

Федірко Олександр Анатолійович
доктор економічних наук, професор
завідувач кафедри європейської економіки і бізнесу
KNEU імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна
e-mail: fedirko.oleksandr@kneu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1043-1184
+380637004244

Ткачук Юрій Русланович
аспірант кафедри європейської економіки і бізнесу
KNEU імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна
e-mail: metiz-gr@ukr.net
ORCID: 0009-0005-4356-6455
+ 380443716145

СЕКТОРАЛЬНІ МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ В ЄС

Fedirko Oleksandr
Ph.D, D.S, professor,
head of the department of European economy and business,
KNEU named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine
e-mail: fedirko.oleksandr@kneu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1043-1184
+380637004244

Tkachuk Yuri
postgraduate student of the department of European economy and business,
KNEU named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine
e-mail: metiz-gr@ukr.net
ORCID: 0009-0005-4356-6455
+ 380443716145

SECTORAL MODELS OF BLOCKCHAIN-TECHNOLOGY APPLICATION IN THE EU

Анотація. Блокчейн-технологія швидко стає наріжним каменем цифрової економіки ЄС, забезпечуючи безпеку, транспарентність та ефективних цифрових транзакцій, зменшуючи залежність від посередників, зміцнюючи цілісність даних та трансформуючи усталені бізнес-практики в управлінні ланцюгами поставок, системах цифрової ідентифікації та фінансовому секторі. Дослідження сучасних секторальних моделей застосування блокчейну в економіці ЄС є критично важливим, оскільки це дозволяє ідентифікувати, які саме галузі можуть отримати найбільший економічний ефект від впровадження та масштабування цієї технології, а також виявити унікальні виклики та можливості для кожного сектору. Методика дослідження базується на контент-аналізі моделей застосування блокчейн-технологій у різних секторах економіки Європейського Союзу, передбачаючи, насамперед систематизацію та узагальнення існуючих моделей, дослідження їх спільних та відмінних характеристик, компаративний аналіз секторальних кейсів успішного впровадження технології блокчейну, а також ідентифікацію її універсальних переваг. Метою статті є дослідження та систематизація секторальних моделей застосування блокчейн-технологій в Європейському Союзі. Розширення застосування блокчейн-технологій за межі фінансового сектору у таких галузях, як сільське господарство, енергетика, промисловість, медіа, операції

з нерухомістю, охорона здоров'я тощо демонструє його універсальність як фундаментальної технології для забезпечення цілісності даних у різних економічних секторах. Технологічні особливості блокчейну (незмінність, прозорість, децентралізація) віднайшли своє застосування там, де критично важливим є забезпечення прозорого обліку даних та взаємної довіри контрагентів у системі багатостороннього економічного співробітництва.

Ключові слова: Європейський Союз, секторальні бізнес-моделі, блокчейн-технології, секторальні прогнози, переваги та виклики для блокчейн-технологій.

Abstract. Blockchain technology is rapidly becoming a cornerstone of the EU's digital economy, ensuring secure, transparent, and efficient digital transactions. It reduces reliance on intermediaries, strengthens data integrity, and transforms established business practices in supply chain management, digital identity systems, and the financial sector. Research into current sectoral models of blockchain application in the EU economy is critically important, as it allows for the identification of specific industries, which can gain the greatest economic benefit from the implementation and scaling of this technology. It also helps to reveal the unique challenges and opportunities for each sector.

The research methodology is based on a content analysis of blockchain technology application models across various sectors of the European Union's economy. This primarily involves the systematization and generalization of existing models, an examination of their common and distinctive characteristics, a comparative analysis of sectoral cases of successful blockchain implementation, and the identification of its universal advantages. The purpose of this article is to investigate and systematize the sectoral models of blockchain technology application in the European Union.

The expansion of blockchain technology beyond the financial sector into fields such as agriculture, energy, industry, media, real estate, and healthcare demonstrates its universality as a fundamental technology for ensuring data integrity across various economic sectors. The technological features of blockchain (immutability, transparency, decentralization) have found their application wherever it is critical to ensure transparent data accounting and mutual trust among parties in a system of multilateral economic cooperation.

Key words: European Union, sectoral business models, blockchain technologies, sectoral forecasts, blockchain technologies advantages and challenges.

JEL codes: F02, O33, L86.

Постановка проблеми. Блокчейн-технологія швидко стає наріжним каменем цифрової економіки ЄС, забезпечуючи безпеку, транспарентність та ефективних цифрових транзакцій, зменшуючи залежність від посередників, зміцнюючи цілісність даних та трансформуючи усталені бізнес-практики в управлінні ланцюгами поставок, системах цифрової ідентифікації та фінансовому секторі [1; 2; 3]. Технологія сприяла формуванню передумов для розвитку інноваційних моделей децентралізованих фінансів (DeFi) [1], починаючи з 2009 року, коли блокчейн вперше було застосовано для створення криптовалюти Біткойн [4, с. 8]. Проте, з того часу технологія блокчейн поширилася далеко за межі фінансової сфери, що свідчить про універсальність її переваг, які здобули визнання у багатьох інших секторах економіки.

Дослідження сучасних секторальних моделей застосування блокчейну в економіці ЄС є критично важливим, оскільки це дозволяє ідентифікувати, які саме галузі можуть отримати найбільший економічний ефект від упровадження та масштабування цієї технології, а також виявити унікальні виклики та можливості для кожного сектору. Така сегментація допомагає уникнути універсальних

підходів, які часто є неефективними. Натомість, вона дає змогу розробляти цільові стратегії, що враховують специфіку кожного сектора, від нормативного регулювання до технічних вимог.

Аналіз досліджень і публікацій. Застосування блокчейн-технологій у фінансовій сфері розкрито у роботах численних авторів [5; 6; 7; 8; 9], які акцентують увагу на таких перевагах блокчейну як прозорість та ефективність фінансових операцій, покращення цифрової безпеки, зменшення інформаційної асиметрії, автоматизація процесів обліку та прискорення розрахунків. Аналіз використання блокчейну у сільському господарстві та управлінні агропродовольчими ланцюгами досліджено цілою низкою, вчених [10; 11; 12; 13], які зазначають, що у цьому секторальному контексті технологія використовується для відстеження походження сільськогосподарської продукції, управління контрактами, страхування та оптимізації логістики. Вивчення блокчейну в управлінні промисловими ланцюгами постачання свідчить, що технологія сприяє забезпеченню прозорості та простежуваності промислової продукції, оптимізації логістики, а також зниженню витрат у виробництві, транспорті, енергетиці, авіа- та автомобілебудівній промисловостях тощо [14; 15; 16; 17; 18]. Імплементация блокчейн-технологій у сфері охорони здоров'я сприяє посиленню приватності та захисту даних пацієнтів, оптимізації обміну медичною інформацією між установами, а також відстежуваності ланцюгів постачання лікарських засобів, зменшуючи ризик їх підробок [14; 15; 19].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У відповідь на виклики та можливості цифрової трансформації, європейський бізнес активно досліджує та впроваджує блокчейн-технології у секторах, де вони мають високий потенціал забезпечення зростання продуктивності праці та економії витрат. Це створює нові завдання, пов'язані з масштабуванням, сумісністю та інтеграцією цих технологій у традиційних системах різних секторів економіки, таких як енергетика (децентралізація торгівлі енергією; розумні контракти; інтеграція блокчейн-платформ з існуючими енергетичними мережами), фінанси (оптимізація транскордонних платежів; спрощення клірингових операцій; гармонізація нормативно-правової бази; кібербезпека; організація взаємодії між блокчейн-платформами та традиційними банківськими системами), охорона здоров'я (обмін медичними даними між клініками та пацієнтами; оптимізація логістики медичних препаратів; забезпечення конфіденційності та анонімності персональних даних пацієнтів) тощо. Усі ці питання потребують подальшого глибокого дослідження, насамперед, у контексті систематизації та узагальнення секторальних моделей застосування блокчейн-технологій в практиці економічної діяльності ЄС.

Метою статті є дослідження та систематизація секторальних моделей застосування блокчейн-технологій в Європейському Союзі.

Методика дослідження. Методика дослідження базується на контент-аналізі моделей застосування блокчейн-технологій у різних секторах економіки Європейського Союзу, передбачаючи, насамперед систематизацію та узагальнення існуючих моделей, дослідження їх спільних та відмінних характеристик, компаративний аналіз секторальних кейсів успішного впровадження технології блокчейну, а також ідентифікацію її універсальних переваг. Важливою є ідентифікація причин підвищення економічної ефективності секторальних бізнес-моделей

в результаті адаптації блокчейн технологій, шляхів і механізмів економії витрат, автоматизації бізнес-операцій та транзакцій. Методика також передбачає пошук перешкод та викликів для розвитку блокчейн в економіці країн-членів ЄС, а також причин відставання динаміки ринку блокчейн технологій в ЄС від США. Водночас, доволі важливим є оцінка і прогноз зростання сегменту блокчейн в економіці провідних країн Європи та світу.

Виклад основного матеріалу. Наразі країни-члени ЄС поступово зближуються за рівнями економічного розвитку та цифровізації, спостерігаючи помітне зростання людського капіталу та удосконалення електронних державних послуг [20]. Блокчейн-технології розглядаються в ЄС як ключовий елемент стратегії цифрової та зеленої трансформації, прагнучи створити більш безпечні та ефективні цифрові екосистеми [1; 21; 22]. За визначенням фахівців Європейської комісії, блокчейн — це захищений від несанкціонованого доступу спільний цифровий реєстр, в якому фіксуються транзакції в децентралізованій одноранговій мережі [4, с. 5]. Блокчейн, або технологія розподіленого реєстру (Distributed Ledger Technology — DLT), є децентралізованою, безпечною та прозорою системою для запису транзакцій у мережі комп'ютерів, що усуває потребу в центральному органі чи посереднику. Його основні принципи включають децентралізацію, що означає передачу права прийняття рішень та контролю від єдиного суб'єкта до мережі взаємопов'язаних суб'єктів, що дозволяє забезпечити функціональність системи без централізованого контролю [23].

Процес роботи блокчейну складається з кількох етапів: спочатку транзакція, що відображає переміщення активів, записується як блок даних, включаючи інформацію про учасників, предмет, час, місце та умови операції. Далі більшість учасників розподіленої мережі мають підтвердити дійсність транзакції відповідно до правил консенсусу. Після досягнення консенсусу транзакції записуються в блоки з криптографічним хешем, який пов'язує їх у ланцюг. Нарешті, оновлена копія центрального реєстру поширюється серед усіх учасників [24, с. 5].

Перехід від централізованого контролю до децентралізованого консенсусу між учасниками мережі в блокчейн-технології є не просто технічною зміною, а глибокою економічною трансформацією. Традиційно для забезпечення безпеки фінансових транзакцій економічна система покладалася на уповноважених фінансових посередників, таких як банки або клірингові палати. Проте, технологія блокчейн за своєю суттю усуває потребу в таких посередниках та відкриває шлях до значного скорочення витрат [23], підвищення ефективності та зменшення операційних ризиків. Більш фундаментальні наслідки полягають у переосмисленні механізмів забезпечення безпеки економічних транзакцій, переходячи від інституційної моделі до криптографічної, що може відкрити нові напрямки бізнесу та, загалом, змінити секторальну структуру економіки [1].

Обсяг світового ринку блокчейн-технологій за даними консалтингової компанії MARKET.US оцінювався на рівні 123 млрд дол США у 2023 р. [25]. Очікується, що до 2033 року обсяг світового ринку блокчейн-технологій сягне 13 трлн дол США внаслідок високих прогнозованих середньорічних темпів приросту на рівні 68 % протягом прогнозованого періоду з 2024 по 2033 рік [25].

У структурі ринку блокчейну за характером доступу учасників (приватна, публічна та гібридна хмара) станом на 2022 рік домінантне положення на ринку займав сегмент публічної хмари (62 % від загального обсягу) [25], що обумов-

лено його масштабованістю, доступністю та економічною ефективністю. Технології публічної хмари пропонують доступ через Інтернет з високою гнучкістю та мінімальними витратами на інфраструктуру, що створює значні переваги для малих і середніх підприємств, яким потрібні рішення на основі блокчейну без необхідності значних капіталовкладень в ІКТ-інфраструктуру.

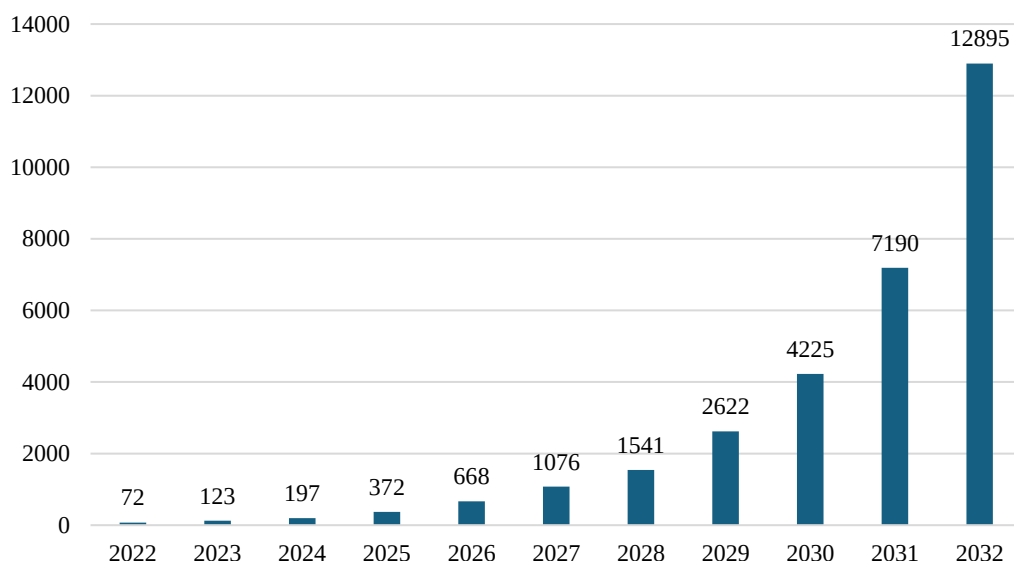


Рис. 1. Динаміка і прогноз обсягу світового ринку блокчейн-технологій, млрд дол США

Джерело: [Blockchain Technology Market — MARKET.US].

Якщо вести мову про технологічну компонентну структуру блокчейну (інфраструктура та протоколи; застосування та рішення; проміжне програмне забезпечення), то провідне місце тут належить сегменту «Інфраструктури та протоколи» — понад 65,4 % ринку [25], що можна пояснити провідною роллю цього сегмента в екосистемі блокчейну. Інфраструктура та протоколи формують основу, на якій функціонують мережі блокчейн, забезпечуючи створення, перевірку та зберігання транзакцій безпечним та незмінним способом. Цей сегмент включає такі базові технології, як розподілені реєстри блокчейну (DLT), алгоритми консенсусу та архітектурні рамки, які підтримують різні типи блокчейнів.

З точки зору характеру застосування блокчейн-технологій (біржі; цифрова ідентифікація; смарт-контракти; платежі й розрахунки; управління ланцюжком постачання та ін.), лідерство на світовому ринку блокчейну у 2022 році належало сегменту платежів (понад 44 %) внаслідок переваг підвищеної безпеки та прозорості платежів, а також зниження трансакційних витрат [25].

У структурі кінцевого споживання блокчейн послуг (державна; фінансовий сектор (BFSI); медіа та розваги; транспорт та логістика; охорона здоров'я; роздрібна торгівля; туризм та ін.) у 2022 році домінував сегмент банківської справи, фінансових послуг та страхування (BFSI), займаючи понад 40 % ринку [25]. Його лідируюча позиція значною мірою зумовлена критичною потребою у прозорості,

безпеці та ефективності фінансових операцій, які здатна забезпечити технологія блокчейну. Крім того, блокчейн дозволяє розробляти інноваційні фінансові продукти та послуги, такі як смарт-контракти, децентралізовані фінансові платформи (DeFi) та цифрові валюти, що ще більше закріплює лідерство сектору BFSI на ринку блокчейну.

Не дивлячись на те, що технології блокчейн дозволяють значно економити на витратах малому бізнесу, у 2022 році саме великі компанії контролювали переважну частку світового ринку блокчейн-технологій — понад 68,5 % [25]. Володіючи значними фінансовими, матеріальними та людськими ресурсами, а також нагальною потребою в інноваціях для цифрової трансформації та посилення конкурентних переваг, крупний бізнес часто стикається зі складними операційними проблемами в управлінні мережами постачання, які можна доволі ефективно вирішити за допомогою упровадження технології блокчейн. Окрім того, лідирування великого бізнесу на ринку блокчейну підкріплюється його здатністю масштабувати блокчейн-рішення в багатьох бізнес-підрозділах у різних географічних регіонах світу.

Розглядаючи географічну структуру світового ринку блокчейн-технологій, зазначимо, що лідерство належить США, на частку яких наразі припадає 51 % від світового обсягу фінансування блокчейн-технологій [25]. Загалом у Північній Америці обсяг попиту на технологію блокчейн у 2023 році оцінювався на рівні 28 млрд дол США, що складало близько 40 % світового ринку [25]. Наявність у США та Канаді розвиненої технологічної інфраструктури, нормативно-правового регулювання сприяли створенню середовища, сприятливого для зростання та впровадження блокчейн-технологій. Крім того, важливу роль для розвитку блокчейну в регіоні має залучення венчурних інвестицій. У Північній Америці сконцентровано значну кількість інноваційних блокчейн-стартапів та технологічних гігантів, що постійно інвестують у дослідження та розробки, які в свою чергу обумовлюють створення проривних технологій та продуктів. Так, зокрема, фінансовий сектор регіону широко упровадив блокчейн в своїй діяльності для підвищення безпеки та ефективності транзакцій, а поширення смарт-контрактів та платформ децентралізованих фінансів сприяло процвітанню блокчейну. Водночас технологія активно виходить за межі північноамериканського континенту на глобальний рівень, про що свідчить те, що близько половини з 50 найбільших провайдерів блокчейн-послуг базуються за межами США [25].

У 2022 році на країни Європи припадало 29,4 % від світового доходу ринку блокчейн-технологій [26]. Європейський ринок блокчейн-технологій досягне 412,3 млрд дол США до 2030 року, за умови середньорічного темпу приросту на прогнозованому рівні 87,2 % з 2023 року [26]. Разом з тим, незважаючи на оптимістичні прогнози стрімкого зростання європейського ринку, блокчейн-технології все ще залишаються нішевою технологією, адже її використовують лише 0,88 % із 1,35 млн досліджених у 2024 році компаній [27, с. 31]. Враховуючи доволі значний розрив між прогнозованим потенціалом ринку блокчейну у Європі та поточним низьким рівнем його впровадження, можна стверджувати, що наразі технологія все ще перебуває на ранніх стадіях свого життєвого циклу та сильно сконцентрована у певних «блокчейн-кластерах» [27, с. 34]. Розрив реальних та прогнозованих показників розвитку блокчейн-технологій свідчить про існування значних викликів для масштабування блокчейну в бізнесі, таких як технічні

перешкоди, регуляторна невизначеність та необхідність значної перебудови інфраструктури. До того ж, концентрація блокчейн-технологій в певних галузевих кластерах вказує на важливість спеціалізованих екосистем та кадрових ресурсів для їх успішного впровадження (так, у 2025 році близько 90 % банків США та Європи ретельно вивчали потенціал використання технології блокчейн у своїй діяльності [28]).

Узагальнену характеристику секторальних моделей застосування блокчейн рішень в економіці ЄС наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

СЕКТОРАЛЬНІ МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ В ЄС

Сфера застосування	Характер застосування	Приклади в ЄС	Ринкові прогнози
Сільське господарство	- Відстеження ланцюгів постачання харчової продукції «Від лану до столу»; - безпека контрактів	TE-FOOD [29]; Connecting Food; Apio Srl; Trackyfood [30]; SmartAgriChain [31]; Fairfood; Tracifier [32]; OriginTrail; ACR-NET [33]	Обсяг світового ринку блокчейн у с/г склав 600 млн дол США у 2025 р.; прогноз зростання до 12 млрд дол США у 2035 р. [34]
Енергетика	- Децентралізована торгівля P2P; - цифрова фіксація; - управління та відстеження сертифікатів відновлюваної енергії (RECs)	Energy Mine (Великобританія), Power Ledger (Франція, Австралія), IOTA/IOEN, Net Zero Company (Швеція), Eviden+IOTA	Європа контролює 35 % світового ринку блокчейн в енергетиці — 1.94 млрд дол США у 2024; прогноз зростання глобального ринку до 90.8 млрд дол США у 2034 р. [35]
Ланцюги постачання	- Забезпечення відстежуваності та прозорості логістики компонентів; - запобігання фальсифікаціям; - забезпечення етики постачання	TE-FOOD [29], Renault, Ford, EUIPO's EBSI-ELSA	Обсяг європейського ринку блокчейн в сфері ланцюгів постачання у 2023 р. склав 650 млн дол США; прогноз зростання до 54.83 млрд дол США у 2030 р. [26]
Банківські, фінансові послуги та страхування (BFSI)	- Прискорення та автоматизація платежів; - зниження витрат; - децентралізація фінансових систем «DeFi»; - токенизація активів	Ripple [36], Hyperledger [37], R3 Corda [38], Регламент (ЄС) 2023/1114 Європейського Парламенту та Ради від 31 травня 2023 року про ринки криптоактивів [39], DLT Pilot Regime [40], цифровий євро	Ринок BFSI в ЄС домінує; 90 % банків ЄС вивчають блокчейн [41]
Охорона здоров'я	- Управління даними пацієнта; - конфіденційність; - інтероперабельність даних; - управління ланцюгами постачання ліків	Genomes.io [42], IRYO d.o.o. [43], Beacon Medical Systems Ltd., Embleema [44]	Обсяг ринку блокчейн у сфері охорони здоров'я в ЄС становив 1,7 млрд дол США у 2025 році; прогнозується його зростання до 79.3 млрд дол США у 2035 році [45]

Джерело: складено автором

В секторі агробізнесу блокчейн застосовується насамперед для відстеження ланцюгів постачання харчової продукції, що в рамках спільної аграрної політики ЄС ідентифікується як модель «Від лану до столу». Доволі успішним є продукт, запропонований угорським технологічним стартапом «TE-FOOD International GmbH», що зареєстрований в місті Альбштадт (Німеччина) з додатковим офісом у Будапешті (Угорщина). Це комплексне технологічне рішення для відстеження ланцюга вартості створення харчових продуктів (від маркування продукції і збору даних до зберігання, обробки і продажу) на основі блокчейну. TE-FOOD використовує власний дозвольний блокчейн (permissioned blockchain) під назвою «TrustChain», що має сотні вузлів (Supernodes і Masternodes), розташованих у різних країнах Європи, де запис даних у блокчейн здійснюється лише з дозволу, а публічний доступ забезпечується через додаток «Blockchain Explorer». Про успішність та ефективність запропонованої технології свідчить те, що компанія наразі обслуговує понад 6 тисяч бізнес-клієнтів, а кількість операцій сягає 400 тисяч на день, що позиціонує «TrustChain» серед топ-15 блокчейнів світу.

Іншими успішними моделями імплементації блокчейну в європейському агробізнесі можуть слугувати наступні компанії та проекти:

- французький стартап «Connecting Food» розробив платформу для комплексної цифрової відстежуваності харчових продуктів, яка використовує блокчейн для обробки даних від виробника до кінцевого споживача (farm-to-table);
- платформа «Trusty», розроблена італійською компанією «Apio Srl», пропонує блокчейн-рішення для створення цифрових сертифікатів автентичності продуктів у співпраці з низкою партнерів (GS1 Italy, ICC Agri-Food Hubs та Abruzzo BlockChain);
- італійська блокчейн-платформа «Trackyfood» інтегрує декілька стадій виробництва й постачання харчових продуктів;
- португальський проект «SmartAgriChain» за фінансової підтримки ЄС має на меті створити веб-платформу на базі блокчейну для підтримки виробників, продавців та регулятивних органів у процесах відстеження та сертифікації продовольчих товарів;
- блокчейн-платформа «Trace», розроблена нідерландською компанією «Fairfood» за підтримки ЄС, дає змогу кінцевому споживачу відстежувати походження фермерських продуктів;
- німецька компанія «Tracifier» пропонує ефективні блокчейн-рішення для відстеження і верифікації сертифікатів продуктів на базі NFT з метою запобігання шахрайству та фальсифікаціям;
- популярна словенська компанія «OriginTrail» розробляє протокол для відстеження ланцюгів постачання на базі блокчейн та Web3;
- ірландська організація «ACR-NET» працює над інфраструктурою блокчейн у харчовій галузі і належить до лідерів ринку агроблокчейну разом з компаніями «OriginTrail» та «Ambrosus».

В енергетичному секторі блокчейн-технології стали елементом сучасної технологічної революції, забезпечивши цифрову інфраструктуру для децентралізованої торгівлі енергією (P2P), управління енергетичними мережами та відстеження сертифікатів відновлюваної енергії (RECs) [35]. Використання блокчейну обумовлює перетворення споживачів енергії на так званих «просьюмерів», тобто економічних суб'єктів, які виступають одночасно у ролі споживача та продавця

енергії, шляхом продажу надлишків згенерованих з відновних джерел енергії безпосередньо в місцевих мікромережах, що сприяє досягненню цілей сталого розвитку, сприяє енергетичній незалежності на рівні громад та створює нові економічні моделі розвитку зеленої енергетики [35; 46]. Значне впровадження блокчейну в енергетичному секторі, зокрема для P2P-торгівлі та токенизації вуглецевих кредитів, сприяє реалізації доволі амбітних цілей кліматичної політики ЄС (декарбонізація економіки, сприяння розвитку відновлюваної енергетики тощо) в рамках «Європейського зеленого курсу» та «Подвійного переходу» [1]. Європа лідирує на світовому ринку блокчейну в енергетиці з часткою понад 35 %, що у 2024 році становило близько 1,94 млрд дол США [35].

Технологія блокчейн стрімко поширюється поза межами базових секторів економіки, таких як сільське господарство чи енергетика, трансформуючи ланцюги постачання у промисловості [1] шляхом підвищення прозорості постачання, відстеження етапів виробництва, запобігання підробкам, забезпечення етики постачання та зменшення обсягів шкідливих викидів та відходів виробництва [47]. Обсяг європейського ринку блокчейн-рішень для управління ланцюгами постачання у 2023 році сягнув 650 млн дол США із стрімким прогнозованим темпом зростання до 55 млрд дол США у 2030 році [26].

Успішними кейсами застосування блокчейну в Європі можуть слугувати технологічні рішення управління ланцюгами постачання діамантів (британсько-південноафриканський консорціум «De Beers»), предметів розкоші (швейцарський «Aura Blockchain Consortium»), продуктів харчування («TE-FOOD», «Connecting Food», «Tracifier»), а також автомобільних компонентів («Renault», «Ford») [24]. Зокрема, компанія «Renault Group» у партнерстві з «IBM» та «Faurecia» розробила платформу «XCEED» (eXtended Compliance End-to-End Distributed) для сертифікації автомобільних компонентів, яка дозволяє відстежувати тисячі конструктивних елементів автомобіля, реєструвати специфікації та оперативно реагувати на порушення у виробничих процесах [48].

Окрім того, ініціатива Європейської агенції інтелектуальної власності (EUIPO) «EBSI-ELSA» покликана забезпечити автентичність продуктів у глобальних ланцюгах постачання шляхом сприяння обміну інформацією через блокчейн між компаніями — власниками брендів, логістичними операторами та митними органами влади [49]. Проєкт «EBSI-ELSA» є прикладом застосування технологій блокчейн державними органами для подолання фундаментальних економічних проблем, таких як фальсифікація продукції. Згідно результатів спільного дослідження EUIPO та ОЕСР у 2021 році, обсяг сфальсифікованої продукції становив 412 мільярдів євро або 2,5 % від обсягу світової торгівлі [49].

На європейському ринку блокчейну в секторі банківських, фінансових та страхових послуг (BFSI) домінують Великобританія, Німеччина, Італія та Швейцарія [41], тоді як Німеччина є найбільшим гравцем на європейському ринку криптовалют [50]. При цьому, рівень популярності криптовалюти в структурі інвестицій населення країн Європи на диво мало корелює з рівнем ВВП на душу населення. Так, саме у східноєвропейських країнах-членах ЄС частка населення, що володіє криптовалютними інвестиційними активами, перевищує 10 % (найбільше — у Словенії (18 %), Хорватії — 13 %, Болгарії — 13 %, Болгарії — 13 %, на Кіпрі — 13 %, у Словаччині — 12 %, Чехії — 12 %, Естонії — 12 %, Литві — 11 %). Водночас у великих розвинених економіках, таких як Франція, Німеччина

та Італія лише 5-6 % громадян інвестують у криптоактиви, хоча за абсолютними показниками більш заможні країни мають співставні абсолютні обсяги інвестицій у криптовалюти [51].

Сучасний тренд до суттєвої дивергенції рівнів інвестування у криптовалюти між більш та менш заможними країнами ЄС може свідчити про наявність суттєвих відмінностей у складі рушійних сил для впровадження блокчейну. Так, менші, більш гнучкі економіки можуть легше сприймати роздрібні, публічні (відкриті) блокчейн-продукти (наприклад, криптовалюти), тоді як економічні системи великих розвинених країн здебільшого сконцентровані на інституційних та корпоративних блокчейн-технологіях та продуктах [52]. Зважаючи на цей факт, в ЄС доцільно розробити бінарну стратегію упровадження блокчейн технологій на ринку криптовалют. Східноєвропейські країни можуть бути більш відкритими до роздрібних, публічних блокчейн-додатків, завдяки менш усталеним традиціям фінансової системи та більшій схильності до підприємницького ризику. Навпаки, великі розвинені економіки з міцною фінансовою інфраструктурою та потужною промисловою базою, ймовірно, надаватимуть перевагу закритим (дозвільним) та консорціумним блокчейн-продуктам та додаткам внаслідок зацікавленості корпоративного сектора у їх застосуванні (BFSI, ланцюги поставок, енергетика), через переваги контрольованості, відповідності нормативним вимогам та можливостями їх технічної інтеграції з уже існуючими системами. Поширення такого бінарного тренду інвестування у криптоактиви впливає на розвиток блокчейну на секторальному рівні: зростання сегменту роздрібних блокчейн-продуктів сприятиме у відповідній групі країн розвитку сервісних секторів економіки послуг, зорієнтованих на кінцевого споживача, тоді як впровадження інституційних блокчейн-технологій обумовить цифрову трансформацію основних галузей промисловості. Цей висновок підтверджується аналітичними дослідженнями упровадження блокчейну в енергетичному секторі, де серед країн Європи лідирують Німеччина, Франція та Великобританія — великі країни з добре розвинутою та диверсифікованою структурою економіки [53].

Блокчейн лежить в основі інноваційних моделей децентралізованих фінансів (DeFi), які функціонують незалежно від звичайних ринкових структур, дозволяючи надавати такі послуги, як кредитування, запозичення та торгівля без центральних регулюючих органів [1]. Токенізовані цінні папери (реальні активи, перетворені на цифрові токени на блокчейні) та платформи миттєвих розрахунків проходять пілотні випробування по всій Європі, обіцяючи більш доступні ринки та зменшення операційних ризиків. Всесвітній економічний форум прогнозує, що до 2027 року 10 % світового ВВП може бути токенізовано та зберігатися на блокчейні [1].

Блокчейн може революціонізувати управління даними в сфері охорони здоров'я, надаючи пацієнтам прямий контроль над їхніми медичними записами через децентралізовані системи ідентифікації, захищаючи при цьому конфіденційну інформацію [1]. В цій сфері застосування блокчейну використовують для обміну клінічними даними, забезпечення інтеоперабельності даних, розгляду претензій, виставлення рахунків, управління ланцюгами постачання фармацевтичних препаратів, а також для проведення клінічних випробувань нових препаратів [55]. Прогнозується, що європейський ринок блокчейн-технологій в сфері

охорони здоров'я зросте з 1,7 млрд дол США у 2025 році до 79 млрд дол США до 2035 року із середньорічним темпом приросту 49 % [45].

Дискусія Застосування технології блокчейн у різних секторах економіки ЄС супроводжується низкою дискусійних питань, що переважно стосуються уніфікації нормативно-правового регулювання, технологічних обмежень та етичних аспектів їх застосування.

Одним із головних викликів є відсутність уніфікованого законодавства, що регулювало б блокчейн на рівні всього Європейського Союзу. Хоча регламент Markets in Crypto-Assets (MiCA) став значним кроком уперед, він зосереджений переважно на криптоактивах, залишаючи інші сфери застосування блокчейну менш врегульованими. Окрім того, принцип незмінності блокчейну, коли дані після запису не можуть бути змінені чи видалені, вступає в суперечність із Загальним регламентом ЄС про захист даних (GDPR). Зокрема, «право на стирання» (right to erasure), яке дозволяє громадянам вимагати видалення своїх персональних даних, є складним для реалізації на децентралізованих блокчейн-платформах. На додачу, відмінності в національному законодавстві країн-членів ЄС створюють правову невизначеність для компаній, що працюють з блокчейном на міжнародному рівні. Це ускладнює їх масштабування та ведення бізнесу в межах єдиного ринку.

Технологічні особливості блокчейну також породжують низку дискусій, особливо в контексті його масового впровадження. Публічні блокчейни, такі як Bitcoin або Ethereum, мають обмежену пропускну здатність, що призводить до низької швидкості та високих комісій за транзакції. Це є серйозною перешкодою для застосування блокчейну в секторах, що вимагають високої швидкості обробки даних, наприклад, у фінансових розрахунках або логістиці. Окрім того, деякі консенсусні механізми, зокрема Proof-of-Work (PoW), є надзвичайно енергоємними. Це суперечить «Зеленому курсу» (Green Deal) ЄС, який передбачає перехід до низьковуглецевої економіки, що й обумовлює подальший пошук менш енергоємних альтернатив, як-от Proof-of-Stake (PoS).

Окрім правових та технічних аспектів, обговорюються також етичні наслідки використання блокчейну. Принцип децентралізації, що лежить в основі блокчейну, розмиває поняття відповідальності. Виникає питання: хто несе відповідальність за помилки, збої або незаконні операції на децентралізованій платформі? Це може бути проблемою в разі судових розглядів або шахрайства. Доступ до блокчейн-технологій та криптоактивів може поглибити цифрову та фінансову нерівність, якщо він не буде однаково доступний для всіх верств населення, адже існує об'єктивна нестача обізнаності населення у питаннях застосування блокчейн, щоб повноцінно брати участь у децентралізованій економіці.

Висновки. Розширення застосування блокчейн-технологій за межі фінансового сектору у таких галузях, як сільське господарство, енергетика, промисловість, медіа, операції з нерухомістю, охорона здоров'я тощо демонструє його універсальність як фундаментальної технології для забезпечення цілісності даних у різних економічних сектотах. Хоча на початкових етапах становлення технології блокчейн її майже монопольним користувачем була фінансова система, технологічні особливості блокчейну (незмінність, прозорість, децентралізація) віднайшли своє застосування там, де критично важливим є забезпечення прозорого обліку даних та взаємної довіри контрагентів у системі багатостороннього економічного співробітництва. Засто-

сування блокчейну в сільському господарстві та промисловості для відстеження ланцюгів постачання продукції, або у сфері охорони здоров'я для удосконалення обміну інформацією про пацієнтів чітко демонструє потенціал даної технології до вирішення таких секторальних завдань, як забезпечення харчової безпеки, боротьба з підробками, або захист персональних даних, трансформуючи моделі функціонування бізнесу та створюючи нові ланцюги доданої вартості за межами традиційної системи типових фінансових транзакцій.

Література

1. Blockchain and the road ahead (deep-dive) | Digital Skills & Jobs Platform — European Union. URL: <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/latest/briefs/blockchain-and-road-ahead-deep-dive> (Accessed at March 2, 2025).
2. Xu M., Chen X., Kou G. A systematic review of blockchain. *Financial Innovation*. 2019. № 5. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0147-z>.
3. Yeoh P. Regulatory issues in blockchain technology. *Journal of Financial Regulation and Compliance*. 2017. № 25. P. 196–208. URL: <https://doi.org/10.1108/JFRC-08-2016-0068>.
4. Charalambous M., Damvakeraki T. Blockchain for beginners — basic guiding principles. Brussels, Belgium: The European Commission's Directorate General for Communications Networks, Content and Technology (DG CONNECT), EU Blockchain Observatory and Forum, 2024. 33 p. URL: https://blockchain-observatory.ec.europa.eu/document/download/1063effa-59cc-4df4-ae4e-d2cf94f69178_en?filename=Blockchain_For_Beginners_A_EUBOF_Guide.pdf (Accessed at March 2, 2025)
5. Du M., Chen Q., Xiao J., Yang H., Ma X. Supply Chain Finance Innovation Using Blockchain. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2020. № 67. P. 1045–1058. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2971858>.
6. Rijanto A. Blockchain Technology Adoption in Supply Chain Finance. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2021. № 16. P. 3078–3098. <https://doi.org/10.3390/jtaer16070168>.
7. Frank E. Exploring the Impact of Blockchain Technology on the Financial System: A Case Study of Decentralized Finance (DeFi) in the European Banking Sector. *Studies in Social Science & Humanities*. 2023. Vol. 2. No. 12. P. 47–57. <https://doi.org/10.56397/sssh.2023.12.07>.
8. Grima S., Kizilkaya M., Sood K., ErdemDelice M. The Perceived Effectiveness of Blockchain for Digital Operational Risk Resilience in the European Union Insurance Market Sector. *Journal of Risk and Financial Management*. 2021. № 14 (8). 363. <https://doi.org/10.3390/jrfm14080363>.
9. Zook M., Grote M. Blockchain financial geographies: Disrupting space, agency and scale. *Geoforum*. 2022. № 151. 103615. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.08.001>.
10. Menon S., Jain K. Blockchain Technology for Transparency in Agri-Food Supply Chain: Use Cases, Limitations, and Future Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2021. № 71. P. 106–120. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3110903>.
11. Bhat S., Huang N., Sofi I., Sultan M. Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. *Agriculture*. 2022. № 12(1). 40. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010040>.
12. Stranieri S., Riccardi F., Meuwissen M., Soregaroli C. Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains. *Food Control*. 2021. Volume 119. 107495. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107495>.

13. Kamble S., Gunasekaran A., Sharma R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*. 2020. № 52. 101967. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.05.023>.
14. Dutta P., Choi T., Somani S., Butala R. Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*. 2020. № 142. P. 102067–102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>.
15. Van Nguyen T., Pham H., Nguyen M., Zhou L., Akbari M. Data-driven review of blockchain applications in supply chain management: key research themes and future directions. *International Journal of Production Research*. 2023. № 61. P. 8213–8235. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2165190>.
16. Saberi S., Kouhizadeh M., Sarkis J., Shen L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*. 2018. № 57. P. 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>.
17. Gonczol P., Katsikouli P., Herskind L., Dragoni N. Blockchain Implementations and Use Cases for Supply Chains-A Survey. *IEEE Access*. 2020. № 8. P. 11856–11871. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964880>.
18. Kowalski P., Esposito L. The Role of Blockchain Technology in Enhancing Supply Chain Transparency in Europe. *Journal of Procurement & Supply Chain*. 2023. Vol. 7. No. 2. P. 11–21. <https://doi.org/10.53819/81018102t2179>.
19. Zhang X. Blockchain Technology in Various Fields: Applications, Challenges, And Future. Highlights in Science, Engineering and Technology. 2023. Vol. 57. P. 154–160. <https://doi.org/10.54097/hset.v57i.9994>.
20. Borowiecki R., Siuta-Tokarska B., Maroń J., Suder M., Their A. & Żmija, K. Developing Digital Economy and Society in the Light of the Issue of Digital Convergence of the Markets in the European Union Countries. *Energies*. 2021. Vol. 14. Issue 9. 2717. URL: <https://doi.org/10.3390/EN14092717>.
21. Blockchain and web3 strategy | Shaping Europe's digital future — European Union. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-strategy> (Accessed at March 2, 2025).
22. Blockchain funding and investment — Shaping Europe's digital future — European Union. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-funding> (Accessed at March 2, 2025).
23. Blockchain & Distributed Ledger Technologies — GAO. URL: <https://www.gao.gov/assets/gao-19-704sp.pdf> (Accessed at March 2, 2025).
24. What is Blockchain Technology? — AWS URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/blockchain/> (Accessed at March 2, 2025).
25. Blockchain Technology Market — market.us. URL: <https://market.us/report/-blockchain-technology-market/> (Accessed at March 2, 2025).
26. Grand View Research. Europe Blockchain Supply Chain Market Size & Outlook, 2030 / Grand View Research. URL: <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/blockchain-supply-chain-market/europe> (Accessed at March 2, 2025).
27. Gschnaidtner Ch., Dehghan R., Hottenrott H., Schwierzy J. Adoption and diffusion of blockchain technology. *ZEW Discussion Papers*. 2024. № 24–018. ZEW — Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/289452/1/1884854117.pdf> (Accessed at March 2, 2025).
28. Blockchain Statistics & Facts 2025 — Tekrevol. URL: <https://www.tekrevol.com/blogs/blockchain-statistics-facts/> (Accessed at March 2, 2025).
29. TE-FOOD. The #1 end-to-end food traceability solution on blockchain / TE-FOOD. URL: <https://te-food.com/> (Accessed at March 2, 2025).

30. Digital Traceability in Agri-Food Supply Chains: A Comparative Analysis of OECD Member Countries / Charlebois S. et al. *Foods*. 2024. № 13(7). 1075. URL: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/7/1075?utm_source=chatgpt.com.
31. SmartAgriChain. Blockchain-Based Digital Certification of Agri-Food Products / SmartAgriChain. URL: <http://smartagrichain.eu> (Accessed at March 2, 2025).
32. EU Startup News. Can Blockchain Revolutionise AgriTech Supply Chain and Promote Sustainable Practices? / EU Startup News, 2023. URL: https://eustartup.news/can-blockchain-revolutionise-agritech-supply-chain-and-promote-sustainable-practices/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).
33. Scceu. Agriculture and Food Supply Chain's Blockchain Transition: Technology — Supply Chain Council of European Union / Scceu, 2020. URL: https://scceu.org/agriculture-and-food-supply-chains-blockchain-transition-technology/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).
34. Future Market Insights. Blockchain in Agriculture and Food Supply Chain Market | Global Market Analysis Report / Future Market Insights. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/blockchain-in-agriculture-and-food-supply-chain-market> (Accessed at March 2, 2025).
35. Moysiadis Y. Blockchain and the Energy Sector in 2025: From Disruption to Infrastructure and why we need to start paying attention / WattCrop. URL: <https://wattcrop.com/blockchain-and-the-energy-sector-in-2025-from-disruption-to-infrastructure-and-why-we-need-to-start-paying-attention/> (Accessed at March 2, 2025).
36. Ripple. Crypto Payment Solutions. Send cross-border payments in real-time. URL: <https://ripple.com/solutions/cross-border-payments/> (Accessed at March 2, 2025).
37. LF Decentralized Trust. ABOUT The open source foundation for decentralized technology ecosystems. URL: <https://www.lfdecentralizedtrust.org/about> (Accessed at March 2, 2025).
38. Corda. The award-winning real-world asset (RWA) tokenization platform powering financial digitalization. URL: <https://r3.com/r3-labs/corda/> (Accessed at March 2, 2025).
39. Regulation (EU) 2023/1114 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on markets in crypto-assets, and amending Regulations (EU) No 1093/2010 and (EU) No 1095/2010 and Directives 2013/36/EU and (EU) 2019/1937 (Text with EEA relevance). PE/54/2022/REV/1. *Official Journal of the European Union*. L 150, 9.6.2023, pp. 40–205.
40. European Securities and Markets Authority. DLT Pilot Regime. URL: <https://www.esma.europa.eu/esmas-activities/digital-finance-and-innovation/dlt-pilot-regime> (Accessed at March 2, 2025).
41. About Genomes.io. URL: <https://www.genomes.io/about> (Accessed at March 2, 2025).
42. Healthcare Blockchain Startup Iryo Aims to Disrupt Medical Data Ownership by Giving Full Control to the Patient. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/healthcare-blockchain-startup-iryo-aims-to-disrupt-medical-data-ownership-by-giving-full-control-to-the-patient-676361803.html> (Accessed at March 2, 2025).
43. Daley S., Rodriguez A. Blockchain in Healthcare: 16 Real-World Examples. 2025. URL: <https://builtin.com/blockchain/blockchain-healthcare-applications-companies> (Accessed at March 2, 2025).
44. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. New York: Palgrave Macmillan, 2011. 291 p.
45. AIMultiple. Top 20 Blockchain in Supply Chain Case Studies in 2025 / AIMultiple. URL: <https://research.aimultiple.com/blockchain-in-supply-chain-case-study/> (Accessed at March 2, 2025).
46. Groupe Renault tested a blockchain project to go further in the certification of vehicle compliance. URL: https://media.renaultgroup.com/groupe-renault-tested-a-blockchain-project-to-go-further-in-the-certification-of-vehicle-compliance/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).

47. EUIPO unveils 'EBSI-ELSA': a ground-breaking step in global supply chain product authentication. URL: <https://www.euipo.europa.eu/en/news/euipo-unveils-ebsi-elsa-a-ground-breaking-step-in-global-supply-chain-product-authentication> (Accessed at March 2, 2025).
48. Ken Research. Europe Blockchain in BFSI Market Outlook to 2030 / Ken Research. URL: <https://www.kenresearch.com/industry-reports/europe-blockchain-in-bfsi-market> (Accessed at March 2, 2025).
49. TechSci Research. Europe Cryptocurrency Market Size, Report 2030F / TechSci Research. URL: <https://www.techsciresearch.com/report/europe-cryptocurrency-market/4970.html> (Accessed at March 2, 2025).
50. The World Economic Forum. Charted: Crypto popularity across the EU / The World Economic Forum, 2023. URL: <https://www.weforum.org/stories/2023/03/charted-crypto-popularity-across-the-eu/> (Accessed at March 2, 2025).
51. Binariks. Top 5 Blockchain Technology Trends to Watch in 2025–2030 / Binariks. URL: <https://binariks.com/blog/emerging-blockchain-technology-trends/> (Accessed at March 2, 2025).
52. Straits Research. Energy Blockchain Market Size, Share, and Forecast to 2029 / Straits Research. URL: <https://straitsresearch.com/report/energy-blockchain-market> (Accessed at March 2, 2025).
53. Blockchain: in from the cold and set to disrupt the world of finance / World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/stories/2024/01/blockchain-change-world-finance-stablecoins-internet/> (Accessed at March 2, 2025).
54. Blockchain Applications in the Healthcare Sector: Shaping Europe's digital future. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/blockchain-applications-healthcare-sector> (Accessed at March 2, 2025).
55. Europe Blockchain Technology in Healthcare Market Report 2035. URL: https://www.prophecymarketinsights.com/market_insight/europe-blockchain-technology-in-healthcare-market-5928 (Accessed at March 2, 2025).

References

1. Blockchain and the road ahead (deep-dive) | Digital Skills & Jobs Platform — European Union. Retrieved from <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/latest/news/blockchain-and-road-ahead-deep-dive> (Accessed at March 2, 2025).
2. Xu, M., Chen, X. & Kou, G. (2019). A systematic review of blockchain. *Financial Innovation*, 5, 1 — 14. <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0147-z>.
3. Yeoh, P. (2017). Regulatory issues in blockchain technology. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, 25 (2), 196-208. <https://doi.org/10.1108/JFRC-08-2016-0068>.
4. Charalambous, M., Damvakeraki, T. (2024) Blockchain for beginners — basic guiding principles. Brussels, Belgium: The European Commission's Directorate General for Communications Networks, Content and Technology (DG CONNECT), EU Blockchain Observatory and Forum. Retrieved from https://blockchain-observatory.ec.europa.eu/document/download/1063effa-59cc-4df4-aeec-d2cf94f69178_en?filename=Blockchain_For_Beginners_A_EUBOFGuide.pdf (Accessed at March 2, 2025).
5. Du, M., Chen, Q., Xiao, J., Yang, H., & , X. (2020). Supply Chain Finance Innovation Using Blockchain. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67, 1045–1058. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2971858>.
6. Rijanto, A. (2021). Blockchain Technology Adoption in Supply Chain Finance. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16, 3078–3098. <https://doi.org/10.3390/jtaer16070168>.

7. Frank, E. (2023). Exploring the Impact of Blockchain Technology on the Financial System: A Case Study of Decentralized Finance (DeFi) in the European Banking Sector. *Studies in Social Science & Humanities*, 2 (12), 47 — 57. <https://doi.org/10.56397/sssh.2023.12.07>
8. Grima, S., Kizilkaya, M., Sood, K., & ErdemDelice, M. (2021). The Perceived Effectiveness of Blockchain for Digital Operational Risk Resilience in the European Union Insurance Market Sector. *Journal of Risk and Financial Management*, 14 (8), 363. <https://doi.org/10.3390/jrfm14080363>.
9. Zook, M., & Grote, M. (2022). Blockchain financial geographies: Disrupting space, agency and scale. *Geoforum*, 151, 103615. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.08.001>.
10. Menon, S., & Jain, K. (2021). Blockchain Technology for Transparency in Agri-Food Supply Chain: Use Cases, Limitations, and Future Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 106-120. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3110903>.
11. Bhat, S., Huang, N., Sofi, I., & Sultan, M. (2022). Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. *Agriculture*, 12(1). 40. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010040>.
12. Stranieri, S., Riccardi, F., Meuwissen, M., & Soregaroli, C. (2021). Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains. *Food Control*, 119, 107495. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107495>.
13. Kamble, S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 101967. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFORMGT.2019.05.023>.
14. Dutta, P., Choi, T., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 142, 102067–102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>.
15. Van Nguyen, T., Pham, H., Nguyen, M., Zhou, L., & Akbari, M. (2023). Data-driven review of blockchain applications in supply chain management: key research themes and future directions. *International Journal of Production Research*, 61, 8213–8235. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2165190>.
16. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2018). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57, 2117 — 2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>.
17. Gonczol, P., Katsikouli, P., Herskind, L., & Dragoni, N. (2020). Blockchain Implementations and Use Cases for Supply Chains-A Survey. *IEEE Access*, 8, 11856–11871. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964880>.
18. Kowalski, P., & Esposito, L. (2023). The Role of Blockchain Technology in Enhancing Supply Chain Transparency in Europe. *Journal of Procurement & Supply Chain*, 7 (2), 11–21. <https://doi.org/10.53819/81018102t2179>.
19. Zhang, X. (2023). Blockchain Technology in Various Fields: Applications, Challenges, And Future. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 57, 154-160. <https://doi.org/10.54097/hset.v57i.9994>.
20. Borowiecki, R., Siuta-Tokarska, B., Maroń, J., Suder, M., Their, A. & Żmija, K. (2021). Developing Digital Economy and Society in the Light of the Issue of Digital Convergence of the Markets in the European Union Countries. *Energies*, 14 (9), 2717. <https://doi.org/10.3390/EN14092717>.
21. Blockchain and web3 strategy | Shaping Europe’s digital future — European Union. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-strategy> (Accessed at March 2, 2025).
22. Blockchain funding and investment — Shaping Europe’s digital future — European Union. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-funding> (Accessed at March 2, 2025).

23. Blockchain & Distributed Ledger Technologies — GAO. Retrieved from <https://www.gao.gov/assets/gao-19-704sp.pdf> (Accessed at March 2, 2025).
24. What is Blockchain Technology? — AWS. Retrieved from <https://aws.amazon.com/ru/what-is/blockchain/> (Accessed at March 2, 2025).
25. Blockchain Technology Market — market.us. Retrieved from <https://market.us/report/blockchain-technology-market/> (Accessed at March 2, 2025).
26. Grand View Research. Europe Blockchain Supply Chain Market Size & Outlook, 2030 / Grand View Research. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/blockchain-supply-chain-market/europe> (Accessed at March 2, 2025).
27. Gschnaidtner, Ch., Dehghan, R., Hottenrott, H., & Schwierzy J. (2024). Adoption and diffusion of blockchain technology. *ZEW Discussion Papers*, 24-018. Mannheim: ZEW — Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung. Retrieved from <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/289452/1/1884854117.pdf> (Accessed at March 2, 2025).
28. Blockchain Statistics & Facts 2025 — Tekrevol. Retrieved from <https://www.tekrevol.com/blogs/blockchain-statistics-facts/> (Accessed at March 2, 2025).
29. TE-FOOD. The #1 end-to-end food traceability solution on blockchain / TE-FOOD. Retrieved from <https://te-food.com/> (Accessed at March 2, 2025).
30. Charlebois, S., Latif, N., Ilahi, I., Sarker, B., Music, J., & Vezeau, J. (2024). Digital Traceability in Agri-Food Supply Chains: A Comparative Analysis of OECD Member Countries. *Foods*, 13(7), 1075. <https://doi.org/10.3390/foods13071075>.
31. SmartAgriChain. Blockchain-Based Digital Certification of Agri-Food Products / SmartAgriChain. Retrieved from <http://smartagrichain.eu> (Accessed at March 2, 2025).
32. EU Startup News. Can Blockchain Revolutionise AgriTech Supply Chain and Promote Sustainable Practices? / EU Startup News, 2023. Retrieved from https://eustartup.news/can-blockchain-revolutionise-agritech-supply-chain-and-promote-sustainable-practices/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).
33. Scceu. Agriculture and Food Supply Chain's Blockchain Transition: Technology — Supply Chain Council of European Union / Scceu, 2020. Retrieved from https://scceu.org/agriculture-and-food-supply-chains-blockchain-transition-technology/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).
34. Future Market Insights. Blockchain in Agriculture and Food Supply Chain Market | Global Market Analysis Report / Future Market Insights. Retrieved from <https://www.futuremarketinsights.com/reports/blockchain-in-agriculture-and-food-supply-chain-market> (Accessed at March 2, 2025).
35. Moysiadis, Y. (2025). Blockchain and the Energy Sector in 2025: From Disruption to Infrastructure and why we need to start paying attention / WattCrop. Retrieved from <https://wattcrop.com/blockchain-and-the-energy-sector-in-2025-from-disruption-to-infrastructure-and-why-we-need-to-start-paying-attention/> (Accessed at March 2, 2025).
36. Ripple. Crypto Payment Solutions. Send cross-border payments in real-time. Retrieved from <https://ripple.com/solutions/cross-border-payments/> (Accessed at March 2, 2025).
37. LF Decentralized Trust. ABOUT The open source foundation for decentralized technology ecosystems. Retrieved from <https://www.lfdecentralizedtrust.org/about> (Accessed at March 2, 2025).
38. Corda. The award-winning real-world asset (RWA) tokenization platform powering financial digitalization. Retrieved from <https://r3.com/r3-labs/corda/> (Accessed at March 2, 2025).
39. Regulation (EU) 2023/1114 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on markets in crypto-assets, and amending Regulations (EU) No 1093/2010 and (EU) No 1095/2010 and Directives 2013/36/EU and (EU) 2019/1937 (Text with EEA relevance). PE/54/2022/REV/1. *Official Journal of the European Union*. L 150, 9.6.2023, pp. 40–205.

40. European Securities and Markets Authority. DLT Pilot Regime. Retrieved from <https://www.esma.europa.eu/esmas-activities/digital-finance-and-innovation/dlt-pilot-regime> (Accessed at March 2, 2025).
41. About Genomes.io. Retrieved from <https://www.genomes.io/about> (Accessed at March 2, 2025).
42. Healthcare Blockchain Startup Iryo Aims to Disrupt Medical Data Ownership by Giving Full Control to the Patient. Retrieved from <https://www.prnewswire.com/news-releases/healthcare-blockchain-startup-iryo-aims-to-disrupt-medical-data-ownership-by-giving-full-control-to-the-patient-676361803.html> (Accessed at March 2, 2025).
43. Daley, S. & Rodriguez, A. (2025). Blockchain in Healthcare: 16 Real-World Examples. Retrieved from <https://builtin.com/blockchain/blockchain-healthcare-applications-companies> (Accessed at March 2, 2025).
44. Rifkin, J. (2011). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. New York: Palgrave Macmillan.
45. AIMultiple. Top 20 Blockchain in Supply Chain Case Studies in 2025 / AIMultiple. Retrieved from <https://research.aimultiple.com/blockchain-in-supply-chain-case-study/> (Accessed at March 2, 2025).
46. Groupe Renault tested a blockchain project to go further in the certification of vehicle compliance. Retrieved from https://media.renaultgroup.com/groupe-renault-tested-a-blockchain-project-to-go-further-in-the-certification-of-vehicle-compliance/?utm_source=chatgpt.com (Accessed at March 2, 2025).
47. EUIPO unveils 'EBSI-ELSA': a ground-breaking step in global supply chain product authentication. Retrieved from <https://www.euipo.europa.eu/en/news/euipo-unveils-ebsi-elsa-a-ground-breaking-step-in-global-supply-chain-product-authentication> (Accessed at March 2, 2025).
48. Ken Research. Europe Blockchain in BFSI Market Outlook to 2030 / Ken Research. Retrieved from <https://www.kenresearch.com/industry-reports/europe-blockchain-in-bfsi-market> (Accessed at March 2, 2025).
49. TechSci Research. Europe Cryptocurrency Market Size, Report 2030F / TechSci Research. Retrieved from <https://www.techsciresearch.com/report/europe-cryptocurrency-market/4970.html> (Accessed at March 2, 2025).
50. The World Economic Forum. Charted: Crypto popularity across the EU / The World Economic Forum, 2023. Retrieved from <https://www.weforum.org/stories/2023/03/charted-crypto-popularity-across-the-eu/> (Accessed at March 2, 2025).
51. Binariks. Top 5 Blockchain Technology Trends to Watch in 2025-2030 / Binariks. URL: <https://binariks.com/blog/emerging-blockchain-technology-trends/> (Accessed at March 2, 2025).
52. Straits Research. Energy Blockchain Market Size, Share, and Forecast to 2029 / Straits Research. Retrieved from <https://straitsresearch.com/report/energy-blockchain-market> (Accessed at March 2, 2025).
53. Blockchain: in from the cold and set to disrupt the world of finance / World Economic Forum. Retrieved from <https://www.weforum.org/stories/2024/01/blockchain-change-world-finance-stablecoins-internet/> (Accessed at March 2, 2025).
54. Blockchain Applications in the Healthcare Sector: Shaping Europe's digital future. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/blockchain-applications-healthcare-sector> (Accessed at March 2, 2025).
55. Europe Blockchain Technology in Healthcare Market Report 2035. Retrieved from https://www.prophecymarketinsights.com/market_insight/europe-blockchain-technology-in-healthcare-market-5928 (Accessed at March 2, 2025).