Т Е Х Н И Ч Е С К И У Н И В Е Р С И Т Е Т – В А Р Н А

Венелин Георгиев Малешков

ПОДХОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОГИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ, БАЗИРАНИ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор”

по докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи“ към професионално направление „Комуникационна и компютърна техника“

Научен ръководител: проф. д-р инж. Венета Панайотова Алексиева

Рецензенти:

1.

2.

Варна, 2026 г.

Дисертационният труд е обсъден на …… в катедра „Компютърни науки и технологии“ и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Компютърни науки и технологии“.

Автор: Венелин Георгиев Малешков

Заглавие: Подходи за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии

Т Е Х Н И Ч Е С К И У Н И В Е Р С И Т Е Т – В А Р Н А

Венелин Георгиев Малешков

ПОДХОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОГИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ, БАЗИРАНИ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР”

Варна, 2026 г.

Дисертационният труд съдържа 135 страници, включително 59 фигури, 10 таблици и 3 приложения, оформени в 3 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 181 заглавия, от които 1 на кирилица и 180 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на ..... г. от ..... ч. в ..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора № ...../..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се в Докторантски център, стая 318 НУК.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на проблема

С появата на умните договори при блокчейн технологиите се поставя началото на приложения на блокчейн технологията за различни бизнес решения. Това надхвърля наложената до този момент представа, че блокчейн технологиите са единствено подходящи за криптовалути и поставя предизвикателство пред науката и бизнеса да намерят решения, базирани на блокчейни и умни договори, които да подобрят съществуващите решения в различни аспекти – сигурност на трансакциите, анонимност на участниците в мрежата, достъпност до информацията, прозрачност на процесите за всички участници, неотменимост на записаните събития/данни, възможност за записване на различен тип и формат данни, криптиране на данните, поставяне на времево клеймо на трансакциите, невъзможност за подправяне на вече записани данни.

Логистиката и управлението на веригата за доставки са важна част от днешните бизнес операции. Способността ефективно и ефикасно да се транспортират стоки и да се извършват услуги, е ключова, за да може да се удовлетворят желанията и нуждите на клиентите, поддържайки конкурентоспособност. Въпреки това, традиционните логистични системи често са неефективни, непрозрачни и имат проблеми със сигурността [64]. В последните години блокчейн технологиите се доказват като потенциално решение на тези трудности [156]. Блокчейн технологията, известна със своята децентрализирана същност, прозрачност и неспособност да бъде променяна, както и възможностите за комбиниране на блокчейн технологиите с други иновативни технологии, като изкуствен интелект или Интернет на обектите (Internet of Things – IoT), имат потенциала да прекроят логистичната индустрия в бъдеще.

Прилагането на IoT с блокчейн решения, внедрени с умни договори, подобрява прозрачността и сигурността на целия процес, повишава доверието между логистичната и застрахователната компания, като пренебрегва възможността за измама. Комбинацията от двете технологии е предпоставка за автоматизация на складовите операции, оптимизиране както на ресурсите, така и на използването на пространството в помещенията, подобряване на управлението на инвентара и автопарка.

2. Цели и задачи на изследването

Основната цел на дисертационния труд е да се разработят и анализират подходи за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии.

В съответствие с основната цел, в дисертационния труд се поставят за разрешаване следните задачи:

- Да се предложи абстрактен модел за представяне на управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии.
- Да се предложат подходи за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии, като се разработят модели за използване на умни договори върху частни блокчейн технологии с приложение в логистични процеси.
- Да се разработят функционални прототипи на блокчейн мрежи върху HyperLedger Fabric, моделиращи логистични процеси, свързани с доставка, съхранение и проследимост, както на активи, така и на персонал.

3. Обект и предмет на изследване

Обект на изследването са различните подходи за използване на блокчейн решения в логистиката, като акцент е поставен върху децентрализираното управление на веригата за доставки, проследяване на продукти и оптимизацията на бизнес процесите чрез умните договори.

Предмет на изследване в настоящия дисертационен труд е управлението на логистични процеси чрез внедряване на блокчейн технологии.

4. Методи на изследване

Използвани са емпирични методи като наблюдение, анализ и сравнение за изследване на съществуващите подходи за управление на логистични процеси и приложимостта на блокчейн технологиите в логистиката. Въз основа на извършения анализ е формулирана необходимостта от изработване на нови подходи за управление на логистични процеси, които да осигуряват по-висока степен на сигурност, прозрачност и проследимост. Като емпирико-теоритичен подход за изследване на предложените модели е използвана реализация чрез блокчейн платформата HyperLedger Fabric. За оценка на ефективността на предложените модели е използван сравнителен анализ на базата на качествени и количествени показатели.

5. Място на изследване

Изследванията са проведени в лабораториите на катедра КНТ при ТУ – Варна.

6. Научна новост на изследването

Резултатите от проведените в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд теоретични и експериментални изследвания се свеждат до следните основни приноси:

- Предложен е абстрактен разслоен модел за представяне на управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии.
- Предложени са модели за използване на умни договори върху частен блокчейн (HyperLedger Fabric) за управление на логистични процеси:
    - модел за приемане и съхранение на произведения на изкуството и колекционерски предмети.
    - модел за доставка на продукция до склад за дистрибуция.
    - модели за проследяване на служители и следене на техните жизнени показатели.
- Разработени са функционални прототипи на блокчейн мрежи върху HyperLedger Fabric, моделиращи логистични процеси, свързани с доставка, съхранение и проследимост, както на активи, така и на персонал.

7. Практическа ценност на изследването

Предложените модели могат да бъдат използвани за изграждане на съвременни системи за управление на веригата на доставки, тъй като осигуряват възможност за повишаване на прозрачността и проследимостта на логистичните процеси, намаляват оперативните рискове и възможностите за злоупотреба, както и автоматизират процесите чрез използването на умни договори. Освен това гарантират сигурност на записаните данни, тъй като липсва възможността за тяхната промяна и подобряват координацията и доверието между отделните участници във веригата на доставки.

Разработената прототипна среда, реализирана върху HyperLedger Fabric, предоставя възможност за практическо внедряване на предложените модели и тестването им в реални или близки до реалните условия.

Разработените модели могат да се използват от логистични компании, производствени предприятия или организации, които управляват сложни вериги за доставки, като основа за разработване на интелигентни логистични системи, интегриращи блокчейн и IoT технологии.

8. Апробация на изследването

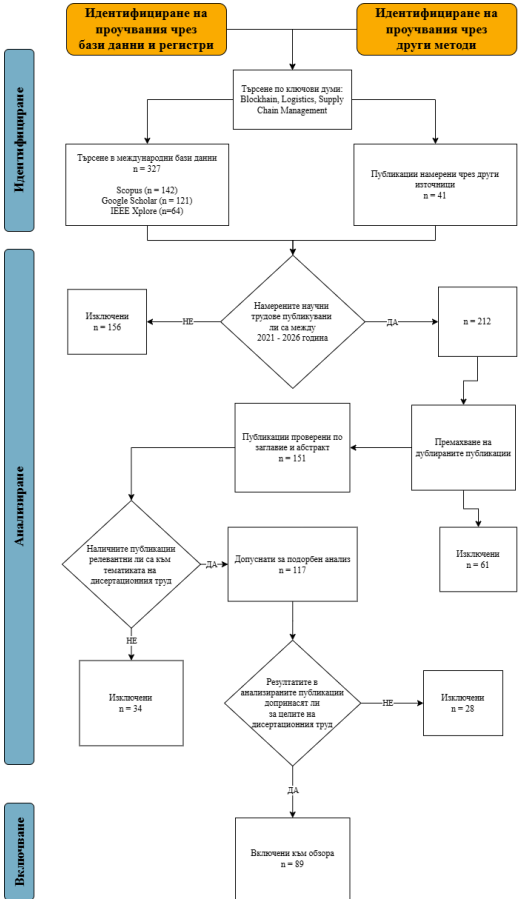
Основните етапи от разработването на теоретични и приложни резултати на дисертационния труд са докладвани и публикувани в общо 5 публикации, от които 3 са в международни конференции, реферирани в база данни „Scopus“, като 2 от тях с изнесени в чужбина, а 1 – в България. Публикувани са и 2 нереферирани статии в списания: 1 в България – списание „Компютърни науки и технологии“ и 1 в списание “Special Issue Feature Papers in Blockchains” (MDPI).

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1: Анализ на подходи за приложение на блокчейн технологии в бизнеса

В първа глава е представено развитието на блокчейн технологиите. Разгледани са спецификите на блокчейн технологиите, криптовалутите и умните договори. Предложена е класификация на блокчейн технологиите, приложими в логистиката. Разгледани са различни приложения на блокчейн технологии за управление на логистични процеси. Представено е обобщение на основните предимства и недостатъци на разглежданите методи.

Процесът на систематичен подбор на научни публикации е реализиран чрез прилагане на PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) методологията, която осигурява прозрачен и последователен подход за идентифициране и избиране на свързани научни изследвания. (Фиг. 1.3). В Таблица 1.1 са представени най-често използвани блокчейн технологии, приложими в логистичните процеси.



Фиг. 1.3 PRISMA анализ

Таблица 1.1 Блокчейн технологии, приложими в логистични процеси

Наименование на блокчейн	**Ethereum**	**HyperLedger Fabric**	**Corda**	**Sweet bridge**	**IOTA**	**VeChain Thor**
Достъп на участниците в мрежата	Публичен	Частен	Частен	–	Публичен	**Публичен**
Консенсусен механизъм	PoW / PoS	PBFT, Raft	По избор	Dual token	DAG	**PoA**
Сигурност	Ethash	SHA-256, RSA	SHA-256	SHA-256	Troika	**SHA-256, ECDSA**
Умни договори	Да	Да	Да	Не	Не	**Да**
Криптовалута	Ether	Не	Не	Sweet coin Bridgecoin	IOTA	**VET**
Мащабируемост	Да	Да	Да	Да	Да	**Да**
Проследяемост	Да	Да	Да	Да	Да	**Да**
Съществуващи решения – тестови, пилотни, имплементирани	Viant, Modum, Provenance	IBM Food Trust, Chain Track, PharmaChain	CordaTrack AgriChain LiquorLens	Sweet bridge	IoTrace IoTangle Logistics Smart ChainIota	**VeChain**

Таблица 1.2 Съществуващи решения

Логистични подсистеми	**Решение**	**Специфична сфера / Фокус**	**Блокчейн**	**Умен Договор**
Производство или специфичен процес от веригата	[79]	Шивашка промишленост	–	Не
	[14]	Застраховане	Ethereum	Да
	[15]	Застраховане	HyperLedger Fabric	Да
	[11]	Здравно застраховане	HyperLedger Fabric	Да
	[163]	Здравеопазване	HyperLedger Fabric	Да
Складиране	[101]	Споделени складове	Ethereum	Не
	[136]	Управление на складови наличности	HyperLedger Composer	Да
	[От автора]	Управление на складови наличности	HyperLedger Fabric	Да
Дистрибуция	-	–	–	–
Управление на инвентара	[92]	Управление на наличности	–	Да
	[77]	Авиация	HyperLedger Composer	Да
Транспортиране	[81]	Транспорт	–	Не
	[162]	Застраховане	HyperLedger Fabric	Да
	[12]	Транспорт	HyperLedger Fabric	Да
Информация и Контрол	[22]	Проследяване	Ethereum	–
	[149]	Информационни системи	–	Не
Управление на връщането	[141]	Онлайн пазаруване	Ethereum	Да
	[177]	Хранителна индустрия	Ethereum	Не
	[65]	Търговия	Собствен	Не

1.6 Изводи:

- Блокчейн технологиите са сравнително нови, но все още не много широко използвани съвременни технологии за приложение в бизнеса. Те позволяват изграждане на сигурни трансакции.
- Продължаващото нарастване на интереса към приложение на блокчейн технологиите в бизнес решения в световен мащаб увеличава очакванията на потребителите по отношение на бързодействие, невъзможност за отказ от действие, автоматизация и липсата на злоупотреби.
- Блокчейн технологията се възприема от над 80% от световните публични компании. На различни етапи на внедряване, като изследователски проекти, пилотни решения и прототипи, разработка и производство, компаниите поставят основите на нови подходи в бизнеса с тази процъфтяваща технология.
- През 2023г. повече от 30 световни компании имат напълно функционални продукти, изградени на блокчейн. За функции като анализ на данни в реално време и проследимост блокчейнът създава огромно въздействие, когато се комбинира с анализ на големи данни и ще се ползва и в бъдеще.
- Докато до преди 5 години на блокчейн технологията се гледаше като на „база данни“ за пари, с ограничени възможности за прилагане извън сферата на финансовите услуги, то днес вече тя се възприема като основен инструмент за осигуряване на прозрачност, проследяемост и сигурност, не само в управлението на логистичните процеси, но и в редица други сфери.
- Текущите решения доказват огромния потенциал на технологията коренно да промени начина, по който работи логистиката, но все пак остават и значителни предизвикателства, свързани с глобалното възприемане на блокчейн и внедряването му в съществуващите системи.
- Автоматизираното управление на процеси с или без блокчейн решения е сложен и многоаспектен процес, който не може да се формализира до няколко универсални решения. Възможностите за комбиниране на блокчейн технологиите с други иновативни технологии, като изкуствен интелект или интернет на обектите (IoT), дават потенциала за постигане на по-голяма ефективност и оптимизация на логистичните процеси.
- Към момента все още е малък делът на напълно функционални продукти, изградени на блокчейн, но има пилотни решения, които безспорно доказват потенциала на блокчейн базираните решения за редица бизнеси, включително и тези, които имат сложен логистичен процес.
- Съществуващите решения се базират на добри практики в конкретните сфери, а не се фокусират върху специфични изисквания на конкретен бизнес процес. Участието на експерти в процеса на проектиране на такива комплексни системи с множество подсистеми, управляващи взаимосвързани информационни, финансови и материални потоци, значително повишава ефективността на включените функционалности, като фокусът на комплексните решения не се измества само върху отделна подсистема, например оптимизация на процесите в склада или оптимизация на финансовите потоци, обслужващи финансистите, счетоводителите и търговците. Към момента обаче, бизнес и пилотни решения, базирани на блокчейни са само в отделни подсистеми на логистичния мениджмънт. По отношение на отделните операции, се определят приоритетите и в процеса на организация се съблюдава правилната логическа последователност на тяхното изпълнение, както и оптимизиране на необходимия ресурс. Така се минимизират престоите,

което намалява общото време за обработка. Именно в такива подсистеми приложението на блокчейн носи добавена стойност, като минимизира операционните разходи и времето за изпълнение на процеса.

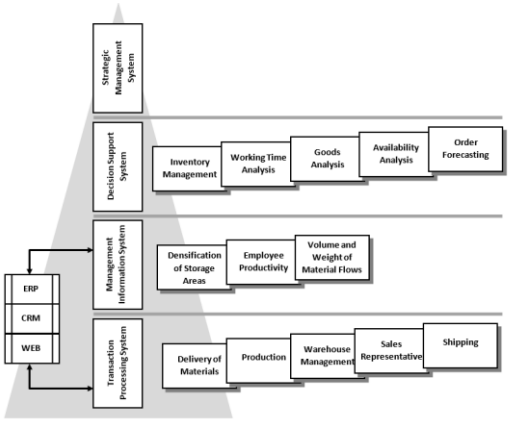
- Все още е малък делът на решения, които комбинират блокчейн технологии с IoT в подсистеми като „Информация и управление“ и „Производство“.
- Няма създаден общоприет абстрактен модел, към който да се отнесат съществуващите решения.
- В направените проучвания все още няма утвърден единен абстрактен модел, който представя връзката между отделните логистични подсистеми и насочва към техните взаимни връзки и преизползването на данните от различните подсистеми, които работят съвместно.
- Не са представени блокчейн базирани решения за логистичните подсистеми „Дистрибуция“, „Управление на персонал“, „Анализ на работното време“, „Анализ на наличността”, „Предвиждане на поръчки“, „Подобряване на производителността на персонала“ , „Проследяване на материални потоци“ и др., които са свързани със стратегически решения в управлението на логистиката на всеки бизнес;
- Логистичните процеси генерират голям обем данни, които трябва да бъдат анализирани, за да се вземат правилни управленски решения. В този контекст не е представен достатъчно задълбочен анализ на съвместното приложение на съвременни технологии като Големи данни (Big data), Анализ на големи данни (Big Data Analytics) и блокчейн технологии.
- Аналогично стои въпросът с комбинирането на блокчейн технологията с други съвременни технологии като Колективен интелект (Collective Intelligence) и Изкуствен интелект (Artificial Intelligence).
- Подобно на горните изводи, липсват и решения, комбиниращи други съвременни технологии с блокчейн технологиите като Разширен анализ (Advanced Analytics), Цифрова трансформация (Digital Transformation) и Дизайн на услуги (Service Design).
- Изключително малък е броят на блокчейн базираните решения използващи IoT устройства.
- Представените към момента решения се отнасят само до една логистична подсистема. Твърде малък е броя на решения, които могат да покрият две или повече подсистеми.
- Не е добре проучен въпросът за съвместно използване в комбинация между различните блокчейн платформи, както и преминаване на съществуващо решение, базирано на една блокчейн платформа към друга такава.
- Липсват решения, които адекватно балансират между публичност и конфиденциалност, особено когато става въпрос за чувствителна търговска информация.
- Има пилотни и прототипни решения, които предлагат различни методи за управление на различни подсистеми на логистичния процес чрез блокчейн технологии. Те не са базирани на традиционните методи за управление на съответния бизнес, но осигуряват гъвкаво обслужване, предлагат решения за подобряване на проследимостта, сигурността на данните и ефективността само в определени аспекти. От тази гледна точка голям практически интерес представлява създаването на нови подходи/модели за прилагане на блокчейн технологии в бизнеса, съобразени с нарастващите изисквания на потребителите.

Глава 2: Подходи за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии

Във втора глава е предложен абстрактен модел за управление на логистични процеси. Изложени са мотивите за създаване на модели за управление на определени логистични подсистеми, чрез прилагане на блокчейн технологии. Представена е структурата и функционалността на съществуващи методи за управление на конкретната подсистема без и с прилагане на блокчейн технологии. Описани са предлаганите в дисертационния труд подходи, които имат за основна цел да подобрят качеството на обслужване за съответните специфични бизнеси, по отношение на прозрачност, проследимост на процесите, сигурност и неизменяемост на данните, намаляване на оперативните рискове, автоматизация на ключови дейности и повишаване на ефективността при управление на логистичните потоци.

2.1. Предложен абстрактен разслоен модел за логистични процеси

Предложеният абстрактен разслоен модел се представя със специфичните за слоя подсистеми, както е представен на Фиг. 2.1.



Фиг. 2.1 Предложен йерархичен модел за управление на логистични процеси

Предложеният модел дава представа кои данни могат да се обработват в реално време, кои от тях могат да се съхраняват като Big Data и кои да се съхраняват в блокчейн, в зависимост от това мениджъри от кое ниво ще ги ползват и част от коя подсистема ще бъдат. Блокчейн решенията са най-подходящи за долните 2 нива с отделни връзки към подсистеми от 3-то ниво. Системи с изкуствен интелект са подходящи за горните 2 нива на модела, докато IoT технологии са подходящи само на най-долното ниво. На база на предложения модел могат да се изграждат комплексни системи, базирани на блокчейн, като следването на модела гарантира, че няма да бъдат пропуснати при автоматизирането на управлението съществени за бизнеса процеси, няма да има дублирани, подправени или липсващи данни.

2.2. Предложен блокчейн базиран модел за подсистема „Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция“

Традиционният модел за доставка на продукция до склад за дистрибуция осигурява функционалност и управляемост на процеса, но е зависим от централизирани системи, човешка намеса и ограничени механизми за гарантиране на целостта и проследимостта на данните. Тези ограничения обосновават необходимостта от изследване на алтернативни технологични решения, специфично – решения, които са базирани на блокчейн технологии.

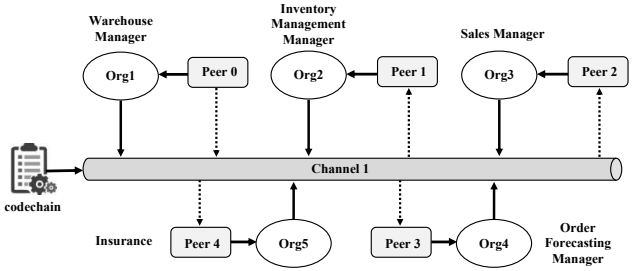
За да се изследва приложимостта на предложения абстрактен йерархичен модел в точка 2.1., се избира процес от веригата на доставки, реализиран с една подсистема. Процесът е линеен (не могат да се извършват едновременно отделни етапи) и е представен на Фиг.2.2 с 5 подпроцеса – пакетиране, етикетиране, производствен склад, спедиция, складиране.



Фиг. 2.2 Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция

2.2.2 Предложен модел за доставка на продукция до склад за дистрибуция

Произведеният продукт се пакетира, поставя му се етикет, който съдържа информация за продукта, премества се в склада на производителя, където изчаква спедиция до склада за дистрибуция/продажби. Този процес е автоматизиран с управление с умен договор върху частен блокчейн – HyperLedger Fabric, т.к. всички ползватели на записаните данни в блокчейна (с изключение на застрахователя) са вътрешни за фирмата. Този use case експериментално е реализиран върху частен блокчейн – HyperLedger Fabric, но т.к. е реализиран само върху един канал, същият модел може да се реализира и върху публичен блокчейн (например най-популярния Ethereum), който също работи с умни договори. Изборът именно на частен блокчейн е продиктуван от предимствата му – той гарантира по-ниски разходи и по-кратки времена за валидиране на трансакцията от публичен блокчейн; той е достъпен за четене/запис само от притежателя им, което намалява риска от подправяне на данни; намалява рискът от атаки и осигурява повишена поверителност. На Фиг. 2.3 е показана реализацията на представения модел в HyperLedger Fabric мрежа.



Фиг. 2.3 Блокчейн базирано решение на предлагания модел за доставка на продукция

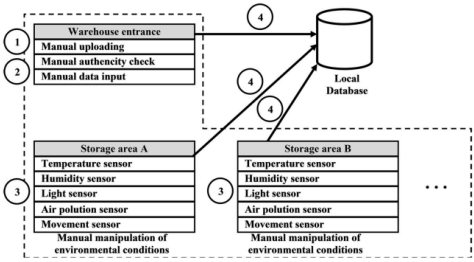
В блокчейна (Channel1) се записва информация за стоките, които подлежат на спедиция и съхранение. Всяка стока (обект) се характеризира с атрибути видът на стоката, дата на производство, дата на годност, тегло на стоката, количество на стоката, температура на съхранение и влажност на съхранение. Моделът съдържа няколко участника (organizations): Warehouse Manager (Org1), Inventory Management Manager (Org2), Sales Manager (Org3), Order Forecasting Manager (Org4), Insurance (Org5).

2.3. Предложен модел за приемане и складиране на произведения на изкуството, базиран на частна блокчейн технология

Автоматизираните системи за управление на складове, RFID технологии, IoT сензори за околната среда и блокчейн технологиите заедно могат да се превърнат в децентрализиран регистър от данни, който да улесни управлението и съхранението на единствени по рода си и скъпи произведения на изкуството.

2.3.1. Традиционен модел за приемане и складиране на произведения на изкуството

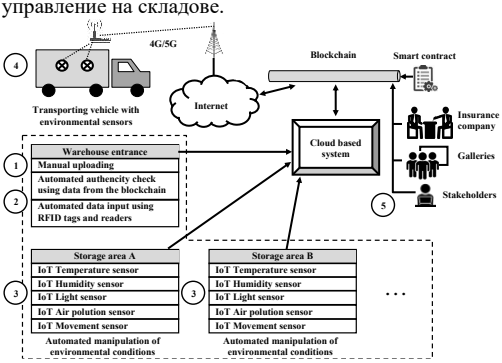
Традиционният модел за приемане и складиране на произведения на изкуството (Фиг. 2.5) представлява сложен процес, изискващ значителни инвестиции в технологии, оборудване и квалифициран персонал. Той може да бъде бавен, скъп и да включва участие на множество лица, което увеличава вероятността от човешки грешки и съответно риска от пробиви в сигурността.



Фиг. 2.5 Традиционен модел за приемане и складиране на произведения на изкуството

2.3.2. Предложен модел, базиран на частна блокчейн технология

На Фиг. 2.6 е показан предложеният модел, интегриращ блокчейн, IoT устройства и RFID етикети в система за управление на складове.



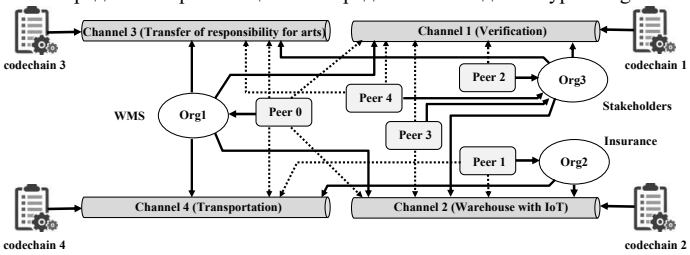
Фиг. 2.6 Предложен блокчейн базиран модел за приемане и складиране на произведения на изкуството

Всеки артикул с информация, свързана с произход, авторство и предишна история на собственост, може да бъде уникално идентифициран чрез RFID етикети. Сканирането на RFID етикетите автоматично актуализира базата данни за приемането на нови произведения на изкуството в склада. След внимателно изследване на целостта на произведението на изкуството се сканират и анализират данните от RFID етикетите. Целта е да се установи дали има съвпадение със съхранената информация относно автентичността и качеството. Резултатите от проверката се записват в блокчейн, което означава, че всички записи в него носят способността за неизменимост, прозрачност и много високо доверие в процеса на оценяване. IoT сензорите се използват за наблюдение и контролиране на необходимите условия за най-добра температура на съхранение, влажност, светлина и качество на въздуха. Складовата система може да определи местоположението на всеки артикул в склада с помощта на RFID технологията, като по този начин спомага за по-бързото локализиране и управление. Преминаването на предварително зададения праг ще доведе до записване на данни в реално време в блокчейна и предоставянето им за анализ. Всяко преместване на артикула в или извън склада се регистрира автоматично с помощта на RFID сканиране, като по този начин предоставя историята на местоположението на артикула с точност и прозрачност. Всяко движение се записва в блокчейна с пълна и неизменна история от

операциите, производството, реставрационните дейности или заеманията за изложби, включително промени в собствеността. Заинтересованите страни могат да разполагат с актуализирана информация, свързана със състоянието и местоположението на работата, чрез защитен и децентрализиран достъп до блокчейна. Такава интеграция с автоматизирани и интелигентни технологии ще направи управлението на тези скъпи произведения на изкуството по-лесно, като в същото време ще подобри нивата на сигурност, прозрачност и ефективност при съхранение и транспорт.

Бизнес логиката се изпълнява от умни договори. Те са написани на езика Go. Използвайки API интерфейси, външни приложения могат да се свързват с тях и да обменят данни.

На Фиг. 2.7 е представена реализацията на предложения модел в HyperLedger Fabric мрежа.



Фиг. 2.7 Блокчейн реализация на предлагания модел за приемане и складиране на произведения на изкуството

Състои се от четири канала. Peer0 има достъп до всички канали за писане и четене на данни. Той използва информация от IoT сензори и я съхранява в блокчейна. Застрахователната компания (Peer1) има достъп само за четене до информацията, получена от IoT сензорите в склада и по време на транспортирането на произведения на изкуството между склада и заинтересованите страни или галериите. Тази информация може да се използва при настъпване на събитие, изискващо намесата на застрахователна компания. Достъпът до канала за проверка (Канал 1) се поддържа от Peer2. Той записва данни свързани с проверката на всеки артикул, чрез RFID стикерите. Когато артикулът бъде проверен, той трябва да бъде поставен на подходящо място за съхранение. Информацията за това действие се съхранява от Peer3 в Канал 2. Когато има нужда от прехвърляне на отговорност между заинтересовани страни и/или галерии (в случай на изложба), Peer4 записва съответната информация в Канал 3. Както Peer3, така и Peer4 използват данните от Канал 1 за проверка.

Предложеният блокчейн базиран модел за приемане и складиране на произведения на изкуството има за цел да осигури сигурност, проследяемост и прозрачност при приемането, съхранението и движението на произведенията на изкуството, като използва частна блокчейн технология за управление на записите и гарантиране на автентичността на трансакциите.

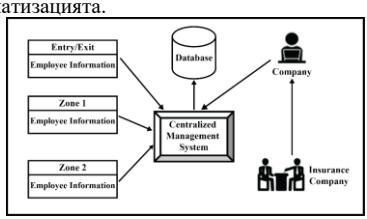
2.4. Предложен модел за проследяване на местоположението на служители на територията на компанията

В дисертационния труд се предлага модел за проследяване на служители, базиран на блокчейн, който специално е разработен за организации с фиксиран брой служители, които могат последователно да използват устройства с RFID функционалност (като баджове или носими ленти). Моделът предполага ниска степен на едновременност, при която служителите преминават през контролирани точки за достъп поотделно, което гарантира точно регистриране на преминаването между различни зони. RFID четците са стратегически разположени на ясно определени входове и изходи в затворени офис пространства, а не в отворени зони с множество входове и изходи (напр. паркинги или зони за отдих).

2.4.1. Традиционен модел за проследяване на служители

Традиционният модел за проследяване на служители обикновено включва централизирана системна архитектура, която комбинира конвенционални технологии за идентификация, ръчно

въвеждане на данни и административен контрол (Фиг. 2.9). Въпреки своята функционалност, тези системи показват съществени ограничения по отношение на сигурността, скалируемостта, целостта на данните и автоматизацията.

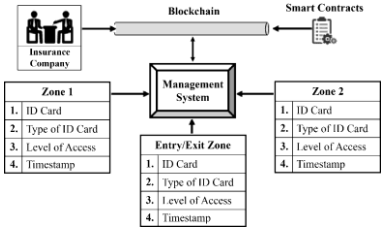


Фиг. 2.9 Традиционен модел за проследяване на служители

За разлика от децентрализираните системи, тук няма неизменяемост или проверима история на действията. Липсата на криптографски механизми за валидиране прави данните уязвими и несигурни както от гледна точка на вътрешно управление, така и по отношение на външни регулаторни изисквания.

2.4.2. Предложен модел за проследяване на служителите, базиран на блокчейн

Предложеният модел за проследяване на служители се състои от три основни компонента: RFID четци, IoT-базирана трансмисия на данни и блокчейн технология. Тези компоненти работят съвместно, за да осигурят прозрачна, защитена от подправяне и автоматизирана система за управление на работното време и гарантиране безопасността на служителите при извънредни ситуации.



Фиг. 2.10 Предложен модел за проследяване на служители, базиран на блокчейн

RFID четците са стратегически разположени на ключови точки в помещенията, включително входове, изходи и различни работни зони. Всеки служител или посетител получава RFID бадж (постоянен, временен или еднократен), който се прочита от RFID устройствата при преминаване през контролни точки. Събраните данни, включително идентификатор на служителя и времеви печат, се предават чрез IoT устройства към облачна система. Тези данни се актуализират непрекъснато, за да се осигури проследяване в реално време на движенията на служители и посетители.

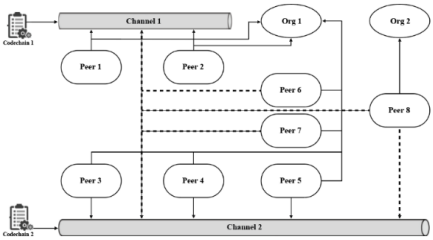
Ядрото на системата е изградено върху блокчейн технология, която гарантира сигурността и неизменяемостта на данните. Всеки път, когато служител или посетител влезе или излезе от сградата, съответните RFID данни се записват в блокчейна. Умни договори са програмирани така, че автоматично да изчисляват работните часове, използвайки времевите печати от RFID прочитанията. Те могат също да управляват процеса на изплащане на заплати, като активират плащания на определена дата въз основа на натрупаните работни часове.

Освен това умните договори налагат протоколи за извънредни ситуации. Например, ако служител не се е отписал в края на работния ден, умният договор автоматично записва последното известно местоположение на служителя в блокчейна. В случай на аварийно събитие, като пожар, системата регистрира последното известно местоположение на всички служители, осигурявайки на спасителните екипи актуална информация.

Различните организационни отдели участват в блокчейн мрежата като заинтересовани страни с конкретни разрешения. Например отдел „Човешки ресурси“ (HR) може да има достъп до данните за работните часове за одити и проверка на заплатите, докато IT отделът наблюдава функционалността на системата и правилната работа на RFID четците и IoT устройствата. Всички взаимодействия със системата се записват в блокчейна, осигурявайки защитена одитна следа, която подобрява прозрачността и отчетността.

2.4.3. Реализация на модела чрез HyperLedger Fabric мрежа

Реализацията на предложения модел като HyperLedger Fabric мрежа е илюстрирана на Фиг. 2.12. Прекъснатите линии показват достъп до канала в режим само за четене, докато плътните линии означават, че възлите имат както права за четене, така и за запис.



Фиг. 2.12 Реализация на предложения модел чрез HyperLedger Fabric мрежа

Peer1 и Peer2 са IoT устройства, които агрегират данни от входно–изходните RFID четци. Часът на влизане и часът на излизане се записват директно в Канал 1. Умни договори могат да се използват за изчисляване на месечното работно време и за задействане на изплащането на заплати.

Peer3, Peer4 и Peer5 са IoT устройства, които събират данни от RFID четци, разположени в различни вътрешни зони в рамките на организацията. Физическото местоположение на служителите не се записва директно в Канал 2 поради големия обем данни, който би се генерирал. Вместо това умен договор задейства записване само при настъпване на конкретно събитие или извънредна ситуация (например пожар). По този начин в блокчейна се записва само последното известно местоположение на служителя. Друг пример е, когато служителят не се е отписал на изхода след края на работното време — умният договор записва последното му известно местоположение.

Макар комбинирането на входно/изходно и вътрешно проследяване в по-малък брой възли да би намалило сложността, тези функции са разделени с цел оптимизация на ресурсите и гарантиране на производителност. Entry/Exit възлите обработват непрекъснати трансакции с малък обем, докато вътрешните възли записват данни само при ключови събития, за да се избегне прекомерно нарастване на регистъра.

Peer6 и Peer7 представляват различни отдели в организацията, които се нуждаят от мониторинг. Например отдел „Човешки ресурси“ може да следи работното време на служителите и да извършва одити, а отдел Информационно обслужване може да наблюдава правилното функциониране на системата.

Peer8 представлява застрахователната компания, която може да извлича необходимите данни при застрахователно събитие, с увереност, че информацията не е подправена благодарение на децентрализирания и неизменяем характер на блокчейна.

Политиката за одобрение (endorsement policy) изисква валидация от множество организационни отдели, което засилва сигурността и доверието. Протоколи като MQTT върху TLS и подобни могат да осигурят надеждна комуникация в реално време, което е особено критично при извънредни ситуации.

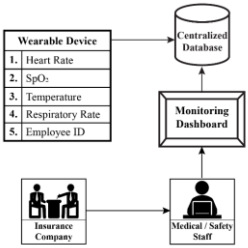
2.5. Предложен модел за проследяване на жизнените показатели на служители по време на работния ден

Мониторингът на жизнени показатели на служители в реално време е практика, която се използва активно от десетилетия в различни работни среди като индустриални предприятия, строителни обекти, болници и спешни центрове.

2.5.1. Традиционен модел за мониторинг на жизнени показатели

Един широко използван подход включва носими устройства, които събират физиологични параметри (като сърдечна честота, температура и кислородна сатурация) и изпращат данните към централизирани системи за управление на здравни показатели (HMS).

Този традиционен модел, показан на Фиг. 2.14, има някои съществени предимства, като относително лесно внедряване, проста структура на наблюдение и висока надеждност на комуникацията в контролирани среди.

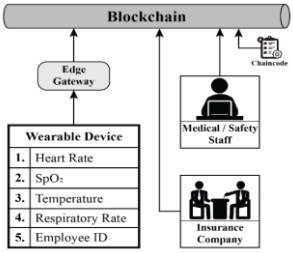


Фиг. 2.14 Традиционен модел за проследяване на жизнени показатели

Въпреки това, няколко важни недостатъка ограничават неговата приложимост и ефективност в динамични работни условия. Централизираните структури често водят до повишена уязвимост към атаки и изтичане на чувствителна информация. Наблюдава се липса на прозрачност и доверие при използването на лични и медицински данни, а централизираните хранилища са свързани с рискове за поверителността и сигурността на служителите. Освен това в традиционния модел е трудно да се проследят промени или манипулации в данните, което прави процеса по-малко надежден и по-уязвим към потенциални злоупотреби. Друг съществен недостатък е зависимостта от централни точки на отказ (single point of failure), които могат да доведат до сериозни прекъсвания в мониторинга при технически повреди или комуникационни проблеми.

2.5.2. Предложен блокчейн базиран модел за мониторинг на жизнени показатели

Предложеният иновативен модел (Фиг. 2.15) комбинира носими устройства, блокчейн технологията HyperLedger Fabric и BLE комуникация. Този подход адресира няколко критични предизвикателства, свързани с традиционните системи за мониторинг, основно относно сигурността, поверителността, прозрачността и целостта на данните.

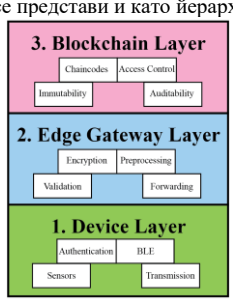


Фиг. 2.15 Предложен блокчейн базиран модел за следене на жизнени показатели

Интеграцията на блокчейн технологията HyperLedger Fabric въвежда децентрализирани, разрешителни и неизменяеми механизми за управление на данни. Това гарантира високо ниво на доверие и отчетност при обработката на чувствителни физиологични данни и значително намалява рисковете за сигурността и поверителността, присъщи на традиционните централизирани модели. Децентрализираната структура също елиминира централните точки на отказ, повишавайки общата надеждност на системата.

Използването на BLE комуникация за свързване на носими устройства значително подобрява енергийната ефективност, позволявайки непрекъснат мониторинг в реално време без чести зареждания на устройствата. Важно е да се отбележи, че въпреки предимствата на BLE, всяка безжична технология като ZigBee, 6LoWPAN или Z-Wave може да бъде използвана за реализация на предложения модел, тъй като конкретният безжичен носител изпълнява ролята единствено на транспортен слой в общия системен дизайн.

Предложеният модел може да се представи и като йерархичен (Фиг. 2.16).



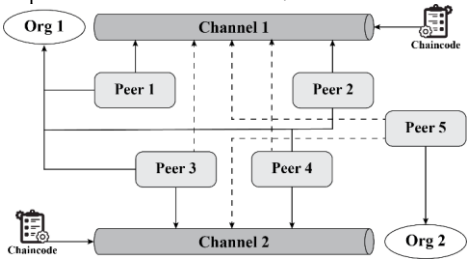
Фиг. 2.16 Абстрактен разслоен модел за следене на жизнени показатели

Слоят на устройствата отговаря за събирането на физиологични данни от носимите сензори и тяхното предаване. Устройствата се удостоверяват към шлюзовете чрез криптографски handshake, гарантирайки защитена и доверена комуникация. На слоят на edge шлюзовете самите шлюзове предварително обработват събраните данни, извършвайки първоначална валидация и криптиране. Те използват леки комуникационни протоколи като REST или MQTT.

Блокчейн слоят е изграден върху HyperLedger Fabric, предоставящ разрешителна блокчейн среда. Всяка трансакция (запис от носимите устройства) се регистрира неизменимо в регистъра, осигурявайки интегритет и проследимост на данните. Умни договори, внедрени в HyperLedger Fabric, позволяват автоматизирана валидация на данни, откриване на аномалии и контролиран достъп въз основа на предварително дефинирани роли (служители, отговорници по безопасността, медицински персонал).

2.5.3. Реализация на предложения модел за следене на жизнени показатели

В реализацията всеки участник е представен като възел. Реализацията на предложения модел като HyperLedger Fabric мрежа е показана на Фиг. 2.17.



Фиг. 2.17 Реализация на предложения модел за следене на жизнени показатли върху блокчейн с два канала

В тази двуканална топология Канал 1 представлява първия слой на мониторинг, където данни се записват само когато стойностите от носимите устройства надвишат предварително зададени прагове за безопасност. По този начин се осигурява бързо откриване, без да се съхраняват непрекъснато лични здравни данни. Канал 2 действа като втори, по-чувствителен слой, където се създават подробни записи само ако се наложи спешна медицинска намеса, включително клинични бележки, предприети действия, резултати и съгласието на служителя.

Peer1 и Peer2 имат права за четене и запис в Канал 1, тъй като агрегират данни от носимите устройства и правят записи при превишаване на праг. Peer3 представлява мениджър по безопасност в компанията и има права само за четене в двата канала за целите на одит и регулации по безопасност. Peer4 е медицинския персонал, който може да чете данни от Канал 1 при необходимост и да извършва записи в Канал 2, ако е оказана спешна медицинска помощ на служител. Peer5 е част от Org. 2 (застрахователната компания). Има права само за четене в двата канала, така че при застрахователно събитие необходимите данни за документация да бъдат налични неизменимо в регистъра.

Чрез тази топология се формира един оптимизиран процес, при който ранните предупреждения се улавят ефективно, а само значими инциденти, изискващи медицинска намеса, генерират подробни и защитени записи.

2.6. Изводи

- Предложен е абстрактен йерархичен разслоен модел за управление на логистични процеси, който дава представа в кои подсистеми прилагането на блокчейн решение ще подобри значително ефективността на логистичния процес. В допълнение към това помага на разработчиците да проследяват кои данни на кои слоеве от кои мениджъри и за какви цели ще се ползват. Предложеният разслоен модел ориентира кои данни са подходящи за обработка с Big Data Analysis и кои – за съхранение върху блокчейн и обработка от умни договори.
- Предложен е блокчейн базиран модел за подсистема „Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция“, който е реализиран експериментално върху HyperLedger Fabric. Автоматизират се ключовите етапи (пакетиране, етикетиране, съхранение, спедиция и приемане в дистрибуционен склад) като се използват умни договори. Реализацията осигурява неизменим запис на данните за характеристиките и условията на съхранение на продукцията, повишава проследимостта на материалните потоци и създава надеждна одитна следа за всички участници в процеса. Моделът гарантира контрол на достъпа, намаляване на риска от манипулация на данни и възможност за повторно използване на информацията на различни управленски нива, чрез децентрализираната си архитектура и предварително дефинираните роли на организациите.
- Предложен е модел за приемане и складиране на произведения на изкуството, базиран на частна блокчейн технология за безопасно съхранение и улеснено управление на произведения на изкуството чрез използване на блокчейн, IoT устройства и RFID тагове. Тази интеграция подобрява обработката на данни в реално време, проблемите със сигурността и поверителността на информацията, свързана с артикулите, съхранявани и прехвърляни между различните заинтересовани страни, участващи в процеса на складиране. Предложеният модел интегрира умни договори, блокчейн технология и IoT сензори, които могат да помогнат за коригиране на отдавна съществуващите предизвикателства пред сигурността, проверката на произхода и точността на инвентара.
- Предложен е блокчейн базиран модел за проследяване на служители в рамките на организационна структура, реализиран експериментално върху HyperLedger Fabric, който интегрира RFID и IoT технологии за регистриране на събития в реално време. Моделът

осигурява неизменяемост на данните, автоматизирано изчисляване на работното време чрез умни договори и повишена сигурност при управление на достъпа и одитните следи. Разработеното разширение за многофилиална структура демонстрира възможността за децентрализирано събиране на данни и централизирана аналитична обработка, което повишава прозрачността, контрола и координацията между отделните организационни единици.

- Предложен е модел за интегриране на носими IoT сензори и блокчейн технологии за мониторинг на жизнени показатели на служителите, който разширява приложението на логистичния модел към аспекти, свързани с безопасността, производителността и управлението на човешкия капитал. Комбинират се данни за физическо присъствие, работно време и физиологични параметри, като по този начин се създава предпоставка за по-прецизен анализ на ефективността, ранно откриване на рискови състояния и подпомагане на управленски решения на тактическо и стратегическо ниво, при гарантирана защита и проследимост на чувствителната информация.
- В резултат на извършения анализ и разработените модели за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии, може да се направи заключението, че внедряването на блокчейн решения е най-подходящо за подсистеми, в които е необходима висока степен на проследимост, прозрачност и сигурност на данните, както и оптимизация и автоматизация на процесите.
- Такива ключови подсистеми са „Дистрибуция“, „Управление на персонал“, „Анализ на работното време“, „Анализ на наличността”, „Предвиждане на поръчки“, „Подобряване на производителността на персонала“, „Проследяване на материални потоци“, „Управление на инвентара“, „Складово управление“, „Доставка на материали“, „Спедиция“.
- Тези подсистеми не функционират като изолирани звена, а са взаимосвързани и използват едни и същи данни на различните нива на управление.
- Информацията, която се използва на оперативното ниво за проследяване на пратки и складови наличности, същевременно може да послужи в други нива за прогнозиране на бъдещите потребности от ресурси и оптимизация на запасите, както и дългосрочно планиране на капацитета на транспортните средства, разширяване на складовите площи или изграждане на нови логистични хъбове.
- Използването на блокчейн в логистиката не само подобрява сигурността и ефективността на отделните подсистеми, но също така създава възможност за повторно използване на данните в различни управленски контексти – за планиране на ресурсите, прогнозиране на търсенето, оптимизация на маршрутите, контрол на качеството и разходите. Това води до по-интелигентно, интегрирано и ефективно управление на логистичните процеси, като същевременно гарантира прозрачност и доверие между участниците в цялата верига на доставки.

Глава 3. Експериментални изследвания и резултати

В тази глава са изследвани описаните в Глава 2 традиционни и предложените от автора блокчейн базирани модели за логистични процеси. Всички предложени модели са реализирани с частен блокчейн с умни договори. Представени са резултати от направените изследвания. Избрани са критерии за сравнение и е извършен комплексен сравнителен анализ на тези модели.

3.1. Тестване на предложения модел за подсистема „Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция“ чрез реализация върху HyperLedger Fabric

Резултатите от извършените експерименти показват, че предлаганото решение е напълно функциониращо по отношение на управление на логистична подсистема с линейно следване на отделните операции. Бизнес логиката на модела се осъществява от умен договор. Той включва множество обекти и функции, които предоставят API интерфейса за достъп до блокчейна. Отделните възли са реализирани като Docker контейнери (Фиг. 3.1).

```
CONTAINER ID   IMAGE                                  COMMAND                  CREATED
  STATUS          PORTS                                                  NAMES
cd516e886332   hyperledger/fabric-tools:latest      "/bin/bash"              14 minutes ago
  Up 14 minutes                                                          cli
2014e2d57924   hyperledger/fabric-peer:latest       "peer node start"        14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:7051->7051/tcp                                 peer0.org1.example.com
f6e27f4982e9   hyperledger/fabric-peer:latest       "peer node start"        14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:11051->11051/tcp                               peer0.org3.example.com
139eace96fb3   hyperledger/fabric-peer:latest       "peer node start"        14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:9051->9051/tcp                                 peer0.org2.example.com
00d50811a6be   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"                14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:8050->7050/tcp                                 orderer2.example.com
e22e62a83c33   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"                14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:11050->7050/tcp                                orderer5.example.com
916c6659c0ea   hyperledger/fabric-couchdb           "tini -- /docker-ent…"   14 minutes ago
  Up 14 minutes   4369/tcp, 9100/tcp, 0.0.0.0:5984->5984/tcp   couchdb0
2ba5b53f4b15   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"                14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:9050->7050/tcp                                 orderer3.example.com
d89060f3ea45   hyperledger/fabric-couchdb           "tini -- /docker-ent…"   14 minutes ago
  Up 14 minutes   4369/tcp, 9100/tcp, 0.0.0.0:7984->5984/tcp   couchdb1
119b071f247e   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"                14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:7050->7050/tcp                                 orderer.example.com
e4677c441eaf   hyperledger/fabric-couchdb           "tini -- /docker-ent…"   14 minutes ago
  Up 14 minutes   4369/tcp, 9100/tcp, 0.0.0.0:9984->5984/tcp   couchdb2
4532aed0f225   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"                14 minutes ago
  Up 14 minutes   0.0.0.0:10050->7050/tcp                                orderer4.example.com
```

Фиг. 3.1 Реализация на мрежата с Docker контейнери за тестване на предложения модел за подсистема „Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция“

Проведени са експериментални тестове на функционалността на умния договор. За целта е създаден административен Docker възел, който позволява изпълнението на команди, чрез които се изпращат заявки към умния договор. Чрез заявките се изпълняват определени функции от неговия API интерфейс. Изпълнението на заявка за запис в блокчейна на информация за определена стока (Coffee) със съответни стойности на нейните атрибути е показано на Фиг. 3.2.

```
2024-07-12 10:15:06.873 UTC [chaincodeCmd] chaincodeInvokeOrQue
ry -> DEBU 04b ESCC invoke result: version: 1 response: <status
:200 > payload: {"TypeOfGoods":"Coffee","ProductionDate":"2024-
05-12","ExpireDate":"2025-05-12","Weight":"35","Number":"100","
Temperature":"22","Humidity":"3.4"} smartcontract endorsement:<
endorser:"Org1MSP">
2024-07-12 10:15:06.873 UTC [chaincodeCmd] chaincodeInvokeOrQue
ry -> INFO 04c chaincode invoke successful. result: status:200
```

Фиг. 3.2 Записване в канала

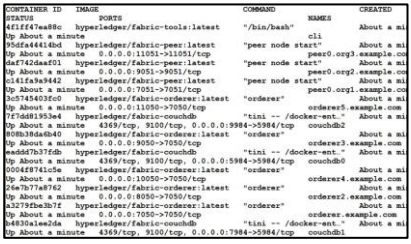
```
2024-07-12 10:18:13.390 UTC [chaincodeCmd] chaincodeInvokeOrQue
ry -> DEBU 04b ESCC invoke result: version: 1 response: <status
:200 > payload: FOUND [ "Key":"Id-XV2Bzm", "Record": {"TypeOfGo
ods":"Coffee","ProductionDate":"2024-05-12","ExpireDate":"2025-
05-12","Weight":"35","Number":"100","Temperature":"22","Humidit
y":"3.4"} ] smartcontract endorsement:<endorser:"Org1MSP">
2024-07-12 10:18:13.390 UTC [chaincodeCmd] chaincodeInvokeOrQue
ry -> INFO 04c chaincode invoke successful. result: status:200
```

Фиг. 3.3 Търсене на обект в блокчейна

Тестовете доказват функционалността на предложения модел, като потвърждават коректното изпълнение на заложената бизнес логика чрез умни договори. Успешно са валидирани операциите запис, извличане и актуализация на данни за продукцията, както и управлението на достъпа съобразно дефинираните организационни роли.

3.2. Тестване на предложения модел за приемане и складиране на произведения на изкуството чрез реализация върху HyperLedger Fabric

Възлите са реализирани като Docker контейнери (Фиг. 3.4). Това гарантира капсулиране на изпълнението и поради използвания набор от Интернет протоколи – възможност за бъдещо внедряване в разпределена среда.



Фиг. 3.4 HyperLedger Fabric мрежа с Docker контейнери за тестване на предложения модел за приемане и складиране на произведения на изкуството



Фиг. 3.5 Записване в блокчейна

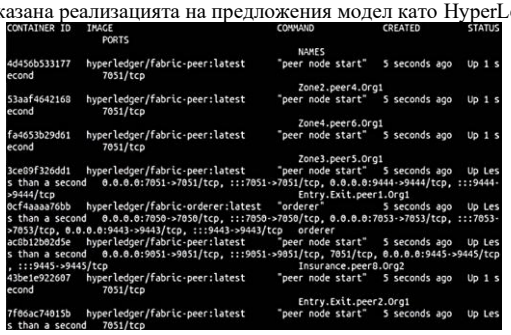
Тестването на функционалността на внедряването на chaincodes се извършва от административен Docker контейнер с интерфейс с команден ред. Използва се за изпращане на заявки към умните договори. На Фиг. 3.5 е показана заявка за създаване на запис в Канал 2 поради периодично отчитане на условията на околната среда на обект от IoT сензорите в склада. Информацията включва часа на отчета, името на обекта и стойностите на индикаторите на датчиците.

Успешното изпълнение на заявката за четене от блокчейна се обозначава с кода на резултата (status 200). На Фиг. 3.6 са показани два записа за търсения обект (Mona Lisa).

Тестовете демонстрират коректното регистриране на данни за произход, състояние, местоположение и условия на съхранение на обектите. Валидирано е автоматизираното изпълнение на умните договори при настъпване на събития, свързани с промяна на статус, преместване или регистриране на параметри от IoT сензори. Реализацията доказва възможността за изграждане на неизменяема история на съхранение и трансфер на произведенията, което повишава сигурността, проследимостта и доверието между участващите страни. Получените резултати потвърждават, че моделът осигурява надеждна технологична основа за управление на високостойностни активи при гарантирана цялост и защита на информацията.

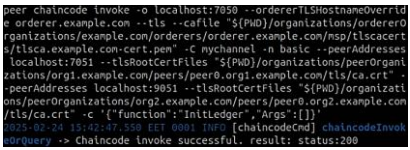
3.3. Тестване на предложения модел за проследяване на местоположението на служители на територията на компанията чрез реализация върху HyperLedger Fabric

На Фиг. 3.7 е показана реализацията на предложения модел като HyperLedger Fabric мрежа.



Фиг. 3.7 HyperLedger Fabric мрежа с 8 възела за тестване на предложения модел за проследяване на местоположението на служители на територията на компанията

Реализацията на бизнес логиката се извършва чрез умен договор. Функцията invoke се използва за записване на информация в блокчейна (Фиг. 3.8). Успешното приключване на задачата е потвърдено от „Result: status 200“.



Фиг. 3.8 Записване в блокчейна



Фиг. 3.9 Прочитане от блокчейна

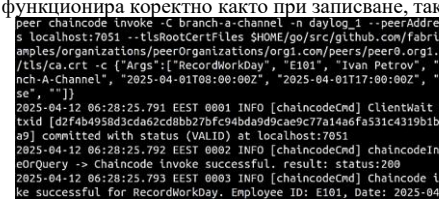
Само определени възли имат права за запис („Write“) в канала. Повечето от тях могат единствено да четат данни от блокчейна. Изпълнението на заявка за четене на данни е показано на Фиг. 3.9.

Разработен е нов умен договор, daylog_1(Фиг. 3.13). След успешното инсталиране, договорът е тестван както за записване, така и за извличане на данни за работни дни (Фиг. 3.12).

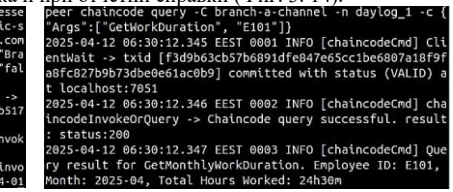
```
func (s *SmartContract) GetMonthlyWorkDuration(ctx contractapi.TransactionContextInterface, employeeID string, month string) (string, error) {

	queryString := fmt.Sprintf(`{\"selector\":{\"employeeID\":\"%s\",\"checkIn\":{\"$regex\":\"^%s\"}}}`, employeeID, month)
	resultIterator, err := ctx.GetStub().GetQueryResult(queryString)
	if err != nil {
		return "", fmt.Errorf("Cannot extract data: %v", err)
	}
	defer resultIterator.Close()

	var totalDuration time.Duration
	for resultIterator.HasNext() {
		queryResponse, err := resultIterator.Next()
		if err != nil {
			return "", fmt.Errorf("Cannot extract next data: %v", err)
		}
		var dayLog DayLog
		err = json.Unmarshal(queryResponse.Value, &dayLog)
		if err != nil {
			return "", fmt.Errorf("Cannot parse data: %v", err)
		}

		duration, err := time.ParseDuration(dayLog.WorkDuration)
		if err != nil {
			return "", fmt.Errorf("Cannot parse working time: %v", err)
		}
		totalDuration += duration
	}
	workDuration := fmt.Sprintf("%vh%vm", int(totalDuration.Hours()), int(totalDuration.Minutes())%60)
	return workDuration, nil
}
```

Фиг. 3.13 Функция за изчисляване на месечното работно време на служител

Системата връща очакваното общо работно време, което потвърждава, че разширеният модел функционира коректно както при записване, така и при отчетни справки (Фиг. 3. 14).



Фиг. 3.12 Запис в “branch-a-channel”

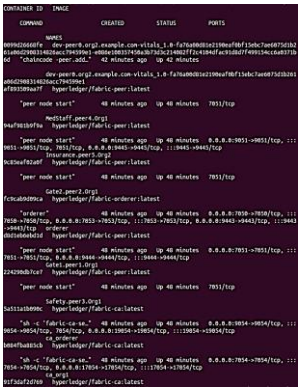


Фиг. 3.14 Прочитане на калкулираното работно време от „branch-a-channel”

За да се гарантира безпроблемен работен процес, е проведено обстойно тестване за проверка на коректното извличане на агрегирани работни часове за всеки служител въз основа на записаните му работни дни за конкретен месец. Този симулиран процес напълно съответства на реални приложения за отчитане и мониторинг на работното време в децентрализирани мрежи.

3.5. Тестване на предложения модел за следене на жизнените показатели чрез реализация върху HyperLedger Fabric

Проведена е серия от експерименти в контролирана среда, за да се гарантира, че предложената архитектура е напълно функционална. Използват се умни договори, които задават правилата за това как да се записват и заявяват важни данни за служителите. Политиката за одобрение изисква подписи само от организационния възел (Org1MSP), а модулите на Membership Service Provider (MSP) управляват цифровите сертификати, осигурявайки удостоверено участие на всички участници. Изходът от командата Docker ps е показан на (Фиг. 3.15).



Фиг. 3.15 HyperLedger Fabric мрежа за тестване на предложения модел за следене на жизнените показатели

На Фиг. 3.17 е показано успешното изпълнение на invoke командата, записвайки нови жизнени данни на служителя в блокчейна, докато на Фиг. 3.18 е показан изхода от командата query, която връща информация за записите, свързани със служител с идентификатор „emp-02“, съхранени в канала.

```
peer chaincode invoke -o localhost:7050 --ordererTLSHostnameOverride orderer.example.com --tls --cafile $ORDERER_CA -C channel1 -n vitals -c '{"Args":["RecordVitals","emp-002","dev-02","2025-09-30T18:30:00Z","123","96","37.0","20","true"]}'
2025-09-30 16:08:38.755 EEST 0001 INFO [chaincodeCmd] chaincodeInvokeOrQuery -> Chaincode invoke successful. result: status:200
```

Фиг. 3.17 Успешно записване в канала

```
peer chaincode query -C channel1 -n vitals_cc -c '{"Args":["GetByEmployee","emp-002"]}'
[{"employeeID":"emp-002","deviceID":"dev-02","timestampIso":"2025-09-30T18:30:00Z","heartRate":"123","spo2":"96","temperatureC":"37.0","respRate":"20","incidentFlag":true},{"employeeID":"emp-002","deviceID":"dev-02","timestampIso":"2025-09-30T18:32:00Z","heartRate":"121","spo2":"94","temperatureC":"37.4","respRate":"22","incidentFlag":true},{"employeeID":"emp-002","deviceID":"dev-02","timestampIso":"2025-09-30T18:34:00Z","heartRate":"120","spo2":"91","temperatureC":"37.5","respRate":"21","incidentFlag":true}]
```

Фиг. 3.18 Успешно прочитане на информация на служител

Проведените тестове потвърждават, че реализираната мрежа поддържа надеждно записване и извличане на данни и демонстрира практическата приложимост на предложената архитектура в реални индустриални сценарии.

3.6. Качествени и количествени параметри за анализ на характеристиките на предложените модели

За целите на дисертационния труд е извършен комплексен сравнителен анализ на предложените модели, базирани на блокчейн технологии, спрямо съществуващи решения, разгледани в Глава 1. Основната цел на това сравнение е да докаже ефективността и приложимостта на предложените модели.

За целите на сравнението се използва мултикритериален подход, който се базира на вече дефинираните в предходна точка 17 критерия – децентрализация, прозрачност, устойчивост на измами, интегритет на данните, скорост на изпълнение на процес, скорост на запис, първоначални разходи, разходи за експлоатация, автоматизирано управление, доверие в участниците, одит, мащабируемост, проследяемост, документация, управление на спорове, участници (трети страни), оперативна съвместимост, реализация.

Тези критерии обхващат основните аспекти и най-важни характеристики на изследваните модели. Оценяването на моделите се извършва по тристепенна скала: 0 – съответният критерий, липсва, 0.5 – критерият е частично покри, 1 – критерият е напълно покрит.

За целите на дисертационния труд комплексният анализ се избира да се основава на средна аритметична оценка, която се оценява по формулата (3.1).

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i d_i}{\sum_{i=1}^{n} b_i} \quad (3.1)$$

В (3.1) нормализираната количествена оценка на i-тия показател е:

$$0 \leq d_i \leq 1 \quad (3.2)$$

n – брой показатели, а bi е i-тият тегловен коефициент, като

$$\sum_{i=1}^{n} b_i = 1 \quad (3.3)$$

За целите на изследването, тегловните коефициенти се избира да бъдат еднакви, т.к. няма предложени в проучената научна литература за управление на логистични процеси предложения на експерти в областта за различни тегловни коефициенти.

Тъй като тегловните коефициенти са избрани да бъдат еднакви, формулата за средна аритметична (3.1) комплексна оценка може да се промени във вида представен в (3.4).

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} d_i \quad (3.4)$$

Реализирането на комплексен сравнителен анализ позволява да се избегне субективността на автора при оценяване на обекта на сравнение.

3.6.2 Сравнение на предложения модел за подсистема „Процес на доставка на продукция до склад за дистрибуция“

В Таблица 3.1 е представен сравнителен анализ на предложения в Глава 2 модел подсистема „Процес на доставка на продукция до склад за дистрибуция“ спрямо други традиционни и блокчейн базирани решения, както и средната аритметична оценка за всяко от тях.

Таблица 3.1. Критерии за оценяване на предложения модел за подсистема „Процес на доставка на продукция до склад за дистрибуция“ и традиционни модели

Критерии		Традиционни модели		Блокчейн базирани модели			
		[148]	[6]	[104]	[156]	[132]	Предложен модел
Децентрализация		0	0	1	1	1	1
Прозрачност		0,5	0,5	1	1	1	1
Сигурност	Устойчивост на измами	0,5	0	1	0,5	1	1
	Интегритет на данните	0,5	0,5	1	1	1	1
Скорост	Процес	0,5	0,5	1	1	1	1
	Запис	1	1	0,5	0,5	0	0,5
Първоначални разходи		1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Разходи за експлоатация		0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Автоматизирано управление		0,5	0,5	1	0,5	1	1
Доверие в участниците		0,5	0,5	1	1	1	1
Одит		0	0	1	0,5	1	1
Мащабируемост		1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Проследяемост		1	0,5	1	1	1	1
Документация		0,5	0,5	1	1	1	1
Управление на спорове		0	0	1	0,5	1	1
Участници (трети страни)		0	0	1	1	1	1
Оперативна съвместимост		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Реализация	1	1	0,5	0,5	1	0,5
Общ брой точки	10,0	9,5	14,5	12,5	14,5	14,5
Средна аритметична оценка	0,556	0,528	0,806	0,694	0,806	0,806

Поради широкия разнороден набор от избрани критерии, комплексните оценки за средна аритметична оценка доказват, че предложеният модел се явява по-добър от традиционните модели, с които се сравнява и е еднакво ефективен и приложим спрямо блокчейн базираните.

3.6.3 Сравнение на предложения модел за приемане и складиране на произведения на изкуството

В Таблица 3.2 са представени подробно съществуващи решения, които са анализирани в Глава 1, както и тяхната средна аритметична оценка.

Таблица 3.2. Критерии за оценяване на предложения модел за приемане и складиране на произведения на изкуството и традиционни модели

Критерии		**Традиционни модели**		**Блокчейн базирани модели**			
		[151]	[39]	[103]	[102]	[30]	Предложен модел
Децентрализация		0	0	0	0	1	1
Прозрачност		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Сигурност	**0**	0,5	0,5	0	1	1	
	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	
Скорост	**0,5**	0,5	0,5	0,5	0,5	1	
	1	1	1	1	0,5	0,5	
Първоначални разходи		1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
Разходи за експлоатация		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Автоматизирано управление		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Доверие в участниците		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Одит		0	0,5	0,5	0	1	1
Мащабируемост		1	1	1	1	0,5	0,5
Проследяемост		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Документация		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Управление на спорове		0	0,5	0,5	0	1	1
Участници (трети страни)		0	0	0	0	1	1
Оперативна съвместимост		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Реализация		1	1	1	1	0,5	0,5
Общ брой точки		8,5	9,5	9,5	8,5	13,5	15,0
Средна аритметична оценка		0,472	0,528	0,528	0,472	0,778	0,833

Предложеният блокчейн базиран модел е по-добър по отношение на следните единични критери: Осигурява висока степен на сигурност, Гарантира интегритет и автентичност на информацията, свързана с произведенията на изкуството, Предоставя пълна проследяемост на всички събития, свързани с приемането, съхранението и движението на колекционерските предмети, Повишава прозрачността и доверието между участниците, Позволява извършване на достоверен одит и намалява нужната хартиена документация, Елиминира необходимостта от посредници и намалява риска от измами, Предоставя възможност за автоматизация на процесите чрез използване на умни договори.

В сравнение с другия блокчейн базиран модел, предложеният модел е по-добър по отношение на скоростта на цялостния процес и автоматизираното управление чрез наличието на умни договори.

3.6.4 Сравнение на предложения модел за проследяване на местоположението на служители на територията на компанията

В Таблица 3.3 е представено сравнение на съществуващи решения, анализирани подробно в Глава 1, както и средната аритметична оценка за всяко от тях.

Таблица 3.3. Критерии за оценяване на предложения модел за проследяване на местоположението на служители и традиционни модели

Критерии		**Традиционни модели**		**Блокчейн базирани модели**			
		[82]	[157]	[36]	[59]	[29]	Предложен модел
Децентрализация		0	0	0	0	1	1
Прозрачност		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Сигурност	**0,5**	0	0,5	0	1	1	
	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	
Скорост	**0,5**	0,5	0,5	0,5	0,5	1	
	1	1	1	1	0,5	0,5	
Първоначални разходи		0,5	1	0,5	1	0	0,5
Разходи за експлоатация		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Автоматизирано управление		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Доверие в участниците		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Одит		0	0	0,5	0	1	1
Мащабируемост		1	1	1	1	0,5	0,5
Проследяемост		0,5	0,5	1	0,5	1	1
Документация		0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Управление на спорове		0	0	0,5	0	1	1
Участници (трети страни)		0	0	0	0	0,5	1
Оперативна съвместимост		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Реализация		1	1	1	1	0,5	1
Общ брой точки		8,5	8,5	10,0	8,5	13,0	15,5
Средна аритметична оценка		0,472	0,472	0,556	0,472	0,722	0,861

Анализът на отделните критерии ясно разграничава традиционните от блокчейн базираните модели. Традиционните модели демонстрират по-добри показатели по отношение на скорост, разходи и мащабируемост. От друга страна, показват по-лоши резултати по отношение на сигурност, прозрачност, доверие между участниците и управление на процесите.

Блокчейн базираните модели се отличават по няколко ключови за бизнеса критерии – сигурност, устойчивост на измами, прозрачност, проследяемост и интегритет на данните. Те осигуряват възможност за надежден одит и ефективно управление на спорове, което липсва при традиционните модели.

В сравнение с другия блокчейн базиран модел, включен в анализа, предложеният блокчейн базиран модел постига съизмерими резултати по голяма част от критериите, но въпреки това го превъзхожда по някои специфични за сферата критерии като реализация, елиминиране на трети страни и автоматизирано управление чрез умни договори.

3.6.5 Сравнение на предложения модел за следене на жизнени показатели

В Таблица 3.4 е представено сравнение на съществуващи модели, свързани с проследяването на жизнените показатели, анализирани подробно в Глава 1, както и средната аритметична **оценка** за всеки от тях.

Таблица 3.4. Критерии за оценяване на предложения модел за следене на жизнени показатели и традиционни модели

Критерии		Традиционни модели		Блокчейн базирани модели			
		[78]	[73]	[174]	[26]	[61]	Предложен модел
Децентрализация		0	0	0	1	1	1
Прозрачност		0,5	0,5	0,5	1	1	1
Сигурност	**0**	0,5	0,5	1	1	1	
	0,5	0,5	0,5	1	1	1	
Скорост	**0,5**	0,5	0,5	0,5	0,5	1	
	1	1	1	0,5	0,5	0,5	
Първоначални разходи		1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Разходи за експлоатация		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Автоматизирано управление		0,5	0,5	0,5	1	1	1
Доверие в участниците		0,5	0,5	0,5	1	1	1
Одит		0	0,5	0	1	1	1
Мащабируемост		1	1	1	0,5	0,5	0,5
Проследяемост		0,5	1	1	1	1	1
Документация		0,5	0,5	0,5	1	1	1
Управление на спорове		0	0,5	0,5	1	1	1
Участници (трети страни)		0	0	0	1	1	1
Оперативна съвместимост		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Реализация		1	1	1	0,5	0,5	0,5
Общ брой точки		8,5	10,0	9,5	14,5	14,5	15,0
Средна аритметична оценка		0,472	0,556	0,528	0,806	0,806	0,833

Според резултатите, получени за комплексната оценка, може да се твърди, че предложеният в дисертационния труд блокчейн базиран модел за следене на жизнените показатели на служители се явява по-добър от останалите.

Получените резултати от анализа ясно показват различията между двата типа модели. Традиционните модели типично постигат по-добри резултати по отношение на скорост на запис и по-ниските първоначални разходи, по-добра мащабируемост и по-лесна реализация, докато блокчейн базираните модели категорично ги превъзхождат по отношение на ключовите за специфичната сфера критерии като сигурност, прозрачност, доверие и проследяемост.

В сравнение с останалите блокчейн базирани модели, предложеният постига съизмерими резултати по повечето критерии, но ги превъзхожда по отношение на скоростта на цялостния процес, което се явява критично за следенето на жизнени показатели в реално време.

3.7. Изводи

- Резултатите от проведените експериментални изследвания показват, че предложеният блокчейн базиран модел за подсистема „Процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция“ значително подобрява ефективността на логистичните операции. Чрез използването на децентрализирана технология се осигурява пълна прозрачност на доставките, автоматично верифициране на трансакциите и елиминиране на неефективни ръчни процеси. В сравнение с традиционните решения, предложеният модел позволява значително намаляване на времето за потвърждение на доставките, както и повишаване на сигурността на данните, като елиминира възможността за неоторизирани промени или грешки в логистичната информация. Освен това, интеграцията на умни договори

автоматизира процесите по приемане и обработка на стоките, намалявайки административните разходи и вероятността от човешки грешки. Постигнатите резултати потвърждават, че предложеното решение е функционално, ефективно и приложимо в реална логистична среда, като допринася за цялостната оптимизация на веригата на доставки.

- Относно предложения блокчейн базиран модел за логистични процеси за произведения на изкуството, анализът и експерименталните резултати показват, че внедряването на блокчейн технологията в процесите на приемане, верификация и складиране на произведения на изкуството осигурява по-висока степен на прозрачност, автентикация и сигурност в сравнение с конвенционалните методи. Частният блокчейн, използван в предложения модел, осигурява защитена среда за регистриране и проследяване на произведенията, като елиминира възможността за подправяне на документи или неоторизирани промени в данните за собственост и произход. Прилагането на блокчейн решения в този контекст значително намалява риска от фалшификации и измами, като предоставя на всички заинтересовани страни достоверна, неизменяема информация за всеки обект. Умните договори автоматизират процедурите по приемане и складиране, като гарантират, че всички операции се извършват съгласно предварително зададени условия, без нужда от допълнителен човешки надзор. Внедряването на този модел в експериментална среда показва, че блокчейн технологията не само подобрява сигурността и ефективността на процесите, но и улеснява доказването на автентичността и историята на собствеността. Това го прави изключително подходящ за приложение в музеи, аукционни къщи и галерии, където надеждността на информацията е от критично значение.
- Тестовете на предложения модел за проследяване на местоположението на служители на територията на компанията показват, че внедряването на блокчейн технологията може да осигури надеждна и сигурна среда за регистриране и проследяване на събития, свързани с движението на персонал. Частната блокчейн мрежа, заедно с умните договори гарантира неизменимост на данните, както и прозрачност при проследяване на всички действия назад във времето. Проведените експерименти потвърждават ефективния контрол на достъп и разграничават ясно ролите на отделите. Освен това, тестовете показват, че моделът е адаптивен към по-сложни фирмени структури, като предприятия с множество филиали, които изискват високо ниво на сигурност, отчетност и контрол на човекопотока.
- Резултатите, получени от направените тестове на предложения модел за следене на жизнените показатели на служители доказват, че блокчейн базираният подход успешно може да се използва за управление на чувствителните данни, относно здравословното състояние на персонала. HyperLedger Fabric съхранява данните надеждно и неизменимо, предпазвайки от манипулация и неоторизиран достъп. Успешната реализация на мрежата, както и използването на умни договори за автоматизиране на процесите, доказват, че моделът е функционално осъществим и приложим в реална среда, повишавайки безопасността на работната среда и подпомагайки вземането на управленски решения, като по този начин допринася за оптимизирането на работния процес.
- Комплексните аритметични оценки на предложените в дисертационния труд модели показват, че те според формулираните в дисертационния труд критерии се явяват по-добри от останалите. Недостатъците в предложените модели се изразяват в ограниченията на самата блокчейн технология като времето за запис и последователния достъп, рефлектиращ върху времето за търсене, но комплексните оценки за всички предложени модели са по-високи, тъй като предимствата като прозрачност, неизменяемост, сигурност, доверие,

автоматично управление, проследяемост и възможност за доверен одит категорично са от изключителна значимост за бизнеса. Всеки от предложените в дисертационния труд модели има посочените недостатъци, но предимствата, осигурени от блокчейн технологията, рефлектират върху избраните критерии за сравнение и не обезсилват тяхната приложимост в логистичната сфера, затова и предложените модели са с по-високи комплексни аритметични оценки.

Заключение

Блокчейн технологията носи доверие, прозрачност, сигурност и видимост на всички участници в бизнес мрежата, като по този начин я прави идеалният избор за адаптиране на много фирми. Блокчейн технологията се възприема от 80% от световните публични компании, които са хранилища за данни на клиенти и трансакции. Бизнесът оценява, че блокчейн технологията осигурява огромен потенциал, особено когато се комбинира с анализ на големи данни. През 2023г. повече от 30 световни компании имат напълно функционални продукти, изградени на блокчейн. На различни етапи на внедряване, като изследване, пилотни решения, разработка и производство, компаниите ежедневно дават своя принос за развитието на тази технология.

В съответствие с поставената цел, в дисертационния труд е направен анализ на съществуващите подходи за управление на логистични процеси, както традиционни така и базирани на блокчейн технологии. Представени са техните предимства и недостатъци при тяхната реализация, като особен акцент е поставен върху използването на блокчейн архитектури, умни договори и криптографски механизми, осигуряващи прозрачност, неизменяемост на данните, сигурност и проследимост в логистичните процеси. От направения анализ се достига и до необходимостта от разработване на специфични модели за управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии.

За постигане на тази цел в настоящия дисертационен труд е предложен абстрактен разслоен модел, улесняващ представянето на логистичните процеси, който служи и като основа за идентифицирането на функционалните зависимости между отделните участници, както и между специфичните логистични процеси. На тази основа са разработени четири блокчейн базирани модела, използващи умни договори за автоматизация, реализирани върху HyperLedger Fabric и насочени към конкретни логистични подсистеми. Предложените модели обхващат – процес за доставка на продукция до склад за дистрибуция, процеси по управление и складиране на произведения на изкуството, проследяване на местоположението на служители на територията на компанията, както и следене на жизнените показатели на служители.

Предложените модели са част от решение за интелигентни логистични процеси и интелигентно управление на ресурси и персонал. Тези модели могат недвусмислено да проследяват събития в реално време, без да могат данните да бъдат манипулирани. Те предлагат хронологично и прозрачно проследяване на данните, намаляват оперативните разходи при управление и елиминират възможности за измама. Общото между тях е, че използват предимствата на частната блокчейн технология, която се явява по-добра от публичната конкретно в областта на логистиката, тъй като решенията, които я използват са по-евтини, многоканални и работят в среда на доверени устройства и участници, осигурявайки по-добър контрол на достъпа.

Извършен е комплексен сравнителен анализ спрямо съществуващите традиционни и блокчейн базирани решения, който показва, че предложените модели постигат по-високи комплексни оценки по избраните критерии. Въпреки това, традиционните решения запазват определени предимства по отношение на бързодействие при запис, по-ниски първоначални разходи и лекота на внедряване. От своя страна, предложените модели се отличават с по-добри показатели по отношение на сигурност, прозрачност, проследяемост, устойчивост на измами, доверие между участниците и възможност за автоматизирано управление. Всичко това потвърждава твърдението, че за специфични логистични процеси предложените частни блокчейн модели предоставят по-добра среда за управление от традиционните съществуващи решения.

Приноси на дисертационния труд

Приноси с научен характер:

- Предложен е абстрактен разслоен модел за представяне на управление на логистични процеси, базирани на блокчейн технологии.

Приноси с научно-приложен характер:

- Предложени са модели за използване на умни договори върху частен блокчейн (HyperLedger Fabric) за управление на логистични процеси:
    - модел за приемане и съхранение на произведения на изкуството и колекционерски предмети;
    - модел за доставка на продукция до склад за дистрибуция;
    - модели за проследяване на служители и следене на техните жизнени показатели.

Приноси с приложен характер:

- Разработени са функционални прототипи на блокчейн мрежи върху HyperLedger Fabric, моделиращи логистични процеси, свързани с доставка, съхранение и проследимост, както на активи, така и на персонал.

Публикации по темата на дисертационния труд

1. **В.Малешков**, „Блокчейн технологии, приложими в логистиката“ // Компютърни науки и технологии, Година XXI, Брой 1/2023, стр. 68-81, ISSN 1312 – 3335
2. **Maleshkov, V.**; Valchanov, H.; Aleksieva, V. Blockchain-Based Model for Warehouse Management Systems for Artworks and Collectibles. Eng. Proc. 2024, 70, 39. (**индексирана в Scopus**)
3. Aleksieva, V.; Valchanov, H.; **Maleshkov, V.**; Haka, A. Blockchain Solutions for Logistic Management. Blockchains 2024, 2, 445–457.
4. **Maleshkov, V.**; Aleksieva, V.; Valchanov, H. Blockchain Model for Tracking Employees' Location in the Company's Premises. Eng. Proc. 2025, 104, 11. https://doi.org/10.3390/engproc2025104011. (**индексирана в Scopus**)
5. **V. Maleshkov**, V. Aleksieva and H. Valchanov, "Blockchain-Based Model for Monitoring Employees Vital Signs," 2025 6th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), Ruse, Bulgaria, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/CIEES66347.2025.11300147. (**индексирана в Scopus**)

Научно-изследователска работа по други договорни теми и задачи:

- Национална програма: „Млади учени и постдокторанти“ 2024г. – Етап 1.
- Научноизследователски проект НП3/2025г: „Подходи за обработка, анализ и защита на информация, базирани на Blockchain и машинно обучение“ с ръководител доц. д-р инж. Айдън Мехмед Хъкъ

Специални благодарности на:

проф. д-р инж. Венета Алексиева, проф. д-р инж. Христо Вълчанов, доц. д-р инж. Айдън Хъкъ, моето семейство и на всички, които са били съпричастни към моята дисертационна работа.

ABSTRACT

Dissertation Title: Approaches to managing logistic processes, based on blockchain technologies

by Venellin Georgiev Maleshkov

In accordance with the main objective, the dissertation analyzes existing solutions for the application of blockchain technologies in logistics and supply chain management. Their advantages and limitations are examined, with a particular emphasis on on approaches for ensuring data security, transparency and traceability in the logistic processes.

Chapter 1 presents the essence and characteristics of blockchain technologies and the applicability of them in business and logistics. Using the PRISMA method, specific approaches for managing logistic processes are analyzed, for example solutions related to storage, inventory management, information flow and control of the storage. The analysis identifies the key advantages and limitations of the existing solutions and highlights the need for approaches integrating blockchain with modern technologies like Internet of Things in the logistics systems.

Based on the reviewed solutions, it was found that blockchain technologies can provide significant potential in terms of improving transparency, security and reliability of logistic processes, especially when they are combined with technologies like IoT.

Chapter 2 justifies the need for developing new approaches for managing logistic processes based on blockchain technologies. An abstract hierarchical layerd model for logistic processes is proposed, which can serve as a conceptual framework for integrating blockchain solutions into the logistic systems.

Several blockchain based models are developed, each for a specific logistics subsystem – product delivery to warehouses for distribution, storage processes, employee location tracking and monitoring employees' vital signs. Every proposed model is compared with its traditional counterpart, thus demonstrating improvements in process transparency, traceability and automation.

Every proposed model is implemented as a private blockchain network which is based on HyperLedger Fabric. This way a secure data exchange and execution of smart contracts withich controlled environments is accomplished.

Chapter 3 presents the experimental studies of the proposed models, conducted through their implementation as HyperLedger Fabric networks. The testing confirms the functionality of the models. The models are evaluated using qualitu and quantitative criteria and a comparative analysis between different traditional and blockchain based approaches is carried out.

The results confirm that the proposed models improve key characteristics of logistics like security, data integrity, transparency and operational efficiency. The developed prototype environment enables validation of every proposed model in conditions that are close to real world scenarios.