



Damian MROWIEC¹, Maciej SOŁTYSIK¹

Przykładowe możliwości wykorzystania technologii blockchain w elektroenergetyce

Streszczenie: *Blockchain* to technologia, która w przyszłości może zrewolucjonizować wiele branż na świecie. System ten bazuje na łańcuchu bloków służących do przechowywania i przesyłania w sposób rozproszony różnorodnych informacji, tworząc zdecentralizowany rejestr danych. Pomimo stosunkowo wczesnej fazy rozwoju poszczególnych istotnych projektów opartych na systemie *blockchain* w branży energetycznej, rozwiązaniom zakładających wykorzystanie tej technologii w szeroko pojętej elektroenergetyce przypisuje się bardzo duży potencjał. W niniejszym artykule zawarto krótki opis samej technologii *blockchain*, jej ogólnej zasady działania oraz możliwości, jakie za sobą niesie. W kolejnej części scharakteryzowano dwa przykładowe i możliwe zastosowania aplikacyjne technologii *blockchain*, które w perspektywie mogą mieć znaczący wpływ na sektor elektroenergetyczny.

Pierwsze rozwiązanie związane jest z przeprowadzaniem i rozliczaniem transakcji kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej. Dzięki zastosowaniu technologii *blockchain* transakcje te mogłyby być w łatwy sposób przeprowadzane bezpośrednio pomiędzy wytwórcami oraz odbiorcami energii, co mogłoby prowadzić do częściowej decentralizacji w tym obszarze. Drugi zaproponowany przykład dotyczy śledzenia pochodzenia surowców energetycznych i pozwoliłoby na przypisanie wytwarzanej energii elektrycznej niezmiennych atrybutów pochodzenia oraz parametrów wpływających na środowisko. Poprzez wprowadzenie takiego rozwiązania, możliwe byłoby skonstruowanie „śladu paliwowego” poszczególnych jednostek wytwórczych. W artykule przytoczono również przykłady innych potencjalnych zastosowań technologii *blockchain* w elektroenergetyce.

Słowa kluczowe: łańcuch bloków, zastosowania *blockchain* w elektroenergetyce, inteligentne kontrakty, transakcje kupna-sprzedaży energii, śledzenie pochodzenia surowców energetycznych

Examples of possible blockchain technology applications in the power engineering sector

Abstract: Blockchain is a technology, which could revolutionize many industries in the future. A system like that is based on a chain of blocks that is used for storing and transferring various data, forming a decentralized ledger. Although various fundamental projects based on the blockchain system in the energy industry are in their early

¹ PSE Innowacje, Warszawa; e-mail: damian.mrowiec@pse.pl; maciej.soltyzik@pse.pl

stage of development, as well as other solutions, applications of blockchain technology in the broadly understood power engineering sector are considered to have a very large potential. This paper presents a brief description of the blockchain technology, its general operating principle and the possibilities it brings. The next section of the article contains a characterization of two exemplary and possible blockchain technology applications, which in the perspective of time may have a significant impact on the power engineering sector.

The first solution is related to carrying out energy transactions, which could be conducted in an easy way directly between energy producers and consumers. Thanks to blockchain technology, this could lead to a partial decentralization in that area. The second proposed example concerns energy resources origin tracking, which would allow fixed origin attributes and parameters affecting the environment to be assigned to the generated energy. By implementing that solution, it would be possible to construct a fuel footprint of individual generating units. The article also mentions examples of other potential applications of blockchain technology in the power engineering sector.

Keywords: blockchain, blockchain applications in the power engineering sector, smart contracts, energy transactions, energy resources origin tracking

Wprowadzenie

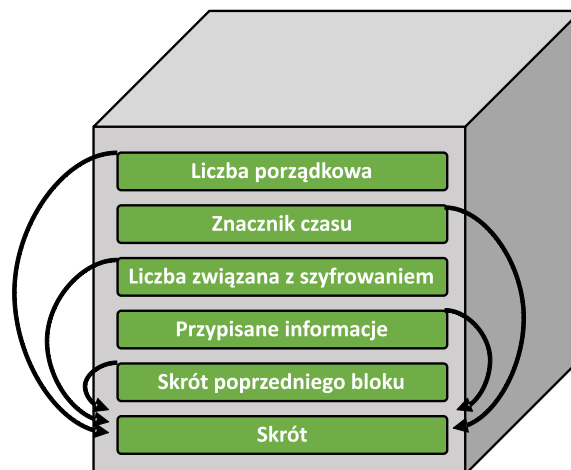
W ostatnim czasie wyjątkowo popularna stała się tematyka związana z technologią *blockchain*. Określenie to może kojarzyć się głównie z zagadnieniem kryptowalut, gdyż technologia ta po raz pierwszy została wykorzystana właśnie na ich użytek (Nakamoto 2008). Jej najbardziej popularnym obecnie zastosowaniem, które funkcjonuje na światową skalę, jest oparty na systemie *blockchain* i równie popularny *bitcoin*. Pomimo tego, potencjał możliwości wykorzystania technologii *blockchain* jest wyjątkowo duży i sięga zdecydowanie dalej niż sam obszar kryptowalut. Nierzadko wygłaszane są opinie, według których *blockchain* w perspektywie kilkunastu lub kilkudziesięciu lat zmieni biznes na świecie na taką skalę, na jaką Internet zmienił i zrewolucjonizował światową komunikację. Docelowo, *blockchain* może znaleźć zastosowanie w prawie każdej branży. Istotnym i ważnym aspektem jest również możliwość implementacji tej technologii w szeroko pojętej elektroenergetyce.

1. Zasada działania technologii blockchain

Blockchain to tzw. łańcuch bloków, który zdolny jest do przechowywania oraz przesyłania w sposób rozproszony różnorodnych informacji. Informacje te zestawiane są w blokach danych będących częściami składowymi całego łańcucha. System taki może tworzyć całkowicie zdecentralizowany rejestr lub bazę danych (Piech red. 2017).

Każdy blok danych w standardowej sieci *blockchain* zawiera liczbę porządkową, znacznik czasu, liczbę związaną z szyfrowaniem, informacje do niego przypisane, odniesienie do poprzedniego bloku występującego w łańcuchu w postaci jego skrótu oraz swój własny skrót (Sodhi 2017). Na rysunku 1 przedstawiono strukturę typowego bloku danych, którego skrót generowany jest na podstawie jego wszystkich pozostałych elementów.

Liczba porządkowa umożliwia między innymi łatwe rozpoznanie liczby bloków w danym łańcuchu oraz pozwala odnieść się w prosty sposób do danego bloku. Znacznik lub stempel czasu znajdujący się w bloku danych zaświadcza o istnieniu danej wartości w określonym momencie czasu. Bloki posiadają również swoje unikalne liczby, które wprowadzane są do celów związanych z szyfrowaniem kryptograficznym.



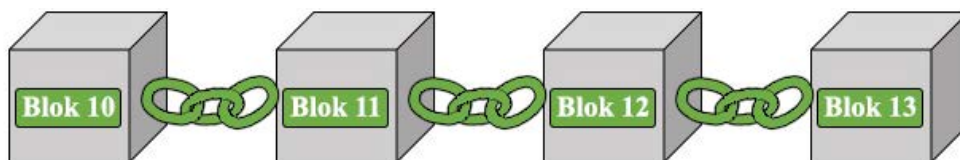
Rys. 1. Elementy składowe typowego bloku danych
Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Components of a typical data block

Informacje przypisywane do poszczególnych bloków są zależne od rodzaju łańcucha *blockchain*. Mogą to być transakcje handlowe, dane dotyczące stanu własności lub akcji, jak i informacje związane z wytworzeniem energii elektrycznej. To właśnie dzięki tej różnorodności technologia *blockchain* może mieć potencjalnie zastosowanie w prawie każdej dziedzinie.

Skrót danego bloku lub dosłownie „hasz” (ang. *hash*) to pewien ciąg znaków identyfikujący blok. Skrót jest obliczany w momencie stworzenia bloku i przypisania do niego danych, na podstawie których funkcja haszująca (funkcja skrótu) wykorzystując kryptograficzne operacje matematyczne generuje pewien ciąg znaków. Danymi wejściowymi są wszystkie elementy składowe bloku, łącznie ze skrótem poprzedniego bloku występującego w łańcuchu. Podstawową właściwością funkcji haszującej jest jej zdolność do łatwej zamiany standardowych danych na skrót, natomiast ogromnie trudne jest wygenerowanie danych wejściowych na podstawie samego skrótu, który wyjątkowy jest dla każdego pojedynczego bloku (Piech red. 2016). Nawet najmniejsza modyfikacja danych zawartych w bloku spowoduje ponowne obliczenia i wygenerowanie nowego, innego skrótu przypisanego do bloku. W związku z tym, pomimo dostępu każdego użytkownika do całego rejestru, jest on dobrze zabezpieczony przy wykorzystaniu skomplikowanych szyfrujących operacji kryptograficznych. Transakcje zawarte w łańcuchu są więc publiczne, natomiast ich rzeczywista widoczność jest możliwa tylko dla poszczególnych osób posiadających prawa dostępu.

Jak już wspomniano, każdy blok posiada również odniesienie do skrótu charakteryzującego poprzedni blok. Tym samym, bloki są ze sobą wzajemnie połączone i tworzą ich trwałe łańcuch, stąd system taki nazywa się łańcuchem bloków. Na rysunku 2 przedstawiono fragment przykładowego łańcucha bloków.



Rys. 2. Fragment przykładowego łańcucha bloków
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Fragment of a sample blockchain

Na tym etapie ingerencja w dane przypisane do bloków byłaby ogromnie trudna, ale możliwa. Wyobraźmy sobie, że ktoś próbuje sfałszować dane dotyczące pewnej transakcji, wprowadzając zmianę w jednym pojedynczym bloku. W takiej sytuacji, wygenerowany zostanie w zauważalny sposób jego skrót. Jednocześnie, zmiana ta będzie widoczna w następnym bloku posiadającym odniesienie do skrótu bloku, w którym sfałszowano informacje. Tym samym, każdy kolejny występujący w łańcuchu blok stanie się nieważny, gdyż wszystkie będą się odnosiły do bloków posiadających inne, zmienione skróty.

Kolejnym ważnym aspektem rejestru *blockchain* jest jego rozproszenie, które polega na udostępnieniu bloku we wszystkich węzłach sieci. Węzłem może być każdy pojedynczy użytkownik sieci. *Blockchain* wykorzystuje bardzo popularną sieć P2P (ang. *peer-to-peer*), zgodnie z którą nie istnieje jedna duża jednostka centralna zarządzająca systemem, ale wszyscy użytkownicy posiadają równe prawa i mają możliwość dołączenia do sieci (Schollmeier 2002). Uniemożliwia to kontrolę nad całym systemem przez pojedynczą osobę lub organizację. Każdy użytkownik, który przyłącza się do sieci *blockchain* i staje się osobnym węzłem, otrzymuje tym samym kopię całego łańcucha chronologicznie występujących po sobie bloków oraz bierze udział w uwierzytelnianiu informacji. W momencie stworzenia nowego bloku, trafia on do łańcucha każdego użytkownika, który sprawdza jego poprawność. Na tej podstawie system *blockchain* potwierdza ważność bloków w sytuacji, kiedy pomiędzy użytkownikami w sieci występuje konsensus oraz uznaje je za nieważne i odrzuca, jeśli łańcuchy użytkowników nie są ze sobą zgodne. Jeśli w systemie pojawiłaby się pojedyncza nieautoryzowana transakcja, poszczególne węzły automatycznie wykryją jej niepoprawność oraz tym samym zostanie ona uznana za nieważną oraz odrzucona.

W związku z tym, w momencie, w którym do jednego bloku zapisano daną informację, nie ma możliwości dokonać jej zmiany. Informacje zapisane w blokach pozostają w nich niezmiennicze na zawsze i na tym etapie ich usunięcie lub sfałszowanie jest praktycznie niemożliwe. Teoretycznie taka możliwość istnieje, ale wymagałoby to jednoczesnej modyfikacji i przywrócenia ważności wszystkich bloków w łańcuchu występujących po bloku, w którym wprowadzono zmiany, a następnie przejęcia kontroli nad większością użytkowników sieci P2P oraz dokonania tych samych modyfikacji w tym samym czasie w większości węzłów w sieci. Szacuje się, że praktycznie do wykonania tych działań w rozwiniętej sieci *blockchain* potrzebna byłaby moc obliczeniowa połowy obecnego Internetu (Biedrzycki 2016).

Powyższy system weryfikacji danych funkcjonujący w sieci *blockchain* pozwala na wyeliminowanie kwestii braku zaufania pomiędzy użytkownikami bez udziału dodatkowych

stron pośredniczących. W przypadku omawianej technologii czynności weryfikujące wykonują poszczególni użytkownicy sieci, a proces weryfikacji jest prowadzony na podstawie zadanych uprzednio reguł w sieci *blockchain*. Oznacza to, że zatwierdzenie poszczególnych bloków przez użytkowników oparte jest na odpowiednich zasadach, które mogą być dostosowane do danej sieci *blockchain*.

Warto również nadmienić, że występują różne rodzaje sieci *blockchain*. Poza typowymi rozwiązaniami system może być zaprojektowany w sposób uniemożliwiający pełny dostęp do całego rejestru danych przez wszystkich użytkowników, gdzie jego widoczność może być dostępna tylko dla niektórych, na przykład dla osób biorących udział w danej transakcji (Buterin 2015).

2. Przeprowadzanie oraz rozliczanie transakcji kupna i sprzedaży energii elektrycznej

Jednym z potencjalnych zastosowań technologii *blockchain* w obszarze elektroenergetyki jest jej wykorzystanie do stworzenia odpowiedniego zdecentralizowanego modelu rozliczeń na rynku energii. Poprzez zastosowanie łańcuchów bloków transakcje sprzedaży oraz kupna energii elektrycznej mogłyby być realizowane bezpośrednio i autonomicznie pomiędzy wytwórcami oraz odbiorcami energii. Taki model prowadzenia rozliczeń mógłby prowadzić do częściowej lub całkowitej decentralizacji, ponieważ pewne jego rozwiązania nie wymagałyby funkcjonowania żadnej centralnej jednostki nadzorującej. Transakcje wykonywane mogłyby być automatycznie na podstawie uprzednio zdefiniowanych poszczególnych założeń, reguł i zasad. Rozwiązanie takie byłoby możliwe do zrealizowania dzięki wykorzystaniu dodatkowo tzw. inteligentnych kontraktów.

Inteligentne kontrakty (ang. *Smart Contracts*) to automatycznie i samoczynnie realizowane umowy oparte na technologii *blockchain*. Są one zaprogramowane w sposób umożliwiający inicjowanie i wykonywanie poszczególnych działań po spełnieniu zadanych, określonych warunków. Innymi słowy inteligentne kontrakty można traktować jako programy komputerowe wykonujące umowy na podstawie reguł uzgodnionych przez poszczególne strony tych umów (Buterin 2013). Najważniejszą cechą inteligentnych kontraktów jest ich możliwość do wykorzystania i współpracy z wieloma łańcuchami *blockchain*. Oznacza to, że jedna sprawdzana reguła może mieć swoje podłoże w jednej sieci *blockchain*, a kolejna w innej.

Ogólny zamysł rozliczania transakcji kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej przy wykorzystaniu *blockchain* mógłby opierać się na dedykowanej do tych działań platformie, wykorzystującej tę technologię. W takim systemie każdy odbiorca energii elektrycznej miałby możliwość zarejestrowania się na platformie. To samo dotyczyłoby wytwórców energii. Użytkownicy musieliby oczywiście posiadać zainstalowane odpowiednie inteligentne liczniki współpracujące z platformą, dzięki czemu informacje na temat pobranej, wytworzonej oraz wprowadzonej do sieci energii byłyby zapisywane i wprowadzane do poszczególnych bloków łańcucha. Takie działanie pozwoliłoby na zarejestrowanie całej historii związanej z profilem zużycia oraz wytwarzania energii dla każdego użytkownika. Ponadto rejestr prze-

chowowałyby informacje dotyczące wszystkich przepływów mocy w sieci oraz dokonanych transakcji, dzięki czemu stworzona baza danych przeprowadzonych operacji wraz z całą ich historią byłaby na bieżąco aktualizowana. Zgodnie z zasadą działania typowej sieci *blockchain*, transakcje byłyby rozpowszechniane oraz weryfikowane pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci. Baza ta nie przewidywałaby oczywiście możliwości dokonania jakichkolwiek zmian zgromadzonych danych. Funkcjonowanie takiego rozwiązania wymagałoby również stworzenia dedykowanych aplikacji współpracujących z platformą.

Ogółem, cały powyższy system składałby się z wielu osobnych łańcuchów danych działających równolegle. Jeden segment mógłby odpowiadać za pomiary ilości wyprodukowanej oraz zużytej energii elektrycznej, natomiast inny byłby odpowiedzialny za przeprowadzanie operacji handlu energią. Kolejny łańcuch mógłby z kolei gromadzić dane związane z płatnościami za transakcje. Dzięki wykorzystaniu sieci P2P i połączeniu wszystkich łańcuchów danych oraz ich działań poprzez zastosowanie inteligentnych kontraktów, transakcje mogłyby być przeprowadzane bezpośrednio pomiędzy wszystkimi użytkownikami zarejestrowanymi na platformie. Obrót energią byłby na tyle zautomatyzowany, że rozliczenia wykonywane byłyby automatycznie z uwzględnieniem wszystkich podanych przez poszczególnych użytkowników założeń. Poprzez takie działania sieć elektroenergetyczna mogłaby być w znacznym stopniu zarządzana przez samą platformę *blockchain*. Algorytm inicjowałby na platformie automatycznie poszczególne transakcje, wykonywane na podstawie ściśle ustalonych uprzednio pożądaných założeń oraz reguł ich prowadzenia. Dzięki temu system mógłby utrzymać bilans w systemie lub lokalnej sieci elektroenergetycznej pomiędzy generacją oraz zapotrzebowaniem na energię elektryczną.

Rozwiązanie takie można rozwinąć jeszcze bardziej, integrując do systemu funkcjonujące już na bazie technologii *blockchain* kryptowaluty. Dzięki temu, za energię można by się było rozliczać wykorzystując do tego celu dostępne na rynku kryptowalut jednostki płatnicze. Traktować należałoby to jednak jako dodatek a nie konieczność, tym samym rozwiązanie wprowadzenia kryptowalut nie wykluczałoby jednocześnie możliwości dokonywania płatności poprzez tradycyjną walutę. Możliwe funkcjonowanie takiego systemu płatności wymagałoby oczywiście wcześniejszego uregulowania prawnego odpowiednich segmentów.

Powyższy zamysł mógłby być realizowany na różne sposoby. Pierwszy z nich polegałby na samoczynnym dopasowywaniu i doborze stron transakcji, czyli odpowiednich wytwórców i odbiorców energii. Drugi z kolei zakładałby wprowadzenie autonomii użytkowników w działaniu na tym obszarze. Technologię *blockchain* można wykorzystać do rozliczania transakcji również w wielu innych, zróżnicowanych modelach (Dütsch i Steinecke 2017; Hasse i in. 2016; Merz 2016; Zhang i in. 2018; Zhou i in. 2017).

Na zdecentralizowanym systemie rozliczeń w dużym stopniu mogłoby również skorzystać prosumenci. Dzięki powiązaniu ich bezpośrednio z innymi odbiorcami, swoje nadwyżki mogłoby autonomicznie sprzedawać na przykład do swoich sąsiadów. Transakcje byłyby wykonywane automatycznie oraz jednocześnie zapisywane w blokach danych łańcucha. W związku z tym, cała historia tych transakcji byłaby regularnie aktualizowana i umieszczana w systemie *blockchain*. Rejestr transakcji byłby jednocześnie zabezpieczony przed jakimikolwiek manipulacjami. Taki model mógłby więc pełnić jednocześnie rolę pewnego

rodzaju systemu wsparcia dla prosumentów, co mogłoby skutkować odpowiednią zachętą odbiorców energii elektrycznej do inwestowania w swoje własne rozproszone odnawialne źródła energii. Ogółem, technologia *blockchain* ma duży potencjał na zwiększenie roli pojedynczych małych prosumentów na rynku.

System rozliczeń transakcji wykorzystujący technologię *blockchain* mógłby się również dobrze sprawdzać w lokalnych mikrosieciach, w których wykorzystywane byłyby dodatkowo magazyny energii. W sytuacji występowania nadwyżek wygenerowanej energii elektrycznej system na podstawie algorytmów inteligentnych kontraktów inicjowałby automatyczne kierowanie energii do magazynu, która byłaby następnie wykorzystana w momencie jej niedoboru.

Zastosowanie technologii *blockchain* do przeprowadzania transakcji kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej jest obecnie założeniem wielu projektów pilotażowych realizowanych na świecie. Na rynku europejskim jednym z kluczowych projektów jest inicjatywa *Enerchain*, która ma na celu wsparcie zdecentralizowanego handlu energią i tworzenie jego podstaw w Europie (Merz 2016). Projekt ten wykorzystuje platformę firmy PONTON, która umożliwia autonomiczny obrót energią pomiędzy jej poszczególnymi użytkownikami. Power Ledger to z kolei australijska firma, która wdraża platformę integrującą w sobie wiele aplikacji związanych z zarządzaniem energią elektryczną (Power... 2018). Jej głównym filarem jest możliwość handlu energią pomiędzy indywidualnymi odbiorcami oraz lokalnymi wytwórcami. Rozwiązanie to zakłada, że producenci energii otrzymywaliby wynagrodzenie w postaci dedykowanej kryptowaluty. Organizacja Energy Web Foundation rozwija natomiast koncepcję tzw. agenta zdecentralizowanego autonomicznego obszaru (ang. *The Decentralized Autonomous Area Agent – D3A*). Rozwiązanie to ma na celu wypracowanie modelu rynku opartego na technologii *blockchain* i przeznaczonego do zdecentralizowanego zarządzania energią elektryczną (Hartnett i in. 2017). Aktualnie jednak większość projektów pilotażowych w omawianym obszarze jest w bardzo wczesnej fazie rozwoju.

Koncepcja modelu opartego na zdecentralizowanych transakcjach kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej to jeden z kierunków, w jakim z dużym prawdopodobieństwem może podążać sektor energetyczny na świecie, jednak technologia *blockchain* nie jest w tym obszarze koniecznością i jedyną możliwością jego osiągnięcia. Obecnie, czyli w momencie stosunkowo wczesnej fazy rozwoju technologii *blockchain*, w wielu aspektach lepszą alternatywą mogą się okazać tradycyjne metody (Hasse i in. 2016). Przepływ danych może być w odpowiedni sposób rejestrowany za pomocą standardowych baz danych. W porównaniu do platformy opartej na łańcuchu bloków przy aktualnym etapie zaawansowania, transmisja informacji w tradycyjnych rozwiązaniach powinna działać dużo szybciej. W tym obszarze jednak technologia *blockchain* posiada w perspektywie przyszłościowej duży potencjał rozwoju. Implementacja powyższego mechanizmu przeprowadzania i rozliczania transakcji aktualnie odznaczałaby się również stosunkowo dużymi kosztami, których wymagać może w szczególności proces weryfikacji transakcji.

Z perspektywy odbiorcy energii elektrycznej, pewną komplikacją może być z kolei obawa przed utratą danych oraz ryzyko nadużyć w przypadku niedopracowanego mechanizmu rozliczeń. Istotną komplikację oraz pewną barierę może stanowić również brak konkretnych unormowań prawnych oraz problem dokładnego zabezpieczenia danych. Z powodu

braku odpowiedniego doświadczenia w użytkowaniu technologii *blockchain*, w szczególności w sektorze elektroenergetycznym, nie jest możliwe wymienienie wszystkich problemów mogących wystąpić przy jej zastosowaniu w omawianym modelu rozliczeń transakcji energii.

3. Śledzenie pochodzenia surowców energetycznych

Jednym z kierunkowych elementów polityki energetycznej Unii Europejskiej jest obszar szeroko rozumianej ochrony klientów. Sprowadza się on m.in. do realizacji działań w obszarze zapewnienia transparentności warunków umownych, ochrony odbiorcy wrażliwego, przejrzystości mechanizmów rozstrzygania sposobów, swobody dostępu do sieci oraz prawa do rzetelnej informacji. Jednocześnie polityka wspólnotowa promuje mechanizmy rynkowe gwarantujące ochronę praw małych i słabych odbiorców, jawność informacji dotyczących źródeł energii pierwotnej stosowanej do wytwarzania energii elektrycznej, a także ocenę ich wpływu na środowisko. Konieczność budowy wiedzy i świadomości u konsumentów energii elektrycznej nt. struktury zużywanych przez nich paliw określona i sparametryzowana została już kilkanaście lat temu na łamach dyrektywy (Dyrektywa... 2003) i dalej w ramach implementacji krajowej do ustawy prawo energetyczne (Ustawa... 2007). Wprowadzone przepisy skupiły się na konieczności przekazywania przez zobligowane do tego podmioty danych dotyczące:

- struktury paliw i innych nośników energii pierwotnej zużywanych do wytwarzania energii elektrycznej sprzedanej przez sprzedawcę w poprzednim roku kalendarzowym oraz
- wpływu wytwarzania energii elektrycznej sprzedanej w poprzednim roku kalendarzowym na środowisko, w zakresie emisji dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenków azotu, pyłów i radioaktywnych odpadów.

Obowiązek publikacji ww. danych i informacji w ściśle określonej formie i terminie do 31 marca każdego roku, objął swym zasięgiem wszystkich uczestników rynku sprzedających energię elektryczną odbiorcom końcowym. Pieczę kontrolną nad poprawnością, rzetelnością i jakością całego procesu i upublicznianych danych sprawuje organ regulacyjny, którym w przypadku Polski jest Urząd Regulacji Energetyki. Wieloletnia obserwacja funkcjonowania analizowanego mechanizmu pozwala jednak wnioskować, że publikowane dane nie niosą pożądaną i oczekiwaną wartości informacyjnej, a proces nadzoru nad prawidłowością realizacji obowiązku jest nieskuteczny. Najistotniejsze wady mechanizmu opisane szczegółowo w (Sołtysik i Mucha-Kuś 2013), można przedstawić następująco:

- brak systemu sankcyjnego, co przekłada się na znikomy odsetek przedsiębiorstw publikujących dane,
- wbrew enumeratywnemu podejściu do prezentacji zarówno formy, jak i zakresu danych, przedsiębiorstwa energetyczne publikują informacje niekompletne, w zmodyfikowanych formułach, co uniemożliwia ich porównywalność i wyciąganie wniosków,
- stosowanie uśrednień i wykorzystywanie zbiorczych danych dla energii kupowanej w ramach segmentu giełdowego i importu,

- kształt procesu wymiany informacji między kupującymi i sprzedającymi na rynku hurtowym mający w założeniu prowadzić do identyfikacji pochodzenia energii w portfelach sprzedawców.

O ile dwa pierwsze elementy związane z wprowadzeniem odpowiedniego mechanizmu kontroli publikacji danych możliwe są do uzyskania na drodze legislacyjno-regulacyjnej, o tyle wzajemny proces wymiany informacji na styku sprzedający–kupujący na rynku hurtowym i giełdowym wymagają gruntownego przemodelowania.

Na chwilę obecną każdy proces przygotowania wymaganej informacji rozpoczyna się od uzyskania bądź weryfikacji posiadanych danych o wolumenie zakupionej energii elektrycznej na rok sprawozdawczy z uwzględnieniem podziału na poszczególnych kontrahentów. Uzyskanie tych danych pozwala na wystosowanie do każdego z kontrahentów korespondencji z prośbą o udostępnienie wymaganych informacji. Materializuje się jednak w tym miejscu problem:

- fakultatywnego charakteru wzajemnego przekazywania informacji – publikacja danych powinna nastąpić do 31 marca, jednak nie ma obowiązku wzajemnego przekazywania informacji przed tą datą, które pozwoliłyby właściwie sparametryzować pochodzenie energii w portfelu sprzedażowym,
- postępowania w przypadku wielokrotnego obrotu energią elektryczną bez fizycznej dostawy, między spółkami obrotu,
- przekazania nabywcy energii struktury paliw niemającej odzwierciedlenia w pozyskanych informacjach od innych kontrahentów – rzutuje to na jakość przekazanych danych, które często stanowią wsad informacyjny dla kolejnych spółek przy przygotowywaniu tożsamych informacji,
- ujęcia energii pochodzącej z rynku bilansującego i segmentu giełdowego.

Z perspektywy tematyki omawianej w referacie szczególnie istotna wydaje się być możliwość zastosowania technologii *blockchain* w procesie jednoznacznego oznaczenia energii, tj. przypisania jej niezmiennych atrybutów pochodzenia i parametrów wpływających na środowisko. Najistotniejszym elementem wymagającym zmiany byłaby konieczność rejestracji wskaźników emisyjnych i środowiskowych w czasie rzeczywistym i sprzęgnięcia tych informacji z rejestracją poziomu generacji energii elektrycznej przez urządzenia pomiarowo-rozliczeniowe. Mechanizmem tym musiałyby być objęte wszystkie źródła wytwórcze z uwzględnieniem odmiennej specyfiki emisyjności dla nośników węglowych, gazowych i odnawialnych.

Taka paczka informacyjna mogłaby być przekazywana przez system WIRE do OSP, gdzie następowalby w trybie *ex post* rozdział informacji i ich przypisanie właściwym jednostkom grafików. W ramach mechanizmu możliwe byłoby zastosowanie trybu wnoszenia korekt funkcjonującego podobnie jak w przypadku rozliczeń na rynku bilansującym. Tak funkcjonujący model akwizycji i agregacji danych o strukturze paliw i oddziaływania środowiskowego, mógłby w automatyczny sposób być wykorzystywany w określonych ramach czasowych do zbiorczej prezentacji wymaganych ustawowo danych sprawozdawczych. Tak skonstruowany „ślad paliwowy” przypisany do danej jednostki grafikowej i ujęty w granulacji dobowo-godzinowej, pozwoliłby również na jednoznaczną identyfikację struktury paliwowej dla energii kontraktowanej z udziałem segmentu giełdowego i w ramach me-

chanizmu bilansującego. Model ten mógłby być wykorzystywany zarówno dla energetyki wielkoskalowej, jak i w wymiarze lokalnym i regionalnym właściwym dla energetyki rozproszonej, np. w ramach klastrów energii.

Podsumowanie

Technologia *blockchain* z pewnością ma w sobie potencjał do całkowitej zmiany sposobu, w jaki obecnie podchodzi się do energetyki. Technologia ta w sposób naturalny idealnie nadaje się do wykorzystania w prowadzeniu transakcji, w związku z tym istotnym zagadnieniem jest możliwość jej zastosowania do przeprowadzania oraz rozliczania transakcji kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej, szczególnie pomiędzy jej mniejszymi wytwórcami i odbiorcami na podłożu lokalnym. Poza dwoma scharakteryzowanymi w artykule koncepcjami wykorzystania tej technologii, rozpatruje się również wiele innych możliwości jej wykorzystania w elektroenergetyce. Bloki danych mogą przechowywać informacje związane ze świadectwami pochodzenia energii, uprawnieniami do emisji, wraz z całą historią takiego rejestru danych, jednocześnie śledząc jakiegokolwiek zmiany ich własności. Zastosowanie różnych modeli systemów opartych na sieci *blockchain* mogłoby ułatwić rozwój magazynów energii lub samochodów elektrycznych, jak i wspomóc integrację aktualnych rozwiązań z różnorodnymi inteligentnymi urządzeniami. Technologia *blockchain* może również w znaczący sposób zwiększyć rolę prosumentów. Mechanizm wykorzystujący dodatkowo inteligentne kontrakty mógłby ułatwić integrację zarządzania magazynami energii, przepływami mocy w sieci oraz bilansowaniem zapotrzebowania i generacji.

Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie powyższe rozwiązania są dość skomplikowane i mogą okazać się bardzo trudne do wprowadzenia w życie. Optymistycznie należałoby przypuszczać, że praktyczne zastosowanie technologii *blockchain* do rozliczania oraz przeprowadzania transakcji kupna–sprzedaży energii elektrycznej na szerszą skalę być może będzie realizowane komercyjnie w perspektywie kilkunastu lub kilkudziesięciu lat. Będzie to jednak wymagało całkowitej zmiany obecnej roli poszczególnych użytkowników rynku, od spółek energetycznych i operatorów systemu dystrybucyjnego po lokalnych wytwórców, prosumentów oraz samych odbiorców, co może być dość kłopotliwe i trudne. W dalszym ciągu jest to nowe zagadnienie i nie są znane wszystkie problemy, jakie mogą się zrodzić przy wdrażaniu powyższych rozwiązań. Pomimo niektórych trudności i ograniczeń, na wykorzystaniu technologii *blockchain* z pewnością można wiele zyskać. Szczególnie istotna jest w tym miejscu możliwa redukcja kosztów, dzięki ograniczeniu konieczności występowania pośredników oraz potencjalnej likwidacji stron trzecich niektórych procesów. Przebieg transakcji, dzięki zautomatyzowaniu ich przeprowadzania, w porównaniu do obecnych rozwiązań prawdopodobnie byłby dużo szybszy i prostszy. Ponadto, wszelkie podatności na oszustwa mogłyby zostać znacząco zredukowane.

Literatura

- Buterin, V. 2013. *A Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform*. Ethereum White Paper. [Online] http://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf [Dostęp: 13.04.2018].
- Buterin, V. 2015. *On Public and Private Blockchains*. [Online] <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>. [Dostęp: 13.04.2018].
- Biedrzycki, N. 2016. *Blockchain – wszystko, co warto o nim wiedzieć*. [Online] <https://businessinsider.com.pl/technologie/blockchain/blockchain-co-to-jest/vlfyt4> [Dostęp: 13.04.2018].
- Dütsch, G. i Steinecke, N. 2017. *Use Cases for Blockchain Technology in Energy & Commodity Trading*. PwC. [Online] <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/blockchain-technology-in-energy.pdf> [Dostęp: 13.04.2018].
- Dyrektywa 2003/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 czerwca 2003 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 96/92/WE, Dz.Urz. UE 15.07.2003, L 176/37.
- Hartnett, S. i in. 2017. *The Decentralized Autonomous Area Agent (D3A) Market Model*. Energy Web Foundation. [Online] <https://energyweb.org/wp-content/uploads/2018/04/EFW-D3A-ConceptBrief-FINAL201804.pdf> [Dostęp: 25.06.2018].
- Hasse, F. i in. 2016. *Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers?* PwC. [Online] <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf> [Dostęp: 13.04.2018].
- Merz, M. 2016. *Potential of the Blockchain Technology in Energy Trading*. Blockchain Technology: An Introduction for Business and IT Managers, de Gruyter. [Online] https://www.ponton.de/downloads/mm/Potential-of-the-Blockchain-Technology-in-Energy-Trading_Merz_2016.en.pdf [Dostęp: 13.04.2018].
- Nakamoto, S. 2008. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [Online] <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [Dostęp: 13.04.2018].
- Piech, K. red. 2016. *Leksykon pojęć na temat technologii blockchain i kryptowalut*. Strumień Blockchain/DLT i Waluty Cyfrowe, Ministerstwo Cyfryzacji. [Online] https://www.gov.pl/documents/31305/0/leksykon_pojec_na_temat_tehnologii_blockchain_i_kryptowalut.pdf [Dostęp: 13.04.2018].
- Piech, K. red. 2017. *Podstawy korzystania z walut cyfrowych*. Strumień Blockchain/DLT i Waluty Cyfrowe, Ministerstwo Cyfryzacji, Instytut Wiedzy i Innowacji. [Online] <https://www.gov.pl/documents/31305/436699/Podstawy+walut+cyfrowych.pdf> [Dostęp: 13.04.2018].
- Power Ledger Pty Ltd. 2018. *Power Ledger White Paper*. [Online] <https://www.powerledger.io/media/Power-Ledger-Whitepaper-v8.pdf> [Dostęp: 25.06.2018].
- Schollmeier, R. 2002. *A Definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-to-Peer Architectures and Applications*. Proceedings – Peer-to-Peer Computing, s. 101–102, IEEE DOI: 10.1109/P2P.2001.990434.
- Sodhi, R. 2017. *State of Blockchain*. Fullstack Academy. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=IqtRKWJ1aPc> [Dostęp: 13.04.2018].
- Sołtysik, M. i Mucha-Kuś, K. 2013. Problemy jakościowe statystyk struktury paliw i innych nośników energii pierwotnej zużytych do wytworzenia energii elektrycznej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 4, s. 297–308.
- Ustawa o zmianie ustawy – Prawo energetyczne, ustawy – Prawo ochrony środowiska oraz ustawy o systemie oceny zgodności z dnia 12 stycznia 2007 r., Dz.U. 2007, nr 21, poz. 124,
- Zhang, C. i in. 2018. Peer-to-Peer Energy Trading in a Microgrid. *Applied Energy* t. 220, s. 1–12 DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.010.
- Zhou, Y. i in. 2017. Performance Evaluation of Peer-to-Peer Energy Sharing Models. *Energy Procedia* t. 143, s. 817–822, 2017 DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.768.

