

Wojciech Mincewicz*

Potencjał wykorzystania technologii blockchain na szczeblu samorządu terytorialnego**

The potential of using blockchain technology
at the level of local government

STUDIA I ANALIZY

Słowa kluczowe: blockchain, technologia, lokalność, cyfryzacja, samorząd terytorialny

Keywords: blockchain, technology, locality, digitization, local government

Abstrakt: Celem artykułu jest analiza możliwości wykorzystania technologii blockchain na szczeblu samorządu terytorialnego. Do oceny potencjału wykorzystania łańcucha bloków wykorzystano analizę literatury przedmiotu oraz metodę studium przypadku. Badane były rozwiązania już istniejące, obserwowane i wdrożone z powodzeniem w innych państwach. Posługując się metodą studium przypadku zidentyfikowano cztery obszary implementacji, to jest: wspomaganie procesów wyborczych, funkcjonowanie administracji, cyberbezpieczeństwo oraz sprawne funkcjonowanie łańcucha dostaw. Prowadzona diagnoza w odniesieniu do stanu zaawansowania prac w Polsce wskazuje na istotne problemy i wyzwania, w tym brak spójnych działań na szczeblu władzy centralnej. Wykorzystanie technologii łańcucha bloków ma w polskim samorządzie charakter incydentalny. Możliwość poprawy i przyspieszenia prac dostrzegać należy w działaniach Unii Europejskiej, która od kilku lat przyjmuje rozwiązania mające na celu zintensyfikować procesy wdrożeniowe.

* ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0460-9158>, politolog, socjolog, doktorant w Katedrze Socjologii Polityki i Marketingu Politycznego Wydziału Nauk Politycznych i Studiów Międzynarodowych Uniwersytetu Warszawskiego. E-mail: w.mincewicz@uw.edu.pl

** Nazwy rozwiązań technologicznych, przedsiębiorstw oraz produktów komercyjnych użyte w artykule mają jedynie wartość informacyjną i stanowią studium przypadku. Nie są to treści reklamowe ani innego rodzaju nośniki, których zadaniem jest zachęcanie do nabycia produktów oferowanych przez przedsiębiorstwo prywatne.

Abstract: *The aim of the article is to analyze the possibilities of using blockchain technology at the local government level. The analysis of the literature on the subject and the case study method were used to assess the potential of using the blockchain. Solutions already existing, observed and successfully implemented in other countries were investigated. Using the case study method, four implementation areas have been identified, namely: supporting election processes, functioning of the administration, cybersecurity and efficient functioning of the supply chain. The diagnosis carried out in relation to the progress of works in Poland indicates significant problems and challenges, including the lack of coherent actions at the central government level. The use of blockchain technology is incidental in the Polish local government. The possibility of improving and accelerating the work should be noticed in the activities of the European Union, which for several years has been adopting solutions aimed at intensifying the implementation processes.*

Wprowadzenie

Po ponad dekadzie od pierwszej udanej implementacji, coraz większa grupa autorów wskazuje, że powstanie technologii blockchain to rozpoczęcie nowej ery w sieciowym przetwarzaniu informacji¹. Dotychczasowe doświadczenie pokazuje, że wykorzystanie technologii łańcucha bloków sprawia, że transfer danych odbywa się w sposób bezpieczny, bezpośredni, zwalidowany. Sieć służąca do przesyłu określana jest jako „inteligentna”, dzięki wbudowanym w jej działanie mechanizmom protokołu kryptograficznego, który automatycznie identyfikuje, sprawdza poprawność, a następnie potwierdza przetwarzane informacje w sieci². W rezultacie powstaje nowa forma „algorytmicznego zaufania”, która zasadniczo różni się od tradycyjnie rozumianego zaufania, dotyczącego relacji między ludźmi. Następstwem zachodzącego procesu jest zmarginalizowanie roli tradycyjnych pośredników, którzy są odpowiedzialni za weryfikację i walidację przesyłanych informacji. Tworzy się bowiem instytucjonalna struktura społeczna oparta na procesach komputerowego przetwarzania informacji³. Masowe wdrożenie i upowszechnienie technologii blockchain

¹ Np. F. Yannas, *A new era of food transparency powered by blockchain*, «Innovations: Technology, Governance, Globalization» 2018, no. 12(1–2), s. 46–56; L. Ante, P. Sandner, I. Fiedler, *Blockchain-based ICOs: Pure hype of the dawn of a new era of startup financing?* «Journal of Risk and Financial Management» 2018, no. 11(4); G.T. Suyambu, M. Anand, M. Janakirani, *Blockchain – A most disruptive technology on the spotlight of world engineering education paradigm*, «Procedia Computer Science» 2020, no. 172, s. 152–158.

² M. Swan, P. De Filippi, *Toward a philosophy of blockchain: a symposium: introduction*, «Metaphilosophy» 2017, no. 48(5), s. 605.

³ M. Nahotko, *Zarządzanie mediami elektronicznymi z wykorzystaniem technologii blockchain w komunikacji naukowej*, «Zarządzenie mediami» 2021, t. 9(3), s. 430.

może skutkować istotnymi zmianami w wielu sferach życia społecznego⁴. Jak wskazuje Dariusz Dudek, technologia znajdzie zastosowanie wszędzie tam, gdzie właściwe zarządzanie informacją elektroniczną pozwala obniżyć koszty transakcji, przyspieszać rozliczenia przy jednoczesnym wzroście przejrzystości, gdzie liczy się bezpieczeństwo oraz ograniczenie możliwości duplikowania dokumentów, a także wspomaganie innowacyjności⁵. Pierwszym znanym przykładem pełnego wdrożenia technologii jest Bitcoin. Pierwotnie blockchain stanowił podstawę kryptowalut, jednak może być on stosowany do przesyłania i rejestrowania także innych cyfrowych zapisów. Korzyści o charakterze ekonomicznym, politycznym oraz prawnym wynikające z używania technologii coraz częściej świadczą o tym, że blockchain ma ogromny potencjał wywołania „twórczej destrukcji” (inne tłumaczenie twórcze niszczenie)⁶. W efekcie może doprowadzić do rekonfiguracji wszystkich aspektów funkcjonowania społeczeństwa. Wynika to przede wszystkim z tego, że technologię tę cechuje odporność na manipulacje i awarie⁷. Na potrzeby akademickie, wyróżnione zostały trzy generalne kategorie obszarów odnoszące się do trzech generacji technologii. Pierwsza generacja 1.0., to najbardziej pierwotna forma związana z kryptowalutami i obsługą płatności oraz aplikacji. Nadbudowę i modyfikację łańcuchów pierwszej generacji możemy obserwować, od momentu, gdy powstał pomysł wykorzystania technologii do celów innych niż kryptowaluty. Warstwa 2.0. dotyczyć będzie różnych aktywów finansowych takich jak akcje, obligacje, kredyty hipoteczne, ale także inteligentnych kontraktów, platform Ethereum i Hyperledger. Zaproponowane przez Vitalika Butarina, twórcę platformy Ethereum rozwiązanie dało możliwość tworzenia autonomicznych organizacji, które są niezależne od ingerencji człowieka. Inteligentne kontrakty to programy, które działają wykorzystując mechanizm blockchain, a jego poprawne wykonanie jest egzekwowane przez protokół konsensusu. W kolejnych latach pojawiły się pomysły implementacji technologii w branży pozaekonomicznej: służbie zdrowia, mediach, wymiarze sprawiedliwości czy też instytucjach rządowych, co złożyło się na warstwę 3.0. Futurologicy snują wizję jednego łańcucha bloków, publicznego, z którego każdy będzie mógł korzystać. Łańcuch bloków X.0. będzie oferował rozmaite usługi, a agendy będą

⁴ Por. W. Szpringer, *Blockchain jako innowacja systemowa. Od internetu informacji do internetu wartości*, Warszawa 2019, s. 72.

⁵ D. Dudek, *Możliwości wykorzystania technologii blockchain w obszarze edukacji*, «Informatyka Ekonomiczna» 2017, nr 3(45), s. 59.

⁶ Za. J.A. Schumpeter, *Kapitalizm, socjalizm, demokracja*, M. Rusiński (tłum.), Warszawa 2009, s. 99–105.

⁷ W. Szpringer, *Fintech i blockchain – kierunki rozwoju gospodarki cyfrowej*, «Studia BAS» 2019, nr 1(57), s. 10.

z niego korzystać, aby podejmować racjonalne decyzje i wchodzić w interakcję z innymi agendami działającymi w imieniu człowieka⁸.

Potencjał wdrożeniowy technologii oparty jest na unikatowym wykorzystaniu w jednym narzędziu znanych od lat rozwiązań kryptograficznych. Łańcuch bloków charakteryzuje się rozproszoną architekturą sieci, wykorzystaniem algorytmów kryptograficznych, brakiem możliwości modyfikacji danych historycznych, przejrzystością, bezpieczeństwem oraz zaufaniem opartym na konsensusie. Pozwala nieznanym się jednostkom przesyłać unikalny cyfrowy zapis w sposób bezpośredni, bez ryzyka kopiowania⁹. Pomimo tego, że w przestrzeni publicznej powszechnie znane są rozwiązania komercyjne, blockchain coraz częściej wykorzystywany jest przez rządy poszczególnych państw dla zachowania porządku i bezpieczeństwa publicznego oraz poprawy jakości oferowanych usług publicznych. W ostatnich latach podmioty państwowe, jaki i organizacje międzynarodowe na całym świecie zaczęły wykorzystywać technologię między innymi do: zarządzania tożsamością cyfrową, w obszarze zdrowia, żywności i rolnictwa, ewidencji gruntów, zamówień publicznych, obronności, lotnictwa i logistyki¹⁰.

Celem prezentowanego artykułu jest analiza możliwości wykorzystania technologii blockchain na szczeblu samorządu terytorialnego. Tekst został podzielony na trzy główne części. W pierwszej przedstawiona została istota technologii blockchain jako nowego źródła zapisu i transferu informacji. Na tym etapie zdefiniowano najistotniejsze elementy, które w sposób istotny wpływają na poziom bezpieczeństwa zaprojektowanych systemów. Ze względu na mnogość rozwiązań, które powstały w oparciu o blockchain, kluczowe elementy technologiczne zostały opisane na przykładzie bitcoina, jako pierwszego udanego przykładu pełnego wdrożenia. Część druga artykułu, oparta została o studium przypadku. Przedstawione możliwości wykorzysta-

⁸ M. Swam, *Blockchain: Blueprint for a New Economy*, Newton MA 2015, s. ix; I. Bashir, *Blockchain – Zaawansowane zastosowanie łańcucha bloków*, T. Walczak (tłum.), wyd. 2, Gliwice 2019, s. 36–37.

⁹ I. Lin, T. Liao, *A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges*, «International Journal of Network Security» 2017, nr 5, s. 653–659; S.S. Shetty, Ch.A. Kamhoua, L.L. Njilla, *Blockchain i bezpieczeństwo systemów rozproszonych*, K. Konatowicz (tłum.), Warszawa 2020, s. 3–19; K. Ciupa, *Blockchain: wartość w trzech wymiarach*, Warszawa 2020, s. 50 i n.

¹⁰ Zob. np. J. Clifron, L.A. Pal, *The policy dilemmas of blockchain*, «Policy and Society» 2022, no. 41(3), s. 321–327; A. Mohammad, S. Vargas, *Barriers Affecting Higher Education Institutions' Adoption of Blockchain Technology: A Qualitative Study*, «Informatics» 2022, no. 9; L. Hang, Ch. Chen, L. Zhang, J. Yang, *Blockchain for applications of clinical trials: Taxonomy, challenges, and future directions*, «IET Commun» 2022; L. Rezaei, R. Babazadeh, *An Overview of The Impact of Blockchain Technology on the Meat, Fruit and Vegetable Supply Chains*, «International Journal of Industrial Engineering & Production Research» 2022, vol. 33, no. 4.

nia posłużą weryfikacji hipotezy o przydatności technologii blockchain jako potencjalnego narzędzia służącego wspomagananiu rozmaitych procesów. Wskazane zostały istotne zalety rozwiązania, które pozwalają zdefiniować istotne przewagi w zestawieniu z dotychczas znanymi. W części trzeciej autor odwołuje się do doświadczeń polskich na szczeblu lokalnym, już zaprezentowanych bądź znajdujących się na etapie prac badawczo-wdrożeniowych. Zakończenie stanowi syntetyczne podsumowanie studium. Na potrzeby prac wykorzystane zostały źródła o charakterze naukowym w postaci publikacji akademickich, źródeł internetowych oraz raportów i opracowań.

Blockchain jako technologia (r)ewolucji

Termin *blockchain*, czyli łańcuch bloków, powstał z zestawienia słów *block* (jako blok zapisów) oraz *chain* (łańcuch, powiązanie, sieć)¹¹. Nazwa wywodzi się od sposobu, w jakim dane przechowywane w rejestrze są zorganizowane. Opisowo bowiem blockchain to wydłużająca się lista połączonych ze sobą bloków (ogniwi łańcucha), w których zgrupowana jest określona ilość danych, w pierwotnej formie transakcji kryptowalutowych. Każdy nowy blok jest dołączany do poprzedniego i zawiera, między innymi, znacznik czasu, który określa, kiedy został wytworzony, a także odnośnik (ang. *hash*) do poprzedniego bloku. Całość zabezpieczona jest przy wykorzystaniu kryptografii. Zmiana danych zawartych wcześniej w którymkolwiek bloku wymagałaby modyfikacji wszystkich następujących po nim bloków. Ze względu na trudność związaną z powtórным przeliczeniem zawartości bloków (znalezieniem hasha bloku poprzedzającego), blockchain staje się rejestrem niemodyfikowalnym.

W literaturze często podkreśla się, że zastosowane rozwiązania stanowią sprytne połączenie istniejących już przez dziesięcioleci elementów¹². Blockchain można zdefiniować jako: *rozproszoną bazę danych, która zawiera stale rosnącą ilość informacji (rekordów) pogrupowanych w bloki i powiązanych ze sobą w taki sposób, że każdy następny blok zawiera oznaczenie czasu (ang. *timestamp*), kiedy został stworzony oraz link do poprzedniego bloku, będący zaszyfrowanym „streszczeniem” jego zawartości*¹³. Innymi słowy, łańcuch bloków to wciąż rozrastający się, bezpieczny, wspólny system prowadzenia rejestrów, w którym

¹¹ Pierwotnie S. Nakamoto w swoim manifeście posługiwał się określeniem *chain of blocks*. Termin *blockchain* wykształcił się po kilku latach i stał się powszechnie stosowany.

¹² Np. K. Włosik, *Rynek kryptowalut i tokenów z perspektywy inwestycyjnej*, Poznań 2021, s. 13.

¹³ K. Piech, *Leksykon pojęć na temat technologii blockchain i kryptowalut*, Ministerstwo Cyfryzacji, Warszawa 2016, s. 5.

każdy użytkownik przechowuje kopię danych. Łańcuch można aktualizować tylko, gdy wszystkie strony zaangażowane w transakcje wyrażają na to zgodę. Blockchain jest technologią służącą do zdecentralizowanego, samoorganizującego się zarządzania informacją. Jest to sposób na zapis zaszyfrowanych informacji na wielu urządzeniach, współkorzystających z sieci¹⁴. Dlatego też blockchain nazywany jest niekiedy technologią rozproszonych rejestrów lub rozproszonej księgi głównej (ang. *Distributed Ledger Technology*, DLT). Stanowi rodzaj elektronicznej jawnej listy (bazy danych), na której zapisywane są chronologicznie wszystkie transakcje realizowane między użytkownikami¹⁵. Rozszerzając na zastosowanie poza-ekonomiczne można także stwierdzić, że łańcuch bloków jest zdecentralizowaną siecią typu P2P, tworzącą niezmiennie, chronologicznie uporządkowane zapisy informacji. Jest to definicja zmodyfikowana, która w ujęciu opisowym wskazuje na istotę rozwiązań cechujących technologię.

W pierwotnej postaci każdy z użytkowników blockchajna ma identyczną kopię bazy danych, nowe bloki z danymi dopisywane są zgodnie z przyjętym przez sieć algorytmem konsensusu. Jest to przykład publicznej sieci blockchain, gdzie każdy z użytkowników może pobrać dowolny fragment bazy danych lub cały zapis zawarty w rejestrze. Dzięki rozproszonej formie publiczny łańcuch bloków jest odporny na cyberataki, ponieważ agresorom trudniej uzyskać dostęp do wielu kont użytkowników niż złamać zabezpieczenia pojedynczej bazy danych. Blockchain publiczny jest bazą danych mogącą rejestrować praktycznie wszystko, pozwala na transfer coinów, ale także innych nośników wartości, takich jak na przykład papiery wartościowe czy prawa własności do nieruchomości czy nawet diamentów¹⁶. Wykorzystywana może być jako narzędzie wspomagające BigData¹⁷. Przeciwnieństwem rozwiązania pierwotnego jest blockchain prywatny, gdy algorytm ogranicza uprawnienia użytkowników związane z pobieraniem lub udostępnianiem bazy danych. Możliwość dołączenia do społeczności jest przypisana do określonej grupy użytkowników. Rozwiąza-

¹⁴ J. Johnson, S. Manion, *Blockchain in Healthcare, Research, and Scientific Publishing*, «Medical Writing» 2019, no. 28(4), s. 10.

¹⁵ W. Mougayer, *Blockchain w biznesie. Możliwości i zastosowania łańcucha bloków*, L. Sielicki (tłum.), Gliwice 2019, s. 30.

¹⁶ Przykładowo, firma Everledger stworzyła rozproszony rejestr diamentów. Każdy diament ma przypisany unikatowy numer, który został wprowadzony do blockchajna. W ten sposób można śledzić historię transakcji każdego diamentu, co utrudnia handel kamieniami niewiadomego pochodzenia i dokonywanie przestępstw związanych z obrotem diamentami. Za: A. Sieroń, *Czy blockchain zrewolucjonizuje etykę w finansach?*, «Nowoczesny Bank Spółdzielczy» 2018, s. 3, https://www.zbp.pl/getmedia/c9568b43-f937-4551-909e-69b74bf71ccf/Czy_blockchain_zrewolucjonizuje_etykw_finansach.pdf (20.08.2022).

¹⁷ S. Dhanalakshmi, G.C. Babu, *An examination of big data and blockchain technology*, «Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.» 2019, no. 8(11), s. 3118–3122.

nia prywatne wykorzystywane są w sieciach biznesowych, gdy przekazywane są poufne dane lub też, gdy regulacje prawne uniemożliwiają poszczególnym członkom korzystanie z publicznego blockchaina. Rozwiązaniem pośrednim pomiędzy publicznym i prywatnym blockchainem jest hybrydowa forma, gdy sieć prywatna z własnym protokołem konsensusu i mechanizmami kontroli dostępu do rejestru, wykorzystuje rozwiązania publiczne.

Wspólną cechą rozwiązań opartych na blockchainie jest wykorzystanie rejestrów rozproszonych (systemu wielu współpracujących ze sobą węzłów – komputerów), które nie wymagają zaangażowania centralnego operatora czy zewnętrznego organu kontrolnego. Dzięki przyjętym algorytmom konsensusu, sieć węzłów P2P tworzy współdzieloną i w pełni zsynchronizowaną cyfrową bazę danych (księgę główną), która nie pozwala na usuwanie czy fałszowanie zarejestrowanych transakcji¹⁸. Poszczególne elementy składające się na technologię rozproszonego rejestru to przede wszystkim rozwiązania kryptograficzne, takie jak: funkcja skrótu (ang. *hash function*), drzewa skrótów (ang. *merkle trees*) oraz infrastruktura klucza publicznego (ang. *public key infrastructure*).

Funkcja skrótu, czyli wynik działania funkcji haszującej, to jeden z najistotniejszych elementów współczesnej kryptografii. Jest to funkcja, która dowolnie dużemu ciągowi znaków przyporządkowuje dowolny ciąg znaków mający niespecyficzną wartość o stałym rozmiarze. Co istotne w każdym przypadku funkcja zawiera stałą liczbę bitów. Kryptograficzna funkcja skrótu powinna spełniać dodatkowo takie właściwości jak: jednokierunkowość, odporność na drugi przeciwobraz i na tak zwaną „kolizję”¹⁹. Obliczenie skrótu jest zadaniem wykonalnym (tempo zależne od mocy urządzenia), a działanie przeciwne jest praktycznie niemożliwe do czasu upowszechnienia komputerów kwantowych. W systemie Bitcoin używane są algorytmy RIPEMD 160 oraz SHA-256. RIPEMD w łańcuchu bloków służy do tworzenia adresów Bitcoina, a algorytm SHA-256 do weryfikacji wysiłku obliczeniowego wygenerowanego przez *minerów*. Funkcja skrótu oparta na 256-bitowym algorytmie SHA to prekompilowany kontrakt dostępy pod adresem 0x2 i generujący skrót SHA256 danych wejściowych. Ilość paliwa wymagana dla algorytmu zależy od wielkości danych wejściowych. Dane wejściowe to 32-bajtowa wartość. Funkcja skrótu oparta na 160-bajtowym algorytmie RIPEMD służy do tworzenia 160-bitowego skrótu RIPEMD, a dostępna jest pod adresem 0x3. Dane wyjściowe z tej funkcji to 20-bajtowa wartość. Wymagana ilość paliwa nie-

¹⁸ K. Kosior, *Zastosowanie technologii blockchain w rozwoju ubezpieczeń rolniczych – przegląd aplikacji i rozwiązań*, «Ubezpieczenia w Rolnictwie – Materiały i Studia» 2021, nr 1(75), s. 113.

¹⁹ P. Rodwald, *Kryptograficzna funkcja skrótu*, «Zeszyt Naukowy Akademii Marynarki Wojennej» 2013, nr 2(193), s. 91–92.

zbędna do jej wygenerowania, podobnie jak w przypadku SHA jest zależna od ilości danych wejściowych²⁰.

Funkcja skrótu w przypadku Bitcoina jest wykorzystywana do zrealizowania drugiego narzędzia kryptograficznego, jakim jest podpis cyfrowy. W celu likwidacji pośrednika, twórcy systemu wykorzystali kryptografię klucza publicznego oraz otwarty rejestr transakcji, który jest zapisywany w blockchainie. Podpis cyfrowy jest mechanizmem kryptograficznym. W systemie bitcoina podpis cyfrowy dowodzi, że właściciel klucza autoryzował wydanie danej kwoty oraz daje rękojmię prawdziwości. Algorytm tworzenia podpisu cyfrowego jest dwuetapowy. W pierwszej kolejności obliczany jest skrót pakietu danych. Na tym etapie zapewniana jest ich integralność, ponieważ skrót można ponownie obliczyć po stronie odbiorcy i dopasować do pierwotnego skrótu, aby sprawdzić, czy dane nie zostały zmodyfikowane w trakcie ich transferu. Podpisanie skrótu odbywa się za pomocą klucza prywatnego nadawcy, ponieważ tylko jednostka podpisująca ma określony klucz prywatny. W tym drugim kroku jednostki otrzymują gwarancję autentyczności podpisu i podpisania danych. Podpisy cyfrowe mają zatem kilka ważnych cech. W pierwszej kolejności są autentyczne, co oznacza, że odbiorca może sprawdzić poprawność podpisów cyfrowych. Są także niepodrabiane, co oznacza, że nie można wygenerować podpisanego komunikatu innego niż utworzonego przez prawowitego nadawcę. Są także jednorazowego użytku, co oznacza, że dany klucz można zastosować tylko raz. Podpis ten jest unikalny dla każdego zestawu danych i zawiera informację o nadawcy, treści i czasie zdarzenia²¹.

Szyfrowanie i przesyłanie danych możliwe jest dzięki wykorzystaniu kryptografii. Bitcoin korzysta z kryptografii asymetrycznej. Kryptografia z kluczem asymetrycznym używa pary kluczy: klucza publicznego i klucza prywatnego, które są powiązane ze sobą matematycznie z wykorzystaniem funkcji Eulera. Klucze prywatne służą do cyfrowego podpisywania transakcji. Klucze publiczne są używane do wyprowadzania adresów. Kryptografia z kluczem asymetrycznym umożliwia sprawdzenie, czy użytkownik przekazujący wartość innemu użytkownikowi posiada klucz prywatny, który jest w stanie podpisać otrzymanie wiadomości. Klucze prywatne służą do cyfrowego podpisania transakcji.

²⁰ L. Wang, i in., *Cryptographic primitives in blockchains*, «Journal of Network and Computer Applications» 2019, no. 127, s. 43–58.

²¹ Zob. A.M. Antonopoulos, *Bitcoin dla zaawansowanych. Programowanie z użyciem otwartego łańcucha bloków*, T. Walczak (tłum.), Gliwice 2018, s. 155–161; G. Koziół, *Podpis elektroniczny – rozwiązania techniczne i uwarunkowania prawne*, «Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych/Szkoła Główna Handlowa» 2014, nr 33, s. 265–280; W. Mincewicz, *Blockchain technology and national security-the ability to implement a blockchain in the area of national security*, «De Securitate et Defensione. O Bezpieczeństwie i Obronności» 2020, nr 6(2), s. 120.

Klucz prywatny to 256-bitowe losowo wybrane liczby z przedziału określonego w zaleceniach dotyczących Algorytmu krzywych eliptycznych (ECDSA). Klucz prywatny jest zwykle kodowany w formacie *Wallet Import Format* (WIF), co ułatwia ich kopiowanie i użytkowanie. WIF umożliwia zapis kompletnego klucza prywatnego w innym formacie. Dane w formacie WIF można przekształcić klucz prywatny i na odwrót²².

Klucz publiczny znajduje się w łańcuchach bloków i wszyscy użytkownicy sieci mają do nich dostęp, zatem jest powszechnie dostępny i publikowany przez właściciela klucza prywatnego. Klucze publiczne są generowane na podstawie kluczy prywatnych dzięki matematycznej zależności między rodzajami kluczy. Gdy transakcja podpisana kluczem prywatnym zostanie rozesłana w sieci Bitcoina, klucze publiczne są używane przez węzły do sprawdzania, czy dana transakcja rzeczywiście została podpisana odpowiednim kluczem prywatnym.

Możliwości wykorzystania technologii blockchain na poziomie samorządu lokalnego

Zgodnie z tym, co sygnalizowano we wstępie, transakcyjna struktura protokołów blockchain umożliwia transfer różnych zasobów zapisanych w postaci cyfrowej (nie tylko kryptowalut). Daniel Drescher podkreśla, że łańcuch bloków nie poddaje ocenie przetwarzanych danych, stąd też ich zakres, jak i ilość obszarów potencjalnego zastosowania jest tak szeroki i różnorodny, jak działalność człowieka. Jako przykładowe możliwości wykorzystania wymienia: zarządzanie płatnościami, wykorzystanie przy tworzeniu zasobów cyfrowych czy też cyfrowej tożsamości. Łańcuch bloków może być także wykorzystany na przykład w digitalizacji, przechowywaniu i weryfikacji dokumentów oraz umów, dowodów własności, w świadczeniu usług notarialnych, przeprowadzeniu kontroli działalności w ramach usług audytorskich, lub w trakcie głosowania podczas wyborów²³. Zbiór ten nie ma jednak charakteru zamkniętego, albowiem omówienie wszystkich zastosowań łańcucha bloków jest praktycznie niemożliwe. Należy oczekiwać, że stale będą pojawiały się nowe obszary wdrożenia. Dzieje się tak dzięki temu, że zdecentralizowana sieć, rozproszona po setkach komputerów na całym świecie, oparta o szyfrowanie przy użyciu klucza publicznego

²² Zob. E. Vaskovskyi, *Technologia blockchain – możliwości zastosowania*, Ośrodek Badań i Analiz Systemów Finansowych ALTERUM, s. 13, <http://alterum.pl/uploaded/EVblockchain.pdf> (15.08.2022).

²³ D. Drescher, *Blockchain. Podstawy technologii łańcucha bloków w 25 krokach*, L. Sielicki (tłum.), Gliwice 2019, s. 202.

i prywatnego, stanowi bezpieczną konstrukcję do przechowywania i transferu informacji oraz danych. Wśród najczęściej przywoływanych w literaturze przedmiotu przykładów wdrożenia technologii znajduje się zastosowanie technologii blockchain dla usprawnienia: (1) zarządzania łańcuchem dostaw; (2) zarządzania cyfrową tożsamością; (3) potwierdzania praw własności; (4) rozwiązaniach finansowych; (5) elektronicznego głosowania; (6) ubezpieczeniach; (7) Internecie Rzeczy. Biorąc pod uwagę przywołane przykłady zastosowań narzędzi blockchain w technologiach usprawniających procesy biznesowe, można stwierdzić, iż mają one duży potencjał, aby odmienić niemal każdą dziedzinę życia oraz techniki. Jednak powszechne zastosowanie omawianej technologii nie nastąpi szybko. Podobnie jak w przypadku innych technologii proces ten będzie miał charakter ewolucyjny, a nie rewolucyjny. Dopiero wraz ze wzrostem świadomości i wiedzy możliwe będzie masowe wykorzystanie²⁴. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń kolejnych państw poniżej zidentyfikowane zostały cztery sfery, gdzie technologia blockchain znajduje (lub może znaleźć) zastosowanie na poziomie samorządu lokalnego. Do takich sfer działalności człowieka zaliczone zostało: (1) wspomaganie procesów wyborczych; (2) funkcjonowanie administracji samorządowej; (3) cyberbezpieczeństwo; (4) wspomaganie łańcucha dostaw.

Wspomaganie procesów wyborczych

Problem głosowania elektronicznego (określanego jako *e-voting*) stanowi obszar prac wielu badaczy, zarówno w Polsce, jak i na świecie²⁵. Chociaż wraz

²⁴ H. Dikariev, M. Miłosz, *Blockchain technology and its application*, «Journal of Computer Sciences Institute» 2018, no. 6, s. 59–61; R. Włodarczyk, J. Tomala, M. Sikorska, *Bitcoin, blockchain, rynku surowcowe*, Warszawa 2021, s. 92–95.

²⁵ Zob. np. S. Kumer, E. Walia, *Analysis of electronic voting system in various countries*, «International Journal on Computer Science and Engineering» 2011, no. 3(5), s. 1825–1830; G.O. Ofori-Woumfo, E. Paatey, *The design of an electronic voting system*, «Research Journal of Information Technology» 2011, no. 3(2), s. 91–98; M.M. Sarker, T.M.N.U. Akhund, *The roadmap to the electronic voting system development: a literature review*, «International Journal of Advanced Engineering, Management and Science» 2016, no. 2(5); J.P. Gibson i in., *A review of e-voting: the past, present and future*, «Annales of Telecommunications» 2016, no. 71(7), s. 279–286. W literaturze polskiej zobacz np. J. Nowak, *Aktywność obywateli online: teorie a praktyka*, Lublin 2011, s. 185–233; M. Musiał-Karg, *Elektroniczne głosowanie. Wybrane dylematy dotyczące e-votingu*, [w:] M. Marczevska-Rytko (red.), *Demokracja elektroniczna: kontrowersje i dylematy*, Lublin 2013, s. 81–95; K. Młyńczak-Sachs, *Głosowanie elektroniczne w Holandii – od maszyn do głosowania przez wybory internetowe po kartki i ołówki*, [w:] M. Musiał-Karg (red.), *Demokracja w obliczu nowych mediów. Elektroniczna demokracja, wybory przez Internet, kampania w sieci*, Toruń 2013, s. 66–85; M. Musiał-Karg, *E-demokracja, e-partycypacja i e-głosowanie, czyli o tym jak*

z rozwojem technologicznym opracowywano kolejne systemy, które miały zapewnić bezpieczeństwo i prywatność w trakcie głosowania, to nadal nie są one całkowicie odporne na manipulacje. Systemy głosowania oparte na łańcuchu bloków mogą rozwiązać wymienione problemy, zapewniając bezpieczeństwo oraz automatyczne zliczanie głosów z pełną historią. Bezpieczeństwo jest zapewniane w wyniku gwarantowania integralności i uwierzytelniania głosów za pomocą kryptografii klucza publicznego, standardowo stosowanej w łańcuchach bloków. Ponadto blockchain daje pewność, że głos oddany jest raz, wyłącznie przez uprawnioną osobę. Oprócz bezpieczeństwa, innym argumentem za wykorzystaniem rejestru zbudowanego na blockchainie w realizacji procesu wyborczego, również na poziomie samorządu są kwestie ekonomiczne. Digitalizacja wyborów oznacza bowiem zredukowanie do niezbędnego minimum składu komisji wyborczych, czy brak konieczności drukowania kart do głosowania.

Przykładem wykorzystania w praktyce technologii blockchain do przeprowadzenia wyborów na poziomie lokalnym, regionalnym jest Zug, mały kanton w Szwajcarii pod Zurychem. Rozwiązanie opracowane przez Luxoft Holding w 2018 roku posłużyło mieszkańcom do głosowania nad przepisami budżetowymi oraz wykorzystywaniem technologii blockchain w przyszłości. Opracowana platforma bazowała na Hyperledgerze i została przetestowana na relatywnie niewielkiej grupie wyborców w głosowaniu lokalnym, co nie powinno jednak dziwić ze względu na tradycję demokracji bezpośredniej w Szwajcarii. Z możliwości wzięcia udziału w głosowaniu skorzystało niespełna 30 procent uprawnionych osób, którzy rejestrowali się w miejskim urzędzie przez system eID²⁶. Na dużo większą skalę blockchain wykorzystany został w listopadzie 2018 roku, gdy odbywały się wybory w Tajskiej Partii Demokratycznej. Łącz-

zwiększać zaangażowanie obywateli w dobie Internetu, [w:] M. Rachwał (red.), *Uwarunkowania i mechanizmy partycypacji politycznej*, Poznań 2017, s. 87–100; M. Musiał-Karg, *Elektroniczne głosowanie w opinii Polaków: postawy i poglądy na temat e-voting*, Poznań 2020. O wykorzystaniu technologii blockchain w e-votingu zobacz: E. Zaghloul, T. Li, J. Ren, *d-BAME: distributed blockchain-based anonymous mobile electronic voting*, «IEEE Internet of Things Journal» 2021, no. 8(22), s. 16585–16597; U. Jafar i in., *Blockchain for electronic voting system – review and open research challenges*, «Sensors» 2021, no. 21(17) oraz K. Kushal, S. Ułkarsh, K. Sheetal, *Blockchain Based E-Voting System*, «Journal of Management and IT» 2022, vol. 13, issue 1, s. 64–69.

²⁶ A. Offerman, *Swiss City of Zug issues Ethereum blockchain-based eIDs*, <https://joinup.ec.europa.eu/collection/egovernment/document/swiss-city-zug-issues-ethereum-blockchain-based-eids> (15.09.2022); R. Maccabe, *Report on Switzerland's First Blockchain-Based Vote Reveals Citizens Want More e-voting*, <https://www.luxoft.com/pr/report-on-switzerlands-first-blockchainbased-vote-reveals-citizens-want-more-evoting/> (20.09.2022).

nie w całym kraju oddano 127 tysięcy głosów²⁷. W Korei Południowej z kolei zafunkcjonował system do głosowania oparty na technologii blockchain w trakcie referendum w prowincji Gyeonggi-do. Produkt przedsiębiorstwa Bloko sprawdził się i zgodnie z planami ma być wdrożony w całym kraju oraz zostać zintegrowany z systemem K-Voting²⁸.

Oprócz wymiaru politycznego, głosowanie z wykorzystaniem aplikacji opartych na blockchainie, mogą znaleźć zastosowanie w mniejszej skali, *de facto* niemal w każdej spółce, w tym także spółce miejskiej. Odbywające się sposobem tradycyjny Walne Zgromadzenia wymagają fizycznej obecności, co szczególnie w czasach pandemii COVID-19 oznaczało liczne problemy organizacyjne. Liderem we wdrażaniu platform opartych na blockchainie, które umożliwią akcjonariuszom wzięcie udziału w Walnym Zgromadzeniu jest Estonia. Już w 2016 roku *National Association of Securities Dealers Automated Quotations Tallinn* rozpoczął prace rozwojowe²⁹. W 2019 roku zakończył się pilotaż rozwiązań i rozpoczął się proces systematycznego wdrażania³⁰.

Funkcjonowanie e-administracji

Do klasycznych akademickich przykładów cyfryzacji wszelkich usług publicznych należy wspomniana już Estonia, gdzie według szacunków 99% usług publicznych oferowanych jest obywatelom w systemie ciągłym, to jest 24 godziny na dobę, przez 7 dni w tygodniu³¹. Zaprojektowane rozwiązanie sprawia, że dane obywateli (w tym dane wrażliwe) nie są scentralizowane, co w sposób istotny zmniejsza ryzyko ich niepożądanego wykorzystania. Intensywne prace nad wdrożeniem rozwiązań cyfrowych w Estońskiej administracji prowadzone są równoległe z rozwojem Internetu, a ich początek datuje się na

²⁷ A. Tam, *Thailand's Democrat Party holds election with blockchain*, <https://www.computerweekly.com/news/252452435/Thailands-Democrat-Party-holds-election-with-blockchain> (29.09.2022).

²⁸ M. Kowalczyk, D. Wilga, *Blockchain – perspektywy wdrożeń w sektorze publicznym*, «Collegium of Economic Analysis Annals» 2019, no. 56, s. 128; M. Emem, *South Korea to Test Blockchain-based Voting Prior to Integration with Online Voting*, 2018, <https://finance.yahoo.com/news/south-korea-test-blockchain-based-073155118.html?guccounter=1> (15.09.2022).

²⁹ NASDAQ, *CSX Corporation to Join The NASDAQ-100 Index*, <https://ir.nasdaq.com/news-releases/news-release-details/nasdaq-blockchain-technology-transform-republic-estonia-e?releaseid=954654> (15.09.2022).

³⁰ A. Irrera, *Nasdaq successfully completes blockchain test in Estonia*, <https://www.reuters.com/article/nasdaq-blockchain-idUSL1N1FA1XK> (15.09.2022).

³¹ Za: M. Gołębiowska, *Globalne standardy e-administracji – Estonia dzięki się doświadczeniom*, Instytut Europy Środkowej, 2020.

koniec XX wieku. Wówczas została opracowana platforma X-Road umożliwiająca integrację systemów informatycznych i bezpieczne przesyłanie danych. W 2001 roku wdrożony został elektroniczny dowód osobisty, a w 2005 roku przeprowadzono pierwsze elektroniczne głosowanie w wyborach³². Po doświadczeniach roku 2007 i ataku cybernetycznym³³ w kraju jeszcze większą uwagę zaczęto przywiązywać do odpornego na ingerencję zewnętrzną w sposób zarządzania. Efektem było projektowanie, testowanie, a następnie wdrażanie rozwiązań, które zapewnią bezpieczeństwo systemowi e-administracji. Platforma X-Road, na której oparta jest infrastruktura cyfrowa kraju i serwis e-Estonia, nie są wspierane przez technologię blockchain, ale już jej uzupełnienie – *Keyless Signature Infrastructure* (KSI), współtworzony przez przedsiębiorstwo Guardtime, stanowi klasyczny przykład wdrożenia³⁴. Technologia bezkluczowego podpisu matematycznie weryfikuje wszelką aktywność elektroniczną w sieci bez administratorów, kluczy kryptograficznych czy fizycznych pracowników. Daje możliwość uwierzytelniania wszystkich sieciowych zasobów w czasie rzeczywistym. Zapewnia to całkowitą przejrzystość funkcjonowania i możliwość *de facto* automatycznej weryfikacji. Uprawnione strony mogą zweryfikować, kto uzyskał dostęp do informacji, kiedy i co może z nimi zrobić. W związku z tym państwo może wykazać integralność zapisów i zgodność z przepisami, a osoby fizyczne mogą zweryfikować prawidłowość własnych zapisów bez udziału osoby trzeciej. Inteligentne karty umożliwiają obywatelom Estonii zrealizowanie spraw urzędowych takich jak: notarialne poświadczenie aktu małżeństwa, zaświadczenie o rozwodzie, świadectwa urodzenia czy zawarcia kontraktu biznesowego³⁵. Do enumeratywnego zbioru korzyści dla obywatela związanych z wykorzystaniem technologii blockchain zalicza się: wygodę, zwiększenie wpływów podatkowych, zmniejszenie szarej strefy, nowoczesny wizerunek państwa, które zdecydowało się na wprowadzenie rozwiązania, ograniczenie oszustw i błędów, przejrzystość realizowanych zadań, zwiększenie dostępności, niższe koszty ochrony danych obywateli³⁶.

³² L. Sheeter, *Estonia forges ahead with e-vote*, BBC News, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4343374.stm> (20.09.2022).

³³ Np. R. Białoskórski, *Cyberzagrożenia w środowisku bezpieczeństwa XXI wieku – Zarys problematyki*, Warszawa 2011, s. 50.

³⁴ Guardtime, *Technology*, <https://guardtime.com/technology> (20.09.2022).

³⁵ Republic of Estonia, Ministry of the Interior, *Certificates and extracts*, <https://www.siseministeerium.ee/en/certificates-and-extracts> (27.09.2022).

³⁶ Government Office for Science, *Distributed Ledger Technology: Beyond block chain. A report by the UK Government Chief Scientific Adviser*, London (UK), https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf (20.09.2022).

Wśród innych państw, gdzie technologia blockchain znalazła zastosowanie i z powodzeniem jest wykorzystywana, są Gruzja czy Ukraina. Jednym z istotniejszych problemów o charakterze społeczno-kulturowym w państwach powstałych po upadku ZSRR jest korupcja wśród pracowników administracji na każdym szczeblu, zarówno centralnym, jak i lokalnym. Stąd też Narodowa Agencja Rejestru Praw w Gruzji wykorzystuje technologię blockchain, aby zapewnić swoim obywatelom cyfrowe zaświadczenie o ich prawach do gruntów³⁷. Przeniesienie rejestru gruntów do blockchain skutkowało 400 razy szybszą rejestracją oraz redukcją kosztów operacyjnych na poziomie 90%³⁸. W Ukrainie natomiast technologia posłużyła powstawaniu autonomicznych systemów prywatyzacji majątku państwowego. Dobrym przykładem wydaje się projekt sprzedaży ziemi, którego pilotaż odbył się już w 2016 roku w Odesie. Jego rezultat był na tyle obiecujący, że kilka miesięcy później władze kraju na szczeblu ogólnopaństwowym podpisały decyzję o stworzeniu i implementacji systemu państwowych aukcji internetowych zawartych w łańcuchach bloków³⁹. Podobne projekty służące usprawnieniu rejestracji gruntów i zmniejszeniu kosztowności procesów, wdrażane zostały na przykład w Szwecji, gdzie Urząd do spraw Kartografii, Katastrów i Rejestracji Ziemi zrealizował projekt oznaczania każdej nieruchomości cyfrowym odciskiem palca. Tenże obszar wdrożenia technologii rozwijany jest w kolejnych państwach, albowiem blockchain idealnie nadaje się do potwierdzania, że dana rzecz lub dobro należy niezaprzeczalnie do konkretnej osoby i przechowuje te informacje w sposób trwały i niezmienny.

Raport *UK to Trial Blockchain in Welfare Payments* potwierdza, że technologia rozproszonego rejestru może wspomagać funkcjonowanie administracji publicznej w wielu obszarach, a w szczególności w takich działaniach, jak na przykład: zbieranie podatków, organizacja pomocy społecznej, rejestracja firm, wydawanie paszportów, prowadzenie rejestrów nieruchomości, zabezpieczenie odpowiedniego łańcucha dostaw i zapewnienie integralności rządowych rejestrów i usług⁴⁰.

³⁷ A. Bekhta, *Blockchain: możliwości i wyzwania dla sektora publicznego*, «Prace Naukowe Wydziału Prawa, Administracji i Ekonomii Uniwersytetu Wrocławskiego» 2021, nr 179, s. 196.

³⁸ Joint Research Centre of the European Commission, *Report Blockchain for digital government* 2019, <https://joinup.ec.europa.eu/sites/default/files/document/2019-04/JRC115049%20blockchain%20for%20digital%20government.pdf> (28.09.2022).

³⁹ B. Drażkiewicz, *Blockchain w administracji publicznej – szanse i zagrożenia*, <https://mobiletrends.pl/blockchain-w-administracji-publicznej/> (20.09.2022).

⁴⁰ T. Goliński, *Blockchain w administracji publicznej*, «ComputerWorld», <https://www.computerworld.pl/news/Blockchain-w-administracji-publicznej,407343.html> (25.09.2022).

Cyberbezpieczeństwo

Cyberbezpieczeństwo wobec rozwoju technologii informacyjnych, staje się istotnym elementem funkcjonowania społeczeństwa. Problem ten dotyczy więc także funkcjonowania samorządu terytorialnego. Co coraz częściej wskazują kolejni autorzy, technologia blockchain stanowi istotny element przeciwdziałania zagrożeniom w cyberprzestrzeni⁴¹. Analizowane w artykule cztery obszary wdrożenia technologii na poziomie samorządu terytorialnego stanowią przestrzeń wzajemnie ze sobą powiązaną, homogeniczną, dlatego powtórnie warto przytoczyć przykład Estonii jako państwa stawiającego na cyfryzację. W zakresie cyberbezpieczeństwa, którego istotnym elementem są rozwiązania technologiczne oparte na blockchainie, wartym uwagi jest system podatkowy i korzyści, jakie odnoszą prowincje oraz gminy. Estońska Rada do spraw Podatków i Ceł z powodzeniem wdrożyła system E-Tax, czyli elektroniczny system składania deklaracji podatkowych. Według niezależnych zestawień dzięki wdrożonej innowacji około 98% wszystkich deklaracji podatkowych w Estonii składanych jest drogą elektroniczną⁴². Za pomocą bezpiecznego identyfikatora podatnik loguje się do systemu, przegląda swoje dane we wstępnie wypełnionych formularzach, dokonuje niezbędnych zmian i zatwierdza formularz deklaracji. Estonia wykorzystuje technologię blockchain do zagwarantowania integralności danych i systemów rządowych.

Zabezpieczenie infrastruktury internetowej pracy urzędów współcześnie stanowi jedno z najistotniejszych wyzwań w zakresie zarządzania. Infrastruktura oparta o łańcuch bloków wymaga, aby proces walidacji odbywał się w środowisku rozproszonym, osiągając konsensus z wieloma węzłami. Dzięki temu przeprowadzenie najpopularniejszego ataku typu *Distributed Denial of Service* (DDoS) staje się praktycznie niemożliwe. W wymiarze ilościowym najczęściej schemat realizacji ataku, który ma doprowadzić do zawieszenia funkcjonowania serwera, polega na odpytywaniu jednego serwera DNS (*Domain Name System*). Brak jednego centralnego serwera uniemożliwia lub też utrudnia prowadzenie DDoS. Ponadto dane mają charakter zintegrowany, to jest węzły w sieci wzajemnie walidują prawdziwość przechowywanych informacji. Wobec potrzeby osiągnięcia porozumienia pomiędzy *nodami* i algorytmicznego zaufania, potencjalna ingerencja zewnętrzna wymagałaby przejścia zasobów

⁴¹ Np. R. Prakas, V.S. Anoop, S. Asharaf, *Blockchain technology for cybersecurity: A text mining literature analysis*, «International Journal of Information Management Data Insights» 2022, vol. 2, Issue. 2; P. Zhuang, T. Zamir, H. Liang, *Blockchain for cybersecurity in smart grid: A comprehensive survey*, «IEEE Transactions on Industrial Informatics» 2020, no. 17(1), s. 3–19.

⁴² A. Bekhta, *Blockchain...*, s. 196.

sieci nieproporcjonalnych do zakładanych przez agresora celów. Wśród istotnych zalet rejestrów publicznych, wskazując na przewagi w zakresie zwalczania cyberzagrożeń, blockchain zapewnia pełną jawność. Każdy węzeł, który łączy się z siecią jest identyfikowalny, co umożliwia ujawnienie potencjalnych prób niepożądanego ingerencji, *de facto* w czasie rzeczywistym. Wśród innych *aparii* bezpieczeństwa, które mogą stanowić źródło zagrożenia w pracy urzędów lokalnych, należy wymienić słabo zabezpieczone urządzenia typu router. Wykorzystując blockchaina urzędnicy osiągną konsensus grupowy w odniesieniu do zdarzeń zwyczajnych w danej sieci. W przypadku identyfikacji zagrożenia, to jest niestandardowego działania, inteligentna sieć *de facto* sama będzie w stanie poradzić sobie z problemem.

Wykorzystanie łańcucha bloków w logistyce

Wojna w Ukrainie i jej skutki w postaci zakłócenia łańcucha dostaw przypomniły, jak istotną rolę odgrywa brak przeszkód w realizacji bieżących potrzeb konsumenckich, szczególnie w sytuacjach kryzysowych. Organizacyjny wymiar pracy urzędów na poziomie samorządu lokalnego wymaga sprawnego i niezakłóconego łańcucha dostaw produktów oraz usług w postaci choćby dostaw surowców. Potrzebę stworzenia rozwiązania optymalnego, a zarazem bezpiecznego może zaspokoić (co już się dzieje w niektórych przypadkach) technologia blockchain. Podczas procesów logistycznych realizowana jest wymiana wielu dokumentów oraz danych, do których wgląd powinna mieć każda z uprawnionych stron. Wprowadzenie technologii blockchain do sektora logistyki pozwoliło na ewidencje, podgląd oraz synchronizację transakcji bez udziału pośredników. Ponadto przyniosło to wiele ułatwień w systemach logistycznych i łańcuchach dostaw, jeśli chodzi o śledzenie ładunków. Współcześnie coraz częściej używane jest pojęcie Logistyki 4.0, w związku z czwartą rewolucją przemysłową⁴³, gdzie kluczową rolę odgrywać będzie: współpraca wszystkich ogniw łańcucha wymiany, stałe połączenie, elastyczność w adaptacji, integralność danych cyfrowych ze światem fizycznym, a właśnie takowe cechy gwarantuje technologia blockchain⁴⁴. Śledzenie pochodzenia i przemieszczania w całym łańcuchu dostaw ma znaczącą rolę przy elementach o wysokiej wartości, takich jak towary luksusowe, farmaceutyki, kosmetyki czy elektronika.

⁴³ Zob. K. Schwab, *Czwarta rewolucja przemysłowa*, A.D. Kamińska (tłum.), Warszawa 2018.

⁴⁴ Zob. M. Zaczyk, *Key areas of blockchain technology application in logistics*, «Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska» 2021, nr 152, s. 251; R. Barcik, *Istota i rozwój logistyki 4.0*, «Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania GWSH» 2020, nr 14, s. 21–38.

Jest także istotne w usprawnieniu pracy każdego urzędu, aby proces dostaw odbywał się bez zakłóceń. Technologia pozwala ograniczyć wszelkiego rodzaju potencjalne nadużycia oraz błędy⁴⁵.

Jednym z pierwszych przykładów wdrożenia technologii blockchain w procesie logistyki jest produkt firmy Wal-Mart, stworzony przy współpracy z IBM. Aplikacja pozwala śledzić produkty na każdym etapie, poczynając od procesu wytworzenia, transportu, aż do trafienia do sprzedaży detalicznej. Wdrożone w sieci sklepów rozwiązanie stanowi gwarant jakości produktu, a od strony zamawiającego umożliwia pełną kontrolę całego procesu, szybkość oraz przejrzystość działania. Innym przykładem zastosowania technologii blockchain w rozwiązaniach logistycznych jest duńska A.P. Moller-Maersk, gdzie wdrożenie systemu pozwoliło w sposób istotny zredukować koszt funkcjonowania przedsiębiorstwa i usprawnić łańcuch realizowanych dostaw⁴⁶. UPS z kolei stosuje technologię dla digitalizacji usług celnych przez siebie świadczonych. Wśród znanych globalnie marek wykorzystujących technologię blockchain w logistyce znajdują się Carrefour oraz Samsung⁴⁷. Są to przykładowe rozwiązania wdrażane w sektorze prywatnym, ale kolejni autorzy dostrzegają także istotną rolę technologii w logistyce publicznej, wyszczególniając przy tym realizację zamówień publicznych. Właściwości technologii blockchain sprawiają, że zrealizowane z jej wykorzystaniem przetargi będą organizowane w sposób bardziej efektywny, a sam ich proces rozstrzygania przejrzysty. Projekcje przyszłości wskazują, że w najbliższej dekadzie przetwarzanie zamówień publicznych odbywać się będzie w całości online, a wobec publicznego charakteru rejestru i utrudnionej modyfikacji zapisów umieszczonych w blockchainie staje się on istotnym elementem infrastrukturalnym⁴⁸.

⁴⁵ W. Kucharczyk, M. Kucharczyk, D. Szpilko, *Zastosowanie technologii blockchain w transporcie morskim. Studium przypadku*, «Akademia Zarządzania» 2021, nr 5(3), s. 160–162.

⁴⁶ A. Rot, R. Zygała, *Technologia blockchain jako rewolucja w transakcjach cyfrowych. Aspekty technologiczne i potencjalne zastosowania*, «Informatyka Ekonomiczna» 2018, nr 4(50), s. 128–129.

⁴⁷ M. Wodnicka, *Technologie blockchain przyszłością logistyki*, «Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie» 2019, t. 41, nr 1, s. 51.

⁴⁸ Por. S. Kauf, *Blockchain jako platforma logistyki publicznej*, «Gospodarka Materiałowa i Logistyka» 2020, t. LXXII, nr 3, s. 19.

Polskie doświadczenia z blockchainem w samorządzie: uwarunkowania, próba diagnozy

W 2016 roku w Polsce został zainaugurowany program „Od papierowej do cyfrowej Polski”⁴⁹. Prace realizowane były w ramach 13 strumieni: Cyfrowe Usługi Publiczne, Cyfrowa Tożsamość, Zwiększenie Obrotu Bezgotówkowego, Schematu Krajowego, e-Faktura i e-Paragon, e-Daniny i e-Świadczenia, e-Zdrowie, e-Sprawozdawczość, Blockchain i Kryptowaluty, e-Skrzynka i e-Doręczenie, e-Transport i e-Przepływy towarów, Architektura IT, Cyberbezpieczeństwo⁵⁰. W ramach programu wyodrębniona została grupa robocza do spraw rejestrów rozproszonych i blockchain, pracująca nad zapewnieniem warunków dla rozwoju zastosowań technologii w kolejnych sektorach funkcjonowania państwa. Jedynym efektem prac grupy było opracowanie i przedstawienie czterech dokumentów: 1) Token jako obligacja; 2) Weksle elektroniczne w technologii blockchain; 3) Pieczęć elektroniczna; 4) RODO i blockchain⁵¹. Dokumenty te formalnie stanowiły pierwszy etap prac powołanego zespołu, które nie były kontynuowane po zmianie struktury rządu i likwidacji Ministerstwa Cyfryzacji w 2020 roku. Chociaż w zamyśle miały mieć one charakter wiążący i obligatoryjny ich wartość można ocenić jako informacyjną, ponieważ nie nadano im rangi oficjalnej, a sama praktyka wykorzystania technologii blockchain w Polsce jest wciąż znikoma i ma charakter incydentalny, a nie systemowy.

Pozytywnym przykładem wdrożenia technologii na szczeblu samorządu jest Toruńskie Centrum Usług Wspólnych. W 2018 roku TC UW, które świadczy usługi finansowo-księgowe, płacowe oraz podatkowe zdecydowało się nawiązać współpracę z firmą Atenda w zakresie wdrożenia systemu ChainDoc. Oparte na blockchainie rozwiązanie daje możliwość uwierzytelniania dokumentów ekonomicznych przekazywanych drogą elektroniczną⁵². W 2019 roku z kolei samorząd województwa warmińsko-mazurskiego zdecydował się na wyemitowanie tokena „CoperniCoin” w oparciu o platformę Waves. Jego celem była promocja regionu. Token ma charakter wyłącznie społecznościowy, funkcjonuje na zasadzie punktów lojalnościowych. Pozyskanie tokenu możliwe było poprzez udział w konkursach lub innych wydarzeniach organizowanych

⁴⁹ Zob. Ministerstwo Cyfryzacji, *Od papierowej do cyfrowej Polski*, <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/od-papierowej-do-cyfrowej-polski?inheritRedirect=true> (25.09.2022).

⁵⁰ Tamże.

⁵¹ Cyfryzacja KPRM, *Grupa robocza ds. rejestrów rozproszonych i blockchain*, <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/blockchain> (26.09.2022).

⁵² b/a, *Pionierskie wdrożenie blockchain w sektorze publicznym*, <https://atende.pl/pl/aktualnosci/pionierskie-wdrozenie-blockchain-w-sektorze-publicznym> (28.09.2022). Więcej na temat centrum zobacz forum: <https://tcuw.torun.pl/>.

przez samorząd, a atrybut jego użyteczności stanowi możliwość uzyskania ulgi na przykład przy zakupie biletów do miejsc kultury⁵³.

Jedną z wyróżniających się gmin we wdrażaniu rozwiązań opartych o technologię blockchain jest Jaworze. W 2019 roku wójt gminy Radosław Ostałkiewicz podjął decyzję o rozpoczęciu programu pilotażowego realizowanego we współpracy z iVoting. Uzasadniając rozpoczęcie prac wójt gminy stwierdził: *„Przyglądając się, chociażby z grubsza korzyściom, jakie przyniesie nam Blockchain, wymienić można, chociażby wprowadzenie głosowań przy konsultacjach społecznych, budżecie obywatelskim czy opiniowaniu projektów aktów prawa miejscowego. To również możliwość wprowadzenia wreszcie na szeroką skalę e-okienka, czyli umożliwienie mieszkańcom załatwiania ich spraw sprzed ekranu swojego komputera, tableta czy smartfona, czy wreszcie komunikowanie się mieszkańca z urzędem i odwrotnie poprzez tzw. lokalne cyfrowe ID, będące erzacem podpisu kwalifikowanego. Nie bez znaczenia przy decyzji o przystąpieniu Gminy Jaworze do tego niecodziennego w formie i treści partnerstwa były także zmiany w prawie, które od nowej kadencji staną się samorządową rzeczywistością, tj. wprowadzenia transmisji z obrad rady gminy oraz głosowań imiennych nad projektami uchwał i podawaniu ich spersonalizowanych wyników do wiadomości publicznej. Dlaczego tego wszystkiego nie przetestować samemu? A my – jako Jaworze – do odważnych i ciekawych należymy”⁵⁴.*

Rozwiązanie po zakończeniu prac pilotażowych nie zostało jednak wdrożone, a sam pomysł upadł. Przykład śląskiej gminy jest jednym z nielicznych udokumentowanych prób podjętych w Polsce na szczeblu samorządu lokalnego i sugeruje na okazjonalne zainteresowanie rozwiązaniami przez władarzy lokalnych. Także startupy, który przygotowały rozwiązania oparte na blockchainie dedykowane dla samorządów (np. lokalna.net), zakończył się niepowodzeniem.

Analizując uwarunkowania prawno-normatywne związane z wdrożeniem technologii blockchain w Polsce, w tym także na szczeblu samorządu należy mieć na uwadze fakt członkostwa Polski w Unii Europejskiej. Już w maju 2017 roku Komisja Europejska określiła technologię blockchain jako *mającą olbrzymi wpływ na administrację, biznes i społeczeństwo ogółem*. Aby wspierać rozwój projektów, a także wypracowywać rozwiązania, które będą miały potencjał aplikacyjny, w warstwie normatywnej w lutym 2018 roku powołane zostało przez Komisję Europejską Unijne Obserwatorium i Forum do spraw Blockchain (ang. *EU Blockchain Observatory and Forum*), którego zadaniem jest

⁵³ Zobacz oficjalna witryna internetowa projektu pod adresem: <https://copernico.in.pl/> (28.09.2022).

⁵⁴ Za: <https://bitcoin.pl/jaworze-pierwsza-gmina-ktora-zaglosuje-za-pomocą-technologii-blockchain>, <https://bitcoin.pl/jaworze-blockchain> (30.08.2022).

wspieranie innowacyjnych rozwiązań opartych o nową technologię. Pierwszy dokument, nie wiążący, ale ukierunkowujący dążenia wspólnoty stanowi rezolucja Parlamentu Europejskiego z grudnia 2018 roku. Autorzy podkreślali potencjalną wagę wpływu aplikacji opartych o technologię rozproszonego rejestru na wszystkie sektory funkcjonowania państwa⁵⁵. Analiza treści tejże rezolucji wskazuje na potrzebę podjęcia działań edukacyjnych oraz normatywnych, których celem będzie pełna adaptacja technologii. Wyliczone zostały także potencjalne korzyści wynikające z wdrożenia technologii. Rezolucja PE stanowiła preludium do podjęcia działań na szczeblu wspólnotowym. Zgodnie z przyjętymi założeniami do 2024 roku Unia Europejska ustali szczegółowe ramy funkcjonowania samych kryptoaktywów, jak i procesu implementacji technologii blockchain. Możliwy jest zatem scenariusz, że Polska, zarówno na szczeblu centralnym, jak i lokalnym zobligowana będzie do wdrożenia rozwiązań choćby w zakresie e-tożsamości i e-administracji.

Zakończenie: w kierunku inteligentnego miasta

Wyobrażenia o mieście przyszłości, samozarządzającym się z wykorzystaniem technologii cyfrowych, wraz z rozwojem kinematografii zarezerwowane są dla twórców fantastyki naukowej. Wspólnie z rozwojem technologii blockchain, coraz odważniej zaczynają wybrzmiewać głosy, że inteligentny rejestr stanowi milowy krok dla stworzenia *smart city* i wykorzystania łańcucha bloków w inteligentnym mieście w: 1) przemyśle infrastrukturalnym i przestrzeniach użyteczności publicznej (projektowanie, rozstrzyganie przetargów), 2) zero-emisyjności; 3) zintegrowanego zarządzania danymi i infrastrukturą w tym także krytyczną i transportową⁵⁶. Potencjał implementacji dostrzegany jest zarówno wśród przedstawicieli świata nauki, inwestorów, jak i decydentów politycznych. Realizowane programy pilotażowe stanowią preludium dla przyszłych rozwiązań.

Niniejszy artykuł ogniskuje się wokół aktualnego stanu prac nad wykorzystaniem technologii blockchain i stanowi próbę diagnozy oraz atrybucji trendów. Wśród wyróżnionych czterech obszarów, gdzie blockchain jest wykorzystywany

⁵⁵ Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 13 grudnia 2018 r. w sprawie blockchain: przyszłościowa polityka handlowa (2018/2085(INI)) (2020/C 388/15).

⁵⁶ M.S. Alnahari, S.T. Ariaratnam, *The Application of Blockchain Technology to Smart City Infrastructure*, «Smart Cities» 2022, no. 5, s. 979–993; A. Khanna i in., *Blockchain: Future of e-governance in smart cities*, «Sustainability» 2021, no. 13(21); P.K. Sharma, J.H. Park, *Blockchain based hybrid network architecture for the smart city*, «Future Generation Computer Systems» 2018, no. 86, s. 650–655.

na świecie, szczególną uwagę zwracają państwa, które postawiły na cyfryzację, aby dokonać „milowego kroku” w rozwoju swoich gospodarek. Akademicki przykład Estonii, Szwecji, która ze względu na swoje geograficzne uwarunkowania zdefiniowała proces cyfryzacji, jako jeden z najważniejszych dla dalszego rozwoju. Obserwowane trendy wskazują, że zainteresowanie technologią blockchain jest powszechne. Rozwiązania znajdujące się poza zakresem przedmiotowym niniejszego studium, pokazują, że władze dostrzegają w technologii możliwość: 1) zmniejszenia kosztów operacyjnych, w tym ograniczenie nadużyć i błędów; 2) przejrzystość realizowanych prac; 3) zwiększenie dostępności do usług publicznych; 4) bezpieczeństwo kluczowych dla funkcjonowania obiektów.

W odniesieniu do Polski przeprowadzona analiza wskazuje na istotnie duże możliwości, wciąż niewykorzystywane. Potencjalne znaczenie dla rozwoju i stosowania technologii blockchain dla gospodarki w Polsce jest trudne do oszacowania. Pojedyncze przykłady wdrożenia i współpracy z startupami samorządów na szczeblu lokalnym stanowią pierwszy krok rozwojowy. Potrzebne są zintegrowane działania na szczeblu krajowym, wspierające innowacyjność, szczególnie zachęcające firmy z obszaru nowych technologii do inwestowania i rozwoju w Polsce. Tempo dyfuzji omawianej technologii do naszego życia codziennego zależeć będzie zatem od redukcji istniejących ograniczeń prawnych, jak i infrastrukturalnych. Nie bez wpływu pozostają procesy i wytyczone trendy przez Unię Europejską. Analiza dokumentów wskazuje, że zarówno Komisja Europejska, jak i Parlament przywiązują dużą wagę do dalszych inwestycji w rozwój technologii blockchain. Istotną barierą we wdrażaniu technologii jest poziom świadomości, zarówno społecznej, jak wśród decydentów politycznych. Podobnie jak poziom zaawansowania prac badawczo-rozwojowych pozostaje na etapie wstępnym i stanowi istotne wezwanie oraz sygnalizuje potrzebę zintensyfikowania działań edukacyjnych.

Bibliografia

- Alnahari M.S., Ariaratnam S.T., *The Application of Blockchain Technology to Smart City Infrastructure*, «Smart Cities» 2022, no. 5.
- Antonopoulos A.M., *Bitcoin dla zaawansowanych. Programowanie z użyciem otwartego łańcucha bloków*, T. Walczak (tłum.), Gliwice 2018.
- Ante L., Sandner P., Fiedler L., *Blockchain-based ICOs: Pure hype of the dawn of a new era of startup financing?*, «Journal of Risk and Financial Management» 2018, no. 11(4).
- Bashir I., *Blockchain – Zaawansowane zastosowanie łańcucha bloków*, T. Walczak (tłum.), wyd. 2, Gliwice 2019.
- Barcik R., *Istota i rozwój logistyki 4.0*, «Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania GWSH» 2020, nr 14.
- Bekhta A., *Blockchain: możliwości i wyzwania dla sektora publicznego*, «Prace Naukowe Wydziału Prawa, Administracji i Ekonomii Uniwersytetu Wrocławskiego» 2021, nr 179.

- Białokórski R., *Cyberzagrożenia w środowisku bezpieczeństwa XXI wieku – Zarys problematyki*, Warszawa 2011.
- Ciupa K., *Blockchain: wartość w trzech wymiarach*, Warszawa 2020.
- Clifron J., Pal L.A., *The policy dilemmas of blockchain*, «Policy and Society» 2022, no. 41(3).
- Dhanalakshmi S., Babu G.C., *An examination of big data and blockchain technology*, «Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.» 2019, no. 8(11).
- Dikariev H., Miłosz M., *Blockchain technology and its application*, «Journal of Computer Sciences Institute» 2018, no. 6.
- Drażkiewicz D., *Blockchain w administracji publicznej – szanse i zagrożenia*, <https://mobiletrends.pl/blockchain-w-administracji-publicznej/> (20.09.2022).
- Drescher D., *Blockchain. Podstawy technologii łańcucha bloków w 25 krokach*, L. Sielicki (tłum.), Gliwice 2019.
- Dudek D., *Możliwości wykorzystania technologii blockchain w obszarze edukacji*, «Informatyka Ekonomiczna» 2017, no. 3(45).
- Emem M., *South Korea to Test Blockchain-based Voting Prior to Integration with Online Voting*, 2018, <https://finance.yahoo.com/news/south-korea-test-blockchain-based-073155118.html?guccounter=1> (15.09.2022).
- Gaurdtime, *Technology*, <https://guardtime.com/technology> (20.09.2022).
- Gibson J.P., Krimmer R., Teague V., Pomares J., *A review of e-voting: the past, present and future*, «Annales of Telecommunications» 2016, no. 71(7).
- Goliński T., *Blockchain w administracji publicznej*, «ComputerWorld», <https://www.computer-world.pl/news/Blockchain-w-administracji-publicznej,407343.html> (25.09.2022).
- Government Office for Science, *Distributed Ledger Technology: Beyond block chain. A report by the UK Government Chief Scientific Adviser*, London (UK), https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf (20.09.2022).
- Hang L., Chen Ch., Zhang L., Yang J., *Blockchain for applications of clinical trials: Taxonomy, challenges, and future directions*, «IET Commun» 2022.
- Irrera A., *Nasdaq successfully completes blockchain test in Estonia*, <https://www.reuters.com/article/nasdaq-blockchain-idUSL1N1FA1XK> (15.09.2022).
- Jafar U., Aziz M.J.A., Shukur Z., *Blockchain for electronic voting system – review and open research challenges*, «Sensors» 2021, no. 21(17).
- Johnson J., Manion S., *Blockchain in Healthcare, Research, and Scientific Publishing*, «Medical Writing» 2019, no. 28(4).
- Joint Research Centre of the European Commission, *Report Blockchain for digital government* 2019, <https://joinup.ec.europa.eu/sites/default/files/document/2019-04/JRC115049%20blockchain%20for%20digital%20government.pdf> (28.09.2022).
- Kauf S., *Blockchain jako platforma logistyki publicznej*, «Gospodarka Materiałowa i Logistyka» 2020, t. LXXII, nr 3.
- Khanna A., Sah A., Bolshev V., Jasinski M., Vinogradov A., Leonowicz Z., Jasiński M., *Blockchain: Future of e-governance in smart cities*, «Sustainability» 2021, no. 13(21).
- Kosior K., *Zastosowanie technologii blockchain w rozwoju ubezpieczeń rolniczych – przegląd aplikacji i rozwiązań*, «Ubezpieczenia w Rolnictwie – Materiały i Studia» 2021, nr 1(75).
- Kowalczyk M., Wilga D., *Blockchain – perspektywy wdrożeń w sektorze publicznym*, «Collegium of Economic Analysis Annals» 2019, no. 56.
- Kozieł G., *Podpis elektroniczny-rozwiązania techniczne i uwarunkowania prawne*, «Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych/Szkoła Główna Handlowa» 2014, nr 33.
- Kucharczyk W., Kucharczyk M., Szpilko D., *Zastosowanie technologii blockchain w transporcie morskim. Studium przypadku*, «Akademia Zarządzania» 2021, nr 5(3).

- Kumer S., Walia E., *Analysis of electronic voting system in various countries*, «International Journal on Computer Science and Engineering» 2011, no. 3(5).
- Kushal K., Ullkarsh S., Sheetal K., *Blockchain Based E-Voting System*, «Journal of Management and IT» 2022, vol. 13, issue. 1.
- Lin I., Liao T., *A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges*, «International Journal of Network Security» 2017, nr 5.
- Maccabe R., *Report on Switzerland's First Blockchain-Based Vote Reveals Citizens Want More e-voting*, <https://www.luxoft.com/pr/report-on-switzerlands-first-blockchainbased-vote-reveals-citizens-want-more-evoting/> (20.09.2022).
- Mincewicz W., *Blockchain technology and national security-the ability to implement a blockchain in the area of national security*, «De Securitate et Defensione. O Bezpieczeństwie i Obronności» 2020, no. 6(2).
- Młyńczak-Sachs K., *Głosowanie elektroniczne w Holandii – od maszyn do głosowania przez wybory internetowe po kartki i ołówki*, [w:] M. Musiał-Karg (red.), *Demokracja w obliczu nowych mediów. Elektroniczna demokracja, wybory przez Internet, kampania w sieci*, Toruń 2013.
- Mohammad A., Vargas S., *Barriers Affecting Higher Education Institutions' Adoption of Blockchain Technology: A Qualitative Study*, «Informatics» 2022, no. 9.
- Mougayer W., *Blockchain w biznesie. Możliwości i zastosowania łańcucha bloków*, L. Sielicki (tłum.), Gliwice 2019.
- Musiał-Karg M., *Elektroniczne głosowanie. Wybrane dylematy dotyczące e-votingu*, [w:] M. Marczevska-Rytko (red.), *Demokracja elektroniczna: kontrowersje i dylematy*, Lublin 2013.
- Musiał-Karg M., *E-demokracja, e-partycypacja i e-głosowanie, czyli o tym jak zwiększać zaangażowanie obywateli w dobie Internetu*, [w:] M. Rachwał (red.), *Uwarunkowania i mechanizmy partycypacji politycznej*, Poznań 2017.
- Musiał-Karg M., *Elektroniczne głosowanie w opinii Polaków: postawy i poglądy na temat e-voting*, Poznań 2020.
- Nahotko M., *Zarządzanie mediami elektronicznymi z wykorzystaniem technologii blockchain w komunikacji naukowej*, «Zarządzenie mediami» 2021, t. 9(3).
- Nowak J., *Aktywność obywateli online: teorie a praktyka*, Lublin 2011.
- Offerman A., *Swiss City of Zug issues Ethereum blockchain-based eIDs*, <https://joinup.ec.europa.eu/collection/egovement/document/swiss-city-zug-issues-ethereum-blockchain-based-eids> (15.09.2022).
- Ofori-Woumfo G.O., Paatey E., *The design of an electronic voting system*, «Research Journal of Information Technology» 2011, no. 3(2).
- Prakas R., Anoop V.S., Asharaf S., *Blockchain technology for cybersecurity: A text mining literature analysis*, «International Journal of Information Management Data Insights» 2022, vol. 2, Issue. 2.
- Piech K., *Leksykon pojęć na temat technologii blockchain i kryptowalut*, Warszawa 2016.
- Rezaei L., Babazadeh R., *An Overview of The Impact of Blockchain Technology on the Meat, Fruit and Vegetable Supply Chains*, «International Journal of Industrial Engineering & Production Research» 2022, vol. 33, no. 4.
- Rodwald P., *Kryptograficzna funkcja skrótu*, «Zeszyt Naukowy Akademii Marynarki Wojennej» 2013, LIV nr 2(193).
- Rot A., Zygala E., *Technologia blockchain jako rewolucja w transakcjach cyfrowych. Aspekty technologiczne i potencjalne zastosowania*, «Informatyka Ekonomiczna» 2018, nr 4(50).
- Sarker M.M., Akhund T.M.N.U., *The roadmap to the electronic voting system development: a literature review*, «International Journal of Advanced Engineering, Management and Science» 2016, no. 2(5).

- Schumpeter J.A., *Kapitalizm, socjalizm, demokracja*, M. Rusiński (tłum.), Warszawa 2009.
- Schwab K., *Czwarta rewolucja przemysłowa*, A.D. Kamińska (tłum.), Warszawa 2018.
- Sharma P.K., Park J.H., *Blockchain based hybrid network architecture for the smart city*, «Future Generation Computer Systems» 2018, no. 86.
- Shetty S.S., Kamhoua Ch.A., Njilla L.L., *Blockchain i bezpieczeństwo systemów rozproszonych*, K. Konatowicz (tłum.), Warszawa 2020.
- Sieroń A., *Czy blockchain zrewolucjonizuje etykę w finansach?*, «Nowoczesny Bank Spółdzielczy» 2018, https://www.zbp.pl/getmedia/c9568b43-f937-4551-909e-69b74bf71ccf/Czy_blockchain_zrewolucjonizuje_etykw_finansach.pdf (20.08.2022).
- Suyambu G.T., Anand M., Janakirani M., *Blockchain – A most disruptive technology on the spotlight of world engineering education paradigm*, «Procedia Computer Science» 2020, no. 172.
- Swam M., *Blockchain: Blueprint for a New Economy*, Newton MA 2015.
- Swan M., De Filippi P., *Toward a philosophy of blockchain: a symposium: introduction*, «Metaphilosophy» 2017, no. 48(5).
- Szpringer W., *Blockchain jako innowacja systemowa. Od internetu informacji do internetu wartości*, Warszawa 2019.
- Szpringer W., *Fintech i blockchain – kierunki rozwoju gospodarki cyfrowej*, «Studia BAS» 2019, nr 1(57).
- Tam A., *Thailand's Democrat Party holds election with blockchain*, <https://www.computer-weekly.com/news/252452435/Thailands-Democrat-Party-holds-election-with-blockchain> (29.09.2022).
- Vaskovskiy E., *Technologia blockchain – możliwości zastosowania*, Ośrodek Badań i Analiz Systemów Finansowych ALTERUM, <http://alterum.pl/uploaded/EVblockchain.pdf> (15.08.2022).
- Wang L., Shen X., Li J., Shao J., Yang Y., *Cryptographic primitives in blockchains*, «Journal of Network and Computer Applications» 2019, no. 127.
- Włodarczyk R., Tomala J., Sikorska M., *Bitcoin, blockchain, rynku surowcowe*, Warszawa 2021.
- Włosik K., *Rynek kryptowalut i tokenów z perspektywy inwestycyjnej*, Poznań 2021.
- Wodnicka M., *Technologie blockchain przyszłością logistyki*, «Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie» 2019, t. 41, nr 1.
- Yannas F., *A new era of food transparency powered by blockchain*, «Innovations: Technology, Governance, Globalization» 2018, no. 12(1–2).
- Zaczyk M., *Key areas of blockchain technology application in logistics*, «Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska» 2021, no. 152.
- Zaghloul E., Li T., Ren J., *d-BAME: distributed blockchain-based anonymous mobile electronic voting*, «IEEE Internet of Things Journal» 2021, no. 8(22).
- Zhuang P., Zamir T., Liang H., *Blockchain for cybersecurity in smart grid: A comprehensive survey*, «IEEE Transactions on Industrial Informatics» 2020, no. 17(1).