



Universitatea Politehnica București
Facultatea de Automatică și Calculatoare
Departamentul de Automatică și Ingineria Sistemelor

LUCRARE DE LICENȚĂ

Sistem blockchain pentru trasabilitatea și certificarea resurselor energetice

Absolvent
Angelo-Gabriel BARBU

Coordonator
Prof. Dr. Ing. Iulia-Vasilica STAMATESCU

București, 2023

Cuprins

Glosar	iv
Listă de figuri	v
Listă de tabele	vi
1 Introducere	1
1.1 Scopul lucrării	1
1.2 Obiectivele lucrării	1
1.2.1 Tehnologia Blockchain	1
1.2.2 Blockchain în sectorul energetic	2
1.2.3 Implementarea unei soluții practice Blockchain	2
2 Tehnologia Blockchain - arhitectură și funcționalități	3
2.1 Fundații tehnice	3
2.1.1 Rețea open P2P	3
2.1.2 Criptografie	4
2.1.3 Structura de date Blockchain	4
2.1.4 Mecanism de consens descentralizat	4
2.1.5 Contracte Smart	5
2.1.6 Criptomonede	5
2.2 Beneficiile tehnologiei Blockchain	7
2.2.1 Confidențialitate	8
2.2.2 Securitate	8
2.2.3 Transparență	8
2.2.4 Încredere	8
2.2.5 Imutabilitatea datelor	8
2.2.6 Proveniența datelor	9
2.2.7 Rezistență la cenzură	9
2.2.8 Execuția atomică a contractelor	9
2.2.9 Toleranță la erori	9
2.3 Clasificarea sistemelor Blockchain	9
2.3.1 Blockchain public	10
2.3.2 Blockchain privat	10
2.3.3 Blockchain consortium	10
2.4 Tipuri de mecanisme de consens	11
2.4.1 Proof-of-Work(PoW)	12
2.4.2 Proof-of-Stake(PoS)	12
2.4.3 Delegated Proof-of-Stake(DPoS)	12
2.4.4 Practical Byzantine Fault Tolerance(PBFT)	12
2.4.5 Proof-of-Elapsed-Time(PoET)	12
3 Aplicabilitatea tehnologiei Blockchain în sectorul energetic	13
3.1 Bitcoin în industria de petrol și gaze	13
3.1.1 Comerțul resurselor energetice	14
3.1.2 Decizii și management	14

3.1.3	Monitorizarea	15
3.1.4	Securitatea cibernetică	16
3.1.5	Oportunități și riscuri	16
3.2	Blockchain în contextul "Energy Internet"	17
3.2.1	Compatibilitatea sistemului Blockchain cu Energy Internet	17
3.2.2	Tranzacționarea P2P a energiei	17
3.2.3	Mașini electrice	18
3.2.4	Securitatea fizică a informațiilor	18
3.2.5	Certificarea emisiilor de carbon	18
3.2.6	Sinergia unui sistem multi-energetic	19
4	Implementarea sistemului Blockchain - platformă de tranzacționare	20
4.1	Componentele arhitecturii de sistem	21
4.1.1	Tehnologiile utilizate	21
4.1.2	Limbaje de programare utilizate	24
4.1.3	Standardele de programare aplicate	25
4.2	Modul de funcționare al aplicației	26
5	Concluzii și contribuții personale	40
	Bibliografie	42

Glosar

Block obiect din structura Blockchain, unde sunt stocate și criptate datele. [3](#)

Blockchain sistem de stocare distribuit a datelor într-un mod ce face manipularea, trișarea și atacurile cibernetice imposibile. [1](#)

mașina virtuală tehnologie software ce simulează computerul fizic, având aceleași proprietăți, cu scopul rulării aplicațiilor software. [5](#)

P2P Peer-to-Peer. [3](#)

Peer-to-Peer model de comunicație și distribuție de date în care participanții rețelei (numiți peer-uri) își împărtășesc resursele și responsabilitățile direct între ei. [2](#), [3](#)

portofel digital aplicație software ce permite să faci tranzacții cu bunuri deținute pe Blockchain, precum depozitare și transfer. [5](#)

single-threaded rularea unui set de instrucțiuni într-o singură secvență. [9](#)

VM mașină virtuală. [5](#)

Listă de figuri

2.1	Structura unui sistem blockchain	4
2.2	Structura unui contract smart[9]	5
2.3	Beneficiile tehnologiei Blockchain[12]	7
2.4	Flowchart decizional pentru alegerea tipului de blockchain[9]	11
3.1	Sistem blockchain folosit în lanțul de aprovizionare al GNL[9]	15
3.2	Tranzacționarea energiei bazată pe blockchain	18
4.1	Arhitectura de sistem a platformei de tranzacționare	21
4.2	Mediul de dezvoltare Ganache cu o rețea lansată pe Localhost PORT 7545	22
4.3	Interconectivitatea nodurilor de rețea în cadrul Web3	23
4.4	Extensia MetaMask conectată la blockchain-ul local și la două portofele din rețea	24
4.5	Pagina de autentificare a platformei	26
4.6	Autentificare eșuată	26
4.7	Pagina de înregistrare a unui cont de utilizator	27
4.8	Pagina de Home a platformei	27
4.9	Creare tranzacție de vânzare	28
4.10	Istoricul tranzacțiilor și tranzacțiile deschise	28
4.11	Ștergere tranzacție deschisă	29
4.12	Pagina de Home din perspectiva cumpărătorului	29
4.13	Confirmare tranzacție	30
4.14	Sold inițial al portofelelor digitale ale cumpărătorului și vânzătorului	31
4.15	Diagrama workflow a mecanismului de declanșare a tranzacției și de emitere a contractului Smart	32
4.16	Output-ul execuției fără erori a script-ului de tranzacții	33
4.17	Soldul actualizat al portofelelor digitale în urma tranzacției	33
4.18	Tranzacția și emiterea contractului Smart în istoricul Ganache	34
4.19	Tranzacția efectuată listată pe platformă în pagina <i>Tranzacțiile mele</i>	34
4.20	Contractul Smart de vânzare-cumpărare emis și afișat în <i>Contractele mele</i>	34
4.21	Contractele Smart emise ale utilizatorului autentificat din <i>Contractele mele</i> . . .	34
4.22	Datele utilizatorului autentificat din <i>Contul meu</i>	35

Listă de tabele

2.1	Tipuri de sisteme Blockchain[9]	10
2.2	Tipuri de mecanisme de consens[9]	11

1 Introducere

1.1 Scopul lucrării

ÎN contextul problemelor multiple regăsite în domeniul energetic cu privire la riscul pierderii datelor importante, lipsa securității și riscurile legale, dar și dificultatea trasabilității resurselor energetice pe tot parcursul procesului de producție, lucrarea are ca scop definirea tehnologiei [Blockchain](#) și prezentarea arhitecturii și a funcționalităților sale, ca soluție a problemei prezentate.

Se urmărește proiectarea și descrierea unei soluții, având ca fundație un sistem Blockchain conform cu cerințele sectorului economic energetic. Datorită specificațiilor și funcționalităților unui Blockchain, acesta reprezintă o soluție fiabilă pentru rezolvarea ineficienței și diminuarea riscurilor din domeniul energetic.

Mai mult, se dorește implementarea și prezentarea unei platforme prototip de tranzacționare în industria energiei, ce permite trasabilitatea și certificarea resurselor energetice pe tot parcursul procesului de fabricație printr-un sistem Blockchain, validând, astfel, tehnologia blockchain ca soluție pentru problema expusă.

1.2 Obiectivele lucrării

Astfel, pentru definirea concretă a problemei și a soluției alese, se urmărește atingerea următoarelor obiective în cadrul lucrării:

1. definirea sistemului Blockchain, a fundațiilor tehnice care au dus la obținerea sa, a arhitecturii și a componentelor din structura sa, cât și beneficiile acestei tehnologii.
2. conturarea problemei de management în cadrul sectorului economic energetic și a aplicabilității tehnologiei Blockchain ca soluție pentru problema expusă.
3. proiectarea, implementarea și testarea unei platforme prototip de tranzacționare în industria energiei, având ca fundament tehnologia Blockchain, obținând, astfel, o prezentare practică a soluției descrise pentru problema expusă.

1.2.1 Tehnologia Blockchain

Recent, tehnologia blockchain a devenit una dintre cele mai dezvoltate și cercetate tehnologii. Această tehnologie ne oferă posibilitatea creării de aplicații și administrarea informațiilor într-un mod descentralizat. Inițial, a fost dezvoltată pentru alimentarea primei criptomonede, Bitcoin.

Astfel, dorința unui management descentralizat și rezistent la cenzură, având transparență totală și un nivel de încredere ridicat a dus la aplicabilitatea sa în multiple domenii și a atras

un mare interes din partea tuturor sectoarelor economice, motivând, în linii generale, alegerea pentru soluționarea problemei noastre.

În esență, un sistem blockchain reprezintă o structură de date de tip listă înlanțuită de block-uri, având funcționalități și caracteristici, precum: rețea open [Peer-to-Peer](#), criptografie, mecanism de consens, contracte Smart, securitate, confidențialitate, imutabilitatea datelor, trasabilitatea datelor și încredere. [12]

1.2.2 Blockchain în sectorul energetic

Întrucât domeniul energetic se îndreaptă către inteligență și digitalizare, multe companii din acest sector economic au început demersurile de dezvoltare și cercetare în ceea ce privește un sistem blockchain ce ar putea îmbunătăți semnificativ nivelurile de management, eficiență și securitate a datelor. Această tehnologie prezintă un interes major atât pentru marile corporații care se ocupă cu exploatarea și prelucrarea petrolului și a gazului natural, cât și pentru cele investite în energie regenerabilă, rezultând, astfel, conceptul de "Energy Internet", definit ca o îmbinare a noilor metode de obținere a energiei "verde" cu noile tehnologii și eficientizarea lor din punct de vedere al consumului de energie electrică.

Aplicarea tehnologiei blockchain în sectorul energetic rezolvă probleme majore de management, precum birocrăția voluminoasă și costisitoare din punct de vedere financiar și al timpului, riscul mărit de fraudă și eroare în cazul tranzacțiilor din acest domeniu, costul ridicat de management, transferul lent de date esențiale și vulnerabilitatea la atacuri cibernetice.

1.2.3 Implementarea unei soluții practice Blockchain

În urma definirii problemei regăsite în sectorul energetic și a prezentării sistemului blockchain ca soluție fiabilă pentru problema expusă, se dorește proiectarea și implementarea unei soluții practice, bazată pe un sistem Blockchain.

Astfel, dorim obținerea unei platforme prototip de tranzacționare în industria energiei. Arhitectura aplicației are în componența sa atât sistemul **Blockchain** ca fundament tehnologic, cât și alte tehnologii de actualitate pentru stocarea unui volum mare de date și obținerea unei eficiențe cât mai ridicate, precum **MongoDB**, ce ne oferă un sistem de gestiune a bazelor de date de tip non-relaționale, obținând scalabilitate și eficiență ridicată, și **Node.js** ca mediu de execuție la nivel de server, ce permite rularea codului JavaScript în afara browserului, întărind scalabilitatea și eficiența soluției obținute.

Cu ajutorul acestei soluții, dorim garantarea trasabilității și a certificării resurselor energetice implicate într-o tranzacție dintre două părți, cumpărător și vânzător, validată cu ajutorul unui **contract Smart**. Soluția ne permite o gestionarea automată, eficientă și scalabilă a datelor tranzacției, a stării și a locației resurselor în orice moment, diminuând riscurile de fraudă, pierderea datelor sau a resurselor și vulnerabilitatea cibernetică.

2 Tehnologia Blockchain - arhitectură și funcționalități

DEFINIM tehnologia blockchain cu ajutorul primelor platforme majore ce au aplicat-o, precum criptomoneda Bitcoin și ecosistemul Ethereum. Totuși, utilitatea sa poate fi extinsă în mai multe domenii, întrucât se preconizează că, în viitor sistemul blockchain va fi regăsit în mai multe aspecte ale vieții de zi cu zi. Din punct de vedere al structurii de date, un blockchain este o listă înlănțuită de obiecte de tip **Block** aflată într-o topologie de rețea deschisă **Peer-to-Peer**, cu următoarele fundații tehnice:

1. rețea open **Peer-to-Peer** (P2P)
2. criptografie
3. structura de date blockchain
4. mecanism de consens descentralizat
5. contracte smart

2.1 Fundații tehnice

2.1.1 Rețea open P2P

Un sistem blockchain operează pe o rețea open P2P - o rețea în care se află mai multe noduri/mai mulți utilizatori cu permisiuni și responsabilități egale în ceea ce privește procesarea datelor - unde nu există control centralizat sau o entitate singulară care decide cine poate să se alăture rețelei. Oricine poate părăsi și se poate alătura rețelei fără nevoia acordului unui individ.

În general, în cadrul rețelei există două tipuri de noduri:

- 1) *noduri de minat* - mineri - ce necesită resurse de calcul ridicate, precum computere dedicate acestui lucru;
- 2) *noduri de utilizatori* - ce creează tranzacții și pot accesa rețeaua cu ajutorul oricărui tip de dispozitiv - chiar și un smartphone - fără a fi necesar un volum mare de resurse de calcul.

Minerii transformă tranzacțiile în blocuri noi și ajută la securitatea sistemului prin participarea la mecanismul de consens în schimbul unui block ce conține o recompensă și a unui comision de tranzacție. Utilizatorii care generează tranzacții plătesc minerilor acel comision.

2.1.2 Criptografie

Hash-urile criptografice sunt utilizate pentru a genera adrese pseudoanonime pentru utilizatori, creând o cheie publică, pentru a genera hash-uri de tranzacție pentru a referenția și a ține evidența fiecărei tranzacții și creează hash-uri de legătura între block-uri pentru a crea legătura în lanț. De asemenea, hash-urile criptografice sunt folosite în mecanismul de consens Proof-of-Work(PoW), sub forma unei piese de puzzle cu scopul de a atinge consensul descentralizat, respectând inegalitatea următoare:

$$H(P) < D,$$

unde:

P reprezintă elementul ce urmează să îi se atribue un hash;

H() reprezintă funcția criptografică;

D reprezintă dificultatea țintă.

Funcția criptografică face deducerea elementului P cu ajutorul valorii D imposibilă, iar singurul mod de rezolvare a puzzle-ului criptografic este încercarea diferitelor valori până când inegalitatea este îndeplinită. Pentru demonstrarea deținerii monedelor obținute în urma unei tranzacții, utilizatorul trebuie să dețină cheia privată și să o folosească pentru a obține o semnătură digitală. Toți minerii validează semnătura și acceptă în proprietate doar în cazul în care semnătura digitală este validă.

2.1.3 Structura de date Blockchain

Funcționalitatea esențială a unei criptomonede este prevenirea tranzacțiilor dublitate. Sistemul trebuie să se asigure că monedele nu pot fi cheltuite de două ori. Pentru a îndeplini această condiție, un pas important este evidența tuturor tranzacțiilor într-un registru sigur, care începe din block-ul geneză, astfel tranzacțiile sunt total ordonate și lipsite de ambiguitate.

Având o rețea open P2P, un algoritm de consens robust este necesar pentru a se asigura existența unor copii blockchain identice menținute de fiecare nod de minat, solidificând utilitatea registrului. În Figura 2.1 se regăsesc componentele obiectelor de tip Block și modul în care sunt înlanțuite.

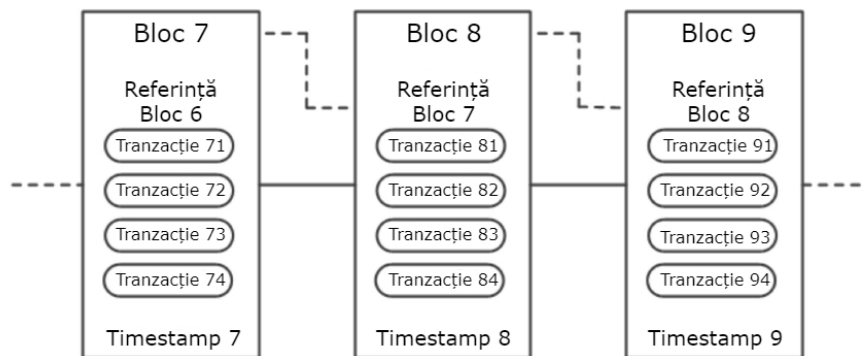


Figura 2.1: Structura unui sistem blockchain

2.1.4 Mecanism de consens descentralizat

Datorită mecanismului de consens am reușit să obținem tehnologia blockchain, fiind cea

mai semnificativă inovație din structura acesteia. Primul mecanism de consens descentralizat a fost algoritmul Proof-of-Work(PoW) introdus în cadrul Bitcoin. Mecanismul PoW are o abordare inovativă, întrucât convertește problema consensului într-o competiție de hashing, a cărei dificultate este ajustată dinamic, în funcție de puterea de hashing totală a sistemului.

Datorită spațiului finit de soluții, este garantată posibilitatea rezolvării puzzle-ului, procesul fiind unul stocastic, iar șansele de a câștiga competiția sunt direct proporționale cu puterea de calcul a nodului de minat.

Structura mecanismului de consens PoW asigură posibilitatea rezolvării puzzle-ului într-un interval de timp finit, dar nu poate garanta un singur câștigător. Dacă doi sau mai mulți mineri rezolvă puzzle-ul în aproximativ același timp, se provoacă o bifurcație, rezultând o inconsistență printre mineri. Pentru a rezolva această problemă, un miner trebuie să aleagă un lanț de blocuri cu cea mai ridicată dificultate cumulativă.

2.1.5 Contracte Smart

Contractele Smart Turing-complete au fost introduse pentru prima dată în cadrul blockchain-ului Ethereum, contribuind la dezvoltarea, extinderea și siguranța acestuia. Inovația cheie îmbină o *mașină virtuală* (VM), cunoscută sub numele de Ethereum Virtual Machine(EVM) și un mecanism de tip combustibil numit "gas fee".

Contractele Smart rulează pe *mașina virtuală* EVM, iar EVM poate întrerupe execuția unui contract Smart, asigurând atomicitatea acesteia. Orice tranzacție ce invocă un contract smart trebuie să aloce o formă de combustibil, orice instrucțiune executată consumă o cantitate de combustibil. Dacă acel combustibil este epuizat până la momentul terminării execuției contractului, procesul este încetat fără a provoca vreun efect. Execuția contractului smart este finalizată atunci când block-ul este minat cu succes, iar tranzacția a fost inclusă în block de către miner. Efectul execuției contractului smart este stocat în blockchain, având un header de referință.[12] În Figura 2.2 se observă structura și principiul de funcționare al unui contract smart.

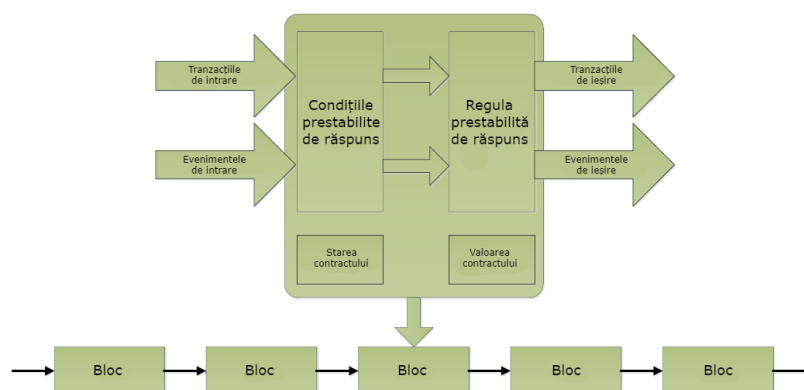


Figura 2.2: Structura unui contract smart[9]

2.1.6 Criptomonedă

Prima aplicație de succes a tehnologiei blockchain a constat în criptomonedă. Un *portofel digital* este necesar pentru a utiliza sistemul și a transfera sau primi criptomonede. Un utilizator

își poate crea unul sau mai multe portofele digitale pentru a administra chei publice/private, adrese de corespondență, istoricul tranzacțiilor și crearea unor tranzacții noi.

Există două tipuri de portofele digitale:

- 1) *portofele hot* - portofel online - simplu de efectuat tranzacții, însă vulnerabil la atacuri cibernetice în cazul în care cheia de acces este furată;
- 2) *portofele cold* - portofel offline - inconvenient, dar mult mai sigur, eliminându-se vulnerabilitatea la atacuri cibernetice

Pentru a efectua tranzacții cripto, un utilizator trebuie să descarce și să instaleze un software de portofel digital, ce conține toate componentele cheie ale blockchain-ului(exceptând componentele de implică minatul), având, astfel, posibilitatea achiziționării criptomonedelor. În urma achiziției, criptomonedele sunt depozitate în portofel după ce tranzacția a fost validată.

2.2 Beneficiile tehnologiei Blockchain

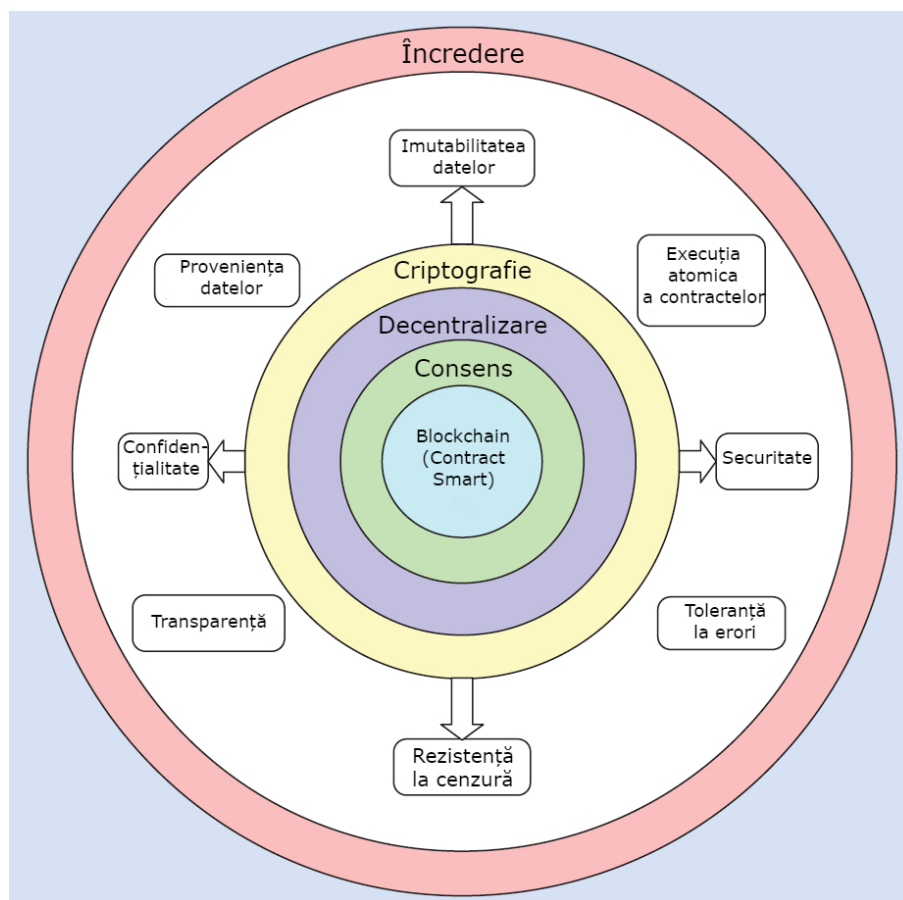


Figura 2.3: Beneficiile tehnologiei Blockchain[12]

Beneficiile unui sistem blockchain sunt evidențiate în Figura 2.3 și motivate de componentele tehnologiei, poziționate în centrul diagramei. Printre acestea, se regăsesc:

1. confidențialitate
2. securitate
3. transparență
4. încredere
5. imutabilitatea datelor
6. proveniența datelor
7. rezistență la cenzură
8. execuția atomică a contractelor
9. toleranță la erori

2.2.1 Confidențialitate

Întrucât blockchain-ul este proiectat să înlocuiască banii în formă de numerar, tehnologia blockchain a adoptat un mecanism de confidențialitate sub forma unei semnături digitale ca dovadă a proprietății monedelor, prin prezența unei chei private ce corespunde adresei monedelor. Acest mecanism simplifică managementul identității și oferă pseudoanonimitate, datorită posibilității creării unui număr nelimitat de perechi de chei publice-private și de adrese asociate.

2.2.2 Securitate

În contextul tehnologiei blockchain, bunurile sunt securizate prin următoarele proprietăți:

- doar proprietarul unei monede o poate cheltui;
- proprietarul unei monede o poate cheltui o singură dată.

Cum am menționat anterior, numai cel ce deține cheia privată asociată poate genera o semnătură digitală validă și, astfel, să cheltuiască moneda. În acest fel, este de datoria proprietarului să protejeze cheia privată. A doua proprietate este validată de protecția istoricului tranzacțiilor asupra oricăror modificări - datele aflate pe blockchain trebuie să fie imutabile.

2.2.3 Transparență

În cadrul unui sistem blockchain, istoricul tranzacțiilor este disponibil tuturor părților. Imutabilitatea datelor întărește transparența și, astfel, se demonstrează că nu este nimic de ascuns.

2.2.4 Încredere

Definim noțiunea de încredere ca nivelele de asigurare pe care sistemul le oferă utilizatorilor prin intermediul proprietăților sale, precum securitatea și transparența. Tehnologia blockchain oferă un nivel ridicat de securitate față de celelalte tehnologii în ceea ce privește dezvoltarea aplicațiilor software. Încrederea este întărită de toate beneficiile descrise anterior, cât și de cele ce urmează.

2.2.5 Imutabilitatea datelor

Imutabilitatea datelor este dată atât de securitatea tehnologiei blockchain, cât și de alte fundații tehnice, precum structura de date în sine, mecanismul de consens descentralizat, scalarea rețelei Open P2P, creându-se, astfel, o barieră puternică împotriva manipulării și modificării datelor aflate pe blockchain.

Criptografia este un factor important în ceea ce privește integritatea datelor și detectarea modificărilor, ștergerilor sau adăugărilor frauduloase. De asemenea, descentralizarea sistemului elimină vulnerabilitatea datelor aflate într-un singur punct, obținută cu ajutorul unei rețele și resurse de calcul descentralizate, structura de date de tip blockchain, protecția criptografică prin hash-uri sigure și semnături digitale, copii multiple pe blockchain aflate pe mai multe noduri din rețeaua P2P și un mecanism de consens descentralizat.[12]

2.2.6 Proveniența datelor

Proveniența datelor face referire la cronologia proprietății unui bun aflat pe blockchain, a custodiei actuale și a locației în care se afla și posibilitatea documentării asupra acestor aspecte. Se reușește, astfel, o trasabilitate cap-coadă, fiind necesară pentru respectarea reglementărilor instituțiilor guvernamentale și în cazul unei anchete criminalistice.

2.2.7 Rezistență la cenzură

Rezistența la cenzură este dată de transparență, nivelul de deschidere și de proprietatea de imutabilitate a datelor pe care sistemul blockchain le oferă. Cu toate acestea, sistemul nu poate oferi imunitate asupra cenzurii, întrucât rulează pe Internet, fiind necesară conexiunea la acesta. Această conexiune poate fi manipulată și chiar încetată de către instituțiile guvernamentale prin adoptarea și modificarea legilor.

2.2.8 Execuția atomică a contractelor

În sistemul financiar tradițional, o tranzacție monetară este expusă riscului, deoarece constă în două operațiuni: operațiunea de debit și cea de credit. În cazul unui sistem blockchain, cele două operațiuni sunt îmbinate într-o singură acțiune atomică, eliminând riscul, datorită contractului smart - un program [single-threaded](#) executat într-un mod atomic, fără a necesita copii multiple care să ruleze concurrent.

2.2.9 Toleranță la erori

Sistemele tolerante la erori tradiționale au un grad ridicat de complexitate, lipsite de scalare și prezentând, de cele mai multe ori, vulnerabilități la cazuri particulare. Problema cu aceste sisteme tradiționale pleacă de la mecanismul de statut de membru și votul pentru decizii colective.

În cazul sistemelor blockchain, se aplică o abordare diferită pentru atingerea unui consens descentralizat, ce nu folosește mecanismul de membru și vot colectiv. Câștigătorului puzzle-ului mecanismului de consens îi se oferă dreptul de a asambla noul block și de a executa contractul smart, atingându-se, astfel, o toleranță ridicată la erori într-un mod mult mai simplu, elegant și robust. [12]

2.3 Clasificarea sistemelor Blockchain

Sistemele blockchain pot fi clasificate în funcție de deschiderea și accesul pe care le au[9]:

1. blockchain public
2. blockchain privat
3. blockchain consortium

2.3.1 Blockchain public

Un sistem blockchain public conține beneficiile complete ale tehnologiei blockchain. Poate fi accesat de oricine din lume, se pot trimite tranzacții, poate fi validat eficient și oricine poate participa la mecanismul de consens, reprezentând descentralizarea totală.

2.3.2 Blockchain privat

Un sistem blockchain privat este controlat de un individ sau de o organizație. Drepturile de scriere a datelor sunt deținute de acea entitate centralizată, iar drepturile de citire a datelor pot fi oferite și altor participanți externi. Acest tip de blockchain este unul închis și limitat pentru utilizarea în cadrul întreprinderilor sau instituțiilor guvernamentale și nu poate garanta beneficiul încrederii.

2.3.3 Blockchain consortium

Sistemul blockchain de tip consortium este definit ca un blockchain în care participarea este restricționată la un grup de membri. Drepturile de scriere și citire a datelor este definit în cadrul membrilor, iar datele pe care le dețin pot fi citite doar de proprietari și de entitățile autorizate, fiind o îmbinare a celor două tipuri descrise anterior. Se oferă, astfel, un anumit grad de descentralizare și confidențialitate a datelor. [3]

Proprietate	Blockchain public	Blockchain privat	Blockchain consortium
<i>Acces</i>	Public	Public sau restricționat	Public sau restricționat
<i>Consum de energie</i>	Ridicat	Scăzut	Scăzut
<i>Viteză</i>	Lent	Rapid	Rapid
<i>Eficiență</i>	Scăzută	Ridicată	Ridicată
<i>Securitate</i>	Proof-of-Work, Proof-of-Stake și alte mecanisme de consens	Participanți și voturi pre-aprobate/mecanism de consens multi-party	Participanți și voturi pre-aprobate/mecanism de consens multi-party
<i>Imutabilitate</i>	Există imutabilitate fără permisiuni, cu anonimitate	Nu există imutabilitate se definesc permisiuni și se cunosc identitățile	Nu există imutabilitate se definesc permisiuni și se cunosc identitățile
<i>Proces de consens</i>	Fără permisiuni, cu anonimitate	Se definesc permisiuni și se cunosc identitățile	Se definesc permisiuni și se cunosc identitățile
<i>Determinarea consensului</i>	Toti minerii	Organizare centralizată	Se alege un lider
<i>Tip de rețea</i>	Descentralizată	Centralizată	Semi-centralizată
<i>Tip de bunuri</i>	Bunuri native	Orice tip	Orice tip
<i>Aprobarea tranzacțiilor</i>	Ordinul minutelor	Ordinul milisecundelor	Ordinul milisecundelor

Tabela 2.1: Tipuri de sisteme Blockchain[9]

În Tabelul 2.1 sunt comparate tipuri de blockchain descrise anterior. Astfel, conform contextului de funcționare, se alege tipul de blockchain corespunzător cerințelor impuse, respectându-se flowchart-ul decizional din Figura 2.4.

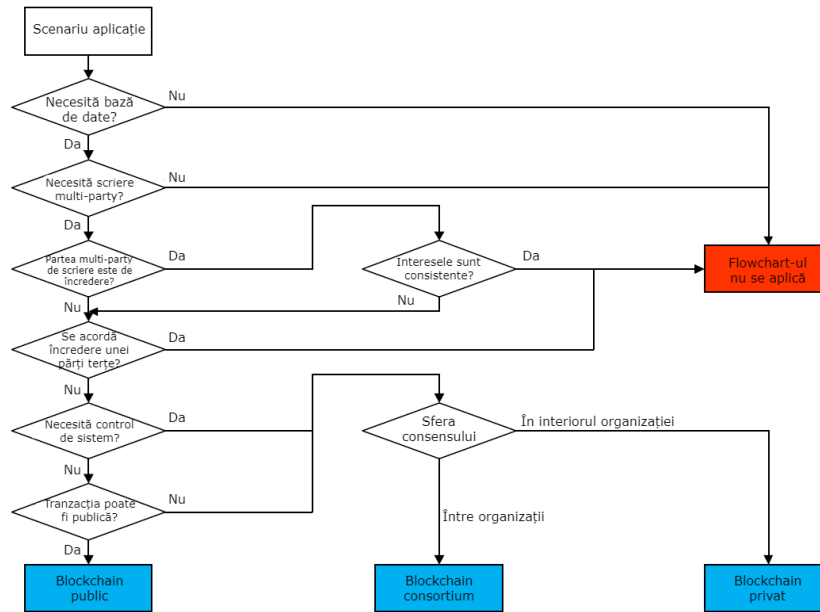


Figura 2.4: Flowchart decizional pentru alegerea tipului de blockchain[9]

2.4 Tipuri de mecanisme de consens

Există multiple mecanisme de consens ce pot fi alese în implementarea unui sistem blockchain, în funcție de cerințele și caracteristicile fiecăruia, descrise în linii generale în Tabelul 2.2 de mai jos, principalele mecanisme fiind:

1. Proof-of-Work(PoW)
2. Proof-of-Stake(PoS)
3. Delegated Proof-of-Stake(DPoS)
4. Practical Byzantine Fault Tolerance(PBFT)
5. Proof-of-Elapsed-Time(PoET)

Proprietate	PoW	PoS	DPoS	PBFT	PoET
Tip de consens	Bazat pe dovadă	Bazat pe dovadă	Alianță	Bazat pe vot	Stochastic
Consum de energie	Ridicat	Scăzut	Scăzut	Scăzut	Scăzut
Cost de computație	Ridicat	Scăzut	Scăzut	Complexitate de comunicare ridicată	Scăzut
Toleranță la erori	<1/2	<1/2	<1/2	<1/3	<1/2
Accesibilitate	Fără permisiuni	Fără permisiuni și cu permisiuni	Fără permisiuni și cu permisiuni	Cu permisiuni	Cu permisiuni

Tabela 2.2: Tipuri de mecanisme de consens[9]

2.4.1 Proof-of-Work(PoW)

Mecanismul de consens Proof-of-Work (tradus robust ca Dovada Muncii) poate fi definit într-un mod simplist ca o dovadă ce confirmă execuția unui anumit volum de muncă. PoW a fost adoptat de blockchain-uri, precum Bitcoin și Litecoin.

Modul de funcționare constă în consumul unei anumite cantități de putere de calcul și resurse de către inițiator, crescând astfel cerințele de performanță în cazul unui abuz sau atac.

Pentru a crește probabilitatea obținerii unei recompense, este necesară creșterea puterii de calcul a nodurilor de mineri cu scopul rezolvării puzzle-ului criptografic sub forma unei probleme matematice SHA256 ușor de verificat. Prin acest tip de stimulare, puterea de calcul a întregului sistem crește în mod constant, crescând astfel și rezistența la un atac cibernetic, dar și consumul de resurse de calcul. [8]

2.4.2 Proof-of-Stake(PoS)

PoS este un mecanism de consens regăsit în general în sistemele blockchain publice și depinde de drepturile economice ale validatorului în rețea. În cadrul blockchain-ului, un grup de validatori alternează și votează pentru block-ul următor, iar puterea de vot a fiecăruia este dată de suma garantată(miza) pe care o dețin pe blockchain.

În cadrul mecanismului PoS, oricine deține criptomonede din blockchain poate deveni un validator, prin blocarea unei anumite sume ca marjă, iar procesul de validare al block-ului poate fi efectuat de toți validatorii, rezultând, astfel, niveluri de securitate și eficiență energetică ridicate.

2.4.3 Delegated Proof-of-Stake(DPoS)

DPoS este un mecanism de consens bazat pe îmbinarea logicii PoW și PoS. În cazul acestui algoritm, fiecare deținător de criptomonede poate vota, generând un anumit număr de noduri, iar drepturile lor sunt complet egale. Puterea de decizie este distribuită în mod uniform către toate nodurile din rețea.

2.4.4 Practical Byzantine Fault Tolerance(PBFT)

În cazul PBFT, securitatea sistemului blockchain este asigurată de toate nodurile din rețea. Consensul este determinat în trei runde de vot între nodurile participante. Nodurile au drept de vot egal, se obține consens prin vot majoritar și nu acceptă un eșec mai mare de 1/3 din nodurile participante. [8]

2.4.5 Proof-of-Elapsed-Time(PoET)

PoET este un algoritm de consens dezvoltat de Intel, ce rulează pe un mediu de execuție dedicat, funcționând pe procesoare cu nucleu Intel SGX. Generează în mod aleator delay-uri într-un mediu sigur și controlat, iar cine are o latență cât mai mică va primi drepturi de gestiune. În acest fel, singurul mod se pot obține acele drepturi de gestiune este prin a mări numărul de procesoare.

3 Aplicabilitatea tehnologiei Blockchain în sectorul energetic

DEZVOLTAREA și cercetarea continuă a tehnologiei blockchain atrage un interes mare din partea tuturor sectoarelor economice, datorită beneficiilor și flexibilității sale de aplicabilitate. Sectorul energetic progresează asupra inteligenței și digitalizării managementului, cu scopul obținerii unui nivel mult mai mare de eficiență și securitate.

Industria de petrol și gaz a avut o evoluție rapidă în ultimii ani în ceea ce privește intelectualizarea și automatizarea, dezvoltând noi mecanisme de extragere și rafinare, precum foraj inteligent, câmpuri de petrol și gaz inteligente și platforme marine digitale. Cu toate acestea, modul de management al acestor resurse este rudimentar, având o eficiență redusă, costuri ridicate în ceea ce privește finanțarea, timpul investit și prezintă un grad ridicat de vulnerabilitate.[9]

De asemenea, apare conceptul de "Energy Internet", ce face referire la un sistem care integrează depozitarea și încărcarea resurselor energetice, transportul acestora la scară largă, bazat pe infrastructura actuală a sectorului energetic, îmbinată cu avansul exponențial a tehnologiei, fiind alimentat de sisteme sustenabile de obținere a energiei electrice cu scopul dezvoltării unei soluții optime și scalabile pentru diferite surse de energie. Însă, managementul și controlul unui astfel de sistem este foarte complex și greu de atins.[11]

O soluție pentru aceste probleme o constituie tehnologia blockchain, datorită modului distribuit de stocare a datelor, conexiunii P2P, mecanismului de consens, criptografiei și execuției contractelor smart.

3.1 Bitcoin în industria de petrol și gaze

Tehnologia Blockchain are un potențial major în industria de petrol și gaze datorită următoarelor aspecte: managementul comerțului de resurse și a deciziilor, supravegherea resurselor și securitatea cibernetică.

În acest moment, există multiple probleme de management în acest sector economic, cauzate de scara largă a sistemului actual, în componența căruia se regăsesc părți terțe care se ocupă cu tranzacțiile și comerțul resurselor, dar și birocrăția. În esență, principalele dificultăți sunt:

- volumul mare de birocrăție, ce reprezintă un cost ridicat de timp și bani;
- sectorul energetic de petrol și gaze funcționează ca o investiție în care sunt implicate mai multe părți, fiind expus la fraudă, erori și ineficiență a tranzacțiilor;
- costul managementului oferit de diferiți terți ridică un nivel mare de costuri, procesul comercial este ineficient, iar transferul de date importante este lent;
- datele importante sunt vulnerabile la atacuri cibernetice.

[2]

Cu toate că tehnologia blockchain a fost adoptată în multiple industrii, s-a arătat o oarecare reticență din partea sectorului energetic, până în anul 2017, când British Petroleum a început demersurile implementării și testării unui sistem blockchain cu scopul facilitării comerțului de resurse energetice, alături de alte companii din acest sector, dar și al investițiilor. Multiple ramuri ale industriei ar putea beneficia enorm prin implementarea și utilizarea unui sistem blockchain.

3.1.1 Comerțul resurselor energetice

Industria de petrol și gaze este ramificată în mai multe arii de expertiză, precum exploatarea resurselor, rafinarea și procesarea, dezvoltarea echipamentului și comercializarea resurselor procesate. Astfel, un volum mare de tranzacții și contracte sunt efectuate în toate aceste faze, ducând la un efort ridicat în ceea ce privește trasabilitatea și certificarea resurselor, însă componentele tehnologiei blockchain, precum contractele smart și tranzacțiile ar putea rezolva problema. [2]

Contractele smart pot primi cereri de tranzacție și evenimente externe, generând tranzacții și evenimente noi. Rezultatele contractelor smart pot fi actualizate și verificate în timp real, fără a putea fi modificate, datorită proprietății de imutabilitate a datelor. De asemenea, se elimină necesitatea intervenției unei părți terțe pentru managementul acestor tranzacții. Contractele smart pot reduce semnificativ birocrăția, simplificând procesul și îmbunătățind eficiența la un cost mult mai mic.

Tranzacțiile sunt expuse fraudei și pot fi compromise, întrucât întreprinderile din acest sector economic se află într-un proces constant de a minimiza costurile și a mări productivitatea, obținând un profit acceptabil. Problema fraudei poate fi ușor rezolvată cu un sistem blockchain, care oferă transparență, prin verificarea istoricului tranzacțiilor și a procesului. De asemenea, tehnologia blockchain ar ajuta enorm la investițiile pe termen lung, precum cele în petrol nerafinat și în echipamente de extracție și rafinare. Mai mult, cantități mari de petrol și gaze sunt tranzacționate între guverne la un volum ridicat, iar un sistem blockchain ar reduce semnificativ costurile de timp și taxele pentru tranzacțiile externe [9]

3.1.2 Decizii și management

Tehnologia blockchain prezintă o platformă optimă pentru dezvoltarea aplicațiilor în ceea ce privește **deciziile de management**. Există multiple probleme de design în explorarea și dezvoltarea petrolului și gazelor, precum scanarea tridimensională a rezervelor subterane, programe de dezvoltare a industriei de petrol și gaze, dar și mentenanța echipamentului utilizat, iar un asemenea proces poate dura luni sau ani. Un sistem blockchain ar eficientiza aceste aspecte, prin procesarea și computarea datelor aflate pe blockchain și oferirea unei evidențe actualizate în timp real a procesului, ce nu poate fi modificată sau alterată, aducând beneficii majore acestui proces de design. [9]

De asemenea, managementul deciziilor trebuie efectuat utilizând totalitatea datelor aflate pe multiple sisteme independente. Astfel, obținerea lor în timp real prezintă o dificultate, iar structura, protocolul sau formatul acestor date nu corespund de cele mai multe ori. Un sistem blockchain poate face transferul de date mult mai eficient, îmbunătățind managementul deciziilor. Mai mult, multe decizii sunt luate pe baza unui vot, iar contractele smart ar putea oferi transparență și automatizare asupra acestui proces de votare. [6]

Un sistem blockchain ar putea simplifica procesul de **management**, contribuind, totodată, la precizia și baza științifică a acestuia. Rețelele de conducere a petrolului și gazelor sunt greu de administrat, mai ales în ceea ce privește alocarea resurselor. Însă, datele încărcate și procesate pe blockchain ar putea ajuta la alocarea acestor resurse într-un mod eficient și precis din punct de vedere științific.

3.1.3 Monitorizarea

La nivel global, o cantitate semnificativă de petrol și gaze este depozitată, cumpărată, transportată și distribuită prin canale multiple, precum producători, furnizori, contractanți, subcontractanți, rafinatori de petrol și gaze și retaileri. O simplă eroare poate produce o reacție în lanț, afectând productivitatea și pot apărea situații critice precum pierderea resurselor. Un sistem blockchain poate supraveghea resursele de petrol și gaze și locația lor în cadrul lanțului de aprovizionare. Mai mult, poate oferi un istoric detaliat asupra echipamentului utilizat, oferind transparență asupra aprovizionării și eficiență operațională, micșorând costurile de logistică. [4]

În ultimii ani, gazul natural lichefiat (GNL) a devenit resursa energetică de bază obținută din gazul natural. Din cauză proprietăților sale fizice de temperatură scăzută, GNL este transportat în mod constant. Gazul natural este extras din zăcămintul de gaze și apoi transportat la o stație de tratare a gazului natural pentru dehidratare și decarbonizare. Gazul natural purificat este apoi adus la o stație de lichefiere pentru producția GNL și depozitat la o stație de export. Gazul natural lichefiat este încărcat la această stație, ajungând la stadiul de export, iar în locația finală GNL este gazificat, urmând stadiul de aplicare.[10]

Acest proces este unul complex și implică multe părți, fiecare având câte o bază de date proprie pentru trasabilitatea produsului. Un sistem blockchain ar putea oferi o bază de date distribuită către fiecare parte implicată, fiind exemplificat în Figura 3.1, dar și un sistem de trasabilitate, simplificând și îmbunătățind întregul proces prin transmiterea informațiilor oficiale cu ajutorul contractelor smart, astfel celelalte părți ce alcătuiesc lanțul de aprovizionare să fie informate cu privire la status-ul GNL-ului. [9]

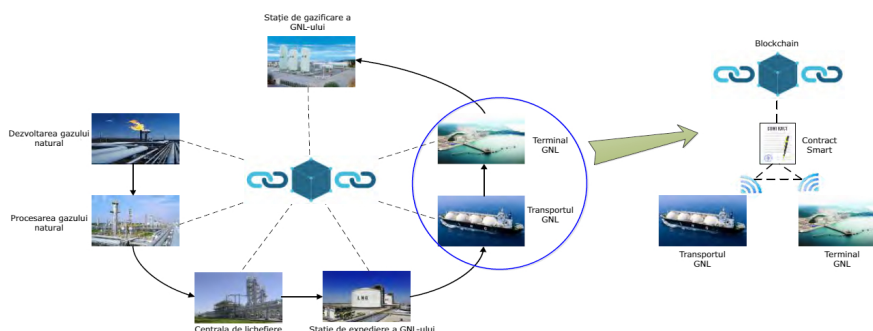


Figura 3.1: Sistem blockchain folosit în lanțul de aprovizionare al GNL[9]

Prin contractele smart, partea ce trimite resursele va emite o informație semnată, iar destinatarul va primi informația într-o manieră criptată pentru a semna confirmarea primirii resurselor semnalate ca fiind trimise. Mai mult, contractele smart pot fi folosite pentru certificarea și trasabilitatea proprietății intelectuale asupra cercetării și dezvoltării tehnologiilor folosite.

Trasabilitatea și transparența oferită de tehnologia blockchain poate facilita verificarea respectării reglementărilor impuse de instituțiile guvernamentale sau internaționale, precum Uniunea Europeană, dar și respectarea licitațiilor și a contractelor.

Totodată, companiile din industria de petrol și gaze necesită drepturi de uzufruct pentru spațiile unde își efectuează activități, precum explorare sau dezvoltare, însă pot exista documente multiple stocate în diferite baze de date care să ateste acest lucru, iar, în acest sector economic, tranzacțiile de parcele de pământ sunt vulnerabile la diferite forme de fraudă. Aplicarea tehnologiei blockchain în acest aspect poate facilita trasabilitatea, valoarea și proprietatea unei parcele de pământ în uz, reducând disputele de proprietate și oferind transparență entităților guvernamentale din ramura fiscală. [9]

3.1.4 Securitatea cibernetică

Conform statisticilor, aproximativ 75% din numărul de companii din industria de petrol și gaze din Statele Unite au fost ținte ale cel puțin unui atac cibernetic. Acestea prezintă vulnerabilități multiple, cauzate de complexitatea sistemelor de operare existente și de procesul de producție, latența sistemelor de timp real cauzate de firewall, inconsistența standardelor de rețea folosite între departamente și actualizări neregulate ale sistemelor de securitate. [7]

Un alt exemplu îl constau senzorii inteligenți utilizați pentru a obține informații în timp real cu privire la operațiunile zăcămintelor maritime de petrol, însă acești senzori constituie o vulnerabilitate a rețelei, întrucât sunt expuși la spionajul corporatist. Un sistem blockchain folosit pentru a stoca aceste informații într-o manieră distribuită ar reduce semnificativ vulnerabilitatea acestor rețele. [9]

3.1.5 Oportunități și riscuri

Datorită proprietăților tehnologiei blockchain de descentralizare și transparență, există ne-numărate oportunități în industria de petrol și gaze, însă o tehnologie nou implementată într-o industrie poate aduce provocări majore.

Tehnologia blockchain prezintă multiple riscuri în sectorul energetic, precum:

1. riscuri operaționale:

- pierderi de date
- costuri ridicate de tranzacție pentru blockchain-urile publice
- lipsa experimentării tehnologiei în industrie pe termen lung poate duce la un management defectuos
- aplicațiile dezvoltate inițial pot avea probleme tehnice
- lipsa unui standard de operare și funcționare

2. riscuri cibernetice:

- posibilitatea fraudei în transferul datelor dintre lumea reală și blockchain
- platforma de comerț este expusă atacului cibernetic

3. riscuri legale:

- evaziune fiscală
- uz ilegal de informații
- blockchain-urile pot fi utilizate pentru tranzacții ilegale

[9]

3.2 Blockchain în contextul "Energy Internet"

Noțiunea de "Energy Internet" apare în contextul epuizării resurselor de energie fosilă și a poluării cauzate de acestea. Se definește ca fiind un nou tip de structură de alimentare, bazată pe energie regenerabilă, precum cea eoliană și solară, cu echipament de stocare a energiei în mod distribuit, conectate cu ajutorul Internetului, fiind o îmbinare a noilor inovații din domeniul energetic cu cele informatice.[11] Caracteristicile Energy Internet sunt:

1. Măsurare precisă

Măsurătorile constituie fundamentul controlului modului de operare al diverselor sisteme de energie și este principală sursa de inteligență al energiei.

2. Cooperare pe scară largă a mai multor surse

Sistemul Energy Internet acoperă o arie extinsă, având un număr crescut de participanți, cu un nivel de fiabilitate ridicat. Cooperarea mai multor surse implică atât coordonarea și planificarea producției de energiei la scară largă, dar și cooperarea în transportul energiei și a utilizării acesteia.

3. Control inteligent

Algoritmi inteligenți, precum cei de machine learning și de analiză a volumului mare de date, vor deveni un suport tehnic major pentru sistemul Energy Internet în contextul unui număr mare de surse de energie. Întregul proces, de la producția energiei la utilizarea acesteia se bazează pe tehnologie de control inteligent pentru a atinge caracteristici, precum flexibilitate și eficiență în ceea ce privește conversia puterii și optimizarea transportului de energie, oferind, astfel, un nivel ridicat de eficiență și fiabilitate operării.

4. Comerț deschis

Sistemul Energy Internet constituie o infrastructură modernă și incluzivă, accesibilă pentru toate tipurile de energie, dar și pentru utilizatori, facilitând vânzarea și cumpărarea energiei electrice.

3.2.1 Compatibilitatea sistemului Blockchain cu Energy Internet

Atât tehnologia blockchain, cât și sistemul Energy Internet includ concepte de descentralizare, interconectare autonomă, deschidere și componente inteligente. Rutarea energiei este una dintre caracteristicile cheie ale Energy Internet și poate fi dezvoltată cu ajutorul unui sistem blockchain. Scenariile de implementare ale tehnologiei blockchain sunt constituite de:

1. Tranzacționarea P2P a energiei
2. Vehicule electrice
3. Securitate fizică a informațiilor
4. Certificarea emisiilor de carbon
5. Sinergia unui sistem multi-energetic

3.2.2 Tranzacționarea P2P a energiei

Comerțul tradițional al energiei este administrat de o organizație centralizată. Accesul unui număr mare de consumatori într-un astfel de management cauzează costuri de operare ridicate și securitate redusă a informațiilor, iar lipsa unui management centralizat provoacă lipsă de încredere a platformei de comerț. Un sistem blockchain în comerțul energiei rezolvă toate aceste probleme, oferind o platformă de tranzacționare eficientă, cu costuri reduse, deschisă și de încredere.[11]

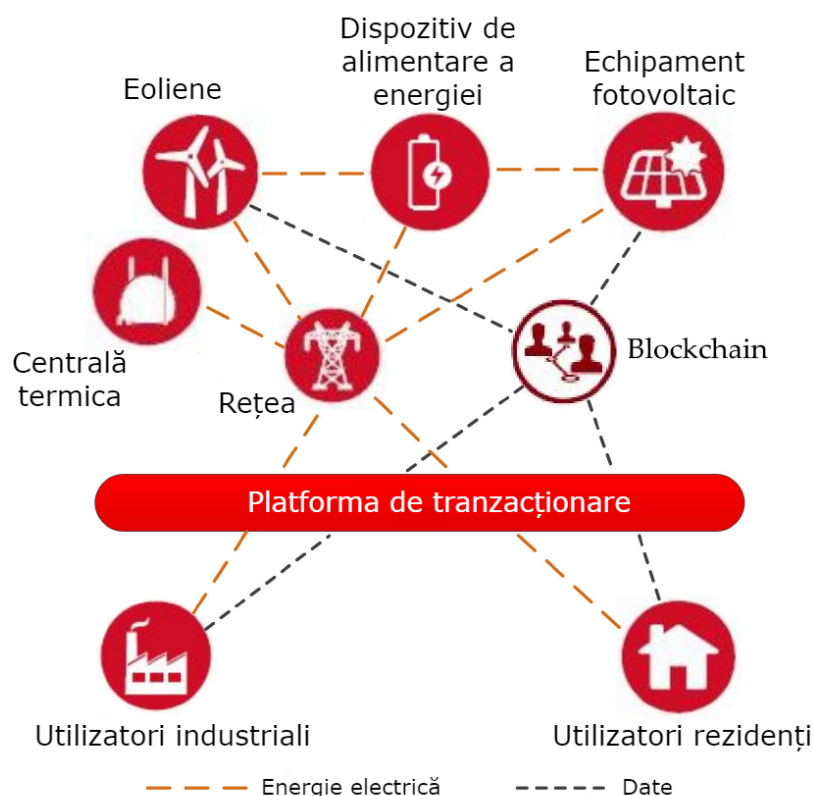


Figura 3.2: Tranzacționarea energiei bazată pe blockchain

3.2.3 Mașini electrice

Mașinile electrice reprezintă o soluție pentru diminuarea poluării asupra mediului înconjurător, însă un impediment îl constituie lipsa unei rețele bine structurate de încărcare și nu există un standard de încărcare și plată. Însă, tehnologia blockchain ar putea rezolva această problemă, standardizând rețeaua prin generarea de contracte smart.

3.2.4 Securitatea fizică a informațiilor

Securitatea cibernetică a sistemului de informații al energiei este imperativă, dictând luarea de decizii precise și rezonabile. În cazul în care acest sistem este afectat de un atac cibernetic, o informație eronată poate avea urmări catastrofale. Astfel, un sistem blockchain, având securitate și confidențialitate, volum ridicat de stocare și descentralizare, ar rezolva într-un mod elegant problema securității sistemelor informatice și fizice.

3.2.5 Certificarea emisiilor de carbon

Creșterea exponențială a emisiilor de gaze de seră a dus la deteriorarea climatului global. Astfel, mai multe instituții guvernamentale au emis protocoale, reglementări economice și certificări cu privire la limitarea amprente de carbon a unei întreprinderi. Cu toate acestea, certificarea emisiilor de carbon este complexă și se confruntă cu un volum mare de certificate emise, cauzând o trasabilitate inefficientă a datelor. Tehnologia blockchain poate oferi o platformă de management inteligent pentru certificarea emisiilor de carbon.

3.2.6 Sinergia unui sistem multi-energetic

Datorită echipamentelor de conversie a energiei, sistemul Energy Internet poate realiza un flux flexibil către diferite sisteme fizice, îmbunătățind stocarea și utilizarea cascadata a energiei, conversia și eficiența utilizării sale. Cu toate acestea, diferența dintre proprietățile fizice ale diferitelor surse de energie face ca managementul centralizat să fie dificil. Utilizând un sistem blockchain într-o piață multi-energetică, tranzacțiile dintre diferite sisteme de energie și prețul la care au avut loc acele tranzacții pot fi stocate, iar prețul poate fi generat în timp real.

4 Implementarea sistemului Blockchain - platformă de tranzacționare

ÎN urma definirii problemei actuale de management al resurselor în cadrul sectorului energetic, am prezentat tehnologia Blockchain și arhitectura sistemului, alături de funcționalitățile și beneficiile pe care le aduce. Mai mult, am conturat aplicabilitatea sa pentru domeniul energetic, oferind o prezentare descriptivă a acestor probleme și modul în care sunt soluționate prin dezvoltarea unui sistem blockchain pentru această industrie.

Astfel, a fost implementată o soluție prototip sub forma unei platforme de tranzacționare a resurselor energetice, fiecare tranzacție fiind validată și certificată cu ajutorul tehnologiei Blockchain și a contractelor Smart. Alegerea soluției este validată de interesul ridicat pentru cercetarea și dezvoltarea tehnologiei Blockchain în multiple sectoare economice, cu atât mai mult în cel energetic.

BP a alocat investiții cu scopul utilizării unui sistem blockchain pentru gestionarea și urmărirea lanțurilor de aprovizionare, pentru a stoca și valida contractele și pentru a îmbunătăți gradul de eficiență al managementului intern. **Enel** a testat utilizarea blockchain având ca scop înregistrarea și gestionarea datelor de consum energetic și pentru facilitarea tranzacțiilor din rețea. [1]

Recent, Uniunea Europeană a dezvoltat mecanismul **AggregateEU** din cadrul platformei **EU Eenergy Platform**, oferind, astfel, o soluție pentru cererea agregată și cumpărarea în comun a gazului natural și petrolier lichefiat. Prin intermediul platformei **PRISMA**, mecanismul are posibilitatea de a agrega cererea de gaz pentru a acorda cea mai competitivă ofertă de furnizare de pe piața globală și permite companiilor din Uniunea Europeană să cumpere atât gaz de conductă, cât și LNG. [5]

Interesul oferit dezvoltării tehnologiei Blockchain pentru industria energetică, dar și a unei platforme ce oferă posibilitatea întreprinderilor de orice scară să tranzacționeze materii prime pentru producția de energie electrică, afirmă fiabilitatea și actualitatea implementării unei platforme de tranzacționare a resurselor energetice bazate pe un sistem blockchain.

4.1 Componentele arhitecturii de sistem

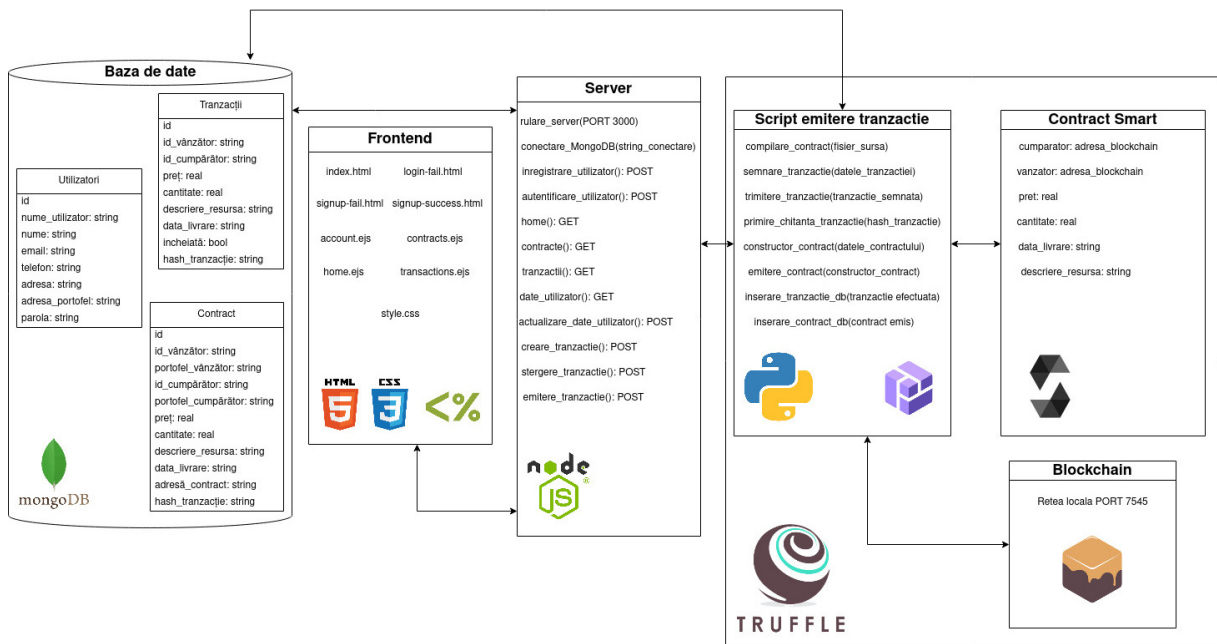


Figura 4.1: Arhitectura de sistem a platformei de tranzacționare

Arhitectura sistemului platformei de tranzacționare a resurselor energetice include multiple tehnologii și limbaje de programare cu scopul implementării mecanismului de declanșare a tranzacției și emiteri a contractului Smart, dar și pentru partea de server, ce comunică cu baza de date și interfața web vizuală pentru a obține o soluție cât mai eficientă și scalabilă.

4.1.1 Tehnologiile utilizate

Tehnologiile utilizate în implementarea platformei de tranzacționare sunt:

1. MongoDB
2. Node.js
3. Truffle
4. Web3
5. MetaMask

1. **MongoDB**, cunoscut și ca bază de date NoSQL, este un sistem de gestionare a bazelor de date non-relaționale conceput pentru a oferi scalabilitate și performanță ridicată în gestionarea unui volum mare de date. Acesta implementează modelul de stocare bazat pe *documente*, fiind structuri de date care conțin perechi cheie-valoare ce pot fi organizate în colecții. Acest lucru oferă flexibilitate în structura datelor, permițând adăugarea sau eliminarea de câmpuri din documente fără a afecta alte documente din colecție.

Datorită abordării NoSQL, MongoDB elimină limitările cu privire la tabelele și relațiile inerente bazelor de date relaționale. Acest lucru face ca MongoDB să fie o alegere fiabilă pentru aplicații ce necesită modele de date dinamice și scalabile. Datele sunt distribuite

pe mai multe servere, obținând, astfel, o eficiență ridicată pentru aplicațiile cu un volum amplu de date și o toleranță mare la erori în cazul unei situații de hazard.

Astfel, pentru a obține o aplicație cu un factor de scalabilitate cât mai ridicat, cu un grad de flexibilitate a stocării datelor cât mai mare, având un risc de pierdere a datelor cât mai scăzut, MongoDB este alegerea optimă ca soluție pentru baza de date a platformei, fiind în strânsă sinergie cu sistemul blockchain și specificațiile sale.

2. **Node.js** este un mediu de execuție ce permite codului JavaScript să ruleze în afara browserului de internet, oferind astfel, o soluție eficientă și scalabilă în ceea ce privește implementarea serverului. Datorită modelului său de programare bazat pe evenimente, pot fi gestionate mai multe solicitări simultan, independente una de cealaltă, răspunzând în mod eficient la evenimentele de intrare și de ieșire. Node.js folosește un mecanism asincron, oferind un grad ridicat de performanță și eficiență în ceea ce privește abordarea multiplelor solicitări concurente.

Datorită modularității date de *Node Package Manager (npm)*, Node.js oferă un factor de scalabilitate sporit, permițând adăugarea cu ușurință de noi funcționalități în cadrul unui server complex. Astfel, utilizarea tehnologiei Node.js pentru implementarea serverului platformei de tranzacționare a fost soluția potrivită, întărind, astfel, beneficiile sistemului blockchain, prin proprietățile sale funcționale.

3. **Truffle** este o suită ce conține multiple componente și caracteristici, aflată în sinergie cu tehnologia *Web3*, având scopul de a facilita construirea, testarea și gestionarea aplicațiilor ce au ca fundament ecosistemul Ethereum sau alte rețele blockchain compatibile. Este o componentă esențială dezvoltării, apelării și emiterii contractelor Smart, datorită limbajului de programare *Solidity*, cu ajutorul căruia un cod sursă ce implementează un contract Smart poate fi scris și compilat.

În componența suitei Truffle se regăsește și mediul de dezvoltare **Ganache**, prin intermediul căruia putem lansa o rețea locală blockchain preconfigurată cu portofele digitale, chei publice și private, valută crypto, însă ne oferă posibilitatea de a configura rețeaua lansată local conform specificațiilor dorite, precum prețul gas, limita gas, modul de minare sau id-ul rețelei.

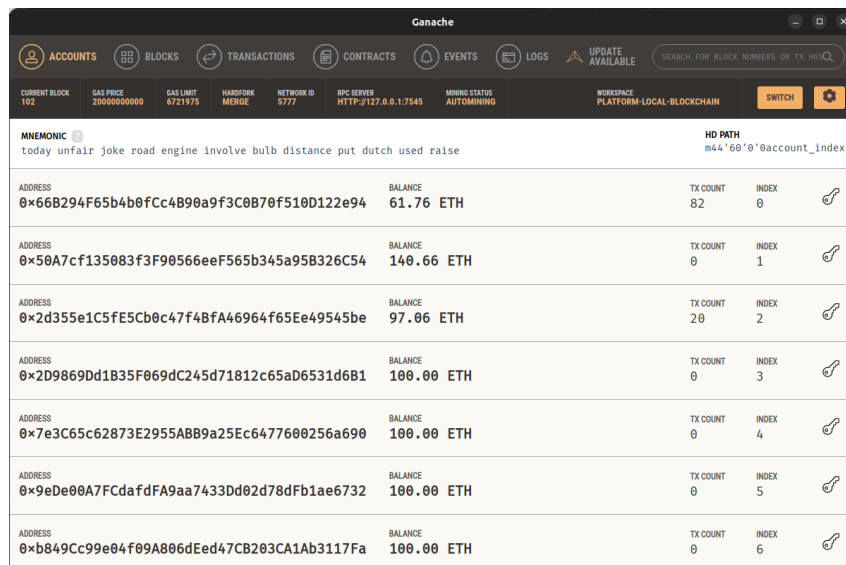


Figura 4.2: Mediul de dezvoltare Ganache cu o rețea lansată pe Localhost PORT 7545

4. Ideea de concept **Web3** a apărut în 2009 cu lansarea criptomonedei Bitcoin de către auto-
rul pseudoanonim Satoshi Nakamoto în punctul critic al crizei financiare, prin tehnologia

blockchain ce stă la baza primei criptomonede din lume. Cu toate că rețeaua Bitcoin are rol strict valutar, arhitectura din spate oferă multiple posibilități de dezvoltare. Astfel, apare ecosistemul Ethereum, care, pe lângă criptomoneda lansată, oferă o platformă de dezvoltare a altor criptomonede bazate pe respectivul ecosistem și a aplicațiilor descentralizate, ținând spre atingerea scopului de a obține ”un calculator pentru întreaga planetă”, așa cum susține Gavin Wood, unul dintre co-fondatorii Ethereum. Practic, Web3 este o extensie a capacității de dezvoltare a criptomonedelor. [8]

Proprietatea de interconectivitate și descentralizare în cadrul Web3 este dată de posibilitatea aplicațiilor și a protocoalelor bazate pe blockchain de a comunica și interacționa între ele într-o manieră interoperabilă și sigură.

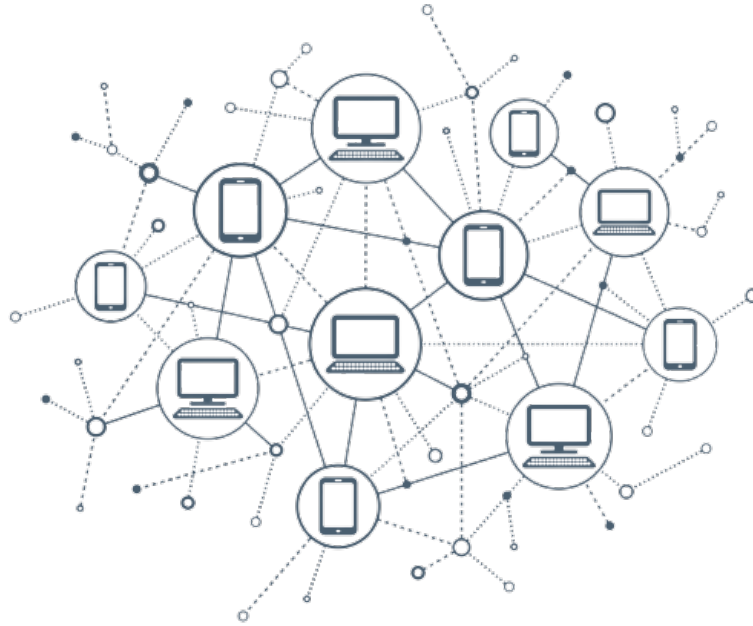


Figura 4.3: Interconectivitatea nodurilor de rețea în cadrul Web3

Așadar, **Web3** este un concept tehnologic utilizat pentru interacțiunea cu tehnologiile web descentralizate și sistemele ce au la bază o rețea blockchain, fiind asociat deseori cu ecosistemul Ethereum. Prin Web3 este oferită o platformă de dezvoltare a aplicațiilor descentralizate, a contractelor Smart și o soluție pentru emiterea tranzacțiilor și manipularea monedelor crypto din spațiul de rețea. Web3 conține un set de biblioteci și instrumente pentru a facilita interacțiunea cu blockchain-ul.

Datorită bibliotecii *Web3.py*, putem valida și declanșa o tranzacție între două portofele digitale aflate în aceeași rețea blockchain, putem implementa și compila un contract Smart ce respectă cerințele domeniului energetic și îl putem emite pe blockchain pe baza tranzacției efectuate, conținând datele de interes pentru certificarea schimbului de resurse.

5. **MetaMask** este o extensie de browser cu ajutorul căreia se pot accesa unul sau mai multe portofele digitale prin intermediul cheii publice și a frazei secrete de acces. Astfel, pot fi efectuate operații de tranzacție a criptomonedelor, notificări în timp real în ceea ce privește depozitățile și retragerile, interacțiuni cu contractele Smart și gestionarea identității digitale

Datorită interacțiunii sale cu aplicațiile descentralizate, putem conecta MetaMask la rețeaua locală blockchain lansată cu ajutorul mediului de dezvoltare Ganache și monitoriza

soldurile portofelelor digitale de pe rețea și istoricul tranzacțiilor, oferind o imagine de ansamblu simplificată pentru testarea platformei de tranzacționare în energie.

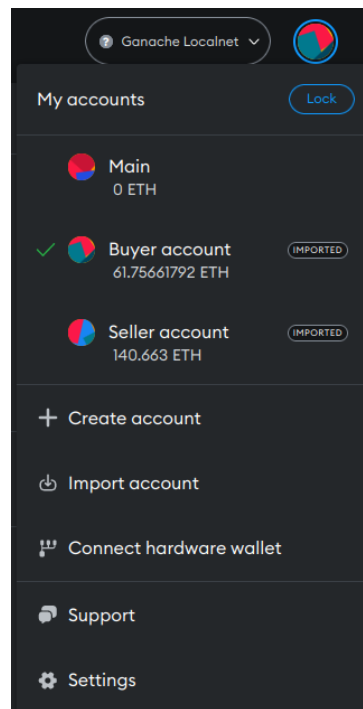


Figura 4.4: Extensia MetaMask conectată la blockchain-ul local și la două portofele din rețea

4.1.2 Limbaje de programare utilizate

Limbajele de programare utilizate pentru implementarea tehnologiilor descrise mai sus și a platformei de tranzacționare sunt următoarele:

1. Python
 2. Solidity
 3. JavaScript
1. **Python** este un limbaj de programare interpretat, de nivel înalt, cu scop general, ce oferă o sintaxă simplistă și ușor de dezvoltat, fiind unul dintre cele mai populare limbaje de programare din întreaga lume, datorită flexibilității sale în diferite domenii, precum știința datelor, automatizare, machine learning, inteligență artificială sau blockchain. Setul vast de biblioteci și module implementate pentru Python oferă o platformă de dezvoltare vastă și aplicabilă în mai multe arii ale dezvoltării software, având un grad de modularitate ridicat.

Datorită proprietăților descrise mai sus și a metodelor și instrumentelor valabile, am ales limbajul de programare Python și biblioteca sa pentru dezvoltare pe blockchain *Web3.py* pentru implementarea script-ului de declanșare a tranzacției între două portofele digitale și compilarea și emiterea contractului Smart de efectuare a tranzacției pe rețeaua blockchain, cu o locație de adresă unică în cadrul rețelei.
 2. **Solidity** face parte din componentele suitei *Truffle* și este un limbaj de programare dezvoltat pentru implementarea de contracte Smart în cadrul aplicațiilor descentralizate pe platforma Ethereum. Poate fi utilizat în cadrul Ethereum Virtual Machine(EVM).

Cu ajutorul Solidity, putem proiecta și dezvolta un contract Smart conform cu cerințele domeniului energetic, ce poate fi stocat pe rețeaua blockchain la o locație de adresă unică pentru a obține certificarea și trasabilitatea tranzacțiilor de resurse. Validitatea contractului Smart este întărită de mecanismele de securitate, care ajută la diminuarea vulnerabilităților cibernetice, precum reintrări, overflow sau underflow.

3. **JavaScript** este un limbaj de programare interpretat, de nivel înalt, orientat în principal pe dezvoltarea de aplicații web, oferind un grad de flexibilitate ridicat datorită multiplelor biblioteci dezvoltate având ca fundament JavaScript, fiind folosit atât pentru back-end, cât și front-end. Asemănător cu Python, are o sintaxă simplistă și ușor de dezvoltat, însă este însoțit cu un nivel de interacțiune ridicat cu browser-ul de internet, oferind totodată o varietate de soluții pentru implementarea unor interfețe de utilizator dinamice și interactive.

Astfel, JavaScript a fost alegerea optimă ca limbaj de programare pentru implementarea serverului platformei de tranzacționare datorită proprietăților de mai sus și a mediului de rulare *Node.js*, permițându-ne trimiterea și accesarea datelor de la baza de date *MongoDB*, apelarea și rularea scriptului de declanșare a tranzacțiilor și emitere a contractelor Smart, trimiterea datelor de intrare ale tranzacțiilor către script și randarea și popularea elementelor vizuale ce fac parte din front-end-ul aplicației web.

4.1.3 Standardele de programare aplicate

Standardele de programare sunt un set de reguli și convenții cu scopul de a obține un grad ridicat de calitate și coerență în procesul de dezvoltare software, obținând un cod eficient, ușor de înțeles și de întreținut. Acestea sunt importante pentru a asigura buna dezvoltare a proiectului și pentru a oferi un grad ridicat de scalabilitate pe viitor. Standardele utilizate în crearea platformei de tranzacționare sunt:

1. **Standard de denumire:** pe tot parcursul dezvoltării aplicației a fost utilizat standardul de denumire *snake case* pentru variabilele și metodele implementate, pentru a evita ambiguitatea și a crește lizibilitatea codului.
2. **Formatarea codului:** a fost respectat coding style-ul tip Java, respectându-se poziția parantezelor, inserarea spațiilor și a liniilor libere și s-a evitat pe cât de mult posibil *nesting-ul* instrucțiunilor, pentru a obține un cod curat și ușor de înțeles.
3. **Gestionarea erorilor și excepțiilor:** tratarea erorilor și excepțiilor în cazul accesului la baza de date, pentru a evita funcționarea defectuoasă a serverului și a aplicației web.
4. **Documentație:** documentația codului a fost făcută cu ajutorul prezentei lucrări, prin descrierea funcționalității aplicației în secțiunea următoare.

4.2 Modul de funcționare al aplicației

Prin platforma de tranzacționare a resurselor energetice, utilizatorii pot lista și cumpăra resurse din sectorul economic al energiei. Prin urmare, accesul la platforma se face printr-un cont de utilizator ce cuprinde toate datele necesare pentru validarea părții implicate într-o tranzacție. Este necesară autentificarea cu un cont de utilizator valid.



Figura 4.5: Pagina de autentificare a platformei

Se face o cerere de POST către server și se verifică dacă există utilizatorul în baza de date și dacă parola introdusă este corectă. În cazul în care credențialele introduse sunt incorecte și nu corespund unui cont existent din baza de date, utilizatorul este întâmpinat cu mesajul de eroare din Figura 4.6.

Autentificarea nu a avut succes.
Verificati numele de utilizator si parola si reincercati [aici](#).

Figura 4.6: Autentificare eșuată

Pentru înregistrarea unui cont pe platformă, se alege opțiunea de *Înregistrare* și se introduc datele cerute în câmpurile din Figura 4.7 pentru crearea unui cont.

Se face o cerere de POST către server și se verifică existența contului de utilizator introdus. La fel ca și în cazul autentificării, dacă numele de utilizator este deja ales, utilizatorul va fi întâmpinat cu un mesaj de eroare. În caz contrar, contul de utilizator este adăugat în baza de date, iar utilizatorul este notificat de crearea cu succes a contului și este posibilă autentificarea pentru accesul la platforma de tranzacționare.

The image shows a registration form titled 'Platforma de tranzactionare a resurselor energetice'. At the top, there are two tabs: 'AUTENTIFICARE' and 'INREGISTRARE', with 'INREGISTRARE' being the active tab. The form is a white card with a light blue shadow, containing several input fields: 'Nume utilizator', 'Nume complet', 'E-mail', 'Numar de telefon', 'Adresa', 'Adresa portofel digital', and 'Parola'. Each field has a corresponding light blue input box. At the bottom of the form is a blue button with white text that says 'Inregistreaza-te'.

Figura 4.7: Pagina de înregistrare a unui cont de utilizator

The image shows the 'Home' page of the platform. On the left is a dark blue sidebar menu with white text links: 'Meniu', 'Home', 'Tranzactiile mele', 'Contractele mele', 'Contul meu', and 'Delogare'. The main content area has a light blue background. At the top, it says 'Home' in bold. Below that, the title 'Tranzactii globale deschise' is followed by a table. The table has four columns: 'Resursa', 'Pret', 'Cantitate', and 'Vanzator'. Under the 'Resursa' column, it says 'Nu exista tranzactii deschise'. Below the table is a green button with white text that says '+ Adauga tranzactie'.

Figura 4.8: Pagina de Home a platformei

În urma autentificării cu succes, utilizatorul este redirecționat la pagina de *Home*, regăsită în Figura 4.8. Se face o cerere de GET către server și se selectează din baza de date toate

tranzacțiile deschise de ceilalți utilizatori ai platformei, fiind listate la categoria de *Tranzacții globale deschise*. În situația de mai sus, nu există nicio tranzacție deschisă pe platforma în acest moment, deci vom deschide o tranzacție de vânzare a unei cantități de 500 u.m. de LNG la un preț de 0.5 ETH(Ethereum) prin completarea câmpurilor din popup-ul prezentat în Figura 4.9.

Introduceti datele tranzactiei ✕

Resursa

LNG

Pret

0.5

Cantitate

500

Creeaza tranzactie

Figura 4.9: Creare tranzacție de vânzare

În urma completării și apăsării butonului *Creează tranzacție*, se trimite o cerere de POST către server și se inserează tranzacția în baza de date, pentru a fi vizibilă tuturor utilizatorilor platformei. Utilizatorul este redirecționat la pagina de *Tranzacțiile mele*, unde poate vedea atât istoricul tranzacțiilor efectuate pe platformă, cât și tranzacțiile deschise. Se poate vedea în Figura 4.10 la categoria de *Tranzacții deschise* că oferta a fost creată cu succes.

Menu	Tranzacțiile mele						
Home							
Tranzacțiile mele							
Contractele mele							
Contul meu							
Delegare							
	Tranzacții încheiate						
	Tip	Resursa	Pret	Cantitate	Data	Comparator/Vanzator	Hash
	Vanzare	Petrol	2	150	2023/05/22 19:15:38	buyer_account1	0x173e5d8a027b7410208939030c4f3e15b006d26a0287f7738b3e4d65cd11bdd
	Vanzare	Petrol	2	150	2023/05/22 19:15:49	buyer_account1	0x338fb1eeab738c06180146852266f30098f5c22795cbec8d2c4f2310a91a1c
	Vanzare	Gaz natural	1.2	15	2023/05/22 19:16:01	buyer_account1	0x3ba3e506876f6ade8c9bc9c06f8b930645f1c52a8b90b15c97734e7e796c354
	Vanzare	GPL	0.7	70	2023/05/22 19:16:38	buyer_account1	0xd1a1962953b959789215f6d427ef089844571c76145c752ad68f1c7f8833a2
	Vanzare	Petrol	2.35	250	2023/05/22 19:20:38	new_account1	0x723b3c509245ac974ee4eadf98d65740bd11cd389c8c94a09116c28654d8a
	Vanzare	Gaz metan	3.75	120	2023/05/22 19:20:54	new_account1	0x9ded777c4d298029f15efa34dbdc67211f47d6d724d07eb02c039e3003abf0f
	Vanzare	Resursa Test	0.725	250	2023/05/28 19:40:57	buyer_account1	0x569f8803cc2e117006ec044f79a861f229d520545b5ff8d8e02076796be3cd8
	Vanzare	Petrol	1	100	2023/05/28 19:48:35	buyer_account1	0x44d650c0b55c72224d4e9d9071b023ab50cd7a7c0f6b8c0b47480db9393a81c
	Vanzare	Petrol/Inf	0.555	2300	2023/05/28 19:50:55	buyer_account1	0x1371339c54f0246924a04894c26d9f1c4a5d71e456fcd034625f6a950509
	Vanzare	GazMetan	0.5	150	2023/05/28 19:56:48	buyer_account1	0x2e9d5534c1b3d8a4f51716084492739ad5580f85fc948665275814172244e19
	Vanzare	PetrolScump	0.233	5000	2023/05/28 19:57:14	buyer_account1	0xbf6f08f14233cd52d745a3b2535a773a628bc4c575a3fe9a821c29797001c4f
	Vanzare	Resursa SellAcc	0.3	500	2023/05/28 19:58:16	buyer_account1	0xd982644ec176b0d6d43abdc0b4a4aee5efdb3a09362621716725a14124eab
	Vanzare	Petrol	0.45	300	2023/05/28 20:41:58	buyer_account1	0x255f524ae953d655101b7ba3f70b40f31e11089d5fde670234d24b4e1d86e
	Vanzare	GPL	0.5	300	2023/05/29 01:56:43	new_account1	0x8b0cd64d423fef739a3200c3d69480f40db1a6f62f3dc259d5b9c67864ab9
	Vanzare	GPL	0.5	300	2023/05/29 01:59:04	new_account1	0x37d0dd6d1bd6ff15531e9a8bf7b761f2411ac9c898d2fa5669c297f60069cc
	Vanzare	GPL	0.5	300	2023/05/29 01:59:31	buyer_account1	0xa69b1aa6191f8dce2a5dce08751c6c8bb8c17b051e5c510cce21270dae95c06e
	Vanzare	GPL	0.5	300	2023/05/29 02:02:12	new_account1	0xa49208011625063ca1372baafcb34d0c33b05f0163aaab02155c14db970f724
	Vanzare	PETROLbio	0.3	500	2023/05/29 11:19:36	buyer_account1	0xf14356eb047bcd3a3b3d4c0be550c647d0f4e0cb4b4416ff13c31da1e7eb6
	Tranzacții deschise						
	Resursa	Pret	Cantitate	Status			
	LNG	0.5	500	Stare			

Figura 4.10: Istoricul tranzacțiilor și tranzacțiile deschise

În cazul în care datele tranzacției au fost introduse incorect sau utilizatorul nu mai dorește să listeze oferta creată, acesta poate șterge tranzacția deschisă prin apăsarea butonului *Șterge*, ce va deschide popup-ul prezentat în Figura 4.11, prin intermediul căruia este confirmată ștergerea tranzacției listate. În cazul în care se confirmă, se trimite o cerere de POST către server și se șterge tranzacția din baza de date.

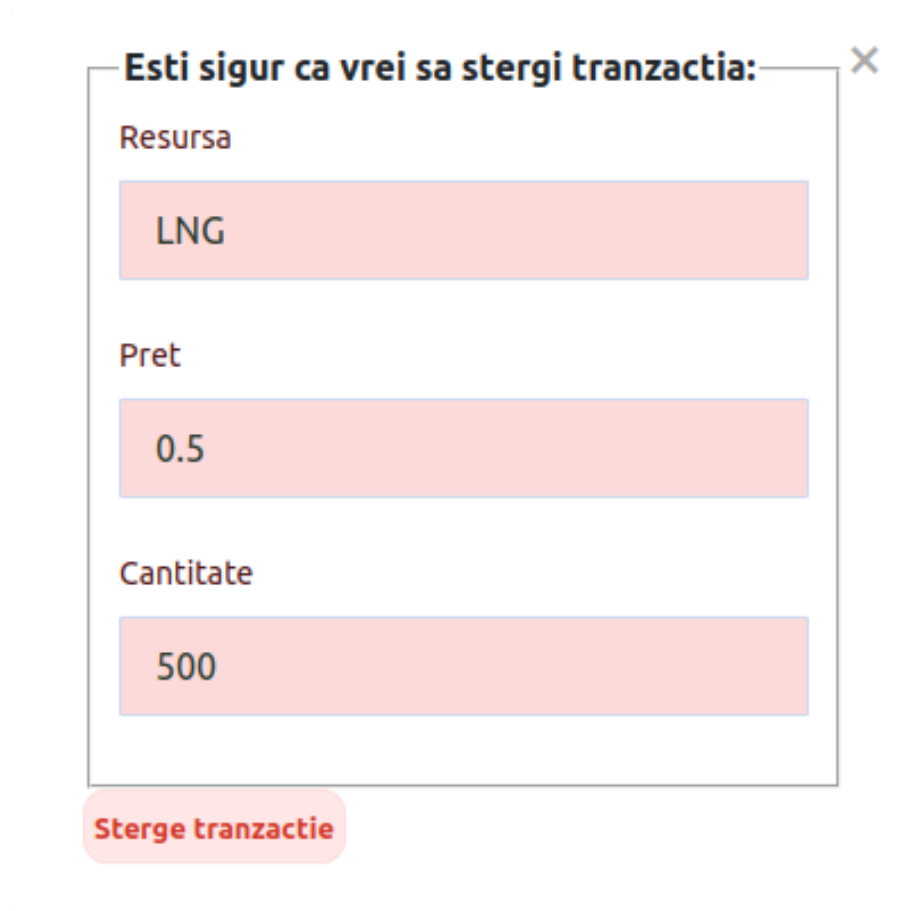


Figura 4.11: Ștergere tranzacție deschisă

Dorim să declanșăm tranzacția creată anterior și să achiziționăm resursa listată. Ne autentificăm cu un contul de utilizator cumpărător și suntem redirecționați la pagina de *Home*, unde este afișată tranzacția deschisă de utilizatorul *seller account1*, după cum se poate vedea în Figura 4.12

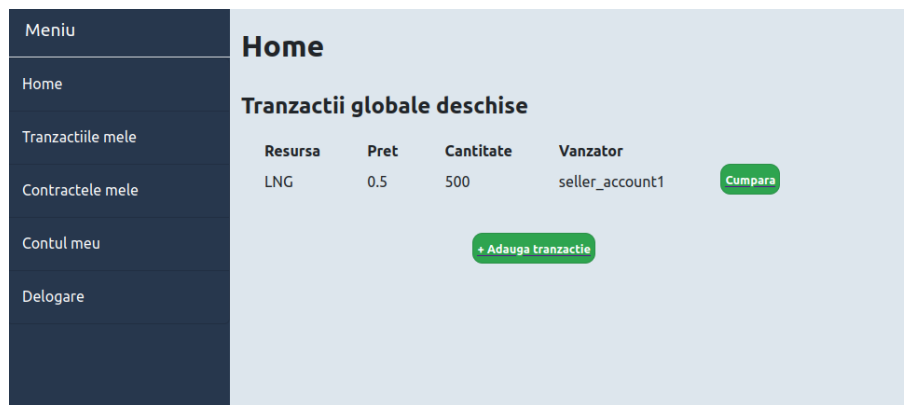


Figura 4.12: Pagina de Home din perspectiva cumpărătorului

După apăsarea butonului *Cumpără*, utilizatorul trebuie să confirme cumpărarea ofertei listate prin introducerea cheii private a portofelului digital asociat contului de utilizator, după cum se observă în Figura 4.13. Cheia privată a portofelului digital nu este stocată în baza de date și nu este vizibilă dezvoltatorului software, fiind transmisă o singură dată script-ului de emisie a contractului Smart pentru declanșarea tranzacției dintre portofelul digital al cumpărătorului și cel al vânzătorului.

Esti sigur ca vrei sa cumperi:

Resursa

LNG

Pret

0.5

Cantitate

500

Vanzator

seller_account1

Pentru confirmare, introdu cheia privata a portofelului digital

e154b2b11f346a01ce6be802c1e2d03

Cumpara resursa

Figura 4.13: Confirmare tranzacție

Înainte de efectuarea tranzacției, soldul inițial al portofelelor digitale ale cumpărătorului și vânzătorului pot fi observate cu ajutorul extensiei *MetaMask* în Figura 4.14

În urma apăsării butonului *Cumpără resursă* din Figura 4.13, se face o cerere de POST către server cu datele tranzacției, precum denumire resursă, preț, cantitate, nume de utilizator

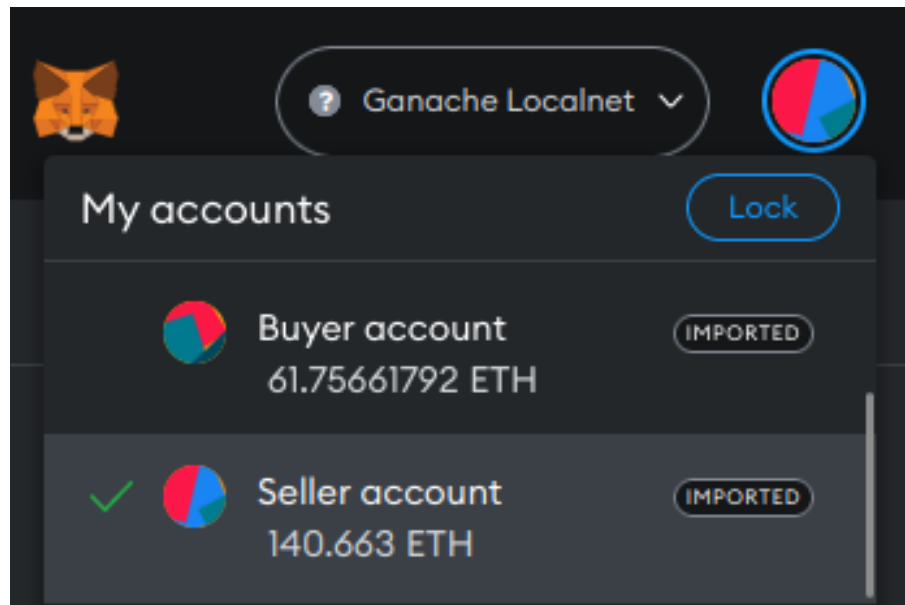


Figura 4.14: Sold inițial al portofelelor digitale ale cumpărătorului și vânzătorului

vânzător și portofel digital. Pe baza numelor de utilizator cumpărător și vânzător, se preiau din baza de date adresele digitale și id-urile asociate conturilor și se apelează script-ul de declanșare a tranzacției dintre portofele și de emitere a contractului de vânzare-cumpărare cu argumentele: *portofel cumpărător, cheie privată cumpărător, cheie privată vânzător, preț, cantitate, descriere resursă*.

În urma apelării script-ului de tranzacții, este activat mecanismului de declanșare a tranzacției și de emitere a contractului Smart, workflow-ul său fiind reprezentat în Figura 4.15, și funcționează astfel:

- se trimite la cererea vânzătorului din front-end către server o cerere de creare a ofertei de vânzare și adresa portofelului acestuia;
- se trimite la cererea cumpărătorului din front-end către server o cerere de cumpărare a ofertei listate de către vânzător și se trimit adresa portofelului și cheia privată;
- în urma cererii de cumpărare, serverul trimite către script-ul de tranzacție o cerere de declanșare a tranzacției, adresa portofelului digital și cheia privată a portofelului, dar și numele de utilizator al contului cumpărătorului;
- în urma cererii de cumpărare, serverul trimite către script-ul de tranzacție datele tranzacției, adresa portofelului vânzătorului și numele de utilizator al acestuia;
- prin script-ul de tranzacție, ce folosește biblioteca *Web3.py*, este accesată *Ethereum Virtual Machine* pentru a efectua tranzacția și a emite contractul Smart;
- *Ethereum Virtual Machine* trimite la blockchain-ul lansat în mediul *Ganache* cererile de declanșare tranzacție și emitere contract Smart cu datele aferente și primește locațiile de adresă ale blocurilor unde au fost stocate tranzacția și contractul Smart;
- în urma stocării și validării cu succes pe blockchain a tranzacției și a contractului Smart, script-ul salvează datele de tranzacție și contractul Smart în baza de date MongoDB pentru accesul ușor la informații de către utilizator;
- în urma stocării datelor tranzacției și contractului în baza de date, acestea se trimit la front-end pentru a permite vizualizarea datelor de către utilizatorii implicați în tranzacție.

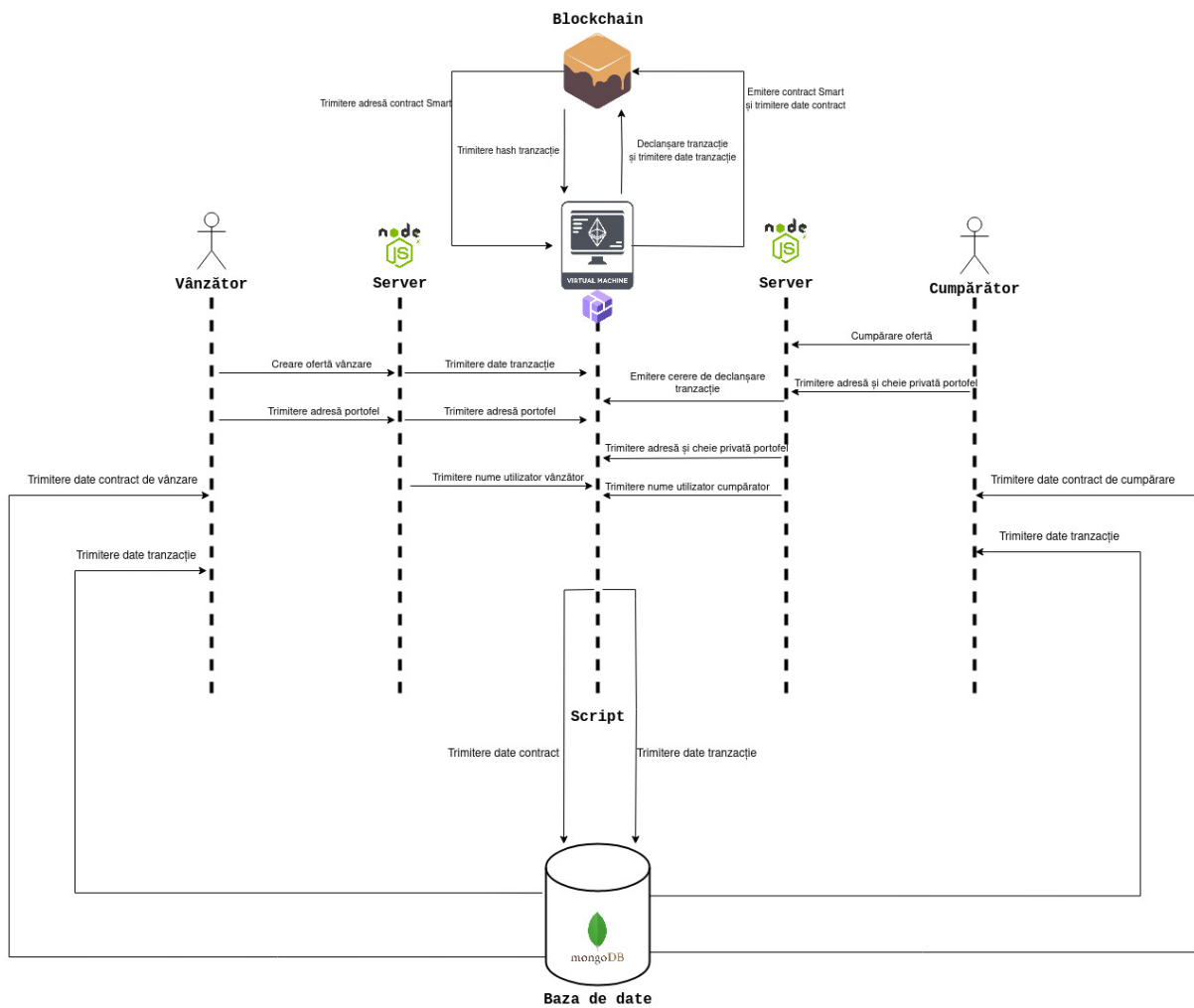


Figura 4.15: Diagrama workflow a mecanismului de declanșare a tranzacției și de emitere a contractului Smart

Pentru validarea tranzacției efectuate este emis un contract Smart ce respectă specificațiile domeniului energiei și este generat cu ajutorul limbajului de programare *Solidity*. În contextul vânzării-cumpărării resurselor energetice, sunt esențiale datele precum cumpărător, vânzător, preț, cantitate și denumirea resursei ce urmează a fi tranzacționată. Data livrării este o informație importantă, deoarece marchează statusul de livrare al resursei. În situația actuală, fiind vorba de o platformă prototip, care nu implică o tranzacție propriu-zisă a unei cantități de resurse energetice, se consideră data de livrare ca momentul în care este emis contractul. Structura fișierului sursă **contract.sol**, echivalentă cu cea a contractului Smart de tranzacționare a resurselor energetice, este următoarea:

```

1 contract ContractEnergie {
2
3     # datele contractului
4     adresa publica cumparator
5     adresa publica vanzator
6     string pret
7     string cantitate
8     string data_livrare
9     string descriere_resursa
10
11    # constructor pentru popularea datelor contractului
12    Constructor(adresa publica _cumparator, adresa publica _vanzator, string _pret,
13                string _cantitate, string _data_livrare, string _descriere_resursa) {

```

```

15     cumparator = _cumparator
    vanzator = _vanzator
    pret = _pret
17     cantitate = _cantitate
    data_livrare = _data_livrare
19     descriere_resursa = _descriere_resursa
21 }
}

```

După execuția cu succes a script-ului de tranzacții, acesta trimite serverului output-ul execuției, după câte se observă în Figura 4.16

```

Python script output:
Tranzactie efectuata cu succes avand hash: 0xf7827842c3df5feb784af2f87e797f7d54
2021ecc05772607d90f1c14963c0bb
Contract emis cu succes la adresa: 0xbEEDbD7312EDe1F5051082C4bFfc5D97eb3566F6
Timestamp: 2023/06/20 18:15:18
Tranzactia a fost adaugata cu succes in baza de date, cu id-ul: 6491c287ec625ca7
affd4a7a
Contractul Smart a fost adaugat cu succes in baza de date, cu id-ul: 6491c287ec6
25ca7affd4a7b

```

Figura 4.16: Output-ul execuției fără erori a script-ului de tranzacții

Soldul celor două portofele digitale a fost modificat, retrăgându-se 0.5 ETH din portofelul cumpărătorului, care sunt transferați în portofelul vânzătorului, după cum se vede în Figura 4.17

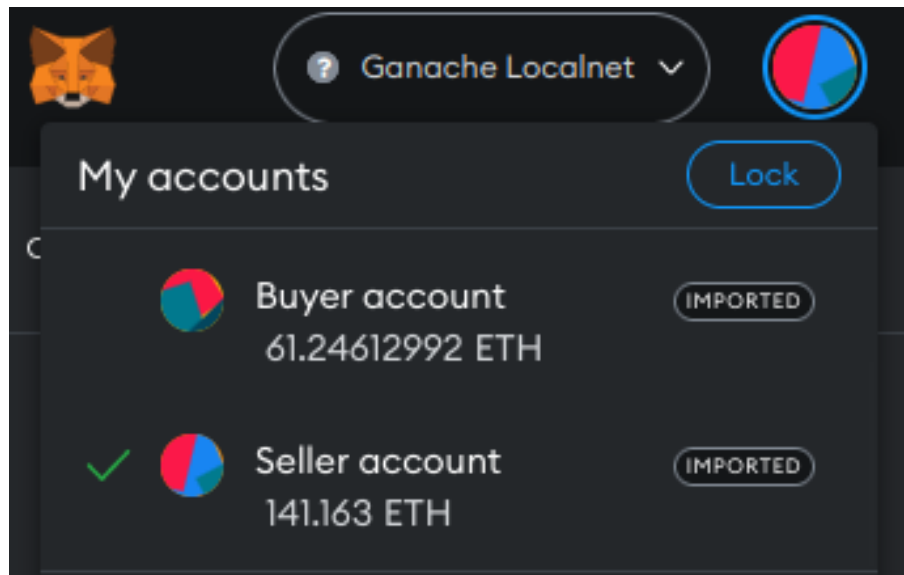


Figura 4.17: Soldul actualizat al portofelelor digitale în urma tranzacției

Tranzacția și emiterea contractului Smart sunt semnalate în *Ganache*, având o locație unică de adresă unde sunt stocate pe blockchain, iar numărul blocului curent a fost modificat, după cum se observă în Figura 4.18.

Informațiile cu privire la tranzacția de vânzare-cumpărare a resursei sunt afișate pe platforma de tranzacționare în pagina *Tranzacțiile mele* din Figura 4.19, iar pagina *Contractele mele* conține datele contractului Smart emis pentru validarea tranzacției. În cazul de față, detaliile contractului se regăsesc în Figura 4.20.

CURRENT BLOCK 104	GAS PRICE 20000000000	GAS LIMIT 6721975	HARDFORK MERGE	NETWORK ID 5777	RPC SERVER HTTP://127.0.0.1:7545	MINING STATUS AUTOMINING	WORKSPACE PLATFORM-LOCAL-BLOCKCHAIN	SWITCH	
TX HASH 0x05064f6a388cd11907ec162f7f83ef469d7725fe73da5fed78863210d0925c69a								CONTRACT CREATION	
FROM ADDRESS 0x66B294F65b4b0fCc489ba9f3C8B70f510D122e94		CREATED CONTRACT ADDRESS 0xbEDEbD7312EDe1F5051082C4bFFc5D97eb3566F6				GAS USED 503400	VALUE 0		
TX HASH 0xf7827842c3df5feb784af2f87e797f7d542021ecc05772607d90f1c14963c0bb								VALUE TRANSFER	
FROM ADDRESS 0x66B294F65b4b0fCc489ba9f3C8B70f510D122e94		TO ADDRESS 0x58A7c7f135083f3F98566eeF565b345a95B326C54				GAS USED 21000	VALUE 500000000000000000		

Figura 4.18: Tranzacția și emiterea contractului Smart în istoricul Ganache

Menu	Tranzacțiile mele						
Home							
Tranzacțiile mele	Tranzacții încheiate						
Contractele mele	Tip	Resursa	Pret	Cantitate	Data	Cumparator/Vanzator	Hash
Contul meu	Compare	Petrol	2	150	2023/05/22 19:15:38	seller_account1	0x173e5da027b7410208939030c4f3e15b00626a0628f7738b3e4d65cd1b0d
	Compare	Petrol	2	150	2023/05/22 19:15:49	seller_account1	0x338fb1ecab738c06180146852266f30098f5c22795cbec82c4f2310a91a1c
Delogare	Compare	Gaz natural	1.2	15	2023/05/22 19:16:01	seller_account1	0x3ba2e050687f6ade8c9cb068930645f52aab90b15c9f734e7b796354
	Compare	GPL	0.7	70	2023/05/22 19:16:38	seller_account1	0xcfa19b2953d959789215f6d427f08984457c76145c752ab68f1cfc8b833a2
	Compare	Gaz metan	1.25	20	2023/05/22 19:22:24	new_account1	0xf645596ae2cd87c4720dc0f06bd8542e75e00cb360dc4bb2e84fd1f966
	Compare	Gaz metan	1.25	20	2023/05/22 19:22:38	new_account1	0x866078e51cd86ad0e99779e31f1f89e31c1fcd80014f8393afbb1e33e74d6e
	Compare	Gaz metan	1.25	20	2023/05/22 19:23:07	new_account1	0x19f48720e517297ed0f73440fb0994154ade0f194d430bf55af5c4b803b49
	Compare	GNL	0.82	45	2023/05/22 19:23:16	new_account1	0x148eb10838b5623927b8fa493c8d26e5f5b61077b0d7436da3d8a6d7bf43a
	Compare	Resursa Test	0.725	250	2023/05/28 19:40:57	seller_account1	0x569f8803c2e1177006ec044f79a8e1f22e520545b5f8b8a0207690b3c08
	Compare	Petrol	1	100	2023/05/28 19:40:35	seller_account1	0x446505d5557222464e9d9713023ab50dffa7cfe38e9647d60db393841c
	Compare	Petrollefin	0.555	2300	2023/05/28 19:50:55	seller_account1	0x1371339c5efb2d492eba490ac2d89f1c4a5d71e5f5d6b34d25d6f950639
	Compare	GNL	0.82	45	2023/05/28 19:55:01	new_account1	0x8f426c93032f3f6cd1459ae451acadb8b5f2391da1f6da85cb8952eab07f1c
	Compare	GazMetan	0.5	150	2023/05/28 19:56:48	seller_account1	0x2e9d553ac1b3d8a4f51716084492739ad5580895c94866527581417224de19
	Compare	PetrolScump	0.233	5000	2023/05/28 19:57:14	seller_account1	0x46f08f14233cd0c02d7f5a3a235af73e628ba4575a39fa821c29797014f
	Compare	Resursa S4 NewAcc	0.2	5000	2023/05/28 19:57:27	new_account1	0x33595e077f0c9439ead2854231843bc2d4737a1fe08b77d8410767b7cde
	Compare	GNL	0.5	300	2023/05/28 19:57:41	new_account1	0x42f897cbee3f791dbd625013f897aa975d94f928060d02704a31c1eaa6379
	Compare	Resursa NewAccount	0.1	100	2023/05/28 19:57:47	new_account1	0x22d6a95eac939ec99c0cc38986a95f0d048348c7547e16c224db5333eaf540d
	Compare	Resursa 2 NEWACC	0.2	200	2023/05/28 19:58:07	new_account1	0xf78bdc1f2f3f481f6e9c11153b6a44a396c3900250148571381496242596
	Compare	Resursa SellAcc	0.3	500	2023/05/28 19:58:16	seller_account1	0xd982644ec176b04d4d43abdc4da0ae5efdb3a69f9262d3716f725a1424eab
	Compare	Petrol	0.45	300	2023/05/28 20:35:38	new_account1	0x9c2af83ad6c17277917b4c0275f5cafb60ff47b4d4c2924e3af496c49bc4
	Compare	GazPetrolLICHEFIATbio	0.22	750	2023/05/28 20:41:29	new_account1	0x7a2603b3a266277a2f0d288f6da32b651713b354ae05d1f6eacdd139d2
	Compare	Petrol	0.45	300	2023/05/28 20:41:58	seller_account1	0x255f624e953d625107bda3f70bd40f31e109f8f56e70234d2ab4e1d86e
	Compare	GPL	0.5	300	2023/05/29 01:59:31	seller_account1	0xa69b1aa6191f8dc2a5dc08757c6888c17b851e5c510cc21270daef95c06
	Compare	PETROL3	0.2	200	2023/05/29 02:03:30	new_account1	0x2ff1635587b0d230ca7868975211a14925a38051943645297a0b3d5c94b1
	Compare	PETROLbio	0.3	500	2023/05/29 11:19:36	seller_account1	0xf14354c8b0470e2c1a3b164e0e550c47f08f4e0c0b4e14f7f1131a7a7d56
	Compare	LNG	0.5	500	2023/06/20 18:15:18	seller_account1	0xf7827842c3df5feb784af2f87e797f7d542021ecc05772607d90f1c14963c0bb

Figura 4.19: Tranzacția efectuată listată pe platformă în pagina *Tranzacțiile mele*

buyer_account1	seller_account1	LNG	500	0.5	2023/06/20 18:15:18	0xbEDEbD7312EdE1F5051082C4bFfc5D97eb3566F6	0xf7827842c3df5feb784af2f87e797f7d542021ecc05772607d90f1c14963c0bb
----------------	-----------------	-----	-----	-----	---------------------	--	--

Figura 4.20: Contractul Smart de vânzare-cumpărare emis si afișat în *Contractele mele*

Istoricul contractelor de vânzare-cumpărare este afișat în pagina *Contractele mele*, printr-o cerere de GET către server, selectându-se din baza de date toate contractele Smart în care contul autentificat este participant, vânzător sau cumpărător, așa cum reiese din Figura 4.21.

Menu	Contractele mele						
Home							
Tranzacțiile mele	Cumparator	Vanzator	Resursa	Cantitate	Pret	Data	Adresa contract
Contractele mele	buyer_account1	seller_account1	Petrol	150	2	2023/05/22 19:15:38	0x38f268C01b0b139AA74Df93f42A0B3348C5D02
Contul meu	buyer_account1	seller_account1	Petrol	150	2	2023/05/22 19:15:49	0xABCa1b6E96a312cc4c02C0C264248461E045Fe
	buyer_account1	seller_account1	Gaz natural	15	1.2	2023/05/22 19:16:01	0x03Cbd9ec9833707c329c25f1fAC0C55114187a
Delogare	buyer_account1	seller_account1	GPL	70	0.7	2023/05/22 19:16:38	0x03AC1E2024e66c392470F2FACB23778167F9Be
	buyer_account1	new_account1	Gaz metan	20	1.25	2023/05/22 19:22:24	0x3F00af481c5Ba30396465C8749f84906c675036
	buyer_account1	new_account1	Gaz metan	20	1.25	2023/05/22 19:22:38	0xA0fAeDc98D61eC15AFB9958a12BE313aAf5d02b
	buyer_account1	new_account1	Gaz metan	20	1.25	2023/05/22 19:23:07	0x050883327C18A8e69441fFAC0C78CA678cE75a8
	buyer_account1	new_account1	GNL	45	0.82	2023/05/22 19:23:16	0x1b003330b9e29A2e9D0C6c178E416E7E4d356a0a
	buyer_account1	seller_account1	Resursa Test	250	0.725	2023/05/28 19:40:57	0x4e79C0d16343704DAaA8712e4e5C308EB80CAc3Df
	buyer_account1	seller_account1	Petrol	100	1	2023/05/28 19:40:35	0x982069E3736ca042928704900f649F146B6a04B2
	buyer_account1	seller_account1	Petrollefin	2300	0.555	2023/05/28 19:50:55	0x453a51c4308c1Cf5d61891a080ACAC92F848e2
	buyer_account1	new_account1	GNL	45	0.82	2023/05/28 19:55:01	0x382116D0cabf3992143bf14c2fFA7C5462BEC
	buyer_account1	seller_account1	GazMetan	150	0.5	2023/05/28 19:56:48	0x08220a5f4f3f616AcA8E16454310Dac838B08B7
	buyer_account1	seller_account1	PetrolScump	5000	0.233	2023/05/28 19:57:14	0x73Ea795E3440A054ed44D95835101a2b15824
	buyer_account1	new_account1	Resursa S4 NewAcc	5000	0.2	2023/05/28 19:57:27	0x58882707ed99cfe9054d98a4B55a9848d91162E8
	buyer_account1	new_account1	GNL	300	0.5	2023/05/28 19:57:41	0x8502026562663E3C2E4C79F50815820A304b
	buyer_account1	new_account1	Resursa NewAccount	100	0.1	2023/05/28 19:57:47	0xd4457357e38297049fE0EBB0C3742534C7C06B

Figura 4.21: Contractele Smart emise ale utilizatorului autentificat din *Contractele mele*

În cadrul platformei de tranzacționare există și pagina de *Contul meu*, unde se pot actualiza datele contului de utilizator autentificat, precum *nume*, *e-mail*, *telefon*, *adresa*, *portofel digital* sau *parolă*, după cum se observă în Figura 4.22

Figura 4.22: Datele utilizatorului autentificat din *Contul meu*

Declanșarea tranzacției și validarea acesteia prin emiterea unui contract Smart a fost implementată cu ajutorul bibliotecii *Web3.py* a limbajului de programare *Python*, ce ne oferă posibilitatea de a accesa *Ethereum Virtual Machine* și a face operații pe blockchain-ul local, script-ul **transaction.py** având următoarea structură:

```

importa Web3 # biblioteca Python pentru Web3
2 importa pymongo # biblioteca Python pentru MongoDB
importa solcx # biblioteca Python pentru fisiere sursa Solidity
4
# preluare argumente de la server
6 (portofel_cumparator, portofel_cumparator_cp, portofel_vanzator, pret, cantitate,
   descriere_resursa) <- argumente_server

8 # conectare la rețeaua blockchain locală lansată pe PORT 7545
web3 <- Web3.conectare('localhost:7545')
10
# compilare contract
12 cale_contract <- director_contract + 'contract.sol'
contract_compilat <- solcx.compilare_contract(cale_contract)
14
# declanșare tranzacție
16 tranzactie <- web3.semnare_tranzactie(web3.numar_tranzactie(portofel_cumparator),
   web3.genereaza_pret_gas(), cantitate_gas, portofel_vanzator, pret,
   portofel_cumparator_cp)

18 hash_tranzactie <- web3.trimitere_tranzactie(tranzactie)
afiseaza('Tranzacție efectuată cu succes având hash:' + hash_tranzactie)
20
# inițializare și emitere contract
22 constructor_contract <- contract_compilat(portofel_cumparator, portofel_vanzator,
   pret, cantitate, data_livrare, descriere_resursa)

24 contract <- web3.semnare_tranzactie(constructor_contract, portofel_cumparator_cp)

26 hash_contract <- web3.trimitere_tranzactie(semnare_contract)
adresa_contract <- receipt_contract.adresa
28 afiseaza('Contract emis cu succes la adresa:' + adresa_contract)

30 # conectare la baza de date MongoDB
baza_de_date <- pymongo.conectare(string_conectare)
32
utilizatori <- baza_de_date['utilizatori']
34 id_vanzator <- utilizatori.gaseste_obiect('adresa_portofel': portofel_vanzator)['id']
id_cumparator <- utilizatori.gaseste_obiect('adresa_portofel': portofel_cumparator)[

```

```

'id']
36 document_tranzactie <- (id_vanzator, pret, cantitate, descriere_resursa,
    data_livrare, status_incheiat, id_cumparator, hash_tranzactie)
38 document_contract <- (id_cumparator, portofel_cumparator, id_vanzator,
    portofel_vanzator, pret, cantitate, descriere_resursa, data_livrare,
    adresa_contract, hash_tranzactie)
40 tranzactii <- baza_de_date['tranzactii']
42 inserare_tranzactie <- tranzactii.inserare(document_tranzactie)
    afiseaza('Tranzactia a fost adaugata cu succes in baza de date, cu id-ul:' +
        inserare_tranzactie.id)
44 contracte <- baza_de_date['contracte']
46 inserare_contract <- contract.inserare(document_contract)
    afiseaza('Contractul Smart a fost adaugat cu succes in baza de date, cu id-ul:' +
        inserare_contract.id)

```

Conectivitatea dintre componentele ce fac parte din arhitectura platformei de tranzacționare, mai exact baza de date *MongoDB*, paginile de *front-end* și modulul *Web3* ce accesează *Ethereum Virtual Machine* a fost realizată cu ajutorul serverului implementat în limbajul de programare *JavaScript*, ales pentru mediul de rulare *Node.js*, oferind un grad de modularitate ridicat în ceea ce privește procesarea cererilor de POST și GET din partea componentelor și returnarea unui răspuns la acele cereri. Structura serverului **server.js** este următoarea:

```

1 importa mongoose # biblioteca Node.js pentru baza de date MongoDB
importa spawn # biblioteca Node.js rularea script-ului de Python
3
# variabile globale pentru retinerea utilizatorului si a id-ului
5 variabila nume_utilizator
variabila id_utilizator
7
# rulare server cu pagina de autentificare pe PORT 3000
9 aplicatie.conectare('localhost:3000', 'index')
11
# conectarea la baza de date MongoDB
baza_de_date <- mongoose.conectare(string_conectare, 'bd_platforma')
13
# cerere de inregistrare cont utilizator
15 POST('inregistrare') {
    variabila nume_utilizator, nume, email, telefon, adresa, adresa_portofel, parola
    <- frontend
17
    incerca {
19        variabila utilizator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect(
            'utilizator' = utilizator)
        } exceptie (eroare) {
21            afiseaza(eroare)
        }
23
    daca (utilizator != NULL) {
25        afiseaza('Utilizatorul exista deja')
        redirectioneaza('inregistrare-reusita')
27    }
29
    variabila data <- (utilizator, nume, email, telefon, adresa, adresa_portofel,
    parola)
    incerca {
31        variabila utilizator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').
        insereaza_obiect(data)
        } exceptie (eroare) {
33            afiseaza(eroare)
        }
35 redirectioneaza('inregistrare-reusita')

```

```

    }
37
# autentificare si retinere globala a numelui de utilizator si id
39 POST('autentificare') {
    variabila utilizator , parola <- frontend
41     incerca {
        variabila utilizator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect(
            'utilizator' = utilizator)
43     } exceptie (eroare) {
        afiseaza(eroare)
45     }

    daca (utilizator != NULL) {
        daca(utilizator['parola'] = parola) {
49             nume_utilizator, id_utilizator <- utilizator
            redirectioneaza('home')
51         } altfel {
            afiseaza('Parola gresita')
53             redirectioneaza('login-esuat')
        }
55     } altfel {
        afiseaza('Utilizatorul nu exista')
57         redirectioneaza('login-esuat')
    }
59 }

61 # afisare tranzactii globale deschise in pagina de home
GET('home') {
63     incerca {
        variabila tranzactii_deschise <- baza_de_date.colectie('tranzactii').gaseste
        ('status_incheiata' = 0, 'id_vanzator' = !id_utilizator)
65     } exceptie(eroare) {
        afiseaza(eroare)
67     }
    redirectioneaza('home')
69 }

71 # afisare contracte din baza de date pentru utilizatorul autentificat
GET('contracte') {
73     incerca {
        variabila contracte <- baza_de_date.colectie('contracte').gaseste('
        id_vanzator': id_utilizator SAU 'id_cumparator' = id_utilizator)
75     } exceptie (eroare) {
        afiseaza(eroare)
77     }
    redirectioneaza('contracte')
79 }

81 # afisare date cont utilizator
GET('cont') {
83     incerca {
        variabila utilizator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect(
            'id' = id_utilizator)
85     } exceptie(eroare) {
        afiseaza(eroare)
87     }
    redirectioneaza('cont')
89 }

91 # actualizare date cont utilizator
POST('actualizare_cont') {
93     incerca {
        variabila utilizator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect(
            'id': id_utilizator)
95         variabila utilizator_nou <- utilizator
        utilizator_nou <- frontend
    }

```

```

97         inearca {
            baza_de_date.colectie('utilizatori').actualizeaza_obiect('id' =
id_utilizator, obiect <- utilizator_nou)
99         } exceptie (eroare) {
            afiseaza(eroare)
101     }
    } exceptie(eroare) {
103         afiseaza(eroare)
    }
105     redirectioneaza('cont')
}

107 # creare tranzactie
109 POST('creare_tranzactie') {
    variabila descriere_resursa, pret, cantitate <- frontend
111
    variabila data <- (id_utilizator, pret, cantitate, descriere_resursa,
status_incheiat = 0)
113
    inearca {
115         baza_de_date.colectie('tranzactii').insereaza_obiect(data)
    } exceptie(eroare) {
117         afiseaza(eroare)
    }
119     redirectioneaza('tranzactii')
}

121 # afisare tranzactii
123 GET('tranzactii') {
    # preluare tranzactii incheiate
125     inearca {
        variabila tranzactii <- baza_de_date.colectie('tranzactii').gaseste('
id_vanzator' SAU 'id_cumparator' = id_utilizator, 'status_incheiat' = 1)
127     } exceptie(eroare) {
        afiseaza(eroare)
129     }
    # preluare tranzactii deschise
131     inearca {
        variabila tranzactii_deschise <- baza_de_date.colectie('tranzactii').gaseste
('id_vanzator' = id_utilizator, 'status_incheiat' = 0)
133     } exceptie(eroare) {
        afiseaza(eroare)
135     }
    redirectioneaza('tranzactii')
137 }

139 # stergere tranzactie
141 POST('stergere_tranzactie') {
    variabila id_tranzactie <- frontend
    inearca {
143         baza_de_date.colectie('tranzactii').sterge_obiect('id' = id_tranzactie)
    } exceptie(eroare) {
145         afiseaza(eroare)
    }
147     redirectioneaza('tranzactii')
}

149 # declansare tranzactie si emitere contract smart
151 POST('declansare_tranzactie') {
    variabila id_tranzactie, utilizator_vanzator <- frontend
153
    inearca {
155         variabila tranzactie <- baza_de_date.colectie('tranzactii').gaseste_obiect('
id' = id_tranzactie)
    } exceptie(eroare) {
157         afiseaza(eroare)

```

```

159     }
    incerca {
        variabila vanzator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect('
161     utilizator' = utilizator_vanzator)
    } exceptie(eroare) {
        afiseaza(eroare)
163     }
    incerca {
165         variabila cumparator <- baza_de_date.colectie('utilizatori').gaseste_obiect(
        'id' = id_utilizator)
    } exceptie(eroare) {
167         afiseaza(eroare)
    }

169     variabila portofel_vanzator <- vanzator['adresa_portofel']
171     variabila portofel_cumparator <- cumparator['adresa_portofel']
    variabila cumparator_cp <- frontend
173     variabila pret <- tranzactie['pret']
    variabila cantitate <- tranzactie['cantitate']
175     variabila descriere_resursa <- tranzactie['descriere_resursa']
    constanta argumente <- [portofel_cumparator, cumparator_cp, portofel_vanzator,
    pret, cantitate, descriere_resursa]

177     constanta cale_script <- director + 'transaction.py'
179     constanta proces <- spawn.rulare('Python 3.10', [cale_script, argumente])

181     daca (proces.cod_incheiere = 0) {
        incerca {
183             baza_de_date.colectie('tranzactii').sterge_obiect('id' = id_tranzactie)
        } exceptie(eroare) {
185             afiseaza(eroare)
        }
187     }
    redirectioneaza('home')
189 }

```

5 Concluzii și contribuții personale

PRIN prezenta lucrare, am identificat și definit problema de management regăsită în sectorul energetic în Capitolele 1 și 3, cuprinzând riscurile operaționale, legale și cibernetice la care sunt expuse resursele, datele cu privire la tranzacții și la procesul de producție, dar și dificultatea trasabilității și certificării acestor resurse, din punct de vedere al birocrăției și eficienței financiare și a timpului.

În continuare, am prezentat în Capitolul 3 tehnologia blockchain ca o soluție fiabilă și optimă în ceea ce privește problemele descrise, având un potențial ridicat în industria energiei. Datorită proprietăților sale funcționale descrise în Capitolul 2, precum descentralizarea și transparența, aceasta aduce beneficii și oportunități de impact major asupra acestui sector economic, rezolvă multe provocări ale infrastructurii energetice și îmbunătățește semnificativ eficiența, securitatea cibernetică, sustenabilitatea și scalabilitatea sistemelor utilizate în energie.

O funcționalitate importantă abordată în cadrul acestei lucrări constă în facilitarea tranzacțiilor de resurse energetice dintre producători și consumatori de energie, fiind posibilă dezvoltarea unei platforme ușor de accesat, influențând piața energetică spre un mediu mult mai deschis și democratizat. Entitățile producătoare și consumatoare au posibilitatea de a lista și de a participa într-un mod direct și simplu la cererea și oferta de pe piață, obținând, astfel, o tendință de preț realistă.

Mai mult, tehnologia blockchain asigură transparența și securitatea tranzacțiilor din energie, prin stocarea fiecăreia într-un bloc de date și validarea acestora prin contracte Smart într-o locație unică din rețea. Informațiile stocate și validate devin imutabile și nu pot fi manipulate sau falsificate. În acest fel, consumatorii pot avea încredere că energia pe care o cumpără este produsă în mod durabil, iar plățile sunt corecte și transparente.

De asemenea, blockchain-ul poate fi utilizat pentru integrarea și gestionarea eficientă a rețelelor inteligente și a infrastructurii energetice distribuite, permițând dispozitivelor și sistemelor de producție și consum să comunice și să lucreze împreună într-un mod sigur și automatizat, facilitând gestionarea și optimizarea fluxurilor de energie.

Ca rezultat, cercetarea și dezvoltarea aplicabilității acestei tehnologii în sectorul energetic a crescut exponențial. Entități guvernamentale, precum *Uniunea Europeană*, au început demersuri în crearea unei platforme pentru integrarea producătorilor și consumatorilor la nivel european într-o piață deschisă și transparentă (ex. **AggregateEU**) [5]. Companii din industria energetică, precum *Engie*, *Shell* sau *Enel* urmăresc obținerea unui management al furnizării, distribuției și consumului îmbunătățit prin a investi în integrarea blockchain-ului în energie. [1]

Prin o abordare practică a problemei, în Capitolul 4 am proiectat și dezvoltat o platformă prototip de tranzacționare a resurselor energetice, având ca fundament tehnologic blockchain-ul. Am reușit declanșarea și validarea tranzacțiilor dintre cumpărător și vânzător cu ajutorul proprietăților funcționale ale mașinii virtuale *Ethereum Virtual Machine*, precum posibilitatea trimiterii tranzacției între portofelele cumpărătorului și vânzătorului, trasabilitatea resursei tranzacționate, validarea acesteia prin emiterea unui contract Smart cu o structură specifică domeniului energetic și consolidarea autenticității prin stocarea lor în blockchain, la o locație de adresă unică, datele devenind imutabile și imposibil de manipulat.

În concluzie, pe baza considerentelor teoretice și practice, dar și al interesului ridicat din ultimii ani pentru cercetarea și dezvoltarea aplicabilității tehnologiei blockchain în domeniul energetic de către entități guvernamentale și companii din acest sector economic, blockchain constituie o soluție revoluționară pentru problemele regăsite în domeniul studiat.

Contribuțiile personale în elaborarea lucrării de licență constau în:

- documentarea și cercetarea cu privire la tehnologia Blockchain, a specificațiilor tehnice ale acesteia, a problemelor regăsite în sectorul economic energetic și a aplicabilității sistemului Blockchain în acest sector;
- definirea și prezentarea detaliată a conceptului de Blockchain, a fundațiilor tehnice și a arhitecturii sistemului;
- descrierea tipurilor de Blockchain existente și a funcționalităților fiecăruia;
- identificarea și elaborarea problemei de management din cadrul industriei energiei;
- încadrarea tehnologiei Blockchain ca soluție pentru rezolvarea problemei descrise;
- abordarea practică a problemei prin proiectarea și implementarea unei soluții prototip, sub forma unei platforme de tranzacționare a resurselor energetice ce are ca fundament tehnologic un sistem blockchain.

Bibliografie

- [1] Mariam Ahmad, *Top 10: Energy Companies Using Blockchain Technology*, 2023, URL: <https://energydigital.com/top10/top-10-energy-companies-using-blockchain-technology> (accesat în 21.6.2023).
- [2] Raja Wasim Ahmad et al., „Blockchain in oil and gas industry: Applications, challenges, and future trends“, în *Technology in Society* 68 (2022), p. 101941, ISSN: 0160-791X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101941>, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X22000823>.
- [3] Priyanka Arora și Ritu Nagpal, „Blockchain Technology and Its Applications: A Systematic Review of the Literature“, în *International Conference on Innovative Computing and Communication (ICICC)* (2022), DOI: [10.2139/ssrn.4121824](https://doi.org/10.2139/ssrn.4121824), URL: <https://ssrn.com/abstract=4121824>.
- [4] Javed Aslam et al., „Blockchain Technology for Oil and Gas: Implications and Adoption Framework Using Agile and Lean Supply Chains“, în *Processes* 10.12 (2022), ISSN: 2227-9717, DOI: [10.3390/pr10122687](https://doi.org/10.3390/pr10122687), URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/12/2687>.
- [5] Uniunea Europeană, *EU Energy Platform*, 2023, URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-security/eu-energy-platform_en (accesat în 21.6.2023).
- [6] Ahmed G. Gad et al., „Emerging Trends in Blockchain Technology and Applications: A Review and Outlook“, în *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 34.9 (2022), pp. 6719–6742, ISSN: 1319-1578, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.03.007>, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157822000891>.
- [7] Luke James, *Energy sector: More cyber attacks in 2022 than ever before*, 2023, URL: <https://www.power-and-beyond.com/energy-sector-more-cyber-attacks-in-2022-than-ever-before-a-a53dfeb9e1a85d8a0710a010c7a7e7d3/> (accesat în 21.6.2023).
- [8] Sergi López-Sorribes, Josep Rius-Torrentó și Francesc Solsona-Tehàs, „A Bibliometric Review of the Evolution of Blockchain Technologies“, în *Sensors* 23.6 (2023), ISSN: 1424-8220, DOI: [10.3390/s23063167](https://doi.org/10.3390/s23063167), URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/6/3167>.
- [9] Hongfang Lu et al., „Blockchain Technology in the Oil and Gas Industry: A Review of Applications, Opportunities, Challenges, and Risks“, în *IEEE Access* 7 (2019), pp. 41426–41444, DOI: [10.1109/ACCESS.2019.2907695](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695).
- [10] Dimitrios Lyridis et al., „A Novel Methodology Using BPM to Assess the Implementation of Blockchain in the Midstream LNG Supply Chain“, în Ian. 2021.
- [11] Jiani Wu și Nguyen Khoi Tran, „Application of Blockchain Technology in Sustainable Energy Systems: An Overview“, în *Sustainability* 10.9 (2018), ISSN: 2071-1050, DOI: [10.3390/su10093067](https://doi.org/10.3390/su10093067), URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3067>.
- [12] Wenbing Zhao, „On Blockchain: Design Principle, Building Blocks, Core Innovations, and Misconceptions“, în *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine* 8.4 (2022), pp. 6–14, DOI: [10.1109/MSMC.2022.3192658](https://doi.org/10.1109/MSMC.2022.3192658).