

Gestionarea transparentă și securizată a activităților desfășurate de profesorii din învățământul preuniversitar cu ajutorul tehnologiei blockchain

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Calculatoare și tehnologia informației

autor inf. Silaghi Diana Laura

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Popescu Daniela Elena

septembrie, 2025

Abstract: *Evaluarea cadrelor didactice din învățământul preuniversitar rămâne în mare măsură dependentă de evaluarea documentelor pe hârtie, care este un proces consumator de timp și vulnerabil la pierderea documentelor, inefficient și predispus la fraudă. În ciuda apariției inițiativelor digitale în educație, sistemele existente nu dispun de mecanisme integrate pentru verificarea securizată și trasabilitatea documentelor profesionale pe parcursul carierei cadrelor didactice. Pentru a aborda această lacună, prezenta teză propune un cadru bazat pe blockchain pentru emiterea și verificarea diplomelor, certificatelor și adeverințelor, permițând astfel crearea unui portofoliu digital securizat pentru fiecare profesor. Soluția propusă se bazează pe două contracte inteligente, unul dedicat gestionării resurselor educaționale produse de profesori și altul axat pe acreditări, ambele dezvoltate cu mecanisme de securitate încorporate și tehnici de optimizare a costurilor. Prin valorificarea integrării zk-Rollup, soluția noastră realizează o reducere semnificativă a costurilor tranzacțiilor pe blockchain, asigurând scalabilitatea și fezabilitatea pentru adoptarea la scară largă în sistemele educaționale. Rezultatele experimentale validează fezabilitatea și eficiența abordării, demonstrând potențialul acesteia de a spori transparența, încrederea și credibilitatea în etapele de evaluare a cadrelor didactice, susținând în același timp transformarea digitală a sistemului educațional.*

Deși cadrele didactice din sistemul preuniversitar trec prin multiple forme de evaluare profesională, de la evaluarea anuală, la cea pentru obținerea gradației de merit, sau la cea în care se află într-o situație de restrângere a activității sau de completare a normei de predare, procesul de evaluare a rămas, în mare parte, unul tradițional. Profesorii sunt încă obligați să întocmească portofolii voluminoase, care conțin zeci sau chiar sute de documente, toate fiind verificate manual de comisiile de evaluare. Această dependență de documentele tipărite generează o povară

administrativă considerabilă atât pentru profesori, cât și pentru evaluatori, și s-a schimbat foarte puțin de-a lungul anilor, în ciuda transformărilor digitale care au loc în educație. Persistența unor astfel de practici scoate în evidență nu doar ineficiențele, ci și vulnerabilitățile în asigurarea corectitudinii, transparenței și acurateței proceselor de evaluare.

O problemă centrală derivă din dependența excesivă de documentația fizică, ce trebuie depusă în mod repetat pentru fiecare etapă de evaluare [6, 21]. Fiecare evaluare necesită un set separat de copii ale documentelor, adesea analizate de comisii diferite, ce lucrează pe baza unor criterii distincte. În consecință, procesul de verificare devine complex și consumator de resurse. Comisiile trebuie să examineze cu minuțiozitate o gamă largă de diplome, certificate, adeverințe, nu doar pentru a confirma autenticitatea lor, ci și pentru a le evalua relevanța în contextul evaluării respective. În cazurile în care fiecare cadru didactic prezintă sute de documente, volumul de muncă crește semnificativ, crescând riscul de erori umane, inconsecvențe sau detalii trecute cu vederea.

Diversitatea documentației complică și mai mult problema. Evaluarea profesorilor nu se limitează la diplome academice formale sau certificate obținute prin programe universitare ori cursuri acreditate. Ea include și certificate de formare profesională, micro-certificări pe termen scurt, precum și numeroase adeverințe emise de școli sau inspectoratele școlare. Aceste adeverințe certifică, de regulă, contribuții la activități extracurriculare sau comunitare, precum coordonarea de proiecte, mentoratul elevilor, organizarea de concursuri ori sprijinirea unor categorii specifice de elevi. În practică, acest lucru generează un volum copleșitor de documente, fiecare necesitând verificare atentă. Miza este ridicată, mai ales în evaluările asociate gradației de merit, unde obținerea sa implică adesea recompense financiare sau oportunități de avansare în carieră. În aceste condiții, procesul de evaluare solicită un nivel ridicat de rigoare și precizie, atât pentru protejarea integrității instituționale, cât și pentru a garanta că profesorii primesc gradația de merit pe baza unor contribuții autentice și verificate.

Totuși, dificultățile depășesc aspectele legate de volum și verificare. O altă problemă majoră apare atunci când profesorii pierd accesul la documentele lor. Acest lucru se poate întâmpla fie pentru că diploma, certificatul sau adeverința nu au fost eliberate la timp, fie pentru că documentul original a fost pierdut și este necesar un duplicat. Situația devine și mai complicată atunci când instituția emitentă nu mai există, o realitate tot mai frecventă în mediul rural, afectat de scăderea populației școlare și de comasările de școli. În astfel de cazuri, profesorul poate să nu mai poată furniza dovezi oficiale pentru activitățile desfășurate, deși acestea au avut loc în realitate. Această lacună administrativă afectează acuratețea evaluărilor și riscă să penalizeze cadrele didactice pentru circumstanțe independente de voința lor. Mai mult, mobilitatea din sistemul educațional precum transferul sau detașarea la o altă școală, accentuează aceste dificultăți, deoarece continuitatea gestionării documentelor este adesea fragmentată între instituții.

Această situație subliniază necesitatea unei soluții digitale pe termen lung, care să poată stoca, gestiona și valida în siguranță documentele profesionale. Un astfel de sistem trebuie să garanteze accesibilitatea și verificabilitatea credențialelor, indiferent de schimbările instituționale

sau de restructurările administrative. Un sistem digital securizat ar permite profesorilor să își mențină portofoliile profesionale pe tot parcursul carierei, accesibile în orice școală. În același timp, ar reduce munca administrativă pentru evaluatori, care ar putea verifica rapid și fiabil documentele.

Un alt aspect esențial al practicilor actuale de evaluare îl reprezintă dimensiunea temporală. Evaluările cadrelor didactice sunt legate de perioade de timp precise: un an pentru evaluările anuale și până la cinci ani pentru ciclurile de dezvoltare profesională sau pentru gradația de merit. Aceasta înseamnă că data exactă de emitere a fiecărei diplome, a fiecărui certificat sau adeverință este esențială în stabilirea încadrării documentului în perioada evaluată. În sistemul actual, care se bazează pe documente tipărite, asigurarea autenticității și a validității temporale a credențialelor ridică dificultăți considerabile. Erorile sau incertitudinile privind data emiterii pot compromite corectitudinea evaluării, generând contestații sau nemulțumiri. Din acest motiv, este necesară o soluție care să garanteze nu doar integritatea documentelor, ci și validitatea lor temporală. Tehnologia blockchain oferă un răspuns inovator acestei provocări. Prin definiție, blockchain-ul funcționează ca un registru imuabil, capabil să înregistreze tranzacții în mod securizat și transparent. Unul dintre avantajele sale esențiale constă în capacitatea de a marca temporal datele în momentul încărcării, garantând că atât conținutul documentului, cât și data exactă a înregistrării sale sunt stocate permanent. Odată introdus pe blockchain, nici datele, nici marcajul temporal nu mai pot fi modificate sau șterse. Dacă apare o eroare, corecția nu poate suprascrie înregistrarea inițială, dar în schimb, se creează o nouă tranzacție, păstrând un istoric complet al modificărilor. Această caracteristică asigură integritatea, trasabilitatea și transparența, oferind evaluatorilor certitudinea absolută a datei de emitere a documentelor.

Dincolo de acuratețea tehnică, blockchain-ul abordează și riscul de fraudă [3]. Evaluările cadrelor didactice sunt adesea asociate cu mize ridicate, mai ales atunci când implică stimulente financiare, promovări sau recunoaștere profesională. Aceasta creează posibilitatea unor comportamente neloiale, în care unii profesori pot încerca să depună documente falsificate sau să obțină adeverințe pentru activități pe care nu le-au realizat. Astfel de practici subminează credibilitatea sistemului de evaluare și dezavantajează profesorii care respectă regulile. Într-un sistem bazat pe documente fizice, detectarea fraudei este dificilă, mai ales când evaluatorii se confruntă cu volume mari de documentație. Blockchain-ul, însă, introduce garanții structurale: documentele pot fi emise în portofoliile digitale ale profesorilor doar de instituții acreditate, înregistrate ca entități autorizate. Aceasta elimină posibilitatea de auto-emisiune sau falsificare și garantează că fiecare document provine dintr-o sursă de încredere.

Privite în ansamblu, aceste provocări și oportunități evidențiază potențialul transformator al integrării blockchain-ului în procesele de evaluare a cadrelor didactice. Practicile actuale, bazate pe verificări manuale și documente fizice, nu doar că generează ineficiențe, dar expun sistemul la erori, lacune administrative și fraude. În schimb, un cadru bazat pe blockchain ar crea un portofoliu digital securizat, transparent și verificabil pentru fiecare profesor, integrând marcarea temporală, acreditarea instituțională și înregistrările imuabile. O astfel de abordare ar reduce munca

administrativă, ar întări corectitudinea, acuratețea și credibilitatea evaluărilor. În cele din urmă, adoptarea acestui sistem ar putea juca un rol decisiv în sprijinirea transformării digitale a administrației educaționale, aliniind evaluarea cadrelor didactice la standardele de transparență și fiabilitate așteptate în societatea modernă.

Dezvoltarea soluției propuse, bazată pe blockchain, pentru evaluarea profesorilor a fost ghidată de o serie de obiective clar definite, după cum urmează:

- Primul obiectiv a vizat analiza tehnologiei blockchain din perspectivă teoretică, stabilind o bază solidă pentru aplicarea acesteia în gestionarea documentelor profesionale ale cadrelor didactice.
- Al doilea obiectiv a explorat implementările practice ale blockchain-ului în diferite sectoare, identificând strategii pentru îmbunătățirea securității datelor, transparenței și eficienței, care au contribuit la adaptarea sa la contextul educațional.
- Al treilea obiectiv a examinat cercetările existente, evidențiind lacune în gestionarea documentelor, ineficiențe în verificare și dependența de documente fizice, subliniind necesitatea unei soluții sigure și verificabile.
- Al patrulea obiectiv a abordat provocări specifice în gestionarea diplomelor, certificatelor și adeverințelor, cum ar fi pierderea documentelor, fraudă și întârzierile administrative.
- Al cincilea obiectiv s-a concentrat pe proiectarea unui cadru bazat pe blockchain care asigură înregistrarea sigură, imuabilă și cu marcaj temporal a documentelor profesionale ale profesorilor, permițând crearea de portofolii digitale verificate pentru cadrele didactice, emiterea securizată a documentelor de către instituții și acces eficient pentru evaluatorii acestora.
- Al șaselea obiectiv a vizat testarea fezabilității, scalabilității și implementării prin simulări, demonstrând viabilitatea operațională a sistemului.
- Al șaptelea obiectiv a evaluat impactul cadrului asupra procesului de evaluare a profesorilor, evidențiind îmbunătățiri în transparență, acuratețe și eficiență procedurală.
- Al optulea obiectiv a evaluat mecanismele de securitate, inclusiv controlul accesului, imuabilitatea și rezistența la modificări neautorizate, asigurând fiabilitatea practică a cadrului.

Împreună, aceste obiective au oferit o abordare structurată pentru proiectarea, implementarea și validarea unui sistem bazat pe blockchain care abordează ineficiențele de lungă durată din evaluarea profesorilor, sprijinind totodată o administrație educațională mai sigură, transparentă și credibilă.

Pentru a atinge obiectivele menționate mai sus, teza este structurată în 7 capitole, prezentate mai jos.

Capitolul 1 introduce tema tezei prin prezentarea contextului și a motivației cercetării, conturând obiectivele și oferind o prezentare detaliată a structurii tezei.

Capitolul 2 abordează Obiectivul O1, oferind o analiză detaliată a tehnologiei blockchain, concentrându-se asupra componentelor, principiilor și aspectelor de securitate. Capitolul începe prin definirea blockchain-ului ca un registru descentralizat și distribuit, care înregistrează tranzacțiile pe mai multe noduri fără a necesita o autoritate centrală.

Următorul subiect tratat îl reprezintă tipurile de blockchain. Blockchain-urile publice, precum Bitcoin și Ethereum, sunt deschise tuturor participanților și se bazează pe mecanisme transparente de consens pentru validarea tranzacțiilor. În contrast, blockchain-urile private restricționează accesul la entități autorizate, oferind un mediu controlat ce poate spori eficiența, menținând în același timp anumite niveluri de securitate. Blockchain-urile de tip consorțiu oferă un model hibrid, în care organizațiile selectate guvernează rețeaua în colaborare, echilibrând descentralizarea și controlul.

Un element central al funcționalității blockchain-ului îl reprezintă mecanismele de consens, care asigură validitatea tranzacțiilor și consistența registrului între nodurile distribuite.

Fiind primul blockchain adoptat pe scară largă, Bitcoin servește ca model pentru înțelegerea structurilor de registru descentralizat, a securității criptografice și a proceselor de validare a tranzacțiilor. Este analizată arhitectura Bitcoin, inclusiv formarea blocurilor, structura tranzacțiilor și utilizarea hash-urilor criptografice pentru a lega blocurile într-un mod imuabil. Modelul său operațional, centrat pe o rețea descentralizată de mineri care execută proof-of-work, garantează că tranzacțiile sunt verificate fără a depinde de o autoritate centrală, oferind un exemplu fundamental al mecanismelor de securitate și încredere în blockchain.

Spre deosebire de Bitcoin, Ethereum permite executarea de scripturi programabile direct pe lanț, permițând crearea de acorduri automate și auto-executabile care pot susține fluxuri de lucru complexe.

În ceea ce privește scalabilitatea și congestia, Ethereum propune soluții atât la nivel de Layer 1, cât și de Layer 2. La Layer 1, sharding-ul împarte rețeaua în unități mai mici și independente, numite shard-uri, fiecare având proprii validatori, tranzacții și contracte inteligente, ceea ce permite procesarea paralelă și creșterea debitului de tranzacții. Soluțiile Layer 2 reduc presiunea asupra lanțului principal prin executarea tranzacțiilor off-chain sau pe straturi secundare, ancorând în același timp date sumare pe Layer 1 [33]. Acestea includ:

- State channels, care permit multiple interacțiuni off-chain cu înregistrarea doar a rezultatului final pe Ethereum;
- Sidechains, lanțuri independente compatibile cu Ethereum, cu propriile mecanisme

de consens;

- Plasma, care folosește child chains pentru procesarea unui volum mare de tranzacții; și rollups, care postează dovezi comprimate ale tranzacțiilor pe Ethereum.
- Rollups sunt împărțite în Optimistic Rollups, care consideră tranzacțiile valide dacă nu sunt contestate, și Zero-Knowledge Rollups, care utilizează dovezi criptografice pentru verificare rapidă și sigură.

Împreună, aceste soluții sporesc scalabilitatea, reduc taxele și mențin securitatea rețelei.

Capitolul 3 abordează Obiectivul O2 prin examinarea implicațiilor practice ale tehnologiei blockchain în diverse sectoare. Această investigație a inclus o analiză a implementărilor de succes în lumea reală și a identificat bune practici, oferind perspective valoroase asupra avantajelor și limitărilor potențiale ale adoptării blockchain. Studiind aplicații în domenii precum finanțe, sănătate, managementul lanțului de aprovizionare și servicii guvernamentale, cercetarea a evidențiat strategii pentru îmbunătățirea integrității datelor, a transparenței și a eficienței operaționale. Aceste perspective comparative au ghidat proiectarea unei soluții bazate pe blockchain adaptată mediului educațional, demonstrând modul în care lecțiile învățate din alte industrii pot fi aplicate pentru a îmbunătăți gestionarea, verificarea și securitatea documentelor profesionale ale cadrelor didactice, abordând în același timp provocările specifice sistemului de învățământ preuniversitar.

Capitolul 4 abordează Obiectivul O3 prin examinarea cercetărilor actuale privind gestionarea și verificarea calificărilor academice [95]. Modelul tradițional al universității, care furnizează un singur certificat verificabil, nu mai corespunde modului în care oamenii învață efectiv astăzi [9]. Aceștia urmează o serie de cursuri online, programe de instruire internă și cursuri de perfecționare organizate de instituții sau organizații educaționale, însă nu există sisteme care să le gestioneze. Drept urmare, calificările unui cursant sunt conturate de o combinație de diplome, certificate academice, calificări în competențe și abilități, insigne de recunoaștere deschisă și microcalificări [100], reflectând împreună parcursul educațional, competențele și realizările acestuia. Tabelul 1 oferă o prezentare generală a caracteristicilor cheie ale acestor calificări.

<i>Tip</i>	<i>Descriere</i>	<i>Timp obișnuit de finalizare</i>
<i>Diplomă universitară</i>	Calificare formală pentru finalizarea unui program academic complet	2-7 ani
<i>Diplomă</i>	Recunoașterea formării specializate sau tehnice	1–2 ani
<i>Certificat</i>	Dovada absolvirii unui anumit curs sau program	De la câteva săptămâni și până la 1 an
<i>Micro-credential</i>	Certificarea unor abilități sau competențe specifice	De la câteva ore la câteva luni
<i>Digital Badge</i>	Dovadă vizuală, ușor de distribuit, a unei abilități sau realizări	De la câteva ore la câteva luni

Adeverință	Declarație formală care confirmă finalizarea unei activități educaționale sau dobândirea de competențe	De la câteva zile la câteva săptămâni
------------	--	---------------------------------------

Tabel 1: Caracteristicile acreditărilor

Ciclul de viață al calificărilor academice și profesionale implică o serie de etape distincte, începând cu identificarea obiectivelor de învățare și încheindu-se cu utilizarea practică a calificării obținute. Fie că este vorba despre diplome, certificate, micro-calificări, insigne digitale sau atestări, fiecare tip de calificare urmează un proces structurat care asigură recunoașterea cunoștințelor, abilităților și competențelor. Fiecare pas al acestui proces prezintă potențiale riscuri legate de fraudă, verificare și integritatea datelor, în special atunci când se utilizează formatul tradițional.

Pornind de la practicile consacrate de emitere a diplomelor, acestea pot integra tehnologia codurilor QR (quick response), adăugând un strat digital care consolidează securitatea și simplifică procesul de verificare. Această practică este deja confirmată de unele universități sau țări care aplică coduri QR pe diplomele lor [112].

Documentele electronice oferă comoditate și eficiență, însă acest avantaj digital vine la pachet cu riscuri semnificative de securitate. Deoarece aceste documente sunt accesate și transmise prin canale publice, ele devin vulnerabile la diverse atacuri cibernetice care pot compromite confidențialitatea, integritatea și autenticitatea lor. Astfel de atacuri includ [111]:

- atacuri de tip replay, în care date legitime sunt întârziate sau repetate în mod malițios;
- atacuri de tip man-in-the-middle, în care un atacator interceptează și modifică comunicarea dintre doi utilizatori;
- atacuri de tip impersonare, în care atacatorii se dau drept expeditori legitimi pentru a înșela destinarii;
- atacuri de tip compromitere, ce presupun accesul neautorizat sau modificarea datelor originale;
- atacuri de tip masquerade, în care un atacator utilizează o identitate falsă pentru a obține acces neautorizat la document.

Cea mai transformatoare abordare analizată în acest capitol este aplicarea tehnologiei blockchain în emiterea și verificarea certificatelor academice. Blockchain oferă o infrastructură descentralizată, rezistentă la modificări și transparentă pentru gestionarea documentelor educaționale. Credențialele stocate pe blockchain pot fi verificate independent de către orice terță parte, consolidând încrederea și interoperabilitatea între instituții. Platforme precum Ethereum, cu suportul său pentru contracte inteligente, au avut o influență deosebită în dezvoltarea unor sisteme programabile și automatizate de acreditare, care sprijină învățarea pe tot parcursul vieții și cadrele de recunoaștere deschisă.

Capitolul 5 este aliniat cu Obiectivul O5 și introduce un cadru bazat pe tehnologia blockchain, conceput pentru a răspunde limitărilor actualelor practici de gestionare a documentelor, prin furnizarea unui sistem structurat pentru înregistrarea adevărurilor, certificatelor, diplomelor, insinelor digitale și resurselor educaționale [168]. În acest fel, se asigură că realizările profesionale sunt păstrate în mod sistematic și sunt accesibile pentru procesele de evaluare, menținând în același timp eficiența și securitatea prin integrarea tehnologiilor blockchain de tip Layer 2.

Punctul de plecare al cadrului propus este clasificarea categoriilor de documente care definesc portofoliul de evaluare al unui cadru didactic:

- Adevăruri, emise de directorul școlii pentru a recunoaște implicarea profesorilor în activități instituționale, proiecte sau programe extracurriculare.
- Resurse educaționale, create de profesori, incluzând planuri de lecție, manuale, materiale digitale și conținut interactiv pentru clasă, care reflectă inovația și adaptabilitatea în pedagogia modernă.
- Credențiale academice, certificate, diplome și insigne digitale acordate de organisme de certificare și instituții de formare pentru a valida expertiza profesorilor, dezvoltarea continuă și calificările formale.

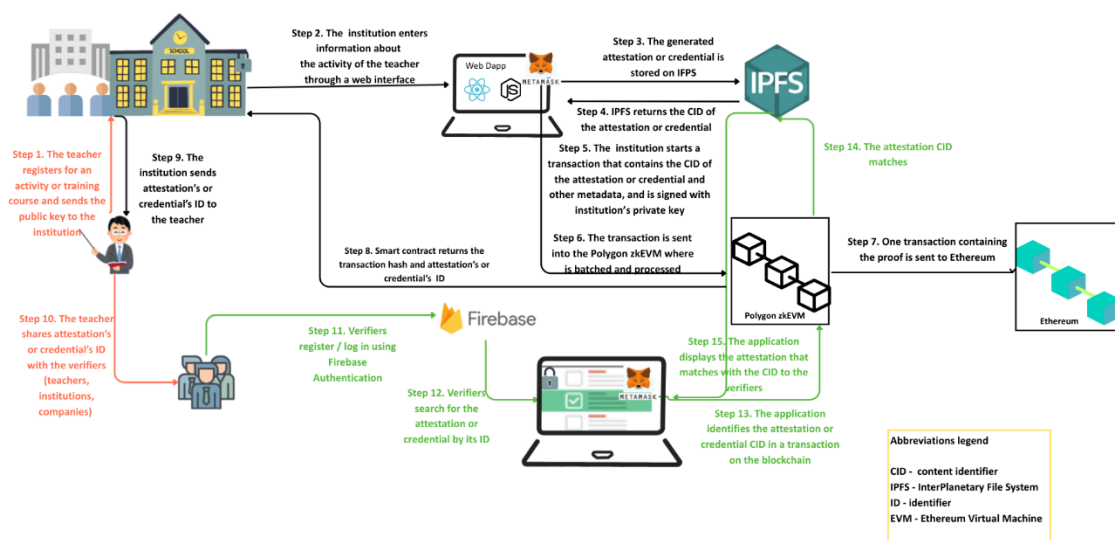
Am identificat organismele implicate în crearea acestor documente:

- Directorul școlii emite adevăruri, deoarece activitatea este legată de viața instituției, implică propriii elevi și se desfășoară în cadrul acesteia.
- Profesorii creează o varietate de resurse educaționale, incluzând planuri de lecție, materiale didactice, conținut digital, cărți și manuale pentru utilizare la clasă.
- organizație de formare profesională sau un organism de certificare emite certificate, diplome sau insigne digitale pentru programe specifice de dezvoltare profesională.

Fluxul de lucru al sistemului, ilustrat în Figura 1, asigură emiterea, înregistrarea și verificarea în siguranță a atestărilor, certificatelor, diplomelor, insinelor digitale și resurselor educaționale. Procesul se desfășoară după cum urmează:

1. Trimitere
 - Un administrator accesează aplicația descentralizată (dApp).
 - Datele relevante sunt introduse într-un formular structurat.
 - Creditele sunt încărcate pe IPFS, care generează identificatori de conținut unici (CID-uri).
 - Conținutul tranzacției include atât metadatele, cât și CID-urile IPFS.
2. Procesare off-chain (Polygon zkEVM)
 - Tranzacția este procesată de secvențiatorul Polygon zkEVM într-un mediu compatibil cu Ethereum.
 - Tranzacțiile sunt colectate și agregate în loturi pentru optimizare.
 - Registrul este actualizat off-chain, asigurând un debit ridicat și latență minimă.
3. Generare de dovezi (zk-SNARKs)

- Pentru fiecare lot, se generează o dovadă de validitate zk-SNARK.
 - Această dovadă demonstrează criptografic că toate tranzacțiile respectă regulile de consens Ethereum.
 - Dovezile sunt compacte și non-interactive, permițând o verificare eficientă.
4. Verificare on-chain (Ethereum Mainnet)
- Dovada zk-SNARK și datele minime asociate sunt trimise către un smart contract pe Ethereum.
 - Nodurile Ethereum verifică dovada, finalizând lotul cu garanții de securitate specifice Layer 1.
 - Rezultatul este o înregistrare imuabilă și marcată temporal a credențialelor.
5. Verificare și acces
- Evaluatorii sau instituțiile pot verifica documentele interogând blockchain-ul.
 - Sistemul compară metadatele și identificatorii IPFS cu tranzacția înregistrată.
 - Orice tentativă de modificare este imediat detectabilă datorită imuabilității blockchain-ului și ancorării criptografice.



Figură 1: Prezentare generală a arhitecturii propuse pentru emiterea adeverințelor sau certificatelor.

Implementarea cadrului propus, bazat pe tehnologia blockchain, necesită integrarea mai multor instrumente și tehnologii, fiecare având un rol distinct în dezvoltarea, implementarea și operarea sistemului. Au fost utilizate următoarele instrumente:

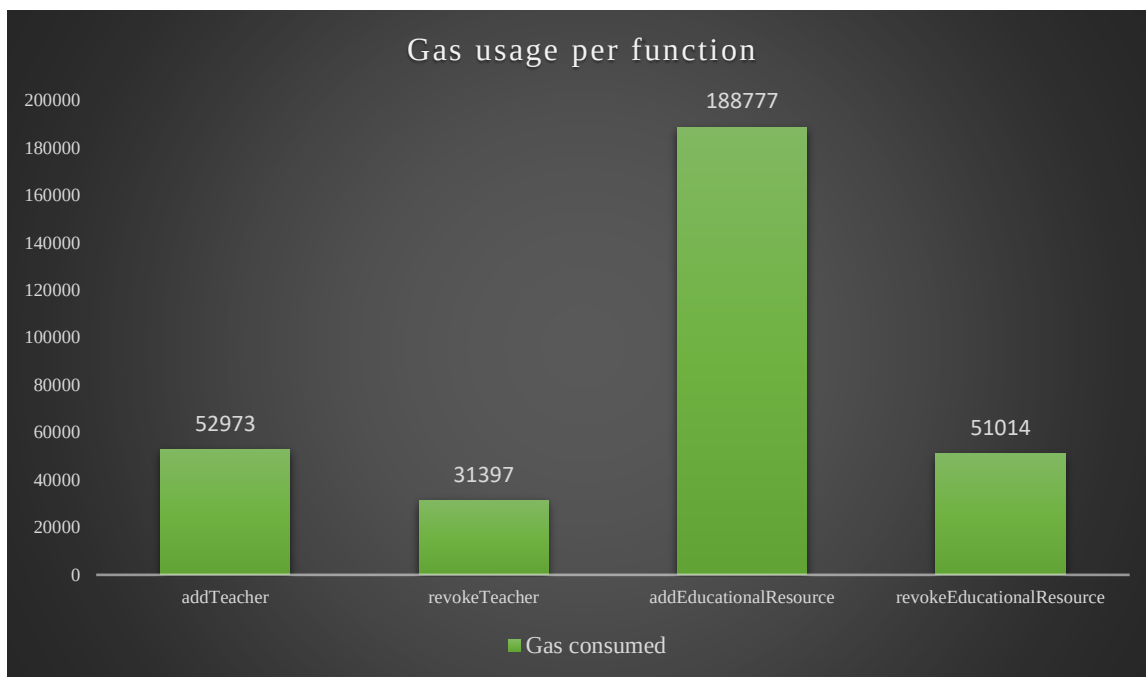
- Hardhat - mediu de dezvoltare Ethereum pentru compilarea, implementarea și testarea contractelor inteligente.
- Sepolia - rețea de test Ethereum pentru simularea implementărilor fără a genera costuri reale de tranzacție.
- Polygon zkEVM Cardona Testnet - mediu de tip Layer 2 zk-Rollup pentru testarea gestionării eficiente și scalabile a certificărilor.

- Metamask - portofel pentru gestionarea cheilor private și interacțiunea cu aplicațiile descentralizate.
- Alchemy - furnizor de noduri blockchain care asigură conectivitate fiabilă la rețelele Ethereum și Polygon.
- Remix IDE - mediu de dezvoltare online pentru crearea și depanarea contractelor inteligente.
- Solidity - limbaj de programare utilizat pentru contracte inteligente compatibile cu Ethereum.
- Pinata - soluție de stocare bazată pe IPFS pentru încărcarea și gestionarea resurselor educaționale descentralizate.
- Visual Studio Code - editor de cod integrat, cu suport pentru dezvoltare în mai multe limbaje.
- HTML și CSS - tehnologii de front-end pentru proiectarea interfeței aplicației descentralizate.
- Python - tehnologie back-end pentru gestionarea logicii serverului și a interacțiunilor cu blockchain-ul.
- Firebase - sistem de autentificare care asigură managementul securizat al accesului utilizatorilor.

Capitolul 6 discută rezultatele evaluării experimentale a sistemului nostru bazat pe blockchain, concentrându-se atât asupra performanței, cât și asupra metricilor de cost.

Nucleul soluției noastre s-a bazat pe două contracte inteligente: unul dedicat gestionării resurselor educaționale și celălalt pentru administrarea acreditărilor.

Am evaluat eficiența contractului utilizând un script Python personalizat, care folosește Web3.py împreună cu backend-ul EthereumTester pentru a simula tranzacții și a captura valorile exacte de gaz utilizate. Acest instrument permite dezvoltatorilor să obțină o detaliere precisă a costurilor computaționale asociate diferitelor operațiuni ale contractului într-un mediu controlat, fără a implica costuri reale pe o rețea efectivă. Rezultatele, ilustrate în Figura 2, evidențiază o diferențiere clară între funcții: adăugarea unui profesor a consumat 52973 gaz, revocarea unui profesor doar 31397 gaz, în timp ce adăugarea unei resurse educaționale a necesitat 188777 gaz, iar revocarea acesteia 51014 gaz.



Figură 2: Gaz consumat pentru diferite operațiuni ale contractului de resurse educaționale

Pentru a obține o estimare fiabilă a costurilor tranzacțiilor, am efectuat experimentele noastre pe testnetul Sepolia și pe testnetul Polygon zkEVM Cardona. Taxele de tranzacție pe Polygon zkEVM Cardona sunt semnificativ mai mici decât pe Sepolia, contractul de Resurse Educaționale costând aproximativ 0,056 USD, iar contractul de Credentiale 0,066 USD, comparativ cu 8,40 USD și 10,09 USD pe Sepolia. Această reducere substanțială a costurilor evidențiază eficiența soluțiilor Layer 2, făcând Polygon zkEVM deosebit de potrivit pentru gestionarea unui volum mare de tranzacții, menținând în același timp costuri accesibile.

Capitolul 7 abordează Obiectivul O8 prin prezentarea unei analize cuprinzătoare a mecanismelor de securitate încorporate în smart contractele care formează stratul fundamental al sistemului nostru bazat pe blockchain. Pentru a evalua robustețea acestor contracte, am utilizat SolidityScan, un instrument specializat pentru evaluarea securității smart contractelor. Analiza noastră arată că smart contractul Educational Resource atinge un scor de securitate de 98,19/100, în timp ce smart contractul Credential obține un impresionant 98,29/100, demonstrând un nivel ridicat de protecție împotriva vulnerabilităților potențiale. Capitolul detaliază, de asemenea, strategiile implementate pentru a asigura integritatea datelor, aplicarea unui control strict al accesului și reducerea amenințărilor comune, cum ar fi atacurile de tip reentrancy, modificările neautorizate și intrările duplicate, evidențiind astfel fiabilitatea și încrederea în sistem.

Capitolul 8 oferă un rezumat detaliat al concluziilor cercetării, punând accent pe contribuțiile originale ale tezei.

Bibliography

- [1] "The methodology and criteria for awarding the merit-based distinction to teaching staff in public pre-university education in the 2025 session," [Online]. Available: https://www.edu.ro/sites/default/files/_fi%C8%99iere/Legislatie/2025/OMEC_3745_2025_Gradata_merit.pdf. [Accessed 30 June 2025].
- [2] "Modele de cereri și anexe pentru mișcarea personalului didactic în anul școlar 2024 - 2025," [Online]. Available: <https://www.isjbihor.ro/resurse/modele-de-cereri/2306-modele-de-cereri-si-anexe-pentru-miscarea-personalului-didactic-in-anul-scolar-2024-2025>. [Accessed 23 July 2025].
- [3] D. L. Silaghi, "Blockchain-based Solution for Protecting Teachers' Copyrights on Educational Resources," in *International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (ICEMES)*, Oradea, Romania, 2025.
- [4] A. C. Artenie, D. L. Silaghi and D. E. Popescu, "Exploring the Synergy Between Ethereum Layer 2 Solutions and Machine Learning to Improve Blockchain Scalability," *Computers*, vol. 14, no. 9, p. 359, 2025.
- [5] D. L. Silaghi and D. E. Popescu, "A Systematic Review of Blockchain-Based Initiatives in Comparison to Best Practices Used in Higher Education Institutions," *Computers*, vol. 14, no. 4, p. 141, 2025.
- [6] E. Durant and A. Trachy, "Digital Diploma debuts at MIT," 17 October 2017. [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2017/mit-debuts-secure-digital-diploma-using-bitcoin-blockchain-technology-1017>. [Accessed 26 May 2024].
- [7] P. Boulet, P. d. Coëtlogon, É. Thébault and P. v. d. Velde, "Digital transformation of certificates issued by universities for European competitiveness," 6 March 2025. [Online]. Available: <https://hal.science/hal-04979478/>. [Accessed 12 August 2025].
- [8] "Order no. 4634 of June 10, 2024," [Online]. Available: https://www.edu.ro/sites/default/files/_fi%C8%99iere/Legislatie/2024/Ordin_4634_2024.pdf. [Accessed 15 August 2025].
- [9] H. R. Penubadi, P. Shah, R. Sekhar, M. N. Alrasheedy, Y. Niu, A. D. Radhi, M. Tharwat, J. F. Tawfeq, H. M. Gheni and Azmi, "Sustainable electronic document security: a comprehensive framework integrating encryption, digital signature and watermarking algorithms," *Heritage and Sustainable Development*, vol. 5, no. 2, pp. 391-404, 2023.
- [10] D. L. Silaghi, A. C. Artenie and D. E. Popescu, "Optimizing Teacher Portfolio Integrity with a Cost-Effective Smart Contract for School-Issued Teacher Documents," *Computers*, vol. 14, no. 9, p. 395, 2025.