



Damian MROWIEC¹, Piotr SAŁUGA²

Analiza możliwości świadczenia usług redukcji zapotrzebowania na moc przez koparki kryptowalut w celu poprawy bezpieczeństwa energetycznego

Streszczenie: W ostatnim czasie duże zainteresowanie wzbudzają, wraz z otaczającym ich rynkiem, tzw. wirtualne waluty kryptograficzne, potocznie nazywane kryptowalutami. Równie dużą popularnością odznacza się obecnie stojąca za nimi technologia *blockchain*. Z perspektywy bezpieczeństwa energetycznego natomiast istotnym zagadnieniem jest charakteryzujący się bardzo dużą energochłonnością proces związany z wydobywaniem poszczególnych kryptowalut. Działanie to związane jest na ogół z zatwierdzaniem nowo powstających bloków w sieci *blockchain* oraz dołączaniem ich do sieci. Proces ten realizowany jest poprzez przeprowadzanie złożonych operacji matematycznych przez zróżnicowane urządzenia, które wymagają z kolei dużej mocy i zużywają odpowiednio dużo energii. Wpływ „koparek” kryptowalut na zapotrzebowanie na moc oraz energię najprawdopodobniej może się z czasem stopniowo zwiększać, w związku z czym zagadnienie to nie powinno być ignorowane.

Zestawiając powyższe informacje równolegle z rosnącym w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym zapotrzebowaniem na realizację usług redukcji zapotrzebowania, nasuwa się pytanie, czy urządzeń służących do wydobywania kryptowalut nie można wykorzystać właśnie do celu bilansowania systemu elektroenergetycznego. W niniejszym artykule przedstawiono analizę możliwości świadczenia usług DSR przez grupy użytkowników koparek kryptowalut, która została przeprowadzona przy uwzględnieniu podstawowych funkcjonalnych, technologicznych oraz ekonomicznych aspektów pracy tych urządzeń.

Słowa kluczowe: koparki kryptowalut, kopanie kryptowalut, kryptowaluta, usługi DSR, redukcja zapotrzebowania, bezpieczeństwo energetyczne

¹ PSE Innowacje, Katowice; e-mail: damian.mrowiec@pse.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

The analysis of the possibility of providing demand side response services by cryptocurrency miners in order to improve energy security

Abstract: A lot of interest has recently been put into the so-called 'virtual cryptographic currencies', commonly known as cryptocurrencies, along with its surrounding market. The blockchain technology that stands behind them is also becoming increasingly popular. From the perspective of maintaining energy security, an important issue is the process of mining individual cryptocurrencies, which is associated with very high energy consumption. This operation is usually related to the approval of new blocks in the blockchain network and attaching them to the chain. This process is carried out through performing complex mathematical operations by various devices, which in turn require high power and respectively consume a lot of energy. The impact of cryptocurrency miners on the power and energy demand level might gradually increase over time, therefore this issue shouldn't be ignored. Comparing the above information in parallel with the growing need for providing demand side response (DSR) services in the Polish Power System, raises the question whether devices used for mining cryptocurrencies can be used for the purpose of balancing the power system. This paper presents an analysis of the possibility to provide the demand side response services by groups of cryptocurrency miners users. The analysis was carried out taking basic functional, technological and economical aspects of these devices' operations into account.

Keywords: cryptocurrency miners, mining cryptocurrencies, cryptocurrency, demand side response, energy security

Wprowadzenie

W ostatnim czasie coraz większą popularność oraz zainteresowanie zdobywają, wśród bardzo zróżnicowanych grup odbiorców, zarówno kryptowaluty, jak i technologia *blockchain*. Z punktu widzenia szeroko pojętej energetyki natomiast, a w szczególności bezpieczeństwa energetycznego, istotnym zagadnieniem jest energochłonność procesu „kopania” kryptowalut. Szacuje się, że wydobywanie tylko jednej, najpopularniejszej wirtualnej waluty, jaką jest Bitcoin, charakteryzuje się aktualnie rocznym zużyciem energii na poziomie około 72 TWh (Bitcoin Energy... 2018). Jest to wartość zbliżona do niecałej połowy zużycia energii elektrycznej w Polsce w ciągu roku oraz odpowiadająca mniej więcej rocznemu zapotrzebowaniu na energię takich krajów jak na przykład Austria lub Chile. Ponadto, w odróżnieniu od ogólnej dynamiki wzrostu zapotrzebowania na energię na świecie, jeszcze rok temu (na przełomie lipca i sierpnia 2017 roku) Bitcoin konsumował niecałe 15 TWh rocznie, czyli prawie pięć razy mniej niż obecnie, a wartości te mogą stale wzrastać. Przytoczone dane pokazują, że ogromnej energochłonności „koparek” kryptowalut nie należy ignorować. Pomimo tego, że aktualnie zdecydowana większość wydobywania kryptowalut na świecie jest przeprowadzana w Chinach (How new technologies... 2018), coraz bardziej zwiększający się wpływ tego procesu na zapotrzebowanie na moc i energię może z czasem stać się również ważnym aspektem bezpieczeństwa energetycznego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Kolejnym istotnym zagadnieniem związanym z bezpieczeństwem energetycznym jest zdolność operatora systemu przesyłowego do reagowania, przy wykorzystaniu zróżnicowanych dostępnych metod, w przypadku konieczności zbilansowania KSE. Zgodnie z ustawą (Ustawa... 1997) operator systemu przesyłowego ma obowiązek, między innymi, do zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, zakupu usług systemowych niezbędnych do jego prawidłowego funkcjonowania oraz bilansowania systemu elektroenergetycznego. Jednym ze środków zaradczych związanych z wypełnianiem

powyższych obowiązków przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne jest wdrożony mechanizm świadczenia interwencyjnych usług redukcji zapotrzebowania na polecenie operatora systemu przesyłowego (ang. *Demand Side Response* – DSR). Rozwiązanie takie jest jednym z możliwych sposobów aktywizacji strony popytowej (Rasolomampionona i in. 2010). Koparki kryptowalut z kolei, w przypadku agregacji ich mocy i spełnienia poszczególnych założeń, mogą charakteryzować się bardzo dużym potencjałem do realizacji tego rodzaju usług.

1. Proces wykopywania kryptowalut

W celu scharakteryzowania samego procesu kopania kryptowalut należy w pierwszej kolejności zaznaczyć, czym jest technologia *blockchain*, z racji dużego powiązania ze sobą tych zagadnień. Ogółem, *blockchain* to tzw. łańcuch bloków służący do przechowywania oraz przesyłania różnorodnych informacji. Szczegółowy sposób funkcjonowania sieci *blockchain* został przedstawiony między innymi w (Antonopoulos 2018).

Termin wykopywania różnych kryptowalut odnosi się natomiast do zatwierdzania nowo powstających bloków w sieci *blockchain*, a następnie dołączaniu ich do danego łańcucha bloków w sieci (Shepherd i Afifi-Sabet 2018). Proces ten najczęściej oparty jest na koncepcji tzw. dowodu pracy (ang. *proof-of-work*). Polega on na przeprowadzaniu złożonych operacji matematycznych, których celem jest znalezienie odpowiedniego rozwiązania. Jednym z głównych elementów mechanizmu „dowodu pracy” jest poszukiwanie tzw. haszu (skrót), który związany jest z funkcją haszującą (inaczej nazywaną również funkcją mieszającą lub funkcją skrót). Podstawową właściwością takiej funkcji jest jej jednokierunkowość. Oznacza to, że posiadając dane wejściowe funkcji skrót, łatwo jest wygenerować jej hasz, natomiast posiadając sam skrót nie ma możliwości wyznaczenia w łatwy sposób danych wejściowych. Wprowadzenie tych samych danych wejściowych zawsze będzie skutkowało otrzymaniem tego samego skrót, w związku z tym proces odwrotny do funkcji mieszającej można porównać do zwykłego zgadywania rozwiązania. Każda „koparka” musi więc sprawdzić jak najwięcej możliwości i wykonać jak najwięcej prób, do czasu znalezienia poprawnego rozwiązania. Poszczególne „koparki” rywalizują między sobą i tylko ta, która pierwsza znajdzie odpowiednie rozwiązanie, tworzy blok i dodaje go do łańcucha. W ramach „wynagrodzenia” otrzymuje ona następnie pewną umowną ilość danej kryptowaluty, a pozostali użytkownicy, z racji bardzo łatwej możliwości weryfikacji skrót, sprawdzają poprawność dodanego bloku danych (Konstantopoulos 2017).

Łatwo więc zauważyć, że urządzenie potrafiące generować jak największą liczbę skrótów w jak najkrótszym czasie, posiada dużo większą szansę na najszybsze znalezienie poprawnego rozwiązania. W związku z tym, czym wyższa jest moc obliczeniowa charakteryzująca daną koparkę, tym większa szansa na dodanie przez nią danego bloku danych do łańcucha. Podchodząc do problemu od strony praktycznej, można stwierdzić, że w zamian za udostępnienie mocy obliczeniowej danego urządzenia w celu rozwiązania skomplikowanych zadań matematycznych, których poprawność jest łatwa do zweryfikowania, otrzymuje się jako wynagrodzenie pewną ilość danej kryptowaluty.

2. Urządzenia służące do kopania kryptowalut

Proces kopania kryptowalut wymaga określonej mocy obliczeniowej, w związku z tym konieczne jest posiadanie odpowiedniego urządzenia, które jest w stanie takową moc udostępnić. Urządzenia wykorzystywane do tego celu nazywane są potocznie „koparkami” i najczęściej są to standardowe komputery osobiste, serwery obliczeniowe oparte na układach procesorów graficznych oraz wyspecjalizowane narzędzia typu ASIC.

Jedną z najprostszych metod kopania kryptowalut jest posłużenie się zwykłym komputerem domowym. Rozwiązanie takie jest z reguły wystarczające i umożliwia zapewnienie minimalnej mocy obliczeniowej nawet przy wykorzystaniu do obliczeń wyłącznie samego odpowiedniego procesora głównego (ang. *Central Processing Unit* – CPU). Efektywność takiej metody jest jednak prawie zerowa. Lepszym wyjściem, chociaż przy obecnym szeroko rozpowszechnionym i spopularyzowanym już rynku kryptowalut również mało efektywnym, jest wykorzystanie komputera wyposażonego w odpowiednią kartę graficzną posiadającą duże możliwości obliczeniowe. W takim przypadku konieczne jest natomiast właściwe skonfigurowanie karty graficznej do procesu kopania kryptowalut przy wykorzystaniu dedykowanego do tego celu programu oraz skryptu.

Karta graficzna komputera odpowiada za wyświetlany obraz poprzez renderowanie oraz konwersję grafiki do właściwej dla wyświetlacza formy. Podstawową jednostką obliczeniową umieszczoną w karcie graficznej jest procesor graficzny (ang. *Graphics Processing Unit* – GPU), którego głównym zadaniem jest przetwarzanie danych, docelowo służących właśnie do renderowania grafiki. Podstawowa różnica pomiędzy procesorami głównymi a procesorami graficznymi polega na ich przystosowaniu do danego rodzaju i typu obliczeń oraz szybkości ich wykonywania. Procesory CPU, jako urządzenia sekwencyjne, przystosowane są do wykonywania ciągów prostych operacji matematyczno-logicznych i umożliwiają bardzo sprawne przetwarzanie sekwencyjne. Jednostki GPU oparte są z kolei na architekturze równoległej. W związku z tym procesory te bardzo dobrze nadają się do obliczeń równoległych, które na ogół wykonują dużo szybciej niż procesory klasyczne. Chociaż pierwotnie procesory graficzne zaprojektowane były tylko do przeprowadzania operacji i obliczeń związanych z grafiką, z czasem ich możliwość do szybkiego przetwarzania równoległego zaczęto wykorzystywać również do przetwarzania danych i wykonywania zadań obliczeniowych ogólnego przeznaczenia, podobnie jak w przypadku procesorów CPU (Kowalski 2015). Technika ta, pozwalająca na znaczne przyspieszenie niektórych obliczeń, najczęściej określana jest jako GPGPU (ang. *General-Purpose Computing on Graphics Processing Unit*).

Wykorzystanie procesorów graficznych do wykonywania obliczeń ogólnego przeznaczenia jest realizowane poprzez zastosowanie odpowiednich interfejsów programowania, takich jak na przykład OpenCL (ang. *Open Computing Language*) lub CUDA (ang. *Compute Unified Device Architecture*). Jedną z podstawowych platform programistycznych wyspecjalizowanych w obliczeniach jest właśnie interfejs OpenCL, który umożliwia zarządzanie bardzo zróżnicowanymi urządzeniami obliczeniowymi w komputerze, w tym również procesorami graficznymi. CUDA to z kolei interfejs pozwalający na wykonywanie obliczeń współpracujących, w przeciwieństwie do rozwiązania OpenCL, tylko z kartami graficznymi jednego producenta – firmy Nvidia.

Poprzez wykorzystanie wspomnianych technologii i rozwiązań, procesory graficzne mogą zostać zaadaptowane do znacznego przyspieszenia wykonywania równoległych obliczeń. Kryptografia natomiast, w tym również szeroko pojęty proces wykonywania obliczeń związanych z kopaniem kryptowalut, idealnie nadaje się do wykorzystania potencjału obliczeniowego układów graficznych. Niektóre testy wykazują, że poprzez wykorzystanie mocy obliczeniowej pojedynczej karty graficznej przy odpowiednim zastosowaniu można zwiększyć wydajność nawet kilkunastokrotnie w stosunku do pracy samego procesora głównego (Kowalski 2015).

Kolejną zaletą kart graficznych, w przeciwieństwie do standardowych procesorów głównych, jest możliwość ich dowolnego wielokrotnego łączenia w celu uzyskania większej mocy obliczeniowej. Jedne z najbardziej popularnych obecnie koparek kryptowalut, szczególnie do wydobywania tzw. kryptowalut alternatywnych (ang. *alternative coins*, *altcoins*), opierają się właśnie na konfiguracjach układów kilku kart graficznych wzajemnie połączonych z płytą główną. Urządzenia takie przystosowane są do przetwarzania dużych ilości danych, co jest ich głównym i podstawowym zadaniem. W związku z tym pełnią one rolę tzw. serwerów obliczeniowych. Koparkę tego typu złożyć może praktycznie każdy kupując osobno pojedyncze części lub już zmontowane w całości urządzenie o odpowiedniej konfiguracji (Pawłowicz i Opulski 2017). Standardowe zestawy złożone są z 6 lub 8 kart graficznych, ponieważ rozwiązania takie po odpowiednim zoptymalizowaniu mogą charakteryzować się bardzo dużą wydajnością. Popularność wydobywania kryptowalut ma również ogromny wpływ na dostępność i cenę samych kart graficznych.

Jak już wyżej wspomniano, zastosowanie takiego rozwiązania jest najbardziej efektywne w przypadku kopania kryptowalut alternatywnych, czyli ogółem wszystkich kryptowalut powstałych po oraz będących alternatywą do pierwszej i najbardziej popularnej z nich, którą jest Bitcoin (Piech red. 2016). Z racji bardzo rozwiniętego już procesu kopania tej kryptowaluty na przemysłową skalę, efektywność wydobywania Bitcoina przy użyciu zestawów opartych na kartach graficznych jest bardzo niska. W początkowym okresie istnienia Bitcoina, do jego kopania wykorzystywano najczęściej zwykły procesor komputera. Z czasem wzrastania trudności procesu jego wydobywania, wzrostu na znaczeniu całego rynku kryptowalut oraz w szczególności profesjonalizacji kopania kryptowalut, rentowne przestało być nawet kopanie przy użyciu układów kart graficznych charakteryzujących się dużą wydajnością (Kampl 2014). Kopanie tej kryptowaluty zostało aktualnie prawie w pełni zdominowane przez tzw. specjalizowane układy scalone typu ASIC (ang. *Application-Specific Integrated Circuit*). Głównym założeniem tych urządzeń jest realizacja z góry określonego zadania. W związku z tym koparki kryptowalut typu ASIC posiadają dedykowane pod kopanie kryptowalut procesory i są specjalnie zaprojektowane oraz wyspecjalizowane do wykonywania obliczeń związanych z wydobywaniem danej kryptowaluty. Mając na uwadze szybkość realizacji tego procesu dla jednej konkretnej kryptowaluty, na przykład Bitcoina, przewaga jednostek ASIC nad innymi rozwiązaniami jest drastycznie duża. Procesory główne ogólnego przeznaczenia, zarówno jak i procesory graficzne, nie mają ściśle określonego jednego zastosowania i potrafią wykonywać bardzo zróżnicowane operacje. Co za tym idzie – zyskują na uniwersalności w rodzaju wykonywanych działań, natomiast tracą na samej szybkości ich przeprowadzania. Urządzenia typu ASIC są z kolei stworzone do wykonywania najczęściej

jednej konkretnej, powtarzającej się i z góry ustalonej operacji matematycznej. Z perspektywy procesu wydobywania Bitcoina, jedyna istotna operacja jest związana z funkcją haszującą (funkcją skrótu) i właśnie do jej realizacji są przystosowane koparki typu ASIC.

Wydobywanie niektórych kryptowalut, w szczególności tak popularnej jak Bitcoin, jest obecnie sprofesjonalizowane do takiego stopnia, że posiadacze największych mocy obliczeniowych tworzą w swoich „kopalniach” duże klastry obliczeniowe. Ogółem, układy takie można określić jako zespoły składające się z połączonych grup współpracujących ze sobą serwerów obliczeniowych lub innych urządzeń przeznaczonych do tego celu. W ten sposób tworzone są tzw. farmy koparek odznaczające się na ogół bardzo dużą przestrzenią, która wypełniona jest w niektórych przypadkach nawet kilkoma tysiącami urządzeń typu ASIC.

Pomimo tego, że układy ASIC wypierają stopniowo koparki wykorzystujące układy kart graficznych, nie są one w stanie w pełni zastąpić wszystkich rozwiązań. Istnieje wiele kryptowalut, które oparte są na innych algorytmach, dla których stworzenie układów typu ASIC jest stosunkowo trudne i nieopłacalne ekonomicznie. Należy jednak zaznaczyć, że z każdym wprowadzeniem nowej lub udoskonaleniem istniejącej technologii umożliwiającej bardziej wydajne kopalnie poszczególnych kryptowalut, poprzednie rozwiązania regularnie stają się mniej opłacalne i przestają być wykorzystywane. Ponadto wraz z pojawianiem się coraz droższych koparek o coraz wyższych mocach obliczeniowych i większych możliwościach, sam proces wydobywania kryptowalut podąża w kierunku bardziej scentralizowanym. Jest to głównie związane z ograniczoną dostępnością nowych urządzeń, brakiem odpowiednich środków na ich zakup przez poszczególnych „mniejszych” użytkowników, często bardzo długim czasem oczekiwania na sprzęt, jego niskiej żywotności oraz towarzyszącym temu większym ryzykiem inwestowania w moc obliczeniową.

3. Koparki kryptowalut a usługi DSR – aspekty funkcjonalne i technologiczne

Funkcjonujące dotychczas w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym rozwiązania dotyczące redukcji zapotrzebowania wprowadzone przez OSP bazują na dwóch podstawowych programach świadczenia usług DSR: program gwarantowany oraz program bieżący. Program gwarantowany zakłada wynagrodzenie dla uczestniczących w nim odbiorców zarówno za samą realizację usługi, jak i za pozostawanie w gotowości do jej realizacji. Program bieżący natomiast przewiduje wynagrodzenie tylko w przypadku rzeczywistego wykonania zapotrzebowania na polecenie OSP.

Chcąc ocenić możliwości świadczenia usług redukcji zapotrzebowania przez użytkowników koparek kryptowalut, należy w pierwszej kolejności określić, czy w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym istnieje wystarczający potencjał tych urządzeń do realizacji usług tego rodzaju. W związku z tym w pierwszej kolejności trzeba odpowiedzieć na pytanie, czy w Polsce jest odpowiednio dużo koparek kryptowalut o odpowiednio dużej mocy.

W ostatnim zakończonym przetargu na redukcję zapotrzebowania w programie gwarantowanym, ogłoszonym przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne, zakontraktowane w ofer-

tach moce gwarantowane poszczególnych wykonawców tych usług mieściły się w zakresie od 10 do 185 MW. Moc pojedynczego urządzenia wydobywającego kryptowaluty, nawet zaliczanego do grupy najbardziej energochłonnych koparek, jest oczywiście zbyt niska, aby samodzielnie świadczyć usługi DSR na przytoczonym poziomie mocy. Zaimplementowane obecnie mechanizmy przez PSE dopuszczają jednak agregację wielu obiektów przez jeden podmiot. Odbiorca wykonujący interwencyjną redukcję zapotrzebowania może umowę zawrzeć bezpośrednio z OSP lub z reprezentującym go podmiotem agregującym. W związku z tym urządzenia te należałoby łączyć w grupy a moc poszczególnych koparek kryptowalut agregować. Z perspektywy obecnych programów oraz założeń realizacji redukcji zapotrzebowania minimalny wolumen redukcji, jakim musiałyby dysponować podmioty agregujące poszczególne grupy koparek kryptowalut w celu złożenia istotnej minimalnej oferty, wynosi 10 MW. Ze względu na specyfikę urządzeń wykorzystywanych do wydobywania kryptowalut, szczegółowe rozpoznanie i podanie ich konkretnych wielkości oraz liczby jest zadaniem ogromnie trudnym. Pewne wnioski można natomiast sformułować na podstawie bardzo zróżnicowanych ogólnodostępnych w sieci źródeł. W Polsce występuje sporo przypadków posiadania przez poszczególnych użytkowników zainstalowanych grup koparek kryptowalut o mocy rzędu kilkudziesięciu, kilkuset kilowatów, a nawet na poziomie około jednego megawata. Szacuje się więc, że potencjał tych urządzeń w KSE jest wystarczająco duży, aby w przypadku agregacji ich mocy spełnić powyższe warunki.

Ważnym zagadnieniem z perspektywy omawianej tematyki jest również konieczność uzyskania certyfikatu dla każdego obiektu redukcji (ORed), który zaświadcza o spełnieniu wymagań technicznych niezbędnych do prawidłowego świadczenia usług redukcji zapotrzebowania. W rozumieniu operatora systemu przesyłowego obiekt redukcji to obiekt fizyczny realizujący redukcję zapotrzebowania. Co za tym idzie, każda koparka kryptowalut chcąc świadczyć usługi DSR musiałaby również podlegać konieczności uzyskania certyfikatu dla ORed. W przypadku agregacji mocy bardzo dużej liczby koparek kryptowalut, certyfikacja wszystkich tych podmiotów z osobna może stanowić pewną barierę od strony praktycznej. Proces ten, wraz ze związanymi z nim procedurami, może w pewnym stopniu zniechęcać potencjalnych użytkowników do angażowania się w powyższe czynności. Natomiast z perspektywy spełnienia samych wymagań, dotrzymanie wymogów przez koparki kryptowalut jako obiekty redukcyjne, w celu otrzymania certyfikatu, nie powinno stanowić problemu.

Kolejną istotną kwestią konieczną do rozpatrzenia jest z kolei wymóg, zgodnie z którym certyfikacji podlegają obiekty, dla których przynajmniej jeden punkt poboru energii (PPE) przyłączony jest do sieci o napięciu powyżej 1 kV. Z perspektywy certyfikacji koparek kryptowalut, aspekt ten może stanowić kluczowy problem, ponieważ urządzenia te na ogół podłączane są do sieci niskiego napięcia. W przypadku utrzymania powyższych założeń szersze zaangażowanie się użytkowników koparek kryptowalut w realizację usług redukcji zapotrzebowania będzie prawdopodobnie bardzo mało realne. Należy w tym miejscu zaznaczyć natomiast, że w połowie 2018 roku Polskie Sieci Elektroenergetyczne poinformowały o planowanym uruchomieniu nowego programu w ramach usługi DSR, tzw. Programu Bieżącego Uproszczonego (DSR PBU). Mechanizm ten oparty jest na rozwiązaniach wypracowanych w ramach programu bieżącego, jednak finalnie miałyby funkcjonować przy

braku poszczególnych barier i ryzyka dla jego wykonawców oraz charakteryzować się mniej skomplikowaną formułą (Socha 2018). Program bieżący uproszczony ma docelowo zostać skierowany do wszystkich odbiorców energii elektrycznej. Wprowadzenie DSR PBU przez operatora systemu przesyłowego będzie wymagało dokonania pewnych zmian w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP). Jedną z planowanych zmian jest właśnie likwidacja ograniczenia związanego koniecznością posiadania przez potencjalny obiekt redukcji przynajmniej jednego punktu poboru energii przyłączonego do sieci o napięciu powyżej 1 kV. Działanie takie rozwiązałoby jednocześnie zasygnalizowany powyżej problem i pewną barierę, umożliwiając jednocześnie grupom użytkowników koparek kryptowalut realizację redukcji zapotrzebowania na polecenie OSP w ramach usługi DSR.

4. Koparki kryptowalut a usługi DSR – aspekty ekonomiczne

W celu oceny opłacalności świadczenia usług redukcji zapotrzebowania przez użytkowników koparek kryptowalut należy w pierwszej kolejności oszacować, jaki zysk proces ten może wygenerować w czasie, w którym redukcja mogłaby być realizowana. Zarobki te można następnie porównać z możliwym do otrzymania wynagrodzeniem za wykonywanie usług DSR w ramach funkcjonujących obecnie i planowanych do wprowadzenia programach.

Z perspektywy opłacalności procesu wydobywania kryptowalut, do najważniejszych parametrów danego urządzenia zaliczyć można jego pobór mocy oraz wydajność. Również istotnymi czynnikami, jednak niezależnymi od danej koparki kryptowalut, są kurs poszczególnych kryptowalut oraz trudność ich kopania. Pobór mocy przez dane urządzenie determinuje ilość zużywanej przez koparkę energii w czasie jej pracy. Koszt zakupu energii jest natomiast podstawowym składnikiem koniecznych do ponoszenia kosztów zmiennych pracy każdej koparki kryptowalut. Wydajność danej koparki, określana również jako jej moc obliczeniowa, oznacza liczbę możliwych do wykonania przez to urządzenie operacji związanych z odgadywaniem danego skrótu, czyli tzw. haszu, w ciągu jednej sekundy (Zieliński 2017). Wielkość ta wyrażana jest na ogół w możliwej do przeliczenia liczbie hasza danego algorytmu na sekundę (h/s). Wartość poszczególnych kopanych walut wirtualnych determinowana jest przez ich kurs na giełdzie kryptowalut. Kurs ten może być bardzo zróżnicowany i, tak samo jak na każdej innej giełdzie, niemożliwe jest dokładne przewidzenie jego wartości, a jakiegokolwiek próby z tym związane ograniczają się jedynie do spekulacji. Trudność kopania jest natomiast ściśle związana z całkowitą wielkością mocy obliczeniowej, jaką dysponuje dana sieć. Trudność rośnie wprost proporcjonalnie do wzrostu mocy obliczeniowej dostępnej w sieci. Oznacza to, że im więcej użytkowników wydobywa daną kryptowalutę oraz im więcej urządzeń wykorzystywanych jest do tego celu, tym trudniej jest daną kryptowalutę wykopać. Proces ten regulowany jest automatycznie przez poszczególne algorytmy, według których powstały dane kryptowaluty. Przykładowo dla popularnego Bitcoina docelowo zakładany teoretyczny czas, w jakim przewiduje się wygenerowanie każdego nowego bloku wynosi około 10 minut (dla kryptowaluty Ethereum jest to około 10–19 sekund). W przypadku wzrostu liczby użytkowników wykopujących Bitcoina, a tym samym wzrostu mocy obliczeniowej sieci, algorytm dostosowuje trudność procesu kopania

i jednocześnie bardziej komplikuje przeprowadzane operacje, aby czas potrzebny do wygenerowania nowego bloku utrzymywał się na mniej więcej stałym poziomie (Nakamoto 2008). Aspekt ten jest niezwykle istotny, ponieważ w związku z regulowaniem trudności wykopywania kryptowalut, przy znacznym wzroście liczby urządzeń wykonujących ten proces, nawet duży wzrost wartości wykopywanych kryptowalut nie musi przekładać się na wyższe możliwe do osiągnięcia zyski.

W przypadku takich kryptowalut jak Bitcoin szansa pojedynczego użytkownika koparki lub grupy koparek kryptowalut na wygenerowanie nowego bloku w sieci właśnie przez niego, a w związku z tym na otrzymanie za ten proces wynagrodzenia, jest ogromnie niska. Skutkiem szansy na powodzenie takiego działania z prawie zerowym prawdopodobieństwem jest łączenie się poszczególnych użytkowników w duże grupy, nazywane potocznie kopalniami (ang. *pool*), które skupiają całkowitą moc obliczeniową zrzeszonych przez nie urządzeń. W takiej sytuacji szansa na wygenerowanie nowego bloku jest zdecydowanie wyższa, natomiast wynagrodzenie dzielone jest na poszczególnych użytkowników kopalni przy uwzględnieniu indywidualnie udostępnionej mocy obliczeniowej.

W tabelach 1 oraz 2 przedstawiono podstawowe parametry charakteryzujące jedne z najpopularniejszych i najczęściej wykorzystywanych aktualnie urządzeń do wydobywania kryptowalut. Zestawiona wydajność dotyczy kopania dwóch podstawowych i reprezentatywnych kryptowalut – Bitcoin oraz Ethereum. Jedną z ważniejszych właściwości przytaczanych urządzeń oraz ich pracy jest skalowalność efektów procesu wydobywania kryptowalut w bardzo dużym stopniu i na bardzo dużą skalę. Oznacza to, że w przypadku przykładowego serwera obliczeniowego składającego się z danej liczby kart graficznych lub odpowiedniej liczby urządzeń ASIC, dodanie do tej grupy podwojonej liczby GPU lub urządzeń ASIC spowoduje również podwojoną wydajność oraz pobór mocy, co przekłada się na proporcjonalnie wyższy zysk. Występują oczywiście różne konfiguracje urządzeń, których zastosowanie wraz z ich możliwą optymalizacją może przynieść zauważalną poprawę stosunku wydajności do poboru mocy. Dla ogólnych obliczeń mających na celu przedstawić pewną skalę wartości oraz niewymagających bardzo dużej dokładności można przyjąć jednak, że stosunek ten jest stały. W związku z tym, w przeprowadzonej analizie bazowano na parametrach pojedynczych kart graficznych oraz urządzeń ASIC, których wydajność została odniesiona do poboru mocy na poziomie 1 MW. Otrzymana moc obliczeniowa przypadająca na grupę urządzeń charakteryzujących się poborem mocy na poziomie 1 MW determinuje z kolei ilość możliwej do wydobycia kryptowaluty. Obliczenia te zostały oszacowane przy założeniu obecnie występującej trudności wydobycia zarówno kryptowaluty Bitcoin, jak i Ethereum. Zyski wyznaczono z kolei na podstawie ich kursu, dla którego rozpatrzono dwa przypadki. Pierwszy scenariusz zakładał najwyższy kurs, jaki dotychczas wystąpił od momentu powstania obu kryptowalut, natomiast drugi odnosił się do wartości na poziomie zbliżonym do kursu aktualnego (na przełomie lipca oraz sierpnia 2018 roku), który reprezentuje z kolei stosunkowo niekorzystne warunki. Od wartości tych odjęto koszt 1 MWh energii elektrycznej, przy założeniu średniej ceny 1 kWh z roku ubiegłego wynoszącej 0,5046 zł (Informacja Prezesa... 2018), dzięki czemu otrzymano możliwe do wygenerowania przez daną grupę urządzeń zyski w ciągu jednej godziny kopania, czyli ogółem możliwe do osiągnięcia wynagrodzenie odniesione do poziomu 1 MWh.

TABELA 1. Podstawowe parametry oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń dla urządzeń wykorzystujących wybrane karty graficzne, w przypadku wydobywania ETH (Ethereum)

TABLE 1. Basic parameters and results of calculations carried out for devices based on selected graphics cards, in the case of mining ETH (Ethereum)

Producent		Radeon	Radeon	Radeon	Nvidia	Nvidia
Model		RX 580	RX 570	RX Vega 64	GTX 1080 Ti	GTX 1070
Wydajność [Mh/s]		25–29	22–27	32–35	32–35	27–30
Pobór mocy [W]		180–190	125–150	200–270	200–250	140–150
Średnia wydajność na 1 MW mocy [Mh/s]		145 946	178 182	142 553	148 889	196 552
Szacunkowa ilość wykopanych ETH w ciągu 1 h		0,4042	0,4938	0,3950	0,4125	0,5446
Teoretyczny zysk odpowiadający 1 MWh [zł]	wysoki kurs ETH	1 452	1 885	1 407	1 492	2 131
	niski kurs ETH	197	352	181	211	440

Źródło: opracowanie własne.

TABELA 2. Podstawowe parametry oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń dla wybranych urządzeń ASIC, w przypadku wydobywania BTC (Bitcoin)

TABLE 2. Basic parameters and results of calculations carried out for selected ASIC devices, in the case of mining BTC (Bitcoin)

Producent		Halong Mining	Bitmain	Bitmain	Canaan
Model		Dragonmint T16	Antminer S9	Antminer S7	Avalon 7
Wydajność [Th/s]		16	12–14	4,5–5	6–9
Pobór mocy [W]		1 400–1 500	1 300–1 400	1 000–1 300	850–1 350
Średnia wydajność na 1 MW mocy [Th/s]		11 034	9 630	3 800	6 818
Szacunkowa ilość wykopanych BTC w ciągu 1 h		0,02232	0,01948	0,00769	0,01379
Teoretyczny zysk odpowiadający 1 MWh [zł]	wysoki kurs BTC	993	802	11	421
	niski kurs BTC	165	80	<0	<0

Źródło: opracowanie własne.

W ostatnim zrealizowanym przetargu na redukcję zapotrzebowania na polecenie OSP w programie gwarantowanym (maj 2018 roku) Polskie Sieci Elektroenergetyczne zakontraktowały oferty, uwzględniając zarówno okres letni, jak i zimowy, charakteryzujące się jednostkowymi cenami netto za gotowość w zakresie 55,74–137,40 zł/MWh. Oznacza to, że sama tylko opłata za gotowość do świadczenia redukcji przypadająca na 1 MWh w programie gwarantowanym może w niektórych wariantach, uwzględniających mało korzystne warunki, być zbliżona lub nawet wyższa niż możliwy do osiągnięcia zysk z procesu kopania kryptowalut przypadający na tę samą wielkość 1 MWh.

Zgodnie z wynikami przeprowadzonych obliczeń zamieszczonymi w powyższych tabelach, w przypadku bazowania na średnich wartościach wydajności i poboru mocy, najbardziej optymistyczny rezultat dotyczy kopania kryptowaluty Ethereum. Zakładając sprzedaż oszacowanej ilości wykopanych ETH przy najwyższym kursie, jaki dotychczas wystąpił, najwyższe do osiągnięcia zyski odpowiadające 1 MWh wyznaczono na poziomie około 2131 zł. Kwoty te można z kolei porównać z jednostkowymi maksymalnymi cenami netto za redukcję zapotrzebowania przewidzianymi w zakontraktowanych przez PSE ofertach, które dla programu gwarantowanego, wliczając oba dostępne okresy, mieściły się w zakresie 10 000–13 815 zł/MWh. W programie bieżącym natomiast zakontraktowano oferty na podobnym poziomie, w granicach 11 999–13 814 zł/MWh (netto). Koszty te są oczywiście zdecydowanie dużo wyższe niż możliwe do osiągnięcia teoretyczne zarobki z procesu kopania kryptowalut nawet w najbardziej opłacalnych przeanalizowanych warunkach. Powyższe porównanie pozwala zobrazować oraz przedstawić, w jak dużym stopniu opłacalne jest angażowanie się użytkowników grup koparek kryptowalut, poprzez agregację ich mocy, w programy redukcji zapotrzebowania.

Z perspektywy aktualnie funkcjonujących rozwiązań w obecnym mechanizmie usług DSR dla koparek kryptowalut najlepszą opcją byłby wybór najbardziej wymagającego programu, czyli gwarantowanego. W takim przypadku potencjał urządzeń służących do wydobywania kryptowalut mógłby być wykorzystany w największym stopniu, ponieważ program ten zakłada wynagrodzenie również za gotowość do świadczenia redukcji zapotrzebowania wraz z jej realizacją. Należy również mieć na uwadze, że sama rzeczywista redukcja zapotrzebowania jest kwestią niepewną i w związku z tym wątpliwe jest również otrzymanie jakiegokolwiek wynagrodzenia. Brak gwarantowanych kwot za gotowość do redukcji może zniechęcać potencjalnych odbiorców do angażowania się w te programy.

W omawianym przypadku wielkość rzeczywistej zrealizowanej redukcji zapotrzebowania, na podstawie której następuje późniejsze rozliczenie usługi, jest wyznaczana na podstawie profilu bazowego i rzeczywistego obciążenia. Różnica pomiędzy tymi wartościami to wolumen redukcji. O ile dla niektórych zakładów przemysłowych dokładne wyznaczenie profilu bazowego i operowanie jego wielkościami może być w mniejszym lub większym stopniu pewnym wyzwaniem, w przypadku urządzeń służących do wykopywania kryptowalut problem ten nie powinien występować prawie w ogóle. Koparki kryptowalut na ogół charakteryzują się stałym profilem obciążenia, który można przewidzieć w bardzo dużym stopniu. Stabilność tych urządzeń jest na tyle duża, że ich zużycie energii i pobór mocy w danym okresie czasu można określić z bardzo dużą dokładnością prawie w każdym momencie, w przeciwieństwie do niektórych dużych odbiorców przemysłowych. W związku

z tym, czynnikiem „odstrasającym” nie powinny również być kary przewidziane za zadeklarowanie się do świadczenia redukcji zapotrzebowania oraz późniejsze jej niewykonanie. Ryzyko niedotrzymania założeń związanych z możliwą pracą koparek kryptowalut i redukcją ich zapotrzebowania jest bardzo niskie.

Podsumowanie

W przeprowadzonej analizie pominięto całkowicie koszty związane z zakupem nowych urządzeń, które dla niektórych koparek kryptowalut mogą być bardzo duże. Zakłada się, że redukcję zapotrzebowania mogłyby świadczyć urządzenia już aktualnie zainstalowane i pracujące. Sytuacja, w której dla użytkowników serwerów obliczeniowych wyłączenie swoich urządzeń będzie znacznie bardziej opłacalne finansowo niż czerpanie zysków z procesu kopania kryptowalut, powinna w wystarczająco dużym stopniu zachęcać właścicieli tych urządzeń do dobrowolnego świadczenia usług DSR oraz pozostawania w gotowości do ich realizowania. Kolejną istotną kwestią, której w niniejszym artykule nie uwzględniono, jest generowanie przez urządzenia wydobywające kryptowaluty bardzo dużych ilości ciepła oraz związane z tym koszty. Warto jednak nadmienić, że w różnych miejscach na świecie występuje wiele przykładów praktycznego wykorzystania ciepła generowanego przez koparki kryptowalut na różne sposoby, na przykład do ogrzewania pomieszczeń.

Jedną z zalet koparek kryptowalut jest łatwa programowalność ich pracy, co oznacza że mogą one w prosty sposób zostać zaprogramowane do działania ukierunkowanego na pobór przez te urządzenia mocy o danej wielkości w danym czasie, zgodnie z konkretnym uprzednio zdefiniowanym i pożądanym profilem zużycia. Aspekt ten jest wyjątkowo ciekawy, ponieważ dzięki możliwości dowolnego zaprogramowania pracy z bardzo dużą dokładnością, koparki kryptowalut mogłyby również brać aktywny udział w szeroko pojętym mechanizmie zarządzania stroną popytową (ang. *Demand Side Management* – DSM), nie tylko w przypadku interwencyjnej redukcji zapotrzebowania. W związku z tym oraz charakterystyczną bardzo dużą stabilnością pracy koparek kryptowalut, urządzenia te mogłyby również zostać dostosowane do potrzeb KSE wynikających z konieczności bilansowania zapotrzebowania w systemie. W niniejszym artykule jednak uwaga została poświęcona interwencyjnej redukcji zapotrzebowania na polecenie OSP, w związku z czym poruszane zagadnienie nie jest szerzej rozwinięte.

Mając na uwadze łatwość oraz elastyczność redukcji zapotrzebowania, koparki kryptowalut posiadają zdecydowanie lepsze możliwości niż na przykład duże zakłady przemysłowe. W przypadku rzeczywistej redukcji zapotrzebowania przedsiębiorstwa mogą tracić ogromne kwoty pieniędzy i sam proces jest bardzo trudny do realizacji. Koparki kryptowalut natomiast to urządzenia, które są bardzo łatwe w obsłudze, ich uruchamianiu i wyłączeniu, a sam proces kopania kryptowalut determinuje już konieczność podłączenia tych urządzeń do sieci, co jest ich kolejną zaletą. Pomimo tego, że analiza opłacalności wydobywania kryptowalut jest trudna do wykonania z uwagi na bardzo dużą zmienność w czasie poszczególnych kluczowych czynników tego procesu, w artykule przedstawiono pewną skalę efektywności ekonomicznej. Redukcja zapotrzebowania przez omawiane urządzenia, w po-

równaniu z dużymi przedsiębiorstwami, może wygenerować straty na dużo niższym poziomie niż możliwe do osiągnięcia wynagrodzenie za świadczenie usług DSR oraz gotowość do ich realizacji.

Literatura

- Antonopoulos, A. 2018. *Bitcoin dla zaawansowanych: Programowanie z użyciem otwartego łańcucha bloków*. Wyd. II, Gliwice: Helion.
- Digiconomist 2018. *Bitcoin Energy Consumption Index*?. [Online] <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> [Dostęp: 29.07.2018].
- Kampl, A. 2014. Bitcoin 2-Phase Immersion Cooling and the Implications for High Performance Computing. *Electronics Cooling* t. 20, z. 1.
- Konstantopoulos, G. *Understanding Blockchain Fundamentals, Part 2: Proof of Work & Proof of Stake*. [Online] <https://medium.com/loom-network/understanding-blockchain-fundamentals-part-2-proof-of-work-proof-of-stake-b6ae907c7edb>, 2017 [Dostęp: 30.07.2018].
- Kowalski, M. 2015. *GPU i oprogramowanie, czyli procesor graficzny nie tylko do gier*. Softonet. [Online] <http://softonet.pl/publikacje/poradniki/GPU.i.oprogramowanie.czyli.procesor.graficzny.nie.tylko.do.gier.1304> [Dostęp: 2018-07-30].
- Nakamoto, S. 2008. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [Online] <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [Dostęp: 29.07.2018].
- Npower, 2018. *How new technologies will impact energy demand*. [Online] <https://www.npower.com/business-solutions/blog/2018/01/31/how-new-technologies-will-impact-energy-demand-2/> [Dostęp: 29.07.2018].
- Pawłowicz, W. i Opulski, P. 2017. *Czym jest Bitcoin, kryptowaluty i kryptokoparki?*. PC World. [Online] <https://www.pcworld.pl/news/Czym-jest-Bitcoin-kryptowaluty-i-kryptokoparki-Wyjasniamy,408704.html> [Dostęp: 30.07.2018].
- Piech, K. red. 2016. *Leksykon pojęć na temat technologii blockchain i kryptowalut*. Strumień Blockchain/DLT i Waluty Cyfrowe, Ministerstwo Cyfryzacji. [Online] https://www.gov.pl/documents/31305/0/leksykon_pojec_na_temat_tehnologii_blockchain_i_kryptowalut.pdf, 2016 [Dostęp: 29.07.2018].
- Rasolomampionona, D. i in. 2010. Przegląd istniejących mechanizmów DSR stosowanych na rynkach energii elektrycznej. *Rynek Energii* nr 4, s. 1–9.
- Shepherd, A. i Afifi-Sabet, K. 2018. *What is cryptocurrency mining?* ITPro. [Online] <http://www.itpro.co.uk/digital-currency/30249/what-is-cryptocurrency-mining> [Dostęp: 30.07.2018].
- Socha, J. 2018. *DSR – Program Bieżący Uproszczony*. Prezentacja ze spotkania informacyjnego w sprawie DSR PBU, Polskie Sieci Elektroenergetyczne, Konstancin-Jeziorna.
- Urząd Regulacji Energetyki 2018. *Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki nr 24/2018*. [Online] <https://www.ure.gov.pl/download/1/9076/info24.pdf> [Dostęp: 30.07.2018].
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, Dz.U. 1997, nr 54, poz. 348.
- Zieliński, J. 2017. *Na czym polega mining, czyli skąd biorą się bitcoiny?* BitHub. [Online] <https://bithub.pl/know-how/podstawy-4-na-czym-polega-mining/> [Dostęp: 30.07.2018].

