiraju kriptografski dokazi, reference i statusi potrebni za kasniju proveru integriteta. Ovakav pristup omogućava kombinovanje prednosti klasičnih informacionih sistema, kao što su efikasno upravljanje podacima i kontrola pristupa, sa karakteristikama blokčejn mreže relevantnim za proverljivost i nepromenljivost dokaza. Takav arhitektonski obrazac nije ograničen isključivo na mikrokredencijale. Može se primeniti i u drugim sistemima u kojima više nezavisnih aktera treba da proverava autentičnost zapisa, dok detaljni ili lični podaci ne treba da budu javno dostupni. Primeri uključuju profesionalne sertifikate, licence, potvrde o stručnom usavršavanju, evidencije o obukama ili druga dokumenta čija vrednost zavisi od mogućnosti nezavisne provere njihovog porekla i integriteta. Pri tome rezultati ove disertacije dodatno ukazuju na potrebu da se blokčejn integriše sa principima ugrađene bezbednosti i privatnosti, umesto da se sama decentralizacija tretira kao dovoljan mehanizam zaštite.

Društvene implikacije

Na širem društvenom nivou, mikrokredencijali mogu doprineti razvoju kulture celoživotnog učenja u kojoj se profesionalni razvoj ne završava sticanjem jedne formalne kvalifikacije. Manje i prenosive jedinice učenja omogućavaju pojedincima da tokom vremena nadograđuju profil kompetencija u skladu sa profesionalnim interesovanjima, tehnološkim promenama i potrebama tržišta rada. Na taj način formalno obrazovanje ostaje osnovni element obrazovnog puta, dok se kasnije i paralelno stečena znanja mogu učiniti vidljivijim. Istovremeno, povećanje transparentnosti ne bi trebalo da znači smanjenje kontrole pojedinca nad sopstvenim podacima. Rezultati razvijenog modela ukazuju da je moguće kombinovati proverljivost sa selektivnim deljenjem, tako da nosilac odlučuje kome i u kom obimu predstavlja svoje podatke, dok verifikator zadržava mogućnost da proveri autentičnost dostupnog kredencijala. U tom

smislu, doprinos mikrokredencijala nije samo u digitalizaciji sertifikata, već u stvaranju fleksibilnijeg ekosistema u kojem se različiti oblici učenja mogu učiniti vidljivijim, prenosivijim i pouzdanije proverljivim, uz očuvanje autonomije pojedinca.

8 Naučni doprinosi

Najznačajniji doprinos ove doktorske disertacije ogleda se u razvoju integrisanog pristupa upravljanju mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju, kojim se povezuju procesi sticanja i validacije kompetencija, uloge i odnosi ključnih stejkholdera, životni ciklus mikrokredencijala i tehnološki mehanizmi za obezbeđivanje njihove proverljivosti, integriteta i zaštite podataka. Za razliku od pristupa koji mikrokredencijale posmatraju prvenstveno kao digitalne sertifikate, u disertaciji je upravljanje mikrokredencijalima razmatrano kao širi socio-tehnički sistem koji obuhvata obrazovne, organizacione, institucionalne i tehnološke aspekte.

Naučni doprinosi disertacije ogledaju se u:

- razvoju formalnog modela za upravljanje mikrokredencijalima stečenim kroz neformalno učenje, sa fokusom na njihovu validaciju, priznavanje i integraciju u sistem visokog obrazovanja i na tržište rada;
- komparativnoj analizi pristupa za upravljanje kredencijalima i mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju u cilju identifikacije najboljih praksi i stvaranja preporuka za unapređenje regulative u domenu visokog obrazovanja;
- identifikaciji i analizi procesa upravljanja mikrokredencijalima, uključujući sticanje, izdavanje, deljenje i održavanje, uz definisanje njihovih međusobnih relacija i interakcije u digitalnom ekosistemu visokog obrazovanja.
- sistematizaciji stejkholdera, njihovih uloga, odgovornosti i vrednosnih tokova u ekosistemu mikrokredencijala. Identifikovano je pet osnovnih uloga – nosilac, pružalac obrazovnog programa, izdavalac, verifikator i zakonodavstvo. Uzimajući i prethodno definisane četiri osnovne grupe procesa, formiran je procesno orijentisan model koji omogućava sagledavanje međuzavisnosti aktera tokom celog životnog ciklusa kredencijala.
- empirijskom utvrđivanju faktora koji određuju percipiranu vrednost i prihvatanje mikrokredencijala iz perspektive nosilaca i verifikatora. Primenom VAM-a pokazano je da percipirane koristi i poverenje imaju ključnu ulogu u formiranju vrednosti mikrokredencijala, dok je iz perspektive poslodavaca posebno identifikovan značaj institucionalnog kredibiliteta, reputacije izdavaoca i dokazivosti kompetencija. Istraživanje je istovremeno potvrdilo značaj neformalnog učenja i vannastavnih aktivnosti kao izvora kompetencija koje mogu biti sistematičnije dokumentovane i validirane.
- identifikovanju specifičnih obrazaca koji utiču na prihvatanje mikrokredencijala, posebno paradoksa motivacije i vremena kod studenata i efekta reputacionog signaliziranja kod poslodavaca. Ovi nalazi pokazuju da vrednost mikrokredencijala ne zavisi samo od njegovog sadržaja ili tehničke proverljivosti, već i od institucionalnog i organizacionog konteksta u kome nastaje i koristi se.
- razvoju modela arhitekture sistema za upravljanje mikrokredencijalima zasnovanog na principima ugrađene bezbednosti i privatnosti, koji objedinjuje pouzdane izvore podataka, identitet i registre, blokčejn sloj poverenja, mehanizme za očuvanje privatnosti i aplikacioni sloj. Konceptualna arhitektura uvodi sloj privatnosti zasnovan na selektivnom otkrivanju i mogućoj primeni ZKP mehanizama. Time su privatnost, bezbednost i proverljivost postavljene kao integralni zahtevi arhitekture, a ne kao naknadno dodate funkcionalnosti
- operacionalizaciji i empirijskoj proverbi predloženog modela kroz razvoj i korisničku evaluaciju funkcionalnog prototipa. Evaluacijom platforme iz perspektive različitih korisničkih uloga primenom prilagođenog USE upitnika proverene su korisnost, lakoća korišćenja, lakoća učenja i zadovoljstvo, čime je konceptualni model dopunjen nalazima o njegovoj praktičnoj prihvatljivosti i identifikovani su konkretni pravci unapređenja.

Najznačajniji stručni doprinosi disertacije na predloženoj disertaciji je realizacija decentralizovanog sistema za praćenje kompetencija i upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju - CredSeal. Stručni doprinosi obuhvataju:

- pregled i analiza tehnologija potrebnih za implementaciju, sa fokusom na koncepte decentralizovanih sistema i blokčejn tehnologija;
- razvoj i implementaciju pametnih ugovora za registraciju šablona i upravljanje blokčejn zapisima o mikrokredencijalima na Bloksberg mreži;
- razvoj softverskog sistema koji podržava ključne procese kreiranja šablona, prijavljivanja, izdavanja, prihvatanja, deljenja, verifikacije, opoziva i obnove mikrokredencijala;
- realizaciju korisničkih portala prilagođenih nosiocima, izdavaocima, administratorima i verifikatorima, uključujući kontrolu vidljivosti podataka i javnu proveru kredencijala;
- razvoj praktičnih preporuka za standardizaciju, validaciju i interoperabilnost mikrokredencijala i njihovo povezivanje sa institucionalnim procesima visokog obrazovanja;
- identifikovanje mogućnosti i ograničenja primene razvijenog modela u realnom visokoškolskom okruženju, uključujući potrebu njegovog daljeg usklađivanja sa regulatornim okvirom Republike Srbije i evropskim okvirima interoperabilnosti;
- primena razvijenog modela pametnih ugovora i celokupnog decentralizovanog softverskog sistema za upravljanje mikrokredencijalima.

Društveni doprinosi rezultata istraživanja odnose se na:

- unapređenje vidljivosti i mogućnosti priznavanja kompetencija stečenih kroz različite oblike formalnog i neformalnog učenja;
- stvaranje osnova za pouzdaniju razmenu informacija o kompetencijama između studenata, visokoškolskih ustanova i poslodavaca;
- unapređenje poverenja u digitalne kredencijale kroz transparentnije postupke validacije i proveru njihove autentičnosti i statusa;
- omogućavanje nosiocima veće kontrole nad načinom na koji se njihovi mikrokredencijali i podaci o kompetencijama dele sa trećim stranama;
- podršku razvoju fleksibilnijih putanja celoživotnog učenja i povezivanju obrazovnih postignuća sa potrebama tržišta rada;
- doprinos razumevanju mogućnosti primene blokčejn tehnologija, decentralizovanog identiteta i mehanizama zaštite privatnosti u digitalnoj transformaciji visokog obrazovanja.
- doprinos široj diseminaciji informacija o blokčejn tehnologijama i decentralizovanim modelima elektronskog obrazovanja.

Društveni doprinos disertacije može se posmatrati i kroz povezanost sa Ciljevima održivog razvoja Ujedinjenih nacija (SDG) [315]:

- SDG 4 – Kvalitetno obrazovanje: podrška celoživotnom učenju i većoj vidljivosti kompetencija stečenih kroz formalne i neformalne oblike učenja.
- SDG 8 – Dostojanstven rad i ekonomski rast: pouzdanije predstavljanje kompetencija i njihovo povezivanje sa potrebama tržišta rada može doprineti zapošljivosti i profesionalnom razvoju.
- SDG 9 – Industrija, inovacije i infrastruktura: razvoj digitalne infrastrukture za izdavanje, upravljanje i proveru mikrokredencijala primenom blokčejn tehnologija.
- SDG 10 – Smanjenje nejednakosti: povećanje vidljivosti znanja i veština koje nisu u potpunosti obuhvaćene tradicionalnim kvalifikacijama i omogućavanje pojedincima da ih pouzdano predstave.
- SDG 17 – Partnerstvom do ciljeva: podrška saradnji visokoškolskih ustanova, pojedinaca, poslodavaca i regulatornih tela, kao i međuinstitucionalnoj i međunarodnoj razmeni mikrokredencijala.

Rezultati istraživanja ove doktorske disertaciji objavljeni su u časopisima međunarodnog značaja i saopšteni na naučnim skupovima u zemlji i inostranstvu:

- Naumović, T., Kostić, D., Barać, D., Simić, M., & Despotović-Zrakić, M. (2026). Redesigning learning pathways: recognizing non-formal competencies through micro-credentials in higher education. *Education + Training*, 1–32. <https://doi.org/10.1108/ET-11-2025-0958>. M21a (IF 3.9)
- Naumović, T., Živković, D., Janković, M., & Barać, D. (2026). Toward a Secure-by-Design Higher Education Ecosystem: Decentralized Identity, Privacy, and Trust. XX International Symposium on Organizational Sciences - SymOrg 2026 | Resilient and Intelligent Organizations in Times of Permanent Disruption, 10-12th June, Kopaonik, Serbia. M33
- Kostić, D., Naumović, T., Simić M., & Janković, M. (2026). Integracija EBSI platforme u procese verifikacije neformalnog učenja u visokom obrazovanju. Druga konferencija o nastavi matematike i informatike, 29.-30. maj, Kragujevac, Srbija. https://imi.pmf.kg.ac.rs/TEMATCOM2026/assets/Knjiga_apstrakata_TEMATCOM2026_B5_ELEKTRONSKI.pdf. M63
- Naumović, T., Simić, M., Suvajdžić, M., Vulić, M., & Bjelica, A. (2025). Roles, Responsibilities, and Value Flows: A Stakeholder Map of Micro-Credential Processes in Higher Education Ecosystem. In *E-business Technologies Conferences Proceedings*, 4(1). <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/269>. M33
- Naumović, T., & Kostić, D. (2025). Upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju zasnovano na blokčejn tehnologijama. Seminar za računarstvo i primenjenu matematiku. Maj, Beograd, Srbija. https://www.mi.sanu.ac.rs/novi_sajt/seminars/programs/seminar2.may2025.php
- S. Ignjatović, D. Kostić, T. Naumović, M. Simić, and A. Joksimović. (2026). Rethinking Project Management for Decentralized Digital Product Development. *European Project Management Journal*. vol. 16, no. 1, pp. 49–66, Feb. 2026, doi: 10.56889/QOSE7846. M52
- Avramović, B., Naumović, T., Kostić, D., Jolović, M., & Despotović, V. (2025). Blokčejn tehnologija i decentralizovane finansije: Teorija i praksa u kreiranju kriptovalute. *REVIZOR * Časopis Za Upravljanje Organizacijama, Finansije I Reviziju*, 28(1) (109). <https://doi.org/10.46793/Rev25109.105A>. M52.
- D. Kostić, M. Jolović, A. Joksimović, T. Naumović, P. Lukovac. (2025) Analiza uticaja FONIS hakatona na razvoj karijere studenata. Zbornik radova 31. IKT konferencije "YU INFO 2025". Kopaonik, Mart 2025. <https://yuinfo.org/zbornici/2025/YUINFO2025.pdf>. M63
- Kostić, D., Radovanov, K., Košević, S., Joksimović, A., Muljajić, M., & Naumović, T. (2025). Decentralized Platform for Issuing and Verifying Student Achievements. In *E-business Technologies Conference Proceedings*, 4(1). <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/261>. M33
- Miličević, A., Despotović-Zrakić, M., Naumović, T., Suvajdžić, M., & Radenković, B. (2023). Measuring the performance of the innovative potential of the academy on the example of Algorand WEB 3.0 hackathon. In *E-business technologies conference proceedings* (3/1). <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/195/145>. M33
- Naumović, T., Vajagić B., Cvetković L., & Proročić M. (2022). Open innovations and the role of hackathons. In *E-business Technologies Conference Proceedings* (2/1). <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/111>. M33

9 Buduća istraživanja

Rezultati sprovedenih istraživanja i evaluacije razvijenog prototipa otvaraju više pravaca za dalje istraživanje i razvoj modela upravljanja mikrokredencijalima. Prvi pravac odnosi se na proširenje empirijske validacije na veći broj visokoškolskih ustanova, poslodavaca i nacionalnih konteksta. Buduća istraživanja trebalo bi da obuhvate raznovrsnije i uravnoteženije uzorke, dok bi longitudinalna istraživanja omogućila praćenje promena u stavovima korisnika nakon dužeg perioda stvarne upotrebe, kao i ispitivanje uticaja mikrokredencijala na zapošljivost, profesionalni razvoj i nastavak obrazovanja.

Poseban pravac predstavlja dalja evaluacija razvijene platforme u realnom institucionalnom okruženju. USE evaluacija sprovedena u okviru ove disertacije potvrdila je pozitivnu procenu korisnosti, lakoće korišćenja, lakoće učenja i zadovoljstva, ali je sprovedena na ograničenom i neravnomerno raspoređenom uzorku korisničkih uloga. Naredne evaluacije trebalo bi da uključe veći broj nosilaca, izdavalaca i verifikatora, duži period korišćenja i objektivne pokazatelje, kao što su vreme izvršavanja zadataka, broj grešaka i uspešnost završetka procesa. Da bi se ovakve evaluacije sprovele, poseban pravac daljeg istraživanja biće usmeren na integraciju razvijenog sistema sa produkcionim sistemima za upravljanje učenjem, poput *Moodle* platforme, institucionalnim informacionim sistemima i studentskim informacionim sistemima. Takva integracija omogućila bi empirijsku evaluaciju efekata automatizovanog prenosa podataka o završenim aktivnostima, ostvarenim ishodima učenja i dokazima na efikasnost, pouzdanost i potpunost procesa praćenja i validacije kompetencija.

Značajan pravac budućih istraživanja odnosi se na usklađivanje predloženog modela sa regulatornim okvirom Republike Srbije. U ovoj disertaciji mikrokredencijali su posmatrani u širem smislu, u skladu sa Preporukom Saveta Evropske unije [1], kako bi se obuhvatili različiti oblici formalnog i neformalnog učenja i kompetencije stečene kroz vannastavne aktivnosti. Domaći regulatorni okvir, međutim, mikrokredencijal određuje u užem i formalizovanijem smislu. Važeći Pravilnik [3] definiše ga kao mali program studija namenjen stručnom osposobljavanju za potrebe tržišta rada, koji organizuje akreditovana visokoškolska ustanova i koji podleže verifikaciji Nacionalnog tela za akreditaciju i obezbeđenje kvaliteta u visokom obrazovanju. Mikrokredencijal obuhvata 1–15 ESPB, odnosno 10–150 časova aktivne nastave, i realizuje se nezavisno od nastave na akademskim i strukovnim studijama. Zakonom [2] je, takođe, Nacionalnom savetu eksplicitno povereno utvrđivanje smernica za organizovanje i sprovođenje mikrokredencijala. Buduća istraživanja zato treba da ispituju odnos između šireg evropskog koncepta mikrokredencijala i mikrokredencijala kao pravno regulisane kategorije u Republici Srbiji. Aktivnosti poput letnjih škola, hakatona, studentskih projekata, stručnih praksi, volontiranja ili angažovanja u studentskim organizacijama mogu predstavljati relevantne izvore kompetencija u modelu razvijenom u ovoj disertaciji, ali se ne mogu automatski smatrati mikrokredencijalima u smislu domaćeg regulatornog okvira. Potrebno je istražiti pod kojim uslovima pojedine takve aktivnosti mogu biti strukturirane u programe koji ispunjavaju zahteve za mikrokredencijale, a kada je primerenije koristiti druge oblike digitalnih kredencijala ili dokaza o stečenim kompetencijama.

U tom smislu, dalja istraživanja treba da obuhvate standardizaciju načina identifikovanja i validacije kompetencija stečenih kroz neformalno učenje, uključujući definisanje kategorija aktivnosti, ishoda učenja, očekivanih kompetencija, vrsta dokaza i kriterijuma procene. Za njihovu eventualnu formalizaciju kao mikrokredencijala u Republici Srbiji potrebno je dodatno obezbediti usklađenost sa zahtevima koji se odnose na kurikulum, obim, način provere ishoda, obezbeđenje kvaliteta i povezanost sa potrebama tržišta rada. Pravilnik upravo podršku poslodavaca ili dokumentovanu analizu potreba tržišta rada postavlja kao jedan od osnovnih uslova za realizaciju programa.

Važan pravac predstavlja i razvoj institucionalnog modela upravljanja mikrokredencijalima. Visokoškolska ustanova mora predvideti mogućnost njihovog organizovanja svojim statutom i internim aktima urediti pripremu, donošenje, realizaciju, kontrolu kvaliteta i vođenje evidencije. Budući pilot razvijenog modela zato treba da obuhvati ne samo tehničku primenu platforme, već i njeno povezivanje sa postupkom institucionalnog odlučivanja, NAT verifikacijom, evidencijama i procedurama obezbeđenja kvaliteta.

Posebno treba istražiti odnos između digitalnog kredencijala koji generiše platforma i pravno propisanog sertifikata o završenom mikrokredencijalu. Pravilnik omogućava izdavanje sertifikata i dodatka sertifikatu u elektronskom obliku, uz kvalifikovani elektronski potpis ovlašćenog lica i elektronski pečat visokoškolske ustanove. Blokčejn zapis i proverljivi digitalni kredencijal zato ne bi trebalo posmatrati kao zamenu za propisanu ispravu, već kao dodatni sloj za proveru njenog integriteta, statusa i autentičnosti. Dalji razvoj treba da obuhvati i tehničku i semantičku interoperabilnost sa evropskim okvirima, uključujući *European Learning Model*, *Europass*, *Verifiable Credentials* i EBSI.

Imajući u vidu pregled društvenih doprinosa ove disertacije, jedan od pravaca budućih istraživanja odnosi se na ispitivanje stvarne vidljivosti i vrednosti mikrokredencijala u procesima zapošljavanja. Iako rezultati sprovedenog istraživanja ukazuju na pozitivne stavove poslodavaca prema proverljivim i kredibilnim mikrokredencijalima, potrebno je ispitati kako njihovo prisustvo utiče na konkretne odluke u procesima selekcije kandidata. Buduća istraživanja mogu obuhvatiti analizu načina na koji poslodavci koriste podatke o kompetencijama, uticaj mikrokredencijala na inicijalnu selekciju kandidata, vreme potrebno za proveru kvalifikacija i kompetencija, kao i značaj mikrokredencijala u odnosu na tradicionalne izvore informacija, poput diplome, biografije i portfolija. Dodatno, buduća istraživanja mogu biti usmerena na primenu mikrokredencijala u posebnim obrazovnim programima namenjenim ranjivim i nedovoljno zastupljenim grupama. Posebno je značajno ispitati da li standardizovano i proverljivo predstavljanje kompetencija može povećati vidljivost dodatnih znanja i veština kandidata koji nisu neposredno uočljivi iz formalnih kvalifikacija.

Konačno, dalja istraživanja treba da posmatraju razvoj mikrokredencijala kao istovremeni obrazovni, institucionalni, regulatorni i tehnološki proces. Cilj treba da bude postepeno usklađivanje šireg koncepta mikrokredencijala primenjenog u ovoj disertaciji sa nacionalnim regulatornim zahtevima i evropskim okvirima, uz očuvanje mogućnosti da se različiti oblici učenja i stečene kompetencije pouzdano dokumentuju, validiraju, prenose i priznaju između visokog obrazovanja i tržišta rada.

10 Zaključak

Predmet ove doktorske disertacije bilo je upravljanje mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju zasnovano na blokčejn tehnologijama, sa posebnim fokusom na povezivanje formalnog i neformalnog učenja, pouzdanu validaciju stečenih kompetencija i razvoj tehnološkog okruženja koje omogućava bezbedno izdavanje, upravljanje, deljenje i verifikaciju mikrokredencijala. Polazeći od uočenih ograničenja tradicionalnih sistema za upravljanje obrazovnim kredencijalima, istraživanje je obuhvatilo teorijsku analizu, modelovanje stejkholdera i poslovnih procesa, empirijsko ispitivanje percepcije mikrokredencijala, razvoj arhitekture i softverskog prototipa, kao i njegovu korisničku evaluaciju.

U teorijskom delu disertacije sistematizovani su pojmovi kompetencija, kredencijala i mikrokredencijala i analizirani načini prepoznavanja i validacije ishoda formalnog, neformalnog i informalnog učenja. Posebna pažnja posvećena je ulozi mikrokredencijala u priznavanju kompetencija koje se stiču kroz vannastavne aktivnosti, projekte, hakatone, stručne programe i druge oblike neformalnog učenja. Analiza postojećih modela pokazala je da se najveći broj predloženih rešenja i dalje nalazi na konceptualnom nivou, da je praktična implementacija ograničena i da dugoročno održavanje kredencijala, koordinacija stejkholdera i priznavanje neformalnog učenja ostaju nedovoljno zastupljeni. U okviru analize ekosistema mikrokredencijala identifikovano je pet ključnih uloga: nosilac mikrokredencijala, pružalac obrazovne aktivnosti, izdavalac, verifikator i donosilac politika. Njihove odgovornosti povezane su sa četiri osnovne grupe procesa: sticanjem, izdavanjem, deljenjem i održavanjem mikrokredencijala. Na taj način upravljanje mikrokredencijalima nije posmatrano samo kao proces izdavanja digitalnog sertifikata, već kao životni ciklus u kome između različitih stejkholdera postoje međusobno povezani tokovi podataka, odgovornosti i vrednosti. Ovakva sistematizacija predstavlja osnovu za projektovanje transparentnog i interoperabilnog sistema u kome se jasno razlikuju odgovornosti za obrazovni proces, validaciju ishoda, izdavanje kredencijala, verifikaciju i dugoročno održavanje njihovog statusa.

Empirijsko istraživanje percipirane vrednosti mikrokredencijala sprovedeno je među 500 studenata kao potencijalnih nosilaca i 60 predstavnika poslodavaca kao potencijalnih verifikatora. Primenom proširenog modela usvajanja zasnovanog na vrednosti (VAM) ispitani su uticaji percipiranih koristi, odricanja i poverenja na percipiranu vrednost i nameru usvajanja mikrokredencijala. Kod studenata su percipirane koristi predstavljale najznačajniji prediktor vrednosti mikrokredencijala, dok je kod poslodavaca posebno izražen značaj poverenja u izdavaoca, institucionalnu legitimnost i mehanizme verifikacije. U obe grupe percipirana vrednost imala je snažan uticaj na nameru usvajanja. Rezultati su dodatno pokazali da studenti uključeni u vannastavne aktivnosti i oni koji već poseduju mikrokredencijale pozitivnije procenjuju njihovu vrednost i iskazuju veću nameru budućeg korišćenja. Ovi nalazi ukazuju na dve važne karakteristike posmatranog ekosistema. Sa jedne strane, studenti prepoznaju vrednost neformalnog i vannastavnog angažovanja, ali je intenzivnije učešće ograničeno zahtevima formalnog obrazovanja. Sa druge strane, poslodavci vrednost mikrokredencijala povezuju sa kredibilitetom i reputacijom izdavaoca. Tehnološka proverljivost zato sama po sebi nije dovoljna za uspostavljanje poverenja, već mora biti povezana sa institucionalnom legitimnošću, standardizovanim metapodacima, transparentnim načinima procene i mehanizmima obezbeđenja kvaliteta.

Na osnovu teorijskih i empirijskih nalaza razvijen je integrisani konceptualni i procesni model upravljanja mikrokredencijalima koji objedinjuje obrazovne procese, stejkholdere, podatke, tehnološku infrastrukturu i mehanizme poverenja. Model obuhvata strukturu kompetencija, ishoda učenja i dokaza, životni ciklus mikrokredencijala, uloge i odgovornosti stejkholdera, metodološke postupke sticanja i izdavanja mikrokredencijala u formalnom i neformalnom obrazovanju, kao i predlog institucionalnog uvođenja sistema. Dodatno su razmotreni poslovni model i mogućnosti održive primene u visokoškolskom okruženju. U razradi arhitekture posebna pažnja posvećena je principima ugrađene bezbednosti i privatnosti, minimizaciji podataka, razdvajanju *on-chain* i *off-chain* podataka i kontroli pristupa. Konceptualna arhitektura uključuje sigurno povezivanje izvora obrazovnih podataka, sloj identiteta i registara, blokčejn infrastrukturu, sloj za očuvanje privatnosti i aplikacioni sloj. Time se bezbednost, privatnost i proverljivost ne tretiraju kao naknadne funkcionalnosti, već kao sastavni elementi projektovanja sistema.

Razvijeni model je primenjen prilikom implementacije kroz platformu CredSeal, koja predstavlja hibridni sistem sa decentralizovanim slojem poverenja i proverljivosti. Aplikaciona logika, identiteti korisnika, dokumenti i podaci potrebni za realizaciju poslovnih procesa čuvaju se van blokčejn mreže, dok se Bloksberg koristi za evidentiranje kriptografskih dokaza i statusa potrebnih za proveru autentičnosti i integriteta. Implementirani pametni ugovori podržavaju registraciju šablona mikrokredencijala, izdavanje, proveru statusa, opoziv i povezivanje obnovljenog kredencijala sa prethodnim zapisom. Prototip podržava ključne procese definisane modelom, uključujući prijavljivanje za sticanje mikrokredencijala, obradu zahteva, pojedinačno i grupno izdavanje, potvrdu nosioca, blokčejn sidrenje, upravljanje vidljivošću podataka, deljenje i javnu verifikaciju, opoziv i obnovu kredencijala.

Nakon implementacije sprovedena je evaluacija upotrebljivosti i korisničkog iskustva primenom prilagođenog USE upitnika na uzorku od 48 ispitanika u ulogama nosilaca mikrokredencijala, institucionalnih korisnika izdavaoca i verifikatora. Rezultati su pokazali pozitivne ocene u svim posmatranim dimenzijama: prosečna ocena korisnosti iznosila je 4,53, lakoće korišćenja 4,51, lakoće učenja 4,75 i zadovoljstva 4,82 na petostepenoj skali. Kvalitativni komentari ukazali su na mogućnosti unapređenja povratnih poruka, navigacije, osvežavanja statusa, upravljanja vidljivošću i predstavljanja tehničkih blokčejn podataka. Evaluacija je time potvrdila upotrebljivost prototipa i obezbedila smernice za njegov dalji razvoj.

Rezultati disertacije u celini pokazuju da efikasno upravljanje mikrokredencijalima zahteva istovremeno rešavanje obrazovnih, institucionalnih, organizacionih i tehnoloških pitanja. Blokčejn tehnologija može unaprediti integritet, sledljivost i javnu proverljivost kredencijala, ali sama po sebi ne rešava pitanja kvaliteta izvornog podatka, legitimnosti izdavaoca, privatnosti, institucionalnog priznavanja i korisničke prihvatljivosti. Zbog toga predloženi pristup povezuje decentralizovani sloj poverenja sa standardizovanom strukturom kredencijala, jasno definisanim ulogama i procesima, kontrolom pristupa, minimizacijom podataka i institucionalnim mehanizmima validacije.

Osvrt na polazne hipoteze

Hipoteza H.1 je delimično potvrđena. Empirijski nalazi potvrđuju da studenti i poslodavci prepoznaju vrednost mikrokredencijala za verifikaciju, validaciju i priznavanje kompetencija stečenih kroz neformalno učenje, dok razvijeni model i platforma CredSeal omogućavaju njihovo evidentiranje, deljenje i proveru. Rezultati ukazuju i na značaj ovakvih kredencijala u kontekstu zapošljivosti i profesionalnog razvoja. Međutim, stvarni dugoročni efekti na razvoj karijere i ishode zapošljavanja nisu neposredno longitudinalno mereni, zbog čega hipoteza nije potvrđena u punom obimu.

Hipoteza H.2 potvrđena je na nivou razvijenog modela i implementiranog rešenja. Model povezuje kompetencije, ishode učenja, dokaze i mikrokredencijale iz formalnih i neformalnih izvora, dok CredSeal omogućava njihovo objedinjeno evidentiranje, upravljanje i predstavljanje u okviru korisničkog profila. Time je demonstrirana mogućnost integrisanog upravljanja različitim izvorima obrazovnih postignuća.

Hipoteza H.3 nije neposredno empirijski potvrđena, ali je posredno podržana rezultatima istraživanja. Empirijsko istraživanje pokazalo je značaj poverenja za percipiranu vrednost mikrokredencijala, posebno kod poslodavaca, dok razvijeni model i prototip kombinuju javnu proverljivost sa minimizacijom podataka, razdvajanjem *on-chain* i *off-chain* podataka i kontrolom nosioca nad njihovom vidljivošću. Ipak, odnos između balansa anonimnosti i transparentnosti i spremnosti za usvajanje nije neposredno operacionalizovan i statistički testiran kao zaseban odnos u istraživačkom modelu.

Hipoteza H.4 je potvrđena. Arhitektura i implementacija prototipa pokazale su da primena blokčejn tehnologije može da obezbedi proveru integriteta i statusa mikrokredencijala i nezavisnu javnu proverljivost, uz izbegavanje čuvanja detaljnih ličnih i obrazovnih podataka na javnoj blokčejn mreži. Razdvajanjem *on-chain* i *off-chain* podataka i primenom kontrolisanog pristupa ostvarena je tehnička osnova za istovremeno očuvanje proverljivosti i odgovorno upravljanje ličnim podacima.

Hipoteza H.5 potvrđena je u pogledu konceptualne, metodološke i tehničke izvodljivosti. Rezultati istraživanja potvrđuju izvodljivost integracije razvijenog modela upravljanja mikrokredencijalima sa postojećim sistemima za upravljanje učenjem. Razvijeni model definiše povezivanje ishoda učenja, kompetencija i dokaza sa procesima izdavanja i validacije mikrokredencijala, dok implementirani prototip obezbeđuje funkcionalnu i arhitektonsku osnovu za razmenu ovih podataka sa spoljnim obrazovnim sistemima i rešenjima za upravljanje učenjem. Međutim, u okviru sprovedenog istraživanja nije realizovana integracija prototipa sa produkcionim LMS okruženjem niti je sprovedeno komparativno merenje efekata takve integracije na efikasnost procesa praćenja i validacije kompetencija. Zbog toga se rezultati mogu smatrati potvrdom tehničke i metodološke izvodljivosti pretpostavljene H.5, dok empirijska potvrda stepena unapređenja procesa predstavlja predmet budućih istraživanja.

Glavni naučni doprinos disertacije ogleda se u razvoju integrisanog modela upravljanja mikrokredencijalima u visokoškolskom obrazovanju koji povezuje prepoznavanje i validaciju kompetencija stečenih kroz formalno i neformalno učenje, uloge i vrednosne tokove ključnih stejkholdera, životni ciklus mikrokredencijala i blokčejn zasnovan sloj poverenja. Doprinos je dodatno ostvaren empirijskim utvrđivanjem faktora koji utiču na prihvatanje mikrokredencijala kod nosilaca i verifikatora, definisanjem arhitektonskih principa ugrađene bezbednosti i privatnosti, implementacijom modela kroz funkcionalni prototip i njegovom evaluacijom iz perspektive krajnjih korisnika.

Razvijeno rešenje ne predstavlja potpuno decentralizovani informacioni sistem, već arhitektonski kompromis u kome se decentralizacija primenjuje tamo gde donosi neposrednu vrednost – u uspostavljanju integriteta, proverljivosti i nezavisnog dokaza o stanju kredencijala – dok se lični podaci i operativni procesi zadržavaju u kontrolisanom institucionalnom okruženju. Takav pristup pokazuje da primena blokčejn tehnologije u visokom obrazovanju ne mora podrazumevati potpunu zamenu postojećih sistema, već njihovo proširenje decentralizovanim slojem poverenja.

Na osnovu sprovedenih teorijskih, empirijskih i razvojnih aktivnosti može se zaključiti da mikrokredencijali imaju potencijal da unaprede način na koji se kompetencije stiču, dokumentuju, priznaju i prenose između obrazovanja i tržišta rada, ali samo ukoliko su podržani pouzdanim mehanizmima validacije, institucionalnim poverenjem, jasnim pravilima upravljanja i tehnološkom infrastrukturu koja istovremeno obezbeđuje proverljivost i zaštitu podataka. Razvijeni model i platforma CredSeal predstavljaju jedan mogući odgovor na ove zahteve i osnovu za dalju institucionalnu i međuinstitucionalnu primenu mikrokredencijala u visokoškolskom obrazovanju.

11 Izjava o korišćenju generativne veštačke inteligencije

Tokom izrade ove doktorske disertacije korišćeni su alati generativne veštačke inteligencije (GVI) kao pomoćni alati u istraživačkom, pisanom i razvojnom procesu, u skladu sa Opštim smernicama za korišćenje generativne veštačke inteligencije na Fakultetu organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.

Alat *ChatGPT (OpenAI)* korišćen je za podršku u strukturiranju pojedinih delova teksta, jezičko i stilsko unapređenje autorskog sadržaja, sažimanje i sistematizaciju informacija, razmatranje alternativnih formulacija, pomoć pri pripremi dijagrama i tehničkih opisa, kao i podršku pri analizi i dokumentovanju pojedinih elemenata razvijenog modela i softverskog rešenja.

U procesu razvoja softverskog prototipa *CredSeal* korišćeno je i razvojno okruženje *Lovable*, koje primenjuje generativnu veštačku inteligenciju kao podršku u generisanju i izmeni programskog koda i korisničkog interfejsa. Generisani programski elementi su tokom razvoja pregledani, testirani i prilagođavani zahtevima modela i definisanoj arhitekturi sistema.

Alati generativne veštačke inteligencije nisu korišćeni za formulisanje istraživačkih rezultata, generisanje ili modifikovanje empirijskih podataka, niti kao zamena za stručnu procenu autora. Statističke analize zasnovane su na podacima prikupljenim u okviru sprovedenih istraživanja, dok su korišćeni naučni i regulatorni izvori proveravani u odnosu na originalne dokumente.

Sve sadržaje nastale uz podršku GVI autor je kritički pregledao, proverio, dopunio i prilagodio predmetu istraživanja. Autor preuzima punu odgovornost za tačnost podataka, izbor i tumačenje izvora, metodologiju, rezultate, zaključke, programsko rešenje i konačni sadržaj doktorske disertacije.

12 Literatura

- [1] The Council of the European Union, “European approach to micro-credentials for lifelong learning and employability,” *Official Journal of the European Union*, Jun. 16, 2022. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0627\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0627(02)) (accessed Nov. 05, 2024).
- [2] Narodna skupština Republike Srbije, “Zakon o visokom obrazovanju,” *Služ. Glas. RS*, pp. 1–50, 2025.
- [3] Nacionalni savet za visoko obrazovanje, *Pravilnik o uslovima, načinu sprovođenja i verifikaciji kratkih programa studija i mikrokredencijala*. Srbija: Službeni Glasnik RS, br. 9/2026, 2026, pp. 1–9. [Online]. Available: <https://www.nat.rs/wp-content/uploads/2026/02/Pravilnik-o-kratkim-programima-i-mikrokredencijalima-29.01.2026.pdf>
- [4] R. Hudak and A. F. Camilleri, “The Micro-Credential Users ’ Guide,” pp. 1–27, 2018, [Online]. Available: <https://microcredentials.eu/publication/the-micro-credential-users-guide/>
- [5] “What Is Blockchain? | IBM.” <https://www.ibm.com/topics/blockchain> (accessed Nov. 09, 2024).
- [6] S. N. Sato *et al.*, “Navigating the New Normal: Adapting Online and Distance Learning in the Post-Pandemic Era,” *Educ. Sci.*, vol. 14, no. 1, p. 19, Dec. 2023, doi: 10.3390/EDUCSCI14010019.
- [7] K. A. Godber and D. R. Atkins, “COVID-19 Impacts on Teaching and Learning: A Collaborative Autoethnography by Two Higher Education Lecturers,” *Front. Educ.*, vol. 6, p. 647524, Jul. 2021, doi: 10.3389/educ.2021.647524.
- [8] L. Gu, M. Lockett, and Y. Jiang, “The Rapid Growth of Hybrid Learning Fueled by the Pandemic - Global Focus Magazine,” 2024. <https://www.globalfocusmagazine.com/the-rapid-growth-of-hybrid-learning-fueled-by-the-pandemic/> (accessed Nov. 05, 2024).
- [9] P. Werquin, “The missing link to connect education and employment: recognition of non-formal and informal learning outcomes☆,” *J. Educ. Work*, vol. 25, no. 3, pp. 259–278, Jul. 2012, doi: 10.1080/13639080.2012.687574.
- [10] G. Witthaus *et al.*, *Validation of non-formal MOOC-based learning. An analysis of assessment and recognition practices in Europe (OpenCred)*. 2016. doi: 10.2791/809371.
- [11] R. Farrow, R. Ferguson, M. Weller, R. Pitt, J. Sanzgiri, and M. Habib, “Assessment and Recognition of MOOCs: The State of the Art,” *J. Innov. Polytech. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 15–26, Jul. 2021, doi: 10.69520/jipe.v3i1.94.
- [12] J. Stark, “Definition of Digital Transformation,” in *Digital Transformation of Industry: Continuing Change*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 17–20. doi: 10.1007/978-3-031-71590-7_4.
- [13] M. Leach, “What is Green? Transformation imperatives and knowledge politics,” in *The Politics of Green Transformation*, I. Scoones, M. Leach, and P. Newell, Eds., Pathways t.Routledge, 2021. doi: 10.4337/9781788979429.00024.
- [14] European Commission, “European Pillar of Social Rights - Building a fairer and more inclusive European Union,” 2023. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1226&langId=en>
- [15] V. Ivanković, “Pojam kompetencije (eng: Competence Vs. Competency),” Beograd, Srbija, 2016. [Online]. Available: <https://mngcentar.com/site/FileContent/Resource/BazaZnanja/Kompetencije/Fajlovi/PojamKompetencije.pdf>
- [16] Learning Technology Standards Committee, “IEEE Standard for Learning Technology--Data Model for Shareable Competency Definitions,” *IEEE Std 1484.20.3-2022*, pp. 1–31, Dec. 2023, doi: 10.1109/IEEESTD.2023.10194521.
- [17] “Credential Definitions | New England Board of Higher Education.” <https://nebhe.org/policy-research/key-initiatives/high-value-credentials-for-new-england/tools-resources/credential-definitions/> (accessed Nov. 09, 2024).
- [18] S. Schofield, “Credential, Certificate or Degree: What’s the Difference?,” *Muhlenberg College*, 2023. <https://www.muhlenberg.edu/gce/blog/content/credentialcertificateordegreewhatsthedifference.html> (accessed Nov. 09, 2024).

- [19] A. Jaber, F. Ciriello, and C. Lucas, "Towards Skillful Engineers: A Competence Framework for Engineering Education," *UK Irel. Eng. Educ. Res. Netw. Conf. Proc.* 2023, Jun. 2024, doi: 10.31273/10.31273/9781911675167/1650.
- [20] S. N. Braxton, "Competency frameworks, alternative credentials and the evolving relationship of higher education and employers in recognizing skills and achievements," *Int. J. Inf. Learn. Technol.*, vol. 40, no. 5, pp. 373–387, Oct. 2023, doi: 10.1108/IJILT-10-2022-0206.
- [21] IEEE Computer Society, *Software Engineering Competency Model Version 1.0*. 2014.
- [22] The Council of the European Union, "Council Recommendation of 20 December 2012 on the validation of non-formal and informal learning - 2012/C 398/01," *Off. J. Eur. Union*, vol. C 398, pp. 1–5, 2012.
- [23] N. Garner, A. Siol, and I. Eilks, "The Potential of Non-Formal Laboratory Environments for Innovating the Chemistry Curriculum and Promoting Secondary School Level Students Education for Sustainability," *Sustainability*, vol. 7, no. 2, pp. 1798–1818, Feb. 2015, doi: 10.3390/SU7021798.
- [24] D. Colardyn, "Lifelong learning: Which way forward," *Coll. Eur.*, p. 276, 2001.
- [25] M. Johnson and D. Majewska, "Formal, non-formal and informal learning: What are they, and how can we research them?," *Cambridge Univ. Press Assess. Res. Rep.*, no. September, p. 36, 2022.
- [26] P. H. Coombs and M. Ahmed, "Attacking rural poverty : how nonformal education can help," 1974. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <http://documents.worldbank.org/curated/en/656871468326130937>
- [27] H. Jung and E. Choi, "The importance of indirect teaching behaviour and its educational effects in physical education," *Phys. Educ. Sport Pedagog.*, vol. 21, no. 2, pp. 121–136, Mar. 2016, doi: 10.1080/17408989.2014.923990.
- [28] N. Yeasmin, S. Uusiutu, and K. Määtä, "Is non-formal learning a solution to enhance immigrant children's empowerment in northern Finnish communities?," *Migr. Dev.*, vol. 11, no. 2, pp. 214–232, Jun. 2022, doi: 10.1080/21632324.2020.1742993.
- [29] T. Cain and A. Chapman, "Dysfunctional dichotomies? Deflating bipolar constructions of curriculum and pedagogy through case studies from music and history," *Curric. J.*, vol. 25, no. 1, pp. 111–129, Mar. 2014, doi: 10.1080/09585176.2013.877396.
- [30] I. V. Ivanova, "Non-formal Education," *Russ. Educ. Soc.*, vol. 58, no. 11, pp. 718–731, Nov. 2016, doi: 10.1080/10609393.2017.1342195.
- [31] M. Pienimäki, M. Kinnula, and N. Iivari, "Finding fun in non-formal technology education," *Int. J. Child-Computer Interact.*, vol. 29, p. 100283, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.IJCCI.2021.100283.
- [32] L. Wijnia, G. Noordzij, L. R. Arends, R. M. J. P. Rikers, and S. M. M. Loyens, "The Effects of Problem-Based, Project-Based, and Case-Based Learning on Students' Motivation: a Meta-Analysis," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 36, no. 1, p. 29, Mar. 2024, doi: 10.1007/s10648-024-09864-3.
- [33] S. S. Ali, "Problem Based Learning: A Student-Centered Approach," *English Lang. Teach.*, vol. 12, no. 5, p. 73, 2019, doi: 10.5539/elt.v12n5p73.
- [34] D. M. Anggraeni, B. K. Prahani, N. Suprpto, N. Shofiyah, and B. Jatmiko, "Systematic review of problem based learning research in fostering critical thinking skills," *Think. Ski. Creat.*, vol. 49, p. 101334, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.tsc.2023.101334.
- [35] L. K. Michaelsen, N. Davidson, and C. H. Major, "Team-Based Learning Practices and Principles in Comparison With Cooperative Learning and Problem-Based Learning," *J. Excell. Coll. Teach.*, vol. 25, no. 3&4, 2014, Accessed: Nov. 09, 2024. [Online]. Available: <https://celt.miamioh.edu/ojs/index.php/JECT/article/view/466>
- [36] S. A. Seibert, "Problem-based learning: A strategy to foster generation Z's critical thinking and perseverance," *Teach. Learn. Nurs.*, vol. 16, no. 1, pp. 85–88, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.teln.2020.09.002.
- [37] S. San Tan and C. K. F. Ng, "A problem-based learning approach to entrepreneurship education," *Educ. + Train.*, vol. 48, no. 6, pp. 416–428, Jul. 2006, doi: 10.1108/00400910610692606.
- [38] E. Cook, "Practice-Based Engineering: Mathematical Competencies and Micro-Credentials," *Int. J. Res. Undergrad. Math. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 284–305, Jul. 2021, doi: 10.1007/s40753-020-00128-3.
- [39] L. Zhang and Y. Ma, "A study of the impact of project-based learning on student learning effects:

- a meta-analysis study,” *Front. Psychol.*, vol. 14, p. 1202728, Jul. 2023, doi: 10.3389/fpsyg.2023.1202728.
- [40] P. Guo, N. Saab, L. S. Post, and W. Admiraal, “A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures,” *Int. J. Educ. Res.*, vol. 102, p. 101586, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ijer.2020.101586.
- [41] M. A. Almulla, “The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning,” *Sage Open*, vol. 10, no. 3, Jul. 2020, doi: 10.1177/2158244020938702.
- [42] C.-H. Chen and Y.-C. Yang, “Revisiting the effects of project-based learning on students’ academic achievement: A meta-analysis investigating moderators,” *Educ. Res. Rev.*, vol. 26, pp. 71–81, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.edurev.2018.11.001.
- [43] N. Thi Ngoc Ha, M. Spittle, A. Watt, and N. Van Dyke, “A systematic literature review of micro-credentials in higher education: a non-zero-sum game,” *High. Educ. Res. Dev.*, vol. 42, no. 6, pp. 1527–1548, 2023, doi: 10.1080/07294360.2022.2146061.
- [44] C. Troussas, A. Krouska, and C. Sgouropoulou, “Collaboration and fuzzy-modeled personalization for mobile game-based learning in higher education,” *Comput. Educ.*, vol. 144, p. 103698, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103698.
- [45] A. Alam, “A Digital Game based Learning Approach for Effective Curriculum Transaction for Teaching-Learning of Artificial Intelligence and Machine Learning,” in *2022 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS)*, IEEE, Apr. 2022, pp. 69–74. doi: 10.1109/ICSCDS53736.2022.9760932.
- [46] B. Karakoç, K. Eryılmaz, E. Turan Özpolat, and İ. Yıldırım, “The Effect of Game-Based Learning on Student Achievement: A Meta-Analysis Study,” *Technol. Knowl. Learn.*, vol. 27, no. 1, pp. 207–222, 2022, doi: 10.1007/s10758-020-09471-5.
- [47] S. A. Raza, W. Qazi, and B. Umer, “Examining the impact of case-based learning on student engagement, learning motivation and learning performance among university students,” *J. Appl. Res. High. Educ.*, vol. 12, no. 3, pp. 517–533, 2020, doi: 10.1108/JARHE-05-2019-0105.
- [48] I. J. Sistermans, “Integrating competency-based education with a case-based or problem-based learning approach in online health sciences,” *Asia Pacific Educ. Rev.*, vol. 21, no. 4, pp. 683–696, Dec. 2020, doi: 10.1007/s12564-020-09658-6.
- [49] “Using Case Studies to Teach | Center for Teaching & Learning.” <https://www.bu.edu/ctl/resources/teaching-resources/using-case-studies-to-teach/> (accessed Nov. 09, 2024).
- [50] “Case Method Teaching and Learning | Columbia CTL.” <https://ctl.columbia.edu/resources-and-technology/resources/case-method/> (accessed Nov. 09, 2024).
- [51] J. Barynienė, A. Daunorienė, and D. Gudonienė, “Technology-Enriched Challenge-Based Learning for Responsible Education,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1665 CCIS, pp. 273–283, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-16302-9_22.
- [52] M. Leijon, P. Gudmundsson, P. Staaf, and C. Christersson, “Challenge based learning in higher education– A systematic literature review,” *Innov. Educ. Teach. Int.*, vol. 59, no. 5, pp. 609–618, Sep. 2022, doi: 10.1080/14703297.2021.1892503.
- [53] A. Colombelli, S. Loccisano, A. Panelli, O. A. M. Pennisi, and F. Serraino, “Entrepreneurship Education: The Effects of Challenge-Based Learning on the Entrepreneurial Mindset of University Students,” *Adm. Sci.*, vol. 12, no. 1, p. 10, Jan. 2022, doi: 10.3390/ADMSCI12010010.
- [54] F. S. Gerardou, R. Meriton, A. Brown, B. V. G. Moran, and R. Bhandal, “Advancing a Design Thinking Approach to Challenge-Based Learning,” *Emerald Handb. Chall. Based Learn.*, pp. 93–129, Aug. 2022, doi: 10.1108/978-1-80117-490-920221005.
- [55] D. Morselli and G. Orzes, “Evaluating an interfaculty entrepreneurship program based on challenge-based learning through the EntreComp framework,” *Int. J. Manag. Educ.*, vol. 21, no. 3, p. 100869, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.IJME.2023.100869.
- [56] Y. Gutiérrez-Martínez, R. Bustamante-Bello, S. A. Navarro-Tuch, A. A. López-Aguilar, A. Molina, and I. Á. I. Longoria, “A Challenge-Based Learning Experience in Industrial Engineering in the Framework of Education 4.0,” *Sustainability*, vol. 13, no. 17, p. 9867, Sep. 2021, doi:

10.3390/SU13179867.

- [57] R. Taconis and T. Bekker, "Challenge Based Learning as authentic learning environment for STEM identity construction," *Front. Educ.*, vol. 8, p. 1144702, Aug. 2023, doi: 10.3389/feduc.2023.1144702.
- [58] S. E. Gallagher and T. Savage, "Challenge-based learning in higher education: an exploratory literature review," *Teach. High. Educ.*, vol. 28, no. 6, pp. 1135–1157, Aug. 2023, doi: 10.1080/13562517.2020.1863354.
- [59] R. T. P. B. Santoso, S. H. Priyanto, I. W. R. Junaedi, D. S. S. Santoso, and L. T. Sunaryanto, "Project-based entrepreneurial learning (PBEL): a blended model for startup creations at higher education institutions," *J. Innov. Entrep.*, vol. 12, no. 1, p. 18, Mar. 2023, doi: 10.1186/s13731-023-00276-1.
- [60] E. K. Xiaolei Sun, "Improving Student Creativity through Project-Based Learning: A Case Study of Integrating Innovation and Entrepreneurship Education within Product Design Courses," *J. Posit. Sch. Psychol.*, pp. 6295 – 6307, May 2022, Accessed: Nov. 09, 2024. [Online]. Available: <https://mail.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/4525>
- [61] J. Wasim, M. Haj Youssef, I. Christodoulou, and R. Reinhardt, "Higher education student intentions behind becoming an entrepreneur," *High. Educ. Ski. Work. Learn.*, vol. 14, no. 1, pp. 162–180, Feb. 2024, doi: 10.1108/HESWBL-01-2023-0015.
- [62] S. Nidogon Višnjić, K. Pažur Aničić, and B. Divjak, "A systematic review of the literature on student work and academic performance," <https://doi.org/10.1177/09504222241241974>, Mar. 2024, doi: 10.1177/09504222241241974.
- [63] K. Pažur Aničić and B. Divjak, "Work-Integrated Learning in Higher Education: Student, Teacher and Employer Motivation and Expectations," *Int. J. Work. Learn.*, vol. 23, no. 1, pp. 49–64, 2022.
- [64] R. Mekovec, K. Pažur Aničić, and K. Arbanas, "Developing Undergraduate IT Students' Generic Competencies Through Problem-Based Learning," *TEM J.*, vol. 7, no. 1, pp. 193–200, 2018.
- [65] K. Pažur Aničić, B. Divjak, and K. Arbanas, "Preparing ICT Graduates for Real-World Challenges: Results of a Meta-Analysis," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 60, no. 3, pp. 191–197, Aug. 2017, doi: 10.1109/TE.2016.2633959.
- [66] N. Jalinus, Syahril, S. Haq, and G. K. Kassymova, "Work-based learning for the engineering field in vocational education: Understanding concepts, principles and best practices," *J. Eng. Res. Lect.*, vol. 2, no. 1, pp. 9–17, Apr. 2023, doi: 10.58712/JEREL.V2I1.22.
- [67] K. Trigwell and A. Reid, "Introduction: Work-based Learning and the Students' Perspective," *High. Educ. Res. Dev.*, vol. 17, no. 2, pp. 141–154, Jun. 1998, doi: 10.1080/0729436980170201.
- [68] "Modeli učenja kroz rad - FOI - Centar za podršku studentima i razvoj karijera." <https://cpsrk.foi.hr/modeli-ucenja-kroz-rad/> (accessed Feb. 17, 2025).
- [69] A. Ćirković, Z. Bogdanović, and B. Radenković, "Project-based Learning with Mattermost in Higher Education," *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 3, no. 1, pp. 260–264, 2023, [Online]. Available: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/158>
- [70] Z. Bogdanović, A. Miličević, D. Stojanović, A. Labus, M. Despotović-Zrakić, and B. Radenković, "Open Innovation Strategies in Engineering Education," *2023 IEEE 33rd Int. Conf. Microelectron. MIEL 2023*, pp. 295–302, 2023, doi: 10.1109/MIEL58498.2023.10315923.
- [71] A. Miličević, M. Despotović-Zrakić, T. Naumović, M. Suvajdžić, and B. Radenković, "Measuring the performance of the innovative potential of the academy on the example of Algorand WEB 3.0 hackathon," *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, pp. 217–223, 2023, [Online]. Available: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/195>
- [72] M. Radenković, S. Popović, and S. Mitrović, "Project based learning for DevOps : School of Computing experiences," *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 2, no. 1, pp. 127–131, 2022, [Online]. Available: <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/133>
- [73] J. Mihajlović-Miličević, T. Naumović, and S. Mitrović, "Project-based e-learning in virtual teams," in *XVII International Symposium Business and Artificial Intelligence, SYMORG*, 2020, pp. 528–534. [Online]. Available: <https://symorg.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2020/10/SYMORG-PROCEEDINGS-FINAL-2020.pdf>
- [74] M. Đukić, D. Pavlović, D. Bodroza, and D. Bjelica, "Determinants of entrepreneurial intentions

among Serbian youth – life satisfaction, extracurricular activities and institutional trust,” in *Midterm Conference 202: Youth in the Post-Pandemic: From Experiences of Inequalities to New Opportunities for Solidarities. ESA Research Network 30 Youth and Generation*, Sardinia, Italy, 2023. [Online]. Available: <https://www.shine.edu.rs/research/>

- [75] L. Petrović, D. Bjelica, and M. Mihić, “Entrepreneurial Enthusiasm And Institutional Support: An Analysis Of Youth Perspectives In The Republic Of Serbia,” in *Book of proceedings. International Multidisciplinary Conference “Challenges of Contemporary Higher Education” – CCHE*, Kopaonik, Srbija, 2024, pp. 737–741. [Online]. Available: <https://www.shine.edu.rs/research/>
- [76] M. Đorđević, T. Slavinski, and D. Bjelica, “EDTECH PROJECTS: DISRUPTIVE INNOVATION IN HIGHER EDUCATION,” in *XVIII International Symposium Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID Era*, 2022, pp. 254–255.
- [77] M. van Rijmenam and P. Ryan, “What is the Blockchain?,” *Blockchain*, no. October, pp. 12–39, 2018, doi: 10.4324/9780429457715-2.
- [78] H. Sun, X. Wang, and X. Wang, “Application of Blockchain Technology in Online Education,” *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 13, no. 10, pp. 252–259, Oct. 2018, doi: 10.3991/IJET.V13I10.9455.
- [79] F. A. Sunny *et al.*, “A Systematic Review of Blockchain Applications,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 59155–59177, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179690.
- [80] R. Jabbar *et al.*, “Blockchain Technology for Intelligent Transportation Systems: A Systematic Literature Review,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20995–21031, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149958.
- [81] R. Chaudhary, A. Jindal, G. S. Aujla, S. Aggarwal, N. Kumar, and K. K. R. Choo, “BEST: Blockchain-based secure energy trading in SDN-enabled intelligent transportation system,” *Comput. Secur.*, vol. 85, pp. 288–299, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.COSE.2019.05.006.
- [82] Y. Li, K. Ouyang, N. Li, R. Rahmani, H. Yang, and Y. Pei, “A Blockchain-Assisted Intelligent Transportation System Promoting Data Services with Privacy Protection,” *Sensors*, vol. 20, no. 9, p. 2483, Apr. 2020, doi: 10.3390/S20092483.
- [83] D. Das, S. Banerjee, P. Chatterjee, U. Ghosh, and U. Biswas, “Blockchain for Intelligent Transportation Systems: Applications, Challenges, and Opportunities,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 21, pp. 18961–18970, Nov. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3277923.
- [84] S. Singh, P. K. Sharma, B. Yoon, M. Shojafar, G. H. Cho, and I. H. Ra, “Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 63, p. 102364, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102364.
- [85] I. Mistry, S. Tanwar, S. Tyagi, and N. Kumar, “Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 135, p. 106382, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.YMSSP.2019.106382.
- [86] Z. Ruan, “Blockchain Technology for Security Issues and Challenges in IOT,” *Proc. - 2023 Int. Conf. Comput. Simul. Model. Inf. Secur. CSMIS 2023*, pp. 572–580, 2023, doi: 10.1109/CSMIS60634.2023.00108.
- [87] S. Nudin, A. Labus, P. Lukovac, and M. Suvajdžić, “DApp for Food Traceability Based on PyTeal and Algorand,” *EBT Conf.*, no. Blockchain, pp. 211–216, 2023, [Online]. Available: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/163/146>
- [88] P. Lukovac, M. Simić, and B. Radenković, “IoT system for smart beekeeping,” *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 3, pp. 159–162, 2023, [Online]. Available: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/194>
- [89] M. Mijić and B. Čebić, “The Role of Blockchain in Innovative Fintech Services,” in *2023 International conference on E-business technologies (EBT)*, Belgrade, 2023, pp. 244–250.
- [90] G. Lăzăroiu, M. Bogdan, M. Geamănu, L. Hurloiu, L. Ionescu, and R. Ștefănescu, “Artificial intelligence algorithms and cloud computing technologies in blockchain-based fintech management,” *Oeconomia Copernicana*, vol. 14, no. 3, pp. 707–730, 2023, doi: 10.24136/oc.2023.021.
- [91] T. Renduchintala, H. Alfauri, Z. Yang, R. Di Pietro, and R. Jain, “A Survey of Blockchain Applications in the FinTech Sector,” *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 8, no. 4, p. 185,

Oct. 2022, doi: 10.3390/JOTMC8040185.

- [92] N. R. Mosteanu and A. Faccia, "Digital Systems and New Challenges of Financial Management – FinTech, XBRL, Blockchain and Cryptocurrencies," *Qual. – Access to Success*, vol. 21, no. 174, pp. 159–166, 2020, Accessed: Nov. 12, 2024. [Online]. Available: <https://pureportal.coventry.ac.uk/en/publications/digital-systems-and-new-challenges-of-financial-management-fintec>
- [93] S. Fosso Wamba, J. R. Kala Kamdjoug, R. Epie Bawack, and J. G. Keogh, "Bitcoin, Blockchain and Fintech: a systematic review and case studies in the supply chain," *Prod. Plan. Control*, vol. 31, no. 2–3, pp. 115–142, Feb. 2020, doi: 10.1080/09537287.2019.1631460.
- [94] P. J. Taylor, T. Dargahi, A. Dehghantanha, R. M. Parizi, and K. K. R. Choo, "A systematic literature review of blockchain cyber security," *Digit. Commun. Networks*, vol. 6, no. 2, pp. 147–156, May 2020, doi: 10.1016/J.DCAN.2019.01.005.
- [95] D. Berdik, S. Otoum, N. Schmidt, D. Porter, and Y. Jararweh, "A Survey on Blockchain for Information Systems Management and Security," *Inf. Process. Manag.*, vol. 58, no. 1, p. 102397, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.IPM.2020.102397.
- [96] P. Sharma, S. Namasudra, R. Gonzalez Crespo, J. Parra-Fuente, and M. Chandra Trivedi, "EHDHE: Enhancing security of healthcare documents in IoT-enabled digital healthcare ecosystems using blockchain," *Inf. Sci. (Nijl.)*, vol. 629, pp. 703–718, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.INS.2023.01.148.
- [97] A. Hasselgren, K. Kralevska, D. Gligoroski, S. A. Pedersen, and A. Faxvaag, "Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review," *Int. J. Med. Inform.*, vol. 134, p. 104040, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.IJMEDINF.2019.104040.
- [98] S. Shi, D. He, L. Li, N. Kumar, M. K. Khan, and K. K. R. Choo, "Applications of blockchain in ensuring the security and privacy of electronic health record systems: A survey," *Comput. Secur.*, vol. 97, p. 101966, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.COSE.2020.101966.
- [99] U. Chelladurai and S. Pandian, "A novel blockchain based electronic health record automation system for healthcare," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 13, no. 1, pp. 693–703, Jan. 2022, doi: 10.1007/s12652-021-03163-3.
- [100] V. Despotović, D. Bjelica, A. Bjelica, and D. Barać, "Decentralized Autonomous Organizations: State and Perspectives," vol. 3, no. 1, pp. 238–243, 2023, [Online]. Available: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/190>
- [101] H. Falwadiya and S. Dhingra, "Blockchain technology adoption in government organizations: a systematic literature review," *J. Glob. Oper. Strateg. Sourc.*, vol. 15, no. 3, pp. 473–501, Aug. 2022, doi: 10.1108/JGOSS-09-2021-0079.
- [102] N. Elisa, L. Yang, F. Chao, and Y. Cao, "A framework of blockchain-based secure and privacy-preserving E-government system," *Wirel. Networks*, vol. 29, no. 3, pp. 1005–1015, Apr. 2023, doi: 10.1007/s11276-018-1883-0.
- [103] M. Kassen, "Blockchain and e-government innovation: Automation of public information processes," *Inf. Syst.*, vol. 103, p. 101862, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.IS.2021.101862.
- [104] S. Verma and A. Sheel, "Blockchain for government organizations: past, present and future," *J. Glob. Oper. Strateg. Sourc.*, vol. 15, no. 3, pp. 406–430, Aug. 2022, doi: 10.1108/JGOSS-08-2021-0063.
- [105] A. Alam, "Platform Utilising Blockchain Technology for eLearning and Online Education for Open Sharing of Academic Proficiency and Progress Records," in *Smart Data Intelligence*, R. Asokan, D. P. Ruiz, Z. A. Baig, and S. Piramuthu, Eds., Springer, Singapore, 2022, pp. 307–320. doi: 10.1007/978-981-19-3311-0_26.
- [106] P. Bhaskar, C. K. Tiwari, and A. Joshi, "Blockchain in education management: present and future applications," *Interact. Technol. Smart Educ.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–17, May 2021, doi: 10.1108/ITSE-07-2020-0102.
- [107] D. Lizcano, J. A. Lara, B. White, and S. Aljawarneh, "Blockchain-based approach to create a model of trust in open and ubiquitous higher education," *J. Comput. High. Educ.*, vol. 32, no. 1, pp. 109–134, Apr. 2020, doi: 10.1007/s12528-019-09209-y.
- [108] R. Raimundo and A. Rosário, "Blockchain System in the Higher Education," *Eur. J. Investig. Heal.*

- Psychol. Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 276–293, Mar. 2021, doi: 10.3390/ejihpe11010021.
- [109] E. P. Fedorova and E. I. Skobleva, “Application of Blockchain Technology in Higher Education,” *Eur. J. Contemp. Educ.*, vol. 9, no. 3, pp. 552–571, 2020.
- [110] M.-F. Steiu, “Blockchain in education: Opportunities, applications, and challenges,” *First Monday*, Aug. 2020, doi: 10.5210/FM.V25I9.10654.
- [111] H. A. Alsobhi, R. A. Alakhtar, A. Ubaid, O. K. Hussain, and F. K. Hussain, “Blockchain-based micro-credentialing system in higher education institutions: Systematic literature review,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 265, p. 110238, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.knosys.2022.110238.
- [112] S. Kishore, J. Chan, U. P. Muthupoltotage, N. Young, and D. Sundaram, “Blockchain-based micro-credentials: Design, implementation, evaluation and adoption,” *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, no. January, pp. 6846–6854, 2021, doi: 10.24251/hicss.2021.821.
- [113] Z. Ziyi Li, K. L. Joseph, J. Yu, and D. Gašević, “Blockchain-based Solutions for Education Credentialing System: Comparison and Implications for Future Development,” in *2022 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, Espoo, Finland: IEEE, Aug. 2022, pp. 79–86. doi: 10.1109/Blockchain55522.2022.00021.
- [114] F. Kleinfurber and S. Vengadasalam, “bloxberg | The Blockchain For Science.” <https://bloxberg.org/> (accessed Jul. 28, 2026).
- [115] “FOI - Centar za podršku studentima i razvoj karijera.” <https://cpsrk.foi.hr/> (accessed Nov. 13, 2024).
- [116] “FonBoard.” <https://fonboard.fon.bg.ac.rs/> (accessed Nov. 13, 2024).
- [117] A. Miletić, R. Stamenković, D. Barać, M. Despotović-Zrakić, and M. Simić, “Extending Marketplace Business Model in Academia: A Case of FONBoard,” *ICSBT Int. Conf. Smart Bus. Technol.*, vol. 2023-July, pp. 66–72, 2023, doi: 10.5220/0012093900003552.
- [118] H. Washizaki, *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK Guide), Version 4.0*, 4th ed. 2024. Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.computer.org/education/bodies-of-knowledge/software-engineering>
- [119] H. Washizaki, “Guide to the Software Engineering Body of Knowledge v4.0.” IEEE Computer Society, 2025.
- [120] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, “Design Science in Information Systems Research,” *MIS Q.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–106, 2004, doi: <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- [121] A. R. Hevner, “A Three Cycle View of Design Science Research,” *Scand. J. Inf. Syst. Vol.*, vol. 19, no. 2, 2007, [Online]. Available: <https://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>
- [122] European Commission, *A European approach to micro-credentials final report: Output of the micro-credentials higher education consultation group*, no. December. 2020. doi: 10.2766/50302.
- [123] L. Mei, X. Feng, and F. Cavallaro, “Evaluate and identify the competencies of the future workforce for digital technologies implementation in higher education,” *J. Innov. Knowl.*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.1016/j.jik.2023.100445.
- [124] Z. S. Al Ajmi and S. R. Al Adawi, “Are Extra Curricular Activities Important for General Foundation Programme Students?,” *J. Teach. English Specif. Acad. Purp.*, vol. 11, no. 2, pp. 485–494, 2023, doi: 10.22190/JTESAP230601044A.
- [125] M. Ul Hassan, A. Murtaza, and K. Rashid, “Redefining Higher Education Institutions (HEIs) in the Era of Globalisation and Global Crises: A Proposal for Future Sustainability,” *Eur. J. Educ.*, vol. 60, no. 1, 2025, doi: 10.1111/ejed.12822.
- [126] L. Wheelahan and G. Moodie, “Analysing micro-credentials in higher education: a Bernsteinian analysis,” *J. Curric. Stud.*, vol. 53, no. 2, pp. 212–228, 2021, doi: 10.1080/00220272.2021.1887358.
- [127] A. A. Kulik, P. V. Lazareva, N. V. Ippolitova, A. E. Egorova, and O. Y. Nedorezova, “Competency-based approach and competencies in higher education: a theoretical review,” *Propósitos y Represent.*, vol. 8, no. SPE2, 2020, doi: 10.20511/pyr2020.v8nspe2.645.
- [128] B. Oliver, “Micro-credentials: A learner value framework,” *J. Teach. Learn. Grad. Employab.*, vol. 12, no. 1, pp. 48–51, 2021, doi: 10.21153/JTLGE2021VOL12NO1ART1456.
- [129] A. Antonaci, P. Henderikx, and G. Ubachs, “The Common Microcredentials Framework for MOOCs and Short Learning Programmes,” *J. Innov. Polytech. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 5–9, 2021, doi: 10.69520/jipe.v3i1.89.

- [130] K. Ahsan, S. Akbar, B. Kam, and M. Dan-Asabe Abdulrahman, "Implementation of micro-credentials in higher education: A systematic literature review," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 28, pp. 13505–13540, 2023, doi: 10.1007/s10639-023-11739-z.
- [131] S. Varadarajan, J. H. L. Koh, and B. K. Daniel, "A systematic review of the opportunities and challenges of micro-credentials for multiple stakeholders: learners, employers, higher education institutions and government," *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 20, no. 1, p. 13, Feb. 2023, doi: 10.1186/s41239-023-00381-x.
- [132] M. Tanriverdi, "PublicEduChain: A Framework for Sharing Student-Owned Educational Data on Public Blockchain Network," *IEEE Access*, vol. 12, no. March, pp. 51772–51785, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3385660.
- [133] J. Hanson, A. Kiernan, and V. Dodd, *Collaborating with business and local government to develop a successful micro-credential approach*. Edward Elgar Publishing, 2024. doi: 10.4337/9781035316809.00049.
- [134] H. Noelle *et al.*, "Upskilling Learners for Quality and Regulatory Careers: An Online, Stackable Micro-Credential Program in Colorado," *GEN Biotechnol.*, vol. 3, no. 4, pp. 186–195, Aug. 2024, doi: 10.1089/genbio.2024.0008.
- [135] A. P. Thomas, "Standards for the Development and Awarding of Digital Badges At Syracuse University: Guidance , Governance and Graphics," Syracuse, NY, 2023. [Online]. Available: <https://professionalstudies.syracuse.edu/wp-content/uploads/2023/12/SU-Digital-Badging-Standards-20230523.pdf>
- [136] G. Lang and J. H. Sharp, "Micro-Credentials in US Higher Education: An Empirical Analysis.," *Inf. Syst. Educ. J.*, vol. 21, no. 1, pp. 2–10, 2023, [Online]. Available: <https://isedj.org/>; <https://iscap.info>
- [137] M. Alenezi and M. Akour, "Unlocking Lifelong Learning: A Framework for Integrating Microcredentials in Higher Education," *JSRN*. pp. 1–15, 2024. doi: 10.2139/ssrn.4729887.
- [138] D. Ropes, "Management competencies anno 2025: Consequences for higher education," *High. Educ. Ski. Work. Learn.*, vol. 5, no. 3, pp. 258–270, 2015, doi: 10.1108/HESWBL-12-2014-0061.
- [139] R. Palan, *Competency Management - A Practitioner's Guide*. Specialist Management Resources Sdn Bhd, 2003.
- [140] P. Rózewski and B. Malachowski, "Competence management in knowledge-based organisation: Case study based on higher education organisation," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 5914 LNAI, pp. 358–369, 2009, doi: 10.1007/978-3-642-10488-6_35.
- [141] G. G. Gachino and G. B. Worku, "Learning in higher education: towards knowledge, skills and competency acquisition," *Int. J. Educ. Manag.*, vol. 33, no. 7, pp. 1746–1770, 2019, doi: 10.1108/IJEM-10-2018-0303.
- [142] O. Zlatkin-Troitschanskaia, R. J. Shavelson, and C. Kuhn, "The international state of research on measurement of competency in higher education," *Stud. High. Educ.*, vol. 40, no. 3, pp. 393–411, 2015, doi: 10.1080/03075079.2015.1004241.
- [143] S. A. Fincher and A. V. Robins, *The Cambridge Handbook of Computing Education Research*. 2019. doi: 10.1017/9781108654555.
- [144] Y. Chetioui, H. Lebdaoui, A. Bakkali, A. Elalamy, and A. Aallali, "Extracurricular Activities and academic performance among University Students," *Int. Conf. High. Educ. Adv.*, pp. 306–314, 2025, doi: 10.4995/HEAd25.2025.19953.
- [145] Cedefop, "European guidelines for validating non-formal and informal learning," Luxembourg, 2023. doi: <https://data.europa.eu/doi/10.2801/389827>.
- [146] S. Kato, V. Galán-muros, and T. Weko, "The emergence of alternative Credentials: OECD Education Working Paper.," no. 216, p. 40, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1787/b741f39e-en>
- [147] T. Naumović, B. Vajagić, L. Cvetković, and M. Proročić, "Open innovations and the role of hackathons," *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 2, no. 1, pp. 42–45, 2022, [Online]. Available: <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/111>
- [148] V. Mirčetić, M. Mihić, and I. Kovačević, "Unlocking Hidden Potential: Developing Leadership Competencies in the Digital Age," in *Proceedings - XIX International Symposium SymOrg 2024 -*

- Unlocking the Hidden Potentials of Organization Through Merging of Humans and Digitals*, 2024, pp. 713–718. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/382117242>
- [149] A. Miličević, M. Despotović-Zrakić, D. Stojanović, M. Suvajžić, and A. Labus, “Academic performance indicators for the hackathon learning approach – The case of the blockchain hackathon,” *J. Innov. Knowl.*, vol. 9, no. 3, p. 100501, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.JIK.2024.100501.
- [150] ETF, “Guide To Design, Issue and Recognise Micro-Credentials,” p. 62, 2022, [Online]. Available: <https://www.etf.europa.eu/en/document-attachments/guide-design-issue-and-recognise-micro-credentials>
- [151] T. Naumović, D. Kostić, D. Barać, M. Simić, and M. Despotović-Zrakić, “Redesigning learning pathways: recognizing non-formal competencies through micro-credentials in higher education,” *Educ. + Train.*, vol. ahead-of-p, pp. 1–32, Jul. 2026, doi: 10.1108/ET-11-2025-0958.
- [152] M. F. Maina, L. Guàrdia Ortiz, F. Mancini, and M. Martinez Melo, “A micro-credentialing methodology for improved recognition of HE employability skills,” *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 19, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s41239-021-00315-5.
- [153] J. Perkins and M. Pryor, “Digital badges: Pinning down employer challenges,” *J. Teach. Learn. Grad. Employab.*, vol. 12, no. 1, pp. 24–38, Feb. 2025, doi: 10.21153/jtlge2021vol12no1art1027.
- [154] D. Harvey, R. Wilde, and P. Roy, “Employer and Employee Perceptions of Micro-Credentials,” 2023. [Online]. Available: https://fsc-ccf.ca/wp-content/uploads/2023/06/NAIT_FSC_Report_April2023-1.pdf
- [155] R. Hains-Wesson, “A qualitative exploration on the benefits and challenges of digital badges,” *Issues Educ. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 1568–1584, 2025.
- [156] S. Panda and N. Kaur, “Beyond Degrees: Navigating the Digital Frontier in Higher Education Credentialing,” *Univ. News*, vol. 61, no. 43, pp. 43–53, 2023, doi: 10.5281/zenodo.10052788.
- [157] E. Wolz, M. Gottlieb, and H. Pongratz, “Digital Credentials in Higher Education Institutions: A Literature Review,” *Lect. Notes Inf. Syst. Organ.*, vol. 48 LNISO, pp. 125–140, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-86800-0_9.
- [158] I. G. Ovchinnikova *et al.*, “Elaboration of a frame model for intensification and managing requirements to learning outcomes in regional systems of continuing professional education,” *Int. Rev. Manag. Mark.*, vol. 6, no. 2, pp. 190–197, 2016.
- [159] J. Caspersen, N. Frølich, and J. Muller, “Higher education learning outcomes – Ambiguity and change in higher education,” *Eur. J. Educ.*, vol. 52, no. 1, pp. 8–19, 2017, doi: 10.1111/ejed.12208.
- [160] R. E. West, T. Newby, Z. Cheng, A. Erickson, and K. Clements, “Acknowledging All Learning: Alternative, Micro, and Open Credentials,” *Handb. Res. Educ. Commun. Technol. Learn. Des. Fifth Ed.*, pp. 593–613, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-36119-8_27.
- [161] Europass, “European Digital Credentials for Learning. | Europass,” 2022. <https://europass.europa.eu/en/european-digital-credentials-learning> (accessed Jun. 28, 2026).
- [162] B. Oliver, *Making micro-credentials work for learners, employers and providers*, no. August. 2019. [Online]. Available: <http://dteach.deakin.edu.au/wp-content/uploads/sites/103/2019/08/Making-micro-credentials-work-Oliver-Deakin-2019-full-report.pdf>
- [163] J. Yuxian, “Bridging the knowledge-skill gap: The role of large language model and critical thinking in education,” *Comput. Educ.*, vol. 235, p. 105357, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.COMPEDU.2025.105357.
- [164] T. Lale, “From Classroom to Career: Evaluating What Factors Contribute to the Skills Gap Preventing Graduates from Being Readily Employable,” South College, Knoxville, TN, 2025. Accessed: Aug. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.proquest.com/openview/749601c9da2bec5ada81f972f78d40ae/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- [165] E. Villalba-García, “Validation of non-formal and informal learning: The hero with a thousand faces?,” *Eur. J. Educ.*, vol. 56, no. 3, pp. 351–364, 2021, doi: 10.1111/ejed.12468.
- [166] European Commission, “The European Learning Model | European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO),” 2025. <https://esco.ec.europa.eu/en/about-esco/escopedia/escopedia/european-learning-model> (accessed Jun. 28, 2026).
- [167] Cred4Teach, “Nacionalni okvir za mikro-kredencijale (MC) (preporuke),” Crna Gora, 2024.

- [Online]. Available: https://cred4teach.eu/wp-content/uploads/2024/07/Montenegro_MNE_National_Framework_Micro-Credentials.pdf
- [168] A. Mikroyannidis, J. Domingue, M. Bachler, and K. Quick, "Smart Blockchain Badges for Data Science Education," in *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, San Jose, CA, USA: IEEE, Oct. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/FIE.2018.8659012.
- [169] A. Mikroyannidis, A. Third, and J. Domingue, "A case study on the decentralisation of lifelong learning using blockchain technology," *J. Interact. Media Educ.*, vol. 2020, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.5334/jime.591.
- [170] MICROBOL, "Common Framework for Micro-credentials in the EHEA," 2022. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: https://microcredentials.eu/wp-content/uploads/sites/20/2022/03/Micro-credentials_Framework_final-1.pdf
- [171] M. Zák拉斯ník, V. Konečná, O. Faldík, O. Trenz, and A. Gono, "Issuing Micro-Credentials with Bloxberg Blockchain," in *27th Annual International Conference Economic Competitiveness and Sustainability 2025 Proceedings*, Mendel University in Brno, 2025, pp. 172–181. doi: 10.11118/978-80-7701-047-4-0172.
- [172] H. Pirkkalainen, I. Sood, C. Padron Napoles, A. Kukkonen, and A. Camilleri, "How might micro-credentials influence institutions and empower learners in higher education?," *Educ. Res.*, vol. 65, no. 1, pp. 40–63, 2023, doi: 10.1080/00131881.2022.2157302.
- [173] M. Brown, R. McGreal, and M. Peters, "A Strategic Institutional Response to Micro-Credentials: Key Questions for Educational Leaders," *J. Interact. Media Educ.*, vol. 2023, no. 1, 2023, doi: 10.5334/JIME.801.
- [174] R. McGreal and D. Olcott, "A strategic reset: micro-credentials for higher education leaders," *Smart Learn. Environ.*, vol. 9, no. 1, p. 9, Dec. 2022, doi: 10.1186/s40561-022-00190-1.
- [175] Digital Promise, "Designing a process for micro-credentials at scale," 2016, [Online]. Available: <https://digitalpromise.dspace.org/handle/20.500.12265/40>
- [176] R. Orman, E. Şimşek, and M. A. Kozak Çakır, "Micro-credentials and reflections on higher education," *High. Educ. Eval. Dev.*, vol. 17, no. 2, pp. 96–112, Nov. 2023, doi: 10.1108/HEED-08-2022-0028.
- [177] L. Mainetti, R. Paiano, M. Pedone, M. Quarta, and E. Dervishi, "Digital Brick: Enhancing the Student Experience Using Blockchain, Open Badges and Recommendations," *Educ. Sci.*, vol. 12, no. 8, 2022, doi: 10.3390/educsci12080567.
- [178] M. Turkanović, M. Holbl, K. Kosić, M. Hericko, and A. Kamisalić, "EduCTX: A Blockchain-Based Higher Education Credit Platform," *IEEE Access*, vol. 6, no. March, pp. 5112–5127, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2789929.
- [179] M. Holbl, A. Kamisalić, M. Turkanović, M. Kompara, B. Podgorelec, and M. Heričko, "EduCTX: An Ecosystem for Managing Digital Micro-Credentials," in *2018 28th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE)*, IEEE, Sep. 2018, pp. 1–9. doi: 10.1109/EAEEIE.2018.8534284.
- [180] C. L. Lim, P. K. Nair, M. J. Keppell, N. Hassan, and E. Ayub, "Developing a framework for the university-wide implementation of micro-credentials and digital badges: A case study from a Malaysian private university," *2018 IEEE 4th Int. Conf. Comput. Commun. ICC 2018*, pp. 1715–1719, 2018, doi: 10.1109/CompComm.2018.8780706.
- [181] M. Choi, S. R. Kiran, S. C. Oh, and O. Y. Kwon, "Blockchain-based badge award with existence proof," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 12, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/app9122473.
- [182] V. Chukowry, G. Nanuck, and R. K. Sungkur, "The future of continuous learning–Digital badge and microcredential system using blockchain," *Glob. Transitions Proc.*, vol. 2, no. 2, pp. 355–361, 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.026.
- [183] A. Ghonim and I. Corpuz, "Moving Toward A Digital Competency-based Approach in Applied Education: Developing a System Supported by Blockchain to Enhance Competency-Based Credentials," *Int. J. High. Educ.*, vol. 10, no. 5, p. 33, 2021, doi: 10.5430/ijhe.v10n5p33.
- [184] S. Alam, H. A. Y. Ayoub, R. A. A. Alshaikh, and A. H. H. AL-Hayawi, "A Blockchain-based framework for secure Educational Credentials," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 10, pp. 5157–5167, 2021, doi: 10.17762/turcomat.v12i10.5298.
- [185] M. Tooley and J. Hood, "Harnessing Micro-Credentials for Teacher Growth: A National Review

- of Early Best Practices,” *New Am.*, no. January, pp. 1–69, 2021, [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED612409.pdf>
- [186] V. Holotescu, R. Vasiu, A. Ternauciu, C. Holotescu, and D. Andone, “Building a Decentralized Education Ecosystem : Politehnica University of Timisoara’s Pioneering Blockchain Initiatives,” in *EDEN 2024 Research Workshop & PhD Masterclass*, Timisoara, Romania, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/385416650_Building_a_Decentralized_Education_Ecosystem_Politehnica_University_of_Timisoara%27s_Pioneering_Blockchain_Initiatives
- [187] P. Kiiskilä, O. Hylli, and H. Pirkkalainen, “How Can European Blockchain Services Infrastructure Be Used For Managing Educational Digital Credentials?,” in *14th Scandinavian Conference on Information Systems*, 2023. [Online]. Available: <https://aisel.aisnet.org/scis2023>
- [188] A. Dinu and P. C. Vasile, “Shaping the educational landscape: the rise and potential of Verifiable Credentials in higher education,” *Proc. Int. Conf. Virtual Learn.*, vol. 18, pp. 123–132, 2023, doi: 10.58503/icvl-v18y202310.
- [189] N. H. C. Ahmat, M. A. A. Bashir, A. R. Razali, and S. Kasolang, “Micro-Credentials in Higher Education Institutions: Challenges and Opportunities,” *Asian J. Univ. Educ.*, vol. 17, no. 3, pp. 281–290, 2021, doi: 10.24191/ajue.v17i3.14505.
- [190] G. Tamoliune, R. Greenspon, M. Tereseviciene, A. Volungeviciene, E. Trepule, and E. Dauksiene, “Exploring the potential of micro-credentials: A systematic literature review,” *Front. Educ.*, vol. 7, no. January, pp. 1–15, 2023, doi: 10.3389/feduc.2022.1006811.
- [191] A. Mikroyannidis, A. Third, and J. Domingue, “Blockchain-based decentralised micro-accreditation for lifelong learning,” *Interact. Learn. Environ.*, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1080/10494820.2024.2401485.
- [192] “Accredible | Digital Badging and Certificate Platform.” <https://www.accreditable.com/> (accessed Apr. 15, 2026).
- [193] Z. Bogdanović, B. Radenković, M. Despotović-Zrakić, D. Barać, A. Labus, and T. Naumović, “Blockchain Technologies: Current State and Perspectives,” *B. Proceedings. 2nd Int. Sci. Conf. Digit. Econ. DIEC*, vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2019.
- [194] R. E. Freeman, *Strategic Management*. Boston, MA: Cambridge University Press, 2010. doi: 10.1017/CBO9781139192675.
- [195] B. L. Parmar, R. E. Freeman, J. S. Harrison, A. C. Wicks, L. Purnell, and S. de Colle, “Stakeholder Theory: The State of the Art,” *Acad. Manag. Ann.*, vol. 4, no. 1, pp. 403–445, Jan. 2010, doi: 10.5465/19416520.2010.495581.
- [196] R. K. Mitchell, B. R. Agle, and D. J. Wood, “Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts,” *Acad. Manag. Rev.*, vol. 22, no. 4, p. 853, Oct. 1997, doi: 10.2307/259247.
- [197] T. Naumović, M. Simić, M. Suvajdzić, M. Vulić, and A. Bjelica, “Roles, Responsibilities, and Value Flows: A Stakeholder Map of Micro-Credential Processes in Higher Education Ecosystem,” *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 4, no. 1, 2025, [Online]. Available: <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/269>
- [198] A. Slawik, “MISS - Methodology for the Identification of Strategic Stakeholders of an Organisation,” *Int. J. Contemp. Manag.*, vol. 16, no. 4, pp. 207–235, 2017, doi: 10.4467/24498939ijcm.17.045.8268.
- [199] R. S. Kaplan and D. Norton, “The Balanced Scorecard: Measures that Drive Performance,” *Harv. Bus. Rev.*, vol. 70, no. 1, pp. 71–79, 1992, [Online]. Available: <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=9161>
- [200] I. Alexander and S. Robertson, “Understanding Project Sociology by Modeling Stakeholders,” *IEEE Softw.*, vol. 21, no. 1, pp. 23–27, 2004, doi: 10.1109/MS.2004.1259199.
- [201] J. P. Wilson, R. Dyer, and S. Cantore, “Universities and stakeholders: An historical organisational study of evolution and change towards a multi-helix model,” *Ind. High. Educ.*, vol. 38, no. 2, pp. 124–135, 2024, doi: 10.1177/09504222231175425.
- [202] R. T. Syed, D. Singh, R. Agrawal, and D. Spicer, “Higher education institutions and stakeholder analysis: Theoretical roots, development of themes and future research directions,” *Ind. High.*

- Educ.*, vol. 38, no. 3, pp. 218–233, Jun. 2024, doi: 10.1177/09504222231191730.
- [203] A. Slawik, M. Tutko, M. Kossowska-Lai, and J. Rosiński, “Redefining stakeholder mapping for higher education institutions,” *Ind. High. Educ.*, vol. online-fir, pp. 1–46, Jun. 2026, doi: 10.1177/09504222261459146.
 - [204] J. Kettunen, “The Stakeholder Map in Higher Education,” in *Society, Education and Psychology*, F. Tao, Ed., IACSIT Press, 2014, pp. 34–38. doi: <https://doi.org/10.7763/IPEDR>.
 - [205] J. Kettunen, “Stakeholder relationships in higher education,” *Tert. Educ. Manag.*, vol. 21, no. 1, pp. 56–65, 2015, doi: 10.1080/13583883.2014.997277.
 - [206] H. Etzkowitz, “The norms of entrepreneurial science: cognitive effects of the new university–industry linkages,” *Res. Policy*, vol. 27, no. 8, pp. 823–833, Dec. 1998, doi: 10.1016/S0048-7333(98)00093-6.
 - [207] I. Ferrero-Ferrero, M. Á. Fernández-Izquierdo, M. J. Muñoz-Torres, and L. Bellés-Colomer, “Stakeholder engagement in sustainability reporting in higher educationAn analysis of key internal stakeholders’ expectations,” *Int. J. Sustain. High. Educ.*, vol. 19, no. 2, pp. 313–336, Jan. 2018, doi: 10.1108/IJSHE-06-2016-0116.
 - [208] R. Pugh, E. Hamilton, S. Jack, and A. Gibbons, “A step into the unknown: universities and the governance of regional economic development,” *Eur. Plan. Stud.*, vol. 24, no. 7, pp. 1357–1373, Jul. 2016, doi: 10.1080/09654313.2016.1173201.
 - [209] L. Leisyte and D. F. Westerheijden, “Stakeholders and Quality Assurance in Higher Education,” *Drivers Barriers to Achiev. Qual. High. Educ.*, pp. 83–97, 2014, doi: 10.1007/978-94-6209-494-9_7.
 - [210] L. Popovski and G. Soussou, “A Brief History of Blockchain,” 2018. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://pbwt2.gjassets.com/content/uploads/2018/05/010051804-Patterson2.pdf>
 - [211] X. Liu, B. Farahani, and F. Firouzi, “Distributed Ledger Technology,” *Intell. Internet Things From Device to Fog Cloud*, pp. 393–431, Jan. 2020, doi: 10.1007/978-3-030-30367-9_8.
 - [212] A. S. Rajasekaran, M. Azees, and F. Al-Turjman, “A comprehensive survey on blockchain technology,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 52, p. 102039, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102039.
 - [213] Z. Zheng *et al.*, “An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 105, pp. 475–491, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.future.2019.12.019.
 - [214] Fāwqlé John, Malanii Oleh, and Ciattaglia Luciano, “Types Of Consensus Mechanisms In Blockchain - Hacken,” 2024. <https://hacken.io/discover/consensus-mechanisms/> (accessed Feb. 21, 2025).
 - [215] M. Wendl, M. H. Doan, and R. Sassen, “The environmental impact of cryptocurrencies using proof of work and proof of stake consensus algorithms: A systematic review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 326, p. 116530, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2022.116530.
 - [216] F. Yang, W. Zhou, Q. Wu, R. Long, N. N. Xiong, and M. Zhou, “Delegated proof of stake with downgrade: A secure and efficient blockchain consensus algorithm with downgrade mechanism,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 118541–118555, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935149.
 - [217] M. A. Manolache, S. Manolache, and N. Tapus, “Decision Making using the Blockchain Proof of Authority Consensus,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 199, pp. 580–588, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.071.
 - [218] S. N. Khan, F. Loukil, C. Ghedira-Guegan, E. Benkhelifa, and A. Bani-Hani, “Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends,” *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 14, no. 5, pp. 2901–2925, 2021, doi: 10.1007/s12083-021-01127-0.
 - [219] “Getting Started — Bitcoin.” <https://developer.bitcoin.org/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [220] S. Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,” 2008. Accessed: Mar. 04, 2025. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
 - [221] “Ethereum development documentation.” <https://ethereum.org/en/developers/docs/> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [222] “Ethereum Whitepaper.” <https://ethereum.org/en/whitepaper/> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [223] “Comparing Hyperledger Fabric and Hyperledger Besu: A Deep Dive.” <https://www.kaleido.io/blockchain-blog/comparing-hyperledger-fabric-and-hyperledger-besu>

- (accessed Mar. 04, 2025).
- [224] “A Blockchain Platform for the Enterprise — Hyperledger Fabric Docs main documentation.” <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.5/> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [225] “Welcome | Besu documentation.” <https://besu.hyperledger.org/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [226] Y. Baskar, “Hyperledger Besu Explained,” *Medium*, 2023. <https://medium.com/@yukeshbaski/hyperledger-besu-explained-bc5d37279ab2> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [227] “Polygon technology.” <https://polygon.technology/> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [228] “What Is Polygon Blockchain: Benefits and Use Cases.” <https://www.debutinfotech.com/blog/polygon-blockchain-benefits-and-use-cases> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [229] “Stats & Facts | Tezos.” <https://tezos.com/stats/> (accessed Mar. 04, 2025).
 - [230] L. M. Goodman, “Tezos-a self-amending crypto-ledger White paper,” 2014.
 - [231] “Learn how the Solana blockchain works | Solana.” <https://solana.com/docs> (accessed Mar. 03, 2025).
 - [232] “How the Solana Ecosystem is Offsetting Its Energy Impact: September 2024 | Solana.” <https://solana.com/fi/news/energy-use-report-september-2024> (accessed Mar. 03, 2025).
 - [233] X. Li, X. Wang, T. Kong, J. Zheng, and M. Luo, “From Bitcoin to Solana – Innovating Blockchain Towards Enterprise Applications,” in *Blockchain – ICBC 2021*, K. Lee and L. Zhang, Eds., Lecture No. Springer, 2022, pp. 74–100. doi: 10.1007/978-3-030-96527-3_6.
 - [234] F. Kleinfercher and S. Vengadasalam, “The Blockchain For Science | Whitepaper 3.0,” 2024. https://bloxberg.org/wp-content/uploads/2025/09/bloxberg_whitepaper_3.0.pdf (accessed Aug. 08, 2026).
 - [235] F. Kleinfercher and S. Vengadasalam, “The Blockchain For Science | Whitepaper 1.0,” 2019. https://bloxberg.org/wp-content/uploads/2025/09/bloxberg_whitepaper_1.0.pdf (accessed Aug. 08, 2026).
 - [236] “EBSI Verifiable Credentials - EBSI -.” <https://ebsi.eu/> (accessed Feb. 18, 2025).
 - [237] A. Mohammad and S. Vargas, “Barriers Affecting Higher Education Institutions’ Adoption of Blockchain Technology: A Qualitative Study,” *Informatics*, vol. 9, no. 3, 2022, doi: 10.3390/informatics9030064.
 - [238] D. L. Silaghi and D. E. Popescu, “A Systematic Review of Blockchain-Based Initiatives in Comparison to Best Practices Used in Higher Education Institutions,” pp. 1–36, 2025.
 - [239] N. A. Al-ragwi and A. T. Zahary, “A systematic review on the benefits , challenges , and applications of blockchain technology for e-learning,” 2026.
 - [240] A. Razzaq, M. Numair, and S. Ahmed, “Can Blockchain Decentralize Education ? A Systematic Review of Challenges and Pathways,” 2026, doi: 10.1049/sfw2/5556408.
 - [241] A. Rustemi, F. Dalipi, V. Atanasovski, and A. Risteski, “A Systematic Literature Review on Blockchain-Based Systems for Academic Certificate Verification,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 64679–64696, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3289598.
 - [242] M. Di Angelo and G. Salzer, “Tokens, Types, and Standards: Identification and Utilization in Ethereum,” *Proc. - 2020 IEEE Int. Conf. Decentralized Appl. Infrastructures, DAPPS 2020*, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1109/DAPPS49028.2020.00001.
 - [243] L. Oliveira, I. Bauer, L. Zavolokina, and G. Schwabe, “To token or not to token: Tools for understanding blockchain tokens,” *Int. Conf. Inf. Syst. 2018, ICIS 2018*, no. October, 2018.
 - [244] W. Mougayar, “Tokenomics — A Business Guide to Token Usage, Utility and Value ,” *Medium*, 2017. <https://medium.com/@wmougayar/tokenomics-a-business-guide-to-token-usage-utility-and-value-b19242053416> (accessed Mar. 03, 2025).
 - [245] F. Glatz, “A Blockchain Token Taxonomy,” *Medium*, Sep. 2016. <https://heckerhut.medium.com/a-blockchain-token-taxonomy-fadf5c56139a> (accessed Mar. 03, 2025).
 - [246] “Token Standards.” <https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/> (accessed Mar. 03, 2025).
 - [247] “All | Ethereum Improvement Proposals.” <https://eips.ethereum.org/all> (accessed Mar. 03, 2025).

- 2025).
- [248] W. Rehman, Hijab e Zainab, J. Imran, and N. Z. Bawany, "NFTs: Applications and challenges," *2021 22nd Int. Arab Conf. Inf. Technol. ACIT 2021*, no. January 2022, 2021, doi: 10.1109/ACIT53391.2021.9677260.
 - [249] V. Despotović, D. Bjelica, and D. Barać, "Analysis of potential NFT applications," *E-bus. Technol. Conf. Proc.*, vol. 2, no. 1, pp. 103–107, 2022, [Online]. Available: <https://ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/136>
 - [250] H. Taherdoost, "Non-Fungible Tokens (NFT): A Systematic Review," *Inf.*, vol. 14, no. 1, 2023, doi: 10.3390/info14010026.
 - [251] S. Panda and N. Kaur, "Design and Implementation of Higher Education Learners' Learning Outcomes (HELLO)," in *Design and Implementation of Higher Education Learners' Learning Outcomes (HELLO)*, K. Barua, N. Radwan, V. Singh, and R. Figueiredo, Eds., IGI Global Scientific Publishing, 2023, pp. 368–400. doi: 10.4018/978-1-6684-9472-1.ch023.
 - [252] E. Tan, E. Lerouge, J. Du Caju, and D. Du Seuil, "Verification of Education Credentials on European Blockchain Services Infrastructure (EBSI): Action Research in a Cross-Border Use Case between Belgium and Italy," *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.3390/bdcc7020079.
 - [253] "ethereum · GitHub." <https://github.com/ethereum> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [254] "Home | Solidity Programming Language." <https://soliditylang.org/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [255] "QualiChain · GitHub." <https://github.com/QualiChain/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [256] "Blockcerts: The Open Standard for Blockchain Credentials." <https://www.blockcerts.org/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [257] "Digital Credential Network Powered by Canvas Credentials." <https://badgr.com/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [258] "The Ultimate Crypto Wallet for DeFi, Web3 Apps, and NFTs | MetaMask." <https://metamask.io/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [259] World Wide Web Consortium, "Verifiable Credentials Data Model v2.0," 2025. <https://www.w3.org/TR/vc-data-model-2.0/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [260] "How OpenID Connect Works - OpenID Foundation." <https://openid.net/developers/how-connect-works/> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [261] "Identity wallet infrastructure — walt.id." <https://walt.id/wallet-infrastructure> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [262] M. S. Ferdous, F. Chowdhury, and M. O. Alassafi, "In Search of Self-Sovereign Identity Leveraging Blockchain Technology," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 103059–103079, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931173.
 - [263] "Conformant wallets - EBSI -." <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/sites/display/EBSI/Conformant+wallets> (accessed Feb. 19, 2025).
 - [264] A. Third and J. Domingue, "LinkChains: Exploring the space of decentralised trustworthy Linked Data," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1934, 2017.
 - [265] A. Third and J. Domingue, "LinkChains: Trusted personal linked data," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2599, pp. 2–3, 2019.
 - [266] T. Naumović, D. Živković, M. Janković, and D. Barać, "Toward a Secure-by-Design Higher Education Ecosystem: Decentralized Identity, Privacy, and Trust," in *XX International Symposium on Organizational Sciences - SymOrg 2026 | Resilient and Intelligent Organizations in Times of Permanent Disruption*, Kopaonik, Srbija: University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, 2026. [Online]. Available: <https://symorg.fon.bg.ac.rs/papers/proceedings>
 - [267] C. N. Butincu and A. Alexandrescu, "Design Aspects of Decentralized Identifiers and Self-Sovereign Identity Systems," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 60928–60942, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3394537.
 - [268] C. Allen, "The Path to Self-Sovereign Identity," 2016. <https://www.lifewithalacrity.com/article/the-path-to-self-sovereign-identity/> (accessed Apr. 27, 2026).
 - [269] S. El Haddouti and M. D. Ech-Cherif El Kettani, "Analysis of identity management systems using blockchain technology," *Proc. - 2019 Int. Conf. Adv. Commun. Technol. Networking, CommNet 2019*,

- Apr. 2019, doi: 10.1109/COMMNET.2019.8742375.
- [270] D. Schumm, K. O. E. Muller, and B. Stiller, "Are We There Yet? A Study of Decentralized Identity Applications," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 125232–125259, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3588170.
 - [271] "EBSI Verifiable Credentials - EBSI -." <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/sites/spaces/EBSI/pages/600343491/EBSI+Verifiable+Credentials> (accessed Apr. 27, 2026).
 - [272] M. Martin and P. Van der Hijden, "Short courses, micro-credentials, and flexible learning pathways: a blueprint for policy development and action: policy paper," UNESCO IPIE, 2023. Accessed: Apr. 20, 2026. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384326>
 - [273] A. Jušić, S. Fuks, P. Kochovski, and V. Stankovski, "Blockchain-Enabled Micro Credentialing: Enhancing Trust, Mobility, and Interoperability in Lifelong Learning," *EDULEARN25 Proc.*, vol. 1, pp. 5382–5388, 2025, doi: 10.21125/edulearn.2025.1342.
 - [274] C. Mazzocca, A. Acar, S. Uluagac, R. Montanari, P. Bellavista, and M. Conti, "A Survey on Decentralized Identifiers and Verifiable Credentials," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 27, no. 6, pp. 3641–3671, 2025, doi: 10.1109/COMST.2025.3543197.
 - [275] Apoorva Jain, "Blockchain-Based Decentralized Identity Systems in Education," *Sci. J. Artif. Intell. Blockchain Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 30–38, 2025, doi: 10.63345/sjaibt.v2.i4.104.
 - [276] M. Chen, B. Chen, Z. Ling, P. Zhang, and S. Zhang, *A Study of Managing University Course based on Decentralized Identifiers*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2023. doi: 10.1145/3651655.3651657.
 - [277] R. Jopate *et al.*, "Blockchain-Based Secure Identity and Credential Management for Decentralized Education Ecosystems," *Int. J. Recent Trends Technol. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 1–11, 2025, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17862602>.
 - [278] C. Del-Real, E. De Busser, and B. van den Berg, "A systematic literature review of security and privacy by design principles, norms, and strategies for digital technologies," *Int. Rev. Law, Comput. Technol.*, vol. 39, no. 3, pp. 374–405, 2025, doi: 10.1080/13600869.2025.2457227.
 - [279] A. Cavoukian, "Privacy by Design - The 7 foundational principles - Implementation and mapping of fair information practices," *Inf. Priv. Comm. Ontario, Canada*, p. 5, 2009, [Online]. Available: <https://www.ipc.on.ca/en/media/1826/download?attachment>
 - [280] F. Pallas *et al.*, "Privacy Engineering from Principles to Practice: A Roadmap," *IEEE Secur. Priv.*, vol. 22, no. 2, pp. 86–92, 2024, doi: 10.1109/MSEC.2024.3363829.
 - [281] "Art. 25 GDPR – Data protection by design and by default - General Data Protection Regulation (GDPR)." <https://gdpr-info.eu/art-25-gdpr/> (accessed Apr. 27, 2026).
 - [282] X. Xu, "Zero-knowledge proofs in education: a pathway to disability inclusion and equitable learning opportunities," *Smart Learn. Environ.*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s40561-024-00294-w.
 - [283] X. Li, M. Tan, and W. Tian, "A Secure and Efficient Sharing Framework for Student Electronic Academic Records: Integrating Zero-Knowledge Proof and Proxy Re-Encryption," *Futur. Internet*, vol. 18, no. 1, p. 47, 2026, doi: 10.3390/fi18010047.
 - [284] L. Wei, M. Al-harhi, and R. Chen, "Smart Contract-Enabled Micro-Credentialing for Competency-Based E-Learning: Architecture , Empirical Analysis , and Design Guidelines," *Trends Rev. Technol. Eng. Educ.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–27, 2025, doi: 10.63646/trtee.2025.030201.
 - [285] J. Komljenović, "The future of value in digitalised higher education: why data privacy should not be our biggest concern," *High. Educ.*, vol. 83, no. 1, pp. 119–135, 2022, doi: 10.1007/s10734-020-00639-7.
 - [286] A. A. Ayare, V. A. Jadhav, M. K. Banatwala, S. V. Changlere, A. Mote, and P. Joshi, "A Systematic Review on Blockchain-Based Framework for Storing Educational Records Using InterPlanetary File System," *Cureus J. Comput. Sci.*, pp. 1–28, 2025, doi: 10.7759/s44389-024-00745-y.
 - [287] D. L. Fekete and A. Kiss, "Toward Building Smart Contract-Based Higher Education Systems Using Zero-Knowledge Ethereum Virtual Machine," *Electronics*, vol. 12, no. 3, p. 664, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12030664.

- [288] P. S. Rani, S. B. Priya, and A. Kala, "Digital Certificate Verification in Educational Sector Using Non-Interactive Zero Knowledge Proof and Blockchain," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 41, no. 2, pp. 467–480, 2025, doi: 10.6688/JISE.202503_41(2).0012.
- [289] The Council of the European Union, "The European Qualifications Framework," May 22, 2017. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017H0615\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017H0615(01)&from=EN) (accessed Jun. 29, 2026).
- [290] Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja, "Izveštaj o prevezivanju Nacionalnog okvira kvalifikacija Republike Srbije sa Evropskim okvirom kvalifikacija za celozivotno učenje i Okvirom kvalifikacija Evropskog prostora visokog obrazovanja," 2021. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: <https://prosveta.gov.rs/wp-content/uploads/2021/12/Izvestaj-o-povezivanju-NOKS-a-sa-EOK-om-SRPSKI-1.pdf>
- [291] Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja, "Nacionalni okvir kvalifikacija," 2022. <https://prosveta.gov.rs/prosveta/nacionalni-okvir-kvalifikacija> (accessed Jun. 29, 2026).
- [292] EHEA, "The Framework of Qualifications for the European Higher Education Area," Paris, 2018. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: https://eha.info/media.eha.info/file/2018_Paris/77/8/EHEAParis2018_Communique_AppendixIII_952778.pdf
- [293] C. Capote de la Calle, J. Cosgrove, and R. Cachia, "DigComp 3.0: European Digital Competence Framework," 2025. doi: 10.5281/ZENODO.17780383.
- [294] A. Sala, Y. Punie, V. Garkov, and M. Cabrera, "LifeComp : the European Framework for personal, social and learning to learn key competence," Publications Office of the European Union, 2020. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: [https://pact-for-skills.ec.europa.eu/document/download/dbd02738-a100-4fcd-8136-bce486dfbc5e_en?filename=LifeComp The European Framework for Personal%2C Social and Learning to Learn Key Competence.pdf](https://pact-for-skills.ec.europa.eu/document/download/dbd02738-a100-4fcd-8136-bce486dfbc5e_en?filename=LifeComp%20The%20European%20Framework%20for%20Personal%2C%20Social%20and%20Learning%20to%20Learn%20Key%20Competence.pdf)
- [295] M. Bacigalupo, P. Kampylis, Y. Punie, and G. van den Brande, "EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework," 2016. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: <http://www.worldcat.org/oclc/954079372>
- [296] European Commission, "European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO)." https://esco.ec.europa.eu/en/classification/skill_main (accessed Jun. 29, 2026).
- [297] CEN Technical Committee, "European e-Competence Framework," 2016. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: <http://profiletool.ecompetences.eu/>
- [298] G. Bianchi, U. Pisiotis, M. Cabrera Giraldez, M. Bacigalupo, and Y. Punie, "GreenComp The European sustainability competence framework," Publications Office of the European Union, 2022. doi: <https://dx.doi.org/10.2760/13286>.
- [299] "Dublin Descriptors ~ UNIPI." <https://www.unipi.it/en/about-us/quality-and-assessment/dublin-descriptors/> (accessed Jun. 29, 2026).
- [300] "Home | IMS Open Badges." <https://openbadges.org/> (accessed Apr. 15, 2026).
- [301] International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 25022:2016 Systems and software engineering - Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - Measurement of quality in use," no. ISO/IEC 25022:2016. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Jun. 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/35746.html>
- [302] International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Measurement of system and software product quality," no. ISO/IEC 25023:2016. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Jun. 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/35747.html>
- [303] International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Product quality model," no. ISO/IEC 25010:2023. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/78176.html>

- [304] T. T. A. Dinh, J. Wang, G. Chen, R. Liu, B. C. Ooi, and K.-L. Tan, "BLOCKBENCH: A Framework for Analyzing Private Blockchains," in *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Management of Data*, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017, pp. 1085–1100. doi: 10.1145/3035918.3064033.
- [305] A. Osterwalder and Y. Pigneur, *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. in The Strategyzer Series. Wiley, 2013. [Online]. Available: <https://books.google.rs/books?id=L3TnC7ZAWAsC>
- [306] S. Ignjatović, D. Kostić, T. Naumović, M. Simić, and A. Joksimović, "Rethinking Project Management for Decentralized Digital Product Development," *Eur. Proj. Manag. J.*, vol. 16, no. 1, pp. 49–66, Feb. 2026, doi: 10.56889/QOSE7846.
- [307] S. Brown, "The C4 Model for Software Architecture," 2018. <https://c4model.com/> (accessed Aug. 04, 2026).
- [308] H. W. Kim, H. C. Chan, and S. Gupta, "Value-based Adoption of Mobile Internet: An empirical investigation," *Decis. Support Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 111–126, 2007, doi: 10.1016/j.dss.2005.05.009.
- [309] Y. M. Wang, Y. S. Wang, and Y. Y. Wang, "Exploring the determinants of university students' contribution intention on crowdsourcing platforms: a value maximization perspective," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 31, no. 5, pp. 2612–2634, 2023, doi: 10.1080/10494820.2021.1890619.
- [310] A. Granić and N. Marangunić, "Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 50, no. 5, pp. 2572–2593, 2019, doi: 10.1111/bjet.12864.
- [311] L. Xue, A. M. Rashid, and S. Ouyang, "The Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) in Higher Education: A Systematic Review," *SAGE Open*, vol. 14, no. 1, pp. 1–22, 2024, doi: 10.1177/21582440241229570.
- [312] M. Brown, M. Nic Giolla Mhichil, E. Beirne, and C. Mac Lochlainn, "The global micro-credential landscape: Charting a new credential ecology for lifelong learning," *J. Learn. Dev.*, vol. 8, no. 2, pp. 228–254, 2021, doi: 10.56059/jl4d.v8i2.525.
- [313] A. M. Lund, "Measuring Usability with the USE Questionnaire," *Usability Interface*, vol. 8, no. 2, pp. 3–6, 2001, [Online]. Available: www.stcsig.org/usability/newsletter/index.html
- [314] M. Gao, P. Kortum, and F. Oswald, "Psychometric evaluation of the USE (usefulness, satisfaction, and ease of use) questionnaire for reliability and validity," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 3, pp. 1414–1418, 2018, doi: 10.1177/1541931218621322.
- [315] United Nations, "Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development," 2016. doi: 10.1201/b20466-7.
- [316] "What are Ethereum Layer-2 blockchains and how do they work? | Coinbase." <https://www.coinbase.com/learn/crypto-basics/what-are-ethereum-layer-2-blockchains-and-how-do-they-work> (accessed Mar. 04, 2025).
- [317] "What is Turing-Complete?" <https://blog.defichain.com/what-is-turing-complete/> (accessed Mar. 04, 2025).

13 Spisak ilustracija

Ilustracija 1 Mikrocredencijali kao mehanizam povezivanja tržišta rada, neformalnog učenja i visokog obrazovanja.....	15
Ilustracija 2 Životni ciklus pametnog ugovora (prilagođeno [213])	22
Ilustracija 3 Mapiranje procesa i stejkholdera u ekosistemu mikrocredencijala [151]	12
Ilustracija 4 Detaljna struktura modela decentralizovanog sistema za upravljanje kompetencijama i mikrocredencijalima	13
Ilustracija 5 BPMN dijagram procesa sticanja/izdavanja mikrocredencijala na zahtev nosioca.....	16
Ilustracija 6 BPMN dijagram procesa javne verifikacije izdatog mikrocredencijala	17
Ilustracija 7 ER dijagram identiteta i institucionalnog konteksta.....	20
Ilustracija 8 ER dijagram definisanja šablona mikrocredencijala	21
Ilustracija 9 ER dijagram odnosa kompetencija, ishoda učenja i dokaza	21
Ilustracija 10 ER dijagram odnosa prijave, procene i izdavanje mikrocredencijala	22
Ilustracija 11 ER dijagram životnog ciklusa, deljenja i verifikacije mikrocredencijala.....	23
Ilustracija 12 ER dijagram blokčejn zapisa i revizije mikrocredencijala	23
Ilustracija 13 ER dijagram logičkog modela korisničkih naloga, uloga i organizacije.....	25
Ilustracija 14 ER dijagram logičkog modela šablona i verzija šablona mikrocredencijala	27
Ilustracija 15 ER dijagram logičkog modela prijave, validacije i izdavanja mikrocredencijala	29
Ilustracija 16 ER dijagram logičkog modela mikrocredencijala, životnog ciklus, prezentacije i verifikacije	31
Ilustracija 17 ER dijagram logičkog modela blokčejn zapisa i revizije.....	33
Ilustracija 18 Lanac sledljivosti u procesu izdavanja mikrocredencijala	42
Ilustracija 19 Struktura i međusobna povezanost elemenata modela mikrocredencijala	45
Ilustracija 20 Konceptualni model petoslojne arhitekture sistema za upravljanje mikrocredencijalima..	49
Ilustracija 21 Komponente arhitekture decentralizovanog sistema za upravljanje mikrocredencijalima	51
Ilustracija 22 Dijagram procesa metodološkog postupka izdavanja mikrocredencijala u neformalnom obrazovanju	55
Ilustracija 23 Dijagram procesa metodološkog postupka izdavanja mikrocredencijala u formalnom obrazovanju	57
Ilustracija 24 Roadmap uvođenja platforme u standardnu praksu FONa	58
Ilustracija 25 BMC šablon poslovne logike sistema [305].....	60
Ilustracija 26 C4 model - dijagram konteksta	66
Ilustracija 27 C4 model - dijagram kontejnera.....	67
Ilustracija 28 C4 model - dijagram komponenata	68
Ilustracija 29 Pojednostavljeni ER dijagram osnove modela	69
Ilustracija 30 Dijagram sekvence izdavanja i blokčejn sidrenja mikrocredencijala	76
Ilustracija 31 Dijagram sekvenci procesa provere i verifikacije mikrocredencijala	78
Ilustracija 32 Dijagram sekvenci procesa opoziva mikrocredencijala	79
Ilustracija 33 Demografska analiza studenata - učešće u vannastavnim aktivnostima (prilagođeno iz [151])	94
Ilustracija 34 Prošireni model usvajanja zasnovan na vrednosti VAM [151], [308].....	96

14 Spisak slika

Slika 1 Pregled Bloksberg blok pretraživača - Template registry.....	71
Slika 2 Pregled Bloksberg blok pretraživača - Credential Registry	71
Slika 3 Prikaz delova koda pametnog ugovora CredentialRegistry – issueCredential()	73
Slika 4 Prikaz delova koda serverske strane - createServerFn	80
Slika 5 CredSeal platforma - Početna stranica	83
Slika 6 CredSeal platforma Portal administratora platforme – Kontrolna tabla	84
Slika 7 CredSeal platforma Portal izdavaoca - Stranica za uputstvo za korišćenje platforme.....	84
Slika 8 CredSeal platforma Portal izdavaoca - Prikaz kontrolne table izdavaoca	85
Slika 9 CredSeal platforma Portal izdavaoca - Prikaz stranice za prikaz i upravljanje pojedinačnim šablonom mikrokredencijala	85
Slika 10 CredSeal platforma Portal izdavaoca - Prikaz dela stranice za registraciju šablona mikrokredencijala na blokčejn	86
Slika 11 CredSeal platforma Portal izdavaoca - Prikaz stranice za pregled podnetih zahteva za izdavanje mikrokredencijala.....	86
Slika 12 CredSeal platforma Portal nosioca - Početna stranica	87
Slika 13 CredSeal platforma Portal nosioca - Pregled izdatog mikrokredencijala	87
Slika 14 CredSeal platforma Portal nosioca - Prikaz dela stranice za prikaz izdatog mikrokredencijala - Upravljanje vidljivošću i deljenjem.....	88
Slika 15 CredSeal platforma Portal nosioca - Prikaz dela stranice izdatog mikrokredencijala - Blokčejn verifikacija	88
Slika 16 CredSeal platforma Verifikacija - Javna stranica podeljenog mikrokredencijala	89
Slika 17 CredSeal platforma Verifikacija - Provera mikrokredencijala i potvrda na blokčejn mreži....	90

15 Spisak tabela

Tabela 1	Hodogram istraživanja.....	6
Tabela 2	DSR artefakti razvijeni u okviru disertacije.....	7
Tabela 3	Analiza modela za upravljanje mikrokredencijalima.....	17
Tabela 4	Analiza blokčejn platformi.....	1
Tabela 5	Analiza primene blokčejn tehnologija u upravljanju mikrokredencijalima	4
Tabela 6	Usporedna analiza okvira kompetencija	10
Tabela 7	Raspodela odgovornosti i učešća stejkholdera u procesu upravljanja mikrokredencijalima [197]	18
Tabela 8	Relacije logičkog modela korisničkih naloga, uloga i organizacije.....	24
Tabela 9	Relacije logičkog modela šablona i verzija šablona mikrokredencijala	26
Tabela 10	Relacije logičkog modela prijave, validacije i izdavanja mikrokredencijala	28
Tabela 11	Relacije logičkog modela mikrokredencijala, životnog ciklus, prezentacije i verifikacije	30
Tabela 12	Relacija logičkog modela blokčejn zapisa i revizije.....	32
Tabela 13	Grupe metapodataka mikrokredencijala	36
Tabela 14	Klasifikacija metapodataka mikrokredencijala.....	38
Tabela 15	Podela metapodataka po nivou dostupnosti	40
Tabela 16	Usporedni prikaz ključnih elemenata formalnog i neformalnog obrazovanja	42
Tabela 17	Usporedni prikaz karakterističnih elemenata različitih oblika učenja u neformalnom obrazovanju	43
Tabela 18	Usporedni prikaz namena slojeva hibridnog modela čuvanja podataka	46
Tabela 19	Prava pristupa platformskih uloga kategorijama podataka.....	48
Tabela 20	Metrike poslovnih procesa	52
Tabela 21	Tehnološke metrike.....	52
Tabela 22	Mehanizmi finansiranja i stvaranja prihoda	60
Tabela 23	Pregled realizovanih funkcionalnih celina i njihovih statusa implementacija	62
Tabela 24	Pregled nefunkcionalnih zahteva po oblastima.....	63
Tabela 25	Osnovne tehnološke komponente platforme CredSeal.....	64
Tabela 26	C4 model pregled i specifikacija kontejnera	66
Tabela 27	C4 model pregled i specifikacija komponentata.....	67
Tabela 28	Adrese pametnih ugovora na Bloksberg mreži.....	71
Tabela 29	Struktura podata šablona mikrokredencijala.....	74
Tabela 30	Struktura podata jednog izdatog mikrokredencijala	74
Tabela 31	RLS politike baze podataka.....	81
Tabela 32	Demografska analiza studenata – nivo studija	93
Tabela 33	Intervali poverenja.....	98
Tabela 34	Kompozitna pouzdanost (eng. Composite reliability) i izdvojena prosečna varijansa (eng. average variance extracted).....	98
Tabela 35	Koeficijenti putanja β i značajnost p	99
Tabela 36	Deskriptivna analiza VAM konstrukata	100
Tabela 37	Analiza percipirane vrednosti – t-test za dva nezavisna uzorka uz pretpostavku nejednakih varijansi.....	102
Tabela 38	Analiza namere usvajanja – t-test za dva nezavisna uzorka uz pretpostavku nejednakih varijansi	102
Tabela 39	Struktura uzorka prema korisničkoj ulozi.....	104
Tabela 40	Struktura prilagođenog USE upitnika.....	106
Tabela 41	Rezultati USE evaluacije prema dimenzijama	107
Tabela 42	Rezultati tvrdnji u dimenziji korisnosti	107
Tabela 43	Rezultati tvrdnji u dimenziji lakoće korišćenja.....	108
Tabela 44	Rezultati tvrdnji u dimenziji lakoće učenja	108
Tabela 45	Rezultati tvrdnji u dimenziji zadovoljstva.....	108
Tabela 46	Prosečne ocene USE dimenzija prema korisničkoj ulozi	109

Tabela 47 Ključne teme u komentarima ispitanika.....	109
Tabela 48 Pregled ključnih implikacija istraživanja.....	112

16 Prilozi

Prilog 1 Anketa | Spremnost stejkholdera na usvajanje mikrokredencijala

Sekcija		Studenti	Poslodavci
Demografija		Lični podaci ispitanika: starost, pol, mesto stanovanja, fakultet, oblast studija, nivo i godina studija, prethodno radno iskustvo i učešće u vannastavnim ili neformalnim aktivnostima učenja („Da li ste tokom studija učestvovali u nekim vannastavnim aktivnostima?“), „U kojim vannastavnim aktivnostima ste učestvovali?: Studentske organizacije, Studentska takmičenja, Volontiranje, Naučne konferencije, Stručne konferencije, Panel diskusije i radionice, Letnje škole, <i>Bootcamp</i>, Dodatna obuka, Ostalo).	Lični podaci ispitanika: godine, pol, mesto stanovanja, nivo obrazovanja Podaci o kompaniji: naziv i veličina, industrijski sektor i uloga ispitanika u procesima regrutacije ili ljudskih resursa. Proces regrutacije: značaj različitih faktora (formalno obrazovanje, sertifikacija, portfolio, preporuke, neformalne kvalifikacije), opis dodatnih faktora.
Uvod u mikrokredencijale		Da li ste pre ove ankete čuli za pojam "mikrokredencijali"? Ako jeste, na koji način ste se susreli sa njima? Da li trenutno posedujete neke mikrokredencijale? Putem kojih servisa/institucija se stekli mikrokredencijale (npr. onlajn kurs, stručno usavršavanje)? U koje svrhe ste koristili ili su vam bili korisni mikrokredencijali (npr. akademsko priznanje, zaposlenje, razvoj veština)?	
VAM - konstrukti	Koristi (B)	Prihvatanje mikrokredencijala kao dela kadrovske politike može doprineti jačanju profesionalnog imidža organizacije. Mikrokredencijali predstavljaju vrednu investiciju u dugoročni profesionalni razvoj. Mikrokredencijali, stečeni za veštine i kompetencije kroz neformalno učenje, bi bili vredna dopuna formalnim kvalifikacijama. Smatram da mikrokredencijali mogu doneti direktnu ili indirektnu korist svim učesnicima u obrazovnom/radnom procesu. Standardizacija mikrokredencijala bi doprinela lakšem razumevanju i priznavanju kompetencija. Mikrokredencijali omogućavaju transparentno prikazivanje specifičnih kompetencija stečenih tokom formalnog i neformalnog učenja. Mikrokredencijali doprinose povećanju transparentnosti u procesu sticanja znanja, veština i kompetencija. Smatram da mikrokredencijali mogu ubrzati i olakšati pristup relevantnim podacima o kompetencijama. Smatram da bi mikrokredencijali bili fleksibilniji od tradicionalnih diploma u odgovaranju na trenutne potrebe privrede. Mikrokredencijali bi doprineli olakšanom procesu priznavanja kompetencija u Srbiji. Mikrokredencijali bi doprineli olakšanom procesu priznavanja kompetencija u međunarodnom okruženju. Smatram da mikrokredencijali podstiču celoživotno učenje i kontinuirani razvoj. Mikrokredencijali omogućavaju prilagođeno praćenje i razvoj individualnih veština. Smatram da bi mikrokredencijali doprineli bržem i pouzdanijem procesu verifikacije kompetencija. Smatram da mikrokredencijali mogu povećati zapošljivost. Smatram da mikrokredencijali mogu doprineti usklađivanju sa potrebama tržišta rada. Smatram da bi posedovanje mikrokredencijala omogućilo prednost kandidatu u odnosu na druge kandidate pri konkurisanju za posao.	
		Posedovanje mikrokredencijala može imati pozitivan uticaj na izgradnju ličnog brenda tokom vremena.	Smatram da mikrokredencijali mogu doprineti prepoznatljivosti korporativnog brenda

	Odricanja (S)	Spreman/a sam da uložim vreme kako bih razumeo/la kako funkcionišu mikrokredencijali. Spreman/a sam da savladam nove platforme i alate ukoliko bi mi to pomoglo u razvoju karijere. Spreman/a sam da ustupim kontrolu nad delom svojih podataka ako to znači lakšu proveru kompetencija od strane relevantnih institucija.	
		Spreman/a sam da platim razumnú naknadu kako bih dobio mikrokredencijal (koji je priznat od strane poslodavaca).	Spreman/a smo da investiram u sistem mikrokredencijala ako on donosi vrednost našim studentima/zaposlenima
	Poverenje (T)	Smatram da prepoznatljivost brenda/ustanove koja izdaje mikrokredencijal značajno utiče na poverenje u vrednost tog mikrokredencijala. Mikrokredencijali koji dolaze od renomiranih ustanova deluju pouzdanije i doslednije u kontekstu kvaliteta. Preporuke od kolega, saradnika ili drugih korisnika imaju veliki uticaj na moju percepciju o vrednosti mikrokredencijala. Podrška od strane nadležnih tela (npr. ministarstva, komora) povećava moje poverenje u sistem mikrokredencijala. Postojanje strateških i regulatornih okvira oko mikrokredencijala ukazuje na njihov kredibilitet. Smatram da je uključenost relevantnih institucija ključna za šire prihvatanje mikrokredencijala. Poverenje u mikrokredencijale zavisi od ugleda ustanove ili organizacije koja ih izdaje. Izdavanje mikrokredencijala od strane nepoznate ili manje priznate institucije smanjuje moje poverenje. Bezbednost podataka o mikrokredencijalima i sigurnost od zloupotrebe, pozitivno utiče na poverenje u sistem mikrokredencijala. Sistemi za upravljanje mikrokredencijalima moraju obezbediti potpunu zaštitu ličnih podataka da bih im verovao/la.	
	Percipirana vrednost (PV)	Smatram da mikrokredencijali predstavljaju vredan način za formalno prepoznavanje neformalno stečenih veština i znanja. Upotreba mikrokredencijala doprinosi transparentnijem i pouzdanijem predstavljanju kompetencija u akademskom i/ili radnom kontekstu. Verujem da mikrokredencijali donose stvarnu vrednost u kontekstu akademskog i/ili profesionalnog razvoja..	
	Namera usvajanja (AI)	Spreman/na sam da prihvatim mikrokredencijale kao legitiman dokaz o stečenim kompetencijama. Preporučio/la bih mikrokredencijale kao relevantan oblik potvrde kompetencija u svom okruženju.	
Imao/la bih više motivacije da učestvujem u neformalnim oblicima učenja, ukoliko bi mi doneli prepoznatljivije mikrokredencijale.			
Otvorena pitanja		Da li imate neka dodatna zapažanja ili sugestije u kontekstu ovog istraživanja? Ako želite da dobijete pristup rezultatima istraživanja, možete ostaviti svoj mejl.	

Prilog 2 Anketa | Evaluacija korisničkog iskustva i upotrebljivosti platforme za mikrokredencijale

Sekcija	Nosilac mikrokredencijala	Poslodavac / verifikator	Izdavalac	Administrator izdavaoca
Uvod u mikrokredencijale i korisnička uloga	Da li ste ranije čuli za pojam mikrokredencijala? Ako jeste, na koji način ste se susreli sa njima? Kroz koju ulogu ste koristili platformu za mikrokredencijale?			
Demografija	Starosna dob. Pol. Trenutni nivo studija. Oblast studiranja. Država trenutnog stanovanja.	Naziv kompanije. Država poslovanja kompanije. Delatnost kompanije. Veličina kompanije prema broju zaposlenih: 0–10, 11–50, 51–250, 250+. Pozicija u kompaniji	Naziv institucije. Oblast rada institucije. Država poslovanja. Pozicija u instituciji.	Naziv institucije. Oblast rada institucije. Država poslovanja. Pozicija u instituciji.
Testiranje platforme	E1. Prijava i pregled početne strane. E2. Pregled dostupnih mikrokredencijala. E3. Podnošenje prijave. E4. Praćenje statusa prijave. E5. Pregled izdatog mikrokredencijala. E6-A. Prihvatanje mikrokredencijala pre izdavanja. E6-B. Odbijanje mikrokredencijala. E7-A. Skrivanje pojedinačnih podataka. E7-B. Skrivanje celog mikrokredencijala. E8. Deljenje i javna verifikacija mikrokredencijala. E9. Pregled javnog profila. E10. Obaveštenja i podešavanja. E11. Odjava sa platforme.	V1. Otvaranje javnog profila nosioca. V2. Pregled liste javnih mikrokredencijala na profilu. V3. Prelazak sa profila na pojedinačni mikrokredencijal. V4. Pregled javne stranice mikrokredencijala. V5. Provera podataka o izdavaocu. V6. Pregled dokumenata o obezbeđenju kvaliteta. V7. Ručna blokčejn verifikacija. V8. Privatni mikrokredencijal ili profil. V9. Nepostojeći ili izmenjen link. Tokom testiranja korišćeni su i testni linkovi ka opozvanom, isteklom i zamenjenom mikrokredencijalu, kao i kredencijalu evidentiranom na blokčejn mreži.	S1. Prijava i pregled početne strane. S2. Pregled dodeljenih šablona. S3. Pregled prijave za mikrokredencijal. S4-A. Odbijanje prijave. S4-B. Odobravanje i priprema za izdavanje. S5. Pojedinačno izdavanje mikrokredencijala. S6. Praćenje blokčejn sidrenje procesa. S7. Pregled izdatog mikrokredencijala S8. Pretraga i filtriranje. S9. Grupno izdavanje mikrokredencijala. S10. Obaveštenja. S11. Odjava i zaštita podataka.	IA1. Prijava i pregled kontrolne table institucije. IA2. Uređivanje javnog profila institucije. IA3. Upravljanje zaposlenima. IA4. Upravljanje ulogama zaposlenih. IA5. Upravljanje nosiocima. IA6. Kreiranje šablona mikrokredencijala. IA7. Objavljivanje šablona i blokčejn sidrenje. IA8. Obrada zahteva za izdavanje mikrokredencijala. IA9. Manuelno pojedinačno i grupno izdavanje. IA10. Red za sidrenje i upravljanje izdatim kredencijalima, uključujući opoziv. IA11. Obaveštenja. IA12. Odjava sa platforme.
USE – Korisnost	K1. Platforma sadrži sve funkcionalnosti koje su mi potrebne za rad sa mikrokredencijalima. K2. Omogućava proces pregleda i verifikacije mikrokredencijala efikasnijim. K3. Omogućava mi bolju kontrolu i uvid u moje stečene mikrokredencijale. K4. Korisno je za moj akademski i profesionalni razvoj. K5. Radi sve što bih očekivao/la da radi. K6. Uopšteno govoreći, platforma je izuzetno korisna.			

USE – Lakoća korišćenja	LK1. Lako i jednostavno se koristi. LK2. Zahteva minimalan trud za korišćenje. LK3. Omogućava korišćenje funkcionalnosti u minimalnom broju koraka. LK4. Koristi se bez napora. LK5. Nisam primetio/la nikakve nedoslednosti prilikom korišćenja. LK6. Mogu da ispravim greške prilikom korišćenja brzo i lako. LK7. Smatram da je interfejs platforme veoma jasan i pregledan.
USE – Lakoća učenja	LU1. Brzo sam naučio/la kako da koristim platformu. LU2. Lako sam zapamtio/la kako se platforma koristi. LU3. Proces savladavanja rada na platformi je bio jednostavan. LU4. Brzo sam postao/la samostalan/na i vešt/a u radu na platformi.
USE – Zadovoljstvo	Z1. Zadovoljan/a sam radom platforme. Z2. Prijatna je za upotrebu. Z3. Rado bih preporučio/la ovu platformu kolegama. Z4. Korišćenje ove platforme je bilo pozitivno iskustvo.
Skala USE upitnika	Petostepena Likertova skala: 1 – U potpunosti se ne slažem; 2 – Delimično se ne slažem; 3 – Neutralan/na sam; 4 – Delimično se slažem; 5 – U potpunosti se slažem.
Otvorena pitanja	Komentari i predlozi.

17 Biografija

Tamara Naumović rođena je 28.01.1994. godine u Kraljevu. Osnovnu i srednju školu završila je u Kraljevu. Diplomirala je na Fakultetu organizacionih nauka (smer Informacioni sistemi i tehnologije) 2017. godine sa prosečnom ocenom 9.07. Odbranila je diplomski rad pod nazivom: “Razvoj veb platforme za oglašavanje poslova“ sa ocenom 10 (deset). Master akademske studije, studijski program Elektronsko poslovanje i upravljanje sistemima, upisala je na Fakultetu organizacionih nauka 2017. godine, a završni master rad pod nazivom “Softverski okvir za upravljanje IoT uređajima u realnom vremenu“ odbranila u septembru 2018. godine, sa prosečnom ocenom 10.

Doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, upisala je 2018. godine na studijskom programu Informacioni sistemi i kvantitativni menadžment, izbornu područje Elektronsko poslovanje.

Tokom studija bila je aktivni član Udruženja studenata informatike FONIS kao predsednica, članica upravnog odbora i koordinatorka mnogobrojnih lokalnih, nacionalnih i međunarodnih projekata, trenutno kao član Nadzornog odbora.

Tokom školske 2015/16 angažovana je na Fakultetu organizacionih nauka kao saradnik van radnog odnosa – demonstrator za užu naučnu oblast Elektronsko poslovanje. Godine 2018. izabrana je za saradnika van radnog odnosa, a od 2019. je na poziciji asistenta za užu naučnu oblast Elektronsko poslovanje. Učestvuje u izvođenju vežbi na svim predmetima osnovnih i master akademskih studija u okviru Katedre za elektronsko poslovanje.

Od školske 2017/18 do danas učestvovala je na projektima Katedre za elektronsko poslovanje kao što su:

- Letnja škola – Tehnologije elektronskog poslovanja i Veb3 obuka, kao predavač na više kurseva u oblasti razvoja veb aplikacija, pametnih okruženja, *big data* analize podatak, blokčejn decentralizovanih aplikacija, i dr., 2018-2026.godine
- Konferencija – Tehnologije elektronskog poslovanja, kao deo organizacionog odbora, 2021-2025.godine
- UF Blokčejn – projekat međunarodne saradnje sa Univerzitetom u Floridi u oblasti blokčejna, kao junior menadžer projekta i član organizacionog odbora blokčejn hakatona, kao i gostujući predavač na Univerzitetu u Floridi u okviru master programa „Veb3 i preduzetništvo“, 2022-2024.godine
- D-PBL – projekat međunarodne saradnje u oblasti unapređenje učenja zasnovanog na projektima u digitalnoj eri u okviru Erasmus+ programa KA220-HED – *Cooperation partnerships in higher education*, 2022-2024.godine
- Prekvalifikacije za IT – projekat Vlade Republike Srbije u partnerstvu sa Ministarstvom za rad, zapošljavanje, boračka i socijalna pitanja, u saradnji sa Razvojnim programom Ujedinjenih nacija (UNDP) – kao predavač, 2022-2023.godine
- *Web3 Inovation HUB* - projekat međunarodne saradnje u okviru Erasmus+ programa EDU-2024-CBHE, koji ima za cilj da unapredi kapacitete za inovacije i preduzetništvo u regionu Zapadnog Balkana kroz razvoj veština u oblasti *Web3* tehnologija i preduzetništva, podsticanjem zelenih blokčejn rešenja i decentralizovanih naučnih zajednica, 2025–2027. godine
- TROPHY – *The Next Generation of Deep Technology Leaders* – projekat međunarodne saradnje u okviru EIT *Higher Education Initiative*, koji koordinira Fakultet organizacionih nauka i usmeren je na unapređenje inovacionih i preduzetničkih kapaciteta visokoškolskih institucija kroz razvoj obrazovnih sadržaja i praktičnih programa u oblasti deep tech i *Web 4.0* tehnologija, uključujući veštačku inteligenciju, blokčejn, IoT, virtuelnu i proširenu realnost i tehnologije računarstva u oblaku. U okviru projekta učestvuje u aktivnostima razvoja obrazovnih programa, mapiranja inovacionog ekosistema i realizacije programa za razvoj deep tech i preduzetničkih kompetencija studenata, 2025–2027. godine
- Instaliranje Mudl platforme i održavanje sistema – projekat Komesarijata za izbeglice i migracije, kao edukator, 2021.godine

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora Tamara Naumović

Broj indeksa 2018/5005

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

UPRAVLJANJE MIKROKREDENCIJALIMA U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU ZASNOVANO NA BLOKČEJN TEHNOLOGIJAMA

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora	Tamara Naumović
Broj indeksa	2018/5005
Studijski program	Informacioni sistemi i kvantitativni menadžment
Naslov rada	UPRAVLJANJE MIKROKREDENCIJALIMA U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU ZASNOVANO NA BLOKČEJN TEHNOLOGIJAMA
Mentor	prof. dr Dušan Barać

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetožar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

UPRAVLJANJE MIKROKREDENCIJALIMA U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU ZASNOVANO NA BLOKČEJN TEHNOLOGIJAMA

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.