

## POTENCJALNE ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII BLOCKCHAIN NA RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ<sup>1</sup>

Sebastian Kiluk<sup>2</sup>

*Już sama tylko dyskusja na temat inteligentnych kontraktów blockchain na rynkach energii elektrycznej ma ogromny potencjał objaśniający zapóźnienie tych rynków względem dostępnych technologii.*

*W tym kontekście dwie zmiany są kluczowe. Pierwsza dotyczy zmiany cenotwórstwa, która systemowo blokuje na końcowych rynkach energii elektrycznej efektywność wyzwalaną na rynkach z silną konkurencją. Druga dotyczy wydzielenia sieci rozdzielczych nN-SN i wprowadzenia zasady ich współużytkowania przez energetykę EP, NI oraz WEK, czyli nowej zasady TPA.*

*Kiedy Parlament Europejski uchwala cel 2030 w zakresie źródeł OZE na 35%, to nie można dłużej traktować ich jak „przystawkę” do węglowo-jądrowej polityki energetycznej. To KSE trzeba restrukturyzować do potrzeb rozwoju inteligentnej energetyki EP-NI, obejmującej inteligentne kontrakty blockchain.*

Jan Popczyk

Technologia blockchain znajduje się od jakiegoś czasu w centrum uwagi opinii publicznej i skłania do zajmowania względem niej skrajnych postaw [12][13][14]. Blockchain nie jest najlepszym rozwiązaniem problemów technicznych naszych czasów i w wielu dziedzinach jego zastosowanie jest nieracjonalne. Jednakże, jest to jedyna technologia organizacji zautomatyzowanych procesów biznesowych w obszarach *alegalności*<sup>3</sup> znajdujących się pomiędzy sferą działalności regulatora, a frontem rozwoju cywilizacyjnego. Przestrzeń ta powstaje w sposób naturalny i charakteryzuje się niedoborem środków technicznych i organizacyjnych wynikającym z braku atrakcyjnych modeli wielkiej skali dla biznesu korporacyjnego oraz niepewności regulatora w warunkach skokowych zmian technologicznych i kulturowych. Przestrzeń ta nie jest utożsamiana z rozwojem

<sup>1</sup> Do opracowania Raportu autor wykorzystał zasoby biblioteki BŻEP (<http://klaster3x20.pl>), bez szczegółowego powoływania się na nie. Dane z zasobów BŻEP skonfrontował z danymi dostępnymi w otwartych bieżących zasobach internetowych.

<sup>2</sup> Dr inż. Sebastian Kiluk, dyscyplina Automatyka i Robotyka, informatyk, członek Stowarzyszenia Klaster 3x20, współpracuje z Konwersatorium Inteligentna Energetyka.

<sup>3</sup> Pojęcie określające przerwę między strefą uregulowaną, a frontem możliwości ludzkiej, stosowane przez National Security Agency USA do identyfikacji sfer życia w których brak jednoznacznych regulacji prawnych [23], np. na pewnym etapie rozwoju Internetu w kwestii poszanowania praw autorskich, przy prezentacji wyników wyszukiwania, w kwestii ‘orphan books’, współdzielenia utworów, czy współcześnie obrotu kryptowalutami. Słowo to wywodzi się z antynomii *legal-illegal*, i często, choć błędnie, pisane jest *allegal*.

technologicznym, ale z nowymi modelami organizacji aktywności ludzi, indukowanymi przez postęp, a w szczególności przez przełomowe innowacje.

Celem raportu jest identyfikacja tych wyjątkowych właściwości technologii blockchain w odniesieniu do wschodzącego mono rynku użytecznej energii elektrycznej OZE i nakreślenie nowych możliwości organizacji kooperacji w systemach [2]. W tym celu przedyskutowana zostanie przydatność nowych instrumentów takich jak: kryptowaluty, inteligentne kontrakty, nieodwracalne rejestry oraz rozproszona kontrola i weryfikacja przebiegu procesów, do realizacji procesów biznesowych na rynku energii elektrycznej OZE. W szczególności przedstawione zostaną przykładowe realizacje procesów zarządzania infrastrukturą sieciową nN-SN poprzez generowanie ad-hoc łańcuchów kooperacyjnych, wykorzystanie w systemach bilingowych do zadań net meteringu i DSM/DSR oraz ubezpieczeń wzajemnych producentów OZE.

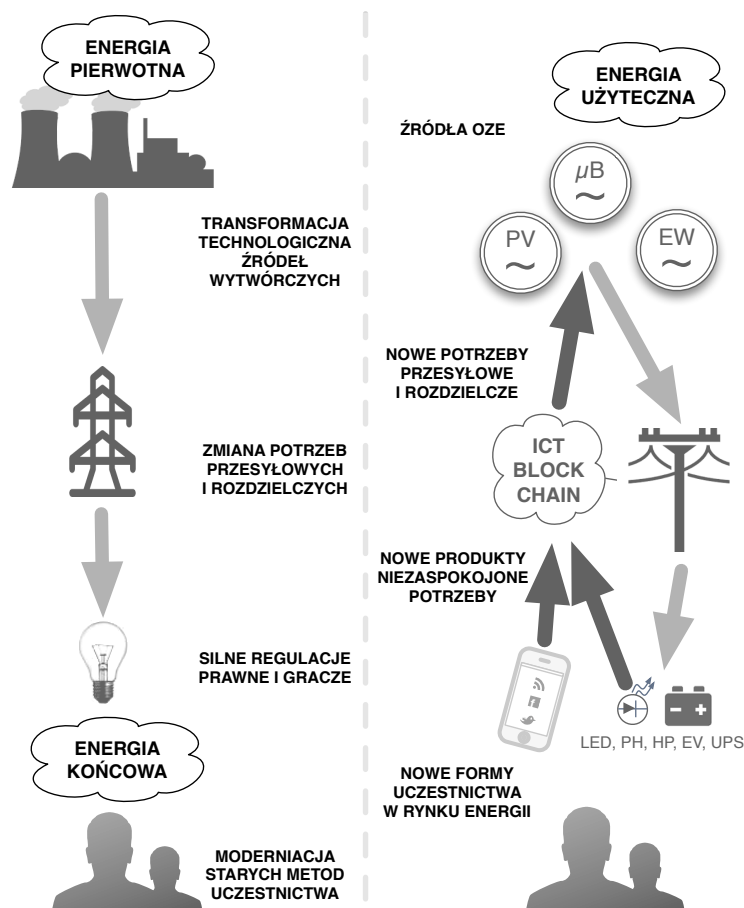
Na podstawie przedstawionych rozwiązań i eksperymentów przeprowadzona zostanie dyskusja obszaru zastosowania technologii blockchain w istniejących regulowanych strukturach systemu energetycznego, ocena jej potencjału rynekotwórczego w obszarach otwartych form uczestnictwa zgodnych z modelem prosumenckim. Ważnym wątkiem będzie nakreślenie nowej roli procesów biznesowych realizowanych w pełni cyfrowo w technicznych zadaniach regulacyjno-bilansujących i sterowania infrastrukturą, z podkreśleniem szczególnych możliwości rozproszonych autonomicznych organizacji (DAO).

Szczególną uwagę poświęca się problemom określenia granic funkcjonowania technologii blockchain w systemie elektroenergetycznym z konieczności obejmującym zarówno infrastrukturę techniczną jak i organizację prawną i rynkową procesów. W tym celu wprowadzone zostanie pojęcie ‘styku technologicznego’ umożliwiające identyfikację punktów wielowymiarowych interakcji technicznych, biznesowych, finansowych, prawnych czy podatkowych, integrowanych w środowisku blockchain.

Blockchain to nowa technologia opisywana najprościej jako automat stanów oparty na transakcjach [15]. Stan może zawierać różnorodne informacje takie jak salda rachunków, umowy czy inne wartości opisujące rzeczywistość. Transakcje zaś reprezentują uzasadnione zmiany pomiędzy stanami. Integracja przekształcenia stanu z rejestrem stanu decyduje o sile technologii blockchain. Przekształcenie stanu umożliwia przeprowadzenie dowolnych operacji i obliczeń, zaś rejestr stanu umożliwia przechowanie dowolnego stanu pomiędzy transakcjami. Zarówno funkcje przekształcenia stanu jak i rejestr są szyfrowane asymetrycznie, tak, że możliwe jest weryfikowanie uprawnień do wykonywania operacji, ich poprawność przy zachowaniu pełnej jawności. Rozproszony model weryfikacji odbywającej się niezależnie na komputerach wszystkich użytkowników połączonych w sieć blockchain jest gwarancją nieodwracalności zweryfikowanych operacji. Jednym z kryteriów wykonalności transakcji jest dostępność środków finansowych niezbędnych do wykonania obliczeń lub obciążeń. Środki te wyrażone są w jednostkach wielkości charakterystycznej dla danej sieci blockchain i nazywanej kryptowalutą.

Jedynym sposobem wytworzenia kryptowaluty i jej pozyskania jest uczestnictwo w przeprowadzaniu obliczeń uwierzytelniających stan i transakcje. Kryptowaluta jest przede wszystkim środkiem niezbędnym do zapłaty za wykonywanie operacji w blockchain. Kryptowaluty zyskały z czasem znaczenie w świecie rzeczywistym i obecnie na zasadach

umowy pomiędzy użytkownikami sieci blockchain mają wartość wymierną na inne dobra i usługi. Podstawą tej wyceny jest fakt, że pozyskanie kryptowaluty wiąże się koniecznością poniesienia znaczących nakładów obliczeniowych przeprowadzanych na komputerach przy wykorzystaniu energii elektrycznej. Nakłady te zwane dowodem pracy (Proof of Work, PoW) są analogiem wartości wysiłku przy połowie muszli będących historyczną walutą na wyspach Salomona. W swej istocie wytworzenie kryptowaluty jest procesem przekształcania energii elektrycznej (związek z energetyką jest wyjątkowy) w wartość dodaną rozproszonej sieci służącej do przechowywania i przetwarzania nieodwracalnego autonomicznego i scentralizowanego rejestru, którego nośnikiem jest trudna do ataku struktura rozproszonej geograficznie i własnościowo sieci. Wymienialność kryptowaluty stworzyła nową sytuację, w której odpowiedzialność za podejmowane zobowiązania może być wyrażana poprzez depozyty kryptowaluty służącej za zabezpieczenie transakcji. Implikuje to powstanie kategorii *kryptoprawa* [16], w której transakcje nie wymagają zabezpieczenia regulacjami prawnymi, co czyni je idealnym narzędziem w obszarach *alegalności*.



**Rys. 1. Zdolność do absorpcji technologii w ramach obecnego modelu dystrybucyjnego i nowego modelu sieciowego**

Przełomowe innowacje w energetyce nie mają odzwierciedlenia w regulacjach rynku takich które służą pełnemu wykorzystaniu ich potencjału. Powstała pustka może być zabezpieczona strukturami otwartej gospodarki wykorzystującymi bezpośrednio tj. niewymagające

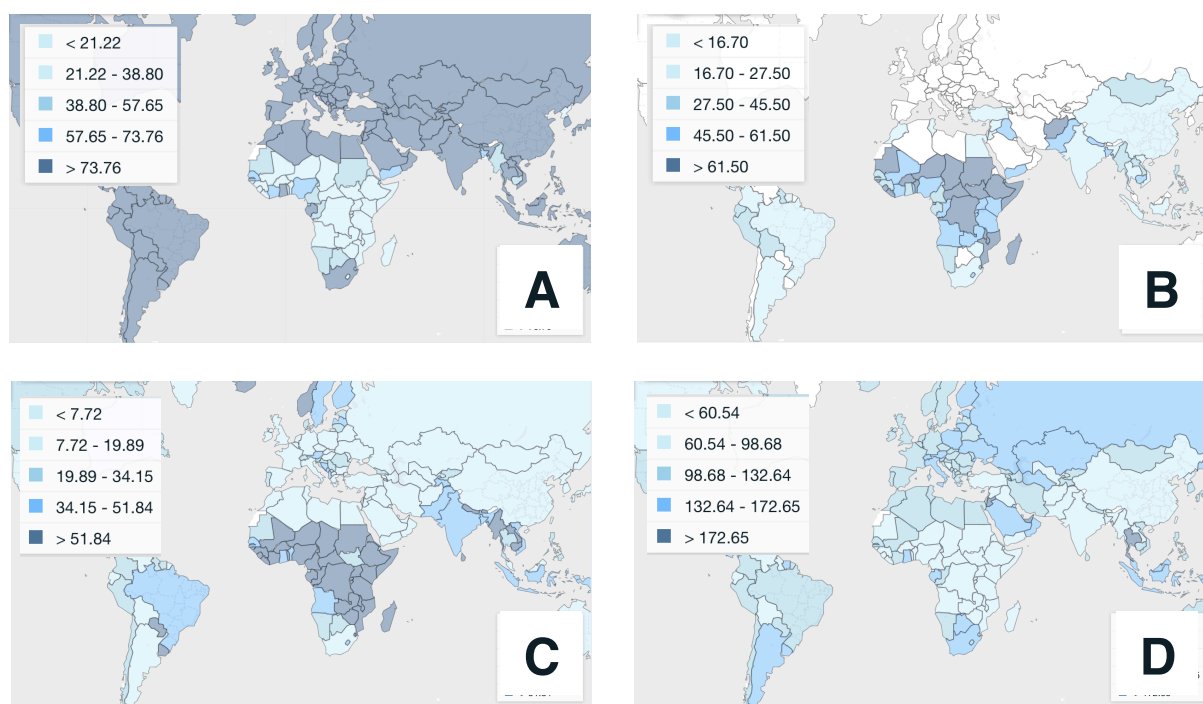
pośrednictwa, uczestnictwo podmiotów rynku energii w łańcuchach kooperacyjnych. Rynek energii użytecznej oraz rozproszonej i małoskalowej działalności prosumenckiej nie są dopasowane do skali procesów w WEK i nie dają możliwości ich biznesowego wykorzystania przez ten sektor. Gwałtowność i wynikająca z niej niepewność zmian technologicznych utrudnia działania regulacyjne ze względu na znaczne ryzyko zdławienia motorów rozwoju, w szczególności ocenianego w kategoriach globalnej konkurencyjności gospodarek. Imperatyw rozwoju w połączeniu z brakiem atrakcyjności dla zastanych struktur gospodarczych dają warunki konieczne dla zaistnienia przełomowych innowacji. Na ściśle regulowanym rynku energii elektrycznej nie jest możliwe funkcjonowanie bez ram regulacyjnych, dlatego koniecznością jest poszukiwanie rozwiązań zapewniających swobodę oddolnego tworzenia nowych struktur rynkowych działalności wytwórczej i konsumenckiej oraz usług w ramach istniejącego systemu energetycznego (rys.1). Technologia blockchain umożliwia stworzenie wydzielonej przestrzeni otwartej gospodarki prosumenckiej zintegrowanej z systemem elektroenergetycznym za pomocą *styków technologicznych* podlegających regulacjom.

Podsumowanie wyników badań możliwości zastosowania technologii blockchain w bankowości potwierdza brak zdolności sektora finansowego do jej absorpcji [17][18]. W ramach istniejących instytucji finansowych technologia blockchain nie daje żadnych korzyści technologicznych ani organizacyjnych. Przykładowo, istniejące systemy płatności mają przepustowość o kilka rzędów większą od sieci blockchain [19]. Modele biznesowe banków eksploatują ich szczególną rolę pośrednika w każdej transakcji finansowej, na co brak miejsca w sieciach blockchain umożliwiających realizację transakcji bez konieczności posiadania zaufania do kontrahenta lub gwarantów transakcji [20]. Pewnym zainteresowaniem instytucji bankowych cieszyły się zastosowania blockchain do procesów wewnętrznych banków [21] i rozliczeń międzybankowych, lecz przedstawiane koncepcje mogą być z powodzeniem realizowane za pomocą technologii tradycyjnych. Ważnym przyczynkiem do rozwoju blockchain była ograniczona oferta i wysoki koszt bankowych usług międzynarodowych.

Kwestia ta różnicuje istotnie różne obszary globu, w krajach Ameryki Łacińskiej, Afryki Subsaharyjskiej lub Dalekiego Wschodu zapotrzebowanie na takie usługi jest zupełnie inne niż w krajach OECD [1]. W szczególności daleko posunięte regulacje PSD2 [22] pozwolą zaspokoić potrzeby istniejących rynków na integrację usług bankowych z gospodarką cyfrową. Odmienne, w krajach o niedostatecznej infrastrukturze bankowej lub znacznym ryzyku regulacyjnym, przestrzeń *alegalności* lub pustka infrastrukturalna stała się podstawą dynamicznego rozwoju technologii blockchain takich jak *monero (XMR)* niewymagających rozbudowanej struktury pośrednictwa w transakcjach finansowych. W regionach Afryki Subsaharyjskiej, gdzie 'tradycyjnie' transfery pieniężne realizowane były z wykorzystaniem kryptowaluty oferowanej np. przez operatorów sieci mobilnych w postaci kodów dostępu do zakupionych w odległym miejscu impulsów, przesyłanych SMS-ami i wymienianych lokalnie na gotówkę lub towary. Braki w zakresie rozwiązań rynkowych i infrastrukturalnych w tym wypadku manifestujące się niskim stopniem 'ubankowienia' społeczeństw, stwarzają wyjątkowe warunki do adaptacji technologii komunikacji mobilnej szczególnie w trajektorii rozwojowej będącej konsekwencją wprowadzenia urządzeń klasy smartphone o otwartej architekturze programistycznej i mocach obliczeniowych umożliwiającą implementację zróżnicowanych aplikacji i integrację z zewnętrznymi

dostawcami usług w tym wykorzystujących blockchain. Z punktu widzenia biznesu, jest to trajektoria oddolnego rozwoju, w którym potrzeby użytkowników mogą być zaspokajane przez dostawców cyfrowych usług często promujących modele gospodarki otwartej czy współdzielenia, a z pominięciem 'tradycyjnych' uczestników rynku. Dostawcy ci mierzą się z problemami wykładniczego wzrostu liczby użytkowników wymagającego organizacji o szczególnych właściwościach nieosiągalnych w tradycyjnych schematach organizacyjnych, a nazywanych *startup*.

Zdolność do wprowadzania na rynek produktów i usług pozbawionych ograniczeń logistycznych związanych z obrotem dobrami materialnymi oraz skromne wymagania infrastrukturalne powodują, że środowisko startupów jest silnie spenetrowane przez kapitał wysokiego ryzyka poszukujący projektów o ogromnym potencjale wzrostu. W szczególności zainteresowanie wzbudzą dynamiczne w sensie gospodarczym Chiny, Indie i Afryka Subsaharyjska, dla których atrakcyjne są nowe modele biznesowe bazujące na generowaniu wartości poprzez intensyfikację uczestnictwa, skalowanie i sieciowość przy znacznej redukcji potrzeb inwestycyjnych i kosztów własnych. Jednocześnie ta sama branża w krajach rozwiniętych OECD wykorzystuje swoją pozycję rynkową i lobbuje za zacieśnieniem gorsetu regulacyjnego i wspiera tradycyjne modele rynkowe np. postulując sprzedaż pasm częstotliwości dla operatorów 5G ograniczając warunki konkurencyjności. Bez akceptacji regulatora i zapewnienia swobody wewnątrz ram regulacyjnych zdefiniowanych za pomocą *styków technologicznych*, żadna technologia, w tym blockchain nie będzie w stanie zapewnić warunków do rozwoju otwartych modeli gospodarki.



**Rys. 2. Zestawienie penetracji rynkowej technologii sieciowych oraz miernika ubóstwa (2014)**  
**A - dostęp do sieci dystrybucji energii elektrycznej w procentach populacji, B - procent ludności miejskiej mieszkającej w slumsach, C - procentowy udział energii z OZE w konsumpcji całkowitej energii elektrycznej, D - liczba telefonów komórkowych na 100 osób (źródło: Bank Światowy [23])**

Podobnie, zdolności absorpcji nowych modeli konsumujących przełomowe technologie w energetyce krajów rozwijających się są większe niż w krajach OECD. Jak widać na rys. 2. obserwowany wciąż w wielu krajach niski poziom elektryfikacji może być łatwo tłumaczony ubóstwem społeczeństwa oraz sposobem organizacji życia, co dobrze odzwierciedla sytuację w Afryce Subsaharyjskiej, czy Mjanmie/Birmie. Jednocześnie w krajach tych obserwuje się rozkwit technologii mobilnych pozostający w skrajnym kontraście z poziomem elektryfikacji, czy faktem, że to kraje Afryki Subsaharyjskiej, Mjanma i Indie są przodownikami w zużyciu energii ze źródeł odnawialnych. Warto zauważyć, że obok skali bezwzględnej przemian istotna jest ich intensywność mogąca wyznaczać trendy powszechne dla całych gospodarek. Motorem tych przemian nie są scentralizowane odgórne inicjatywy, lecz oddolna potrzeba zaspokojenia podstawowych potrzeb człowieka, która w połączeniu z możliwościami komunikacyjnymi stwarza warunki do samoorganizującego się procesu zdobywania kompetencji w zakresie wykorzystania nowoczesnych technologii na poziomie indywidualnym. Fenomen ten jest szczególnie jaskrawo widoczny w społecznościach o ograniczonych możliwościach edukacyjnych i jest fundamentem pozastrukturalnych (lub przedstrukturalnych) zdolności do adaptacji w nowym środowisku zaawansowanych technologii.

W regionie Afryki Subsaharyjskiej stopień penetracji mobilnych technologii komunikacyjnych nie odbiega istotnie od wartości w innych regionach świata, zaś proporcja pomiędzy dostępnością technologii mobilnych, a dostępnością energii elektrycznej jest odwrócona. W tym kontekście budowa rynków energetycznych może przebiegać tam odmiennie niż na obszarze OECD. W szczególności urynkowieniu podlegać będzie nie tylko obrót energią, ale formy uczestnictwa w rynku energetycznym. Otwierają się możliwości absorpcji technologii OZE wnikające w głąb struktur rynku energii użytecznej. Zawieszenie założenia o dyspozycyjności mocy otwiera możliwość urynkowania zdolności dostosowania się do zmiennych możliwości systemu np. poprzez wykorzystanie inteligentnych kontraktów do mikroimplementacji DSM/DSR, jednak tylko gdy dostępne będą odpowiednie mechanizmy tworzenia mikrokontraktów i transakcji. W warstwie fizycznego dostępu do energii pojawiają się rozwiązania takie jak stacje płatnego ładowania telefonów czy samochodów dla potrzeb *selfdispatchingu* - zadziwiające w OECD egzotyką, bo odległe od naszych potrzeb. Nowe modele zaspokajania potrzeb oraz konieczność uczestnictwa bezpośredniego są głównymi wyróżnikami trajektorii ewolucji rynków energii w krajach rozwijających się i mogą stać się trwałymi elementami strukturalnymi wzrostu.

Przedsiębiorstwa energetyczne, podobnie jak instytucje finansowe, podejmują wysiłek i badają możliwości wykorzystania technologii blockchain w ich działalności. Jednak podobnie jak tam liczba rezultatów jest niewspółmiernie mała w stosunku do liczby podjętych inicjatyw. Najbardziej spektakularnym efektem jest uruchomienie w październiku 2016 r. przez konsorcjum największych firm sektora energetycznego zgromadzonych wokół platformy *Enerchain* dostarczonej przez przedsiębiorstwo PONTON GmbH [24]. Technologia ta wykorzystuje sieć blockchain do zawierania kontraktów i rozliczania transakcji w obrocie hurtowym. Pierwsza publiczna transakcja przeprowadzona w trybie peer-to-peer dotyczyła dostawy gazu w następnym dniu w określonym hubie w Austrii, druga dostawy energii elektrycznej do wskazanej strefy na Węgrzech.

**Tab. 1. Projekty badawcze dotyczące zastosowania blockchain w energetyce** (źródło: opracowanie własne)

Nazwa/link	Opis/zakres	Region/podmioty
<b>Etherchain</b> <a href="https://enerchain.ponton.de">https://enerchain.ponton.de</a>	<b>Projekt rozwojowy:</b> rynek inteligentnej energii w energetyce EP prosumenckim, optymalizacja zarządzania siecią, transakcje peer-to-peer na rynku hurtowym (w produkcji 10.2016) <b>Uczestnicy:</b> RWE, Eon, EDF, Fenosa, OMV, Vien Energie, Statkraft, Enel, Engie, Eneco, Endesa, BKW, Uniper Verbund, Vattenfall, Total, Capital Stage, Iberdrola, Axpo	Międzynarodowa inicjatywa europejska
<b>TenneT-Sonnen</b> <a href="https://www.tennet.eu/news/detail/europe-first-blockchain-project-to-stabilize-the-power-grid-launches-tennet-and-sonnen-expect-res/">https://www.tennet.eu/news/detail/europe-first-blockchain-project-to-stabilize-the-power-grid-launches-tennet-and-sonnen-expect-res/</a>	<b>Projekt komercyjny:</b> połączenie sieci TenneT z magazynami energii Sonnen Energy rozmieszczonymi u odbiorców końcowych, tworzy sieć urzędów odciążających wąskie gardła przesyłowe/dystrybucyjne aktywnie reagując na zmienny popyt (11.2017)	Niemcy, Holandia, TenneTGmbH Sonnen, IBM
<b>Integrated Program for Climate Initiatives of the Russian Carbon Fund</b> <a href="http://ipci.io/first-time-in-history-carbon-credits-registered-and-issued-directly-on-blockchain-bypassing-traditional-registries/">http://ipci.io/first-time-in-history-carbon-credits-registered-and-issued-directly-on-blockchain-bypassing-traditional-registries/</a>	<b>Wdrożenie:</b> rozliczanie emisji CO <sub>2</sub> za pomocą rejestrów w blockchain, w ramach Integrated Program for Climate Initiatives of the Russian Carbon Fund. Zastosowanie rozproszonej autonomicznej organizacji (DAO) w technologii Ethereum (10.2017)	Federacja Rosyjska, Russian Carbon Fund, Khimprom, KPMG
<b>WePower</b> <a href="https://wepower.network/">https://wepower.network/</a>	<b>Projekt pilotażowy:</b> faza pozyskiwania inwestorów, uzgodniony udział źródeł fotowoltanicznych o mocy 1 GW, tokenizacja energii ze źródeł OZE w celu urynkowania obrotu indywidualnego, bez zmian w sposobie naliczania opłat systemowo-sieciowych (10.2017)	Hiszpania
<b>Brooklyn Microgrid</b> <a href="https://www.brooklyn.energy">https://www.brooklyn.energy</a>	<b>Wdrożenie pilotażowe:</b> mikrosieć budowana przez lokalną społeczność od 2015, pierwsze transakcje peer-to-peer w 2016. Odbiorcy mogą wybierać lokalne źródła energii. Sieć może pracować w trybie wyspowym, np. w razie awarii systemu nadrzędnego	USA, NY, LO3 Energy Con Edison
<b>PowerPeers</b> <a href="https://www.powerpeers.nl/">https://www.powerpeers.nl/</a>	<b>Wdrożenie pilotażowe:</b> kilkuset użytkowników, platforma handlu indywidualnego energią z lokalnych (<300km) źródeł OZE. Ponadto PowerPeers zabezpiecza zasilanie w zieloną energię z własnych źródeł w przypadku braku ofert producentów (05.2016)	Holandia, Vattenfall (Szwecja)
<b>PowerLedger</b> <a href="https://powerledger.io">https://powerledger.io</a>	<b>Projekt rozwojowy:</b> platforma indywidualnego handlu energią peer-to-peer. Na etapie uruchamiania jest platforma obrotu energią dla potrzeb EV oraz zarządzania mikrosieciami. Istnieją plany uruchomienia platform: dla handlu emisjami, zarządzania rynkami rozproszonymi, giełdy zdolności przesyłowych. Współpraca z regulatorami i rządami. (2016)	Australia, Państwa Azji i Pacyfiku Nestenergy, Landis&Gyr
<b>RWE (Innogy)</b>	Projekt System do indywidualnego zakupu energii dla EV (2016)	Niemcy RWE, Slock.it, Ascribe
<b>Interbit</b>	<b>Wdrożenie:</b> system handlu energią (05.2017)	Austria: BP, Eni, Wien Energie

Artykułowane przez konsorcjum oczekiwania dotyczą w obszarze prosumenckim urynkowania elastyczności odbiorców, usług wspierających bilansowanie i produkcję lokalną. Na poziomie zarządzania siecią: synchronizacji aktywności stron. W obszarze obrotu hurtowego: obniżenia kosztów transakcyjnych, bezpośredniej integracji uczestników rynku, radykalnego przyspieszenia zawierania umów i rozliczania transakcji. Zrealizowany system dla rynku hurtowego ma charakter rozpoznawczy i nie jest związany z ekspansją mechanizmów rynkowych na nowe obszary dzięki wyjątkowym cechom technologii blockchain. Proponowane rozwiązania adresowane są do obecnych uczestników rynku i mogą być stosowane zamiennie z klasycznymi mechanizmami. Jest to argument potwierdzający wyjątkowość zastosowań technologii blockchain w obszarach innowacji przełomowej na prosumenckim rynku użytecznej energii OZE. Najciekawsze zdaniem autora inicjatywy ilustrujące zainteresowanie branży zastosowaniem technologii blockchain zostało zestawione w tab. 1, z wyróżnieniem obszaru prac oraz zasięgu geograficznego projektów. Zestawienie projektów badawczych i rozwojowych przygotowano na podstawie analizy ponad 20 tysięcy stron internetowych i dokumentów dostępnych online.

## **WIADOMOŚCI PODSTAWOWE**

Kryptowaluty przechowywane w środowisku blockchain to przełomowa innowacja dająca nową możliwość ochrony własności jednostki bez odwoływania się do upodmiotowionego gwaranta. Cyfrowa postać systemu dostępnego nieprzerwanie przez publiczny internet otwiera nieznaną perspektywę realizacji wolności zawierania umów i dysponowania własnością bez konieczności jej ochrony środkami siłowymi. Technologia blockchain powstała w reakcji na deficyty znanych nam systemów informatycznych i jest szansą na transformację organizacyjną struktur energetyki w odpowiedzi na przełomowe innowacje technologiczne. W przeciwieństwie do świata realnego, w którym odwrócenie biegu zjawisk jest trudniejsze niż postęp zgodnie ze strzałką czasu, w klasycznych systemach komputerowych stan maszyny jest odwracalny. Każda operacja i każdy zapis może zostać usunięty z zasobów komputera poza obszarem percepcji użytkownika.

Zaufanie do zawartości i sposobu przetwarzania wymaga więc budowania bezpośrednich relacji z podmiotami zarządzającymi infrastrukturą. Komputeryzacja przyniosła usprawnienie, lecz nie zmieniła struktury systemu gospodarczego, przenosząc problemy gospodarki zamkniętej w nową przestrzeń oligopolu informacyjnych wymagających coraz większych nakładów na regulację i bezpieczeństwo. Z drugiej strony sieciowy charakter technologii internetowej stał się stymulatorem rozwoju form gospodarczych i społecznych opartych na pośrednich formach komunikacji i indywidualizacji odpowiedzialności, charakterystycznych dla społeczeństw otwartych. Zapotrzebowanie na narzędzia umożliwiające bezpośrednie uczestnictwo w relacjach gospodarczych zaowocowało technologią blockchain, która w swych kolejnych wersjach rozszerza obszary organizacji gospodarki otwartej, takiej jaka jest niezbędna do wykorzystania potencjału rynku energii użytecznej OZE.

Warto w tym miejscu przypomnieć, że pieniądz od czasów fenickich był formą reprezentacji wartości uznawaną przez strony transakcji wymiany. Jego upowszechnienie wiąże się z faktem, że emitent za pomocą pieniądza eliminuje potrzebę prowadzenia



centralnego rejestru wymienianych wartości reprezentowanych w rozproszony sposób za pomocą jej ekwiwalentu. Należy podkreślić, że wartość pieniądza jest wynikiem porozumienia stron i w tym sensie jest spoiwem pozwalającym na swobodę wymiany wartości w ramach społeczności dzielącej zaufanie dla danego środka płatniczego. Umowna wartość kryptowalut nie jest więc nowością, jest nią wyeliminowanie emitenta i zmiana roli regulatora.

Drugim obszarem nowości, który wprowadza zasadniczą innowację w obszarze zawierania umów i realizacji transakcji jest zintegrowanie pieniądza, a przez to jego wartości z programowalnym algorytmem maszynowym. Dzięki temu możliwe jest efektywne zawieranie elektronicznych transakcji gotówkowych będących przeciwieństwem transakcji terminowych. Istotność tej zmiany polega na możliwości zabezpieczenia interesu stron transakcji za pomocą algorytmu ustalanego przed jej zawarciem oraz za pomocą środków deponowanych w kontrakcie przez strony i wystarczających do zabezpieczenia ewentualnych roszczeń wynikających z przebiegu transakcji. W ten sposób poszczególne fazy zawierania umowy i realizacji wymiany nie wymagają uczestnictwa gwaranta lub kredytowania zobowiązań (kontrakty terminowe) i ich późniejszej egzekucji, niejednokrotnie wymagającej uczestnictwa wymiaru sprawiedliwości i stosowania środków egzekucyjnych. Eliminacja strony trzeciej daje: 1° - swobodę przystępowania i kształtowania umowy, 2° - wzrost szybkości rozliczeń i transakcji. Prowadzi to do eliminacji ryzyka operacyjnego poprzez pełny determinizm przebiegu realizacji umowy, lecz jednocześnie zmienia rolę regulacji prawnych, gdyż uruchomiony kontrakt nie może być kontestowany i cofnięty lub zatrzymany niezgodnie z jego treścią ze względu na jego legalność lub inne okoliczności prawne, co w dzisiejszym porządku jest możliwe. Działania takie mogą być podejmowane dopiero retrospektywnie, i to poza przestrzenią blockchaina. *Alegalność* kontraktów w sieci blockchain zasadniczo rozszerza właściwości kryptowalut i obszary ich zastosowania eliminując szereg barier i wprowadzając nowe mechanizmy posługiwania się pieniądzem. Nowe cyfrowe powiązania transakcji z umowami są jednym z fundamentów w gospodarce 4.0, a w szczególności w energetyce *NEW* (Norddeutsche Energie Wende) 4.0 (od czwartej rewolucji przemysłowej).

Możliwości sieci blockchain ewoluują i rozszerza się katalog funkcji możliwych do realizacji w wirtualnym środowisku, analogicznym do systemu operacyjnego. Pod koniec XX wieku pojawiła się koncepcja wykorzystania kryptograficznego *dowodu pracy* jako środka transmisji *sygnału wartości* za pomocą Internetu [25]. Co ważne, zadaniem *sygnału wartości* było stworzenie ograniczeń dla spamu poprzez wyróżnienie informacji użytecznej w sieci. Jednak szybko okazało się, że zastosowanie takiego nośnika wartości są dużo szersze i za jego pomocą można budować łańcuchy rzeczywistych decyzji bez konieczności zdobywania zaufania między stronami interakcji. Poprzez zastosowanie do procesów gospodarczych (np. jako potwierdzenie zobowiązania) *sygnał wartości* zyskał atrybut wartości realnej i stał się *silnym sygnałem ekonomicznym* [26]. W 2008 r. powstał zdecentralizowany rejestr transakcji Bitcoin realizujący koncepcję żetonu reprezentującego zabezpieczony *dowód pracy* [27]. W zamyśle pierwotnym technologia blockchain miała więc służyć do transferu i przechowywania żetonów reprezentujących pewne nakłady pracy i umowną wartość rzeczywistą, związaną ze zobowiązaniami i realnymi transakcjami wykonywanymi przez użytkowników. Ta faza rozwoju technologii nazywana jest **blockchain 1.0** i jest

najpowszechniej reprezentowana między innymi poprzez system, w którym wykorzystywana jest kryptowaluta Bitcoin [28]. Możliwości funkcjonalne tej technologii wynikają z założeń przyświecających jej twórcom i zostały znacznie rozszerzone w kolejnych odsłonach technologii.

W 2013 r. stworzono technologię Ethereum [29], w której dostęp do funkcjonalności rejestru rozproszonego za pomocą języka programowania pozwolił zaimplementować w wirtualnym środowisku rozproszonego rejestru uniwersalną Maszynę Turinga, będącą w stanie wykonać dowolny program na dowolnych danych [30]. Technologia ta jest punktem wyjścia i bazą dla prezentowanych dalej rozwiązań. Powiązanie uniwersalnego rejestru transakcji na żetonach reprezentujących wartość *dowodu pracy* ze środowiskiem danych i programów jest wyróżnikiem obecnego etapu rozwoju tej technologii nazywanego **blockchain 2.0**. Obecnie możliwe jest zintegrowanie w jednym kryptograficznie zabezpieczonym środowisku transakcji na kryptowalucie z programową aplikacją uzgodnionego przez strony kontraktu i logiką egzekucji przebiegu transakcji uwzględniających zewnętrzne sygnały sterujące. Umowy wykonywane w środowisku blockchain nazywają się *inteligentnymi kontraktami* [16], zaś złożone konstrukcje w których dochodzi do interakcji użytkowników i inteligentnych kontraktów tworzą rozproszone autonomiczne organizacje, zarządzające bezosobowo swoimi zasobami. Automatyzacja realizacji inteligentnych kontraktów i DAO może być wykorzystana do budowy mechanizmów rynkowych integrujących nowych graczy z nowymi technologiami, i takie są oczekiwania wobec tej technologii związane z 'Energiewende'. Ten etap rozwoju, zwany **blockchain 3.0** polegać ma na rozszerzaniu możliwości poprzez zastosowanie technik sztucznej inteligencji do zadań przetwarzania sygnałów napływających do środowiska.

W wyniku stworzenia możliwości programowania inteligentnych kontraktów pojawiła się potrzeba stworzenia metod komunikacji węzłów sieci blockchain z otoczeniem, a przez to integracji automatycznej egzekucji kontraktów z automatycznymi procesami technologicznymi za pomocą *styków technologicznych* opisanych szerzej w kolejnej części Raportu. Założenia takiej integracji nie odbiegają od wcześniej postawionych postulatów budowy struktur kooperacyjnych bazujących na paradygmacie kooperacji bez zaufania stron rozszerzonego o oddawanie do dyspozycji inteligentnych kontraktów zasobów technicznych niezbędnych do realizacji umowy na zasadach z góry zdeterminowanych programem kontraktu.

Powielanie informacji w blockchain jest niemożliwe lub kosztowne co rozwiązuje np. problem *double spending*, czyli przekazywania tego samego zasobu np. kryptowaluty wielokrotnie lub różnym odbiorcom. Dlatego blockchain postrzegany jest jako fundament nowej jakości nazywanej *Internet Wartości (Internet of Value)*. W klasycznych technologiach IT, w tym w przestrzeni Internetu, kopiowanie informacji nic nie kosztuje, w przeciwieństwie do środowiska blockchain. Oznacza to, że istniejące systemy informatyczne takie jak np. systemy rozliczeniowe w energetyce mogą być źródłem redundancji informacji dostępnej w różnych miejscach systemu. Już obecnie właściwość ta jest wykorzystywana w systemach finansowych do wykrywania i zapobiegania nieprawidłowościom w transakcjach. Podobnie, redundantne źródła sygnałów mogą stanowić, obok ich dynamiki, cenny wsad do technologii sztucznej inteligencji zastosowanej do oceny jakości lub wiarygodności informacji

wchodzącej do sieci blockchain przez *styki technologiczne*. W tym sensie realizacja *styków technologicznych* wiąże się z osiągnięciem nowego etapu rozwojowego blockchain 3.0.

Najistotniejszym elementem rozwoju technologii blockchain jest społeczność jej użytkowników. Ewolucyjny postęp technologii oznacza, że mamy do czynienia z ciągłym stanem stawania się (*product in progress*), do czego branża IT zdążyła nas przyzwyczać. Jednakże w przypadku technologii blockchain niemożliwe jest zerwanie dynamicznej ciągłości procesu budowania łańcucha bloków informacyjnych, będącego nośnikiem wartości. Podstawową właściwością tej technologii jest bowiem trwałość i determinizm mechanizmu zmian stanu rejestru. Część zmian technologicznych dotyczących np. sposobu realizacji funkcji systemu może być wprowadzana stopniowo tj. tak że w miarę adaptacji nowego rozwiązania stare przestaje być używane jednak oba rozwiązania zachowują zdolność do współistnienia w jednym systemie. Inne zmiany np. w sieci Ethereum korekta błędu w funkcjonowaniu DAO, wymagają jednoczesnej zgody wszystkich uczestników. W tym konkretnym przypadku zgoda dotyczyła nie tylko warstwy technicznej, ale również akceptacji dla modyfikacji zawartości samego rejestru. Silna społeczność użytkowników utrzymujących węzły sieci zdała egzamin, doszło do podziału (*hard fork*) i od konkretnego momentu, z wersji zawartości rejestru oznaczonej numerem bloku 1920000 powstały dwie wersje będące początkiem oddzielnych środowisk jednego zwanego Ethereum Classic z kryptowalutą ETC i drugiego Ethereum z kryptowalutą ETH<sup>4</sup>. Należy podkreślić, że obydwie technologie wynikowe identyfikowane za pomocą symboli ich kryptowalut zachowały zdolność do homeostazy wynikającą przede wszystkim z liczności wspierających je społeczności użytkowników. Sam podział poprzedzony był szeroką dyskusją zaś decyzja o przyłączeniu do jednej lub drugiej strony sporu podejmowana była indywidualnie i niezależnie w sensie wolności dysponowania swoimi zasobami w rejestrze i zarządzanym węzłem sieci. Dodatkowo zapewniono mechanizmy częściowej interoperacyjności pozwalające na rozdysponowanie środków w kryptowalucie bez ryzyka *double spending*. Zastosowane w trakcie tego *zwrotu technologicznego* (*pivoting*, zjawisko typowe dla organizacji technologicznych o dużej dynamice rozwojowej) mechanizmy otwartego dyskursu publicznego, wolności wyboru oraz samorzutnego zwiększenia różnorodności wykazują wiele podobieństw z procesami o charakterze ustrojowym i ujawniają demokratyczny charakter technologii nie tylko w wymiarze funkcjonalnym, ale w długofalowej zdolności do zmian z poszanowaniem praw uczestników. W tym przypadku oś sporu spolaryzowała się wokół pary problemów: zaufanie do nienaruszalności rejestru vs elastyczność w rozwiązywaniu technicznych problemów. Jednak co ważniejsze wynik umocnił technologię poprzez zwiększenie różnorodności zasad modyfikacji technologii i właściwości technicznych, zaś dopiero przyszłość pokaże które rozwiązanie jest lepsze i w jakim obszarze.

Dla podtrzymania zdolności do poszanowania praw jednostki konieczne jest szerokie uczestnictwo oparte na dobrowolności. Tworzenie rozwiązań technologicznych typu sieci prywatne w których uczestnictwo jest ograniczone stwarza iluzję zachowania wolności ograniczoną do bieżącej funkcjonalności systemu jednak ujawnia swą słabość w trakcie nieuniknionych zwrotów. Długofalowy rozwój technologii blockchain musi więc

---

<sup>4</sup> Kolejna taka zmian miała miejsce 19.01.2018 (EtherZero ETZ, hardfork bloku 4936270).

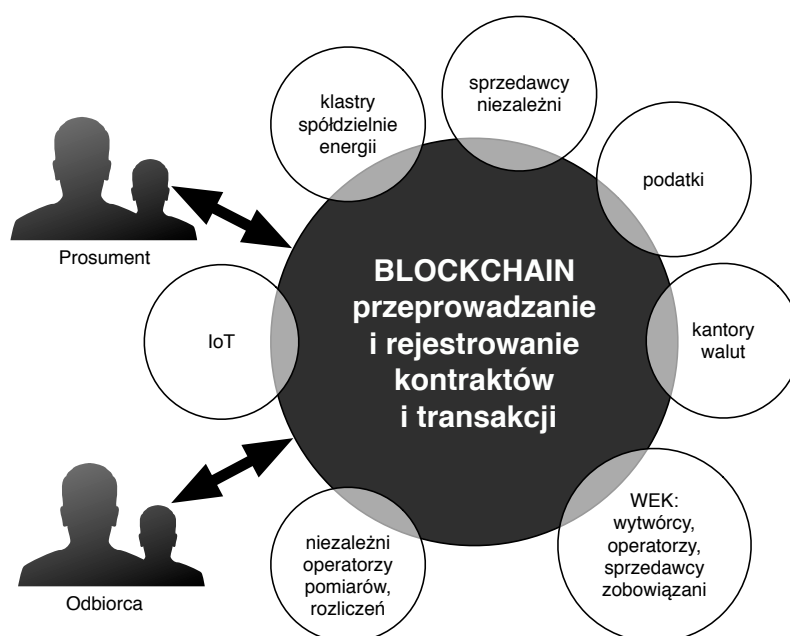
być realizowany tak by zapewnić trwałe poszanowanie interesu wszystkich użytkowników również w trakcie *zwrotów technologicznych*. Zwroty te są nieuniknione, a jednym z największych wyzwań stojących przed technologią blockchain jest zwiększenie przepustowości sieci mierzonej liczbą transakcji na sekundę. Obecne technologie Bitcoin czy Ethereum zapewniają przepustowość na poziomie kilku kilkudziesięciu transakcji na sekundę, podczas gdy w energetyce oczekuje się wartości o rząd wielkości większych, zaś współczesne klasyczne systemy płatności elektronicznych dysponują możliwościami większymi o dwa rzędy wielkości. W długofalowych procesach ewolucji technologii centralne znaczenie będzie miało utrzymanie zaufania do technologii i zapewnienie szerokiej bazy dobrowolnych użytkowników.

**Idea społeczności otwartej, a zaufanie w procesach gospodarczych.** Społeczność otwarta przeciwstawiana społeczności zamkniętej to idea stawiająca w centrum zainteresowania dynamikę roli prawa lub religii w społeczeństwie. Mająca ponad sto lat idea stworzona przez Bergsona i Poppera zakłada rozwój społeczeństw od form plemiennych nacechowanych wyrazistą tendencją do wykluczania obcych do form krytycznie nastawionych do tradycji i zmierzających do moralnego uniwersalizmu. Cel ten doczekał się materializacji w przestrzeni wolnej informacji. Inteligentne kontrakty zabezpieczane środkami finansowymi w postaci zdeponowanych kryptowalut transferowanych z kont zabezpieczonych hasłami, realizują wolność i odpowiedzialność w obrocie na rynku prosumenckim poprzez zdolności zawierania i rozliczania umów wykonywanych automatycznie w miarę gromadzenia przez kontrakt informacji wymaganych do określenia jego stanu realizacji. Interakcje pomiędzy uczestnikami sprowadzone do uniwersalnych kategorii nie wymagają kontaktu bezpośredniego lub zaufania między stronami. Rozszerzona zdolność jednostek do zawierania kontraktów, których realizacja odbywa się w sposób w pełni zautomatyzowany, w porównaniu z zamkniętymi strukturami gospodarki bazującej na instytucjach pośredniczących, zadecyduje o ekspansji rynkowych zasad funkcjonowania gospodarki. Na rynku energetyki prosumenckiej wspomaganej technologią blockchain można spodziewać się wzrostu poziomu uczestnictwa wynikającego ze swobody kształtowania umów, integracji umów z procesami technicznymi, a przez to ich automatyzacji i obniżenia kosztów transakcyjnych. Nie bez znaczenia będzie również otwarty charakter technologii blockchain sprzyjający jawności i swobodnemu przepływowi kompetencji - cechom ułatwiającym tworzenie kooperatyw generujących wartości dodane w istniejących lub nowych procesach biznesowych.

Ze względu na usamodzielnienie się jednostek w obszarze ochrony i dysponowania własnością zmianie powinien ulec sposób regulacji rynku i systemu elektroenergetycznego. Słabym punktem integracji z technologią blockchain jest zasięg technologii zabezpieczających realizację inteligentnych kontraktów ograniczony do samej sieci blockchain i jej węzłów. Tym samym komunikacja między realizowanym automatycznie kontraktem, a kontrolowanym procesem rzeczywistym związanym z wymienianym dobrem lub usługą powinna podlegać regulacjom takim jak dotychczas w danym obszarze rynku. Połączenia środowisk nazwane *stykami technologicznymi*, w których dochodzi do wymiany informacji i do przepływu wartości, nie są objęte metodami uwierzytelniania i kontroli

dostępu charakterystycznymi dla blockchain i wymagają stosowania dodatkowych środków typowych dla już uregulowanych obszarów działalności człowieka.

Korzystnym jest, by wdrażanie technologii blockchain w nowych obszarach zastosowań było wspierane działaniami regulatora w zakresie bezpieczeństwa tj. identyfikacji i autoryzacji przepływu informacji do i z zasobów blockchain tak jak to dzieje się obecnie w kantorach kryptowalut respektujących AMLD, KYC, GPRD/RODO czy MIFID<sup>5</sup>. Korzyści wynikające z narastającej złożoności rynku, jego konkurencyjności wspieranej transparentnością oraz efektów sieciowych nieosiągalnych w tradycyjnych strukturach WEK doprowadzą do przesunięcia i wzmocnienia roli państwa w zabezpieczeniu *styków technologicznych*. Jest to zgodne z kierunkiem zmian obserwowanym w wiodących regulacjach dotyczących blockchain w sektorze finansowym po obu stronach Atlantyku.



**Rys. 3. Otwarty rynek energii ograniczony *stykami technologicznymi*. Ekspozycja otoczenia w środowisku blockchain zapewnia zgodność obrotu i rozliczeń w systemie energetycznym, prawno-podatkowym i organizacyjnym**

**Demokratyzacja zasobów informatycznych poprzez *consensus*.** Otwarty obieg informacji zwiększa kontrolę społeczną nad procesami we wspólnej przestrzeni i może być postrzegany jako czynnik prorozwojowy np. poprzez identyfikację patologii regulacyjnych ograniczających konkurencyjność. Jednym z założeń technologii blockchain jest mechanizm ustalania zawartości rejestru (blok) poprzez konsensus. Użytkownicy sieci blockchain i procesy komunikujące się z nią automatycznie składają zlecenia wykonania operacji obliczeniowych poprzez nawołanie funkcji w programach kodujących kontrakty lub składanie

<sup>5</sup> Regulacje dotyczące unikania prania brudnych pieniędzy (Anti Money Laundering Directive), identyfikacji stron transakcji (Know Your Customer), ochrony danych osobowych (General Data Protection Regulation) i obrotu instrumentami finansowymi (Regulation on Markets in Financial Instruments) [28]

bezpośrednich zleceń przelewów między rachunkami. Zlecenia napływają do komputerów będących węzłami sieci, każde zlecenie zawiera szereg operacji obliczeniowych wycenianych w jednostkach bezwzględnych powiązanych ściśle z ich złożonością obliczeniową. Wartość bezwzględnych jednostek rozliczeniowych wyrażana w kryptowalucie ustalana jest algorytmicznie z uwzględnieniem aktualnego popytu i podaży tak by stabilizować działanie sieci. Każde zlecenie zawiera ofertę zapłaty za jego przyjęcie przez węzeł i włączenie do kolejnego bloku. Wszystkie przyjęte zlecenia są weryfikowane lokalnie w węźle pod kątem ich poprawności i wystarczającej ilości zabezpieczonej na poczet realizacji kryptowaluty. Ze względu na oferowaną zapłatę węzły mogą przyjąć lub odrzucić konkretne zlecenie. W ten sposób w każdym węźle do rejestru dołączone mogą być różne transakcje i każdy węzeł tworzy własną wersję przejścia z dotychczasowego stanu rejestru uznanego za uzgodniony w sieci do następnego przyszłego stanu rejestru. Przyszłe stany rejestru mogą się od siebie różnić i tworzą drzewiastą strukturę, której pień stanowi blok startowy (*Genesis*) zawierający początkowy stan rejestru. Przyszłe stany rejestru stanowią więc liście drzewa. Liść leżący na końcu ścieżki w drzewie zawierający najwięcej obliczeń (opłat) będzie następnym uzgodnionym stanem rejestru. W celu uniknięcia konieczności gromadzenia zawartości wszystkich poprzednich stanów rejestru do aktualnego stanu dołączany jest klucz kodujący poprzedni stan uzgodniony w sieci, taka kombinacja tworzy blok powiązany z poprzednimi blokami w łańcuch (stąd nazwa blockchain). Węzeł, który zaproponował najlepszy ze względu na kryterium obliczeniowe liść wynagradzany jest wypłatą nowo wygenerowanej kryptowaluty, podobnie jak węzły tworzące bloki bezpośrednio poprzedzające aktualny blok. Mechanizm ten skłania operatorów węzłów do akceptacji jak największej liczby zleceń i promuje przejścia między stanami skutkujące największymi opłatami za wykonanie operacji.

Istotnym elementem procesu wymagającym dodatkowych nakładów obliczeniowych zmieniającej się złożoności jest przygotowanie dowodu pracy (*Proof of Work*, PoW). Dla przykładu sposób sformułowania zadania PoW w sieci Ethereum uwzględnia możliwości obliczeniowe różnych struktur mikroprocesorowych i zapewnia równe szanse dla komputerów domowych, a przez to stymuluje uczestnictwo szerokiej społeczności operatorów węzłów sieci. Dzięki takiemu rozproszeniu potencjału obliczeniowego sieć zyskuje zabezpieczenie przed dominacją sieci przez podmioty dysponujące specjalizowanymi układami obliczeniowymi i tanimi źródłami energii. W sieci Bitcoin poważny problem stanowią chińskie farmy obliczeniowe *wydobywające* monety (tzw. farmy koparek) za pomocą specjalizowanych układów ASIC zasilanych bezpośrednio ze źródeł fotowoltanicznych [31]. Dla przykładu w sieci Ethereum kolejne bloki uzgadniane są co kilkanaście sekund, jednocześnie wygrywający węzeł otrzymuje do podziału z węzłami autorami bloków poprzedzających 5 ETH. Całkowita pula monet wprowadzanych do obiegu (tylko tą drogą) jest ustalona, i proces ten ustanie w dalekiej przyszłości na rzecz innego mechanizmu.

Z drugiej strony algorytmy te zapewniają szanse na czerpanie korzyści z uzgadniania stanu rejestru przez szeroką rzeszę operatorów węzłów, mobilizując do uczestnictwa w procesie *wydobywania monet*. W konsekwencji wyniki uzyskanego porozumienia bardzo trudno jest kontrolować tj. modyfikować niezgodnie z przyjętymi i akceptowanymi przez większość algorytmicznymi zasadami procedowania operacji.

Niezależne węzły komunikujące się między sobą i kontrolowane przez niezależne podmioty mające dostęp do informacji oraz mogące ją magazynować tworzą nowe pożądane właściwości dynamiczne systemu informatycznego. Zmiana stanu jednego z węzłów takiej sieci podlega kontroli wszystkich podmiotów nadzorujących w sposób bezpośredni lub pośrednio np. poprzez brak spójności informacji w całym systemie. Konsekwentnie, skutki zmian w jednym z węzłów stanowiących odrębny system informatyczny połączony w sieć z pozostałymi prowadzą do widocznych poza nim efektów, a układ nabywa zdolność do zapamiętywania informacji niezależnie od przyszłej woli operatora jednego z węzłów. Proces przetwarzania informacji w takiej sieci nabywa cech procesu nieodwracalnego tj. takiego w którym zmiany stanu systemu nadal są możliwe, ale wpływają na jego przyszłe działanie, czyli nie znikają bez śladu. Prowadzi to do konkluzji, że zapewnienie wolności informacji postulowanej jako jeden z elementów otwartego społeczeństwa jest możliwe wtedy, gdy poszczególni obywatele będą mieli możliwość czynnie partycypować w procesie przetwarzania tej informacji tj. sprawować kontrolę nad elementami systemu informatycznego weryfikującego przetwarzaną i przechowywaną informację. Skorelowanie niezależnych elementów systemu poprzez ich funkcjonalne skoordynowanie jest przyczyną oczekiwanej nieodwracalności procesu przetwarzania. Brak możliwości arbitralnej modyfikacji rejestrów wartości oraz inteligentnych kontraktów na tych walorach, wynika z szerokiego uczestnictwa jednostek w tworzeniu takiego systemu i służy utrzymaniu kontroli nad zgodnością przeprowadzanych operacji z ustalonymi regułami.

Z drugiej strony sprowadzenie schematów charakterystycznych dla demokracji do interakcji machine-to-machine umożliwia automatyzację ruchu systemu co jest przejawem coraz powszechniejszego zjawiska delegacji zadań i praw z jednostki na maszyny. Wywołuje to niemałe poruszenie w środowiskach prawniczych w kontekście odpowiedzialności prawnej autonomicznych procesów technicznych takich jak autonomiczne samochody czy rozproszone autonomiczne organizacje (*Distributed Autonomous Organisation*, DAO) i ujawnia nowe wymiary uczestnictwa w życiu gospodarczym i społecznym.

**Infrastruktura energetyczna.** Zarządzanie infrastrukturą energetyczną przechodzi głęboką transformację wyrażającą się w skokowej zmianie systemu wartości porządkującego procesy podejmowania decyzji i zmierza do integracji warstwy technicznej z warstwą biznesową. Podejście inżynierskie definiujące problemy w domenie technicznej stopniowo ustępuje pola metodom integrującym informacje o charakterze technicznym z informacjami organizacyjnymi czy finansowymi. Współczesne systemy wspomaganie nadzoru w energetyce pozwalają na ocenę jakości efektów decyzji lub scenariuszy nie tylko w kategoriach technologicznych czy niezawodnościowych, ale również, a coraz częściej w wymiarze ekonomicznym np. za pomocą KPI czy EBITDA. Rozszerzanie pola decyzyjnego poprzez uwzględnianie czynników finansowych, rynkowych czy ludzkich zwanych potocznie *miękkimi* dla odróżnienia od technicznych zwanych *twardymi* stało się możliwe ze względu na skokowy rozwój technik przetwarzania informacji w tym postępy technologii uczenia maszynowego (ML) i eksploracji danych (DM) integrowanych w systemy nazywane systemami sztucznej inteligencji (AI). Proces ten jest bardzo zaawansowany i potwierdza brak możliwości izolowania obszarów miękkich i twardych w elektroenergetyce. Urynkowanie obszarów technologicznych jest faktem na poziomie

wysoko scentralizowanych struktur wytwórczych czy przesyłowych i jest uzasadnione ekonomicznie i organizacyjnie. Jednak w przypadku rozproszonych systemów energetycznych sieci nN-SN czy instalacji prosumenckich nie znajduje zastosowania ze względu na nadmierne regulacje i siłowo wprowadzane mechanizmy parapodatkowe objawiające się np. w wypieraniu składników zmiennych w cenie energii regulowanymi odgórnie składnikami stałymi. Działania takie stanowią barierę dla funkcjonowania mechanizmów wyceny wartości energii i usług energetycznych. W konsekwencji wewnętrzna zdolność systemu do ocena konkurencyjności ulega wypaczeniu co negatywnie wpływa na zdolności samoregulacji i poszukiwania dróg rozwoju.

Przywrócenie strukturalnych zdolności systemu energetycznego w zakresie oceny przydatności różnych produktów nabiera nowego wymiaru w kontekście dokonujących się rewolucyjnych zmian w technologiach generacji, magazynowania i przesyłu energii. Zdolności adaptacyjne wynikają nie tylko ze względów ekonomicznych, ale dotyczą również potrzeb zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonowania systemu energetycznego poprzez wykorzystanie technologii rozproszonych co implikuje konieczność stosowania nowych metod koordynacji działania systemów w tym za pomocą struktur zdecentralizowanych realizujących funkcje regulacyjne i bilansujące na różnych poziomach systemu energetycznego i przez to umożliwiających izolowanie zagrożeń w systemie.

Podobnie jak w innych dziedzinach gospodarki zapewnienie właściwych warunków rozwoju energetyki wymaga koordynacji wysiłków na różnych poziomach organizacji co przynajmniej na poziomie deklaracyjnym wyraża się w promowaniu gospodarki 4.0. Wdrażanie tych koncepcji wymaga zastosowania technologii integracji informacji, które poprzez silną kontrolę dostępu, transparentność i możliwości współdzielenia wiedzy i kompetencji zapewnia szeroką implementację rynkową bez znaczących kosztów dla uczestników. W szczególności integracja procesów technicznych z rozliczeniowymi poprzez zastosowanie technologii blockchain w zarządzaniu infrastrukturą energetyczną, w szczególności dystrybucyjną, jest uzasadnione małym kosztem jednostkowym, łatwością integracji z systemami sterowania i rozliczeń oraz współdzieleniem kompetencji wynikającymi z szerokiego uczestnictwa wysokiego poziomu zaufania, a w konsekwencji rozpraszaniem kosztów rozwojowych na dużą grupę uczestników rynku.

Wdrażanie technologii blockchain wymaga więc zdecydowanego wzmocnienia roli państwa w zakresie bezpieczeństwa cyfryzacji i swobody przepływu informacji w strukturach poza siecią blockchain oraz uwzględnienia większej samodzielności jednostek w zawieraniu umów i dysponowaniu własnością. Jest to zgodne z koncepcją gospodarki otwartej i służebnych wobec niej zadań państwa otwartego. Z tej racji usługi dostępu do infrastruktury sieciowej z poziomu środowiska blockchain powinny być udostępniane przez podmioty zarządzające tymi zasobami i w zakresie ograniczonym do inteligentnego kontraktu. W takiej konfiguracji podmioty zarządzające stają się gwarantem zabezpieczenia dostępu na zasadach takich jak przy dostępie fizycznym. Zarówno zadania rozliczeniowe jak i zadania sterowania i nadzoru wymagają precyzji odwzorowywania stanu procesu wyrażanej również w kategoriach nieodwracalności. W sterowaniu i nadzorze systemów energetycznych wiarygodność informacji decyduje o możliwościach identyfikacji związków przyczynowo-skutkowych i wpływa istotnie na jakość realizacji procesów. W ten sposób nieodwracalność zmian w rejestrach blockchain odpowiadająca nieodwracalności przepływu wartości



w systemie elektroenergetycznym może być zintegrowana w algorytmie inteligentnego kontraktu wykonywanego we współdzielonych zasobach węzłów sieci blockchain.

## **BLOCKCHAIN W ZARZĄDZANIU ELEKTROENERGETYCZNĄ INFRASTRUKTURĄ SIECIOWĄ**

**Zastosowania w sterowaniu i w procesach regulacyjno-bilansujących w zintegrowanej (źródła-sieć-odbiorcy) infrastrukturze nN-SN.** W procesach regulacyjno-bilansujących podstawowe znaczenie ma opóźnienie i wiarygodność sygnałów, na podstawie których modyfikowane jest działanie zintegrowanej (źródła-sieć-odbiorcy) infrastruktury nN-SN. Klasyczne podejście zakłada zaufanie pomiędzy podmiotami udostępniającymi zasoby sieciowe wykorzystywane do zadań regulacyjno-bilansujących. Oznacza to, że żadne działanie nie może być podjęte bez wcześniejszego przygotowania administracyjno-prawnego nawet jeśli w warstwie technicznej lub finansowej zadania stron i ich odpowiedzialność są znane i uzgodnione. Stwarza to barierę organizacyjną, a w konsekwencji czasową i kosztową utrudniającą wykorzystanie wielu możliwych i uzasadnionych technicznie lub ekonomicznie rozwiązań. Więcej, w miarę postępów rewolucji energetycznej wzrost rynku może zostać wyhamowany w obliczu niewydolności scentralizowanych mechanizmów otoczenia administracyjno-prawnego.

W tym świetle, jedna z głównych cech technologii blockchain, tj. decentralizacja uczestnictwa i powiązanie pieniądza z inteligentnymi kontraktami, umożliwia przeniesienie warstwy administracyjno-finansowej do przestrzeni cyfrowej, w której już dziś zarządzane są zadania regulacyjno-bilansujące. Taka postępująca integracja przestrzeni jest koniecznością w obliczu postępu technologicznego opisywanego zbiorczo jako gospodarka 4.0.

Podtrzymywanie struktur scentralizowanych w realizacji zadań energetyki znacząco osłabia jej zdolność absorpcji nowych technologii, a w konsekwencji konkurencyjności innych obszarów gospodarki. Dodatkowo, prosumencki charakter zmian w energetyce prowadzi do zmian miejsca usług i energii w procesach biznesowych jak i struktury relacji między uczestnikami rynku. W wielu procesach realizowanych przez prosumentów energia może być produktem ubocznym lub odpadowym, a w innych przypadkach jej udostępnianie może być realizacją ubocznych funkcji systemów tak jak np. w samochodach elektrycznych. Skala i zakres takich możliwości prosumentów mogą ulegać znaczącym i szybkim zmianom wykluczającym możliwość długoterminowego planowania lub kontraktowania. W połączeniu ze wzrastającą liczbą takich podmiotów uelastycznienie struktur kontraktowania i automatyzacja ich realizacji może stać się warunkiem koniecznym transformacji gospodarczej mającej na celu wykorzystanie korzyści technologicznych.

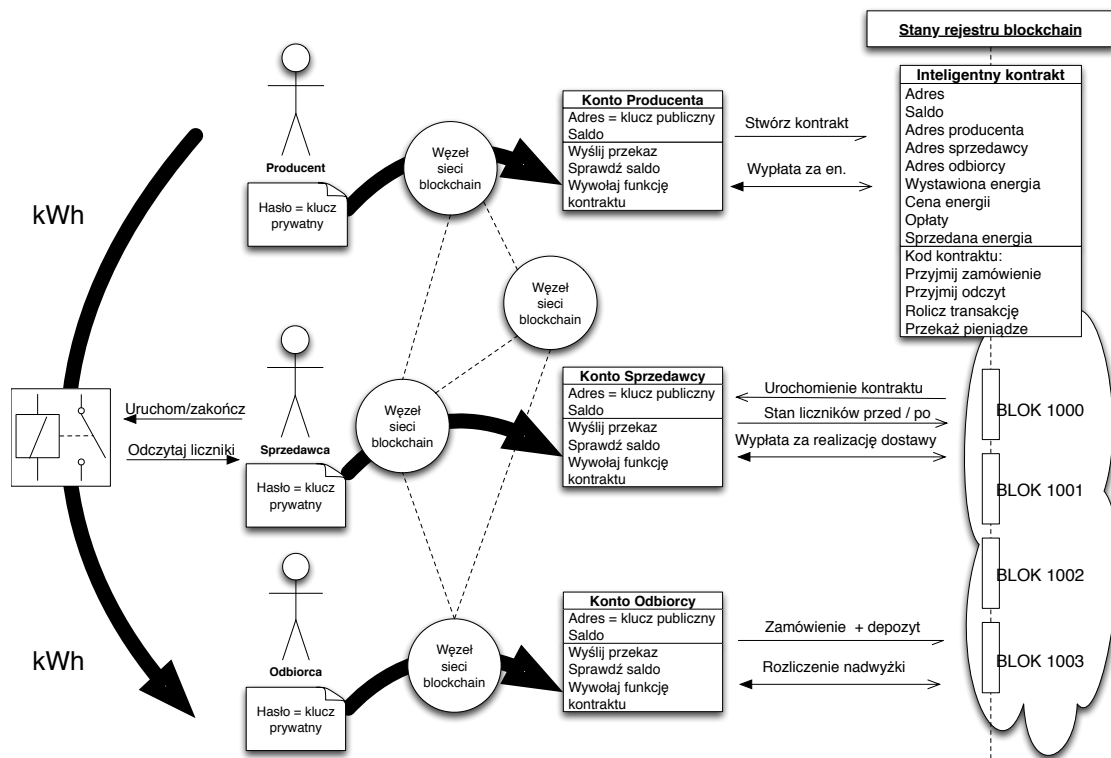
Wzorem dla energetyki w tym zakresie może być przeobrażenie rynku usług obliczeniowych wynikające z zastosowania technologii chmurowych. Skala transformacji ujawniła się w pełni przy okazji wykrytych ostatnio błędów w implementacji w procesorach algorytmów współdzielenia pamięci. Efektywne wykorzystanie infrastruktury obliczeniowej wymagało zmiany organizacji rynku, w którym najmniejsze podmioty mają możliwość wykorzystania najnowocześniejszej infrastruktury i usług systemu za odpowiednią opłatą. W tym celu radykalnie zmniejszone zostały koszty zawierania umów i zautomatyzowano procedury konfiguracji i uruchomienia usług na współdzielonych zasobach sprzętowych.

Jedną z konsekwencji jest przeobrażenie rynku, z którego wyeliminowane zostały podmioty zajmujące się dystrybucją usług i produktów. W przeciwieństwie do chmury obliczeniowej w energetyce zasoby systemowe są rozproszone, a prawidłowa realizacja usług wymaga porozumienia wszystkich stron zarządzających elementami systemu. O ile jest to łatwiejsze na poziomach OK4 i OK5 o tyle jest bardzo trudne do efektywnego centralnego zarządzania na poziomach OK3 i niżej. W tym miejscu rola technologii blockchain polega na odblokowaniu potencjału technicznego systemu energetycznego przez zapewnienie wspólnej neutralnej przestrzeni cyfrowej do realizacji zadań administracyjno-finansowych pomimo zastanych barier.

Budowa otwartych struktur wydaje się być najwłaściwszym sposobem wykorzystania technologii blockchain do zadań regulacyjno-bilansujących ze względu korzyści wynikające z przesunięcia poziomu, na którym realizowane jest rozdzielenie funkcji infrastruktury nN-SN i procesów użytkownika sieci. W zastosowaniach w energetyce problemy opóźnień wraz z postępem technologicznym przestały być istotnym ograniczeniem implementacyjnym i dzisiejsze sieci blockchain mogą zamykać kolejne bloki informacji z częstością raz na sekundę co po uwzględnieniu opóźnień potrzebnych na zweryfikowanie prawdziwości zapisów w bloku pozwala na wiarygodną propagację sygnałów w czasie znacznie krótszym niż 15 sekund. Wyzwaniem pozostaje identyfikacja źródła informacji i autoryzacja jego wpływu na wykonywane w środowisku blockchain algorytmy inteligentnych kontraktów. Jednym z możliwych podejść jest wykorzystanie ochrony techniczno-prawnej znanej z układów kontrolno-pomiarowych i zagwarantowanie bezpiecznego przepływu informacji przez styk technologiczny między operatorami pomiarowymi, a inteligentnym kontraktem w blockchain. Integracja terminali przesyłających sygnały pomiędzy środowiskiem blockchain, a siecią w układach pomiarowych lub bezpośrednio z licznikami jest technicznie możliwa jednak niekorzystna, ze względu na uprzywilejowaną rolę sztywno wybranych uczestników obiegu informacji. Dobór stron kontraktu w tym źródła informacji pomiarowej powinien należeć do elementów uzgadnianej treści kontraktu, a nie sprzętowych ograniczeń systemu. Pozwala to na równoległe wykorzystywanie stosowanie wielu systemów blockchain bez konieczności dopasowywania bazowego systemu dystrybucyjnego. W konsekwencji bezpieczeństwo struktury dystrybucyjnej otwartej na wiele technologii wzrasta, co jest akceptowaną strategią w świecie *fintech* w ramach długoterminowego podejścia *blockchain agnostic* oznaczającego niewyróżnianie konkretnej realizacji technologii blockchain. Unikanie ograniczeń swobody konfiguracji aparatury kontrolno-pomiarowej i wykonawczej w zakresie zdolności wchodzenia w interakcja ze środowiskiem blockchain umożliwi odejście od zamkniętych, sztywnymi schematów organizacyjnych znanymi ze współczesnych układów.

Identyfikacja źródła informacji pomiarowej powinna stać się jedną z wielu usług uwierzytelniania obiegu informacji z sieci energetycznej, propagowaną do zasobów blockchain w celu umożliwienia swobodnego budowania pętli sprzężeń zwrotnych i kanałów komunikacji z inteligentnymi kontraktami. Usługa taka mogłaby polegać na weryfikacji informacji o deklarowanej lokalizacji w topologii sieci na podstawie probabilistycznej analizy zgodności emitowanych sygnałów z informacjami pochodzącymi z innych źródeł zlokalizowanych w sieci, podobnych lub przeznaczonych do innych celów. W szczególności w ten sposób rozszerzona zostanie możliwość integracji kontroli zasobów energetycznych

z procesami biznesowymi, a przez to udostępniania nowych usług przez podmioty nie będące dziś podmiotami na rynku energetycznym. W rozwojowej, ewolucyjnej perspektywie systemu odciąża to podmioty odpowiedzialne za utrzymanie infrastruktury zdejmując z nich konieczność antycypowania zindywidualizowanych potrzeb odbiorców usług. W konsekwencji można spodziewać się ukształtowania pośredniej warstwy, w której dochodzi do integracji zadań regulacyjno-bilansujących z procesami biznesowymi. Warstwa ta może być realizowana za pomocą technologii wdrażanych przez użytkowników, a udostępnianych np. w trybie *open source* w zakresie kompetencji lub udostępnianych przez podmioty strony trzeciej na zasadach biznesowych. Podejście *open source* jest zgodne z założeniami otwartej gospodarki i otwartego przepływu informacji i jako takie jest promowane przez twórców technologii blockchain, w szczególności wspiera się wysiłki zmierzające do budowy otwartych bibliotek inteligentnych kontraktów. Gotowe kontrakty to nie tylko ułatwienia implementacyjne, lecz również baza wiedzy z gotowymi modelami procesów np. założeniami kontraktów, upraszczająca realizację wcześniejszego etapu polegającego na aplikacji modelu biznesowego. Znamienne jest, że rozwój zastosowań technologii blockchain w konkretnej dziedzinie w naturalny sposób wymusza budowę infrastruktury wspomagającej swobodny przepływ i dzielenie się kompetencjami.

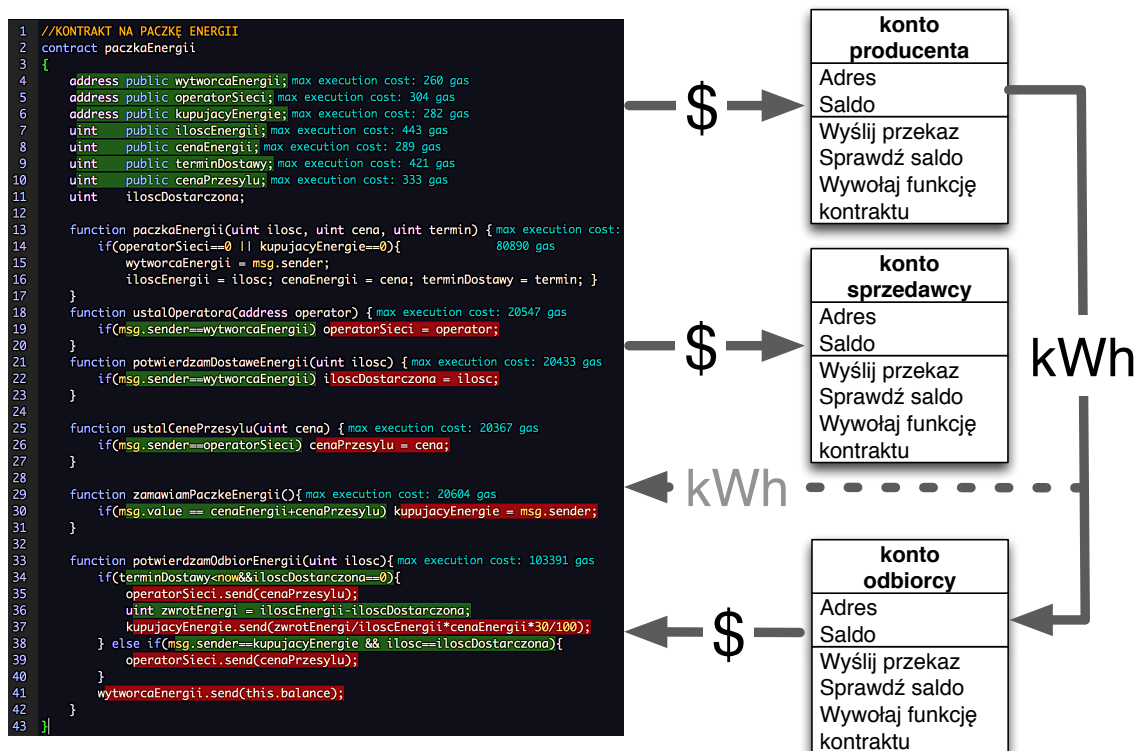


**Rys. 4. Zastosowanie technologii inteligentnego kontraktu na dostawę energii w infrastrukturze nN-SN. W inteligentnym kontrakcie następuje wirtualizacja związków pomiędzy infrastrukturą, rzeczywistymi umowami i uczestnikami.**

Kontrola funkcji sieci koniecznych do realizacji może być zrealizowana w neutralnym środowisku blockchain nie wyróżniającym, żadnego z uczestników procesu (rys. 4). Zgodnie z koncepcją wirtualnego minisystemu elektroenergetycznego (WME) rzeczywista inteligentna

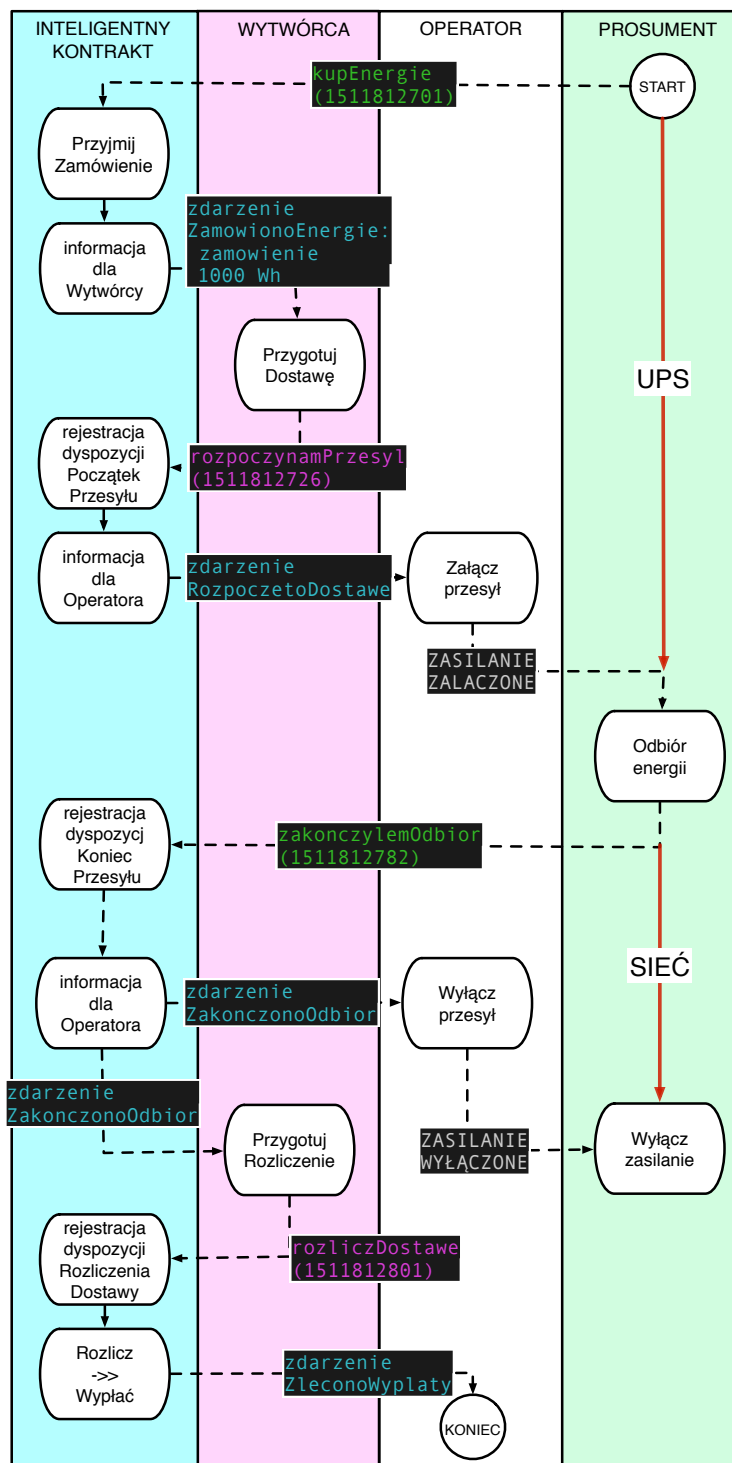
infrastruktura łączy rzeczywistych uczestników rynku zgodnie z rzeczywistymi umowami (kontraktami), a rzeczywista sieć elektroenergetyczna służy do realizacji rzeczywistych przepływów rzeczywistej energii elektrycznej [11]. Warstwa handlowa i techniczna są oddzielone od siebie, a zasady ich wirtualnego współistnienia określa kod inteligentnego kontraktu w sieci blockchain.

Automatyka algorytmu kontraktu przedstawiona na rys. 5 ze względu na jej umiejscowienie poza strukturami sieci nN-SN i zintegrowana z przepływem wartości pieniężnych, zapewnia brak konieczności bezpośredniej relacji pomiędzy uczestnikami umowy inaczej niż za pośrednictwem funkcji kontraktu.



**Rys. 5. Reprezentacja maszynowa zasobów kontraktu, kont uczestników umowy oraz kodu programu reprezentującego kontrakt w języku *Solidity* wraz z kosztem wywołania poszczególnych funkcji lub zmiany wartości wyrażonych w jednostkach bezwzględnych *gas* przeliczanych na bieżąco na kryptowalutę**

Kontrakt wystawiany jest do sieci blockchain przez producenta chcącego w tym przypadku sprzedać energię. W przykładowym kontrakcie producent wskazuje poprzez wywołanie funkcji kontraktu podmiot upoważniony do poboru opłat dystrybucyjnych. Podmiot ten jest podobnie jak pozostałe strony identyfikowany jest za pomocą adresu jego rachunku w blockchain. Dostęp do poszczególnych funkcji kontraktu np. zapewniających przejście do kolejnego etapu realizacji umowy może być ograniczony dla wybranych stron (identyfikowanych adresem), wybranych okresów czasu, etapów realizacji kontraktu lub uzależniony od wniesienia opłaty. Dzięki usługom sieci blockchain dystrybutor może wykrywać kontrakty, w których został wskazany jako strona i reagować, ustalając cenę za swoje usługi.



**Rys. 6. Przebieg procesu realizacji umowy na dostawę energii z wykorzystaniem magazynów pośrednich energii. Technologia blockchain pozwala zrealizować wirtualizację w obrębie WME [11] - rzeczywiste podmioty z rzeczywistą infrastrukturą, związane rzeczywistymi umowami wchodzi w interakcję w wirtualnym środowisku inteligentnego kontraktu w blockchain. Zasady te zostały wdrożone w projekcie *WePower* (tab.1)**

W innym wykonaniu przedstawionym w kolejnym podrozdziale usługi przesyłowe mogą zostać wycenione i opłacone w sposób niejawną za pomocą pośrednich kryptowalut

przypisanych do poszczególnych funkcji systemu energetycznego tworzących łańcuch przetworzeń energii wygenerowanej w osłonie producenta w energię dostarczoną do osłony odbiorcy. Oraz odwrotny łańcuch konwersji lokalnych (w sensie topologii systemu) kryptowalut konwertowanych z zachowaniem *spreadów* pokrywających koszty realizacji kolejnych etapów umowy, aż po pierwotną generację dostarczanej energii. Odbiorca wyszukujący oferty dostawy energii może posługiwać się jednym ze znanych mechanizmów agregacji informacji rynkowej. Preferowane jest by miejscem dostępu takiej funkcjonalności było środowisko blockchain co umożliwi integrację funkcji automatycznego wyszukiwania. Podpisanie umowy przez odbiorcę odbywa się po selekcji rynkowej przez wywołanie funkcji wybranego kontraktu. Wywołanie to zawiera argument oznaczający kwotę przelewaną z rachunku zamawiającego na rachunek kontraktu w momencie wywołania, nie będący rachunkiem producenta. Wywołanie nie będzie skuteczne bez transferu pieniędzy, nie dojdzie do transferu pieniędzy bez wywołania. Jest to unikalna funkcja technologii blockchain decydująca o jej przełomowości. Strony umowy mogą śledzić i wykrywać zmianę jej stanu w przelew potwierdzający przystąpienie odbiorcy.

Każda ze stron jest identyfikowana swym publicznym adresem będącym numerem jej rachunku. Interakcje z systemem skutkujące zmianą stanu rejestru, np. wywoływanie funkcji kontraktu może być przeprowadzone tylko z jawnie podanego adresu. Nie ma więc możliwości uruchamiania aktywności anonimowych nieposiadających adresu swojego nadawcy. Wykorzystanie adresu wiąże się z koniecznością autoryzacji wykorzystującej klucz prywatny pasujący do adresu będącego kluczem publicznym. Zastosowanie kodowania asymetrycznego daje możliwość identyfikacji zgodności klucza prywatnego wykorzystanego przez nadawcę z deklarowanym kluczem publicznym, a więc potwierdzenie praw do dysponowania, czyli działania za pośrednictwem tego klucza publicznego.

Realizacja umowy wiąże się z łańcuchem operacji: dopasowanie zleceń sprzedawcy i kupującego - transmisja i potwierdzenie - rozliczenie -płatność (*matching-clearing-settlement-payment*) (rys. 6). Rozliczenie w systemie energetycznym wiąże się z potwierdzeniem wykonania lub dostawy rzeczywistych usług lub energii wymienianych za pieniądze. Wiarygodność takich informacji może być potwierdzona w przestrzeni blockchain, na kilka sposobów. Jednym z nich jest uwzględnienie *zaufanych* źródeł informacji w kontrakcie za pomocą instrumentów autoryzacji np. poprzez ich rozpowszechniony i akceptowany adres publiczny podobnie jak to jest praktykowane w Internecie w mechanizmach DNS lub na wyższym poziomie bezpieczeństwa za pomocą adresu IP. Rola operatora polega na stworzeniu *styku technologicznego*, w którym operator może realizować zleczone przez regulatora zadania np. kontroli zgodności zawieranych kontraktów z przyjętymi zasadami.

Należy zauważyć, że przystąpienie do umowy konkretnego prosumenta zarejestrowanego u operatora za pomocą adresu publicznego może służyć jako sygnał wywoławczy dla operatora o konieczności przystąpienia do kontraktu jako strona wspomagająca. Druga technika wiąże się z zastosowaniem strategii dwustopniowej i symetrii informacyjnej. Strony kontraktu mają dostęp do własnych zasobów pomiarowych o określonej klasie pomiarowej oraz do historii zgodności odczytów drugiej strony w przeszłych transakcjach. Pozwala to na ocenę ryzyka wystąpienia niezgodności. W trakcie rozliczenia niezgodność odczytów producenta i odbiorcy może być poddana analizie probabilistycznej i posłużyć do akceptacji

rozliczenia lub skierowania do automatycznego arbitrażu poprzez chronione prawnie struktury operatorów pomiarowych właściwych dla stron umowy. Niezależnie od przyjętej strategii rola niezależnego operatora pomiarowego nie ulega zmianie, jednak zmodernizowane muszą być oferowane przez niego usługi *styku technologicznego*, zapewniającego weryfikowalność deklaracji stron kontraktu co do realizacji przedmiotu umowy.

```

*****
* BLOCKCHAIN ENERGY AGENT - (C) Sebastian Kiluk, 2017 *
*****
14:59:08 29 UPS -> OK: 0B100% 0W K:false F:false
14:59:08 29 OPERATOR -> LICZNIK WYTWORCY: OK
14:59:08 29 OPERATOR -> LICZNIK PROSUMENTA:OK
14:59:10 31 UPS -> OnBattery 100% 0W
15:00:28 0 UPS -> OnBattery 90% 436.8W Czekam na zasilanie
15:00:28 0 OPERATOR -> ZASILANIE WYLACZONE
15:00:28 0 OPERATOR -> poczatkowy stan licznika prosumenta: 4255
15:00:29 1 PROSUMENT -> Blockchain: kupEnergie(4255):
paragon 0xf8eae32c14a08d168b1bd5249d9b01fe938828e16f5dfc54941284d24c7e4112
15:00:40 12 UPS -> OnBattery 87% 432.6W Czekam na zasilanie
15:00:47 19 BLOCKCHAIN -> rejestr zdarzen:zdarzenieZamowionoEnergie:
zamowienie 1000 Wh
prosument 0xb4d8dfd53c4fe2ef8eb70b3d87cad2987913c711
15:00:47 19 OPERATOR -> poczatkowy stan licznika wytworcy: 9032
15:00:47 19 WYTWORCA -> Blockchain: rozpoczynamPrzesyl(9032):
paragon 0xa9bf17aa879a84893f089bee86a826bf0703d64c7e28996e8d7a6187d114ef4f
15:00:52 24 UPS -> OnBattery 85% 432.6W Czekam na zasilanie
15:01:04 36 UPS -> OnBattery 83% 436.8W Czekam na zasilanie
15:01:16 48 UPS -> OnBattery 79% 436.8W Czekam na zasilanie
15:01:17 49 BLOCKCHAIN -> rejestr zdarzen: zdarzenieRozpoczetoDostawe:
plan 1000 Wh
wytworca 0xfa32529a71def3bc4b4f9ae83df6635ca993bb33
sprzedawca 0x7953f455261ee7e1d8f0de1e8260669a1a7a4ffa
15:01:17 49 OPERATOR -> ZASILANIE ZALACZONE
15:01:19 51 UPS -> OnLine 79% 436.8W
15:01:28 60 UPS -> OnLine 100% 361.2W
15:05:52 324 UPS -> OnLine 100% 0W Mozna wylaczyc zasilanie
15:05:52 324 OPERATOR -> ZASILANIE WYLACZONE
15:05:52 324 OPERATOR -> stan licznika prosumenta: 4289
15:05:53 325 PROSUMENT -> Blockchain: zakonczylemOdbior(4289):
paragon 0x9997c466845bc01d14d83dbb7c615a14b9d1c73422942663a5d45cbd42c60c41
15:05:55 327 UPS -> OnBattery 100% 0W
15:06:17 349 BLOCKCHAIN -> rejestr zdarzen: zdarzenieZakonczonoOdbior:
odbior 34 Wh
15:06:17 349 OPERATOR -> stan licznika wytworcy: 9066
15:06:17 349 WYTWORCA -> Blockchain: rozliczDostawe(9066):
paragon 0x83fb68e162b24b8a42abd1cdc8efa9f033c94a1287d5a5824ee5d6d9a42df325
15:06:48 380 BLOCKCHAIN -> rejestr zdarzen: zdarzenieZleconoWypłaty
produkcja 34 Wh
zwrot nadplaty (dla Prosumenta) 3622500000000000 wei 62.48 gr
za dystrybucje (dla Sprzedawcy) 8925000000000000 wei 1.54 gr
za energie (dla Wytworcy) 3825000000000000 wei 0.66 gr
15:06:48 380 TRANSAKCJA ZAKONCZONA, saldo kontraktu: 0

```

**Rys. 7. Wydruk z konsoli systemu monitorującego przebieg rzeczywistej dostawy energii koordynowanej za pomocą inteligentnego kontraktu w ramach publicznego eksperymentu przeprowadzonego 27.11.2017 na Konwersatorium „Inteligentna Energetyka”. W lewej kolumnie czas rzeczywisty UTC oraz liczba sekund od żądania do pojawienia się zasilania UPS-a dla pracującego urządzenia AGD**

Ostatni krok, czyli płatności demonstruje w pełni siłę technologii blockchain. W zależności od przebiegu realizacji kontraktu środki zdeponowane na koncie kontraktu mogą być w z góry ustalony sposób rozdysponowane między strony kontraktu. Umiejscawia to inteligentne

kontrakty w klasie transakcji pieniężnych, tj. pozbawionych ryzyka typowego dla kontraktów terminowych, w których płatność jest odroczone. Odroczenie to jest formą zobowiązania wymagającego zastosowania mechanizmów zabezpieczających i egzekucyjnych, podnoszących złożoność struktury organizacyjnej służącej do obsługi kontraktu, a przez to zwiększających koszt i ograniczających elastyczność. W inteligentnych kontraktach interesy stron mogą być zabezpieczone *a priori*, przed realizacją zapisów kontraktu i wyrażone w zdeponowanych kwotach.

Minimalizacja negatywnego wpływu depozytów gotówkowych na płynność finansową może być osiągnięta dzięki skróceniu czasu od zawarcia kontraktu do wypłat końcowych, jak to uwidoczono na wydruku przebiegu przykładowej transakcji zakupu energii zrealizowanej w ramach publicznego eksperymentu (rys. 7). Realizacja mikro-umów jest więc skuteczną metodą na obniżenie kosztów obsługi zabezpieczeń kontraktów, obok ubezpieczeń o których mowa w kolejnych rozdziałach.

### **Generacja ad hoc łańcuchów kooperacyjnych w zintegrowanej infrastrukturze nN-SN.**

Z perspektywy użytkownika sieci decydujące znaczenie dla zasadności wprowadzania technologii blockchain ma zastosowanie narzędzi weryfikacji tożsamości i kontroli dostępu do zasobów sieci zintegrowanych za pomocą inteligentnych kontraktów rozszerzających bazę dostępnych funkcji o elementy algorytmów korelujących lub łączących działanie wielu elementów sieci zgodnie z założonym w kontrakcie algorytmem. Oczekuje się, że struktury informatyczne służące do koordynacji algorytmicznej działania rozproszonych zasobów będą zdolne do zachowania zasad dostępu oddelegowanych przez obsługiwane przez taki system podmioty. W bankowości doprowadziło to do wydzielenia i upodmiotowienia struktur obsługi internetowej względem wewnętrznych systemów bankowości oraz dezintegracji strumieni informacji o transakcjach. To zaś, było źródłem patologii w systemach finansowych przed 2008 rokiem jak i problemów kantorów kryptowalut w czasach późniejszych. Ponadto, w odmiennych warunkach rozproszonych zasobów systemów energetycznych podejście takie może zwiększyć nakłady na bezpieczeństwo w sposób wykluczający implementację w rozproszonej skali procesów gospodarki 4.0. Integracja umów i transakcji w zautomatyzowanym środowisku maszynowym nie jest możliwa do realizacji w centralistycznych modelach organizacyjnych. Jeśli *internet rzeczy* (IoT) i gospodarka 4.0 mają być czymś więcej niż zabawkami to otwarte zasoby transakcyjne będą koniecznością.

Zdolność do bezpiecznego delegowania uprawnień w systemie blockchain wynikająca ze stosowania asymetrycznych technik szyfrowania i powiązania aktywności z płatnościami, legła u podstaw DAO i jest fundamentem rozwoju maszynowej egzekucji kontraktów i transakcji. Dzięki temu sposób dostępu do zasobów oraz ich organizacja w procesach użytkownika nie muszą być uzgadniane z zarządcą zasobów sieci inaczej niż za pomocą zasad dostępu i wpłat gwarancyjnych, a jednocześnie bezpieczeństwo egzekucji logiki biznesowej w środowisku blockchain znacząco ogranicza koszty obsługi. Kolejnym istotnym czynnikiem jest minimalizacja opóźnień w rozliczaniu w pełni zautomatyzowanych transakcji wynikających z realizacji procesów w łańcuchach kooperacyjnych. Zabezpieczenie środków przed uruchomieniem realizacji oraz natychmiastowa wymiana dostępu do usługi lub energii za walutę zmienia istotnie warunki funkcjonowania kooperatyw zwiększając płynność finansową ich uczestników. W końcu, wyeliminowanie potrzeby angażowania



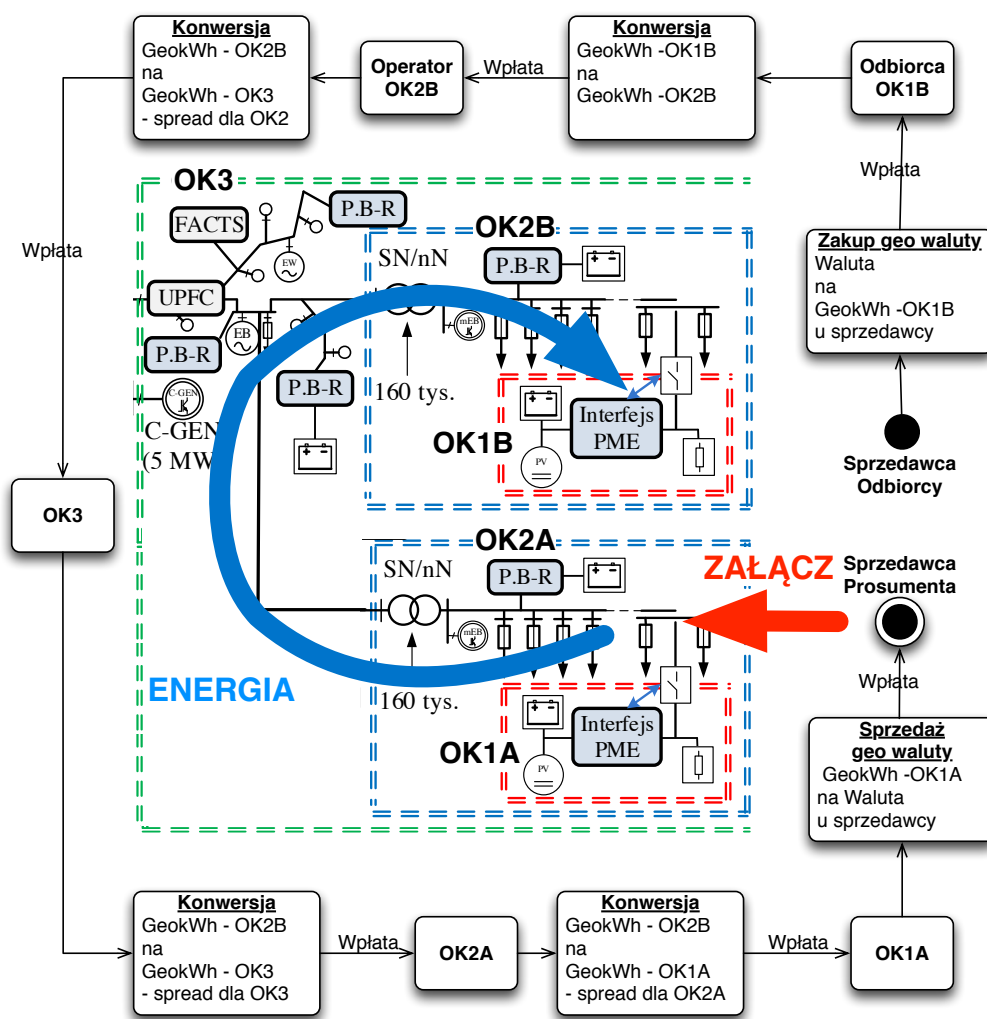
podmiotu uwiarygadniającego decyduje o elastyczności doboru i czasie niezbędnym do tworzenia łańcuchów kooperacyjnych ad hoc, a w konsekwencji zastosowania modelu DAO jako podmiotu koordynującego działanie kooperatywy w sposób pełni automatyczny. Rola podmiotów zarządzających sprowadza się do właściwego sformułowania celów działania takiej organizacji i wyartykułowania zasad w postaci inteligentnych kontraktów.

**Generowanie złożonych autonomicznych struktur bilansujących.** Otwarty charakter technologii blockchain implikuje oddolną motywację do uczestnictwa jako siłę napędową budowanej struktury. Dzielenie się wiedzą zakodowaną w publicznie dostępnych bibliotekach inteligentnych kontraktów łączących logikę procesów technicznych z warstwą umów cywilno-prawnych ułatwia budowanie złożonych układów biznesowych. Integracja realizowana w jednorodnym środowisku blockchain może przebiegać na wielu poziomach organizacji. Niezbędne do egzekucji inteligentnego kontraktu kryptowaluty łączą cechy wymienialnego środka płatniczego z cechami sygnału sterującego lub ujmując rzecz inaczej integrują odpowiedzialność i zobowiązania finansowe z automatyką sterowania procesami. W wymiarze organizacyjnym oznacza to znaczne ograniczenie nakładów i czasu potrzebnego na stworzenie i obsługę poszczególnych relacji biznesowych lub technicznych. W konsekwencji tworzenie złożonych struktur współdziałania wielu partnerów staje się możliwe bez konieczności ich centralizacji i angażowania koordynatora lub mediatora.

Inteligentne kontrakty mogą być zawierane pomiędzy dwiema lub więcej stronami, a ponadto wiele kontraktów może wpływać wzajemnie na ich realizację, gdyż posiadają one zdolność do podejmowania i uczestnictwa w transakcjach. Autonomia realizacji kontraktu w połączeniu z nieodwracalnością procesów wykonywania kodów w środowisku blockchain pozwala traktować kontrakt jako niezależny podmiot podejmujący w miarę dostępnych środków zobowiązania i będący stroną innych kontraktów. Jest to podstawą funkcjonowania rozproszonych autonomicznych organizacji (DAO) posiadających pełne zdolności przystępowania do kontraktów i dysponowania własnymi środkami zgodnie z kodem kontraktów tworzących strukturę DAO. Taka algorytmiczna struktura realizująca, w odpowiedzi na zewnętrzne sygnały, kody kontraktów może być bardzo złożona. Typowym przykładem realizacji tej idei jest system aukcyjny. Prowadzi on do skojarzenia pary sprzedający-kupujący oraz ustalenia wartości oferowanego dobra z uwzględnieniem kontekstu szerokiej grupy uczestników rynku. W zależności od sposobu przeprowadzania aukcji osiągnane są różne cele jej organizatorów. Jednakże stabilizująca rola takiego systemu przejawia się w samorzutnym mechanizmie ustalania równowagi między podażą i popytem za pomocą ceny. Na rynku energii cena ta mogłaby uwzględniać więcej stron każdej z ofert reprezentujących podmioty oferujące usługi przesyłowe i sieciowe niezbędne do realizacji transakcji. O konkurencyjności oferty decydowałaby nie tylko cena sprzedaży energii, ale również koszty obsługi transakcji składające się razem na cenę zakupu. Poszczególne pozycje takiej ceny mogą zaś odwzorowywać popyt na każde z tych dóbr z osobna i służyć ustalaniu równowagi pomiędzy popytem i podażą. W takiej wizji mechanizmy rynkowe zaprzęga się do regulacji procesów technicznych zakładając, że wartość danego towaru lub usługi jest funkcją podaży i popytu, a zatem zawiera w sobie informację o dostępności technicznej poszczególnych elementów. W takim ujęciu urynkwienie procesu bilansowania

proceedzi do zaktywizowania potencjału inwestycyjnego pobudzanego impulsami cenowymi do działań modernizacyjnych bazujących na zidentyfikowanych dysproporcjach.

Otwarta struktura inteligentnego kontraktu dopuszczająca uczestnictwo w transakcji różnych podmiotów prowadzi również do oderwania powstających kooperatyw od sztywnej struktury narzuconej organizacyjnie np. topologią sieci. Zastosowanie takich mechanizmów do kojarzenia par producentów i odbiorców energii mogłoby uwzględniać koszt przesyłu energii wyrażający nie tylko wartość samej energii czy usługi przesyłowej, ale również ich dostępność w określonym czasie. W ten sposób zbilansować można podaż i popyt energii w określonej grupie kontrahentów niezależnie od topologii sieci, która ich łączy. Oznacza to również, że w poszczególnych fragmentach sieci kooperanci mogą stanowić tylko część podmiotów do niej podłączonych.



**Rys. 8. Przykładowe zastosowanie technologii blockchain do generacji *ad hoc* łańcuchów kooperacyjnych w zintegrowanej infrastrukturze nN-SN, *inteligentne* trasowanie energii poprzez optymalizację ścieżki w grafie dopuszczalnych konwersji geowalut ze względu na całkowity koszt konwersji między OK1A i OK1B**

Możliwe jest również jako wariant bardziej zbliżony do realiów technicznych sieci, ograniczenie zdolności do zawierania kontraktów na przesył i pobór energii w danym

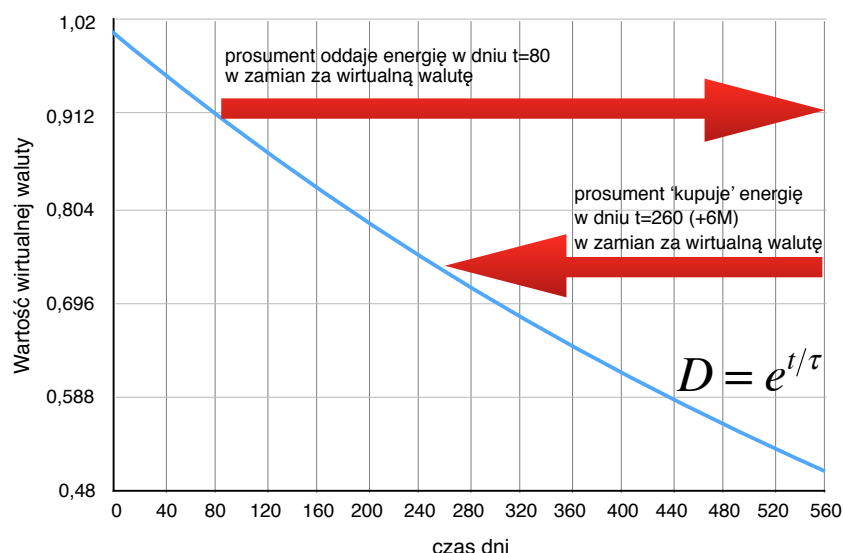
fragmencie sieci do pewnej liczby wyrażonej za pomocą puli żetonów ustalonej ze względu na możliwości techniczne. Przydział żetonów, a więc udostępnienie energii lub usług sieciowych odbywać się może za pomocą algorytmu kolejkowania przyjmowanych w czasie rzeczywistym zgłoszeń, aż do wyczerpania puli, która może być uzupełniana w miarę pojawiających się kontrahentów udostępniających swoje zdolności do dostarczenia energii. W takim podejściu technologia blockchain zapewnia transparentność procesu i eliminuje nieufność uczestników procesu o nierówne traktowanie przy podziale ograniczonych zasobów. Pojawiające się deficyty po stronie podaży lub popytu stanowią sygnał sterujący krótko- lub długoterminowe działania zmierzające do ustalenia nowego poziomu równowagi np. w celu zwiększenia puli przesyłanej energii, stopnia wykorzystania zasobów przesyłowych sieci, czy efektywizacji pracy źródeł lub akumulatorów energii.

Przykładowe zastosowanie technologii blockchain do generacji ad hoc łańcuchów kooperacyjnych w zintegrowanej infrastrukturze nN-SN widoczne jest na rys. 8. Poszczególne osłony kontrolne posługują się wewnętrzną kryptowalutą wykorzystywaną wyłącznie w celu ustalania ceny usług oferowanych przez osłonę oraz rozliczania transakcji. Kryptowaluty poszczególnych osłon są wymienne parami w sposób asymetryczny. Wymienialność par w danym kierunku uwarunkowana jest technicznymi możliwościami przekazania energii pomiędzy osłonami kontrolnymi w tym topologią sieci. Współczynniki wymiany niekoniecznie symetryczne generują znane z klasycznego rynku walut *spready* kursów umożliwiające jawne przedstawianie ceny za usługi danej osłony. Informacje o opłatach mogą być ustalane indywidualnie i zmieniane dynamicznie przez podmiot upoważniony do udostępniania zasobów osłony w obrocie gospodarczym. W proponowanym rozwiązaniu zawarcie umowy na dostawę energii w systemie poprzedzone musi być wytyczeniem trasy przesyłu np. z uwzględnieniem kryterium minimalizacji kosztów. Usługi takie znane są w systemach finansowych pod nazwą 'smart routing'. Inteligentne trasowanie wymaga uwzględnienia uczestników umowy na dostawę energii w transakcjach gotówkowych. Może to być osiągnięte w sposób jawny poprzez uwzględnienie opłat za konwersję pomiędzy kolejnymi kryptowalutami *Geo-kWh* w algorytmie kontraktu, lub w sposób niejawny w procesie automatycznej wielokrokowej wymiany *geowaluty* odbiorcy energii, na geo-walutę producenta. W drugim podejściu mechanizm wymiany walut i jej wymienialność na waluty uznawane powszechnie jest funkcją finansową mogącą pozostawać w domenie usług sieciowych. Uruchomienie dostawy następuje po dostarczeniu pieniędzy do producenta co poprzedzone musi być szeregiem konwersji walut i wypłat zysków ze spreadów na poziomie kolejnych zaangażowanych osłon kontrolnych. Jest to możliwe w technologii blockchain ze względu na integrację środowisk, automatyzację procesu oraz otwartą strukturę kontraktu realizowanego w zasobach wspólnych sieci blockchain.

Zaletą proponowanej struktury kształtowania ceny jest jej otwarcie na zewnętrzne podmioty poprzez urealnienie związku opłat z miejscem w systemie, w którym, ponoszone są rzeczywiste koszty. Ponadto poprzez dopuszczenie spekulatywnego obrotu usługami przesyłu energii i umożliwienie możliwości ich wtórnej odsprzedaży efektywizuje się mechanizmy wykorzystania informacji o potrzebach technicznych przez rynek i otwarcie zasobów informacyjnych warunkujących budowę otoczenia inwestycyjnego w modernizującej się energetyce prosumenckiej.

## BLOCKCHAIN NA RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

**Zastosowania w systemach billingowych.** W procesach regulacyjno-bilansujących podstawowe znaczenie ma opóźnienie i wiarygodność sygnałów, na podstawie których modyfikowane jest działanie zintegrowanej (źródła-sieć-odbiory) infrastruktury nN-SN. Klasyczne podejście zakłada zaufanie pomiędzy podmiotami udostępniającymi zasoby sieciowe wykorzystywane



**Rys. 9. Schemat utraty wartości energii oddanej w net meteringu na przechowanie. W miarę upływu czasu wartość ‘wirtualnej’ waluty maleje zmniejszając ilość dostępnej w zamian energii.**

**Przykładowo dla współczynnika  $\tau = -815$  po 6 miesiącach dostępne będzie ok. 80% energii zdeponowanej w wirtualnej walucie. Zastosowanie jednej ciągłej funkcji opisującej dewaluację lokalnej wirtualnej waluty dla wszystkich przeszłych i przyszłych wymian energii zapewnia integrujące właściwości mechanizmu. Na osi rzędnych – czas [dni], odciętych –wartość wirtualnej waluty**

Zastosowanie technologii blockchain w systemach billingowych związane jest z zaufaniem do infrastruktury pomiarowej. Wprowadzenie rozwiązań blockchain w tym obszarze pozwoliłoby na integrację sygnałów o zużyciu energii, profilu czy strukturze czasowej oraz informacji o innych parametrach mogących stanowić sygnał wejściowy do inteligentnych kontraktów. W takim ujęciu automatyzacja rozliczeń byłaby miejscem powstawania wartości dodanej związanej z uwolnieniem nowych możliwości kształtowania umów oraz budowy taryf rozliczeniowych. Gromadzone w blockchain dane posiadają wysoki poziom wiarygodności, a jednoczesność akwizycji informacji z liczników energii z egzekucją algorytmu kontraktu rozliczeniowego pozwala na integrację procesu rozliczenia za energię z automatycznym sterowaniem procesami nie tylko w ramach systemów odbiorcy ale również na poziomie jego kooperacji z innymi odbiorcami lub producentami energii czy podmiotami dostarczającymi usługi w ramach sieci lub poza nią np. kontrakty z wieloma dostawcami energii uruchamiane w zależności od zidentyfikowanych cech profilu, czy podejmowanie czynności serwisowych po zdiagnozowaniu awaryjnych poziomów

efektywności energetycznej odbiorników takich jak pompy ciepła czy systemy wentylacji niezmiernie ważne dla energochłonności budownictwa.

Jednym z ciekawszych zastosowań technologii blockchain jest jej wykorzystanie do net meteringu. Oddana do systemu energia konwertowana jest natychmiast na kryptowalutę wymienną powszechnie lub tylko lokalnie w osłonie kontrolnej OK1. Cena energii ulega ciągłemu spadkowi zgodnie z raz zaprogramowaną i niezmienną się eksponentywną funkcją czasu. Dlatego też następujące po sobie paczki energii oddawane w kolejnych krótkich okresach zliczania będą miały coraz mniejszą wartość agregującą się na koncie prosumenta. Po upływie pewnego czasu możliwe będzie zakupienie energii i jej odbiór jednak po coraz większej cenie (coraz mniejsza wartość energii). Dla każdej z paczek energii spadek będzie inny, ale im dłużej energia jest przechowywana tym spadek będzie większy, co dobrze odwzorowuje rosnące koszty jej przechowywania (rys. 9). Mechanizm ten jest implementowany w finansowych rozliczeniach opłat postojowych np. na platformie *ripple* [21].

**Zastosowania w rozliczeniach i kontroli dostępu do zasobów i usług zintegrowanej infrastruktury nN-SN.** Podobnie jak w zastosowaniach w systemach billingowych integracja inteligentnych kontraktów z zasobami infrastruktury nN-SN lub udostępnianie usług tej infrastruktury za pomocą inteligentnych kontraktów zwiększa dostępność tych usług dla odbiorcy masowego. Biblioteka modelowych kontraktów stanowiłaby bazę wiedzy na temat dostępnej oferty zaś jej wykorzystanie wiązałoby się z koniecznością zagwarantowania środków zdeponowanych w kontrakcie w ilości niezbędnej do realizacji zaplanowanego zadania. Rola integratorów usług rozszerzona o aspekt edukacyjny zwiększyłaby uczestnictwo małych producentów i odbiorców w podejmowaniu współpracy uwzględniającej świadome wykorzystywanie zasobów sieci we własnych procesach biznesowych i czerpanie z tego korzyści.

Ciekawym obszarem zastosowania technologii blockchain, a w szczególności metodyki DAO jest konstrukcja automatyzująca realizację obowiązków operatora i sprzedawcy energii w zamkniętych systemach dystrybucyjnych. Współcześnie z powodów organizacyjnych wiele podmiotów zmuszonych jest do podejmowania zadań w zakresie przedkładania do akceptacji URE, sporządzanie planów rozwoju, opracowywanie instrukcji ruchu sieciowego i sprawozdawczość. ZSD są ciekawą formą organizacji rynku energii, która mogłaby zostać wyodrębniona w przepisach tak by możliwe stało się zautomatyzowanie w/w zadań z pomocą technologii blockchain poprzez zdolność do gromadzenia i udostępniania wiarygodnej informacji, raportów i dokumentacji, automatyzację utrzymywania relacji z odbiorcami, zlecenia zadań podwykonawcom i rozliczeń. Zakładając, że w większości przypadków ZSD jest poboczną częścią działalności podmiotów, w ten sposób obniżyłby się próg wejścia zniechęcający dziś do tej formy działalności. Jednocześnie wzorec ten mógłby rozwijać się w synergii z wzorcami dla klastrów energii obarczonych podobnymi ograniczeniami skali, dostępu do kompetencji i zasobów administracyjnych i sprawozdawczych. Możliwości technologiczne blockchain stwarzają nowe środowisko dla realizacji zadań państwa co powinno znaleźć odzwierciedlenie w nowych regulacjach prawnych, wykorzystujących potencjał automatyzacji styku organizacyjno-technicznego do obniżenia barier wejścia dla nowych form rynku energii.

**Automatyczne systemy wyszukiwania kontrahentów w zintegrowanej infrastrukturze nN-SN.** Implementacja inteligentnego trasowania dostaw energii z uwzględnieniem kosztu przesyłu i usług sieciowych pozwala na implementację mechanizmów wyszukiwania uwzględniających cenę energii na przyłączach odbiorcy z uwzględnieniem położenia producenta. Idea zaczerpnięta jest z bankowych systemów transferowania walut z konwersją uwzględniającą wymienialność i różnice kursowe na poszczególnych parach walut oferowanych przez różne banki pośredniczące. Problem sprowadza się do wyszukiwania najlepszej ścieżki w grafie i jest dobrze zdefiniowany dla zadań w sieci.

Jedną z zalet technologii blockchain jest mnogość narzędzi wspomagających. Dla przykładu w sieci Ethereum, reprezentującej technologię gotową na implementację blockchain 2.0 i 3.0, dostępne są narzędzia emisji zdarzeń możliwych do śledzenia przez użytkowników sieci bez konieczności aktywnego poszukiwania. Zdefiniowanie zdarzeń polegających na wprowadzeniu nowej oferty itp. Możliwe jest do rozgłoszenia do wszystkich węzłów sieci w sposób umożliwiający selektywne wyszukiwanie. Ze względu na rozproszoną strukturę sieci oraz dopasowanie do mikrotransakcji, bieżąca pula ofert może zmieniać się dość szybko co zmusza do implementacji agentów zdolnych autonomicznie podjąć zadanie wyszukania, weryfikacji i zawarcia umowy jak przedstawiono to na rys. 6 i rys. 7 w poprzednim rozdziale. Znacznym ułatwieniem jest mechanizm zabezpieczający przed tzw. *doublespending*. Zagrożenie to polega na wielokrotnym wykorzystaniu jednego zasobu np. gotówki lub sprzedawanej energii w sekwencji szybko następujących po sobie transakcji. Wyścig krytyczny mogący w takiej sytuacji wystąpić jest obsługiwany z poziomu infrastruktury blockchain jednak ze względu na brak determinizmu w kolejkowaniu napływających z różnych węzłów dyspozycji, dopiero post factum można stwierdzić czy dana dyspozycja np. przelewu i zawarcia kontraktu doszła do skutku. Prawdopodobieństwo odrzucenia transakcji maleje nieliniowo wraz ze wzrostem liczby bloków następujących po zleconej transakcji i zawierających pośrednio jej potwierdzenie. Wynika to ze sposobu dochodzenia w systemie do porozumienia co do treści zapisów rejestru. W sytuacjach konfliktu zaakceptowana treść staje się wątkiem głównym jednak po jednym lub kilku krokach i towarzyszących im głosowaniach któryś z wątków pobocznych (ang. *fork*) może stać się obowiązującym wątkiem głównym. Rozkład prawdopodobieństwa błędnej oceny przyjęcia i realizacji transakcji jest korzystny, lecz podejmowanie kolejnych kroków umowy powinno być poprzedzone opóźnieniem i weryfikacją stanu transakcji. Wynika stąd, że wyszukiwanie i zawieranie transakcji jest procesem dynamicznym wymagającym obsługi stanu odrzucenia transakcji, a w konsekwencji gotowości systemu energetycznego do obsługi mogących wynikać stąd opóźnień.

**Potencjał cenotwórczy technologii blockchain.** Potencjał cenotwórczy technologii blockchain zależy od dwóch jego cech, którymi są:

1. Otwarte struktury kształtowania, zawierania i realizacji umów, umiejscowionych w neutralnym środowisku cyfrowym niepodlegającym bezpośredniej kontroli żadnej ze stron.
2. Otwarty dostęp do informacji historycznych zdeponowanych w historycznych rejestrach. Związanie ze sobą sterownia procesami w sieci energetycznej z kontraktami cywilno-prawnymi i rozliczeniem w kryptowalucie ma potencjał zmian w dwóch kierunkach. W jedną

stronę, pozwala na automatyczne uzależnienie realizacji procesów technicznych od czynników prawnych lub finansowych. W drugim kierunku, pozwala na kształtowanie lub modyfikowanie warstwy prawno-finansowej w reakcji na przebieg procesu technicznego. W szczególności, tworzenie otwartych struktur kooperacyjnych w których ceny są wynikiem interakcji wielu uczestników rynku i mechanizmów wyszukiwania i parowania najkorzystniejszych ofert prowadzi do budowy struktur zdolnych do samoregulacji w oparciu o mechanizmy rynkowe. Uwzględnienie ceny jako zmiennej służącej do osiągnięcia celów nadrzędnych struktury takiej jak system energetyczny pozwala na wykorzystanie jej jako sygnału determinującego przebieg złożonego procesu kooperacji w systemie masowym.

Podobnie jak na giełdach papierów wartościowych algorytmy parowania kontrahentów decydują o właściwościach rynku, zaś będąca produktem działania takiego systemu cena jest funkcją rynku i możliwości systemu. W takiej sytuacji dramatycznej zmianie ulega rola regulatora. Jego działania przenoszą się z przestrzeni mediacji między agregatorami rynku reprezentującymi interesy dużych części systemu, do przestrzeni kształtowania właściwości systemu energetycznego jako rynku kształtowanego przez właściwości realizowanych na nim kontraktów. Zadanie kontroli złożoności takiego systemu jest źródłem wartości dodanej wynikającej z sieciowego charakteru obrotu gospodarczego realizowanego za pomocą infrastruktury energetycznej. Swoboda kształtowania umów daje możliwość szybkiej integracji struktur technicznych z nowymi modelami biznesowymi, odpowiadającymi zmieniającym się potrzebom sektora. Dopuszczenie spekulatywnego obrotu wtórnego zasobami systemu, tj. usługami i produktami (energią), wzmocni rolę inwestorów niezależnych zdolnych wykorzystać informacje z wnętrza systemu energetycznego jak i jej otoczenia do sprawnego korygowania cen np. za przesył w konkretnym miejscu i czasie w systemie. W konsekwencji cenotwórstwo takie prowadzi do wzrostu potencjału inwestycyjnego energetyki.

W szerszym wymiarze transformacyjnym wprowadzenie technologii blockchain wnosi z definicji jawność informacji niezbędnych do właściwej wyceny produktów, ale przed wszystkim do oceny potencjału inwestycyjnego w różnych miejscach systemu. Asymetria w dostępie do informacji rynkowej jest czynnikiem determinującym funkcjonowanie rynków. Kary za *inside trading* są wymownym znakiem troski regulatora o zapewnienie równego dostępu do informacji jako warunku poprawnego działania mechanizmów konkurencyjnych oraz racjonalizacji decyzji uczestników rynku.

Efektywność informacyjna rynków finansowych przejawia się w zdolności jak najszybszego konsumowania informacji w celu urealnienia wyceny przez rynek. Doprowadziło to do powstania zinstytucjonalizowanych mechanizmów przetwarzania informacji oraz ich rozpowszechniania w celu racjonalizacji zachowań inwestycyjnych, w konsekwencji zachowania zdolności rozwojowych mimo zmieniających się uwarunkowań zewnętrznych. Wydaje się, że analogiczne otwarcie struktur systemów energetycznych na mechanizmy rynkowe może przysłużyć się poprawie ich zdolności adaptacyjnych w obliczu antycypowanych zmian technologicznych i organizacyjnych.

**Mikrotransakcje z blockchain w systemie DSM/DSR.** O możliwościach implementacji technologii blockchain w systemie DSM/DSR decyduje koszt pojedynczej transakcji i czas realizacji. Z tego względu masowe wprowadzanie usług DSM/DSR implementowanych

w technologii blockchain wymaga doboru technologii o bardzo krótkim np. sekundowym czasie trwania bloku oraz maksymalnym skróceniu czasu uwiarygadniania transakcji poprzez kontrolę dostępu do kontraktów. Uwiarygadnianie, zdolności do deklarowanych działań najczęściej rozważa się w kontekście: 1° - depozytów stron kontraktów uwalnianych po rozliczeniu kontraktu, 2° - zewnętrznych źródeł informacji uwiarygadniających adresy.

Zastosowanie depozytów wymaga weryfikacji adekwatności rezultatów zarejestrowanych na urządzeniach pomiarowych stron lub niezależnych operatorów pomiarowych. Uzgodnione odczyty mogą być podstawą do rozliczenia wypłat i zwrotu depozytów. Zawężenie puli adresów, z których można inicjować kontrakty wprowadza dodatkową barierę podnoszącą bezpieczeństwo i zwiększającą szybkość egzekucji realizacji zadań grafikonowania pracy odbiorników w czasie rzeczywistym lub prawie rzeczywistym. Jednak ceną jest zamykanie struktur biznesowych i ograniczanie zdolności adaptacyjnych systemu poprzez uzależnianie jakości informacji od większej liczby zewnętrznych podmiotów. Należy podkreślić, że rozwiązanie wykorzystujące prywatne lub półotwarte struktury sieci blockchain implikuje znaczne ryzyko ograniczenia efektów zastosowania technologii blockchain [18]. W strukturach prywatnych węzły sieci należą do operatora blockchain.

Centralizacja sieci zmienia charakter umowy co do wartości i wymaga odmiennego podejścia do wymienialności kryptowaluty, która jest filarem przełomowej innowacji blockchain. Przykładem jest system *ripple*, oferowany bankom w którym można posługiwać się kryptowalutami nominowanymi w walutach klasycznych, z gwarantowaną przez emitenta wymienialnością. System nabywa cech współczesnych struktur bankowych, jednak efekty przełomowe nie są osiągane [17]. Parametry systemu takie jak np. przepustowość nie są lepsze niż w wypadku klasycznych systemów bankowych np. płatności VISA, przy braku cech otwartego systemu blockchain z dobrowolną partycypacją szerokiego grona użytkowników. Zamknięte architektury są ciekawą alternatywą dla modernizujących się banków, jednak nie rozwiązują problemu systemów energetycznych. Dodatkowo dyrektywa unijna PSD2 nakłada na wszystkie banki obowiązek udostępniania API umożliwiającego między innymi inicjowanie przelewów, co będzie prowadzić do dalszej erozji atrakcyjności zamkniętych technologii blockchain [22]. Strony inteligentnych kontraktów realizują potrzebę koordynacji działań wielu podmiotów dysponujących rozproszonymi zasobami technicznymi w ramach uzgodnionego modelu współpracy opartego na systemie transferu szeroko uznawanej kryptowaluty.

Szybkość realizacji zadań zawierania kontraktów i ich rozliczania umożliwia budowanie za ich pomocą pętli sprzężeń zwrotnych wykorzystywanych do regulacji w sieci, np. poprzez usługi DSM/DSR. Kontrakty zawierane w środowisku blockchain mogą być uruchamiane w sytuacji konieczności ograniczenia zapotrzebowania na moc w danym węźle sieci poprzez opóźnienie załączenia lub wyłączenie odbiorników podłączonych szeregowo poprzez aparaturę kontrolno-pomiarową sterowaną sygnałami z takich inteligentnych kontraktów. Wysłanie sygnału sterującego mogłoby powodować przesunięcie zapotrzebowania w czasie w poszczególnych rozproszonych odbiornikach doposażonych w odpowiednie układy lub wykorzystanie rozproszonych magazynów energii, jak zaproponowano w poprzednim rozdziale. Już dziś technologia ta jest technicznie dostępna w postaci inteligentnych gniazdek z funkcjonalnością kontrolno-pomiarową, czy sprzętem AGD wyposażonym w interface komunikacji zdalnej Bluetooth, Wifi, NFC. Ogólnie grupa ta obejmuje urządzenia

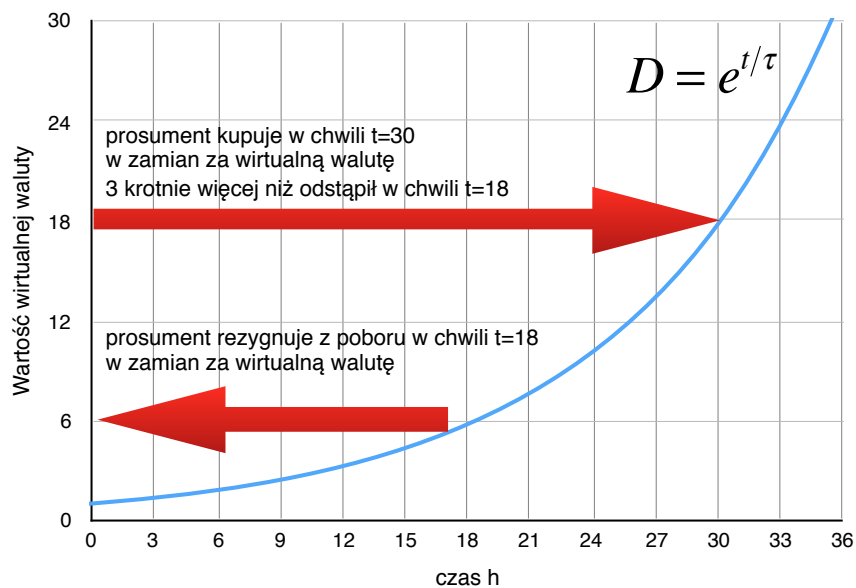


lub systemy automatyki domowej tworzące klasę urządzeń Internet of Things (IoT), których funkcje sterowania lub pomiaru są udostępniane poprzez zasoby komunikacyjne np. sieci Internet. Należy zwrócić uwagę, że funkcjonalność IoT już dziś może być udostępniana z wysokim poziomem bezpieczeństwa komunikacji ułatwiającym integrację z systemami rozliczeniowymi i sterującymi. Zaś sterowane w ten sposób urządzenia tworzą w ramach osłony OK1 wyizolowane zasoby -mikro osłony kontrolne na odbiornikach. Dalsza integracja IoT z infrastrukturą sieciową realizowaną np. w środowisku blockchain umożliwia wyeksponowanie pojedynczych odbiorników energii elektrycznej jako zasobów procesowych integrowanych w sieciowych procesach w celu wytworzenia skordynowanej lub zagregowanej funkcjonalności wytwarzającej wartość dodaną np. dla operatora sieci tak jak ma to miejsce w przypadku usług DSM/DSR. Pojęcia 'sieć' nie należy ograniczać do sieci dystrybucyjnej, ale traktować je w szerszym znaczeniu oznaczającym związki funkcjonalne między rozproszonymi zasobami realizującymi wspólnie proces. Ze względu na akceptację lub tolerancję poszczególnych procesów, w których dany odbiornik jest ogniwem na jego odstępstwa od założonej funkcjonalności możliwe jest koordynowanie działania na wielu poziomach (różnych procesów) z wyceną i rekompensatą dystrybuowaną do 'wykorzystanych' procesów których przebieg został zaburzony. Przykładem może być podgrzewanie ciepłej wody użytkowej lub klimatyzacja pomieszczeń, w których opóźnienie lub przerwa w zasilaniu nie spowoduje szkód porównywalnych do korzyści jakie może dać dla stabilizacji systemu dystrybucji, zaś wygenerowana wartość może zostać rozdystrybuowana do wszystkich uczestników procesu. Realizacja takich zadań wymaga automatyzacji i małych kosztów transakcyjnych co zgadza się z właściwościami technologii blockchain.

Wartym podkreślenia jest fakt, że sposób wydzielania zasobów kontrolowanych przez blockchain jest związany z istniejącymi strukturami systemu dystrybucji poprzez umiejscowienie w sieci osłony kontrolnej w której oczekuje się efektów, lecz nie wymaga by oba systemy się pokrywały. Realizacja usług DSM/DSR jest modelowym przykładem, w którym stopień penetracji sieci dystrybucyjnej lub sieci wewnętrznej użytkownika nie determinuje możliwości realizacji usług. Pojedyncze urządzenia połączone inteligentnym kontraktem tworzą system realizujący ustalony proces ponad granicami wyznaczonymi węzłami sieci dystrybucyjnej i osłon kontrolnych. Ten wymiar otwartości umożliwia budowanie wartości w procesach, które nie są i nie muszą być zadawane z góry np. przez operatora sieci. W ten sposób realizuje się otwartość - elastyczność - gospodarcza infrastruktury nieograniczonej przez podmioty pośredniczące.

Poprzez zastosowanie schematu opłat postojowych, cena rozliczanego produktu może ulegać ciągłej zmianie w czasie odwzorowującej wysokość wypłaty za opóźnienie odbioru określonej ilości energii. Cena tej energii ulega zmianie nominowanej w kryptowalucie, a więc wymiennej w ogóle lub w lokalnej kryptowalucie wymiennej jedynie na określone produkty np. energię w danej osłonie kontrolnej. W szczególności zastosowanie odwróconego schematu opłat postojowych zaimplementowanego do kryptowaluty lokalnej umożliwia integrację mechanizmu aprecjacji wartości niezużytej energii z integratorem co zapewnia adekwatność metody nawet dla zmiennych mocy odbiorników pracujących w reżymie DSM/DSR. Każda porcja energii, która nie została odebrana przyrasta na wartości eksponentalnie. W konsekwencji późniejsza jej konwersja generuje korzyść dla usługodawcy.

Korzystnym dla odbiorcy usługi jest by drugi etap wymiany tj. odbiór wartości nastąpił jak najszybciej jak to przedstawiono na Rys 10.



**Rys. 10. Rozliczenie wypłat za usługę DSM z narastającą wartością nieodebranej energii. W miarę upływu czasu wartość ‘wirtualnej’ waluty rośnie zwiększając ilość dostępnej w zamian energii. Przykładowo dla współczynnika  $\tau = 10,42$  po 24 godzinach dostępne będzie aż 10 krotność energii zdeponowanej w wirtualnej walucie. Zastosowanie jednej ciągłej funkcji opisującej dewaluację lokalnej wirtualnej waluty dla wszystkich przeszłych i przyszłych wymian energii zapewnia integrujące właściwości mechanizmu. Na osi rzędnych – czas [h], odciętych – wartość wirtualnej waluty**

Zaniechanie poboru określonej porcji energii mierzonej w krótkim okresie czasu inicjuje jej konwersję na lokalną kryptowalutę zmieniającą w sposób ciągły i monotoniczny swą wartość. W późniejszym okresie wartość ta podlegająca ciągłej deflacji może być wymieniona na energię lub walutę. Wypłata zależna jest w takim układzie nie tylko od ilości zaniechanego poboru lecz również od czasu oczekiwania na rozliczenie. W alternatywnym wykonaniu rozliczenie może dotyczyć odbioru wynagrodzenia w postaci zwielokrotnionej w czasie ilości energii. Korzyść z wymiany wynika w takim przypadku ze zdolności do przesuwania w czasie pików zapotrzebowania na energię. Model taki zbliża usługę DSM/DSR do net meteringu ze zmiennym w czasie współczynnikiem konwersji odwzorowującym koszt opóźnienia, *wirtualizacji* zapotrzebowania co zostało dokładniej opisane w kolejnych rozdziałach.

## INTEGRACJA PROCESÓW RYNKOWYCH I STEROWANIA INFRASTRUKTURĄ

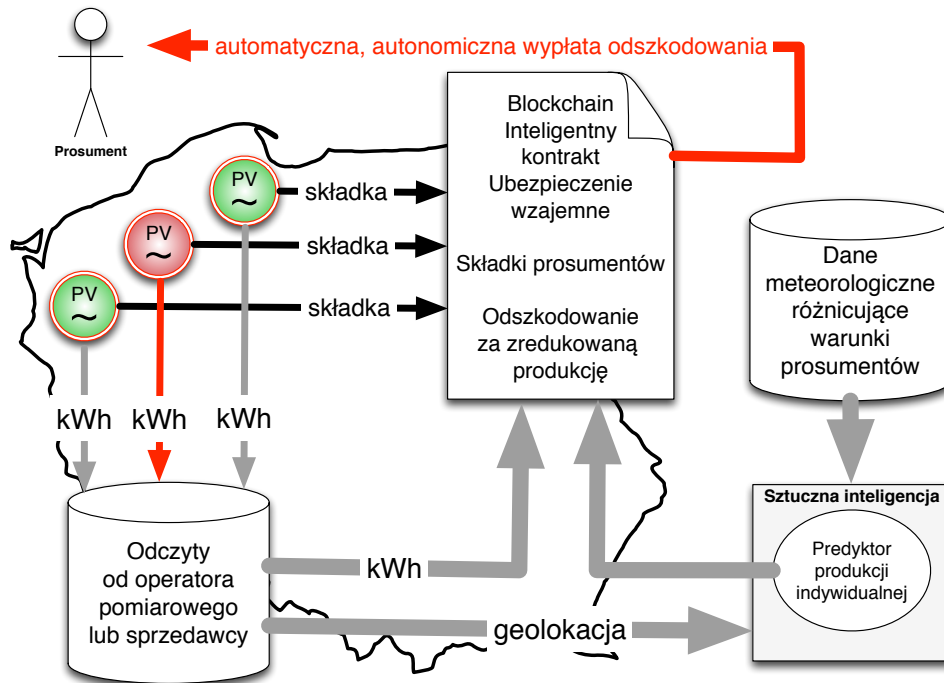
**Obieg informacji ewidencyjnej i technicznej z wykorzystaniem technologii blockchain.** W technologii blockchain każde działanie związane z transferem kryptowalut lub interakcją z inteligentnym kontraktem wymaga adresowania za pomocą numeru konta nadawcy oraz odbiorcy. W szczególności wykorzystując szyfrowanie asymetryczne za pomocą klucza prywatnego nadawca zezwala na wykonanie operacji w jego imieniu

natomiast za pomocą klucza publicznego wskazuje odbiorcę lub kontrakt, do którego skierowane jest działanie. Dla każdego konta w sieci blockchain generowany jest klucz prywatny oraz będący jego funkcją klucz publiczny będący jednocześnie adresem konta. Operacje dostępu do informacji mogą być śledzone ze względu na tożsamość nadawcy, czyli inicjatora przy założeniu zachowania klucza prywatnego w tajemnicy. W systemach finansowych regulacje prawne znajdujące wyraz w przepisach AMLD i KYC zmierzają do modelu akwarium, w którym uczestnicy rynku mogą robić wszystko pod warunkiem, że znana jest ich tożsamość i źródło pochodzenia środków którymi obracają [32]. Wydaje się, że w obrocie informacją należy zastosować podobne zasady, szczególnie gdy jakość informacji zależy istotnie od kompetencji osób je wprowadzających oraz ich zobowiązań czy cech osobistych.

Ze względu na rozproszony charakter sieci węzłów blockchain oraz dzielenie się zasobami informacyjnymi zdolności do magazynowania informacji są ograniczone ilościowo, co znajduje wyraz w cenie bajtów informacji przechowywanych w inteligentnych kontraktach. Dlatego też, w blokach przechowuje się jedynie skróty plików cyfrowych zmagazynowanych w zewnętrznych zasobach. Przez plik rozumie się długi ciąg znaków najczęściej składowany na trwałych nośnikach informacji. Skróty takie generowane są za pomocą technik szyfrowania i nazywane *hash* [33]. Jest to ciąg znaków kodujących całą zawartość pliku w sposób zapewniający prawie jednoznaczność odwzorowania. Oznacza to, że szanse na wygenerowanie takich samych skrótów dla dwóch różnych plików są prawie zerowe, oraz co równie ważne, że zmian choćby jednego bitu w pliku powoduje zmianę jego skrótu tak, że nie jest możliwe manipulowanie plikiem w celu uzyskania konkretnego skrótu. Oczywiście stwierdzenie to jest prawdziwe dla współczesnych możliwości obliczeniowych komputerów. Zasoby blockchain służące do zarządzania obiegiem informacji ewidencyjnej i technicznej zawierają adresy nadawców zmian, daty oraz skróty identyfikujące prawie jednoznacznie pliki przechowywane w zewnętrznych do blockchain systemach.

**Bezpieczeństwo ruchu i automatyczne ubezpieczenia kontraktów na dostawy energii elektrycznej.** Problemy z egzekucją 20 stopnia zasilania pozwalają na określenie funkcjonalności nowego systemu, w którym relacje z URE przyjmują postać inteligentnych kontraktów na odłączanie odbiorników zgodnie z komunikatami KDM. Kontrakty takie mogłyby zawierać dodatkowe zmienne umożliwiające pełną akceptację wyłączenia na dzisiejszych zasadach lub częściową, aż do odrzucenia wymagającą uiszczenia w trybie przedpłatowym opłaty podwyższonej. Modyfikacje uczestnictwa w zarządzanych ograniczeniach byłyby komunikowane do regulatora w trybie natychmiastowym zaś wdrażanie kontraktów wykorzystywałoby integrację kontraktów z urządzeniami wykonawczymi u odbiorcy. Decyzja o sposobie realizacji ograniczenia uwzględniałaby rachunek ekonomiczny odbiorcy, a w konsekwencji możliwe by było stopniowe rozszerzenie grupy uczestników w ramach odbiorców o mocy umownej >300kW oraz poza nią. Ten przykład ilustruje brak konieczności nakładania się topologii zasobów ze strukturą funkcjonalną konstruowanego procesu co w tym przypadku skutkuje rozszerzeniem katalogu relacji oraz podniesieniem skuteczności działań URE niezależnie od podmiotów pośredniczących: generujących, przesyłających, dystrybuujących czy sprzedających energię. W dalszej perspektywie możliwe jest zintegrowanie tych zadań z systemem DSM/DSR

i urynkowanie systemu bezpieczeństwa poprzez włączanie za pomocą mechanizmów rynkowych coraz szerszej grupy uczestników rynku zainteresowanych czerpaniem korzyści ze zróżnicowania cen zakupu lub sprzedaży energii i usług sieciowych ze względu na bezpieczeństwo systemu.



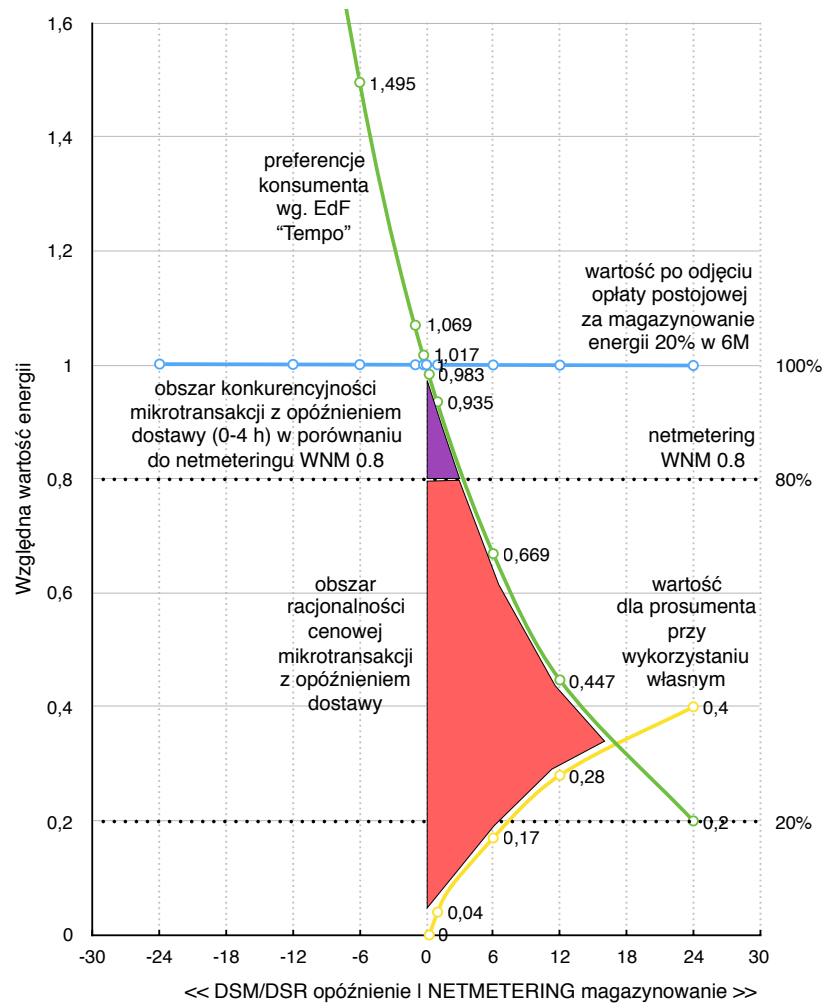
**Rys. 11. Schemat przepływu informacji w ubezpieczeniu realizowanym w technologii blockchain 3.0 z wykorzystaniem predykcyjnej metody oceny szkody w produkcji z OZE za pomocą narzędzi sztucznej inteligencji**

W szczególnie ważnym dla energetyki prosumenckiej, w obszarze generacji ubezpieczenia dzieli się na trzy obszary ze względu na źródło zagrożeń: żywiołowe-zewnętrzne, awaryjne-wewnętrzne oraz operacyjne wynikające z przerw w działalności. Zarówno polisy żywiołowe jak i awaryjne dotyczą istotnej zmiany zdolności produkcyjnych systemu ze względu na zaistnienie czynników o losowym charakterze. Określenie związku przyczynowo-skutkowego między ograniczonymi zdolnościami wytwórczymi i kosztem ich przywrócenia oraz zaistnieniem czynnika wymaga wnioskowania na podstawie pomiarów lub oględzin. Ten etap wnioskowania jest trudny do automatyzacji i wciąż pozostaje kwestią otwartą jak będzie realizowany w przyszłości, choć można już dziś wyobrazić sobie specjalizowane narzędzia np. pomiarów inteligentnych integrujących informacje pochodzące z wielu źródeł ułatwiające wnioskowanie o zaistnieniu i skali uszkodzeń co w połączeniu z outsourcingiem usług remontowych pozwoliłoby na implementację tego typu polis w środowisku blockchain.

W przypadku polis obejmujących ubezpieczenie od skutków przerw w działalności, zaistniała szkoda jest możliwa do automatycznego oszacowania za pomocą danych pochodzących od niezależnych operatorów pomiarowych. Utracone korzyści są łatwo weryfikowalne za pomocą danych zintegrowanych z innych instalacji pracujących w podobnych warunkach oraz antycypacji prawidłowych parametrów pracy ubezpieczonej

instalacji za pomocą metod sztucznej inteligencji wykorzystujących również inne źródła informacji (rys. 11) Implementacja systemu ubezpieczeń w środowisku blockchain jest więc naturalnym czynnikiem sprzyjającym rozwój produktów ubezpieczeniowych i to nie tylko dla działalności wytwórczej, ale również przesyłowej czy procesów po stronie odbiorcy uzależnionych od ciągłości dostaw energii i usług sieciowych. Stroną w inteligentnym kontrakcie może być ubezpieczyciel. Uruchomienie kontraktu wymaga nie tylko wpłaty dla dostawcy energii, ale również wpłaty bezzwrotnej składki reprezentującej pewny ekwiwalent możliwej straty, zaś ze strony ubezpieczyciela maksymalnej wartości odszkodowania. W zależności od stopnia realizacji dostawy energii lub usługi, zdeponowana kwota odszkodowania wraca do ubezpieczyciela lub jest wykorzystywana do pokrycia algorytmicznie rozliczonych roszczeń stron kontraktu. Oczywistym przy tym jest, że możliwe jest zawieranie tego typu ubezpieczeń również w ramach ubezpieczeń wzajemnych agregujących ryzyka wielu prosumentów. W takim przypadku koszty ubezpieczenia nie są obciążone rzeczywistym kosztem ubezpieczenia, generującym w innym przypadku zysk firmy ubezpieczeniowej. Wykorzystanie technologii blockchain w ubezpieczeniach jest popularne, w szczególności tam, gdzie łatwo jest weryfikować rozmiar szkód, np. za pomocą danych od niezależnych operatorów pomiarowych. Zastosowanie inteligentnych kontraktów agregatorów wiele ryzyk eliminuje zupełnie konieczność angażowania ubezpieczycieli i znacznie zmniejsza koszt ubezpieczeń. Niestety, mimo bogatej tradycji, obecnie forma ubezpieczeń wzajemnych jest w Polskim prawodawstwie traktowana w niekorzystny sposób faworyzujący ubezpieczycieli działających komercyjnie.

Ważnym aspektem kooperacji dostawców i odbiorców energii jest wielostronność inteligentnych kontraktów sterujących realizacją dostawy oraz rozliczeniem. Zarówno po stronie dostawcy, odbiorcy jak i pośrednika (np. przesyłowego) może dojść do sytuacji uniemożliwiającej wywiązanie się ze zobowiązań. W kontrakcie mogą zostać zapisane algorytmy wypłaty odszkodowań i kar pokrywanych ze środków zdeponowanych przez strony na koncie kontraktu. W innym rozwiązaniu środki te mogą być deponowane przez stronę trzecią pobierającą od kontrahentów opłatę zawierającą rzeczywisty koszt ubezpieczenia oraz premię za ryzyko. Ubezpieczenie może być integralnym koniecznym do spełnienia elementem kontraktu lub stanowić byt zewnętrzny podpięty do kontraktu właściwego i realizowany niezależnie od woli drugiej strony. Jeszcze inne rozwiązanie obejmuje ustawienie zamiast którejś ze stron kooperatywy zapewniającej wypłatę odszkodowań i kar w układzie wzajemnej asekuracji finansowej. Z kolei ciekawym rozwiązaniem niefinansowym jest wprowadzenie do kontraktu przejmującego zobowiązania techniczne kontrahenta i naliczającego od takiego działania premii za ryzyko. Wydaje się, że ta forma jest jedną z obiecujących metod uczestnictwa dużych podmiotów na otwartym rynku prosumenckim, zgodną z aktualnym kierunkiem rozwoju cen energii WEK. Wzrastające ceny funkcjonowania podmiotu oraz duże zróżnicowanie skali uczestników rynku w naturalny sposób wyznacza im miejsce i rolę do spełnienia.



**Rys. 12. Linie preferencji cenowych i obszary racjonalności dla opóźnionego zasilania, energii oddanej i net meteringu. Obszar niebieski wskazuje na racjonalność rynkową mikrotransakcji w zakresie opóźnień w odbiorach nie przekraczających kilku godzin, a więc najistotniejszych ze względu na zadania regulacyjne w sieci nN-SN. Mikrotransakcje te mogą być zrealizowane w zwirtualizowanej przestrzeni WME.**

**Integracja procesów transakcyjnych i regulacyjnych w zintegrowanej infrastrukturze nN-SN.** Do ciekawych konkluzji prowadzi integracja technologii opłat postojowych z usługami DSM/DSR oraz porównanie efektów jej zastosowania z mechanizmem net meteringu. Jak pokazano na rys. 12 preferencje cenowe odbiorców energii akceptujących opóźnienia w zasilaniu (oszacowane na podstawie doświadczeń firmy EDF) oraz przybliżona wartość energii dla prosumenta dostarczającego energię do sieci np. w ramach osłony OK2 z uwzględnieniem zmniejszonych kosztów dystrybucji możliwych do uzyskania np. w ramach mechanizmów sprzedaży sąsiedzkiej lub spółdzielni energetycznych przecinają się. Preferencje uczestników lokalnego rynku energii wyznaczają obszar racjonalności lokalnych transakcji. Porównanie cen z kosztami net meteringu wykorzystywanego w celu pokrycia potrzeb własnych prosumenta [8] pokazuje, że przy przykładowej wartości współczynnika net meteringu wynoszącej 0,8 sprzedaż energii do innych odbiorców z opóźnieniem dostawy nie przekraczającym kilku godzin jest korzystniejsza od magazynowania wyprodukowanej

energii u dystrybutora za pomocą net meteringu. Tego typu mikrotransakcje możliwe są wyłącznie w środowisku stymulującym szeroką partycypację i aktywizują uczestników rynku skazanych w innym przypadku na bierne uczestnictwo. Analiza taka pokazuje na konkretnym przykładzie jak technologia blockchain może być wykorzystana na lokalnym poziomie sieci do budowy rynkowych sprzężeń zwrotnych służących do realizacji celów regulacyjnych. Pomimo wielu wątpliwości środowisk inżynierskich integracja procesów technicznych z rynkowymi jest niezbędnym krokiem transformacji energetyki. Uzyskiwanie podobnych efektów za pomocą środków wyłącznie technicznych, może okazać się nieopłacalne zarówno w kategoriach względnych jak i bezwzględnych. Ponadto automatyzacja procesów biznesowych za pomocą technologii blockchain stwarza możliwości oferowania zupełnie nowych produktów i usług wykraczających poza dzisiejsze ramy energetyki. W szerszej perspektywie możliwa jest wirtualizacja zobowiązań prowadząca do zamiany zasady TPA na net metering i rozproszone operatorstwo [5][6].

**Perspektywy rozwoju technologii blockchain na rozproszonych rynkach energii elektrycznej.** Przedstawione zalety technologii blockchain przemawiają jednoznacznie za jej zastosowaniem na wschodzącym rynku użytecznej energii OZE [1]. Jest to technologia dość nowa i ewoluująca co widać przy zestawieniu starszej sieci Bitcoin z nowszą siecią Ethereum.

Główne zagrożenia wewnętrzne to skalowalność i zdolność do rozwoju [19]. Pomimo globalnego zasięgu zdolność do realizacji transakcji (przepustowość) sieci blockchain jest co najmniej o dwa rzędy wielkości mniejsza niż przepustowość systemów obsługi płatności elektronicznych. Zdolność do rozwoju wynika wprost ze sposobu organizacji środowiska rozwijającego daną technologię. Ryzyko dezintegracji środowiska tworzącego daną technologię może zaważyć, na jego przyszłości co jest przyczyną stagnacji technologicznej sieci Bitcoin.

Do czynników zewnętrznych zaliczyć można przede wszystkim otoczenie regulacyjne. Przełomowa innowacyjność wiąże się ze zmianą roli prawa. Można spodziewać się, że dopóki korzyści z nowej technologii będą przeważały nad niepewnością związaną z utratą starych instrumentów sterowania, stopień absorpcji technologii blockchain będzie wysoki. W naszych barwnych czasach ważny jest także kontekst globalny, technologia blockchain może wpłynąć nie tylko na zdolności transformacyjne postrzegane w kontekście wewnętrznym, ale również w obszarze konkurencyjności globalnej. Antycypowana fala automatyzacji zmusza do poszukiwania nowych form uczestnictwa ludzi w życiu gospodarczym. Jedną z szans jest czynne uczestnictwo w rynku energii, możliwe do powszechnej implementacji dzięki technologii blockchain.

Innym aspektem jest znaczenie ceny energii w strategii rozwojowej naszego kraju, gdzie wysokie ceny energii są wymieniane przez inwestorów jako czynnik ryzyka, zaraz po wzrastających kosztach pracy. W końcu należy wspomnieć o niepokojących tendencjach do negowania wartości technologii blockchain w niektórych państwach w tym w Unii Europejskiej. Stosowanie strategii FUD (*fear, uncertainty, and doubt*) wokół technologii, prowadzi do odcięcia gospodarek od owoców rozwoju technologii i w konsekwencji od możliwości ich skutecznego wykorzystania. Z drugiej strony wiele krajów od najbogatszych do najbiedniejszych pomimo obaw i świadomości wysiłku jaki pociąga

za sobą implementacja tej technologii i przechodzenie do otwartych modeli gospodarczych podejmuje wyzwanie i traktuje blockchain jako istotny element w przyszłym krajobrazie technologicznym świata. W szerszym kontekście rozwój technologii wspierających szerokie uczestnictwo w rzeczywistych procesach (w tym biznesowych, podobnie jak prawo do pracy) jest realnym narzędziem budowania nowych struktur społecznych i przeciwwagą dla *neurotechnologicznego* żywiołu rozbijającego podstawy funkcjonowania społeczeństw, i podjęcie tego wysiłku jesteśmy winni kolejnym pokoleniom. Rola energetyki jako dyfuzora jest niedościgniona przez wytwarzanie realnej wartości jaką jest dostarczana powszechnie energia. Możliwe, że jest to szansa dla tego sektora by przejąć pałeczkę w sztafecie rozwoju.

**Do opracowania niniejszego raportu zostały wykorzystane następujące materiały:**

**Cykl Raportów BŻEP *Transformacja energetyki w rynki energii użytecznej OZE. Perspektywa 2050*** : <https://www.cire.pl>, <http://klaster3x20.pl>

- [1] *Przełom w energetyce* (R1). Popczyk J. Październik 2017.
- [2] *Mono rynek energii elektrycznej (użytecznej) OZE* (R2). Popczyk J. Listopad 2017.
- [3] *Trajektoria transformacyjna 2018-2050 polskiej energetyki – zawężanie obszaru poszukiwań, etap 2* (R3). Popczyk J., Fice M. Listopad 2017.
- [4] *Struktura polskiego bilansu wytwórczego 2050 na mono rynku energii elektrycznej OZE – zawężanie obszaru poszukiwań, etap 3* (R4). Popczyk J., Bodzek K. Listopad 2017.
- [5] *Architektura wschodzącego rynku energii elektrycznej* (R5). Popczyk J. Listopad 2017.
- [6] *Techniczno-ekonomiczne ekwiwalentowanie osłon kontrolnych na mono rynku energii elektrycznej OZE i rynkach energii użytecznej – modele dla potrzeb inwestycyjnych i rozproszonego operatorstwa* (R6). Fice M. Listopad 2017.
- [7] *Kierunki rewitalizacji technologiczno-systemowej sieci elektroenergetycznych na mono rynku energii elektrycznej OZE i rynkach energii użytecznej* (R7). Popczyk J., Bodzek K. Grudzień 2017.
- [8] *Ekonomika prosumenckiej partycypacji w osłonach kontrolnych OK1, OK2 i OK3 na rynku wschodzącym energii elektrycznej w środowisku kosztów krańcowych długookresowych i kosztów unikniętych* (R8). Wójcicki R. Grudzień 2017.
- [9] *Elektrownia EW+ (Elektrownia Wirtualna Plus) Rzeczywista elektrownia rozproszona bilansująca popyt i podaż z dokładnością do regulacji pierwotnej, działająca w rzeczywistych ograniczeniach systemowo – sieciowych kontrolowanych przez rzeczywistą inteligentną infrastrukturę energoelektroniczną zarządzaną przez Internet Rzeczy* (R9). Popczyk J. Styczeń 2018.
- [10] *Intensyfikacja wydolności infrastruktury technicznej wschodzącego mono rynku energii elektrycznej OZE za pomocą układów energoelektronicznych, w środowisku nowych usług energetycznych* (R10). Michalak J. Styczeń 2018.
- [11] *Raport zamykająco-otwierający* (R11). Popczyk J. Styczeń 2018.



## Pozostale źródła:

- [12] G. Appleford, *Regulation of cryptocurrencies: national or global?*, Holland FinTech, [Online] <https://hollandfintech.com/2017/12/regulation-cryptocurrencies-national-global/>.
- [13] S. Bair, *Former FDIC Chair: Why we shouldn't ban bitcoin*, finance.yahoo.com, 2017. [Online] <https://finance.yahoo.com/news/former-fdic-chair-sheila-bair-shouldnt-ban-bitcoin-141019569.html>.
- [14] E. U. C. P. Moscovici, Interviewee, *Bloomberg Surveillance: Moscovici Sees No Need for EU to React on Bitcoin*, [Interview]. 2017.
- [15] ethereum.org, *A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*, 2018. [Online] <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>.
- [16] W. Gavin, *ETHEREUM: A SECURE DECENTRALISED GENERALISED TRANSACTION LEDGER*, ETHEREUM & ETHCORE, 2016. [Online] <http://gavwood.com/paper.pdf>.
- [17] N. Acheson, *Banks and the Blockchain Blues*, coindesk.com, 2018. [Online] <https://www.coindesk.com/banks-blockchain-blues/>.
- [18] M. del Castillo, *Patrick Byrne's warning about R3's blockchain consortium*, New York Business Journal, 2015. [Online] <https://www.bizjournals.com/newyork/news/2015/12/21/patrick-byre-s-warning-about-r3-s-blockchain.html>.
- [19] B. Armstrong, Interviewee, *The Twenty Minute VC: What are the 3 fundamental differences between Bitcoin and ethereum? What is Brian's opinion on the scaling path ahead for ethereum? How do the teams behind ethereum and Bitcoin differ and what effect do these differing approaches have?*, [Interview]. 2017.
- [20] *Wikipedia: Open business*, [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Open\\_business](https://en.wikipedia.org/wiki/Open_business).
- [21] Ripple, *Representing Demurraging Currency Amounts* 2017. [Online] <https://ripple.com/build/demurrage/>.
- [22] Sia Partners, *PSD2 and the Role of Fintechs: Shifting the Payment Landscape in Europe*, 2018. [Online] <http://en.finance.sia-partners.com/20171220/psd2-and-role-fintechs-shifting-payment-landscape-europe>.
- [23] *World Bank Open Data*, The World Bank Group, 2017. [Online] <https://data.worldbank.org>.
- [24] M. Merz, *Potential of the Blockchain Technology in Energy Trading*, [http://www.ponton.de/downloads/mm/Potential-of-the-Blockchain-Technology-in-Energy-Trading\\_Merz\\_2016.en.pdf](http://www.ponton.de/downloads/mm/Potential-of-the-Blockchain-Technology-in-Energy-Trading_Merz_2016.en.pdf), 2016.
- [25] C. Dwork and M. Naor, *Pricing via processing or combatting junk mail*, in *12th Annual International Cryptology Conference*, 1992.
- [26] V. Vishnumurthy, S. Chandrakumar and E. G. Sirer, *KARMA : A Secure Economic Framework for Peer-to-Peer Resource Sharing*, Department of Computer Science, Cornell University, Ithaca, NY 14853, 2003.
- [27] S. Nakamoto, *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, 2008. [Online] <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

- [28] C. Burger, A. Kuhlmann, P. Richard and J. Weinmann, *Blockchain in the energy transition. A survey among decision-makers in the German energy industry*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), ESMT GmbH, 2016.
- [29] V. Buterin, *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*, 2013. [Online] [http://www.the-blockchain.com/docs/Ethereum\\_white\\_paper-a\\_next\\_generation\\_smart\\_contract\\_and\\_decentralized\\_application\\_platform-vitalik-buterin.pdf](http://www.the-blockchain.com/docs/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf).
- [30] *Wikipedia: Maszyna Turinga*, 2017. [Online] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna\\_Turinga](https://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna_Turinga).
- [31] A. Stanley, *Quebec Lures Cryptocurrency Miners as China Sours on Industry*, Coindesk, 2018. [Online] <https://www.coindesk.com/quebec-lures-cryptocurrency-miners-china-sours-industry/>.
- [32] L. Coleman, *EU Commission Proposes Central Database Record of Bitcoin Users*, CCN, 2016. [Online] <https://www.ccn.com/eu-central-database-bitcoin-users/>.
- [33] M. Karbowski, *Podstawy kryptografii* Helion, 2006.
- [34] J. Laprise, *US National Security Agency Surveillance: A Problem of "Allegality"*, Oxford Human Rights Hub, The Faculty of Law, University of Oxford, 2013. [Online] <http://ohrh.law.ox.ac.uk/us-national-security-agency-surveillance-a-problem-of-allegality/>.
- [35] S. Das, *Bitcoin Sees Strict Rule Proposals by the European Commission*, CCN, 2016. [Online] <https://www.ccn.com/bitcoin-european-commission-proposals/>.

Adresy do celów uzgodnieniowych związanych z Zapisem dotyczącym Raportu:  
jan.popczyk@polsl.pl  
sebaskil@icloud.com