

KATARZYNA KOSIOR

## POTENCJAŁ TECHNOLOGII BLOCKCHAIN W ZAPEWNIANIU BEZPIECZEŃSTWA I JAKOŚCI ŻYWNOŚCI

### Streszczenie

Blockchain (BCT) jest stosunkowo nową technologią cyfrową, która może zrewolucjonizować funkcjonowanie łańcuchów dostaw żywności. Technologia ta zapewnia możliwość przechowywania informacji o transakcjach i produktach w zdecentralizowanej i rozproszonej oraz niepodatnej na zmiany i manipulacje bazie danych.

Celem pracy było omówienie szans i wyzwań związanych z zastosowaniem BCT w łańcuchach dostaw żywności w obszarach związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa i jakości produktów żywnościowych. W ocenie potencjału tej technologii uwzględnione zostały zarówno zastosowania opisywane w literaturze przedmiotu, jak i efekty wybranych projektów pilotażowych i demonstracyjnych, w ramach których testowane były rozwiązania i aplikacje bazujące na łańcuchu bloków. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że BCT może odegrać pozytywną rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa i jakości żywności. Podstawową korzyścią wynikającą z zastosowania tej technologii jest zwiększona przejrzystość działania łańcuchów dostaw żywności. Aplikacje bazujące na BCT pozwalają zwiększyć efektywność systemów śledzenia i identyfikowania produktów rolno-spożywczych w łańcuchu dostaw. W rezultacie mogą skutkować zmniejszeniem liczby przypadków fałszowania żywności i nieuprawnionego stosowania certyfikatów jakości żywności. Ze stosowaniem BCT wiąże się równocześnie określone ryzyko i problemy. BCT nie osiągnął jeszcze pełnej dojrzałości technologicznej – możliwość skalowania BCT może okazać się problemem w bardziej rozbudowanych i złożonych łańcuchach dostaw obejmujących produkty wieloskładnikowe. Wskazać należy ponadto na bariery o charakterze społecznym, ekonomicznym, prawnym i finansowym, które mogą negatywnie wpłynąć na perspektywy szerszego wykorzystania BCT w łańcuchach dostaw żywności. W związku z tym, pomimo rosnącego zainteresowania przedsiębiorstw sektora rolno-spożywczego wykorzystaniem BCT w praktyce, można spodziewać się, że wdrażanie BCT w łańcuchach dostaw żywności będzie następować stosunkowo powoli.

**Słowa kluczowe:** łańcuchy dostaw żywności, bezpieczeństwo żywności, jakość żywności, technologia Blockchain (BCT)

## Wprowadzenie

Nowe technologie cyfrowe zmieniają warunki funkcjonowania i konkurowania podmiotów gospodarczych w różnych branżach i sektorach gospodarki – od sektora finansowego przez przemysł przetwórczy po handel. Również podmioty sektora rolno-spożywczego w coraz większym stopniu wykorzystują możliwości, jakie oferuje cyfrowa rewolucja. Jedną z technologii cyfrowych o szczególnie dużym potencjale dla sektora rolno-spożywczego w kontekście zapewniania bezpieczeństwa i jakości żywności jest Blockchain (BCT). Technologia ta pojawiła się pod koniec ubiegłej dekady w następstwie globalnego kryzysu finansowego lat 2008 - 2009, jako odpowiedź na drastyczne zmniejszenie zaufania do instytucji zaangażowanych w regulację i nadzór nad rynkami finansowymi. Głównym motorem rozwoju łańcucha bloków była idea bitcoina – kryptowaluty funkcjonującej wyłącznie w Internecie poza kontrolą rządu i instytucji finansowych [11]. Zasady działania nowej waluty internetowej opisane zostały w artykule “Bitcoin: A Peer-to-Peer electronic cash system”, który w 2008 roku opublikowany został przez osobę lub grupę osób posługujących się pseudonimem Satoshi Nakamoto [14]. Proponowana wersja płatności elektronicznych miała umożliwić dokonywanie płatności online bezpośrednio między użytkownikami systemu, bez konieczności rejestrowania transakcji przez strony trzecie. Niedługo po publikacji artykułu, w styczniu 2009 roku, pojawił się w Internecie program o otwartym kodzie źródłowym, który wygenerował pierwszy blok 50 bitcoinów (*genesis block*).

BCT nie jest jednak technologią, która ogranicza się do kryptowalut [11]. Dzięki zdecentralizowanej sieci złożonej z dziesiątek tysięcy węzłów (komputerów) dowodom pracy (*proof of work*) oraz zaufanym mechanizmom rozproszonego między węzłami potwierdzania legalności przeprowadzanych transakcji, Blockchain zapewnia bezpieczną konstrukcję do przechowywania i wykorzystywania informacji i danych. Łańcuch bloków może zatem być wykorzystywany do usprawnienia wszelkich procesów i działań wymagających zarządzania informacjami i danymi. Technologia ta może również usprawniać funkcjonowanie łańcuchów dostaw żywności, szczególnie w tych obszarach, które dotyczą identyfikowalności produktów rolno-spożywczych, ich pochodzenia, bezpieczeństwa i jakości [18]. Z pierwszych doświadczeń i projektów pilotażowych wynika, że BCT ma istotnie duży potencjał w zakresie zwiększania przejrzystości funkcjonowania łańcuchów żywnościowych [8, 17]. Może z jednej strony zapewniać pewną i odporną na manipulację i fałszerstwa ścieżkę informacyjną na temat pochodzenia produktów i certyfikatów jakości żywności, z drugiej gwarantować zaangażowanym podmiotom niezmienny zapis wszystkich zrealizowanych transakcji. Korzyści te coraz częściej przekonują przedsiębiorstwa sektora rolno-spożywczego oraz firmy z branży zaawansowanych technologii do realizacji wspólnych, innowacyjnych projektów na podstawie BCT [7].

Celem pracy było omówienie możliwości zastosowania technologii Blockchain w łańcuchach dostaw żywności w obszarach związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa i jakości żywności. Opracowanie odnosi się zarówno do literatury przedmiotu, jak i do przykładów z praktyki gospodarczej.

### **Technologia Blockchain – właściwości, działanie, zastosowania**

Blockchain – łańcuch bloków – jest rozproszoną bazą danych działającą w zbiorze wzajemnie powiązanych węzłów (użytkowników, komputerów), w której mogą być rejestrowane i przechowywane informacje (rekordy) o różnego rodzaju transakcjach i operacjach [6, 11]. BCT tworzy więc w istocie cyfrową księgę rejestrującą. Informacje o transakcjach przechowywane są w porządku chronologicznym i udostępniane uczestniczącym podmiotom. Każda transakcja umieszczana w księdze jest weryfikowana – wymaga uzyskania zgody (konsensusu) większości uczestników systemu. Pojedyncza transakcja stanowi blok, a seria zarejestrowanych transakcji tworzy nierozwalny łańcuch bloków. Po umieszczeniu informacji w łańcuchu bloków staje się ona nieusuwalna. Każdy kolejny blok rejestrowany w łańcuchu zawiera oznaczenie czasu (*timestamp*) – informację, kiedy blok został utworzony oraz link do poprzedniego bloku, w którym znajduje się zaszyfrowane „streszczenie” (*hash*) jego zawartości [16]. Wszystkie bloki mają swój unikatowy cyfrowy podpis bazujący na kryptografii asymetrycznej, która wykorzystuje dwa powiązane ze sobą klucze – prywatny i publiczny. Ważny podpis cyfrowy jest dla odbiorcy gwarancją, że wiadomość została wygenerowana przez znanego nadawcę (jest autentyczna), nie została zmieniona w trakcie przesyłania (zapewniona jest jej integralność) oraz że nadawca nie zaprzeczy faktowi jej wysłania (zapewniona jest niezaprzeczalność transakcji) [13]. Każdy komputer (węzeł) przechowuje kopię zweryfikowanych informacji (kopię Blockchain). Z tego względu, że każdy blok transakcji jest nośnikiem informacji na temat bloku poprzedniego, dokonanie jakiegokolwiek zmiany w bloku bez zmiany całej historii transakcji jest niemożliwe [16].

Proces rejestrowania i walidowania transakcji odbywa się bez angażowania stron czy podmiotów trzecich. Węzły walidujące bloki muszą znaleźć dowód pracy, tj. rozwiązać równanie, którego stopień trudności reguluje przyjęty algorytm. Dzięki tym rozwiązaniom BCT zapewnia bezpieczeństwo transmisji danych oraz wiarygodność (prawidłowość) danych. Każda transakcja oraz związana z nią wartość jest widoczna dla wszystkich, którzy mają dostęp do systemu. Każdy użytkownik/węzeł ma unikalny adres alfanumeryczny, który go identyfikuje. Użytkownik może jednak wybrać opcję pozostania anonimowym bądź może udostępnić innym dowód swojej tożsamości [10]. Można zatem wskazać na co najmniej cztery cechy wyróżniające BCT. Są to rozproszony konsensus między wszystkimi węzłami sieci (odnośnie do przyjmowania nowych bloków do łańcucha za pomocą algorytmu), transparentność i dostęp do danych

zapisanych w łańcuchu bloków przy zachowaniu prawa użytkowników do prywatności (anonimowości), brak konieczności angażowania instytucji pośredniczących w proces realizacji transakcji oraz wysoki poziom wiarygodności i bezpieczeństwa przechowywanych danych i informacji. Rozproszona baza danych BCT oznacza, że nie ma jednego superserwera przechowującego dane, który mógłby stać się krytycznym, pojedynczym punktem awarii. Mało prawdopodobny jest również atak hakerski na BCT. Wymagałby on włamania się do wszystkich węzłów, tj. dziesiątek tysięcy komputerów równocześnie [19].

Obecnie transakcje i operacje realizowane w Internecie wymagają zaangażowania instytucji pośredniczących. Polegają na zaufaniu, że strona trzecia w sposób uczciwy realizuje przyjęte zlecenia oraz że jest w stanie zagwarantować klientom bezpieczeństwo i prywatność danych. Dostawcy produktów i usług cyfrowych mogą działać i najczęściej działają w dobrej wierze, nie są jednak w stanie całkowicie wyeliminować ryzyka manipulacji, celowego zakłócania przepływu danych, technicznych awarii czy ataków hakerskich. BCT wydaje się eliminować lub ograniczać do minimum te zagrożenia [6, 10, 19], choć również wymaga, by podmioty uczestniczące w sieci zachowywały się uczciwie (jest to szczególnie istotne w pierwszej fazie, ponieważ warunkiem poprawnego działania systemu jest zarejestrowanie w łańcuchu prawdziwych, autentycznych danych i informacji). Pomimo że wokół łańcucha bloków narosło w ostatnich latach wiele wygórowanych oczekiwań i nieporozumień, większość ekspertów zgadza się, że technologia ta może znaleźć zastosowanie w różnych obszarach i dziedzinach, zarówno związanych, jak i niezwiązanych ze światem finansów [6, 11]. OECD [15] dzieli potencjalne zastosowania technologii Blockchain na trzy główne kategorie:

- 1) transakcji finansowych – BCT może mieć tutaj charakter otwarty (*unpermissio-  
ned*), jak w przypadku Bitcoina, który zapewnia wszystkim możliwość udziału w łańcuchu lub charakter zamknięty (*permissioned*), gdzie do rejestrowania i sprawdzania danych w księdze uprawnione są tylko wybrane podmioty;
- 2) systemów rejestrowania i weryfikacji – w tej kategorii Blockchain pełni funkcję narzędzia do tworzenia niezawodnych i niezmiennych rejestrów danych i informacji. Można wskazać m.in. na rejestry umożliwiające potwierdzanie praw własności (np. do nieruchomości), sprawdzanie pochodzenia i autentyczności określonych przedmiotów i towarów czy weryfikowanie autentyczności wyników badań klinicznych;
- 3) inteligentnych umów (*smart contracts*) – BCT umożliwia również załączanie dodatkowych danych do transakcji zakładających wymianę środków pieniężnych lub jakichkolwiek innych aktywów cyfrowych. Dopisywane do transakcji dane są w istocie programami komputerowymi, które precyzują, jakie warunki należy spełnić, by transfer mógł zostać zrealizowany. Jeśli warunki umowy zostają spełnione, transfer realizowany jest w sposób automatyczny. Inteligentne umowy re-

dukują zatem koszty transakcyjne związane z angażowaniem stron trzecich i obsługą prawną transakcji. Zwiększają również przejrzystość realizacji umów oraz minimalizują czas potrzebny do sfinalizowania transakcji.

Zainteresowanie technologią Blockchain od kilku lat systematycznie wzrasta. Istotnie przyczyniła się do tego sieć Ethereum, zaproponowana pod koniec 2013 roku przez Buterina [11] jako rozwiązanie problemu ograniczonego języka kodowania Bitcoina. Ethereum jest systemem operacyjnym i publiczną platformą o otwartym kodzie źródłowym, umożliwiającą deweloperom rozwijanie własnych zdecentralizowanych aplikacji w ramach Blockchain. Największą jednak zasługą Ethereum jest umożliwienie dopisywania funkcji automatyzacji do łańcucha bloków na podstawie zbioru reguł określonych w inteligentnej umowie [11, 19].

Mimo licznych zalet i wielu potencjalnych zastosowań, BCT ma również wady i ograniczenia [8, 10]. Podstawowym problemem jest brak skutecznych narzędzi do weryfikowania tożsamości podmiotów rejestrujących transakcje. Łańcuch bloków gwarantuje niezmiennosc i nieodwracalność zarejestrowanych danych, ułatwia śledzenie przepływu transakcji i pozwala na sprawdzanie tożsamości zaangażowanych stron. Nie gwarantuje jednak, że tożsamość podmiotu rejestrującego transakcje online jest autentyczna, tj. odpowiada określonej tożsamości w świecie niewirtualnym [10]. Nie gwarantuje również, że intencje podmiotu rejestrującego dane są uczciwe. Niedociągnięcia te oznaczają, że BCT może zostać wykorzystany nie tylko do przeprowadzania nielegalnych operacji finansowych w Internecie, ale również do wprowadzania nieautentycznych bądź fikcyjnych informacji do łańcucha bloków. Problem możliwego zaśmiecania BCT (*garbage in – garbage out*) może ograniczać przydatność tej technologii do zarządzania procesami i zadaniami, które wymagają szybkiego dostępu do dokładnych i wiarygodnych danych [8]. Powstają również pytania o rzeczywisty stopień rozproszenia bazy danych w ramach publicznego Blockchain, w tym pytania o to, kto jest właścicielem poszczególnych węzłów w rozrastającej się sieci Blockchain oraz kto je kontroluje [13]. Można zastanawiać się, czy są to różne i niepowiązane ze sobą podmioty, skoncentrowane grupy podmiotów czy współpracujące ze sobą w określony sposób sieci węzłów. Te pytania i wątpliwości nie przekreślają jednak korzyści wynikających z tworzenia rozproszonych baz danych. Rozwój technologii cyfrowych następuje niezwykle szybko – można spodziewać się, że w warstwie informatycznej BCT będzie nadal udoskonalany. Zarządzanie pozostałymi rodzajami ryzyka i zagrożeniami wynikającymi ze stosowania BCT w praktyce możliwe jest również przy udziale odpowiednich regulacji prawnych.

### **Możliwości zastosowania BCT w łańcuchach dostaw żywności**

Wskazane właściwości BCT sprawiają, że jest to technologia, która może znacznie ułatwić oraz usprawnić funkcjonowanie łańcuchów dostaw produktów i usług do

końcowego odbiorcy. W sektorze rolno-spożywczym zastosowanie BCT wydaje się szczególnie możliwe i wskazane. Rozwiązania i aplikacje typu Blockchain uwzględniają większość problemów i potrzeb, jakie pojawiają się w zarządzaniu przepływem produktów rolno-spożywczych między poszczególnymi ogniwami łańcucha. Łańcuchy te są obecnie niezwykle rozbudowane i złożone. Przyczyniły się do tego m.in. liberalizacja światowego handlu, rosnąca konkurencja między przedsiębiorstwami sektora rolno-spożywczego oraz innowacje produktowe i procesowe. Wzrosła nie tylko liczba podmiotów zaangażowanych w procesy produkcji, dystrybucji i sprzedaży żywności (m.in. dzięki rozwojowi e-commerce), ale również liczba oferowanych produktów żywnościowych. W niezwykle rozbudowanej i bogatej ofercie żywnościowej dla większości konsumentów na świecie można znaleźć obecnie produkty proste i nieprzetworzone, produkty wieloskładnikowe i wysoko przetworzone, konwencjonalne i niekonwencjonalne (np. modyfikowane genetycznie), ekologiczne, spełniające określone wymagania zdrowotne (żywność funkcjonalna, superfood), a także mające specyficzne wymagania w zakresie przechowywania i dystrybucji. Droga, jaką zdecydowana większość produktów żywnościowych pokonuje, by ostatecznie trafić na stół konsumenta, jest obecnie coraz bardziej złożona i równocześnie coraz mniej przejrzysta.

Podstawowy problem w tak rozbudowanych łańcuchach dostaw stanowi zapewnienie skutecznych mechanizmów śledzenia i identyfikowania żywności (*food traceability and authenticity*). Obecnie systemy śledzenia przepływu produktów żywnościowych między poszczególnymi ogniwami łańcucha, systemy monitorowania sposobów przechowywania żywności oraz systemy rejestrowania sprzedaży finalnych produktów konsumentom bazują na dokumentach i informacjach przechowywanych najczęściej w niewspółpracujących ze sobą bazach danych. Dostęp do systemów informatycznych poszczególnych podmiotów zaangażowanych w łańcuch dostaw żywności jest często utrudniony i wymaga czasu. Problemem jest również wiarygodność danych umieszczanych w wewnętrznych bazach danych przedsiębiorstw. Powtarzające się wciąż przypadki zanieczyszczeń i skażenia żywności w wielu krajach i regionach świadczą o ograniczonej skuteczności obecnego systemu. Przykładem może być zakażenie konsumentów szczepem STEC bakterii *E. coli* w 2015 roku związane ze spożyciem potraw w lokalach restauracji Chipotle Mexican Grill w USA, co doprowadziło do zatrucia 55 klientów [12]. Zdarzenie to wpłynęło na gwałtowne zmniejszenie sprzedaży w tej sieci restauracji oraz do głębokiego obniżenia wartości akcji spółki (o 42 %). W pewnej części źródłem tego problemu była duża zależność Chipotle oraz powiązanych z nią zakupowo przedsiębiorstw przemysłu spożywczego od rozbudowanej i mało przejrzystej sieci dostawców [12].

W niektórych krajach podstawową przyczyną incydentów żywnościowych pozostają nieuczciwe praktyki, w tym celowe fałszowanie żywności, w mniejszym natomiast stopniu niezależne od człowieka awarie sprzętu, wypadki techniczne, substancje

patogenne czy mikroorganizmy chorobotwórcze występujące w żywności [7]. Problemy te obrazuje przypadek Chin, gdzie od 2001 do 2013 roku odnotowano ponad 49500 incydentów, z których przeważająca większość (68 %) wynikała z nieetycznych zachowań podmiotów uczestniczących w procesach produkcji, dystrybucji czy sprzedaży żywności [7]. Koszty nieuczciwych praktyk obciążają w różnym stopniu podmioty uczestniczące w łańcuchu dostaw żywności. Nieuczciwe praktyki przyczyniają się też do szerszych strat społecznych w gospodarce. Blockchain, dzięki funkcji tworzenia niezmiennych rejestrów wydarzeń i procesów, może zapewnić większą przejrzystość w łańcuchach dostaw i tym samym ograniczać problem nieuczciwych praktyk gospodarczych.

Technologia Blockchain mogłaby usprawnić systemy śledzenia i identyfikowania żywności dwoma sposobami. Pierwszym z nich jest monitorowanie ogólnej ilości żywności w łańcuchu dostaw (poprzez kontrolę wielkości sprzedaży i wielkości zakupów), drugim natomiast – śledzenie drogi poszczególnych artykułów rolno-spożywczych w łańcuchu dostaw [4]. Kontrola wielkości sprzedaży i kupna poszczególnych płodów rolnych, takich jak: ziarna, kakao, kawa i wiele innych surowców jest obecnie trudna do przeprowadzenia. Rejestrowanie wszystkich transakcji kupna i sprzedaży produktów rolnych w ramach BCT rozwiązałoby ten problem i równocześnie zapewniłoby narzędzia do monitorowania rzeczywistego składu wybranych produktów. BCT pozwoliłby bowiem na szybką i łatwą identyfikację nieprawdziwych danych na temat ilości danego towaru. Jako przykład ilustrujący korzyści z zastosowania BCT można podać transakcje z udziałem ryżu basmati – w ramach BCT wielkość sprzedanego ryżu basmati nie może być większa niż wielkość ryżu basmati zakupionego przez strony uczestniczące w łańcuchu dostaw. Jak wskazują praktycy, BCT – dzięki kontroli ogólnych woluminów produktów rolnych na rynku – pozwoliłby wyeliminować sytuacje, kiedy dany podmiot kupuje zwykły ryż, miesza go z małą porcją ryżu basmati i następnie sprzedaje całą partię jako ryż basmati po wyższej cenie. Takie przypadki można byłoby łatwo identyfikować, gdyż śledzona za pomocą BCT i trafiająca do łańcucha dostaw ilość ryżu basmati nie może być większa niż ilość, która łańcuch opuszcza [4].

Drugi sposób na włączenie BCT do systemów śledzenia, monitorowania i identyfikowania żywności jest bardziej skomplikowany technicznie i organizacyjnie. Wymaga zintegrowania systemów rejestrowania transakcji w ramach łańcucha dostaw z danymi zapisywanymi na produktach za pomocą kodów kreskowych lub kodów QR, a także z danymi pochodzącymi z systemów RFID i innych czujników umieszczanych na obiektach i opakowaniach żywności lub innych pojemnikach, w których żywność jest przechowywana i transportowana [20]. Technologia RFID stosowana jest w sektorze rolno-spożywczym od dawna (m.in. w UE w ramach obowiązku identyfikacji i rejestracji zwierząt), jednak wciąż jej możliwości nie są w pełni wykorzystywane

w systemach zapewniania bezpieczeństwa i jakości żywności. Na znacznikach i etykietach identyfikujących dane produkty czy obiekty za pomocą fal radiowych można zapisywać dane dotyczące wydarzeń i procesów w ramach całego łańcucha rolno-żywnościowego – od etapu produkcji (m.in. informacje na temat odmiany danej rośliny, miejsca i czasu wysiewu, sposobów i rodzajów nawożenia, natomiast w przypadku zwierząt m.in. na temat sposobów żywienia, stosowanych leków, przebytych chorób), na etapie przetwórstwa (informacje na temat rodzaju produktu, ilości i rodzaju użytych składników i dodatków, masy, daty przydatności), na etapie dystrybucji (informacje na temat sposobów oraz warunków przechowywania i przewozu) oraz na etapie sprzedaży (np. wykorzystywanie informacji o dacie przydatności do monitorowania oferty produktowej na półkach sklepowych/wymiany produktów na półkach) [4, 20]. Umieszczenie informacji z etykiet RFID w odpornym na fałszerstwa łańcuchu bloków, a docelowo stworzenie także platformy współpracy między BCT i Internetem Rzeczy, umożliwiającym komunikację między różnego rodzaju czujnikami i sensorami w czasie rzeczywistym, mogłoby istotnie podnieść skuteczność systemu zapewniania bezpieczeństwa i jakości żywności, szczególnie w ramach bardziej rozbudowanych i złożonych łańcuchów dostaw. Podstawową korzyścią takiego systemu byłoby nie tylko precyzyjne określenie położenia produktów żywnościowych bądź partii żywności, które uległy zepsuciu bądź skażeniu i są niebezpieczne dla zdrowia konsumentów, ale również reagowanie na zagrożenia w momencie ich pojawiania się (a zatem potencjalnie zapobiegając określonym incydentom i kryzysom żywnościowym). Równocześnie bardziej zaawansowana analityka danych zbieranych w ramach BCT i Internetu Rzeczy mogłaby, na podstawie algorytmów predykcyjnych, umożliwić przewidywanie określonych zagrożeń i incydentów zanim się pojawią.

Zastosowanie technologii Blockchain może również wyeliminować lub znacznie ograniczyć problem nadużyć i fałszowania certyfikatów jakości żywności [8]. Pojawienie się żywności ekologicznej oraz żywności spełniającej określone wymagania i oczekiwania konsumentów sprawiło, że liczba instytucji certyfikujących oraz liczba certyfikatów jakości żywności istotnie wzrosły w ostatnim okresie. Coraz częściej certyfikaty wykorzystywane są przez producentów żywności jako element strategii marketingowej (np. budują wizerunek marki i potencjalnie poprawiają sprzedaż, zaangażowanie przedsiębiorstwa w realizację celów zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska). Produkty żywnościowe opatrzone certyfikatem jakości są najczęściej droższe niż ich odpowiedniki bez podobnych świadectw. Nie zawsze jednak ich obecność na produkcie jest gwarancją jakości – przypadki nadużywania certyfikatów w odniesieniu do produktów, które nie spełniają wymogów określonych przez instytucję certyfikującą nie są rzadkie. Rejestracja certyfikatów w łańcuchu bloków pozwalałaby na szybkie i łatwe sprawdzenie autentyczności i ważności certyfikatów przypisanych określonym produktom i producentom. Instytucje certyfikujące po nadaniu praw



do certyfikatów mogłyby również upoważniać wybrane podmioty (np. ekologiczne gospodarstwa rolne) do wydawania certyfikatów w ich imieniu [8]. W rezultacie BCT mógłby ograniczać przypadki nieuprawnionego stosowania certyfikatów, redukować koszty transakcyjne procesu certyfikacji (m.in. poprzez zastosowanie inteligentnych umów) oraz zmniejszać obciążenia administracyjne instytucji certyfikujących. Większa przejrzystość i wiarygodność certyfikatów mogłaby równocześnie przekładać się na ich większą wartość rynkową.

Obok zastosowań BCT do identyfikowania słabych ogniw w łańcuchu dostaw żywności oraz do zarządzania certyfikatami jakości żywności, wskazać należy na możliwe zastosowania BCT do tworzenia repozytoriów danych na temat właściwości produktów rolno-spożywczych, warunków produkcji oraz środowiskowych i społeczno-ekonomicznych aspektów funkcjonowania łańcuchów rolno-żywnościowych. Źródłami tych danych w łańcuchu bloków mogą być wskazane wcześniej etykiety RFID. Obecnie wielu konsumentów, przede wszystkim w krajach rozwiniętych, ma bardzo duże oczekiwania i wymagania w odniesieniu zarówno do informacji żywieniowej, jak i informacji na temat wpływu produkcji rolnej na środowisko naturalne i warunki życia społeczności lokalnych. Równocześnie konsumenci coraz częściej szukają informacji na temat interesujących ich produktów i ich właściwości nie na papierowych opakowaniach i etykietach produktów spożywczych, a w Internecie oraz za pomocą specjalnych aplikacji obsługiwanych na urządzeniach mobilnych. Informacje te często są niezwerifikowane. Włączenie pakietu informacji na temat produktów żywnościowych i ich właściwości do łańcucha bloków podnosiłoby jakość i pewność informacji żywieniowej dla konsumentów. W ten sam sposób mogłyby być przekazywane konsumentom informacje na temat warunków produkcji i warunków współpracy między poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw. Dzięki transakcjom zarejestrowanym w łańcuchu bloków konsument mógłby szybko sprawdzić, czy towar, który znalazł się w jego koszyku, został wyprodukowany zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz czy rolnik, który najczęściej jest najsłabszym ogniwem w łańcuchu dostaw, otrzymał za niego wynagrodzenie. W dłuższej perspektywie stosowanie BCT w sektorze rolno-spożywczym mogłoby więc nie tylko ułatwiać zakupy, ale również prowadzić do bardziej świadomych wyborów konsumenckich, a docelowo do bardziej zrównoważonych społecznie i środowiskowo łańcuchów dostaw żywności.

Podsumowując, można wskazać na trzy potencjalne obszary zastosowań technologii Blockchain w łańcuchach dostaw żywności. Są to:

- systemy śledzenia i identyfikowania żywności;
- zarządzanie procesem certyfikacji, w tym weryfikacja autentyczności certyfikatów jakości żywności;

- repozytoria danych na temat produktów rolno-spożywczych, warunków produkcji oraz warunków współpracy między poszczególnymi ogniwami w łańcuchu dostaw żywności, w tym monitorowanie uczciwych cen dla rolników.

Wskazane działania potraktowane łącznie odpowiadają rosnącym potrzebom w zakresie zapewniania szeroko rozumianej uczciwości (*integrity*) w łańcuchach dostaw żywności [8, 9]. Zgodnie z tą koncepcją, działania na rzecz bezpieczeństwa i jakości żywności nie mogą ograniczać się do aspektów technologicznych i organizacyjnych produkcji i dystrybucji żywności, ale powinny uwzględniać również aspekty ekonomiczne, społeczne i środowiskowe związane z funkcjonowaniem łańcuchów rolno-żywnościowych [9]. Blockchain, zapewniając narzędzia zarówno do monitorowania przepływu produktów żywnościowych i ich identyfikowania, jak i do rejestrowania pozostałych procesów i wydarzeń w łańcuchu dostaw żywności, pozwoliłby w sposób holistyczny podejść do zarządzania bezpieczeństwem i jakością żywności.

### **Szanse i wyzwania związane ze stosowaniem BCT do zarządzania bezpieczeństwem i jakością żywności**

Ogromny potencjał BCT sprawia, że stopniowo wzrasta zainteresowanie podmiotów sektora rolno-spożywczego aplikacjami bazującymi na tej technologii [1, 22]. Przetwórcy, dostawcy żywności oraz sieci zajmujące się handlem spożywczym decydują się na testowanie nowych rozwiązań typu Blockchain nie tylko ze względu na możliwość zwiększenia skuteczności i przejrzystości działania łańcucha dostaw, ale również ze względu na wysokie koszty obecnych systemów przechowywania informacji (na papierze czy przy wykorzystaniu tradycyjnych rozwiązań IT). Pierwsze testy i projekty pilotażowe wykorzystujące aplikacje typu Blockchain do zarządzania bezpieczeństwem i jakością żywności podjęte zostały już w 2014 roku (m.in. przez duńską firmę żeglugową Maersk, największego na świecie przewoźnika kontenerowego), jednak dopiero od 2017 roku nastąpił wyraźny wzrost zainteresowania sektora rolno-spożywczego tą technologią [12]. Przeprowadzane próby dotyczyły jednak dotąd stosunkowo niezłożonych łańcuchów dostaw, obejmujących zazwyczaj jeden produkt lub kategorię produktów i kilku uczestników. Przykładem mogą być dwa zakończone już projekty pilotażowe realizowane wspólnie przez Walmart – jedną z największych amerykańskich sieci sprzedaży detalicznej – i IBM. Firmy te podjęły współpracę pod koniec 2016 roku, by przetestować skuteczność BCT do śledzenia drogi produktów żywnościowych od producentów żywności, poprzez magazyny aż do poszczególnych sklepów sieci Walmart [2]. Pierwszy projekt dotyczył łańcucha dostaw owoców mango z Meksyku do USA, drugi natomiast – chińskiej wieprzowiny od punktu wyjścia, tj. chińskich gospodarstw rolnych do punktu docelowego, tj. sklepów rozmieszczonych na terenie Chin [7]. W łańcuchu bloków umieszczone zostały szczegółowe dane dotyczące gospodarstw rolnych, przetwórców, numerów partii produktów, daty przydatno-

ści produktów do spożycia, a także dane dotyczące temperatury przechowywania oraz przewozu produktów. W maju 2017 roku Walmart opublikował raport z przeprowadzonych testów, w którym stwierdzono, że nowy system pomógł istotnie ograniczyć czas potrzebny do przesłania produktów w łańcuchu dostaw żywności oraz czas potrzebny do stwierdzenia ich autentyczności. Procesy śledzenia i identyfikacji produktów, które przy zastosowaniu poprzednich technologii wymagały dni i tygodni, dzięki BCT zrealizowane zostały w ciągu kilku sekund [12].

Podsumowując, można stwierdzić, że opisywane w literaturze przedmiotu zastosowania BCT, doświadczenia zebrane w ramach projektów pilotażowych oraz efekty projektów demonstracyjnych realizowanych przez środowiska biznesowe we współpracy z ośrodkami naukowo-badawczymi [3, 8, 12, 21] świadczą o dużym potencjale łańcucha bloków. Wśród podstawowych korzyści i szans, jakie wiążą się z zarządzaniem łańcuchami dostaw żywności za pomocą BCT, wskazać należy:

- większą wiarygodność, przejrzystość i pewność informacji na temat produktów rolno-spożywczych obecnych w łańcuchu dostaw żywności;
- ograniczenie kosztów związanych z zarządzaniem incydentami żywnościowymi wymagającymi wycofania z rynku zakwestionowanych produktów;
- oszczędności wynikające ze zmniejszenia przypadków fałszowania żywności i certyfikatów jakości żywności;
- ograniczenie kosztów transakcyjnych w związku z brakiem konieczności angażowania instytucji pośredniczących do zadań i procesów związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa i jakości żywności.

Obok niewątpliwie wielu szans i możliwości związanych ze stosowaniem BCT, istnieją również problemy i bariery, które mogą ograniczyć szersze wykorzystanie tej technologii w sektorze rolno-spożywczym [5, 8, 12, 20]. Problemy te wynikają zarówno z ograniczeń samej technologii BCT, jak i ze słabego przygotowania otoczenia społeczno-instytucjonalnego oraz przedsiębiorstw sektora rolno-spożywczego do wdrażania i stosowania nowych technologii cyfrowych w praktyce. Do kluczowych wyzwań należy zatem zaliczyć:

- wyzwania o charakterze technologicznym i techniczno-organizacyjnym;
- wyzwania o charakterze ekonomicznym i finansowym;
- bariery na poziomie zachowań i decyzji podejmowanych przez podmioty zaangażowane w łańcuch dostaw żywności;
- bariery związane z niedopasowaniem ram prawnych i regulacyjnych do stosowania nowych technologii w rozbudowanych łańcuchach dostaw żywności.

Blockchain jest technologią stosunkową nową, która nie osiągnęła jeszcze pełnej dojrzałości. Problemem jest nie tylko zasygnalizowane wcześniej ryzyko związane z niedoskonałymi mechanizmami potwierdzania tożsamości uczestników łańcucha bloków, ale również możliwość skalowania BCT. Dotychczasowe projekty i testy

obejmowały stosunkowo nieskomplikowane łańcuchy dostaw żywności. Możliwości działania BCT w bardziej złożonych łańcuchach, obejmujących produkty wieloskładnikowe, nie zostały dotąd sprawdzone. Obecnie BCT jest w stanie przetwarzać 7 transakcji na sekundę, podczas gdy VISA w tym samym czasie może obsługiwać do 47 tysięcy transakcji [20].

Barierą na drodze do wdrożenia BCT do procesów zarządzania bezpieczeństwem i jakością żywności mogą okazać się zasoby oraz środki finansowe niewystarczające do podjęcia wymaganych inwestycji. Kosztowne i wymagające czasu może być nie tylko przeniesienie danych i informacji z obecnie funkcjonujących systemów informatycznych do łańcucha bloków, ale również i przede wszystkim połączenie BCT z innymi technologiami (m.in. z RFID) ze względu na wciąż bardzo wysoki koszt etykiet bazujących na tej technologii [20]. Problemem mogą być również duże różnice między poszczególnymi państwami i regionami w zakresie posiadanej infrastruktury społeczno-ekonomicznej i informatycznej. Obecne łańcuchy dostaw żywności obejmują wiele różnych państw, o różnym poziomie rozwoju gospodarczego i różnych możliwościach inwestycyjnych. Wdrożenie BCT w ramach tego typu łańcuchów może więc być dużym wyzwaniem.

Obok ograniczeń i barier o charakterze ekonomicznym i finansowym należy liczyć się z pojawieniem się barier o charakterze behawioralnym ze strony poszczególnych uczestników łańcucha dostaw żywności [8]. Problemem może być przede wszystkim brak odpowiednich kompetencji cyfrowych, szczególnie wśród gorzej wykształconych producentów rolnych. Ponadto dla wielu przedsiębiorstw sektora rolno-spożywczego BCT może oznaczać konieczność przeformułowania dotychczasowych modeli biznesowych, co może budzić niepokój i obawy, a w konsekwencji zniechęcać do przyjęcia zmian [6]. Właściwe działanie łańcucha bloków, pozwalające na pełne wykorzystanie jego potencjału, wymaga jednak współpracy wszystkich podmiotów zaangażowanych w dany łańcuch dostaw żywności [18]. Jeśli wszystkie strony zainteresowane są współpracą, wyzwaniem pozostaje wciąż wynegocjowanie warunków współpracy oraz zasad i zakresu wykorzystania BCT w praktyce. Ze względu na różne interesy, uzyskanie porozumienia satysfakcjonującego wszystkie strony może wymagać czasu, jednak pozostaje kluczowe dla perspektyw właściwego działania systemu. Na podstawie wyników projektów pilotażowych można stwierdzić, że korzyści ze stosowania BCT i zwrot z inwestycji są tym większe, im bardziej intensywna jest współpraca między podmiotami uczestniczącymi w łańcuchach dostaw [20].

Istotnym problemem w kontekście perspektyw wykorzystania BCT do zapewniania bezpieczeństwa i jakości żywności pozostają niezwykle złożone i zróżnicowane przepisy między państwami oraz wymogi odnoszące się do produktów żywnościowych i równocześnie brak wspólnych, międzynarodowych ram prawnych określających warunki i zasady funkcjonowania gospodarki cyfrowej. Ze względu na ponadgraniczny

charakter technologii cyfrowych, obecne krajowe i regionalne regulacje prawne tylko częściowo odpowiadają na potrzeby podmiotów zainteresowanych wdrażaniem innowacji cyfrowych [12]. Tak zróżnicowane środowisko prawne może okazać się szczególnie dużym wyzwaniem w trakcie negocjowania warunków współpracy między poszczególnymi uczestnikami łańcuchów dostaw, zwłaszcza tych o zasięgu globalnym.

### **Podsumowanie**

Właściwości BCT sprawiają, że jest to technologia, która może rozwiązać wiele problemów i niedociągnięć obecnego systemu zapewniania bezpieczeństwa i jakości żywności, zarówno w ramach bardziej, jak i mniej złożonych łańcuchów dostaw żywności. Wartość dodana BCT polega przede wszystkim na istotnym zwiększeniu przejrzystości działania łańcuchów dostaw żywności. Rejestrowanie transakcji w ramach rozproszonej i niepodatnej na zmiany bazy danych wzmacnia wiarygodność informacji przepływających między poszczególnymi ogniwami łańcucha i w całym łańcuchu. Aplikacje bazujące na BCT oferują rozwiązania, które mogą zwiększyć precyzyjność i efektywność systemów śledzenia i identyfikowania produktów rolno-spożywczych. Zarządzanie łańcuchem dostaw żywności za pomocą BCT może również ograniczyć przypadki fałszowania żywności oraz nieuprawnionego stosowania certyfikatów jakości żywności. BCT zapewnia też inne korzyści, m.in. możliwość rejestrowania istotnych dla konsumentów informacji na temat produktów rolno-spożywczych oraz funkcjonowania łańcuchów rolno-żywnościowych.

Zainteresowanie zastosowaniami BCT w sektorze rolno-spożywczym i, szerzej, wśród podmiotów uczestniczących w łańcuchu dostaw żywności stopniowo wzrasta. BCT znajduje się jednak wciąż na początku krzywej cyklu technologicznego. Oznacza to, że nadal więcej jest pomysłów na możliwe zastosowania tej technologii niż efektów w postaci realnych wdrożeń. Zarysowywane możliwości prowadzą niekiedy do nadmiaru oczekiwań, które niekoniecznie będą mogły zostać spełnione. Ryzyko i źródła ograniczeń tkwią nie tylko w samej technologii, ale również w szerszym otoczeniu społeczno-ekonomicznym, w którym funkcjonuje gospodarka żywnościowa, w tym łańcuchy dostaw żywności. Mimo wszystko można oczekiwać, że rola BCT w procesach zarządzania łańcuchami dostaw żywności będzie wzrastała. Największe przedsiębiorstwa już podjęły pierwsze próby wykorzystania tej technologii do usprawnienia procesów i zadań związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem i jakością żywności. Wiele wskazuje na to, że inne przedsiębiorstwa również będą decydować się na inwestycje w rozwiązania bazujące na łańcuchu bloków. Można się jednak spodziewać, że ze względu na liczne wyzwania, bariery i ryzyko związane ze stosowaniem BCT, tempo wdrażania BCT do zarządzania łańcuchami dostaw żywności będzie stosunkowo wolne.

*Pracę zrealizowano w ramach zadania programu wieloletniego 2015 - 2019: Regionalne strategie rozwoju innowacji w zakresie rolnictwa, przemysłu spożywczego i obszarów wiejskich, prowadzonego w Instytucie Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej - Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie.*

### Literatura

- [1] Ahmad M.: The current status of Blockchain in agriculture. [on line]. ICT Works 2017. Dostęp w Internecie [27.07.2018]: <https://www.ictworks.org/the-current-status-of-blockchain-in-agriculture/>
- [2] Anonymous: From farm to store: Walmart improves food safety with Blockchain technology. [on line]. Harvard Business School 2017. Dostęp w Internecie [15.06.2018]: <https://rctom.hbs.org/submission/from-farm-to-store-walmart-improves-food-safety-with-blockchain-technology-2/>
- [3] Anonymous: From shore to plate: Tracking tuna on the Blockchain. [on line]. Provenance 2016. Dostęp w Internecie [23.06.2018]: <https://www.provenance.org/tracking-tuna-on-the-blockchain>
- [4] Axfoundation, SKL Kommentus, Swedish County Councils and Regions, Martin & Servera, Kairos Future: Blockchain use cases for food traceability and control. A study to identify the potential benefits from using blockchain technology for food traceability and control. [on line]. Kairos Future 2017. Dostęp w Internecie [17.06.2018]: <https://www.sklkommentus.se/globalassets/kommentus/bilder/publication-eng-blockchain-for-food-traceability-and-control-2017.pdf>
- [5] Creasey S.: The potential for Blockchain in the food industry. [on line]. Just-Food 2017. Dostęp w Internecie [17.07.2018]: [https://www.just-food.com/analysis/the-potential-for-blockchain-in-the-food-industry\\_id138009.aspx](https://www.just-food.com/analysis/the-potential-for-blockchain-in-the-food-industry_id138009.aspx)
- [6] Crosby M., Pattanayak P., Verma S., Kalyanaraman V.: Blockchain technology: Beyond bitcoin. Appl. Innov. Rev., 2016, 2, 6-10.
- [7] Galvin D.: IBM and Walmart: Blockchain for food safety. [on line]. IBM Corporation 2017. Dostęp w Internecie [23.07.2018]: [https://www-01.ibm.com/events/wwe/grp/grp308.nsf/vLookupPDFs/6%20Using%20Blockchain%20for%20Food%20Safe%202020/\\$file/6%20Using%20Blockchain%20for%20Food%20Safe%202020.pdf](https://www-01.ibm.com/events/wwe/grp/grp308.nsf/vLookupPDFs/6%20Using%20Blockchain%20for%20Food%20Safe%202020/$file/6%20Using%20Blockchain%20for%20Food%20Safe%202020.pdf)
- [8] Ge L., Brewster Ch., Spek J., Smeenk A., Top J.: Blockchain for Agriculture and Food. Findings from the Pilot Study. Wageningen Economic Research, The Hague 2017.
- [9] Hoorfar J., Jordan K., Butler F., Prugger R. (Eds.): Food Chain Integrity: A Holistic Approach to Food Traceability, Safety, Quality and Authenticity. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge 2011.
- [10] Iansiti M., Lakhani K.R.: The truth about Blockchain. Harvard Business Rev., 2017, January-February, 1-11.
- [11] Klinger B., Szczepański J.: Blockchain – historia, cechy i główne obszary zastosowań. Człowiek w Cyberprzestrzeni, 2017, 1, 11-27.
- [12] Kshetri N.: 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. Int. J. Infor. Manag., 2018, 39, 80-89.
- [13] Lemieux V.L.: Trusting records: Is Blockchain technology the answer? Records Manag. J., 2016, 26 (2), 110-139.
- [14] Nakamoto S.: Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. [on line]. Dostęp w Internecie [5.08.2018]: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [15] OECD: Transformative Technologies and Jobs of the Future. Background Report for the Canadian G7 Innovation Ministers' Meeting. OECD, Montreal, Canada, 2018.
- [16] Piech K. (red.): Leksykon pojęć na temat technologii Blockchain oraz kryptowalut. Strumień „Blockchain i kryptowaluty” programu „Od papierowej do cyfrowej Polski”. Ministerstwo Cyfryzacji, Warszawa 2016.

- [17] Rakic B., Levak T., Drev Z., Savic S., Veljkovic A.: First purpose built protocol for supply chains based on Blockchain. [on line]. OriginTrail 2017. Dostęp w Internecie [10.07.2018]: <https://origintrail.io/storage/documents/OriginTrail-White-Paper.pdf>
- [18] Smit H.: Blockchain: The trigger for disruption in the food value chain. [on line]. RaboResearch. Food & Agribusiness 2017. Dostęp w Internecie [10.08.2018]: [http://www.tenenga.it/wp-content/uploads/Rabobank\\_Blockchain\\_The\\_Trigger\\_for\\_Disruption\\_in\\_the\\_Food\\_Value\\_Chain\\_Smit\\_Dec2017.pdf](http://www.tenenga.it/wp-content/uploads/Rabobank_Blockchain_The_Trigger_for_Disruption_in_the_Food_Value_Chain_Smit_Dec2017.pdf)
- [19] Steliński A., Nichol P.B.: Blockchain – wyjaśniamy w 10 minut. [on line]. Computerworld. Dostęp w Internecie [17.07.2018]: <https://www.computerworld.pl/news/Blockchain-wyjasniamy-w-10-minut,406709.html>
- [20] Tian F.: An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & Blockchain technology. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), Kunming, China, 2016, June, 24-26. [on line]. IEEE. Dostęp w Internecie [17.07.2018]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7538424>
- [21] Tse D., Zhang B., Yang Y., Cheng C., Mu H.: Blockchain application in food supply information security. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, Singapore, 2017, December, 10-13. [on line]. IEEE. Dostęp w Internecie [17.08.2018]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8290114>
- [22] Wilson M.: Retailers and producers turn to IBM Blockchain to improve food safety. [on line]. IBM. 2017. Dostęp w Internecie [27.06.2018]: <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2017/08/24/blockchain-food-safety/>

## POTENTIAL OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY TO ENSURE FOOD SAFETY AND QUALITY

### S u m m a r y

Blockchain (BCT) is a relatively new digital technology that could revolutionize the functioning of agri-food supply chains. This technology provides for the possibility to store information on transactions and products in a decentralized and scattered database that is tamperproof and not open to changes.

The objective of the paper was to discuss the opportunities and challenges associated with the use of BCT in agri-food supply chains in the areas related to ensuring the safety and quality of food products. While assessing the potential of this technology, there were considered both the applications described in the reference literature and the effects of the selected pilot and demonstration projects, in which the BCT-based solutions and applications were tested. The analysis performed makes it possible to draw a conclusion that BCT can play a positive role in ensuring food safety and quality. The basic benefit of using this technology is the increased transparency of agri-food supply chain functioning. The BCT-based applications enable to improve the efficiency of tracking, tracing, and identifying agri-food products in the supply chain. As a result, the number of food adulteration cases could be reduced as well as the number of cases of unauthorized use of food quality certificates. However, there are also certain risks and problems associated with the use of BCT. BCT has not yet reached its full technological maturity – the scalability of BCT may prove to be a problem in more developed and complex supply chains involving multi-component products. Also, social, economic, legal, and financial barriers should be pointed out for they might have adverse effects on the prospects for the wider use of BCT in agri-food supply chains. Therefore, though the agri-food enterprises are more and more interested in practical use of BCT, the implementation of BCT in agri-food supply chains is likely to be relatively slow.

**Key words:** agri-food supply chains, food safety, food quality, Blockchain (BCT) technology 