



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

DYSCYPLINA: automatyka, elektronika i elektrotechnika

ROZPRAWA DOKTORSKA

***Analiza wpływu super szybkiej alokacji
infrastruktury do ładowania samochodów elektrycznych
na rozwój elektromobilności, w scenariuszu implementacji
technologii Blockchain***

Autor: **mgr inż. Anna Zielińska**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej Bień prof. AGH
Promotor pomocniczy: dr inż. Mikołaj Skowron

Praca wykonana:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii

Kraków, 2022.



AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

FIELD OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY

SCIENTIFIC DISCIPLINE: automation, electronic and electrical engineering

DOCTORAL THESIS

Analysis of the impact of the allocation of superfast infrastructure for charging electric vehicles on the development of electromobility, in the implementation scenario of Blockchain technology

Author: **mgr inż. Anna Zielińska**

First supervisor: dr hab. inż. Andrzej Bień prof. AGH
Assisting supervisor: dr inż. Mikołaj Skowron

Completed in:

AGH University of Science and Technology in Krakow
Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering
Department of Power Electronics and Energy Control Systems

Krakow, 2022.

Podziękowanie

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Promotorowi, Panu dr hab. inż. Andrzejowi Bieniowi prof. AGH, za trud włożony w opiekę naukową, spostrzeżenia i wskazówki, które ukierunkowały moją pracę, oraz okazane zaufanie i poświęcony mi czas.

Pragnę podziękować również dr inż. Panu Mikołajowi Skowronowi za okazaną mi pomoc, cierpliwość, wsparcie i mobilizowanie mnie do pracy.

Streszczenie

Rozprawa doktorska porusza temat możliwości wykorzystania elementów technologii Blockchain do rozwoju rynku stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych. Rozprawa doktorska podejmuje problematykę zagadnienia z dyscypliny jaką jest elektrotechnika i łączy ją z elementami informatyki, ekonomii i finansów. Elektrotechnicznego wymiaru pracy nadaje aspekt dostępu do energii elektrycznej podczas procesu ładowania pojazdu eklektycznego, osadzonego w obszarze elektryfikacji transportu drogowego. Elementami ekonomii są przepływy pieniężne oraz rentowność i opłacalność szybkiej alokacji infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych (rozumianej jako zwiększenie ilości punktów ładowania), która to bezpośrednio wpływa na rozwój elektromobilności. Technologia Blockchain w pracy wykorzystana jest jako element nowoczesnej informatyka która może wkraczać w obszar produkcji, dystrybucji i odbioru energii elektrycznej.

Praca ma charakter badawczo–teoretyczny. Opracowany model matematyczny, symulujący proces rozliczania energii elektrycznej w procesie ładowania, skupia się na wpływie zwiększenia liczby stacji ładowania na rozwój elektromobilności. Wraz z szeregiem założeń, wytycznych oraz zebranych wyników pomiarów, opracowany model procesu ładowania prezentuje wybrane scenariusze rozwiązań. Na podstawie tych scenariuszy, określona została możliwość ekspansji rynku ładowarek, a tym samym pojazdów elektrycznych na polskich drogach.

Eksplicacja modelu matematycznego opisywanego w pracy, poprzedzona została analizą sposobów ładowania pojazdów elektrycznych skutkującą wyborem odpowiedniego rozwiązania technologicznego biorącego udział w modelowaniu. Opis funkcjonalności technologii Blockchain, przyczynił się do wybór metody Initial Coin Offering (ICO), czyli systemu pozyskiwania kapitału do finansowania inwestycji, oraz tokenizacji jako części systemu płatniczego za pobraną energię elektryczną. W pracy wykorzystano również wskaźniki ekonomiczne, tak aby zobrazować opłacalność opisywanego wpływu alokacji infrastruktury na rozwój elektromobilności.

Podejmując w rozprawie analizę rozwoju elektromobilności przy pomocy modelu matematycznego, posłużono się szeregiem założeń i wytycznych opisanych w pracy. Elementem pracy było przeprowadzenie symulacji mogących odzwierciedlać scenariusze w jakich pobierana może być energia elektryczna w procesie ładowania pojazdu. Uzyskane wyniki modelowania pozwoliły osiągnąć cele postawione w pracy, oraz wysnuć wnioski na temat najbardziej korzystnych rozwiązań modelu. W pracy pokazano możliwie najlepsze spodziewane wyniki finansowe dla uczestników algorytmu, tym samym przedstawiono obraz pozytywnego wpływ alokacji infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych na rozwój elektromobilności. Osiągnięcie głównego celu pracy widać na podstawie wyszczególnionych wyników ekonomicznych.

Praca pokazuje, że opracowany model matematyczny może służyć jako odzwierciedlenie rzeczywistości przy opisywaniu przedsięwzięcia w warunkach

obecnego rynku pojazdów elektrycznych, a za sprawą zawartych w silniku modelu rzeczywistych danych pomiarowych procesu ładowania, może być wykorzystany do symulacji rozliczania ładowania pojazdu elektrycznego przy implementacji elementów założeń technologii i protokołu Blockchain.

Poprzez opisanie innych możliwości i przykładów synergii zagadnień z tematyki elektrotechniki i technologii Blockchain, praca prezentuje również predykcje rozwoju poruszanego zagadnienia i możliwości aplikacyjne opracowanego modelu.

Abstract

The doctoral dissertation deals with the possibility of using the elements of Blockchain technology to develop the market of charging stations for electric vehicles. The doctoral dissertation deals with the issues of the discipline of electrical engineering and combines it with elements of computer science, economics and finance. The electrotechnical dimension of work is given by the aspect of access to electricity during the charging process of an electric vehicle, embedded in the area of electrification of road transport. The elements of the economy are cash flow, profitability and profitability of quick allocation of infrastructure for charging electric vehicles (understood as increasing the number of charging points), which directly influences the development of electromobility. Blockchain technology at work is used as an element of modern IT that can enter the area of production, distribution and reception of electricity.

The work is of a research and theoretical nature. The developed mathematical model, simulating the electricity billing process in the charging process, focuses on the impact of increasing the number of charging stations on the development of electromobility. Along with a number of assumptions, guidelines and collected measurement results, the developed model of the charging process presents selected scenarios of solutions. Based on these scenarios, the possibility of expansion of the market of chargers, and thus electric vehicles, on Polish roads was determined.

The explication of the mathematical model described in the work was preceded by an analysis of the methods of charging electric vehicles, resulting in the selection of an appropriate technological solution taking part in the modeling. The description of the functionality of Blockchain technology contributed to the choice of the Initial Coin Offering (ICO) method, i.e. a system for raising capital to finance investments, and tokenization as part of the payment system for the consumed electricity. The work also uses economic indicators to illustrate the profitability of the described impact of infrastructure allocation on the development of electromobility.

When analysing the development of electromobility using a mathematical model in the dissertation, a number of assumptions and guidelines described in the paper were used. The element of the work was to conduct simulations that could reflect the scenarios in which electricity may be consumed in the process of vehicle charging. The obtained modeling results made it possible to achieve the goals set in the study and to draw conclusions about the most favorable solutions of the model. The paper shows the best possible expected financial results for the participants of the algorithm, thus presenting a picture of the positive impact of the allocation of infrastructure for charging electric vehicles on the development of electromobility. The achievement of the main goal of the work can be seen on the basis of the specified economic results.

The work shows that the developed mathematical model can serve as a reflection of reality when describing the project in the conditions of the current electric vehicle market, and thanks to the actual measurement data of the charging process contained in

the engine, it can be used to simulate the charging of an electric vehicle while implementing elements of the technology assumptions and Blockchain protocol.

By describing other possibilities and examples of synergy of issues in the field of electrical engineering and Blockchain technology, the work also presents the predictions of the development of the issue and the application possibilities of the developed model.

Spis treści:

1. Wprowadzenie.....	13
1.1. Cel pracy	16
1.1.1 Cele szczegółowe.....	16
1.2. Teza pracy	17
1.3. Zakres pracy	17
2. Ładowania samochodów elektrycznych.....	19
2.1. Akumulatory w pojazdach elektrycznych	21
2.2. Stacje ładowania AC i DC dla pojazdów elektrycznych	24
2.3. Proces ładowania EV i integracja z siecią.....	35
3. Funkcjonowanie technologii Blockchain	43
3.1. Początki środowiska Blockchain.....	44
3.2. Funkcje i podstawowe elementy łańcucha bloków	45
3.3. Initial Coin Offering (ICO) jako metoda pozyskania kapitału początkowego	61
4. Wdrożenia elektromobilności i technologii Blockchain	65
5. Analiza rozwoju elektromobilności przy użyciu modelu matematycznego.....	75
5.1. Aktorzy modelu.....	78
5.2. Realizacja procesu ładowania	83
5.3. Założenia i ograniczenia do modelowania	88
5.4. Eksplikacja modelu i metod badawczych	98
5.5. Wyniki modelowania i analiza scenariuszy rozwoju elektromobilności	105
6. Analiza wyników pracy	127
7. Predykcja rozwoju, rekomendacje i integracja wiedzy	131
8. Podsumowanie.....	139
9. Słownik pojęć i definicji	143
10. Bibliografia	149
11. Spis tabel i rysunków	159

1. Wprowadzenie

Elektromobilność, Smart Grid, Blockchain – pojęcia te od dłuższego czasu na stałe wpisały się w obraz gospodarki i jak słowa klucze, nieustannie powtarzane, cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem w ramach dyskursu naukowego, politycznego oraz w mediach. Takie zainteresowanie widać również w sektorze energii elektrycznej i obszarze związanym z jej zarządzaniem. Elektromobilność możemy zdefiniować jako całokształt zagadnień związanych z użytkowaniem pojazdów z napędem elektrycznym (ang. electric vehicles, EV). Pojęcie „elektromobilność” odnosi się zarówno do aspektów elektrotechnicznych i eksploatacyjnych dotyczących EV, jak również do technologii i infrastruktury ładowania, Smart Grid, oraz do kwestii społeczno-gospodarczo-prawnych związanych z projektowaniem, produkcją, nabywaniem i użytkowaniem pojazdów elektrycznych i ich ładowaniem. Natomiast jako blockchain najczęściej rozumiana jest zdecentralizowana i rozproszona baza danych oraz jej funkcjonowanie, w której nie występuje centralny element przetwarzający dane (podmiot centralny) i nie ma scentralizowanego miejsca przechowywania danych. Baza ta może służyć do rejestrowania poszczególnych transakcji tj. pobierania energii elektrycznej i jej generacji, płatności związanych z przepływem energii lub innych zapisów zakodowanych za pomocą algorytmów kryptograficznych. Ale czy te dwa pojęcia: elektromobilność i blockchain można ze sobą połączyć? Jak ich wspólne funkcjonowanie wygląda w rzeczywistości? Czy są obszary gdzie mogą koegzystować i tym samym usprawniać rzeczywistość – pierwsza nasuwająca się odpowiedź na tak postawione pytania to – tak, oczywiście że mogą. Z obserwacji rynku widać jak blockchain staje się powszechnym i ciekawym rozwiązaniem, coraz częściej można w nim znaleźć odniesienia do środowisk, które z wielkim powodzeniem korzystają z tej technologii. Podobnie jak elektromobilność, która już od dłuższego czasu, ale jednak bardzo powoli i ostrożnie, wkracza w przestrzeń transportu kołowego w Polsce.

Połączenie tych dwóch dziedzin nauki i technologii, stanowi możliwość synergii pomiędzy elektrotechniką a branżami IT. Powiązanie blockchain z pracami dotyczącymi dystrybucji, rozliczeń i przepływów energii elektrycznej są nie tylko w trendach światowego rozwoju, ale również stanowią mocny punkt wzajemnego wsparcia. Gospodarka energią elektryczną, odczyty parametrów energii, telemetria, wartości mocy, wartości skutecznych napięcia i natężenia prądu, to pojęcia o tyle bliskie i odnoszące się do prowadzenia efektywnej polityki wykorzystywania energii elektrycznej, że podobnie jak wiele innych wpisują się w istotę elektromobilności. Zajmując tym samym, w dziedzinie nauki jaką jest elektrotechnika, tak istotne pod względem naukowym miejsce.

Dziś w rynek elektroenergetyki i procesu obrotu energią zaangażowany jest stosunkowo długi łańcuch pośredników, posiadających wiele ról w systemie, zaczynając od producenta, poprzez pośredników i dystrybutorów a kończąc na odbiorcy. Czy w przypadku zastosowania blockchain do rozliczania płatności kupna i sprzedaży energii elektrycznej powstanie możliwość bezpośredniego nawiązywania kontaktów pomiędzy tymi dwoma podmiotami rynku (producentem i odbiorcą)? Czy przyjęta dyrektywa unijna RED II może wymusić takie zmiany legislacyjne aby odbiorcy mogli swobodnie wymieniać się energią elektryczną? Odpowiedź jest jednoznaczna. Wykorzystanie technologii bloków do rozliczania procesu ładowania samochodów elektrycznych jest możliwe, wymaga jednak dużego wsparcia nie tylko ze strony ideowej, ale również ze strony rozwoju infrastruktury, punktów ładowania oraz popularyzacji samochodów elektrycznych, a także całego zaplecza badań i analiz naukowych umożliwiających modelowanie rynku energii i jego zachowań [1].

Rozwój elektromobilności może pomóc energetyce (mowa o energetyce Polskiej), ale będzie to też dla niej duże wyzwanie. Potrzeby inwestycyjne wynikające z wprowadzania na rynek samochodów elektrycznych i budowy infrastruktury do ich ładowania wymuszają modernizację i rozbudowę sieci przesyłowych i dystrybucyjnych oraz wyposażenie sieci w urządzenia regulujące stabilność tj. lokalne źródła wytwórcze, magazyny energii, czy elementy gospodarki wodorowej. Budowa infrastruktury do ładowania elektryków przyczyni się do rozwoju technologicznego, a obsługa procesu ładowania da możliwość rozwoju nowym koncepcjom takim jak wspomniane wykorzystanie technologii Blockchain. Aby jednak elektromobilność stała się realną alternatywą dla konwencjonalnych środków transportu, jej wdrożenie musi zostać poprzedzone modelowaniem zachodzących procesów ekonomicznych i kompleksową analizą finansową. Poddana analizą dotyczy również parametrów technicznych mających bezpośredni wpływ na lokalną infrastrukturę np. sieci dystrybucyjnych, zabezpieczeń, czy planowania nowych lokalnych źródeł zasilania a co najważniejsze rozwoju infrastruktury ładowarek, stąd potrzeba zgłębiania tematu pracy.

Energia elektryczna jako produkt do procesu ładowania pojazdów elektrycznych to również pytanie o źródło jej pochodzenia. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do procesu ładowania to kolejny milowy krok dla rozwoju źródeł rozproszonych, a jeszcze większy dla elektromobilności i blockchain, który dzięki istocie swojego

działania, może skutecznie śledzić wszystkie etapy procesu ładowania, wykorzystującego energię ze źródeł odnawialnych w czasie rzeczywistym. Źródła energii takie jak fotowoltaika, czy elektrownie wiatrowe, a w przyszłości zielony wodór, których moce zainstalowane będą kontynuować geometryczny wzrost, idealnie nadają się do kooperacji z procesem ładowania dla EV, oraz z blockchain jako miejscem kontrolowania, zarządzania, a co za tym idzie rozliczania procesów biznesowo – technicznych. Wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z energetyki odnawialnej idealnie współgra z procesem ładowania EV. Taki sposób połączenia technologii, daje podstawy sądzić, że to właśnie w tym kierunku należy spodziewać się rozwoju wspomnianych branż technologicznych i gospodarczych.

Chęć zajęcia się wspomnianą synergią elektrotechniki i IT¹ (ang. Information Technology) zrodzona została z obserwacji rynku, zwiększającej się świadomości odnośnie odnawialnych źródeł energii oraz coraz większej na polskich drogach liczby samochodów elektrycznych. Do wcześniej wymienionych dodać można potrzebę rozbudowy infrastruktury do ładowania EV, zarządzanie współczesnym systemem elektroenergetycznym i szeroko rozumiany Smart Grid. Na koniec III kwartału 2021 r. liczba zarejestrowanych aut elektrycznych (rynek Polski) wynosiła 33 143 sztuk. Z ogólnej liczby 16 037 sztuk stanowiły samochody zasilane tylko prądem (BEV, Battery Electric Vehicle), a 17 106 sztuk to pojazdy z napędem hybrydowym plug-in (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Dokonując porównania na przestrzeni poprzednich trzech lat, obiecującym jest fakt, że liczba aut w roku 2018, względem roku 2019 podwoiła się, a względem 2020 wzrosła o 140% [3]. Obecnie w Polsce jest już 39 328 sztuk zarejestrowanych samochodów elektrycznych (stan na koniec stycznia 2022 r.) [4]. Na całym świecie obecnie jest już ponad 10 000 000 pojazdów elektrycznych. Charakterystyka wzrostu zainteresowania pojazdami elektrycznymi jest obiecująca, z roku na rok, liczba EV wyraźnie rośnie, ale ciągle stanowi nikły procent popytu na samochody osobowe, a ich zasięgi na jednym ładowaniu baterii i dostępność stacji ładowania ciągle zmuszają do uważnego planowania dłuższych podróży [5].

Można przyjąć, że rozwój elektromobilności jest ściśle związany ze wzrostem liczby zarejestrowanych pojazdów elektrycznych ale i ze zwiększeniem liczby dostępnych punktów ładowania. Oznacza to, że potrzebą jest znalezienie nowych form finansowych dla tego typu działań (szczególnie dla budowy punktów ładowania). Blockchain poprzez m.in. mechanizmu Initial Coin Offering (ICO) idealnie wpisuje się w potrzeby rynkowe. ICO jako metoda pozyskiwania finansowania wykorzystująca kryptowaluty lub/i tokeny dając możliwość na zdobycie środków kapitałowych do budowy ładowarek. Stąd pojawia się wymóg znalezienia rozwiązania i mechanizmów: rozliczania procesu ładowania oraz kontroli i zarządzania w systemie Smart Grid, z użyciem elementów blockchain, kalkulacji ilości pobranej w procesie energii

¹Technologia informacyjna IT – dyscyplina informatyczna i branża na rynku pracy zajmująca się stosowaniem technologii obliczeniowych (oprogramowanie, sprzęt komputerowy) w biznesie, instytucjach państwowych, opiece zdrowotnej itp.. W szerszym znaczeniu (jako informatyka techniczna), obejmuje ona inżynierię oprogramowania, inżynierię komputerową, systemy informacyjne, cyberbezpieczeństwo i danologię. Jest ona także powiązana z sektorem teleinformatycznym [2].

elektrycznej, ekonomii pracy ładowarki, oraz alternatywnego sposobu finansowania punktów ładowania pojazdów elektrycznych.

1.1. Cel pracy

Odwołując się do rozwoju elektrotechniki i badania zagadnień związanych z energią elektryczną, ujętą w rozważaniach na temat pojazdów elektrycznych i procesu ich ładowania, powstał model matematyczny do rozliczania ilości pobranej energii elektrycznej w procesie ładowania pojazdów elektrycznych oraz alokacji nowych punktów ładowania, przy użyciu elementów technologii Blockchain, przy czym pod pojęciem alokacji należy rozumieć zwiększenie liczby stacji ładowania. Model skupiający się na procesie ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych, został przeanalizowany pod kątem korzyści ekonomicznych i możliwości technicznych. Istotnym problemem jest alokacja punktów ładowania pojazdów elektrycznych. Naprzeciw temu ograniczeniu wychodzi możliwość wykorzystania Initial Coin Offering (ICO), jako mechanizmu dedykowanego do pozyskiwania finansowania.

Koncepcja wykorzystania blockchain do opisu procesu rozliczania energii elektrycznej podczas ładowania samochodów elektrycznych oraz finansowania punktów ładowania, stanowi realną możliwość rozwoju elektromobilności. Kluczowym elementem dla posiadaczy EV jest możliwość dostępu do punktów ładowania. Za sprawą ICO ograniczenie to wydaje się być zniwelowane, a wykorzystanie rozliczeń zapisywanych na blokach daje gwarancję wiarygodności całego procesu. Dlatego też analiza ekonomiczna procesu, obserwacja rynku inwestycji w ICO oraz gospodarka energią elektryczną przy ładowaniu EV stała się podstawą do pokazania możliwości wynikających z synergii elektrotechniki i blockchain.

Celem pracy jest opracowanie metody do analizy przepływu, bilansowania i rozliczeń energii elektrycznej pobranej w procesie ładowania pojazdu elektrycznego w środowisku blockchain. Analiza wykorzystania ICO jako możliwości dla rozwoju rynku punktów ładowania oraz zbadanie zależności, wzajemnych powiązań, możliwości współistnienia dwóch środowisk: elektrotechniki użytkowej i blockchain przy rozwoju sektora elektromobilności.

Wykazanie, że wprowadzenie technologii Blockchain do zaproponowanego przez autorkę algorytmu do rozliczania energii elektrycznej może przyczynić się do dynamicznego rozwoju rynku samochodów elektrycznych poprzez zwiększenie liczby punktów ładowania i optymalne wykorzystanie energii elektrycznej.

1.1.1 Cele szczegółowe

Ocena rynku elektromobilności (w Polsce) i dostępnych sposobów ładowania pojazdów elektrycznych. Prezentacji rodzajów stacji ładowania i możliwych rozwiązań w tej dziedzinie (wraz z uwzględnieniem ich integracji z siecią elektroenergetyczną oraz wykorzystaniem małych źródeł wytwórczych) na podstawie której przygotowano

założenia do opracowanego modelu i dokonano wyboru odpowiedniej ładowarki biorącej udział w symulacjach modelowych procesu rozliczania energii elektrycznej.

Opis opracowanego przez autorkę oryginalnego modelu jako metody do rozliczania procesu ładowania pojazdów elektrycznych, wykazując przy tym, że blockchain jako zdecentralizowana platforma transakcyjna może być wykorzystywana w rozwiązaniach z dziedziny rozliczanie procesów, w tym procesu ładowania. Porównanie opracowanego modelu matematycznego z innymi rozwiązaniami łączącymi zagadnienia z dziedziny blockchain – elektromobilności i elektrotechniki.

Sformułowanie odpowiedzi na pytanie jak przepływy energii elektrycznej podczas procesu ładowania EV, narzędzia finansowe i środowisko blockchain wpłyną na rozbudowę stacji do ładowania pojazdów elektrycznych a przy tym ekspansję samochodów z napędem elektrycznym. Rozważania i analiza nad modelem matematycznym zakładającym symulację alokacji infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych oraz system obsługi ładowarek energii elektrycznej zarządzany dzięki technologii Blockchain jako obszar dystrybucji energii.

1.2. Teza pracy

Jest możliwe zastosowanie technologii Blockchain w elektroenergetyce, na potrzeby realizacji procesu ładowania pojazdu elektrycznego opartego na analizie technologicznej i finansowej, oraz obserwacji procesów ładowania pojazdów elektrycznych w obszarze „Smart Grid”.

Technologię Blockchain można zastosować do rozwiązań biznesowych wspomagających rozwój sieci punktów ładowania samochodów elektrycznych, z korzyścią dla każdego uczestnika procesu, tj. inicjatora (beneficjenta), inwestora oraz użytkownika pojazdu elektrycznego.

1.3. Zakres pracy

Rozdział 1 prezentuje wprowadzenie do pracy, przedstawienie celów i tezy pracy oraz szczegółowych ujęć rozważanych w pracy problemów.

W Rozdziale 2 pracy dokonano charakterystyki rynku pojazdów elektrycznych w Polsce. Opisano metody i sposoby ładowania EV, poprzez dokonanie analizy akumulatorów wykorzystywanych w pojazdach oraz rodzajów i specyfiki stacji do ładowania. Na podstawie dokonanej analizy wybrano konkretne urządzenie ładujące wykorzystywane przy modelowaniu algorytmu. Zaprezentowano opis procesu ładowania wraz z jego integracją z istniejącą siecią elektroenergetyczną.

W Rozdziale 3 zaprezentowano funkcjonowanie technologii Blockchain wraz z podstawowymi jej elementami oraz opisano mechanizm Initial Coin Offering (ICO)

jako metodę pozyskiwania kapitału inwestycyjnego na rozwój punktów do ładowania pojazdów elektrycznych.

Rozdział 4 omawia przykłady wdrożeń i synergii środowiska blockchain oraz elektrotechniki ze szczególnym uwzględnieniem elektromobilności i odnawialnych źródeł energii.

Rozdział 5 przedstawia szczegółowy opis i opracowanie modelu matematycznego stworzonego do rozliczania procesu ładowania wykorzystującego elementy technologii Blockchain. W rozdziale zaprezentowane zostały również wyniki przeprowadzonych symulacji scenariuszy rozwoju elektromobilności z uwzględnieniem założeń do symulacji.

Rozdział 6 prezentuje analizę wyników modelowania matematycznego opisywanego problemu i wnioski końcowe pracy.

W Rozdziale 7 opisana została możliwa predykcja rozwoju stworzonego na potrzeby pracy modelu, możliwości jego transformacji i wykorzystania w innych sektorach z dziedziny elektrotechniki, elektromobilności i OZE.

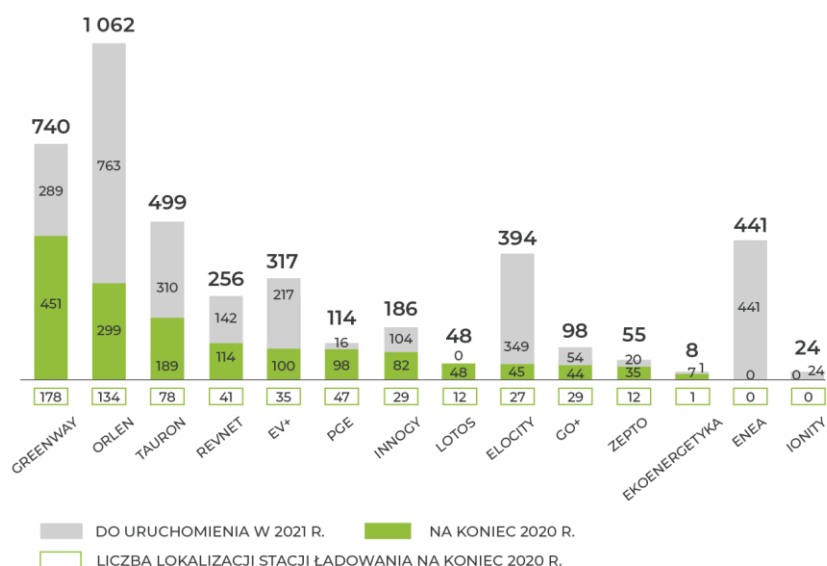
Rozdział 8 stanowi podsumowanie pracy wraz z wnioskami końcowymi na temat osiągniętych celów i udowodnionej tezy zawartej w pracy.

Rozdział 9, 10 i 11 są rozdziałami kończącymi pracę, zawierają słownik pojęć ujętych w opracowaniu, zestawienie bibliografii oraz spis rysunków i tabel zamieszczonych w pracy.

2. Ładowania samochodów elektrycznych

Zmiany klimatyczne i związane z nimi restrykcje, możemy zakwalifikować jako czynniki zwiększające w najbliższych latach udział pojazdów elektrycznych (ładowanych głównie z sieci niskiego napięcia) w ogólnej licznie rejestrowanych aut [6]. Zwiększające się tempo ekspansji, a za jego sprawą chwilowe i w zasadzie niekontrolowane obciążenia sieci, stanowić będą główny (ze względu na znaczną moc ładowania pojedynczego pojazdu elektrycznego) lokalny odbiór energii elektrycznej co wiąże się z pilną koniecznością uwzględnienia powyższego faktu w planowaniu dostaw energii elektrycznej [7]. Dlatego też w przyszłości, konieczne będzie inteligentne zarządzanie procesem ładowania pojazdów elektrycznych, uwzględniające dotychczasową dopuszczalną obciążalność sieci elektroenergetycznych (zwłaszcza niskiego napięcia). Kontrola procesu ładowania samochodów elektrycznych stworzy też nowe możliwości, które pozwolą na wykorzystanie pojazdu jako zasobnika energii (poprzez wykorzystanie jego baterii) do wsparcia w regulacji pracy systemu elektroenergetycznego [8, 9]. Lokalizacja stacji ładowania i kontrola procesu będzie niezwykle pomocna w zapewnieniu stabilności napięcia w sieci, odpowiedniej jakości energii oraz w zmniejszeniu strat sieciowych [10]. Dlatego też przekształtniki energoelektroniczne zainstalowane w samochodach elektrycznych oraz w stacjach ładowania koniecznie muszą zostać odpowiednio dostosowane do wspomnianych powyżej zadań [6]. Zbudowany model matematyczny zwraca uwagę na wszystkie wymienione wcześniej czynniki a opisując sposób na rozliczanie procesu ładowania pojazdów elektrycznych, szczególnie bierze pod uwagę urządzenie do realizacji ładowania – ładowarkę. Stawiając powyższe za jeden z celów pracy. Wybór odpowiedniej ładowarki, odpowiedniego urządzenia ładującego, które bierze udział w procesie symulacji ładowania i rozliczanie procesu jest niezwykle istotne. Dlatego też, na podstawie analizy rynku elektromobilności i dostępnych rozwiązań dokonywany jest wybór przykładowego urządzenia, którego parametry techniczne wykorzystywane są w symulacjach modelu i tworzeniu poszczególnych scenariuszy rozwoju

elektromobilności. Wybór ten jest o tyle istotny, że jak wspomniano w Rozdziale 1, ekspansja rynku ładowarek odgrywa bardzo istotny wpływ na rozwój elektromobilności i jest jej kluczowym czynnikiem [11, 12].

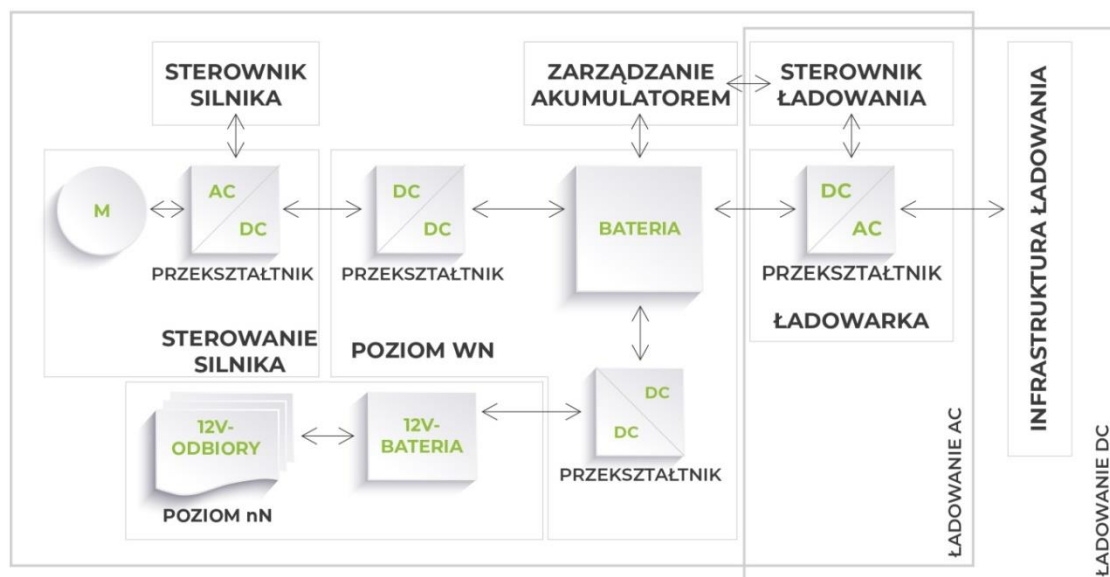


Rys.1. Liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych wraz z prognozami na rok 2021 [13]

Pomimo ogromnych trudności formalnych i długiego czasu oczekiwania na działania dystrybutorów energii, niemal wszystkie sieci stacji ładowania odnotowały w ubiegłym roku kilkudziesięcioprocentowy wzrost liczby punktów ładowania (Rys.1.). O ile na koniec 2019 roku ze stacji największych sieci ładowania mogło korzystać jednocześnie nieco ponad 900 aut elektrycznych, o tyle na koniec 2020 roku było to już ponad 1500 (wzrost o 65%). Plany 14 największych sieci przewidywały, że w grudniu 2021 do ich ładowarek jednocześnie będzie można podłączyć ponad 4 200 samochodów do ładowania. Zgodnie z tymi planami liczba lokalizacji, w jakich można by było naładować auto, powinna wzrosnąć z nieco ponad 600 na koniec 2020 roku, do ponad 1800 na koniec 2021 roku. Dla porównania, w Polsce działa obecnie nieco ponad 7700 stacji tankowania samochodów spalinowych [14]. Różnica jest ogromna, ale nie mówimy tu o chęci podążania za tradycyjnymi rozwiązaniami ale o możliwym przyspieszeniu tempa budowy infrastruktury dla aut elektrycznych. Dlatego to wybór odpowiedniej ładowarki będzie rozważany jako jeden z celów badawczych pracy. Aby jednak dokonać odpowiedniej selekcji urządzeń, sposobów ładowania i pasujących do siebie rozwiązań, istotne jest rozpoczęcie analizy od pierwszego elementu procesu widzianego od strony pojazdu elektrycznego, czyli akumulatora do magazynowania energii elektrycznej.

2.1. Akumulatory w pojazdach elektrycznych

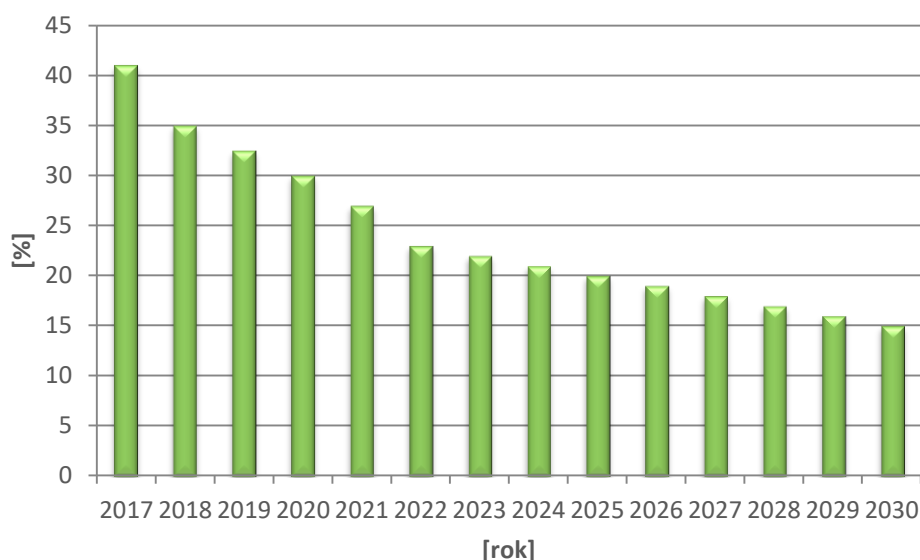
Pisząc o procesie ładowania i eksploatacji dobrze jest zacząć od centralnych elementów pojazdu elektrycznego jakimi są: napęd, akumulatory (trakcyjny i rozruchowy) i inne odbiorniki energii elektrycznej. Napęd w postaci silnika elektrycznego lub grupy silników i towarzyszące im przekształtniki są najbardziej energochłonnymi elementami pojazdu elektrycznego i zazwyczaj posiadają oddzielny układ zasilania. Mowa tu o dedykowanym akumulatorze trakcyjnym – stanowiącym zasobnik energii elektrycznej pojazdu, który zasila odbiorniki o różnych poziomach napięcia poprzez zwymiarowane przekształtniki (falowniki). Odbiorniki o niskim stopniu zużycia energii oraz odbiorniki służące do zapewnienia bezpieczeństwa podczas jazdy, tj. oświetlenie (światła, kierunkowskazy, układ wspomagania kierownicy itp.) są zasilane przez sieć 12 V DC i dedykowany ku temu akumulator. Wyższym napięciem stałym – 48 V lub bezpośrednio z dodatkowego akumulatora zasilane jest przeważnie ogrzewanie i klimatyzacja. Związane jest to z faktem, że moc pobieranej przez klimatyzację energii wynosi ok. 1 kW. Gdyby miała jej dostarczyć instalacja 12-voltowa, musiałaby wytrzymać prąd o bardzo dużym natężeniu – co może być kłopotliwe. Pomimo to, ze względu na straty, uzasadnione jest zwiększenie wartości tego napięcia – związane jest to bezpośrednio z rosnącą liczbą odbiorników energii elektrycznej podłączanych do systemu zasilania. W związku z tym wprowadzana jest nowoczesna technologia o wspomnianym napięciu 48 V DC [15, [16]. W najnowszych samochodach elektrycznych do zasilania napędu wykorzystywana jest instalacja o napięciu znamionowym od 90 V do 800 V [17]. Podglądowy schemat zawierający układ pojazdu elektrycznego widoczne jest na rysunku 2 (Rys.2.).



Rys.2. Schemat blokowy reprezentujący układ pojazdu elektrycznego [17]

Kolejnym ważnym elementem układu strukturalnego samochodu elektrycznego jest układ ogniw elektrochemicznych, zapewniający źródło zasilania. Istotne jest tutaj

zachowanie odpowiedniej relacji pomiędzy mocą znamionową pojazdu a pojemnością akumulatora. Akumulator w pojeździe musi spełniać wszystkie kryteria odnośnie bezpieczeństwa, swojej żywotności i pojemności [18].



Rys.3. Udział akumulatorów w ostatecznej cenie pojazdu elektrycznego [19]

Aktualnie najpopularniejszym i najczęściej stosowanym rozwiązaniem przy produkcji akumulatorów jest wykorzystywanie technologii litowo-jonowej. Szybki rozwój tej technologii i znaczące obniżenie kosztów wytwarzania akumulatorów, jak również zmniejszenie udziału kosztów akumulatorów w cenie końcowej EV znacząco przyczyniło się do zwiększenia zainteresowania produkcją pojazdów elektrycznych wyposażonych w akumulatory litowo-jonowe (Rys.3.). Ich dużą zaletą jest wysoka gęstość energii do 250 Wh/kg, wysoka gęstość mocy ponad 25 W/kg, niski poziom samorozładowania, długa żywotność wynosząca ponad 7000 pełnych cykli, sprawność do 90% [20] oraz szeroki zakres temperatur. Obszar bezpiecznej pracy stanowi dla producentów tych rozwiązań duże wyzwanie, albowiem wysoką gęstością energii lub też dużą wrażliwością na mechaniczne, elektryczne lub termiczne przeciążenie akumulatorów litowych może powodować niekontrolowany wzrost temperatury. Dlatego też norma DIN EN 50272 [21] określa ogólne wymagania dotyczące bezpieczeństwa w zakresie eksploatacji systemów akumulatorowych [21], do której to wymogów muszą odnosić się urządzenia ładujące. W normie ISO 6469 [22], wydanie drugie, zdefiniowany został kolejny standard, który określa wszystkie wymagania bezpieczeństwa dotyczące przechowywania akumulatorów wtórnych w pojazdach elektrycznych, niezależnie od składu chemicznego ogniwa lub obszaru zastosowania [21]. Ponadto w normie zostały zawarte wymagania dla akumulatora w odniesieniu do wydzielania się ciepła, izolacji i wyłączenia zwarć. Kolejna norma związana z pojęciem akumulatorów w pojazdach elektrycznych to norma DIN ISO 6722 [23] określa ona podstawowe wymagania dotyczące połączeń elektrycznych w pojazdach i zawiera informacje o kablach jednożyłowych zastosowanych w instalacjach pojazdu elektrycznych w zakresie napięć od 60 V do 600 V [23]. Wymiary, metody badań i wymagania zależne od materiału, zestawiono w poszczególnych częściach normy oraz

opisano w nich przekroje kabli jak i wymagania izolacyjne. Dodatkowo normy ISO 19642 [24] i ISO 14572 [25] rozszerzają aktualnie poziom napięcia aż do 1500 V DC oraz stosują głębszy podział na stosowane kable ekranowane i nieekranowane oraz na kable jednożyłowe i wielożyłowe.

Oprócz technologii litowo-jonowej, coraz częściej na rynku można zaobserwować akumulatory LFP – litowo-żelazowo-fosforanowe (Li-FePO_4), jest to rodzaj akumulatorów litowo-jonowych, cechujących się dużą żywotnością i bezpieczeństwem użytkowania (obecnie akumulatory Li-FePO_4 uznawane są za najbezpieczniejsze rozwiązanie pośród akumulatorów Li-Ion). W tej technologii katoda zbudowana jest ze związku litu, żelaza, fosforu i tlenu. Akumulatory LFP charakteryzują się dużą odpornością na rozładowanie przy niepełnych cyklach ładowania, co jest bardzo pożądaną cechą wśród wielu urządzeń elektrycznych, w tym pojazdów elektrycznych, cechują się one trwałością w przedziale od 1000 do 2000 cykli. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatur, wyróżniają się wysoką gęstością energii (90 – 120 Wh/kg) i wysokim napięciem jednostkowym (zakres napięcia pracy pojedynczego ogniwa: 2,50 – 3,65 V) [18]. Wykorzystanie w projekcie akumulatorów litowo-żelazowo-fosforanowych to duża oszczędność miejsca i wagi przy jednoczesnym zachowaniu tej samej ilości energii. Atutem akumulatorów LFP jest fakt, że mogą być ładowane dużym prądem i nie są podatne na tak zwany „efekt pamięci”. Ze względu na swoją trwałość i dużą liczbę cykli ładowania i rozładowania akumulatora, często wykorzystywane są do zastosowań motoryzacyjnych [26]. Obecnie w sektorze motoryzacji najczęściej można je spotkać w pojazdach autobusowych, nie mniej jednak moment kiedy zaczną być instalowane w autach osobowych to najprawdopodobniej tylko kwestia czasu. Najpopularniejszymi rozwiązaniami w tej technologii są produkty marek takich jak CALT czy Toshiba, posiadające zakres pracy od -20°C do $+55^\circ\text{C}$ oraz od > 4 000–6 000 cykli ładowania, oraz od -30°C do $+55^\circ\text{C}$ oraz powyżej 14 000 cykli ładowania (10 000 cykli to około 30 lat użytkowaniu przy założeniu codziennego ładowania).

Połączenie układu elektrycznego pojazdu z akumulatorem jest szczególnie istotne przy projektowaniu instalacji elektrycznej – potrzeba jest w pełni zabezpieczyć instalację w przypadku wystąpienia m.in. zwarcia. Przerwanie zwarć prądu stałego, które wiąże się z wymuszonym gaszeniem łuku elektrycznego jest ściśle określone w normie ISO 10924-5 [27]. W normie zostały również opisane wymagania co do wyłączników stosowanych w pojazdach elektrycznych oraz opisany został proces projektowania i obliczania wartości prądów i dopuszczalnych parametrów m.in. temperatury w przypadku wystąpienia zwarcia. Współpraca wymienionych systemów i komponentów pozwala bowiem na prawidłową realizację układu napędowego.

Oprócz wymienionych powyżej rozwiązań ważne jest aby wspomnieć o przydomowych magazynach (akumulatorach) energii, które również mogą być wykorzystywane do realizacji procesu ładowania. Takie rozwiązanie wykorzystywane jest w połączeniu z przydomową elektrownią tj. np. instalacja fotowoltaiczna, która produkując energię elektryczną, gromadzi ją w magazynie energii, po czym umożliwia

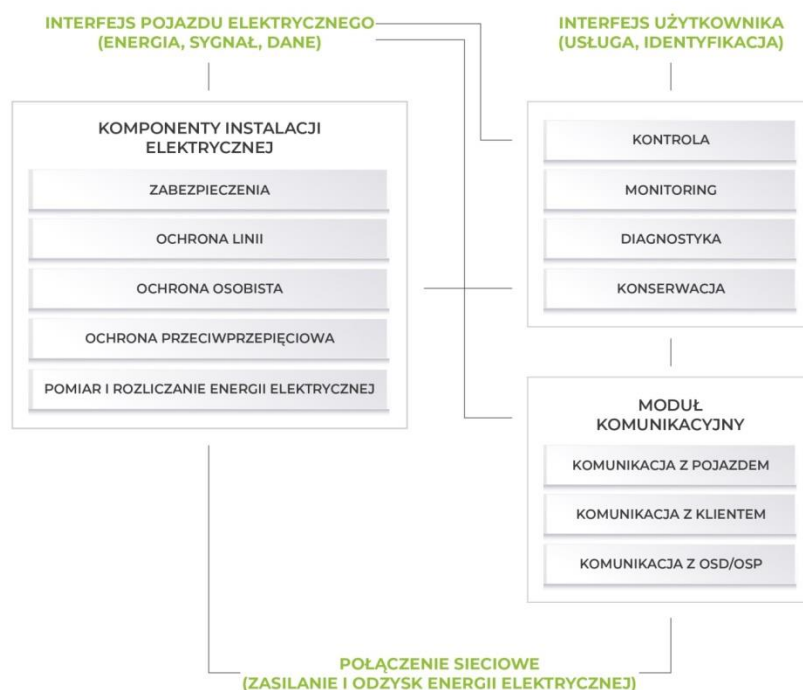
wykorzystanie jej do ładowania pojazdu elektrycznego w warunkach domowych. W takim połączeniu systemu OZE i magazynu energii elektrycznej – najczęściej stosowane rozwiązania to magazyny o pojemności użytkowej od 9 kWh do 13 kWh, dające dodatkowo możliwość zachowania niezależności energetycznej w czasie gdy uzysk energii z paneli PV jest zmniejszony, niemożliwy lub też zabezpieczające dom w sytuacji wyłączenia dopływu energii z systemu elektroenergetycznego (t.j. Tesla Powerwall 2) [28].

Powyższa analiza pokazuje jak wiele czynników należy wziąć pod uwagę aby auto elektryczne mogło uczestniczyć w procesie ładowania. Realizując cele pracy odnośnie wyboru odpowiedniego urządzenia do ładowania, opis rodzajów akumulatorów zlokalizowanych w pojazdach elektrycznych, przybliży do wyboru odpowiedniego urządzenia biorącego udział w pracy opisywanego modelu oraz w symulacjach ekspansji punktów do ładowania i ich wpływie na rozwój elektromobilności.

2.2. Stacje ładowania AC i DC dla pojazdów elektrycznych

Rozwój strefy ładowania pojazdów elektrycznych jest istotnym czynnikiem decydującym o sukcesie lub porażce elektromobilności zarówno w Polsce jak i na świecie. Mowa tu o infrastrukturze do ładowania, umożliwiającej krótki czas ładowania pojazdu, dostępność ładowarki oraz pobieranie opłat – czynniki te wydają się być niezbędnymi elementami warunkującymi zwiększenie udziału samochodów elektrycznym w transporcie. Kluczowa jest dostępność do stacji ładowania oraz rodzaj zastosowanej technologii. Dla użytkowników pojazdów elektrycznych priorytetem jest zwiększenie liczby punktów ładowania i zastosowanie technologii szybkich ładowarek (>50 kW) pozwalających na naładowanie akumulatora w kilkanaście minut, co w zasadniczy sposób uatrakcyjni elektromobilność w Polsce. Jak pokazuje Rys.1., 14 największych sieci w Polsce, do końca grudnia 2021, deklarowało umożliwienie jednoczesnego ładowania ok. 4230 samochodom elektrycznym na ponad 1500 stacjach ładowania w całym kraju. Dla porównania tych wielkości – szesnastka największych sieci paliwowych ma dziś 4,2 tys. stacji, a wszystkich stacji paliw w Polsce jest nieco ponad 7,8 tys. [14]. Jak zostało wspomniane wcześniej różnica jest ogromna, bardzo wyraźnie widać tendencje wzrostowe w kierunku zwiększenia liczby lokalizacji punktów ładowania i przyspieszenia tempa budowy infrastruktury dla aut elektrycznych. Nie mniej jednak od stacji ładowania pojazdów elektrycznych dzisiejszy użytkownik wymaga więcej. Bardzo ważne jest zapewnienie odpowiedniej obsługi, mowa tu o rozliczaniu procesu. Dla rozpatrywanej w pracy technologii Blockchain, cały system komunikacji i dostępnych rozwiązań zapewniających rozliczanie procesu w rozumieniu zapisów wartości pobranej/oddanej energii elektrycznej i należności jest niezwykle istotny. Dokładna analiza dostępnych rozwiązań jest uzasadniona, a porównanie systemów daje możliwość podjęcia odpowiedniej decyzji co do wyboru urządzenia biorącego udział w symulacjach z użyciem zbudowanego modelu i implementacji technologii Blockchain.

Rozpatrując cały proces ładowania bardziej holistycznie, stacja ładowania jest tylko jego elementem, ponieważ oprócz zadań polegających na dostarczaniu lub odbieraniu energii, przesyła dane i informacje związane z procesem ładowania: ilość pobranej energii, zakłóceń, taryfy w jakiej pobrana była energia, wybrane opcje płatności. Jest łącznikiem między siecią elektroenergetyczną i pojazdem, dlatego też, w kontekście takiego rozumienia procesu, istotnym jest również fakt zapewnienia bezpieczeństwa, w tym bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń oraz wymiany energii elektrycznej i informacji, oraz co najważniejsze, przejrzystości całego procesu, tj. kontroli procesów zachodzących podczas ładowania pojazdu. Aby zapewnić wspomniany przepływ informacji podczas ładowania na poniższym rysunku przedstawiono poszczególne interfejsy realizujące zadania zbierania i przesyłania informacji oraz kontroli pracy (Rys.4.).



Rys.4. Komponenty i interfejsy komunikacyjne dla stacji ładowania pojazdów elektrycznych [17]

W analizie dokonywanej na potrzeby wyboru odpowiedniego urządzenia ładującego, istotne jest zwrócenie uwagi na technologię przyłączenia pojazdu elektrycznego do sieci zasilającej. Można wyróżnić systemy ładowania przewodowego i bezprzewodowego (indukcyjnego) oraz rozwiązania polegające na wymianie całej baterii akumulatorów. Dla ładowania przewodowego można wyróżnić układy wykorzystujące prąd stały lub prąd przemienny o granicznej wartości prądu ładowania w zależności od dostępnej mocy ładowania. Na dzień dzisiejszy najbardziej popularnym sposobem ładowania jest system wykorzystujący przewodowy transfer energii, dla którego wyróżnia się dwie technologie ładowania: stacje ładowania AC (prąd przemienny) i stacje ładowania DC (prąd stały) zwane również stacjami szybkiego ładowania. Podział wspomnianych powyżej technologii został sklasyfikowany w Tab.1.

Tab.1. Podstawowe cechy stacji ładowania pojazdów typu AC i DC [17]

	Stacja ładowania AC	Stacja ładowania DC
Opis ogólny	Stacje ładowania AC wymagają znacznie niższych kosztów instalacyjnych. Moc ładowania zależy od przekształtnika zainstalowanego w pojeździe elektrycznym i ewentualnie jest ograniczona specyfikacją stacji ładującej. Obecnie najbardziej rozpowszechniony standard.	Stacje ładowania prądem stałym różnią się wydajnością energetyczną. Przekształtnik AC/DC jest zainstalowany w stacji, a ładowanie odbywa się przy odpowiednim napięciu akumulatora pojazdu elektrycznego i z wykorzystaniem prądu stałego. Oprócz wyższych kosztów zakupu i instalacji, należy uwzględnić również koszty konserwacji i okres eksploatacji. Ponadto pojazdy elektryczne muszą być również wyposażone w ten standard ładowania. Zaletą takiego systemu jest zmniejszenie wagi pojazdu elektrycznego (jeden konwerter DC/DC)
Moc ładowania	11k W lub 22 kW 400 V, prąd trójfazowy rzadko do 43kW	od 50 kW do 200 kW
Szybkość ładowania względem zasięgu	ok. 50–100 km w ciągu godziny (według specyfikacji przekształtnika w samochodzie elektrycznym 11 kW lub 22 kW)	ponad 200 km, które można doładować w ciągu jednej godziny

Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna określa cztery tryby ładowania zgodne z normą IEC 62196:

- Tryb 1 (Mode 1) – wolne lub półszybkie ładowanie ze zwykłego gniazdka elektrycznego jednofazowego lub trójfazowego, bez specjalnych systemów ochrony.
- Tryb 2 (Mode 2) – wolne lub półszybkie ładowanie z normalnego gniazda, ale z podstawowymi systemami ochrony, charakterystycznymi dla EV.
- Tryb 3 (Mode 3) – wolne lub półszybkie ładowanie za pomocą specjalnego gniazda wielopinowego EV z zaawansowanymi funkcjami sterującymi i zabezpieczającymi.
- Tryb 4 (Mode 4) – wolne, półszybkie lub szybkie ładowanie za pomocą specjalnych technologii ładowania (wyłącznie DC). Większość standardów złączy dotyczy prądu zmiennego, ponieważ ten jest łatwiej dostępny [29].

W przypadku ładowania z wykorzystaniem prądu AC najczęściej spotykane w pojazdach są ładowarki o mocy 3,6 kW. Nowsze modele samochodów elektrycznych posiadają już wbudowane ładowarki o większych mocach tj. 6 kW. Gniazda ładowania prądem zmiennym mają trzy standardy złączy wbudowanych w pojazdach:

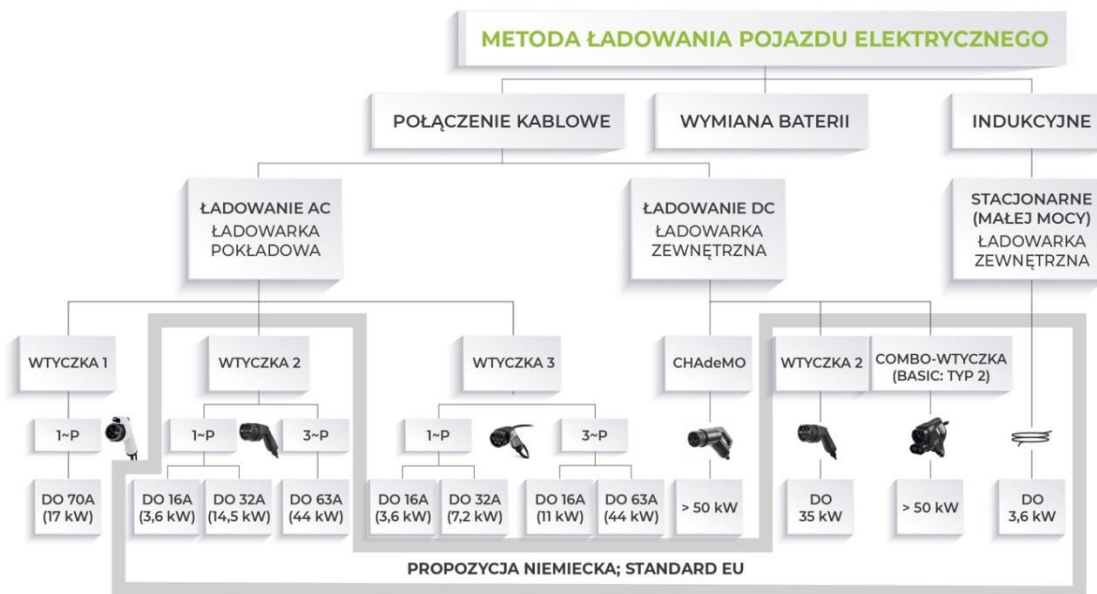
- Type 1 to standard ładowania obowiązujący głównie na terenie USA. Umożliwia ładowanie mocami 1,92 kW, 7,2 kW, 7,68 kW do maksymalnie 19,2 kW. Złącze dostarcza tylko prąd przemienny, jedno- lub dwufazowy. Na rynku występują także wersje zmodyfikowane tego rodzaju złączy, umożliwiające ładowanie przy wykorzystaniu prądu zmiennego, jednakże ze znacznie większą mocą: 36 kW (Type 1 Level 1) lub 90 kW (Type 2 Level 2). Istnieje także możliwość przerobienia złączy typu Type 1 na wtyczki do ładowania prądem stałym (Type 1 combo).
- Type 2. Nazywane „Mennekes” – od nazwy firmy, która go opracowała. W 2013 r. Type 2, w podstawowej wersji, został uznany za oficjalny standard złączy ładowania na terenie Unii Europejskiej. Stosują go obecnie wszystkie auta sprzedawane na terenie krajów unijnych, w również Tesla. Podobnie jak model Type 1, model Type 2 również można dostosować do korzystania z prądu stałego.
- Type 3. Nazywany także złączem typu Scame, jest to najstarszy rodzaj złącza. Ten standard gniazda występuje głównie w małych pojazdach elektrycznych, które wyprodukowane zostały przed 2010 r. Obecnie punkty ładowania z tym typem złączy praktycznie nie występują. Przy wykorzystaniu stacji ładowania zasilanych prądem zmiennym istotnym punktem jest charakterystyka sieci elektrycznej mająca wpływ na poziom ładowania: – instalacja jednofazowa umożliwia ładowanie z napięciem maksymalnie do 3,6 kW, – instalacja dwufazowa umożliwia ładowanie z napięciem maksymalnie do 6,6 kW, – instalacja trójfazowa umożliwia ładowanie z napięciem maksymalnie do 44 kW [29].

Drugim sposobem ładowania pojazdów elektrycznych jest wykorzystanie stacji szybkiego ładowania zasilanej prądem stałym (DC). Nowe standardy gniazd i złączy zmierzają do wykorzystania tylko prądu stałego. W tego typu rozwiązaniach ładowarka sama wytwarza prąd stały, który samochód kieruje wprost do baterii. Stosowanie prądu stałego znacząco przyspiesza proces ładowania EV. Obecnie jest to najszybszy sposób ładowania, ale o czym warto pamiętać – najdroższy. W punktach zasilanych prądem stałym samochód elektryczny ładowany jest za pomocą wbudowanego w pojazd gniazda o typach: CHAdeMO lub CCS/Combo. Czas ładowania w zależności od pojazdu wynosi do kilkunastu minut. CHAdeMO to standard który pozwala na dostarczenie prądu stałego o mocy do 62 kW (500 V, 125 A). CCS (ang. Combined Charging System) Combo2 to z kolei rozszerzenie standardu Type 2 o dwa duże piny ładowania prądem stałym. Standard Combo2 przystosowany jest do obsługi stacji ładowania z mocą nawet do 350 kW. Ostateczna moc ładowania zależy jednak od modelu samochodu. Natomiast z perspektywy mocy punktu ładowania, wyróżnić można następujące rodzaje punktów ładowania:

- wolne (AC) – o mocy do 7 kW,
- przyśpieszone (AC) o mocy 7–43 kW,
- szybkie (DC) o mocy 41–145 kW,

— ultraszybkie (DC) o mocy 150–350 kW [29].

Proces ładowania można jeszcze rozpatrywać z uwagi na przekształtnik. Ładowanie pokładowe będzie to ładowanie wykorzystujące przekształtnik AC/DC zamontowany w układzie energoelektronicznym pojazdu, natomiast przy ładowaniu zewnętrznym przekształtnik ten będzie należeć do infrastruktury stacji ładowania. Jeśli chodzi o specyfikację złączy zasilania pojazdów elektrycznych, w Europie jest opisana w normie EN 62196–1:2012 [30]. Wymagania w niej zawarte obejmują regulacje dotyczące bezpieczeństwa, zasilania i połączenia komunikacyjnego. Szczegółowy podział sposobów ładowania wraz ze standardami przyłączy kablowych został przedstawiony na rysunku 5 (Rys.5.).



Rys.5. Technologie ładowania i dostępne złącza zasilania pojazdów elektrycznych [6]

Oprócz ładowania poprzez złącze kablowe, wyróżnić możemy jeszcze ładowanie indukcyjne. Jest to metoda ładowania EV zapewniająca największy komfort użytkownika pojazdu. Eliminuje ona konieczność stosowania przewodu zasilającego, ładowanie odbywa się bezstykowo. Podczas procesu ładowania zazwyczaj auto zatrzymuje się na platformie (wymagane jest dokładne pozycjonowanie) i przy zachowaniu wysokich wymagań technicznych dotyczących przesyłania energii (kompatybilności elektromagnetycznej) następuje proces ładowania. Nie mniej jednak system ten, przede wszystkim za sprawą swojej wysokiej ceny nie jest wykorzystywany na szeroką skalę, najczęściej możemy go znaleźć tylko w autach klasy premium [31].

Mówiąc o stacjach należy wspomnieć również o elementach instalacji elektrycznej wchodzących w skład stacji ładowania pojazdów elektrycznych tj. o zabezpieczeniach w tym przełącznikach, wyłącznikach jak i urządzeniach odpowiedzialnych za ochronę linii kablowych lub napowietrznych (jeśli występują). Układy te (podobnie jak interfejsy pokładowe) również mają na celu zapewnienie odpowiedniego

bezpieczeństwa przy eksploatacji urządzeń przez użytkowników samochodów elektrycznych. Podobnie jak w przypadku innych instalacji elektrycznych powinna zostać zainstalowana ochrona przeciwprzebieciowa, przeciwpożarowa oraz instalacja pomiarowa złożona z mierników energii elektrycznej [17], szczególnie tam gdzie oprócz standardowych punktów ładowania mamy do czynienia z solarnymi carport'ami (parkingami zadaszonymi ogniwami fotowoltaicznymi PV), które to wykorzystujące ogniwa PV mogą produkować energię na potrzeby procesu ładowania [32].

Analizowana i omawiana infrastruktura do ładowania EV jest jednym z kluczowych elementów wdrażania elektromobilności. Dokonując wyboru urządzenia ładującego warto skupić się również na możliwości jego umiejscowienia, odpowiednio rozbudowana i dostępna sieć punktów ładowania jest niezbędna do zmian preferencji konsumentów i zniwelowania obaw przed korzystaniem z pojazdów o napędzie alternatywnym. Zagadnienie o lokalizacji stacji ładowania zostały uwzględnione w dokumentach strategicznych przyjmowanych w Polsce, mowa o Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych [33]. Ustawa nałożyła na jednostki samorządu terytorialnego (JST) obowiązek wybudowania w terminie do 31 grudnia 2020 r. minimalnej liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych związanych z charakterystyką demograficzną i transportową poszczególnych gmin (Tab.2.). W swojej treści ustawa wyznaczyła konkretne minima dotyczące liczby funkcjonujących punktów ładowania, jednak w dokumencie nie wskazano, w jaki sposób określać lokalizację takich urządzeń oraz jak ich funkcjonowanie może wpłynąć na funkcjonowanie sieci elektroenergetycznych w Polsce [29].

Tab.2. Wymogi dotyczące liczba punktów ładowania w JST w Polsce [33]

Charakterystyka gminy	Wymagana liczba punktów ładowania samochodów elektrycznych do 31.12.2020
Liczba mieszkańców > 1 000 000 Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych $\geq 600\ 000$ Wskaźnik motoryzacji* ≥ 700	1000
Liczba mieszkańców >300 000 Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych $\geq 200\ 000$ Wskaźnik motoryzacji* ≥ 500	210
Liczba mieszkańców >150 000 Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych $\geq 95\ 000$ Wskaźnik motoryzacji* ≥ 400	100
Liczba mieszkańców >100 000 Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych $\geq 600\ 000$ Wskaźnik motoryzacji* ≥ 400	60

*Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 1000 mieszkańców

Jeśli chodzi o wspomnianą lokalizację dla punktów ładowania to znalezienie optymalnego miejsca jest trudnym i stosunkowo nowym zagadnieniem, bezpośrednio związanym z liczbą oddawanych do użytkowania urządzeń. Dotychczasowe światowe trendy w rozwoju elektromobilności wskazują, iż większość z posiadaczy EV preferuje jako miejsce ładowania pojazdu własny dom, dzieje się tak nawet w przypadku gdy dysponują punktem ładowania w miejscu pracy [34]. Duża część kierowców pojazdów

elektrycznych zamieszkujących tereny miejskie głównie w zabudowach wielorodzinnych, nie dysponuje własnym punktem ładowania, wtedy to korzysta z ogólnodostępnych sieci ładowarek. Określenie lokalizacji punktów ładowania może zostać oparte na ogólnych wytycznych lub szczegółowych modelach – zagadnieniom takim poświęcono wiele badań w literaturze. Generalne ramy dotyczące lokalizacji punktów ładowania obejmują następujące wytyczne [35]:

- 10–20% miejsc parkingowych na gęsto zabudowanym terenie (bez strzeżonego parkingu) powinno być przeznaczonych na stacje ładowania pojazdów elektrycznych.
- Duża liczba ładowarek zlokalizowanych tuż obok siebie (tzw. huby po 10–20 urządzeń) jest najbardziej efektywnym sposobem budowy infrastruktury ładowania. Takie tworzenie infrastruktury upraszcza dostęp do sieci energetycznej oraz zmniejsza czas oczekiwania na ładowanie.
- Wytyczne dla lokalizacji publicznych stacji ładowania powinny uwzględniać konsultacje społeczne i potrzeby mieszkańców. Takie oddolne podejście sprawdziło się w wielu aglomeracjach miejskich z dużą liczbą EV.
- Przy planowaniu i budowie sieci ładowania dla pojazdów EV należy szczególnie zwrócić uwagę na pojazdy intensywnie eksploatowane, np. taksówki elektryczne.
- Koordynacja działań jest bardzo istotnym elementem budowy efektywnej sieci infrastruktury ładowania. Punkty ładowania często są równolegle instalowane przez wiele podmiotów oraz instytucji – co tworzy ryzyko pokrywania się działań i inwestycji oraz nierównomiernej rozbudowy sieci ładowania [29].

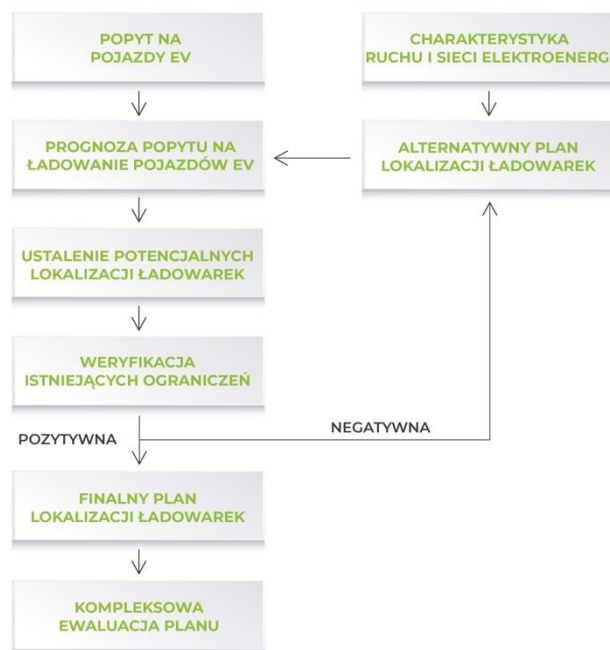


Rys.6. Rekomendowany podział infrastruktury ładowania pojazdów EV [35]

Kontynuując powyższą analizę, istotną kwestią jest fakt aby rodzaj i moc ładowarki była dostosowana do miejsca w którym ona funkcjonuje. Dlatego też stacje szybkiego ładowania są zalecane przede wszystkim dla autostrad i dużych węzłów komunikacyjnych, a najwolniejsze technologie ładowania mogą być stosowane

w miejscu zamieszkania i pracy, gdzie samochody są zaparkowane przez dłuższy czas (Rys.6.).

W literaturze znajduje się także duża liczba opracowań bardziej szczegółowo podchodzących do problemu lokalizacji punktów ładowania, w swoich pracach opisują je m.in.: Gis M. i Bednarski M. [36], Szymańska P., Szczur A., Zmuda–Trzebiatowski P. [37], Csiszár C. [38], Bouguerra S., Layeb S. [39], Pagany R., Marquardt A., Zink [40] oraz Merkisz–Guranowska A., Bieńczyk M., Kiciński M., Zmuda–Trzebiatowski P. [41]. Poświęcony jest temu obszar badawczy w zarządzaniu operacyjnym, tzw. Facility Location Optimization (FLO), który może być wykorzystywany do znalezienia optimum w lokalizacji różnego typu obiektów, nie tylko punktów ładowania [29]. Znalezienie optimum do lokalizacji punktu ładowania może być oparte na wielu źródłach tj.: parametry finansowe, teoretyczne modele wyborów dyskretnych (ang. discrete choice modeling), modelowanie ruchu pojazdów, symulacja matematyczna, badania ankietowe i kwestionariusze. Budowane modele wykorzystują obszerne dane demograficzne, urbanizacyjne jak i geograficzne (modele GIS). Wykorzystywane są również parametry ekonomiczne i dane kosztowe dotyczące budowy, obsługi i korzystania z sieci punktów ładowania. Do modelowania używa się również prognoz dotyczących rozwoju rynku i przyrostu liczby pojazdów elektrycznych a nawet stopień integracji przyszłego punktu ładowania z systemem publicznego transportu zbiorowego. Warto wiedzieć, że tego typu kalkulacje zazwyczaj wykonywane są dla poszczególnych regionów o swojej indywidualnej charakterystyce transportowej, ekonomicznej, itp. Dlatego też nie mają one charakteru uniwersalnych wytycznych. W praktyce ograniczają się do pojedynczych miast lub tras (tj. autostrada), i dlatego nie często stosowane są przy tworzeniu strategii rozwoju elektromobilności. Rys.7. prezentuje przykładowy, schemat planowania lokalizacji punktów ładowania. Powyższe działania wpisują się w główny nurt Smart Grid, czyli przekształcania tradycyjnych sieci elektroenergetycznych w inteligentne, czyli takie które (w korzystny finansowo sposób) integrują zachowania i działania wszystkich przyłączonych do niej użytkowników (generujących energię, odbiorców energii oraz tych, którzy realizują obydwie te funkcje) [42]. Smart Grid ma na celu zapewnienie zrównoważonego systemu zasilania, który jest efektywny ekonomicznie i charakteryzuje się niskimi stratami, a także wysokim poziomem jakości, bezpieczeństwa i niezawodności dostaw. Chociaż takie inteligentne rozwiązania znajdują się w wielu istniejących już sieciach, to różnica między nimi a inteligentną siecią przyszłości Smart Grid polega głównie na zdolności do realizacji w wydajny i skuteczny sposób oraz z większą złożonością zadań innych niż te, które występują obecnie. Inteligentna sieć będzie wykorzystywać innowacyjne rozwiązania (w tym opisywaną w pracy technologię Blockchain), produkty i usługi wraz z zaawansowanymi technologiami monitorowania, rozliczania, sterowania, komunikacji i samonaprawy.



Rys.7. Przykładowy schemat planowania lokalizacji punktów ładowania dla pojazdów EV [43]

Analizując stacje ładowania i samochody elektryczne w liczbach, należy wspomnieć że, według danych Licznika Elektromobilności z końca grudnia 2020 w Polsce było zarejestrowanych łącznie 18 875 sztuk samochodów osobowych z napędem elektrycznym (pod koniec czerwca 2020 było ich 12 271, pod koniec września 2020 14 788 szt.). Przez dwanaście miesięcy 2020 r. przybyło ich o 9 879 sztuk, czyli o 140% więcej niż w 2019 r. Podając dokładniej, rok 2020 zamknięty został z wynikami:

- 10 041 szt. samochodów typu BEV, czyli w pełni elektrycznych (BEV, ang. battery electric vehicles) stanowiących 53% całości,
- 8 834 szt. samochodów typu PHEV, czyli hybryd typu plug-in (PHEV, ang. plug-in hybrid electric vehicles) stanowiących pozostałe 47%.

Park elektrycznych pojazdów ciężarowych i dostawczych w analizowanym okresie (rok 2020) zwiększył się do 839 szt., a na koniec października 2021 liczba ta wynosiła już 1 412 szt. W roku 2020 rosła również flota elektrycznych motorowerów i motocykli, na koniec grudnia 2020 r. osiągnęła liczbę 8 941 szt. [44].

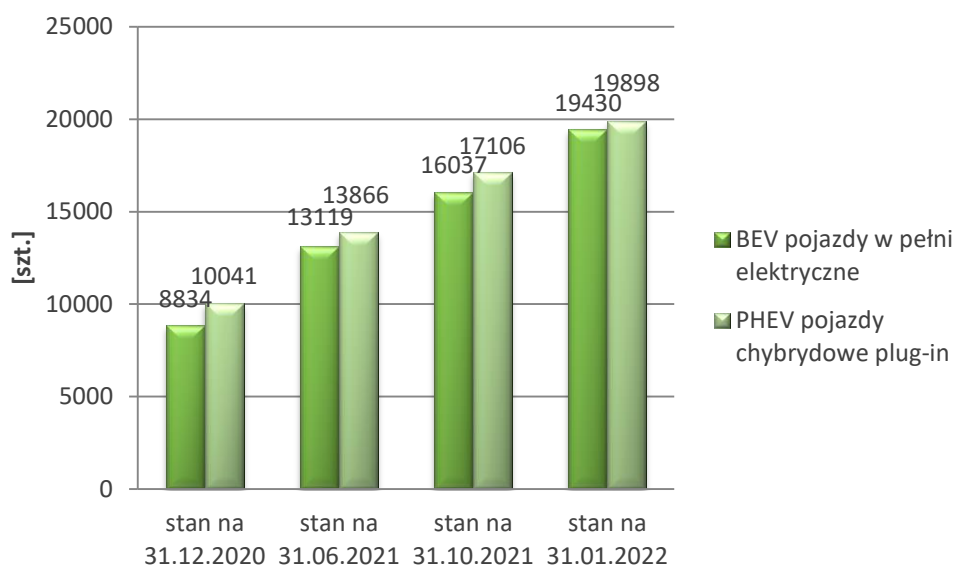
Pod koniec 2020 r. park autobusów elektrycznych liczył 430 szt. Przez dwanaście miesięcy 2020 roku flota elektrobusesów powiększyła się o 201 zeroemisyjne pojazdy. W porównaniu z rokiem 2019 oznacza to wzrost o 253% rdr. [3, 13, 44]. Najnowsze dane na koniec października 2021 mówią o tym, że park autobusów elektrycznych w Polsce wzrósł do 633 szt. W tym od stycznia do października 2021 r. flota elektrobusesów powiększyła się o 202 zeroemisyjne pojazdy. W porównaniu z analogicznym okresem 2020 r., kiedy zarejestrowano 154 takie autobusy, oznacza to wzrost o 100% r/r [44].

Odwołując się do jeszcze bardziej aktualnych danych na koniec czerwca 2021, według Licznika Elektromobilności w Polsce było zarejestrowanych łącznie 26 985 samochodów osobowych z napędem elektrycznym

- 13 119 szt. samochodów typu BEV, czyli w pełni elektrycznych (BEV, ang. battery electric vehicles) – 48,6%,
- 13 866 szt. samochodów typu PHEV, czyli hybryd typu plug-in (PHEV, ang. plug-in hybrid electric vehicles) – 51,4% [46].

Przez pierwsze sześć miesięcy 2021 ich liczba zwiększyła się o 8 110 sztuk, tj. o ok. 150% więcej niż w analogicznym okresie 2020 r. (Rys.8.). Analizując kolejne cztery miesiące, pod koniec października 2021 r. po polskich drogach jeździło już 33 143 szt. elektrycznych samochodów osobowych. Pojazdy w pełni elektryczne (BEV) odpowiadały za 48% (16 037 szt.) tej części parku pojazdów, a pozostałą część (52%) stanowiły hybrydy typu plug-in (PHEV) – 17 106 szt. [44]. Według [4], na koniec stycznia 2022 roku po polskich drogach jeździ już:

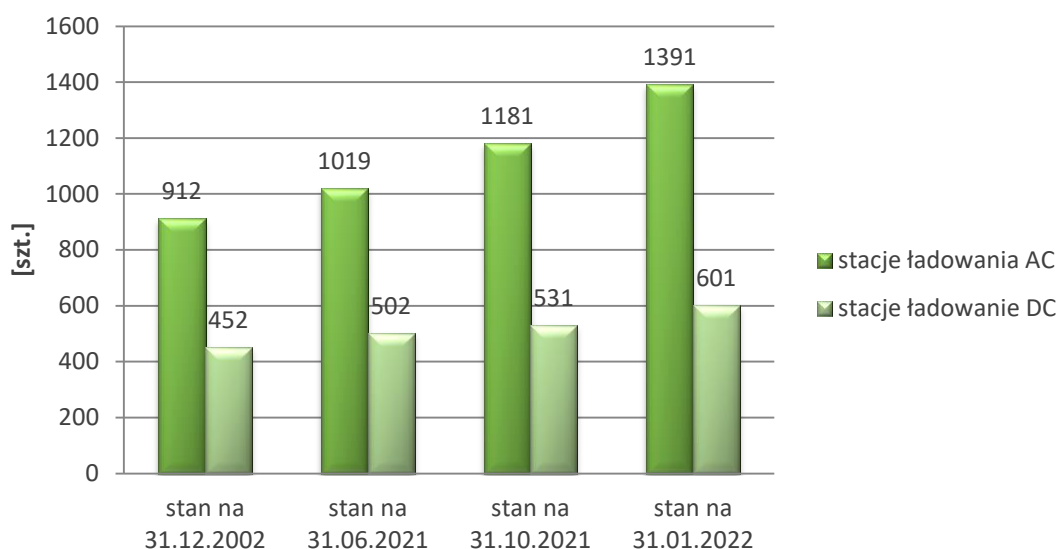
- 19 430 szt. samochodów typu BEV (w pełni elektrycznych),
- 19 898 szt. samochodów typu PHEV (hybryd typu plug-in).



Rys.8. Liczba zarejestrowanych EV osobowych w Polsce [4, 44, [46]

Dane te pokazują, że w Polsce popyt na samochody bateryjne i hybrydy typu plug-in przyrasta stosunkowo równomiernie. Jak więc kształtuje się rynek ładowarek? Pod koniec grudnia 2020 r. w Polsce funkcjonowały 1 364 stacje ładowania pojazdów elektrycznych (2 641 punkty), 33% z nich stanowiły szybkie stacje ładowania prądem stałym (DC), a 67% wolne ładowarki prądu przemiennego (AC) o mocy mniejszej lub równej 22kW. W grudniu 2020 r. uruchomiono 40 nowych, ogólnodostępnych stacji ładowania tj. 109 punktów [3]. Wraz ze wspomnianym wzrostem liczby pojazdów z napędem elektrycznym rozwija się również infrastruktura ładowania. Pod koniec czerwca 2021 r. w Polsce funkcjonowało 1 521 ogólnodostępnych stacji ładowania

pojazdów elektrycznych (2 964 punkty) (Rys.9.). Podobnie jak poprzednio 33% z nich stanowiły szybkie DC, a 67% wolne ładowarki AC. W samym czerwcu uruchomiono 23 nowe ogólnodostępnych stacje ładowania (tj. 33 punkty) [46] [14]. Pod koniec października 2021 w Polsce funkcjonowało już 1 712 ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych (3 337 punktów). 31% z nich stanowiły szybkie stacje ładowani prądem stałym (DC), a 69% – wolne ładowarki prądu przemiennego (AC) o mocy mniejszej lub równej 22 kW. W październiku uruchomiono 37 nowych, ogólnodostępnych stacji ładowania (57 punktów) [44]. Pod koniec grudnia 2021 w Polsce funkcjonowały 1992 ogólnodostępne stacje ładowania pojazdów elektrycznych tj. 3893 punkty. 28% z nich stanowiły szybkie stacje ładowania prądem stałym (DC), a 72% – wolne ładowarki prądu przemiennego (AC) o mocy mniejszej lub równej 22 kW. W styczniu 2022 roku uruchomiono 60 nowych, ogólnodostępnych stacji ładowania (109 punktów). Podsumowując stan na koniec stycznia 2022 w Polsce mamy 1391 stacji ładowania AC oraz 601 stacji do ładowania prądem DC [4].



Rys.9. Liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce [44],[45] [46]

Coraz większy popyt na ładowarki obserwuje się w branży hotelowej i restauracyjnej, a także wśród deweloperów i zarządców nieruchomości biurowych, czyli wszędzie tam, gdzie przedsiębiorcy chcą wyjść naprzeciw potrzebom klientów – kierowców samochodów elektrycznych. Nowością na polskim rynku elektromobilnym są ładowarki o mocy 100 oraz 150 kW, dostosowane do obsługi najnowszych modeli aut elektrycznych. Jedną z firm na polskim rynku, wprowadziła do swojej sieci magazyny energii elektrycznej w celu stabilizowania mocy ładowania energii dla szybkich ładowarek. Zainstalowano ich obecnie pięć przy istniejących stacjach. Kolejnym rozwojowym rozwiązaniem wychodzącym naprzeciw posiadaczy EV jest tzw. hub ładowania, czyli wielostanowiskowa stacja ładowania aut elektrycznych. Hub taki obecnie znajduje się na terenie Galerii Młociny w Warszawie i umożliwia ładowanie baterii aż 11 samochodów w tym samym czasie. W zakresie infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych Polska wyróżnia się na mapie Europy w dwóch aspektach, po pierwsze wyjątkowo wysokim udziałem szybkich stacji ładowania DC, który wynosi aż

33% (dla porównania w Holandii jest to 2%, we Francji 8%, a w Niemczech – 15%), po drugie faktem, że na 1 jeden punkt ładowania przypadają nieco ponad 3 całkowicie elektryczne samochody osobowe [3].

Zapewne na decyzje o zakupie samochodu elektrycznego wpływa rosnąca liczba stacji ładowania, natomiast do nabycia hybryd typu plug-in skłania fakt, że pojazd ten w mieście ma wszystkie walory samochodu elektrycznego, zaś w dłuższych trasach daje komfort znacznie większego zasięgu i łatwo dostępnego tankowania. Niewątpliwie godny odnotowania jest też dynamiczny wzrost rejestracji niskoemisyjnych pojazdów ciężarowych, dostawczych oraz autobusów. W jaki sposób nie poddawać analizie liczby pojazdów elektrycznych, wszystkie te dane wiąże fakt dostępności do stacji ładowania. Ich liczba determinuje ich zakup i ma wpływ na rozwój całego sektora elektromobilności. Dlatego też cała rozprawa skupia się właśnie na sposobie zwiększenia liczby ładowarek do EV, jednak żeby odpowiednio zamodelować proces należy przyjąć założenie odpowiedniego urządzenia które będzie odgrywało kluczową rolę w całym procesie. Odpowiedni dobór urządzenia ładującego będzie determinował ilość pobieranej energii elektrycznej a co za tym idzie ekonomię procesu, która w bezpośredni sposób wpływa na wybór tego typu rozwiązań.

2.3. Proces ładowania EV i integracja z siecią

Poddając analizie proces ładowania pojazdów elektrycznych można stosować bardzo wiele kryteriów podziału, jedną z nich jest podział ze względu na metodę ładowania. Aby zrealizować jeden z postawionych w pracy celów jakim jest wybór odpowiedniego urządzenia do ładowania EV ujętego w modelu matematycznym, warto również rozważyć powyższe kryterium. I tak można tu wyróżnić:

- Ładowarki Plug-In. Ładowanie Plug-In to jedno z najpopularniejszych rozwiązań ładowania baterii pojazdów elektrycznych. Niedogodnością tego sposobu ładowania jest konieczność fizycznego, najczęściej manualnego, podłączenia przewodów ładujących do pojazdu. Ładowanie wtykowe może być realizowane prądem przemiennym oraz stałym. Do obu wymienionych metod wykorzystywany jest inny wtyk stacji ładowania (wtyczka). W przypadku ładowania prądem przemiennym konieczna jest jego zamiana na prąd stały, ponieważ baterie ładowane są zawsze prądem stałym. Odbywa się to przy użyciu ładowarki pokładowej instalowanej w pojeździe. Ładowanie baterii trakcyjnych prądem stałym z wykorzystaniem zewnętrznej stacji ładowania pozwala na użycie większej mocy niż w przypadku ładowarki pokładowej. Oznacza to krótszy czas ładowania baterii pojazdu elektrycznego, który zależy od pojemności baterii, poziomu jej naładowania, dopuszczalnej mocy stacji ładowania i zastosowanego do ładowania kabla. Dopuszczalna moc, jaką można przesłać kablem do ładowania oraz z jaką można ładować pojazd jest automatycznie wykrywana przez stację ładowania. Proces ładowania pojazdów elektrycznych jest opisany również we wspomnianych powyżej normach:

IEC 61851 [47] oraz PN-EN 62196 [30]. Na ich podstawie rozróżnia się cztery tryby ładowania. Poszczególne tryby definiują maksymalny prąd i napięcie ładowania, stopień zabezpieczeń a także rodzaj prądu (patrz punkt 1.2.) [48], [49].

- Ładowanie przy użyciu pantografu. Ładowarki pantografowe są stosowane najczęściej do ładowania baterii elektrycznych autobusów miejskich. Umożliwiają one szybkie ładowanie kasety baterii, z mocą większą niż w przypadku ładowania wtykowego. Tego typu ładowanie może być realizowane na przystankach, na pętlach autobusowych oraz w zajezdniach. Pantograf automatycznie łączy pojazd ze stacją ładującą. Obecnie stosuje się dwa rodzaje konstrukcji ładowarek pantografowych. Pierwsza gdzie pantograf może być zamontowany na dachu pojazdu lub druga gdzie pantograf umieszczony jest na infrastrukturze stacji ładującej i opuszczany na dach pojazdu (pantograf odwrócony). Pantograf odwrócony przyłączany jest do szyn zamontowanych na dachu. Szyny służą do przekazywania energii elektrycznej ze stacji ładowania do pojazdu [49].
- Bezprzewodowe ładowanie indukcyjne. Ładowanie indukcyjne jak zostało opisane w punkcie 2.2. charakteryzuje się brakiem konieczności bezpośredniego połączenia galwanicznego stacji ładowania z pojazdem, tj. brakiem styków roboczych, które ulegają naturalnemu zużyciu podczas pracy. Stacja ładowania indukcyjnego to rozwiązanie które nie zaburza architektury w miejscu jej położenia [50]. Układ ładowania składa się z dwóch członów. Pierwszy to uzwojenie pierwotne stacji ładującej umiejscowione w nawierzchni jezdni. Napięcie o wysokiej częstotliwości, zasilające uzwojenie pierwotne generowane jest w przekształtniku mocy. Drugi człon to uzwojenie wtórne, znajduje się w podłodze pojazdu elektrycznego. W celu osiągnięcia jak największej sprawności bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej, uzwojenie wtórne jest opuszczane podczas ładowania. Podaje się, że sprawność w takich układach przekracza 90%. Ta metoda umożliwia ładowanie baterii trakcyjnych w trakcie postoju na przystankach lub na specjalnych miejscach parkingowych [48] 50]. Wariantem ładowania bezprzewodowego jest wykorzystanie zjawiska rezonansu elektrycznego w obwodzie sprzężonych magnetycznie cewek pierwotnej dostarczającej energię i wtórnej odbierającej. Zasada działania tego rozwiązania polega na zasilaniu uzwojenia pierwotnego prądem o takiej częstotliwości, aby wystąpił rezonans elektryczny. Do zalet tej metody można zaliczyć fakt zwiększenia odległości pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem energii. W odróżnieniu od pierwszego sposobu, tutaj nie jest wymagana tak duża precyzja pozycjonowania cewek nadawczej i odbiorczej [52].
- Ładowanie poprzez wymianę baterii. Na rynku pojazdów elektrycznych istnieją również rozwiązania polegające na całkowitej wymianie rozładowanych baterii. Metoda ta jest mało rozpowszechniona przede wszystkim z uwagi na duży koszt budowy stacji wymiany baterii oraz przestrzeń potrzebna do jej wybudowania. Zaletą takiej wymiany baterii jest czas, który wynosi około 2

minuty. Dodatkowo, dzięki profesjonalnej obsłudze taki sposób może pomóc wydłużyć czas życia baterii. W Stanach Zjednoczonych w Kalifornii, zbudowana została stacja, w której właściciele samochodów marki Tesla mogą wymienić rozładowaną baterię na naładowaną. W przyszłości stacja tego typu ma zostać zrobotyzowana, co wraz ze zapowiadanyymi zmianami konstrukcyjnymi samochodów pozwoli wymienić baterię w jedną minutę. W Chinach taka automatyczna stacja wymiany baterii już działa. W testach użytkowania tej metody ładowania wzięła udział korporacja taksówkowa. Podobne rozwiązanie istnieje już w Chinach, gdzie wybudowano demonstracyjną stację wymiany baterii [53]. Obsługa jednego auta zajmuje od 3 do 5 minut. Pomysłodawcą takich stacji jest producent aut elektrycznych Nio, który nazywany jest także chińską Teslą. Jak podaje firma, chce ona zbudować 5000 zautomatyzowanych stacji wymiany akumulatorów w samochodach elektrycznych [54].

Analizując proces ładowania pod kontem użytkownika, zauważyć można, że wszelkie wymagania dotyczące systemu ładowania zależą od strony biorącej udział w procesie. Z punktu widzenia sieci – ładowarka powinna być trójfazowa i nie powodować asymetrii obciążenia faz, dodatkowo powinna mieć korekcję współczynnika mocy, nie pogarszać współczynnika zawartości harmonicznych powyżej dopuszczalnej wartości oraz mieć możliwość dwukierunkowego przepływu energii elektrycznej w celu świadczenia usług systemowych, takich jak stabilizacja napięcia, kompensacja mocy biernej i zmiana kierunku przepływu mocy. Rozpatrując proces ze strony producenta/posiadacza pojazdu główne czynniki dotyczące ładowarki to jej niska waga, przystępna cena i duża niezawodność funkcjonalna. Zasadniczo sam użytkownik pojazdu jest zainteresowany nieskomplikowanym, solidnym systemem o wysokiej wydajności i bezpieczeństwie użytkowania. Tak więc w zależności od „uczestnika” procesu, sama ładowarka spełniać musi szereg odmiennych funkcji, przy niezmienniej budowie i realizacji podstawowych przemian elektrycznych. Ładowarki jest zwykle kombinacją obwodu prądu AC/DC tj. przetwornika wejściowego B2U, mostka H B2C lub pełnego mostka B6C i obwodu DC/DC tj. dwukierunkowego przetwornika DC/DC, przetwornika DC/DC z transformatorem wysokiej częstotliwości lub dwukierunkowego konwertera DC/DC z transformatorem wysokiej częstotliwości [17].

Realizując proces ładowania, jednym z najprostszych obwodów przetwornika prądu zmiennego na stały (AC/DC) jest prostownik B2U. W układzie tym zasilacz prądu przemiennego jest połączony czterema diodami zwrotnymi z pojemnością, która jest ładowana z każdą połową fali napięcia. Przebieg dla tego obwodu zawiera wysokie prądy o nieparzystych harmonicznych i oczywiście nie posiada kształtu sinusoidy. Spadek napięcia w sieciowej impedancji przekształtnika daje negatywny wpływ na jakość energii. Innym uważanym za najlepsze rozwiązaniem są wspomniane powyżej przetworniki AC/DC takie jak mostek H lub obwód pełnego mostka B6C, które obsługują PFC (korekcja współczynnika mocy, ang. Power Factor Correction) w celu

zmniejszenia strat mocy w liniach przesyłowych i mogą przyjmować kształt prądu sinusoidalnego [17, 54].

Po podpięciu pojazdu do stacji, rozpoczyna się proces ładowania. Zazwyczaj proces rozpoczyna się automatycznie w tzw. trybie ładowania 1 tj. prądem przemiennym o natężeniu do 16 A, przy połączeniu jedno – lub trójfazowym ze standardowym gniazdem, najczęściej w obwodzie posiadającym wyłączniki nadmiarowo prądowe i wyłączniki różnicowoprądowe. Oprócz opisanego powyżej trybu ładowania, można wyróżnić jeszcze tryby ładowania 2 i 3, potrzebują one dodatkowej komunikacji w celu uaktywnienia wymaganych dodatkowych środków bezpieczeństwa. Ładowanie odbywa się tutaj prądem przemiennym o natężeniu do 32 A, a podstawowa komunikacja jest realizowana za pomocą dwóch dodatkowych styków (CP i PP) w złączach ładujących, które zapewniają następujące funkcje:

- sprawdzanie prawidłowego podłączenia pojazdu,
- sprawdzanie ciągłości przewodu ochronnego,
- włączenie i wyłączenie systemu,
- implementacja funkcji opcjonalnych zgodnie z IEC 61851: Określenie prądu ładowania,
- ewentualny wymóg wentylacji w obszarze ładowania,
- pomiar i regulacja prądu obciążenia,
- zablokowanie i odblokowywanie złącza,
- kontrola przepływu prądu w obu kierunkach.

Specyfikacja złączy zasilania pojazdów elektrycznych w Europie jest opisana w normie PN-EN 62196-1:2015-05 [30]. Wymagania w niej zawarte obejmują regulacje dotyczące bezpieczeństwa, zasilania i połączenia komunikacyjnego. W trakcie normalizacji zdefiniowano też różne warianty złącza zasilania. W przyszłości przewiduje się wykorzystanie jednego złącza zarówno przy ładowaniu prądem przemiennym, jak również przy ładowaniu prądem stałym.

Integracja procesu ładowania z istniejącą siecią elektroenergetyczną jest równie ważna co proces ładowania, choć aspekt ten jest często pomijany podczas prowadzenia prac nad elektromobilnością. Istotną kwestią jest moc przyłączeniowa oraz możliwości jej płynnej i dynamicznej regulacji. Zazwyczaj w istniejących już budynkach, przyłącza elektroenergetyczne zostały zaprojektowane dla konkretnych wartości mocy na podstawie planów przyłączeniowych bez uwzględnienia obciążeń które mogłyby wynikać z prowadzenia procesu ładowania pojazdów elektrycznych. Taki punkt przyłączeniowy w większości przypadków nie jest więc zaprojektowany do odbioru dużej mocy. Dlatego też, w trakcie ładowania auta, nawet krótkotrwałe zwiększenie obciążenia może spowodować przeciążenie linii i zadziałanie zabezpieczeń. Dla procesu ładowania wykorzystującego stację AC – w wersji podstawowej dla sektora prywatnego – konieczne jest podwojenie mocy przyłączeniowej. Dla sektora komercyjnego gdzie liczba punktów ładowania dostępnych w jednym budynku jest większa, wymagania dotyczące zwiększenia mocy przyłączeniowej są znaczne i wiążą się z dodatkowymi

dość dużymi kosztami dla inwestora/zarządcy/operatora sieci. Niemniej jednak wzrost liczby pojazdów elektrycznych i tak w przyszłości będzie wymagał dostosowania sieci elektroenergetycznej do swoich potrzeb. Obecnie problem ten nie jest jeszcze dostrzegalny, ale przy braku odpowiedniej infrastruktury podczas ładowania baterii pojazdów elektrycznych, zaczniemy obserwować, że przy większej liczbie pojazdów zwiększać się będzie długość kolejki przy stanowiskach ładowania. Obecnie w Polsce dominują standardowe gniazda napięcia AC które umożliwiają ładowanie prądem AC rzędu 16 A – jednofazowe oraz 32 A trójfazowe [56]. Maksymalna moc, jaką można uzyskać w jednofazowym gnieździe domowym to 3,7 kW, dlatego w zależności od rodzaju pojazdu elektrycznego czas ładowania waha się między 8 a 12 godzin. Stanowiska szybkiego ładowania wykorzystujące prąd stały (DC) dysponują obecnie mocą do 150 kW, wtedy czas ładowania trwa do około 30 minut w przypadku ładowania do 80% pojemności średniej wielkości baterii pojazdu (50 kWh) [17].

Oprócz bardzo często opisywanych zagrożeń dla funkcjonowania sieci elektroenergetycznej (przeciążenia sieci, odkształcenia i wahania napięcia zasilającego) opisywanych w pracach autorów takich jak Malik i Lehtonen [57], Żurek–Mortka [58] czy Tollin, Gruffman, He [59] oraz w normie [56], elektromobilność dostarcza narzędzi, które mogą być bardzo pomocne dla Operatorów Sieci Dystrybucyjnej (OSD). Oprócz świadomości wyzwań związanych z rozwojem elektromobilności, OSD powinny być gotowe, żeby również wykorzystać szanse, jakie ze sobą niesie coraz mocniej rosnący trend na samochody elektryczne. Zaleta o której mowa to wykorzystanie technologii Vehicle to Grid (V2G) do zapewnienia stabilności sieci przy okresowym zwiększonym zapotrzebowaniu na energię elektryczną w danym miejscu i danym czasie. Takie rozwiązanie również potrzebuje odpowiedniego sprzętu, stąd poddawanie analizie również tego zagadnienia.

Rozproszone źródła i odbiorniki energii elektrycznej, jakimi niewątpliwie są samochody elektryczne, można wykorzystywać do pokrycia części zapotrzebowania na energię elektryczną w szczytach dobowego obciążenia. W bateriach pojazdów elektrycznych magazynowana jest energia elektryczna, pobierana z sieci dystrybucyjnej kiedy sieć nie jest obciążona (np. podczas doliny nocnej), a oddawana na wezwanie OSD, np. kiedy sieć jest mocno obciążona, w miejscach których zapotrzebowanie jest zwiększone. Oczywiście oprócz szans wykorzystania trendu na rozwój elektromobilność znane są również i czarne scenariusze, w których pojazdy elektryczne doprowadzą do przeciążeń sieci. Jednakże wprowadzenie odpowiednich mechanizmów powinno pozwolić tak kształtować dobowe zapotrzebowanie na energię elektryczną, aby takich zagrożeń uniknąć i to bez usług typu V2G (Vehicle to Grid). Dzięki technologii V2G samochody elektryczne oprócz środków transportu, mogą stanowić rozproszone źródła energii elektrycznej. Wykorzystać je można do zapewnienia stabilności sieci przy okresowym zwiększonym zapotrzebowaniu na energię elektryczną w danym miejscu i czasie, oraz jako mobilne zasobniki energii elektrycznej. Dwukierunkowa funkcjonalność przepływu energii elektrycznej może być również wykorzystana do zasilania domów w przypadku awarii sieci elektroenergetycznej

(Vehicle to Home, V2H,) lub jako wykorzystanie nadwyżki energii zgromadzonej w baterii EV do zasilania gospodarstw domowych tworzących społeczności lokalne – vehicle-to-microgrid (V2M) [60]. Oczywiście, potencjalnie możliwe będzie również wykorzystanie samochodów elektrycznych ładujących się w mikrosieciach w celach komercyjnych, np. do sprzedaży energii do sieci dystrybucyjnych wtedy, gdy cena za energię będzie najkorzystniejsza dla właściciela floty pojazdów z usługą V2G. Niezależnie jednak od tego, czy pojazd elektryczny będzie wykorzystywany jako magazyn energii zasilający dom, społeczność lokalną, czy po prostu będzie oddawał energię elektryczną do sieci, powinien posiadać ściśle zdefiniowane wymagania dotyczące bezpieczeństwa swojej pracy również te stojące po stronie OSD (Operatora Sieci Dystrybucyjnej)[61].

W literaturze można znaleźć wiele prac prezentujących symulację i badania potencjalnego wpływu elektromobilności na jakość energii elektrycznej, mowa tu o pracach Deilami, Masoum, Moses, Masoum, [62], Wang, Zhang, Li, Shahidehpour [63] czy Żurek-Mortki [58], lub Baraniaka i Pawlickiego [61]. Przedstawione tam wyniki badań często nie są spójne, prawdopodobnie za sprawą różnych założeń modeli symulacyjnych, liczb i rodzajów modelowanych ładowarek, oraz parametrów sieci przyjętych na potrzeby symulacji. W pracy Fernandez'a i in. [64] została zamodelowana sieć 13-węzłowa niskiego napięcia pracująca przy 80% obciążeniu mocy transformatora. Do sieci przyłączono 65 punktów ładowania. W symulacjach przyjęto maksymalną liczbę użytkowników wynoszącą 290. Dla tych założeń, sporządzono trzy scenariusze obciążenia sieci przez punkty ładowania wynoszące odpowiednio 5%, 15% i 23% udziału punktów ładowania w całkowitym obciążeniu sieci. Przy 23% udziale sieć była obciążona na poziomie 90%. Według przeprowadzonych symulacji punkty ładowania, nawet dla największego obciążenia nie powodowały znacznego wzrostu mocy biernej, a współczynnik THD_U^2 nie przekroczył 1,2%. Zawartość THD_I^3 dla maksymalnego obciążenia stanowiła ponad 3%. Należy jednak pamiętać że problem będzie się pojawiał w momencie jednoczesnej pracy wielu ładowarek we wspólnym obwodzie. Z taką sytuacją OSD będą miały do czynienia przede wszystkim w obszarach miejskich. Zaburzenia powodowane przez te ładowarki będą się na siebie nakładały, co przy znacznych wartościach prądu, jaki łącznie będą pobierały ładowarki, może powodować zauważalny wpływ na odkształcenia napięcia. Nie należy też zapominać, że do tej samej sieci mogą być również podłączone inne układy przekształtnikowe. Dlatego też, aby uniknąć zagrożeń związanych z odkształceniami napięcia wywołanymi pracą ładowarek samochodowych zaleca się stosowanie kabli zasilających urządzenia tego typu o większym przekroju niż wynika to z samej mocy ładowarki i wymogów bezpieczeństwa przeciwporażeniowego [61].

Przywołując w poprzednim podrozdziale informację o akumulatorach energii w pojazdach elektrycznych a odnosząc się do integracji z siecią, warto przytoczyć

² THD_U – całkowity współczynnik odkształcenia napięcia; iloraz wartości skutecznej harmonicznej do wartości skutecznej podstawowej harmonicznej [65]

³ THD_I – całkowity współczynnik odkształcenia prądu [65]

rozwiązanie polegające na montażu ładowarki do ładowania EV poprzedzonej osobistym magazynem energii. Takie rozwiązanie jest możliwe ale obecnie ze względów ekonomicznych nie jest ono uzasadnione, barierą są koszty. Inaczej wygląda sytuacja gdzie w takim samym połączeniu urządzeń, energia elektryczna do zasilania baterii akumulatorów produkowana jest z paneli fotowoltaicznych. Mowa tu o solarnych carport'ach [32]. Takie umiejscowienie akumulatora działa jako bufor dla energii elektrycznej i przy odpowiednim zarządzaniu energią elektryczną może pomóc przy stabilizacji pracy sieci. Energia elektryczna może być akumulowana w przypadku nadmiaru energii z sieci a oddawana w celu zrównoważenia zjawiska wahania napięcia. W takich kooperacjach najczęściej stosuje się magazyny o bardzo dużej pojemności, zbudowane we wspomnianej powyżej wydajnej technologii litowo-żelazowo-fosforanowej.

Odwołując się do przeprowadzonej analizy i informacji zawartych w rozdziale, pogłębionego opracowania rynku akumulatorów, sposobów ładowania i rodzajów ładowarek do realizacji procesu ładowania EV, widać jak stacje ładowania i realizacja tego procesu są niezwykle istotne przy rozbudowie rynku pojazdów elektrycznych. Nasuwa się stwierdzenie, że te trzy elementy warunkują rozwój elektromobilności, ale jak poszczególne procesy będą realizowane zależy już od rynku i dostępności rozwiązań.

Po uwzględnieniu wyników analizy, na potrzeby modelowania scenariuszy rozwoju elektromobilności przy udziale technologii Blockchain w pracy zdecydowano się na wybór do modelowania ładowarki o mocy 2x22 kW z gniazdem ładowania Typ 2, czyli urządzenia umożliwiającego dostarczenie do 44 kW mocy za pomocą dwóch przewodów spiralnych ze złączem Typu 2. Na decyzję tę oprócz faktu powszechności wybranego rozwiązania, wpłynęły takie aspekty jak:

- Łatwa instalacja i szybkie uruchomienie.
- Inteligentne funkcje, usługi i aktualizacje wykorzystujące Internet.
- Zintegrowane zarządzanie obciążeniem optymalizujące proces ładowania i oszczędzanie kosztów sieciowych.
- Bezpieczne połączenie z systemami zarządzania przez modem LAN lub 2G/3G za pośrednictwem portów umożliwiających wydajną zdalną obsługę, komunikacja 4G.
- Funkcje bezpieczeństwa, takie jak czujnik prądu DC, wewnętrzny czujnik temperatury, czujnik wstrząsów, czujnik przechyłu, automatyczne zwolnienie wtyczki w przypadku awarii zasilania i in.

Tego typu ładowarka posiada parametry techniczne takie jak:

- rodzaj gniazda – przewód spiralny ze złączem Typ 2,
- moc wejściowa – opcja uruchomienia: 1–3 fazy, 16–32 A,
- moc wyjściowa – opcja uruchomienia: (22x11,2x22 kW),
- temperatura robocza: od –30 do 50°C,
- stopień ochrony: IP54,

- odporność na uderzenie mechaniczne: IK10,
- waga brutto: ok. 60 kg.

Zbudowany model opisywany w dalszej części pracy wiąże poniekąd wszystkie elementy całego procesu regulując i rozliczając go poprzez implementację technologii Blockchain, której funkcjonowanie zaprezentowane zostało w dalszej części pracy.

3. *Funkcjonowanie technologii Blockchain*

Podjmując szczegółową analizę tematu i realizację postawionych w pracy celów, warto odnieść się do zagadnień definicyjnych z obszaru blockchain. Będą one miały swoje zastosowanie w dalszej części pracy. Wiadomym jest, że w podstawowym sensie blockchain to rejestr, który gwarantuje zaangażowanym stronom bezpieczne i synchroniczne zapisywanie transakcji. Dzieje się tak z uwagi na fakt, że blockchain umożliwia rejestrowanie setek transakcji w bardzo szybkim tempie za pomocą kilku wpisanych w jego budowę metod kryptograficznych. Metody te odpowiadają za bezpieczeństwo i spójność danych. Transakcje zawierane w blockchain są grupowane w jednostki, które nazywa się blokami i uzupełniane znacznikiem czasu (kryptograficznym odciskiem palca), który wiąże obecny blok z blokiem go poprzedzającym. W taki sposób dochodzi do powstania nieodwracalnego i odpornego na manipulacje łańcucha bloków – nazywanego blockchain'em. Architektura struktury blockchain jest pomyślana w sposób, aby każda transakcja w bardzo krótkim czasie mogła zostać zweryfikowana przez wszystkich członków sieci. Członkowie sieci, mają w posiadaniu aktualną kopie łańcucha bloków, co pozwala im na osiągnięcie konsensusu (czyli zgody poprawności danych). Możliwości takie jak nieodwracalne rejestrowanie i konsensus w ramach całej sieci, wykorzystywane są do tworzenia nowych typów aplikacji nazywanych aplikacjami zdecentralizowanymi (DApp, ang. Decentralized applications) [66]. Pierwszy blok w łańcuchu nazywany jest blokiem Genesis. Jest on wyjątkowy w tym sensie, że nie istnieje blok, który go poprzedzał i z którym by się łączył. Opisany jako twórca technologii Blockchain, Satoshi Nakamoto, jako dowód czasu dodał historyczną informację, tworząc połączenie z ówczesną sytuacją finansową Wielkiej Brytanii: „*Lord Kanclerz bliski udzielenia bankom pomocy finansowej po raz drugi*”. Blok tym samym udowadnia, że nie tylko nie istniał przed 3 stycznia 2009 roku, ale też pozwala zajrzeć od umysłów jego twórcy [65, 66, 67]. Obecnie rozwiązania wykorzystujące technologię Blockchain spotkać można w bardzo wielu dziedzinach życia, często jest tak że sam użytkownik danego

rozwiązania nie wie, że posługując się danym programem (aplikacją) obraca się w architekturze blockchain. Obecnie bardzo wiele firm inwestuje w tego typu rozwiązania, widać to również na rynku Polskim. Firmy energetyczne takie jak Tauron i PGNiG również prowadzą badania nad rozwiązaniami które wykorzystują w warstwach IT rozwiązania z obszaru blockchain. Niestety na obecną chwilę nie ujawniają wyników swoich prac i nie prezentują dotychczasowym wyników badań [69].

3.1. Początki środowiska Blockchain

Aby odpowiednio nawiązać do tematów poruszanych w pracy, nie można pominąć rysu historycznego. Powstanie technologii Blockchain jest połączone z historią cyfrowej waluty znanej jako Bitcoin, oraz z postacią jej twórcy, wspomnianego powyżej Satoshi Nakamoto [67]. Prawdziwa tożsamość Nakamoto nie jest do końca ujawniona, możliwe że pseudonim ten nie tyczy się jednej osoby a określa grupę twórców. Nie wiadomo jest również jak długo trwały prace nad stworzeniem koncepcji i rozwiązaniami technicznymi Bitcoin. Pierwsze wzmianki na ten temat pojawiły się na grupie dyskusyjnej która dotyczyła kryptografii w 2007 roku. Momentem w historii Bitcoin, pokazującym światu technologię Blockchain było opublikowanie w dniu 31 października 2008 roku przez Nakamoto dokumentu, nazwanego "white paper" pod tytułem: "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" [67]. Kolejnym ważnym faktem było również pojawienie się zupełnie nowej, niezależnej od Bitcoin sieci blockchain nazwanej Ethereum [70]. Tym razem twórca jest znany, jest nim obecnie 30 letni Vitalik Buterin. 23 stycznia 2014 roku na podstawie opisanej koncepcji, Vitalik ogłosił uruchomienie projektu nazwanego Ethereum i tym samym możliwe stało się tworzenie oprogramowania nowej sieci blockchain, która miała możliwość oferowania nowych możliwości funkcyjnych, niedostępnych w Bitcoin. Głównym przełomem funkcjonalnym w Ethereum była możliwość "programowania" w blockchain, czyli możliwość użycia aplikacji/skryptów, które mają możliwość wykonania praktycznie dowolnego obliczenia czy przechowania danych, nazwano je "inteligentnymi kontraktami" (ang. smart contracts). Kontrakty takie po dołączeniu do blockchain pozostawały niezmiennie i nieprzerwanie działały tak, jak je pierwotnie zaprogramowano. To właśnie istota inteligentnych kontraktów jest kluczem przy budowaniu modelu opisywanego w pracy jak również możliwej późniejszej aplikacji modelu do środowiska cyfrowego.

W idei Vitalika sieć Ethereum miała stać się nie tylko rejestrem umożliwiającym zapisywanie transakcji kryptowalutowej, ale także "światowym komputerem" – inaczej platformą dającą sposobność do tworzenia rozproszonych aplikacji korzystających z technologii Blockchain, na której byłyby osadzone. Sieć Ethereum została uruchomiona 30 lipca 2015 r. i od tamtej pory jest rozwijana jako drugi co do wielkości, otwarty blockchain, którego obszar zastosowań wyszedł daleko poza transfer kryptowalut [71].

Technologia Blockchain pojawiła się pierwotnie, aby wspierać nowe formy cyfrowej waluty, a z czasem stała się obiecującą podstawą dla transakcji wspierających ekonomię dzielenia się (ang. sharing economy), rozumianą jako modele ekonomiczne, bazujące na bezinteresownym dzieleniu się, wymianie i płatnym wypożyczeniu produktów [72]. Fundamentalna zmiana jaka jest reprezentowana przez technologię Blockchain to odrzucenie centralnego autorytetu gwarantującego zaufanie w warunkach sieci rozproszonej. Zamiast centralnego podmiotu pojawia się wiele źródeł zaufania, które bazują na algorytmie i muszą się ze sobą porozumieć co do ważności transakcji – dokładnie taka cecha wykorzystywana będzie przy ewentualnej implementacji tworzonego modelu do środowiska cyfrowego. Jak już wspomniane było wcześniej większość rozwiązań opartych na blockchain’ie pozwala na wykonywanie trwałego i nieodwracalnego zapisu transakcji, dzięki czemu praktycznie nie można go zmienić ani na zaufany, ani pozbawiony zaufania pojedynczy podmiot. W ten sposób w obecnym świecie pojawia się całkowicie nowy poziom bezpieczeństwa, prywatności i zaufania [66]. Aby zrozumieć zastosowania dla protokołu, niezbędne jest poznanie historii technologii Blockchain, podstaw rozproszonego zaufania, konsensusu, oprogramowania i zasad szyfrowania, które będą opisane w dalszej części pracy. Wgłębienie się w specyfikę zagadnień blockchain, wraz z rozwojem treści pracy, da możliwość uświadomienia sobie idei ulokowania takich właśnie rozwiązań w procesie rozliczania energii elektrycznej przy ładowaniu EV. Pokaże możliwość implementacji opisywanego modelu do rozliczeń handlu energią elektryczną.

3.2. Funkcje i podstawowe elementy łańcucha bloków

W praktyce, blockchain to rozproszona, współdzielona i zaufana baza danych, zarządzana przez sieć komputerów, która działa według ustalonych z góry zasad zwanych protokołem blockchain [73]. Każdy z uczestników sieci, ma swoją komputerze kopię bazy i oprócz działania na niej może także może inicjować i weryfikować na niej zmiany. Każdy ma również wgląd do bazy danych, ale nikt jej nie kontroluje, a wszystkie w niej zmiany, przebiegają na zasadach konsensusu który wymuszony jest przez protokół a niekiedy przez system nagród za aktywny udział w sieci. Blockchain jest siecią autonomiczną, bez zcentralizowanego nadzoru (Rys.10). Sama nazwa „blockchain”, czyli w tłumaczeniu z języka angielskiego „łańcuch bloków”, pochodzi od sposobu, w jakim zorganizowane są dane. Jest to ciągle rosnący łańcuch połączonych ze sobą bloków, gdzie w każdym z bloków zgrupowana jest określona ilość informacji o transakcjach i danych. Każdy nowy blok jest dołączany na koniec łańcucha i zawiera znacznik czasu, który określa czas w którym został utworzony, a także odnośnik do poprzedzającego go bloku. Całość łańcucha zabezpieczona jest przy wykorzystaniu kryptografii. Zmiana danych zawartych we wcześniejszym bloku, wymagałaby modyfikacji wszystkich następujących po nim bloków, czyli całego łańcucha. Zasada ta skutkuje tym, że zmiany w zapisach historycznych bloków są praktycznie niewykonalne – wiąże się to z trudnością przeliczenia zawartości bloków, co więcej każda taka nieupoważniona zmiana byłaby natychmiast widoczna przez

uczestników sieci. Wszystkie powyższe wytyczne odnoszące się do sieci blockchain, szerzej i bardziej szczegółowo opisane zostały w dalszej części pracy. Jest to istotne, aby jeszcze lepiej wprowadzić w świat i specyfikę rozwiązań wykorzystywanych do zbudowania modelu matematycznym na potrzeby ładowania samochodów elektrycznych.

Kontynuując analizę i opisując blockchain dużo prościej, możemy powiedzieć że jest to tzw. łańcuch bloków, który zdolny jest do przechowywania oraz przesyłania w sposób rozproszony różnorodnych informacji znakowanych czasem. Informacje zestawiane są w blokach danych, będących częściami składowymi całego łańcucha. System taki może tworzyć całkowicie zdecentralizowany rejestr lub bazę danych [72]. Ta rozproszona baza danych, opierająca się na sieci peer-to-peer (P2P)⁴, nie ma wyróżnionego węzła centralnego, ani żadnego “super administratora”, dzięki czemu blockchain nie posiada pojedynczego punktu awarii (mowa tu głównie o atakach hackerskich, odmowach dostęp, kradzieży danych).



Rys.10. Podstawowe cechy blockchain

Skupiając się na samej sieci warto również powiedzieć, że pierwszym podziałem jaki można podać dla tej technologii to rozdzielenie blockchainu na publiczny i prywatny. Jest to o tyle istotne, że definiuje główny charakter technologii. Blockchain zbudowany w oparciu o rejestr rozproszony i publiczny jest absolutnie dostępny dla każdego z dostępem do Internetu. Ponadto każdy może wziąć bierny bądź czynny udział w budowaniu sieci. Wszyscy mogą „czytać sieć”, obserwować przeprowadzane transakcje, śledzić ich przebieg itd. Poza tym w blockchainie publicznym każdy jest w stanie wprowadzać zmiany w sieci (a przynajmniej może spróbować) i pracować nad jej bezpieczeństwem. Każdy może go tworzyć, a określa się go jako – “niewymagającą uprawnień (ang. permissionless)”. Natomiast blockchain prywatny, to taki łańcuch, który

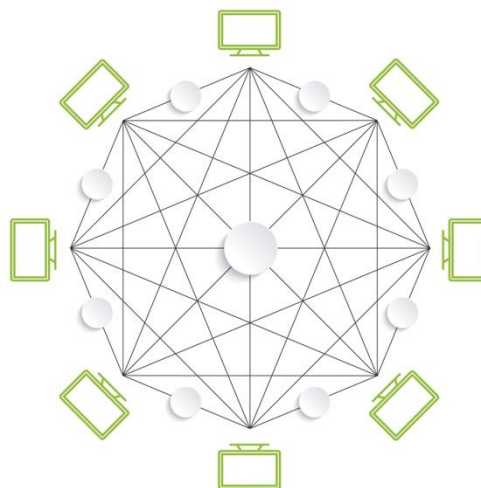
⁴ Sieć peer-to-peer – model komunikacji w sieci komputerowej zapewniający wszystkim hostom (użytkownikom) te same uprawnienia i tą samą rolę w procesie wymiany danych [74].

podlega pod bezpośrednie władze jakiegoś podmiotu, osoby lub firmy. Dostęp do takiego łańcucha mają tylko Ci, którym wydano takie uprawnienia, jest to sieć scentralizowana, czy też z ang. permissioned [75]. Takie rozwiązania, zazwyczaj nie mają globalnej kryptowaluty, ponieważ z racji zamkniętego charakteru istnienia otwartej kryptowaluty jest niemożliwe. Obecnie jednym z najbardziej rozwijanych oprogramowaniem dedykowanym tworzeniu prywatnych blockchain'ów jest Hyperledger Fabric, czyli wspólny projekt open source zbudowany w celu ulepszenia międzybranżowych technologii Blockchain. Jest to globalna współpraca prowadzona przez The Linux Foundation, obejmująca liderów w dziedzinie finansów, bankowości, Internet of things (IoT, Internet rzeczy), łańcucha dostaw, produkcji i technologii. Hyperledger jest podmiotem rozwijającym projekty biznesowe typu blockchain, mające na celu stworzenie stabilnego kodu gotowego do produkcji i wdrożenia w komercyjnych zastosowaniach technologii [76].

Powyższe stwierdzenie o prywatnym wykorzystaniu technologii idealnie wpisuje się w temat niniejszej pracy, chęć wykorzystania blockchain do budowania mechanizmu rozliczeniowego procesu ładowania EV, pokazuje wszechstronność zastosowań. Aby jednak móc odwoływać się do poszczególnych aspektów technologii poniżej opisano główne zagadnienia definiujące technologię Blockchain (Rozdz.5.)

Sieć peer-to-peer

Peer-to-peer (P2P) to inaczej sieć równorzędna typu „każdy z każdym” (Rys.11). Oznacza to, że każdy węzeł sieci jest równoważny, a więc każdy komputer podłączony do tej sieci, zwany inaczej hostem, może zarówno wysyłać, jak i odbierać dane. Urządzenie połączone w sieci P2P może być jednocześnie serwerem i klientem, dzięki czemu możliwe jest równoległe pobieranie plików i udostępnianie ich innym komputerom podłączonym do tej samej sieci [77].



Rys.11. Schemat sieci P2P

Choć architektura P2P pozostaje z natury rozproszona, należy zauważyć, że możemy mieć do czynienia z różnymi stopniami decentralizacji. Nie wszystkie sieci P2P są zdecentralizowane. W rzeczywistości wiele systemów P2P opiera się na centralnym

organie kierującym działalnością sieciową, dzięki czemu są one w pewnym stopniu scentralizowane. Dla wyjaśnienia, niektóre systemy udostępniania plików P2P umożliwiają użytkownikom samo wyszukiwanie i pobieranie plików z węzłów, ale nie mogą oni uczestniczyć w innych procesach, takich jak zarządzanie zapytaniami wyszukiwań. Co więcej, niewielkie sieci kontrolowane przez ograniczoną bazę użytkowników posiadających wspólne cele i interesy także charakteryzują się wysokim stopniem centralizacji na poziomie „ludzkim”, pomimo braku scentralizowanej infrastruktury sieciowej [78].

Idąc dalej, architektura P2P stojąca u podstaw kryptowalut przynosi bardzo wiele korzyści. Wśród najważniejszych i najczęściej wymienianych jest bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa sieci, w stosunku do tradycyjnych rozwiązań serwerowych. Ciągła dystrybucja łańcucha bloków pośród dużej liczby węzłów sprawia, że są one bardzo odporne na klasyczne ataki DoS⁵, uważane za plagę dla wielu systemów. Poza kwestiami bezpieczeństwa, zastosowanie architektury P2P w sieciach kryptowalut sprawia, że są one bardzo „swobodne” tj. wysoce odporne na cenzurę ze strony władz centralnych. Przewagę daje również fakt, że w przeciwieństwie do standardowych kont bankowych, portfele kryptowalutowe nie mogą zostać zamrożone lub "wyczyszczone" przez organy rządowe. Wytrzymałość ta rozciąga się na próby cenzurowania podejmowane przez prywatne firmy płatnicze oraz platformy udostępniania treści cyfrowych. Niektóre niezależne serwisy, a także sklepy internetowe – najczęściej międzynarodowe, już dziś dodają do swoich stron możliwość dokonywania płatności za pomocą kryptowalut, zabezpieczając się tym samym przed możliwymi blokadami otrzymanych wpływów [78].

Pomimo opisanych zalet, wykorzystanie sieci P2P w blockchain'ach wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Ponieważ każdy pojedynczy węzeł w obrębie łańcucha bloków wymaga ciągłej aktualizacji, dodawanie nowych transakcji wiąże się z potrzebą wykorzystania bardzo dużych zasobów mocy obliczeniowej. Co prawda zwiększa to bezpieczeństwo sieci, ale również znacząco redukuje wydajność, stając się głównym problemem inżynierskim dla programistów pracujących nad skalowaniem sieci kryptowalut. Co więcej rozproszony charakter sieci P2P sprawia, że są one stosunkowo trudne do kontrolowania i regulacji, nie tylko w niszy blockchain [78].

Kryptografia asymetryczna

Kryptografia, a w szczególności kryptografia asymetryczna i jej użycie do składania i weryfikacji podpisów cyfrowych, oraz wykorzystanie funkcji skrótu (funkcji haszującej, ang. hash) leżą u podstaw technologii Blockchain. W kryptografii asymetrycznej posługujemy się parą powiązanych ze sobą matematycznie kluczy, jeden z nich to klucz publiczny, a drugi klucz prywatnym. Klucz publiczny może być

⁵ Atak typu DoS - lub atak typu Odmowa Dostępu (ang. Denial of Service) - polega na zakłóceniu dostępu do danej usługi, serwisu lub sieci normalnym użytkownikom. Cel ten zazwyczaj osiągany jest poprzez przeładowanie danego zasobu (zazwyczaj serwera) za pośrednictwem ogromnej ilości ruchu (ang. traffic) lub poprzez wysyłanie dużej ilości szkodliwych zapytań, które ostatecznie prowadzą do utraty stabilności przez atakowany zasób lub jego całkowite wyłączenie [79].

udostępniony każdemu, a odpowiadający mu klucz prywatny powinien być ścisłą tajemnicą właściciela. Dane zaszyfrowane kluczem publicznym można rozszyfrować tylko przy pomocy odpowiadającego mu klucza prywatnego. Dane zaszyfrowane kluczem prywatnym mogą być rozszyfrowane przez każdego, kto ma odpowiadający mu klucz publiczny. Funkcja hash to funkcja, która przyporządkowuje dowolnie dużej wiadomości krótką, zwykle posiadającą stały rozmiar i unikalną wartość, która stanowi coś w rodzaju elektronicznego „odcisku palca” tej wiadomości. Funkcja skrótu posiada cechy, że łatwo dać się ją obliczyć, ale praktycznie niemożliwe jest odtworzenie oryginalnej wiadomości na podstawie samego skrótu (jednokierunkowość), oraz że skrót danej wiadomości będzie unikalny (odporność na kolizje) [73].

Powyższe techniki kryptograficzne wykorzystuje się by zapewnić:

- unikalność – każda wiadomość elektroniczna posiada unikalny podpis cyfrowy ściśle związany z tą wiadomością,
- integralność – jakakolwiek zmiana w treści wiadomości podpisanej cyfrowo unieważnia podpis,
- niezaprzeczalność – tylko osoba posiadająca klucz prywatny może wygenerować podpis pod wiadomością,
- uwierzytelnianie – odbiorca wiadomości może ustalić jego pochodzenie poprzez potwierdzenie tożsamości nadawcy,
- poufność – szyfrowanie wiadomości zabezpiecza ją przed podsłuchem i fałszerstwem [73].

Funkcja haszująca

Poszerzając wiedzę w tematykę technologii Blockchain, należy wspomnieć o tworzonych w blockchain, unikalnych, jednoznacznych „odciskach” danych za pomocą jednokierunkowych funkcji skrótu. Jak zostało opisane wyżej, ich działanie polega na wyliczaniu krótkiej sygnatury dla podanych danych wejściowych. Posiadając na wejściu dowolny dokument czy inne informacje w postaci cyfrowej, a nawet całe ogromne zbiory danych, możemy za pomocą funkcji haszującej wyliczyć „skrót” tych danych. Skrót ten będzie odporny na kolizje ponieważ dwa różne zestawy danych nie dadzą tego samego skrótu i nie ma praktycznie możliwości wygenerowania zestawu danych o takim samym skrócie jak wskazany zestaw danych. Inną cechą skrótu jest jego jednokierunkowość i nieodwracalność. Niemożliwe jest odtworzenie oryginalnej wiadomości znając tylko jej skrót. Cechy te są w praktyce wykorzystywane do szybkiej identyfikacji danych cyfrowych i weryfikacji integralności tych danych. Chodzi o fakt, że nawet najmniejsza zmiana w danych źródłowych powoduje, że wyliczony hash różni się od skrótu danych źródłowych [80]. Właśnie takie rozwiązanie jest wykorzystywane w blockchain, gdzie poszczególne transakcje są hashowane oddzielnie, a cały zestaw transakcji tworzy blok, odwzorowany za pomocą drzewa skrótów pozwalający zidentyfikować nie tylko zamianę danych w pojedynczej transakcji, ale także jakąkolwiek próbę wymiany całej transakcji na inną [81].

Obecnie blockchain bardzo intensywnie i skutecznie wykorzystuje znane koncepty kryptograficzne, takie jak tworzenie unikalnych i jednoznacznych „odcisków danych” za pomocą jednokierunkowych funkcji skrótu (opisanych funkcji haszujących) [71]. Ważnym składnikiem technologii Blockchain, który swoje zastosowanie znajdzie w momencie przeniesienia modelu do środowiska blockchain, to wspomniana kryptografia asymetryczna. Pozwala ona zabezpieczyć wymianę informacji, czy wręcz zaszyfrować informacje wymieniane między dwiema stronami, bez konieczności uzgadniania przez strony jednego wspólnego klucza zabezpieczającego. Kryptografia asymetryczna jest podstawą funkcjonowania blockchain. Każdy uczestnik sieci blockchain wchodząc w interakcję z innymi uczestnikami sieci posługuje się za każdym razem swoim kluczem prywatnym do podpisywania wysyłanych przez siebie transakcji oraz kluczami publicznymi adresatów tych transakcji. Kolejnym ważnym do wymienienia elementem technologii jest znakowanie czasem – wszystkie obiekty i zdarzenia w blockchain są bardzo precyzyjnie umieszczone na zsynchronizowanej osi czasu i razem tworzą wiarygodną, ułożoną chronologicznie historię [70, 81]. Elementem, który stanowi filar, zapewniając unikalne cechy funkcjonalne blockchain są opisywane poniżej mechanizmy konsensusu i inteligentne kontrakty – które będą stanowić podstawę rozliczania procesu ładowania samochodów elektrycznych tj. handlu energią elektryczną, jak również będą istotnym elementem w momencie przeniesienia modelu do środowiska blockchain.

Mechanizm konsensusu

Opisując dalej metodykę działania blockchain oraz możliwość adaptacji zbudowanego modelu do środowiska blockchain, warto wiedzieć o dodatkowym mechanizmie konsensusu i nieustannie prowadzonej weryfikacji zapisów, co pozwala zabezpieczyć system transakcyjny (w modelu system aukcyjny) przed nadużyciami oraz innymi rodzajami manipulacji [72]. W kontekście kryptowalut algorytmy konsensusu są kluczowym elementem każdej sieci blockchain, ponieważ są one odpowiedzialne za utrzymanie integralności i wspomniane bezpieczeństwo. Pierwszym algorytmem konsensusu kryptowaluty, który został utworzony, był Proof of Work (PoW), został zaprojektowany przez Satoshi Nakamoto i zaimplementowany na Bitcoin jako sposób na pokonanie błędów bizantyjskich⁶ [84].

Algorytm konsensusu można zdefiniować jako mechanizm, dzięki któremu sieć blockchain osiąga konsensus (zgadza się bez żadnych wątpliwości w określonej kwestii). Publiczne (zdecentralizowane) łańcuchy bloków są budowane jako systemy rozproszone, a ponieważ nie polegają one na centralnym organie, rozproszone węzły muszą uzgodnić ważność transakcji. To tutaj wchodzi w grę algorytmy konsensusu. Zapewniają one przestrzeganie zasad protokołu i gwarantują, że wszystkie transakcje odbywają się w sposób zaufany, więc monety można wydać tylko raz. Aby wyjaśnić

⁶ Wada bizantyjska (ang. Byzantine fault) – rodzaj wady składowej danego systemu komputerowego, która nie powoduje unieruchomienia tej składowej, ale jej złe działanie [83].

i doprecyzować rodzaje algorytmów konsensusowych, ważne jest zrozumienie różnic między algorytmem a protokołem. Protokół można zdefiniować jako podstawowe reguły łańcucha bloków, a algorytm jako mechanizm, za pomocą którego reguły te będą przestrzegane. Podczas gdy protokół określa reguły, algorytm mówi systemowi, jakie kroki należy podjąć, aby zastosować się do tych reguł i uzyskać pożądane wyniki. Na przykład algorytm konsensusu łańcucha bloków określa ważność transakcji i bloków. Tak więc Bitcoin i Ethereum są protokołami, podczas gdy dowód pracy (Proof of Work) i dowód stawki (Proof of Stake) są ich algorytmami konsensusu [84]. PoW i PoS to najczęstsze implementacje. Każdy z nich ma swoje zalety i wady, co wynika z próby zrównoważenia bezpieczeństwa z funkcjonalnością i skalowalnością. Tak więc PoW to swoistego typu mechanizm zamykania bloków (potwierdzania czy informacje zawarte w bloku są zgodne z prawdą). Sam algorytm Proof of Work (dowód wykonania pracy) stanowi wyliczenia – dowód, które wykonuje komputer znajdując prawidłowe transakcje i jednocześnie blokując fałszywe łańcuchy. Nagrodą za wykonaną pracę jest kryptowaluta (np. Bitcoin). Charakterystycznymi właściwościami PoW jest to, że nie ma możliwości otrzymania dowodu naprzód. Każdy nowy blok powołuje się na poprzedni, dlatego każdy nowy dowód można obliczać dopiero wraz z pojawieniem się nowego bloku [85]. Użytkownik, który chciałby zmienić wynik poprzedniego bloku, musiałby wykonać pracę przeciwko całej sieci. Wymagałoby to dodatkowej (bardzo dużej) mocy obliczeniowej i nie byłoby opłacalne ze względu na to, że zastosowanie mocy obliczeniowej w celu weryfikacji transakcji, przyniosłoby mu prawdopodobnie większe zyski niż próba zmiany poprzedniego bloku [86].

Jak opisane było wcześniej, algorytmy konsensusu mają kluczowe znaczenie dla utrzymania integralności i bezpieczeństwa sieci kryptowalut. Zapewniają bowiem rozproszone węzły które potwierdzone zostały mechanizmem konsensusu co do tego, która wersja blockchain jest prawdziwa. Uzgodnienie prawdziwego (obecnego) stanu blockchain ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania cyfrowego systemu gospodarczego.

Sposób w jaki osiąga się konsensus w sieciach blockchain to wciąż jeden z głównych problemów w zakresie osiągnięcia stanu optymalnego, który to rozumiany jest jako maksymalne bezpieczeństwo sieci, przy jednocześnie możliwie jak najniższych kosztach i jak najwyższej prędkości zatwierdzania bloków (inaczej wydajności sieci). Obecnie wyróżnić można cztery najpopularniejsze mechanizmy osiągnięcia konsensusu są to wspomniane wcześniej: Proof of Work (PoW) i Proof of Stake (PoS) oraz Delegated Proof of Stake (DPoS) i Proof of Authority (PoA) (Rys.12.).

	BEZPIECZEŃSTWO	WYDAJNOŚĆ I SKALOWALNOŚĆ	KOSZTY	WYKORZYSTANIE
PoW	Wysokie w przypadku rozbudowanych sieci ---	Niska wydajność i bardzo ograniczona skalowalność ==	Bardzo wysokie (głównie z powodu kosztów energii elektrycznej) ---	Sieci publiczne, wykorzystujące kryptowaluty
PoS	Niższe niż w PoW, zależne od dywersyfikacji tokenów (rośnie wraz z dużą dywersyfikacją) ---	Wyższa niż w przypadku PoW, jednak ograniczona od pewnego momentu rozwoju ==	Niższe niż w PoW ---	Sieci publiczne lub hybrydowe
DPoW	Wyższe niż w przypadku PoS ---	Wyższa niż w przypadku PoW, jednak ograniczona od pewnego momentu rozwoju ==	Niższe niż w PoW ---	Sieci publiczne lub hybrydowe
PoA	Zależne od liczby jednostek nadzorujących sieć (rośnie wraz z liczbą tych jednostek) ---	Bardzo wysoka wydajność i skalowalność zależna od nakładów na sprzęt ==	Niższe niż w PoW, zależne od liczby jednostek nadzorujących sieć ---	Sieci prywatne

Rys.12. Najważniejsze cechy mechanizmów konsensusu

Proof of Work to najpopularniejsza i najstarsza metoda ustalania konsensusu, wykorzystana w sieci Bitcoin. W tym typie sieci wszystkie węzły mają możliwość zatwierdzenia kolejnego bloku danych, a prawdopodobieństwo dodania kolejnego bloku przez węzeł rośnie w momencie, gdy dostarcza on więcej mocy tj. pracy – jak mówią o nie twórcy Bitcoin. Cała sieć wymaga dostarczenia bardzo dużej ilości energii elektrycznej. Energia ta zamieniana jest na moc komputerów zamykających poszczególne bloki danych. Tak wysoki pobór energii prowadzi do bardzo wysokich kosztów utrzymania tego typu sieci. Dodatkowo konieczność zatwierdzania każdego bloku przez wszystkich użytkowników, znacząco spowalnia cały proces i powoduje, że sieć jest mniej efektywna od standardowych, scentralizowanych rozwiązań. Dlatego też charakteryzuje się mniejszą możliwością skalowania [72, [87]][88].

Proof of Stake (PoS) to model konsensusu, który porównywany jest do praw majątkowych z tytułu udziałów w spółce kapitałowej. Nagroda za zatwierdzenie bloku jest rozdzielana zgodnie z liczbą posiadanych tokenów. Dlatego też cały system jest znacznie tańszy ponieważ nie jest konieczne podłączanie do sieci tak dużej mocy obliczeniowej (jak dla Proof of Work). Sieci oparte o konsensus Proof of Stake są bardziej efektywne i dzięki temu mają większy potencjał skalowalności. Należy jednak pamiętać, że od pewnego momentu możliwości skalowania tych sieci spadają, związane jest to z rosnącą liczbą węzłów zatwierdzających [73], [89].

Delegated Proof of Stake to modyfikacja PoS, polegająca na tym, że użytkownicy sieci oddają głosy na jednostki, które w ich ocenie będą najlepiej zatwierdzały bloki danych. Takie głosowanie odbywa się przy zatwierdzaniu każdego kolejnego bloku a kończy się w momencie, gdy uda się osiągnąć satysfakcjonującą liczbę węzłów zatwierdzających. Dzięki takiemu rozwiązaniu, jednostki zatwierdzające dbają o jakość operacji dodawanych do bloku, bardziej niż w standardowym PoS. Koszty operacyjne są

podobnie jak w PoS i dużo niższe niż dla PoW. Niedogodnością dla tego typu sieci delegowanych jest fakt, że mogą być one częściej wstrzymywane w wyniku braku wymaganej liczby wybranych węzłów zatwierdzających [72, 89].

Proof of Authority w odróżnieniu od innych bazuje na zupełnie odmiennym podejściu. W ramach tego konsensusu istnieją z góry wyznaczone węzły nadzorujące, które stale zajmują się autoryzowaniem operacji. Dlatego tego typu sieci muszą posiadać centralny nadzór, ponieważ liczba węzłów powinna być dostosowywana do wielkości samej sieci (w przypadku pozostałych metod konsensusu odbywa się to często w wyniku porozumienia uczestników sieci). Bezpieczeństwo w takiej sieci spada wraz ze zmniejszającą się liczbą węzłów oraz ich koncentracją (węzły skoncentrowane w jednym miejscu, np. wspólnej serwerowni są znacznie bardziej narażone na skuteczny atak niż jednostki rozproszone). Pomimo swoich ograniczeń sieci te są bardzo wydajne oraz pozwalają na skalowanie do dużych rozmiarów [72, 90].

Podsumowując, mechanizm konsensusu to ogólnie rzecz ujmując mechanizm zatwierdzania transakcji i dołączania nowych bloków do łańcucha, wykonywany przez oprogramowanie węzłów sieci blockchain. W tradycyjnych rozwiązaniach, żeby potwierdzić transakcje musi występować trzecia strona, która gromadzi dane pozwalające rozstrzygać, która wersja zdarzeń przedstawiona przez uczestników procesu powinna być obowiązująca. W blockchain nie jest ona potrzebna, zastąpiona jest uzgodnieniem dokonywanym automatycznie pomiędzy węzłami sieci, czyli konsensusem [80].

Inteligentne kontrakty

Jedną z najistotniejszych cech blockchain i Ethereum są inteligentne kontrakty (inaczej z ang. smart contracts), czyli programy lub skrypty, które mogą być wdrożone i uruchomione na blockchain'ie Ethereum (lub na innym), dokładnie o taki kontrakt opiera się opisany w pracy model. Koncepcja inteligentnych kontraktów powstała jeszcze w latach 90-tych poprzedniego stulecia, ale dopiero pierwsze wdrożenia technologii Blockchain umożliwiły ich praktyczne zastosowanie. Smart contract to inaczej kod komputerowy zawierający zestaw reguł biznesowych, na które umówiły się strony zawierające kontrakt, uruchamiany na blockchain'ie. Smart contract zapisywany jest na blockchain'ie, więc nie może być zmieniony lub odwołany. Kiedy spełnione zostaną ustalone wcześniej warunki, kontrakt jest automatycznie i nieodwołalnie wykonywany. Mechanizm ten obejmuje aktywa cyfrowe i co najmniej dwie strony transakcji. Aktywa należące do jednej strony są automatycznie redystrybuowane zgodnie z regułami kontraktu, czyli kontrakt inicjuje jedną lub więcej transakcji, które zapisywane są na blockchain'ie i zmieniają jego stan [73], [88].

Smart contracts tworzone są w wyspecjalizowanych językach programowania i kompilowane do kodu bajtowego⁷. Taki kod jest odczytywany i realizowany/wykonywany przez zdecentralizowaną wirtualną maszynę, która posiada

⁷ Kod bajtowy – lista instrukcji do wykonania przez wirtualną maszynę [92]

cechy zgodne z cechami określonymi przez Turinga (ang. Turing Complete)⁸, a która w przypadku Ethereum nazwana została EVM – Ethereum Virtual Machine. Oznacza to, że każdy węzeł w sieci blockchain ma uruchomiony program, który zawiera wirtualną maszynę – wewnątrz „komputer” który potrafi wykonać instrukcje zawarte w kodzie opisującym smart contract. W momencie, gdy spełnione zostaną warunki kontraktu, węzły wykonują go i tworzą transakcje, które poddawane są zasadom akceptacji według ustalonych dla danego blockchain’u reguł konsensusu. Raz uruchomiony, inteligentny kontrakt nie może zostać zatrzymany, a zmiany na blockchain’ie z niego wynikające, są praktycznie nieodwracalne [73]. Twórcami inteligentnych kontraktów w sieci Ethereum mogą być programiści, stworzone aplikacje są zazwyczaj określane jako dApps (czyt. zdecentralizowane aplikacje). Obecnie w sieci blockchain Ethereum działają setki takich aplikacji, można do nich zaliczyć platformy takie jak m.in. aplikacje giełdowe kryptowalut, aplikacje hazardowe czy platformy społecznościowe. Ethereum posiada swoją kryptowalutę którą jest Ether, można nią handlować na giełdzie kryptowalut jak i używać jako środka płatniczego do uiszczania opłat za moc obliczeniową wykorzystywaną w trakcie wykonywania operacji zawartych w smart contracts.

Jak inaczej opisać inteligentny kontrakt? Nick Szabo w 1994 roku przedstawił i zdefiniował inteligentny kontrakt jako „*skomputeryzowany protokół transakcji, który wykonuje warunki kontraktu*” [94]. Nick Szabo zaproponował tłumaczenie kontraktu jako klauzule w kodzie i osadzanie jej we właściwościach, które mogą egzekwować się samodzielnie [95]. Jednak w systemach blockchain znaczenie inteligentnych kontraktów ewoluowało. W ramach kontekstu łańcucha bloków, inteligentne kontrakty to skrypty zapisane na blockchain, można je traktować jako mniej więcej analogiczne do zarejestrowanych procedur w zarządzaniu relacjami czy bazami danych systemy. Ponieważ przebywając na łańcuchu, smart contracts mają niepowtarzalny charakter i adres. Uruchomienie inteligentnego kontrakt odbywa się bezpośrednio poprzez zwrócenie się do zapisanej transakcji, która następnie wykonuje się niezależnie i automatycznie w określony sposób na każdym węźle w sieci, zgodnie z danymi zawartymi w pliku wyzwalającym wspomnianą transakcję [96].

Przywołując opisany w dalszej części pracy inteligentny kontrakt (działający w analizowanym modelu) – można dojść do wniosku, że przynajmniej w niektórych przypadkach inteligentne kontrakty mogą tworzyć wiążące prawa i obowiązki dla każdej ze stron. Mechanizm najlepiej nadający się do opisanego tworzenia inteligentnego kontraktu wydaje się być analogiczny do automatu sprzedającego, w którym oświadczenie woli jest w sposób zrozumiały wyrażone w wykonaniu zobowiązań umownych – właśnie w tym kontekście w opracowywanym modelu realizowany jest mechanizm sprzedaży energii elektrycznej w ramach ładowania EV. Inteligentne kontrakty są przykładem nowych rodzajów praktyk umownych opartych na technologii które firmy i decydenci powinni zacząć przygotowywać z dużym wyprzedzeniem.

⁸Maszyna Turinga – stworzony przez Alana Turinga abstrakcyjny model urządzenia służącego do wykonywania algorytmów [93]

Jednak ze względu na względną niedojrzałość technologii inteligentnych kontraktów, liczba obecnych aplikacji w świecie rzeczywistym jest nadal dość limitowana. Ewolucja platform cyfrowych wymaga więc podejścia łączącego technologię z ekonomią i prawem [97].

Termin inteligentny kontrakt jest dość niefortunny, gdyż odzwierciedla on tylko reguły zapisane na podstawie dostępnych w danym czasie informacji i może zawierać błędy – kontrakty piszą programiści, więc zawsze mowa jest o czynniku ludzkim. Na dzień dzisiejszy jak zostało wspomniane, kontrakt nie jest uznawany za umowę prawną i nie może być kontestowany na drodze prawnej, na przykład przed sądem [73]. Dlatego też, analizując jego strukturę bardziej adekwatna nazwa to „umowa”. Można domniemać, że w przyszłości smart contracts staną się umowami prawnymi o dość licznej adaptacji w życiu codziennym, ale ze względu na wspomnianą niedojrzałość technologii oraz stan prawny, obecny stan rzeczy jeszcze potrwa. Odpowiednie standardy prawne i regulacyjne mają tu kluczowe znaczenie.

Podstawą analizy procesu ładowania pojazdu za pomocą energii elektrycznej, opisywanym w pracy, zakładającej implementację protokołu blockchain jest zdefiniowanie inteligentnego kontraktu. Nawiązując do wcześniej zawartych informacji – smart contract, to umowa lub zestaw zasad regulujących transakcje biznesowe [66] – taka też definicja tego terminu będzie używana na potrzeby opisu modelu i w całej pracy. Opis kontraktu stanowić będzie bowiem opis metodyki badawczej przyjętej w pracy (patrz Rozdz.5.). Rozwijając to pojęcie można stwierdzić, że wykorzystanie inteligentnego kontraktu jest postępowaniem technologii Blockchain, który pozwala na przejście z protokołu transakcji finansowych do narzędzi, które automatycznie będą wdrażać warunki umów, minimalizując ryzyko błędu [98]. Celem inteligentnego kontraktu jest zwiększenie bezpieczeństwa w porównaniu do tradycyjnych umów przy jednoczesnym obniżeniu kosztów i opóźnień. Taka transakcja jest przechowywana w pojedynczym bloku całego blockchain i wykonywana automatycznie w ramach transakcji [65, 81, 97]. Najważniejszą cechą inteligentnych kontraktów jest więc możliwość wykorzystania ich do współpracy z wieloma łańcuchami blockchain. Oznacza to, że jedna sprawdzana reguła może mieć swoje podłoże w jednej sieci blockchain, a kolejna w innej. Innymi słowy inteligentne kontrakty można traktować jako programy komputerowe wykonujące umowy na podstawie reguł uzgodnionych przez poszczególne strony tych umów [98]. Aby jednak wykonać transakcję opartą na inteligentnym kontrakcie, niezbędne jest posiadanie kryptowaluty (tokenów), która pozwala na zawarcie umowy, przesłanie jej na blockchain, gdzie zostanie automatycznie potwierdzona przez kontrahentów [82]. Kiedy tradycyjne umowy zawierają zasady porozumienia stron, inteligentne kontrakty administrują regułami umowy, kontrolując transfer środków pieniężnych czy też wartości za pomocą ściśle określonego kodu [99].

Smart contracts to nie tylko perspektywa i rozwój ale również zagrożenia i ryzyka, nie są one bowiem narzędziem idealnym i istnieje rzeczywiste ryzyko związane z ich użyciem w przestrzeni blockchain. Do najczęściej opisywanych zagrożeń zaliczyć

można czynnik ludzki. Programy opisujące inteligentne kontrakty pisane i opracowywane są przez ludzi i oczywistym jest, że mogą zawierać błędy, czasami są to błędy o katastrofalnych skutkach. Najbardziej spektakularnym przykładem wykorzystania błędu w kodzie inteligentnego kontraktu była sprawa „The DAO” z 2016 roku na sieci Ethereum, kiedy doszło do kradzieży 56 milionów dolarów [73]. Drugą odśloną to fakt, że nie wszyscy uczestnicy sieci są uczciwi, istnieje ryzyko że znajdą się hakerzy, którzy mogą wykorzystać luki w kodzie. Kolejną rzeczą to jakość danych oraz ich poprawność. Gdy w inteligentnym kontrakcie pojawiają się nieprawidłowe dane i cały kontrakt opiera się na fałszywych przesłankach w konsekwencji dochodzi do niepożądanego wyniku. Jako kolejne zagrożenie możemy wymienić wysokie koszty wdrożenia. Aby zabezpieczyć się przed ryzykiem wykorzystania błędu w kodzie, musi on zostać wyczerpująco przetestowany co wiąże się z wysokimi kosztami. Na koniec warto również nadmienić wspomniany wcześniej status prawny. Obecnie inteligentne kontrakty nie są regulowane przez agencje rządowe i nie stanowią umowy prawnej w powszechnym rozumieniu, co prowadzi do zwiększonego ryzyka i związanych z nim zagrożeń.

Token

Tokeny to jeden z elementów zbudowanego modelu. Służą one jako element ustanawiający wartość. Można określić je jako jednostka wartości zapisana cyfrowo w bazie danych blockchain. W obrębie opracowanych zasad działających w konkretnej bazie danych blockchain, tokenom może zostać nadana wartość, dlatego też tokeny potocznie nazywane są wirtualną walutą. Do takich zasad tych możemy zaliczyć:

- policzalność, tj. ograniczona i niezmienna liczba tokenów istniejąca w każdej bazie danych blockchain,
- możliwość przechowywania poszczególnych jednostek tokenów lub ich części w bazie danych blockchain, możliwość ich przenoszenia przez osoby lub urządzenia IoT, będące w posiadaniu kluczy prywatnych do kont na których są zdeponowane,
- brak możliwości zdublowania tokenu poprzez zdublowania w tym samym czasie transakcji, taki fakt uniemożliwiają odpowiednie zasady konsensusu,
- podzielność, tj. możliwość podzielenia tokenu do dowolnej liczby zer po przecinku, daje to możliwość mikro rozliczenia (np. płatności za sekundę pracy sieci o minimalnej mocy) [73].

Dzięki wyszczególnionym, możliwym do zaprogramowania w blockchain’ie cechą, token stał się niepodważalnym nośnikiem wartości. Znajduje on zastosowanie w bardzo wielu różnych modelach biznesowych, w których zasady dystrybucji, inflacji, czy pozyskania, inaczej „wydobycia”, nadają indywidualną charakterystykę poszczególnym projektom, których wartości reprezentują tokeny.

Tokeny dzięki możliwości szybkiego przesyłania, wymiany, przechowywania w sposób wysoce poufny, oraz stojącej za nimi dużej liczbie możliwości budowania różnorodnych koncepcji biznesowych powodują, że token tak samo jak jest

perspektywicznie biznesowo, tak samo mogą być zachętą dla nieuczciwych praktyk. Dlatego też tokeny uznaje się za najbardziej newralgiczny i często budzący kontrowersję element technologii Blockchain. Działania związane z przenoszeniem wartości i zarządzaniem gospodarką pieniądza zarezerwowana dotychczas dla państw czy banków, w czasach blockchain i tokenów zaczynają budzić skrajne nastroje i powodują, że decyzje rządów i instytucji w temacie dopuszczenia tokenów do rynku finansowego często są skrajnie odmienne. W jednych krajach jest chęć regulacji rynku, w innych mówi się o zakazie posiadania i wymiany tokenów, a w jeszcze innych o tworzeniu możliwie przyjaznego środowiska dla rozwoju tej technologii. Niektóre z państw liczą na napływ wielkiego kapitału oraz opierają swoją strategię na przekonaniu, że blockchain jest technologią z potencjałem, ale może istnieć bez tokenów [73], [88]. Dyskusje społeczne wśród specjalistów z wielu branż są bardzo burzliwe – można jednak śmiało stwierdzić że nowa rzeczywistość Internet of Value (IoV) jest już obecna.

Mówiąc o tokenach możemy rozróżnić następujące ich kategorie:

- Tokeny do przechowywania wartości – do tej grupy zalicza się m.in. Bitcoin (BTC). Wiąże się to z faktem, że w perspektywie długookresowej BTC jest jednostką, której wartość w czasie systematycznie wzrasta i jednocześnie jest on zabezpieczony przez największą moc obliczeniową komputerów (w porównaniu do innych walut cyfrowych).
- Token jako personalizowanie wartości – do tej kategorii zaliczamy tokeny, które nadają wartość usługom świadczonym przez konkretne osoby np. muzyków, artystów, czy youtuberów. Gdy za pomocą tych tokenów realizowana jest płatność za usługi konkretnych osób, grupy osób, organizacji lub instytucji, rynkowa wartość tokenów jest odpowiednikiem atrakcyjności usług lub popularności usług personalnych.
- Tokeny inwestycyjne – są zabezpieczone depozytem wartości materialnych, np. złota, surowców, nieruchomości i stanowią realne odwzorowanie ich wartości. Szczególnym typem tego rodzaju tokenów są tzw. stablecoin'y, które odwzorowują 1 do 1 wartość danej waluty, np. USD.
- Tokeny akcyjne (udziałowe, Security Tokens) – są odpowiednikiem akcji giełdowych i mogą mieć w ramach koncepcji wbudowane rozwiązania takie jak wypłaty dywidendy czy możliwość udziału w głosowaniach akcjonariuszy. Oprócz akcji mogą to być również inne instrumenty finansowe w rozumieniu ustawy z dnia 29 lipca 2005 r. o obrocie instrumentami finansowymi, takie jak: zbywalne prawa majątkowe, tytuły uczestnictwa w instytucjach wspólnego inwestowania, opcje, kontrakty terminowe, swapy, umowy forward na stopę procentową i inne instrumenty pochodne [100].
- Tokeny użytkowe (Utility Tokens) – czyli takie które są niezbędne do zakupu oprogramowania czy też usług opartych o technologię Blockchain, np. jeśli sieć oferuje budowanie inteligentnych kontraktów, to token służy do płatności za ich tworzenie i obsługę, lub jeśli dana sieć blockchain oferuje przechowywanie

danych w modelu rozproszonym, to token jest należnością za utrzymanie tych danych w sieci.

- Tokeny bezwartościowe – nie reprezentują sobą żadnej wartości. Szczególnie duża liczba tokenów nie reprezentujących sobą żadnej wartości pojawiła się przy okazji ICO (Initial Coin Offering). Takie tokeny często stanowiły narzędzie do zebrania pieniędzy od inwestorów bez określenia ich wartości użytkowej w kolejnych etapach biznesu. Wartość tych tokenów nieuchronnie zmierza do zera. W niektórych przypadkach nawet jeśli koncepcja biznesowa się powiedzie to i tak token może finalnie nie posiadać żadnej wartości [73], przy takich inwestycjach newralgiczna jest analiza zaproponowanego w biznesie smart contract'u i reguł nabywania przychodów.

Biorąc po uwagę cechy tokenów, ich specyfika pozwala na wykorzystanie ich w każdym z rodzajów „inteligentnych kontraktów”, ale także poza nimi. Charakter i zasady tokenu należy ustalić każdorazowo w odniesieniu do stosunku prawnego, w którym ma być wykorzystany. Wtedy to nie tylko bierze się pod uwagę takie czynniki jak prawo (właściwe dla umowy), w ramach której token jest wytwarzany i zbywany, lecz również przede wszystkim treść samego kontraktu. Mówiąc inaczej, token jest narzędziem, którego zastosowanie i funkcje są determinowane przez przepisy konkretnej gałęzi prawa (np. przepisy papierów wartościowych) czy inteligentnego kontraktu [73], [88].

Opisując token w ujęciu prawnym, nie jest on rewolucyjnie nowym i nieznanym wcześniej pojęciem. Śmiało można go raczej traktować jako nowy nośnik instrumentu prawa – takie twierdzenie oparte jest o najnowsze stanowiska organów nadzoru finansowego. Dla przykładu można wskazać raport amerykańskiej Komisji Papierów Wartościowych i Giełd (The Securities and Exchange Commission – SEC) z dnia 25 lipca 2017 r.. Raport ten ostrzega uczestników rynku, że oferty i sprzedaż aktywów cyfrowych (tokenów) przez „wirtualne” organizacje prowadzone przez przedsiębiorstwa korzystające z technologii DLT (technologia rozproszonych rejestrów; ang. Distributed Ledger Technology) lub technologii bloków, określane m.in. jako ICO (Initial Coin Offering) lub „sprzedaż tokenów”, podlegają wymogom federalnego prawa papierów wartościowych. Co znaczy, że tokeny jako narzędzia stają się przedmiotem uwagi krajowych organów nadzoru [101].

Państwem uchodzącym za mocno elastyczne w kontekście regulacji odnośnie tokenów jest Białoruś. Zgodnie z obowiązującym od 1 stycznia 2018 r. dekretem, tokeny nie podlegają zgłoszeniu organom państwowym. Operatorzy giełd kryptowalutowych, i platform kryptograficznych są zobligowani jedynie do zapewnienia dostępności, na krajowym rachunku bankowym środków pieniężnych, wysokości nie mniejszej niż 1 milion białoruskich rubli na każdego operatora platformy kryptograficznej i odpowiednio, nie mniej niż 200 tysięcy białoruskich rubli na każdego operatora wymiany kryptowalut [102]. Krajem z najnowszą regulacją prawną dotyczącą tokenu oraz inteligentnych kontraktów jest Malta i maltańska ustawa Virtual Financial Assets (VFA) Act18 z dnia 5 lipca 2018 r. [103]. Ustawa reguluje sposób wydawania

tokenów, omawia nadzór organów państwowych oraz ochronę uczestników obrotu tokenami. Ze względu na różnorodność odmian tokenów, w myśl ustawy token może zostać uznany zarówno za papier wartościowy, instrument finansowy, ale też za kryptowalutę, bądź znak legitymacyjny [104]. Jednym z nowych pojęć znajdującym się w powyżej wymienionych ustawach, a mającym użytek w technologii Blockchain, jest „virtual financial asset” (VFA; ang. wirtualne aktywa finansowe). Czyli każda forma zapisu cyfrowego, używanego jako środek wymiany cyfrowej, jednostka rozliczeniowa lub przechowanie wartości, ale niebędąca jednocześnie ani pieniądzem elektronicznym, ani instrumentem finansowym, ani wirtualnym tokenem. Jak podaje ustawa [103] emitent VFA przed dopuszczeniem tego typu aktywów na rynek (maltański), musi przedstawić tzw. „Whitepaper”, czyli dokument zbliżony do giełdowego prospektu emisyjnego, zawierający szereg informacji o charakterze emitenta oraz technologii DLT i produktu [73]. Aby jeszcze bardziej dbać o interesy stron, Malta powołała dodatkowy organ jakim jest Malta Digital Innovation Authority (MDIA), który pełni rolę urzędu nadzoru innowacji cyfrowych. Jednym z głównych zadań tej jednostki jest kontrola kodów źródłowych inteligentnych kontraktów. Od MDIA zależy wydanie decyzji o przyznaniu licencji na działania w obrębie tokenów.

Z perspektywy polskiego prawa nie ma odrębnej regulacji dla wydawania tokenów w ramach ICO. Z perspektywy wyżej wymienionego podziału tokenów tj. na tokeny utility oraz tokeny security, może się wydawać, że analizie powinna podlegać przede wszystkim kwestia sprawowania nadzoru przez Komisję Nadzoru Finansowego (KNF) pod kątem kwalifikacji ICO jako oferty publicznej w rozumieniu ustawy z dnia 29 lipca 2005 r. o ofercie publicznej i warunkach wprowadzania instrumentów finansowych do zorganizowanego systemu obrotu oraz o spółkach publicznych [105]. Ofertą publiczną jak mówi ustawa jest udostępnienie, co najmniej 150 osobom na terytorium jednego państwa członkowskiego lub nieoznaczonemu adresatowi w dowolnej formie i w dowolny sposób. Oferta publiczna, co do zasady, wiąże się z obowiązkiem wydawcy do udostępnienia do publicznej wiadomości prospektu emisyjnego, zatwierdzonego przez KNF i sporządzonego zgodnie z wymogami prawa [105]. W przypadku tokenów należy zatem ustalić, czy kwalifikują się one jako instrumenty finansowe w rozumieniu ustawy z dnia 29 lipca 2005 r. o obrocie instrumentami finansowymi, a co za tym idzie czy będą miały charakter tokenów security [100].

Initial Coin Offering (ICO)

Odnosząc się do opisywanego w pracy modelu i zawartego w nim sposobie sprzedaży energii elektrycznej, ICO jest niezwykle istotne pod względem pozyskania kapitału początkowego inicjującego cały model. ICO w najprostszy sposób można opisać jako metodę pozyskiwania kapitału poprzez sprzedaż określonego zasobu tokenów cyfrowych, dające ich posiadaczom prawo majątkowe (tokeny udziałowe albo w formie instrumentów finansowych) lub też wiążące się z obietnicą, że tokeny te będą wykorzystywane jako narzędzie dające dostęp do usług oferowanych przez daną platformę (tokeny użytkowe). ICO w bardzo dużym stopniu w swojej formule podobne jest do Pierwszej Oferty Publicznej (ang. Initial Public Offering – IPO), powiązane jest

jednak ze zdecydowanie mniejszymi wymogami prawno–regulacyjnymi w większości krajów świata. Dokładne omówienie ICO jako metody pozyskania kapitału omówione zostało w kolejnym podrozdziale pracy.

Jak zostanie opisane w kolejnych rozdziałach pracy, dzięki zastosowaniu łańcuchów bloków, transakcje kupna i sprzedaży energii elektrycznej, mogą być realizowane bezpośrednio i autonomicznie pomiędzy wytwórcami/sprzedawcami oraz odbiorcami energii. Taki model prowadzenia rozliczeń skutkuje częściową lub całkowitą decentralizacją, ponieważ pewne jego rozwiązania nie wymagają funkcjonowania żadnej centralnej jednostki nadzorującej o której wspomniane było wcześniej. Takie transakcje mogą zawierać się automatycznie na podstawie uprzednio zdefiniowanych reguł i zasad [98]. Rozwiązanie takie jest możliwe dzięki wykorzystaniu dodatkowo inteligentnych kontraktów, których warunki zostały opisane jako główny element modelowania i analizy prezentowanego problemu badawczego.

Podsumowując, blockchain to rozproszona baza danych, która zawiera stale rosnącą ilość informacji pogrupowanych w bloki i powiązanych ze sobą w taki sposób, że każdy następny blok zawiera oznaczenie czasu, kiedy został utworzony oraz link do poprzedniego bloku, będący zaszyfrowanym „streszczeniem” jego zawartości. Technologia Blockchain, czyli w tłumaczeniu łańcuch bloków służy do przechowywania i przesyłania informacji o transakcjach zawartych w Internecie (w analizowanym modelu – o transakcjach kupna energii elektrycznej), które ułożone są w postaci następujących po sobie bloków danych. Poszczególne bloki zawierają odwołanie do bloku poprzedniego, dlatego też nie ma możliwości zmiany transakcji bez zmiany wszystkich poprzednich bloków. Jeden blok zawiera informacje o określonej liczbie transakcji, po nasyceniu informacjami, tworzy się następny blok danych, a za nim kolejny, tworząc w ten sposób właśnie łańcuch. Pojedynczy blok składa się z nagłówka i danych. W łańcuchu średnio co ok. 10 minut pojawia się nowy blok, w którym mogą być przesyłane informacje o rozmaitych transakcjach, np. handlowych, udziałów, akcji, stanów własności, sprzedaży, kupna, wytworzeniu energii elektrycznej, kupnie lub sprzedaży walut, w tym kryptowalut [80].

Odnosząc się do powyższych informacji, technologia Blockchain wydaje się być bardzo dobrym rozwiązaniem które może zapewnić np. pozyskanie kapitału, zdecentralizowane przechowywanie danych, dokonywanie płatności i weryfikacji transakcji, zawieranie tzw. inteligentnych kontraktów i likwidację pośredników w kwestiach biznesowych [72]. Tym samym Blockchain to technologia, która świetnie nadaje się do rozliczania transakcji na rynku energetycznym, realizowanych między producentami i sprzedawcami energii elektrycznej a jej odbiorcami. Analiza takiego procesu, właśnie w kontekście możliwości implementacji blockchain i wpływu procesu ładowania EV na rozwój elektromobilności jest podejmowana i rozwijana w prezentowanej pracy.

3.3. Initial Coin Offering (ICO) jako metoda pozyskania kapitału początkowego

Mówiąc o Blockchain, smart contract jest jednym z pierwszych pojęć jakie wiążą się z tematem, ale bardzo istotnym elementem funkcjonującym w przestrzeni kryptowalut jest pojęcie Initial Coin Offering (ICO). ICO to metoda pozyskiwania kapitału w postaci kryptowalut lub tokenów, w celu finansowania przedsięwzięcia. To właśnie ona w prezentowanym modelu stanowi klucz do finansowania przedsięwzięcia szybkiej alokacji (rozbudowy) stacji do ładowania samochodów napędzanych energią elektryczną. Podmiot organizujący zbiórkę przedstawia swoje plany i założenia w dokumencie zwanym White Paper, będącym zarazem wzorcem umownym. Odpowiada za zorganizowanie akcji marketingowej i zapewnienie infrastruktury obsługującej inicjatywę poprzez smart contract oparty o blockchain – program komputerowy przypisujący inwestorom określoną liczbę tokenów w zamian za kapitał. Po spełnieniu określonego warunku, token daje inwestorowi pewne uprawnienia. W zależności od tych uprawnień, przypisywane są tokeny security bądź utility, które tak jak było wspomniane w poprzednim punkcie pracy, dają odpowiednie uprawnienia w postaci np. pierwszeństwa do dóbr lub usług świadczonych przez emitenta, czy też pozwalają użytkownikom brać udział w zyskach przedsięwzięcia czy też dają prawo głosu utytułowanym do tokenu.

Od crowdfundingu ICO różni się tym, że daje dodatkowe korzyści, które utytułowany do tokenu otrzyma po zrealizowaniu ściśle określonego warunku — co zapewnia smart contract w sposób zautomatyzowany [66]. Jednym z założeń modelu (Rozdz.5.) jest właśnie wykorzystanie ICO do pozyskania środków na uruchomienie sieci ładowarek opartych o rozliczanie transakcji zakupu i sprzedaży energii elektrycznej w technologii Blockchain. Inwestycja w sieć do ładowania samochodów elektrycznych jest nieprzewidywalna, ryzykowana, a horyzont zwrotu zainwestowanych środków jest nieznyany. Trudno jest precyzyjnie przewidzieć nawet do 10 lat kiedy pojawi się na naszych drogach milion samochodów elektrycznych (mowa o Polsce) [106] . Dlatego strategia pozyskania kapitału w ramach ICO na tak ryzykowną, pod względem czasu inwestycję, może pomóc sfinansować właśnie rynek waluty elektronicznej i jej emisja. Initial Coin Offering uznaje się za idealne rozwiązanie jako dawce kapitału, ponieważ rynek elektromobilności obecnie jest nastawiony na spekulacje, idealizowanie, prognozy, a horyzont czasowy ma mniejsze znaczenie i jest bardzo trudny do konkretnego zdefiniowania.

Bez wątplenia powiązanie rozwoju elektromobilności z rozwojem przemysłu i integracją pojazdów elektrycznych z siecią elektroenergetyczną wymaga odpowiednich nakładów finansowych. Celem sfinansowania i zarządzania infrastrukturą do ładowania samochodów elektrycznych może być narzędzie do pozyskiwania kapitału typu equity czyli właśnie Initial Coin Offering. Wymagania kapitałowe do stworzenia sieci ładowarek obsługiwanych przez prezentowany w dalszej części pracy model, wykorzystujący technologię Blockchain bez wątplenia są ogromne.

Dlatego też rozwijanie sieci dzięki systemowi Initial Coin Offering wydaje się jednym z lepszych sposobów finansowania tego typu przedsięwzięcia.

ICO jest bardzo podobnym procesem do publicznej emisji papierów wartościowych na giełdzie. W świecie blockchain zamiast akcji, inwestor otrzymuje tokeny. ICO przeważnie ma określoną: minimalną i maksymalną liczbę tokenów jaka musi zostać opłacona (realną walutą tzw. *Fiat money* lub inną kryptowalutą), ma również niezmiennie zapisany cały algorytm ekonomii tokenów i wszystkich zasad w jaki sposób będą one pełnić swoją rolę: w przypadku opisywanego modelu – rolę inwestycyjną (equity) oraz rolę rozliczeniową i nośnika wartości (value).



Rys.13. Podstawowe kryteria zbiórki funduszy w ramach ICO

Aby dana zbiórka funduszy mogła być określona mianem ICO, musi spełniać kilka podstawowych kryteriów, tj. zbierający generuje tokeny cyfrowe, nie może posiadać pośredników, sprzedaż tokenów prowadzona jest elektronicznie a oferta przekazywana jest w postaci Whitepaper (Rys.13.). Z punktu widzenia organizatorów zbiórki, ICO ma kilka specyficznych zalet, które dowodzą, że mechanizm ten może być alternatywą dla tradycyjnych metod pozyskiwania kapitału. Do głównych zalet ICO można zaliczyć:

- Koszty – niższe w stosunku do tradycyjnych metod kosztów pozyskiwanego kapitału (takich jak: kredyt bankowy, fundusz inwestycyjne, IPO).
- Elastyczność – możliwość elastycznego dobierania warunków finansowania – to od organizatora zbiórki zależą warunki i oferta jaką przedstawi potencjalnym kupującym.
- Klienci – budowanie sieci lojalnych użytkowników projektu – nabywcy tokenów są bardziej związani z daną usługą i często sami promują ją w swojej sieci kontaktów.

Initial Coin Offering może być uznawany za bardzo skuteczny sposób na rozwój innowacyjnych projektów, które cechują się występowaniem tzw. efektu sieciowego. Tego typu projekty uzyskują większe korzyści z przeprowadzonej zbiórki ICO, ponieważ pozyskują w tym samym czasie kapitał na rozwój oraz nowych użytkowników. W rozwiązaniach w których występuje efekt sieciowy, korzyści dla

użytkowników są tym większe, im większa jest liczba użytkowników. Doskonałym przykładem takiego zjawiska są media społecznościowe, np. Instagram czy Facebook. Dlatego też, ICO może służyć nie tylko finansowaniu projektów start-up’owych, ale również finansowaniu rozwiązań które wykazują się większą dojrzałością. Tego typu koncepcje są dobrze oceniane przez nabywców tokenów, w kontrze do problemu gdzie wiarygodność sprzedających tokeny jest niska (w przypadku bardziej dojrzałych konceptów, wiarygodność ICO jest znacząco wyższa). Dodatkowo, wyróżnić można projekty gdzie ICO jest procesem łączonym ze standardowymi metodami finansowania. Nie mniej jednak przygotowując się do organizacji własnego ICO należy być świadomym wielu potencjalnych zagrożeń, które mogą przyczynić się do niepowodzenia projektu. Mowa tu przede wszystkim o bezpieczeństwie i fakcie, że zbiórki ICO często padają ofiarą ataków hackerskich. Kolejną uwagą dla każdego chcącego zorganizować zbiórkę w ramach ICO, jest kwestia regulacji i obostrzeń prawnych oraz podatkowych, które muszą zostać spełnione, aby ICO było legalne. Dlatego też, zasadne jest skorzystanie z profesjonalnego wsparcia czy to kancelarii prawnej czy doradcy, w tym m.in. od cyberprzestrzeni, aby zapewnić transparentność, wiarygodność i szeroko rozumiane bezpieczeństwo wszystkich transakcji [73].

Jak zostało wspomniane powyżej w polskim prawie nie ma odrębnej regulacji dla wydawania tokenów w ramach ICO. Chcąc porównać ICO do tradycyjnych konstrukcji prawnych, można odnotować niektóre cechy występujące w crowdfundingu⁹, bądź w ofercie publicznej (wiąże się to z charakterem emitowanych tokenów). Jako, że zarówno crowdfunding jaki i oferta emisji publicznej¹⁰ działająca w tradycyjnym obrocie, zostały prawnie uregulowane, popchnęło to również do przodu emisję ICO. Ta jednak jest realizowana z dużą ostrożnością, a emitenci zaczęli przywiązywać dużą wagę do weryfikacji, jakie przepisy mogą ich dotyczyć. Warto również odnotować, że obserwując rynek nowych technologii, zarówno u osób emitujących tokeny w ramach ICO, jak wszystkich tworzących nowe projekty w oparciu o blockchain, dość znacznie zwiększyła się świadomość prawna. Dlatego też błędnym jest twierdzenie, że świat blockchain’u funkcjonuje w próżni prawnej.

Posługując się mechanizm ICO, w prezentowanym modelu odwzorowane zostało zebranie środków finansowych do wybudowania i instalacji stacji do ładowania samochodów elektrycznych (w Polsce). W modelu, głównym celem ICO jest właśnie zebranie odpowiedniego kapitału potrzebnego na wydatki inwestycyjne (pokrycie capital expenditures (CAPEX)¹¹, a w zamian za kapitał, inwestor otrzymuje tokeny (akcje) które mogą być spieniężane i/lub pomnażane, tak jak opisane jest w dalszej części symulacji i czasie życia procesu tokenizacji.

⁹ inaczej finansowanie społecznościowe; przedsięwzięcie jest finansowane poprzez dużą liczbę drobnych, jednorazowych wpłat dokonywanych przez osoby zainteresowane projektem.

¹⁰ w przypadku emisji publicznej istnieje również konieczność spełnienia szeregu wymogów takich jak sporządzenie, zatwierdzenie oraz publikacja prospektu emisyjnego.

¹¹ CAPEX (ang. capital expenditures) – oznacza wydatki inwestycyjne na rozwój produktu lub wdrożenie systemu [107]

4. Wdrożenia elektromobilności i technologii Blockchain

Odwołując się do tematu blockchain'u, elektromobilności i pojazdów elektrycznych, cofamy się w czasie nie więcej niż kilka lat. Pierwsze publikacje łączące te dwa pojęcia to 2016 rok. Na tej podstawie możemy ocenić, że zagadnienia te są dość świeże i niewyczerpane. Dlatego też, ze względu na fakt, że prawie nikt wcześniej nie poruszała rozważać w proponowany w pracy sposób, zrodziła się chęć zgłębienia tematu. Analizowany problem nie został wcześniej sformułowany, dlatego tak wielka była intencja analizy tego zagadnienia. Chcąc dokonać przeglądu, analizy i zbieżności prac w tym temacie posłużono się dostępnymi bazami publikacji naukowych tak krajowych jak i międzynarodowych. Wpisując poszczególne słowa klucze, związane z tematem nie natrafiono na pracę na tyle podobną aby móc podjąć dyskusję, potwierdzenie czy zaprzeczenie stawianych w pracy tez i problemów badawczych. Nie mniej jednak w zakresie blockchain i elektromobilności istnieje wspólny mianownik który pokazuje jak daleko rozwijana jest współpraca między tymi dziedzinami nauki. Blockchain obecnie znajduje bardzo szerokie zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach, zarówno tych technologicznych jak i społecznych. Tak więc jego ogólna ekspansja zapewne pozostaje tylko kwestią czasu [108].

Wracając do tematu synergii blockchain i elektromobilności, jedną z ciekawszych prac w tematyce łączącej pojazdy elektryczne i blockchain jest praca Pustisek M., Kos A., Sedlar U. [109]. Przedstawiono w niej koncepcję autonomicznych negocjacji opartych na blockchain w celu wybrania najwygodniejszej stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Na podstawie m.in. planowania trasy, stanu naładowania akumulatora samochodu, informacji o ruchu drogowym w czasie rzeczywistym i preferencjach kierowców, opisane jest, jak samochód mógłby zarządzać ofertami ładowania z różnych stacji na trasie. Tym samym wykonać oparte na blockchain inteligentne kontrakty, związane z tymi stacjami ładowania, które pasują do wszystkich wytycznych

związanych m.in. z ceną oferowanej energii czy odległością. Nie mniej jednak opis modelu (bez implementacji) aby działać potrzebuje już rozbudowanej sieci ładowarek – co na dzień dzisiejszy nie jest jeszcze spełnionym warunkiem. Celem artykułu badawczego Pustisek’a i Kos’a było nakreślenie możliwego użycia i wdrożenia prototypu blockchain – co udało się osiągnąć. Odwołując się do spełnienia warunku odpowiednio dużej sieci ładowarek, autorzy artykułu założyli dużą liczbę dostępnych punktów ładowania – opisywany w późniejszym rozdziale model jest właśnie odpowiedzią na wzrost zapotrzebowania na punkty ładowania – podając prostą receptę i scenariusz ekonomiczny na wykorzystanie ICO do rozbudowy sieci.

Pracą która mocno wiąże się z wyżej wymienioną, i jednocześnie posiadającą wspólny element handlu energią elektryczną, jest praca Li Z., Kang J., Yu R., Ye D., Deng Q., Zhang J. [110]. W pracy tej zaproponowany jest model lokalnego handlu energią wykorzystującego usługę peer-to-peer (P2P) wśród hybrydowych pojazdów elektrycznych typu plug-in (PHEV) w inteligentnych sieciach. Opisywany model odpowiada na zapotrzebowanie sieci elektroenergetycznej poprzez dostarczanie zachęt do rozładowywania PHEV w celu zrównoważenia lokalnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Dodatkowo w pracy poruszane są również kwestie bezpieczeństwa takich transakcji. Wyniki liczbowe oparte na danych z terenu stanu Teksas w USA wskazują, że mechanizm podwójnej aukcji może osiągnąć maksymalizację dobrobytu lokalnego społecznego, jednocześnie chroniąc prywatność pojazdów PHEV.

Artykuł autorów Condon Silva, F., Ahmed, M. A., Martínez, J. M., Young-Chon K. [111] również prezentuje platformę handlu energią opartą na blockchain dla pojazdów elektrycznych dla obszaru inteligentnego parkingu zlokalizowanego na terenie kampusu uniwersyteckiego. Właściciele pojazdów elektrycznych mogą ładować energię na niskim poziomie wyceny i/lub sprzedawać w godzinach szczytu po wyższej cenie. Proponowana architektura systemu składa się z dwóch warstwy: warstwa infrastruktury fizycznej i warstwa infrastruktury cybernetycznej. Opisywana w pracy technologia Blockchain jest obiecującym rozwiązaniem do ułatwienia audytowania i śledzenia transakcji energetycznych między uczestnikami rynku. Proponowana platforma zapewnia korzyści uczestnikom, a także umożliwia bilansowanie zapotrzebowania na obciążenie uniwersyteckiej lokalnie sieci energetycznej. Opis artykułu podając prezentację platformy koreluje z głównymi założeniami opisywanego w dalszej części pracy modelu – nie mniej jednak autorzy, t.j. Condon Silva i in., [111] skupiają się lokalnie i badają tylko wybraną przestrzeń urbanizacji, wyposażoną w infrastrukturę do ładowania samochodów elektrycznych.

W pracy Su Z., Wang Y., Xu Q., Fei M., Tian Y. i Zhang N. [112] kolejny raz podejmowany jest temat bezpieczeństwa w obrębie transakcji przy procesie ładowania pojazdu elektrycznego. Temat bezpieczeństwa również mocno analizowany był przy tworzeniu koncepcyjnym modelu. Ciekawym zagadnieniem poruszonym w artykule jest ulokowanie procesu w inteligentnej społeczności. W oparciu o teorię inteligentnego kontraktu analizowane są kontrakty tak zaprojektowane, aby zaspokoić indywidualne potrzeby pojazdów elektrycznych również w zakresie odnawialnych źródeł energii.

Tekst Aitzhan N. Z. i Svetinovic D. [113] podobnie jak wymieniony powyżej artykuł Su. Z. i innych, również mocno skupia się na problemie zapewnienia bezpieczeństwa transakcji w zdecentralizowanym handlu energią w inteligentnych sieci, bez polegania na zaufanych trzecich podmiotach. Autorzy wdrożyli weryfikację koncepcji zdecentralizowanego systemu handlu energią przy użyciu technologii Blockchain, umożliwiając partnerom anonimowe negocjowanie cen energii i bezpieczne przeprowadzanie transakcji handlowych. Przeprowadzili również studium przypadku, aby wykonać analizę bezpieczeństwa i ocenić wydajności. Praca pod względem czynnika negocjacji koresponduje z opisywanym modelem, nie bierze jednak pod uwagę systemu aukcyjnego. Temat wciąga, ponieważ oczekuje się, że inteligentne sieci wyposażone w dwukierunkowy przepływ komunikacji, zapewnią bardziej wyrafinowane monitorowanie zużycia i handel energią. Jednak kwestie związane z bezpieczeństwem transakcji i prywatnością danych dotyczących konsumpcji i handlu, stanowią również poważne wyzwanie.

W literaturze i publikacjach naukowych nie tylko podnoszone są problemy bezpieczeństwa procesu ładowania i możliwości użycia blockchain do zapisywania transakcji, ważną kwestią jest również rosnąca popularność pojazdów elektrycznych i domniemany ich negatywny wpływ na sieć elektroenergetyczną. Jak podaje Nour M., Said S. M., Ali A. i Farkas C. [114] rosnąca popularność elektryfikacji pojazdów prywatnych, będzie miała negatywny wpływ na system elektroenergetyczny, zwłaszcza na sieci dystrybucyjne, jeśli ładowanie pojazdów elektrycznych (EV) nie będzie odpowiednio zarządzane. W artykule [114] zaproponowano nową technikę inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych i przetestowano ją za pomocą symulacji. Sterownik z logiką rozmytą służy do sterowania procesem ładowania pojazdu elektrycznego i zarządzania nim, aby zmaksymalizować korzyści dla dostawcy energii elektrycznej i właściciela pojazdu elektrycznego. Korzyścią dla zakładu energetycznego jest złagodzenie wpływu ładowania EV na sieć dystrybucyjną poprzez przesunięcie ładowania EV na okres poza szczytem, podczas gdy korzyścią dla właścicieli EV jest ładowanie EV po niskich kosztach. Sterownik reguluje i steruje mocą ładowania EV w zależności od sygnału ceny energii elektrycznej dostarczanego przez zakład energetyczny oraz stanu naładowania akumulatora EV (ang. state of charge, SoC). Sterownik ten wymaga podstawowej komunikacji z zakładem energetycznym, aby co godzinę odbierać sygnał dotyczący ceny energii elektrycznej. Zadaniem kontrolera jest ładowanie pojazdów elektrycznych niskim kosztem przy zachowaniu normalnych warunków pracy sieci dystrybucyjnej. MATLAB/SIMULINK służył do wykonywania symulacji i testowania skuteczności proponowanej metody inteligentnego ładowania. Wyniki pokazały, że proponowana metoda inteligentnego ładowania zmniejszyła wpływ ładowania pojazdów elektrycznych na sieć dystrybucyjną w porównaniu z ładowaniem niekontrolowanym [114].

W nawiązaniu do poprzedniej pracy duża liczba ładowanych samochodów elektrycznych może w znaczny sposób wpłynąć na zmianę kształtu krzywej obciążenia dobowego. W pracy Stah, W. i Bućko P. [115] przedstawiono możliwy wpływ

ładowania samochodów na gradienty obciążeń w cyklach dobowych. Oceniono możliwe zmiany kształtu wykresu dobowego, w przypadku gdyby 5% użytkowanych samochodów zastąpić samochodami elektrycznymi. Analizie zostały poddane dwa warianty współpracy samochodów z systemem: G2V (Grid to Vehicle, proste ładowanie samochodów) oraz V2G (Vehicle to Grid, wykorzystanie możliwości oddawania energii do sieci). W artykule zaprezentowano wpływ samochodów na tzw. gradienty obciążeń, czyli szybkość narastania lub spadku obciążenia na granicach stref czasowych. Po uwzględnieniu wpływu samochodów elektrycznych, zmiany zaszły nie tylko w wartościach obciążeń, ale też w dynamice ich wzrostu lub spadku. Podobne rozważania odnośnie integracji pojazdów elektrycznych z infrastrukturą sieci elektroenergetycznej przedstawiają w swoich pracach autorzy Komarnicki P. in. [17] oraz Zielińska [116], opisując pogłębioną techniczno–ekonomiczną analizę integracji pojazdów elektrycznych z rozwijającym się systemem elektroenergetycznym zawierającym coraz więcej odnawialnych źródeł energii. W ich pracach omówione zostały również podzespoły pojazdów elektrycznych i ich optymalna współpraca z infrastrukturą stacji ładowania. Opisano wymagania i możliwości techniczne jak i protokoły komunikacyjne pozwalające na optymalną implementację procesu ładowania i rozładowania pojedynczych bądź zgrupowanych we floty pojazdów. Poruszony w pracach temat wpływu samochodów elektrycznych na sieć elektroenergetyczną jest również mocno istotny, narastające problemy z poborem energii przez samochody elektryczne na pewno będą zauważalne – nie mniej jednak obecnie, w systemie (rynek Polski) pod względem technicznym jest jeszcze czas na przygotowanie odpowiedzi na narastającą liczbę procesów ładowań.

Oprócz wymienionych powyżej aspektów technicznych poruszanych w pracach, ważnym elementem porządkującym aktualny stan wiedzy w temacie są również regulacje prawne. Polityka Polski oceniana jest obecnie na wspierającą produkcje energii z systemów odnawialnych (OZE), mocno widać to w sektorze OZE poprzez rozwijający się rynek fotowoltaiki (dopłaty rządowe realizowane do 12.2020 poprzez program „Mój prąd”) i pozyskiwania energii z wiatru. Jednakże wsparcie dla elektromobilności również jest bardzo istotne chociażby dla tworzenia i rozwoju infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Zasięgi akumulatorów pojazdów elektrycznych nie pozwalają jeszcze na kilkuset kilometrową podróż na jednym ładowaniu, dlatego też, tak istotne jest wspieranie rozwoju sieci ładowarek. Mowa tu szczególnie o ładowarkach DC o mocy powyżej 40 kW, bowiem tylko one dają możliwość sprawnego i szybkiego doładowania pojazdu „na trasie”. Odpowiadając na potrzeby rynku, Rząd Polski zamierza wprowadzić tzw. e–taryfę, będącą nowelizacją rozporządzenia w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną przeznaczoną wyłącznie ogólnodostępnym stacjom ładowania. E–taryfa będzie grupą taryfową, która jak podaje Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (PSPA), zlikwiduje istotną barierę rozwoju elektromobilności w Polsce [117]. Według PSPA wysokie opłaty dystrybucyjne o charakterze stałym, mocno obciążają operatorów ogólnodostępnych stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych, tym samym przy niewielkim jeszcze popycie na tę usługę,

powodują zbyt wysokie koszty i w efekcie drastyczny spadek rentowności istniejących stacji oraz hamowanie nowych inwestycji w infrastrukturę do ładowania EV. Problem widoczny jest przede wszystkim dla stacji ładowania prądem stałym (DC) o mocy powyżej 40 kW, dla których obowiązuje taryfa C2x, przewidująca około trzykrotnie wyższe jednostkowe opłaty za moc umowną niż taryfa C1x (obowiązująca dla mocy umownej do 40 kW włącznie). Dla stacji AC na których zainstalowano dwa punkty ładowania umożliwiające równoległe ładowania dwóch pojazdów mocą 22 kW sytuacja wygląda dokładnie tak samo. Z uwagi na to, że łączna moc stacji wynosi wówczas 44 kW, zostaje ona objęta taryfą C2x. Wysokie koszty utrzymania, dotyczą większość stacji ładowania (działających w Polsce), powodując praktyczny brak możliwości osiągnięcia ich rentowności (nawet przy optymistycznych założeniach dotyczących wykorzystania stacji). W przypadku szybkich ładowarek na prąd stały (DC) o mocy ok. 50 kW, opłaty stałe dystrybucyjne wynoszą obecnie ok. 1 000 PLN miesięcznie. Opłaty te są jednymi z najwyższych spośród wszystkich państw członkowskich Unii Europejskiej. Rozwiązaniem tego problemu jest zaproponowane właśnie wprowadzenie specjalnej „Taryfy E” (e-taryfy), pozbawionej opłaty dystrybucyjnej stałej przy trzykrotnie wyższych opłatach zmiennych dystrybucyjnych. Jej wdrożenie pozwoliłoby wyeliminować nadmierne obciążenie operatorów sieci stacji ładowania opłatami dystrybucyjnymi, a poprzez powiązanie opłat dystrybucyjnych jedynie z wolumenem energii, pozwoliłoby na dopasowanie profilu płatności za usługi dystrybucyjne do dynamiki rynku pojazdów elektrycznych. W dalszej perspektywie umożliwi to przełamanie poważnej bariery dla rozwoju elektromobilności, którą są właśnie bardzo wysokie opłaty dystrybucyjne stałe za energię elektryczną. Wdrożenie tak opracowanej dedykowanej taryfy będzie od dawna oczekiwanym, przełomem na rynku usług ładowania, dając tym samym otwarte drzwi dla inwestorów chcących ulokowania kapitału w stacjach do ładowania pojazdów elektrycznych (choćby przez inwestycję ICO).

Oprócz wyszczególnionych powyżej zakończonych już prac, cały czas świat nauki i technologii pracuje nad pogłębianiem tematu związanego z rozwojem elektromobilności i powiązaniem jej z technologią Blockchain. Warto przytoczyć tu kilka realizowanych projektów naukowych skupiających się w obrębie badanej tematyki.

Mówiąc o pojazdach elektrycznych warto nadmienić, że w przeszłości jak i obecnie prowadzonych jest szereg projektów badawczych w tym zakresie. Projekty te finansowane lub współfinansowane są zazwyczaj ze środków publicznych w ramach programów rozwoju elektromobilności w Europie i obejmują zróżnicowane tematy badawcze. Dotyczą one m.in. tematyki związanej z koncepcją carsharingu, platform mobilności do obsługi procesu ładowania, testowaniem flot pojazdów elektrycznych dla gmin oraz autobusów elektrycznych dla transportu publicznego. Jeden z takich przykładowych projektów – „E-Mobility4GridServices”, opiera się na rozbudowie sieci elektroenergetycznej i infrastruktury elektromobilności [118]. Projekt skupia się na opracowaniu nowego podejścia obejmującego wiele systemów, które umożliwią

pojazdom elektrycznym i infrastrukturze ładowania możliwość nowych usług sieciowych. Mowa tu o testowanych obecnie usługach V4G (Vehicle for Grid) w celu zapewnienia wymaganej jakości i niezawodności zasilania przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. W ramach projektu samochody elektryczne mają zostać zmodernizowane dla usług sieciowych takich jak: parametryzacja faz, stabilizacja częstotliwości i napięcia, zapewnienie odpowiedniej jakości zasilania, dostarczanie mocy zwarciowej, sprzężenie z taryfami. Naukowy i techniczny cel projektu E-Mobility4GridServices polega na opracowaniu dwukierunkowych strategii opłat, które umożliwiają świadczenie nowych usług sieciowych oraz wykorzystanie w praktyce informacji zwrotnych na temat ładowania pojazdu i optymalizacji procesu.

Inny projekt to „sun2car@GAP” [119], w ramach projektu zakłada się, że energia fotowoltaiczna wytwarzana w domach prywatnych jest wykorzystywana bezpośrednio do ładowania pojazdów elektrycznych. Dlatego też w tym celu opracowano i przetestowano nowatorskie rozwiązanie skupiające się na zmiennych stawkach ładowania, które zmniejszają obciążenie sieci. Strategie ładowania pojazdu elektrycznego zostały przetestowane z użyciem przydomowej instalacji fotowoltaicznej wyposażonej w magazynem energii.

„Demand response – das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk” [120], to projekt w ramach którego wykorzystano pojazdy elektryczne do magazynowania energii w celu ustabilizowania pracy systemu. Produkcja energii elektrycznej jest weryfikowana przez pojazdy elektryczne celem zbuforowania nadwyżki energii i uwolnienia jej w czasie szczytowego obciążenia. EV reprezentują tu kontrolowane obciążenie w wirtualnej elektrowni. Projekt pozwolił na przetestowanie usługi systemowej w terenie w ramach inteligentnej strategii ładowania [17].

Technologia Blockchain posiada szeroki wachlarz zastosowań. W ostatnich kilku latach, można zaobserwować znacząco rosnące zainteresowanie praktycznymi zastosowaniami technologii Blockchain. Fakt ten potwierdzają badania rynkowe wykonywane przez czołowe firmy zajmujące się rynkiem i analizami. Powołując się na firmę Deloitte i jej badania z 2018 r., którymi objęto ponad 1000 Top menedżerów z Ameryki Północnej, Europy Zachodniej i Chin wynika, że 39% procent z nich zainwestuje w kolejnym roku ponad 5 milionów dolarów w rozwiązania z wykorzystaniem technologii Blockchain (65% zainwestuje ponad 1 milion dolarów), a 84% z nich uważa, że blockchain jest już wystarczająco skalowalny i znajdzie zastosowanie w głównym nurcie biznesu [121]. Z kolei badanie rynkowe IBM Institute for Business Value, przeprowadzone wśród 147 operatorów telekomunikacyjnych pokazuje, że 36% z nich ma w planach wdrożenie lub już wdraża blockchain, 41% jest zdania, że blockchain pomoże w realizacji strategii spójności danych, a 46% wyraża chęć użycia blockchain do realizacji nowych modeli biznesowych [122].

Patrząc na wyniki badań, powiązanie technologii Blockchain z elektromobilnością i szeroko pojętą energetyką jest dość mocno odczuwalne już teraz. Poniżej opis kilku

już realizowanych projektów skupiających się właśnie na synergii blockchain i procesie ładowania pojazdów elektrycznych.

Wdrożony projekcie innowacji SE4 oraz start-up Innovo Innovation Hub Share&Charge, to rozwiązanie które zapewnia dostęp do stacji ładowania pojazdów elektrycznych. W ramach projektu udało się stworzyć bazę ponad 1200 stacji ładowania obsługiwanych w technologii blockchain. Uważa się, że ten start-up jest pierwszą firmą na świecie tak zaangażowaną w zakrojony na szeroką skalę projekt promujący rozwój technologii Blockchain [123]. Centralną platformą rejestracyjną dla właścicieli samochodów elektrycznych i operatorów stacji ładowania jest bezpłatna aplikacja Share&Charge. Zarówno firmy jak i prywatni użytkownicy posiadający aplikację, mogą dodawać własne stacje ładowania (domowe) i udostępniać je innym użytkownikom aut elektrycznych, decydować tym samym o stawkach i taryfach. Mogą też udostępniać i pobierać opłaty za miejsca parkingowe na stacjach ładowania – a wszystko to osadzone w technologii Blockchain. Takie założenia modelu stwarzają zupełnie nową ekonomię procesu ładowania opartą na ekonomii współdzielenia – w tym przypadku z wykorzystaniem publicznej platformy Ethereum jako warstwy transakcyjnej. Wdrożony projekt i aplikacji, daje również możliwość wyszukiwania stacji ładowania za pomocą interaktywnej mapy. Takie rozwiązanie umożliwia właścicielom EV, ładowanie pojazdów na dowolnej z nowych stacji ładowania skonfigurowanych przez start-up lub w istniejących już punktach ładowania poprzez dokonywanie płatności cyfrowych. Aplikacja Share&Charge zapewnia wszystkim uczestnikom przejrzysty i bezpieczny system płatności wykorzystujący blockchain, który poprzez decentralizację baz danych nie wymaga centralnego komputera. Warty uwagi jest również fakt, że cała usługa ładowania odbywa się bez obecności operatora systemu dystrybucyjnego i sprzedawcy energii [124]. W momencie ładowania, w czasie rzeczywistym, właściciel stacji odnotowuje przychód, a użytkownik pojazdu odciążony zostaje kosztem. Ten wirtualny portfel w postaci tokenów cyfrowych, przeliczany jest na walutę rozliczeniową (Euro, €) dając tym samym możliwość dokonywania płatności kartą kredytową czy systemem PayPal. Każda transakcja w aplikacji jest fakturowana i przechowywana w systemie, użytkownik posiada możliwość pełnego dostępu do pliku faktury. Aplikacja umożliwia każdemu dostęp do bezpiecznej platformy kryptograficznej, dzięki czemu jest to równie łatwe jak użytkowanie innej podobnej aplikacji dedykowanej urządzeniom mobilnym. Zapewniając tym samym automatyzację, niezmienność i trwałość historii transakcji, co wpływa na znaczne obniżenie kosztów i tworzenie rozbudowanych usług peer-to-peer.

Powerpeers to start-up, który powstał przy udziale holenderskiej firmy energetycznej N.V. Nuon Energy, umożliwia on bezpośredni obrót energią elektryczną pomiędzy dowolnymi zarejestrowanymi użytkownikami. Aplikacja blockchain umożliwia tu automatyczne oznaczanie każdej wyprodukowanej i zużytej jednostki energii, zapisując każdą transakcję i rozliczając rachunki w wirtualnym portfelu. Oznacza to, że część nadwyżek wyprodukowanej energii elektrycznej (m.in. z paneli fotowoltaicznych), może zostać dystrybuowana w inne miejsce. Metoda ta umożliwia identyfikację źródła

zakupionej energii (bardzo ważne dla firm produkujących np. żywność ekologiczną, która również energię do procesów produkcyjnych kupuje z pobliskiej instalacji OZE). Taka identyfikacja peer-to-peer i system handlu energią jest możliwy dzięki inteligentnemu opomiarowaniu klientów i producentów uczestniczących w projekcie. Takie czynności jak np. podpisanie umowy, zmiana sprzedawcy czy rozliczenie są tu bardzo uproszczone lub nie występują wcale. Większość tych procesów jest realizowana przez aplikację i jej właściciela – czyli Powerpeers (który posiada koncesję na obrót energią i gazem). Infrastruktura energetyczna jest używana lokalnie, a niezawodność dostaw i konserwacji sieci jest utrzymywana przez operatora systemu dystrybucyjnego. W istocie realizowana jest tu idea klastra energii bez specjalnych regulacji. Taki system działa obecnie tylko w Holandii, gdzie Nuon i Vattenfall zyskują na wartości ogromnym doświadczeniem w tym modelu biznesowym, mając na uwadze, że stanowi on ogromny potencjał do rozwoju na dużą skalę [125].

Innym przykładem jest holenderski start-up Oneup, który opracował i przetestował podobny prototyp zdecentralizowanego systemu transakcji (handlu) energią elektryczną z wykorzystaniem danych energetycznych z dziesięciu gospodarstw domowych. Gospodarstwa domowe w tej samej okolicy wytwarzają energię elektryczną za pomocą paneli fotowoltaicznych. Energia elektryczna, która nie zostanie zużyta przez samo gospodarstwo domowe, jest dostarczana sąsiadom i rozliczana przez system oparty na technologii Blockchain. Wszystkie transakcje w projekcie są realizowane za pośrednictwem inteligentnych kontraktów. Każdy budynek ma również inteligentny licznik podłączony do Raspberry Pi¹², który z kolei jest podłączony do sieci. Komputer jest tak skonfigurowany, że umożliwia weryfikację w czasie rzeczywistym czy warunki umowy są spełniane; gromadzi i przetwarza sygnały, czy pojedyncze gospodarstwa domowe jest w stanie zapewnić wystarczającą ilość energii i czy jest na nią zapotrzebowanie. Oprogramowanie automatycznie inicjuje dostawę energii i odpowiednie płatności za pośrednictwem własnej kryptowaluty. Ważne jest również to, że w tym projekcie pozyskaną kryptowalutę można wymienić na euro [125].

W kwietniu 2016 r. powstała spółka joint venture pomiędzy LO3 Energy i ConsenSys o nazwie TransactiveGrid uruchomiła ona projekt pilotażowy o nazwie Brooklyn Microgrid. Projekt ten testuje integrację budynków z systemami generacji rozproszonej w zdecentralizowanej sieci peer-to-peer. Znaczy to tyle, że wykorzystanie technologii Blockchain jest tutaj badane w kontekście bezpośredniej sprzedaży energii pomiędzy sąsiadami. Technologia wykorzystana w projekcie opiera się o blockchain Ethereum. Dziesięć budynki zostało połączone w mikrosieć, z których pięć posiada instalację paneli fotowoltaicznych. Cała energia elektryczna niewykorzystana przez budynki z PV jest sprzedawana do pięciu sąsiednich gospodarstw domowych. Wszystkie budynki są połączone za pomocą konwencjonalnej sieci energetycznej, a transakcje są zarządzane i przechowywane za pomocą centralnego łańcucha bloków, dając tym samym możliwość sprawdzenia, czy konsumenci faktycznie skorzystali z możliwości wymiany energii między sobą [125]. Taka konfiguracja pokazuje, jak może wyglądać obrót

¹² Raspberry Pi - najpopularniejszy na świecie jednopłatkowy komputer

energiją w przyszłości. Dzięki tego typu nowej technologii rynek może dotrzeć do punktów, w którym jedna osoba posiadająca pojedynczy panel słoneczny może uczestniczyć w rynku użytkownika końcowego. Daje to ogromną szansę dla prosumentów¹³, która pozwala nie tylko dostarczać nadmiar energii elektrycznej do sieci, płacąc stałą opłatę, ale również wprowadzić ją do obrotu indywidualnego.

Kolejny projekt to Tennet. Tennet to operator systemu przesyłowego łączącego Niemcy i Holandię, który również odkrył potencjał technologii Blockchain. Wraz z Holenderskim dostawcą energii ze źródeł odnawialnych – Vandebrom, oraz Niemieckim dostawcą baterii domowych marki Sonnen, stworzył pilotażowe rozwiązanie pomagające równoważyć wahania na rynku energii. Projekt oparty jest na wykorzystaniu pojazdów elektrycznych oraz baterii domowych magazynów energii z PV do stabilizowania wahań popytu i podaży, zapobiegając tym samym zatorom. W Holandii do projektu wykorzystano w tym celu samochody Tesli, których właściciele określają, kiedy potrzebują aby samochód był naładowany. Od operatora jednakże zależy, w którym momencie na dostępnej linii czasu odbywa się proces, poprzez regulowanie mocy dostaw. Podłączone auta otrzymują dużą dawkę energii elektrycznej w momentach jej nadmiaru, natomiast w sytuacji niedoborów energii na rynku, ładowanie zostaje wstrzymane. W zamian za udostępnianie takiej możliwości, właściciele otrzymują punkty lojalnościowe, jako rekompensata za ewentualne przestoje. W momencie zwiększonej podaży energii na rynku, baterie pomagają w jej magazynowaniu. Podobnie w drugą stronę – większe zapotrzebowanie na energię daje dystrybutorom możliwość pobierania energii z magazynów domowych. W obu tych przypadkach to właśnie blockchain gromadzi informacje na temat wymiany energii między urządzeniami oraz siecią, co umożliwia Tennet’owi rozpoznanie dostępnych źródeł energii, natomiast podmiotom, zweryfikować przepływ oraz rozliczenia za usługę. Opisane rozwiązanie jest oparte o Hyperledger Fabric (patrz punkt 2.2). Jest to blockchain dostosowany dla biznesu, wymagający weryfikacji w momencie dołączenia (permissioned). Pozwalający ponadto na tworzenie kanałów komunikacji między poszczególnymi uczestnikami [126].

Obecnie najwięcej rozwiązań które opierają się na blockchain można zaobserwować w świecie biznesu, zasadniczo można je podzielić na trzy grupy:

- Usprawnienie systemów transakcyjnych – tworzenie, zatwierdzanie i udostępnianie informacji o transakcjach. Blockchain umożliwia: automatyczną walidację danych; brak pośredników; zmniejszenie kosztów obsługi; dostęp do zaufanych, bezpiecznych i aktualnych danych. Dzięki wykorzystaniu inteligentnych kontraktów dokonuje przetwarzania transakcji, dodatkowo przyspieszając ją i automatyzując. Dzięki temu można: dokonywać rozliczeń między podmiotami biznesowymi; bezpośredniej dystrybucji treści cyfrowych; weryfikacji oszustw w procesach finansowych czy też zarządzania usługami dostępnymi w chmurze. Gałęzie

¹³ Prosument – tutaj: jednoczesny producent i konsument energii elektrycznej

zastosowania to: finanse, bankowość, spedycja, przemysł, handel on-line, ubezpieczenia.

- Śledzenie aktywów i audytowanie danych – niezmienny i niezaprzeczalny zapis danych, blockchain zapewnia potwierdzenie pochodzenia i prawdziwość danych, redukując czynności związane z weryfikacją nieautoryzowanych lub nieprawidłowych operacji. Cechy wykorzystywana głównie w zarządzaniu łańcuchem dostaw, potwierdzeniu zgodności z regulacjami, wykrywaniem fałszerstw i podróbek czy zarządzaniu własnością intelektualną. Obszary zastosowania to: farmaceutyka, sprzedaż detaliczna, rolnictwo, dobra luksusowe, sektor publiczny, hotele i podróże, rozrywka, oraz organy ścigania i bezpieczeństwo.
- Zarządzanie danymi – ze względu na fakt, że blockchain jest rejestrem elektronicznym, jego zadaniem jest zapewnienie węzłom sieci bezpiecznego dostępu do danych. Dlatego też, może działać w ekosystemach biznesowych łączących różnorodne przedsiębiorstwa, które potrzebują dzielić i współdzielić dane. Może być wykorzystany również do zarządzania danymi podstawowymi i przez to obniżyć koszty integracji systemów. Zastosowania to w głównej mierze zarządzanie danymi publicznymi takimi jak akty notarialne, dane osobowe, itd. czy też danymi medycznymi lub zarządzanie tożsamością. Sektory współpracy to sektor zdrowia, publiczny, administracja, finanse, usługi prawne, bezpieczeństwo, przemysł oraz organy ścigania [73].

Odnosząc powyższe informację do pracy, wykorzystanie technologii Blockchain i ICO do rozbudowy infrastruktury ładowania dla samochodów elektrycznych, koreluje ze wszystkim wymienionymi powyżej obszarami zastosowań blockchain. Zbudowany przez autorkę pracy model matematyczny, odnosi się zarówno do zarządzania systemem transakcyjnym, przechowuje i zarządza aktywami użytkowników, ale i administruje ich danymi. Jest zarówno platformą zakupową (zakup energii elektrycznej) ale i inwestycyjną (inwestycja w ICO). Zbudowany model matematyczny, jako wielozadaniowa platforma symulująca transakcje rozliczania energii elektrycznej, wypełnia wszystkie wymagania kwalifikujące go jako rozwiązanie innowacyjne wykorzystujące elementy architektury blockchain.

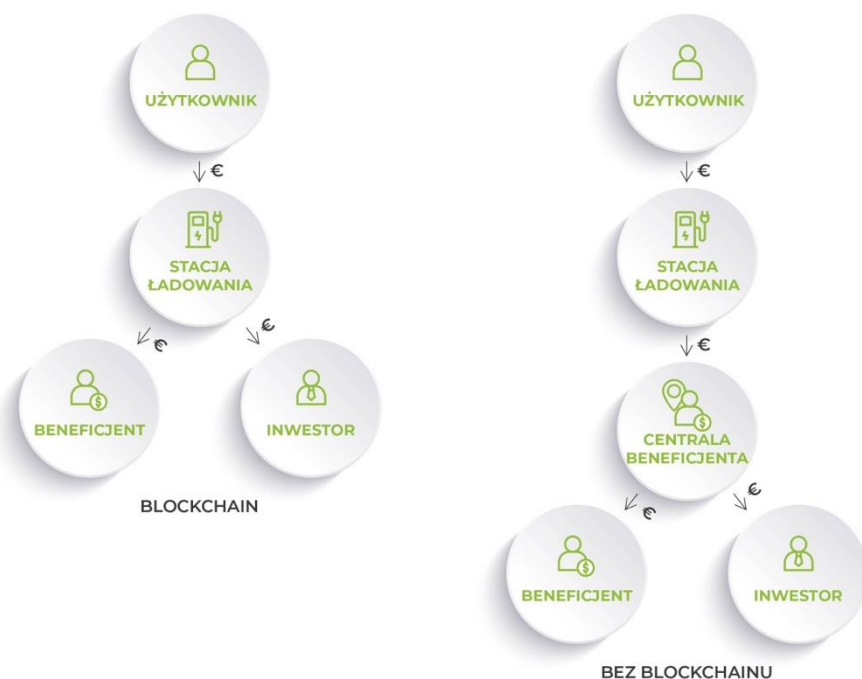
5. Analiza rozwoju elektromobilności przy użyciu modelu matematycznego

Podjmując temat elektromobilności i Blockchain, należy odnieść się do coraz większego zainteresowania jakie niesie ze sobą rozwijająca się branża pojazdów elektrycznych. Zwiększenie liczby aut elektrycznych niewątpliwie jest związana z ekonomią transportu na którą składa się cena energii elektrycznej. Na dzień dzisiejszy oferowana cena energii w punktach ładowania jest dość wysoka. Wiąże się to głównie z brakiem konkurencji na tym rynku – pojazdów elektrycznych i ładowarek jest stosunkowo mało więc nie odnajdujemy tu typowej „walki o klienta”. Z uwagi na duże koszty stałe obsługi ładowarki (Rozdz.2.) cena oferowanej w niej energii jest swojego rodzaju rekompensatą poniesionych przez właściciela ładowarki kosztów. Czy można to zmienić? W pracy postawiono problem badawczy opierający się na aktualnych warunkach jakie dostarcza rynek elektromobilności, głównie rynek punktów ładowania i zaproponowano implementację elementów protokołu blockchain jako czynnika oddziaływującego na rozwój rynku pojazdów elektrycznych. Rozwój ten rozumiany jest jako zwiększenie liczba punktów ładowania, ich dostępności, różnorodności i co za tym idzie zwiększenie udziału pojazdów elektrycznych w rynku transportu drogowego.

W pracy postawiono cel opracowania modelu matematycznego wraz z całą metodologią, analizą i badaniami, który wykorzystując narzędzie finansowe ustali jak wykorzystanie środowiska blockchain może wpłynąć na rozbudowę stacji do ładowania pojazdów elektrycznych a przy tym ekspansję samochodów z napędem elektrycznym. Postawiony problem ma na celu zbadanie zależności, wzajemnych powiązań, możliwości współistnienia dwóch środowisk i ich wzajemnej pracy, oraz obserwacja możliwości rozwoju elektromobilności przy implementacji elementów technologii Blockchain.

Do tworzenia modelu wykorzystano techniki komputerowe środowiska programu Microsoft Excel oraz dane pomiarowe o ilości pobranej energii elektrycznej z 11 950 rzeczywistych procesów ładowania pojazdów osobowych, wyniki te użyte zostały z ogólnopolskiej firmy zarządzającej siecią ładowarek dla pojazdów elektrycznych. Wszystkie obliczenia wykonane zostały z wykorzystaniem sprzętu komputerowego. Powstały plik modelu matematycznego stanowi integralną część pracy.

Kolejnym problemem badawczym, istotnym pod względem realizacji tematu była możliwość wykorzystania technologii Blockchain do budowania rynku stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych. W tej części skupiono się na analizie ekonomicznej i wskaźnikach finansowych, które bezpośrednio przekładają się na chęć inwestycji i uczestnictwa w budowaniu stacji do ładowania EV. Zbudowany model za sprawą funkcjonowania protokołu Initial Coin Offering (ICO) oraz inteligentnego kontraktu daje właśnie taką możliwość – dokładne funkcjonowanie i możliwości jego wykorzystania zostały opisane w Rozdziale 3. Wykorzystanie modelowania opartego na blockchain pozwoliło dać nie lada przewagę dla inwestorów, a brak podmiotu centralnego zaufanie gwarantuje bezpośredni przepływ przychodu z transakcji (Rys.14.). Nie potrzebne jest oddawanie nadzoru nad przychodami pojedynczemu podmiotowi, który to będzie rozprawdzał środki. Blockchain daje możliwie największą pewność wypłacalności dla wszystkich podmiotów zaangażowanych w ICO.



Rys.14. Przepływ środków przy użyciu blockchain i w sposób tradycyjny

W pracy podjęto kilka kierunków badawczych, głównie wiążą się one z wpływem uzyskanych wyników wskaźników ekonomicznych na chęć inwestycji i tym samym rozwój elektromobilności poprzez budowanie kolejnych stacji ładowania. Wykorzystanie modelu i zawartego w nim algorytmu, ma udowodnić lub obalić stwierdzenia:

- model emisji tokenów w świecie blockchain, którego celem jest pozyskanie środków na rzeczywiste aktywa pod budowę infrastruktury do ładowania EV może być opłacalny (dla wszystkich stron transakcji),
- udział w Initial Coin Offering może być atrakcyjny finansowo zarówno dla inicjatora przedsięwzięcia, jak i dla inwestora (Token Owners),
- mechanizm ICO może przyczynić się do zwiększenia liczby stacji ładowania dla EV, a tym samym zwiększyć liczbę pojazdów elektrycznych w rynku transportowym;
- model może zostać zastosowany w praktyce poprzez aplikację w innych środowiskach IT,
- blockchain jako „narzędzie” które realizując zadania zdecentralizowanej platformy transakcyjnej może wyprzeć standardowe rozwiązania bazujące na centralnym podmiocie zaufania.

Zagadnień badawczych w obrębie pracy może być jeszcze kilka, powinno się wspomnieć jeszcze o aspekcie ryzyka, jakie pojawia się przy emisji tokenów oraz o wyglądzie algorytmu w czasie. Możliwości rozwoju jest dużo, podobnie jak stawianych w obrębie elektromobilności pytań. W prezentowanej pracy kluczowa jest możliwość rozliczania procesu ładowania i pobieranej w procesie energii elektrycznej, poprzez wykorzystanie idei blockchain, wraz z implementacją zaproponowanego protokołu prezentującego założenia inteligentnego kontraktu. Ważnym aspektem jak również wykorzystanie wyników modelowania jako argumentu do pozyskania środków finansowych na budowę realnej infrastruktury do ładowania EV.

Prób wykorzystania technologii Blockchain w elektroenergetyce i ekonomii w ostatnich latach podejmowanych było niewiele. Większość ICO zakończyła się porażką, a wina za ten stan często była po stronie braku dobrego przygotowania modelu ekonomiczno-technicznego, który brałby pod uwagę różne scenariusze funkcjonowania zarówno rynku, jak i samego ICO. Zbyt pochopne zaprojektowanie algorytmu, powoduje że nie można już go zmienić w przyszłości (mowa o momencie kiedy posiada już rozproszoną strukturę właścicieli tokenów), więc nawet najmniejszy błąd, lub wykrycie na etapie emisji tokenów błędów merytorycznych może przyczynić się do klęski pozyskiwania equity¹⁴. Celem badania jest zaprojektowanie systemu, który mógłby odpowiedzieć na zapotrzebowanie rynku elektromobilności, inwestycją w infrastrukturę do ładowania pojazdów elektrycznych. Wyzwanie jakie stoi przed rynkiem to sfinansowanie punktów ładowania – które z kolei zachęciłoby konsumentów i firmy do inwestycji we flotę elektryczną. Publiczna infrastruktura do ładowania samochodów elektrycznych dzieli się zasadniczo na trzy rodzaje ładowarek:

- Ładowarki prądu zmiennego o mocach od 7–22 kW AC, które nie są wymagające w kontekście modernizacji przyłącza energetycznego, a jedynie zgłoszenia do Urzędu Dozoru Technicznego i rejestracji jako publiczny punkt ładowania samochodów elektrycznych. Koszt całkowitych nakładów

¹⁴ Equity – inaczej kapitał inwestycyjny

inwestycyjnych (CAPEX) to rzędu około 8 000 Euro. Głównymi lokalizacjami takich ładowarek będą miejsca, gdzie konsumenci pozostawiają samochody na kilka godzin, np. galerie handlowe, przestrzeń publiczna, hotele, restauracje czy spółdzielnie mieszkaniowe.

- Ładowarki prądu stałego średnich mocy od 30–60 kW DC, które ładują dużo szybciej samochody elektryczne ale i nakłady inwestycyjne na ich zakup sięgają mogą nawet 30 000 – 40 000 Euro za punkt ładowania. Będą popularne tam, gdzie oczekiwany czas ładowania to kilkadziesiąt minut, lub powyżej godziny.
- Lokalizacje wielu ładowarek, różnych mocy, zwane hub'ami do ładowania, porównywalne z klasycznymi stacjami benzynowymi. W większości będą lokalizowane przy autostradach i drogach szybkiego ruchu, zapewniając szybkie ładowanie dla podróżujących między miastami czy państwami.

Model opisywany w pracy przedstawia dyskusję na temat ekonomii ładowarek 2x22 kW AC, które są najpopularniejsze w krajach, gdzie elektromobilność rozwija się najszybciej, wybór tego rozwiązania podyktowany jest szczegółową analizą i badaniem dostępnych rozwiązań zawartych w pierwszej części pracy (Rozdz.2.). Ekonomia takiej ładowarki w przeliczeniu wskaźnika CAPEX/(żywność x cena 1 kWh w sprzedaży) jest bardzo podobna do ładowarki typu 50 kW DC, gdzie żywotność jest mniejsza, jednak cena energii elektrycznej w ładowarce szybkiej jest zdecydowanie wyższa. Dodatkowo ładowarki AC charakteryzują się większą żywotnością i niskimi kosztami eksploatacji. Model ma za zadanie przeanalizować różne perspektywy rozwoju elektromobilności poprzez badanie chęci do inwestycji w rozbudowę infrastruktury do ładowania, przy odniesieniu procesu ładowania do technologii Blockchain. Realizacja pracy opiera się właśnie na rozpatrywaniu poszczególnych założeń dla opracowanego modelu matematycznego i analizie otrzymanych wyników zakładając ciągłe lecz zmienne tempo rozwoju elektromobilności.

5.1. Aktorzy modelu

Opisując idee zbudowanego modelu blockchain, ważne jest określenie wszystkich aktorów – postaci i ich ról, funkcji oraz wzajemnych powiązań. Aktorzy w algorytmie to po prostu jego uczestnicy, nazwani odpowiednio co do swoich funkcji i odgrywanej roli. W rzeczywistości są to wszystkie strony zaangażowane w życie i funkcjonowanie modelu. Opisując postacie występujące w algorytmie nadano im kreślone nazwy i charakterystyczne, definiujące je cechy, obowiązki oraz role. W opracowywanym modelu występuje czworo aktorów:

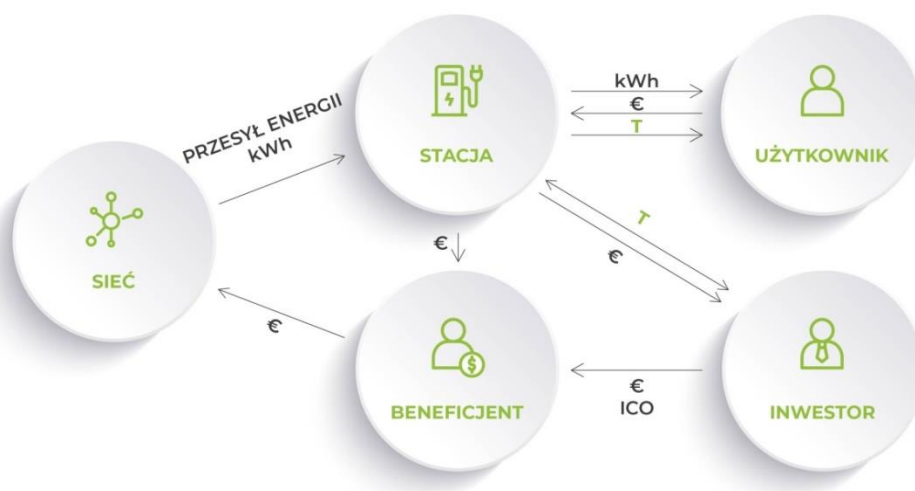
- *Beneficjent* sieci stacji do ładowania samochodów elektrycznych (*Beneficjent*) – powołuje on do życia algorytm tokenizacji inwestycji, ICO i kryptowalutę i jest administratorem zarówno informatycznym jak i technicznym nad samą technologią ładowarek. To realny właściciel, który długoterminowo będzie czerpał korzyści z tego modelu i wybudowanej infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. To również strona odpowiedzialna prawnie

i finansowo za sukces lub porażkę przedsięwzięcia. Beneficjent odpowiada za prawidłowe funkcjonowanie ładowarek.

- *Inwestorzy* (inaczej *Token Holders*) – to społeczność (również międzynarodowa) mająca intencję zainwestowania w kryptowalutę poprzez ICO, która po przejściu procesu *Know Your Client* (KYC), inwestuje pieniądze (*Fiat money*, Euro) lub inną kryptowalutę, która jest akceptowana w ramach ICO, a którą Beneficjent może zamienić na *Fiat money* w kantorach, czy giełdach kryptowalut i wykorzystać do inwestycji. Mówiąc prościej *Token Holders* to typowy inwestor który przekazuje pieniądze na inwestycję aby w odpowiednim czasie lub przedziale czasu czerpać korzyści z poczynionej inwestycji. Tutaj mechanizm funkcjonuje podobnie jak w przestrzeni rzeczywistej. *Inwestor* może zainwestować swoje pieniądze (aktywa) jako udział procentowy, akcje, udział w zyskach czy obligacje. W opisywanym modelu *Token Holders* to inwestorzy przekazujący fundusze Beneficjentowi z których to ten realizuje zakup i zaplecze dla funkcjonowania ładowarki do ładowania pojazdu elektrycznego. W zamian za przekazane fundusze Inwestor od *Beneficjenta* otrzymuje tokeny (T), którymi w późniejszym czasie życia modelu może dowolnie zarządzać tj. sprzedawać.
- *Klienci* (*Użytkownicy*) – użytkownicy stacji do ładowania samochodów elektrycznych, de facto dostarczyciele marży z usługi ładowania, która poprzez ekonomię tokenów lub zwykłe rozliczenie będzie transferowana do *Beneficjenta* i *Inwestorów*. Nazwa „klienci” jest o tyle dobra, że w dosłowny sposób określa ich rolę w modelu, to po prostu użytkownicy stacji ładowania, użytkownicy pojazdów elektrycznych korzystający z usługi ładowania na stacjach, realizujący płatność za pobrana energię elektryczną z ładowarki.
- Algorytm blockchain’owy (cryptocurrency) – algorytm zaaplikowany do sieci ładowarek. Pełni bardzo ważną rolę, ponieważ rozlicza efekt usługi ładowania energii elektrycznej, aktywuje system billingowy tokenów i rozlicza lub inicjuje funkcje zapisane w algorytmie na blockchain’ie – jest wykonawcą inteligentnego kontraktu. Jest niezmienny i jego pierwotne zaprogramowanie zapewnia bezpieczeństwo stronom transakcji, daje pewność, że ustalenia (umowa) będzie realizowana. Sam algorytm składa się z inteligentnych kontraktów (smart contracts), które są fundamentem każdego generowanego systemu blockchain. Odpowiada za bezpieczeństwo i realizowanie wszystkich zadań modelu, inicjuje uruchomienie wszystkich zapisanych w inteligentnych kontraktach działań, poświadcza je i uwiarygadnia.

Oprócz zdefiniowania aktorów algorytmu, istotnym faktem porządkującym mechanizm działania całego modelu są relacje między Aktorami. Z czasem ich ilość może ulec zmianie, jednak ze względu na obecne realia polskiego rynku elektromobilności, zaproponowany poniżej stan rzeczy jest wystarczający. Oprócz relacji między samymi użytkownikami, ważną kwestią jest omówienie relacji między Aktorami a samym Algorytmem. Dzięki temu łatwiejsze będzie zrozumienie zależności i funkcje.

Ważnym faktem jest również to, że w algorytmie Aktorzy nie pojawiają się równocześnie, tj. w tym samym momencie na linii czasu. *Beneficjent* (zwany również *Beneficjentem Ostatecznym*) jest Aktorem pojawiającym się jako pierwszy – jest on inicjatorem i założycielem całego procesu. Po nim pojawia się postać *Inwestora*, a dopiero na końcu łańcucha mamy do czynienia z *Klientem/Użytkownikiem*. Aby zrozumieć te relacje najprościej będzie posłużyć się poniższym rysunkiem (Rys.15.) oraz opisem zależności:



Rys.15. Zależności między Aktorami modelu

T – token,
ICO – Initial Coin Offering,
€ – waluta Euro.

Beneficjent vs. Algorytm

Beneficjent jest kreatorem Algorytmu. Wybiera środowisko (rodzaj platformy blockchain), wybiera model ekonomii tokenu, również musi uwiarygodnić się, aby *Inwestorzy* chcieli uczestniczyć w ICO, ale też przeprowadza KYC (*Know Your Customer*), identyfikuje i selekcjonuje *Inwestorów*. Potocznie możemy określić go jako założyciela „biznesu”. *Beneficjent* jest również odpowiedzialny prawnie za finalne wykorzystanie kapitału inwestycyjnego i jest rozliczany z obietnic przez społeczność blockchain. Odwzorowując jego postać na rynku kapitałowym byłby on założycielem i Prezesem Zarządu w jednym. Regulacje prawne funkcjonujące w Europie już pozwalają na to, aby odpowiedzialność prawna była realna, a procedura samego ICO odbyła się w kulturze tradycyjnej inwestycji kapitałowej. Mostem tych dwóch aktorów jest platforma blockchain, np. Ethereum.

Inwestor vs. Beneficjent

Tych aktorów modelu łączy algorytm. Raz zapisane zasady jako ekonomia tokenu zostają do końca inwestycji. Zdecentralizowana i automatyczna struktura funkcji algorytmu powoduje, że *Inwestorzy* czytając dokument opisujący działanie algorytmu i samego ICO są skłonni powierzyć swoje pieniądze *Beneficjentowi*. Algorytm raz

zapisany powinien być niezmienny i zapewnić ograniczenie ryzyka oszustwa czy wyłudzenia, bo pamiętać należy, że społeczność blockchain jest ogólnosiwiatowa i jedyne na czym może *Inwestor* polegać, to platforma blockchain i sam dobrze zakodowany algorytm. *Inwestor* dla *Beneficjenta* jest swego rodzaju zasobem kapitału startowego, powierza swój kapitał w celu pomnożenia go i osiągnięcia satysfakcjonujących przychodów inwestycyjnych. Decyzja o inwestycji w tę relacje będzie podyktowana ekonomią i perspektywą rozwoju elektromobilności. Śledzenie rynków zagranicznych i przekładanie panujących tam realiów na rynek Polski, pozwala domniemać że tempo rozwoju pojazdów elektrycznych i ich ekspansja, połączona z rozwojem punktów do ładowania, przyniesie zyski dla w porę poczynionej inwestycji w ten rynek. Warto dodać że głównym celem w relacji, zarówno dla *Beneficjenta* i *Inwestora* jest zysk. Opisywani aktorzy algorytmu mogą nie wiedzieć nic o sobie, łączy ich algorytm i ICO, przekazując fundusze *Inwestor* staje się realnym „sponsorem” biznesu oczekującym pomnożenia swojego wkładu. Na *Inwestorze* nie spoczywa żadna odpowiedzialność, w rozumieniu prawa nie jest on podmiotem prawnym, fizycznie jest to osoba przeznaczającą konkretną kwotę na biznes. Relacje *Beneficjenta* i *Inwestora* na osi czasu trwają tak długo jak trwa algorytm, albo tak długo jak długo *Inwestor* bierze udział w biznesie. *Inwestor* za otrzymane za inwestycje tokeny, staje się *Token Holder'em*, zajmującym się zarządzaniem swoim portfelem tokenów.

Użytkownik stacji ładowania vs Beneficjent

Ta relacja jest najprostszą reprezentacją relacji biznesowej, to klient i właściciel sieci. Pomostem w tej relacji jest ładowarka, a raczej aplikacja np. mobilna przez którą *Użytkownik* kupuje energię elektryczną, kilowatogodziny (kWh) do swojego pojazdu płacąc gotówką (*Fiat money*). Tych dwóch aktorów nie łączy nic więcej, ich relacja jest skupiona tylko i wyłącznie na obopólnej korzyści. *Użytkownik* ma możliwości ładowania pojazdu, dla *Beneficjent* generuje przychodu. *Beneficjent* zabezpiecza możliwość korzystania z ładowarki, obsługuje ją technicznie i informatycznie, *Użytkownik* jest typowym odbiorcą usługi zabezpieczanej przez *Beneficjenta*.

Inwestor vs. Algorytm

Relacja ta jest relacją bezpośrednią, nie mniej jednak *Inwestor* nie ma wpływu na algorytm. Już na starcie przyjmuje wszystkie jego założenia. Nie jest on twórcą algorytmu. Inwestor nie widzi algorytmu, ale jest jego częścią. Ta relacja stanowi istotę użycia blockchain tj. wyeliminowanie centralnego punktu zaufania. Za sprawą połączenia algorytmu z *Inwestorem*, wszelkie przepływy z tytułu użytkowania stacji ładowania należne *Inwestorowi*, kierowane są bezpośrednio do niego, dając mu tym samym omawiane wcześniej pełne bezpieczeństwo transakcji. *Inwestor* nie ma możliwości jego modyfikacji. Bez *Inwestora* algorytm nie mógłby funkcjonować, jego udział w ICO warunkuje inicjację algorytmu.

Ważnym podkreślenia jest wspomniany powyżej aspekt bezpieczeństwa, wyeliminowanie centralnego źródła, którym zapewne byłby *Beneficjent*, stanowi pewność dla *Inwestora* jeśli chodzi o jakiegokolwiek przepływy pieniężne w transakcji.

Wszystkie realizowane w modelu transakcje w których występuje *Inwestor*, będą kierowane wprost do niego co daje mu poczucie pewności wypłacalności i stanowi kwintesencję użycia technologii Blockchain do realizacji modelu i jego analizy.

Inwestor vs. Użytkownik stacji ładowania

To połączenie relacji wydaje się być najciekawsze, ponieważ mostami w tej relacji są zarówno sam algorytm, stacja ładowania, jak i dodatkowa funkcja zaprojektowana w modelu, czyli system *voucherów* i ich licytacji. Wiadomo, że cel modelu zakłada brak widoczności inwestycji blockchain w ramach ICO przez *Użytkownika* stacji ładowania. Aby to osiągnąć został do modelu wprowadzony system *voucherów*. Można sobie go wyobrazić w taki sposób, że *Użytkownik* chcąc zakupić kilowatogodzinę, może po prostu ją zakupić w cenie podanej przez algorytm lub w swoim systemie zakupowym (np. aplikacji mobilnej) zobaczy ofertę zakupu *vouchera*, który stanowi np. 98% wartości jednej kilowatogodziny płatnej za „gotówkę” (*Fiat money*). Opcja zakupu *vouchera* reprezentuje wystawiony na sprzedaż przez *Inwestora* token, który zdecydował o zamknięciu tej części swojej inwestycji i tym samym chce ją spieniężyć. Z jednej strony mamy listę odwróconej licytacji (kto da taniej), a z drugiej strony *Użytkownika* który widzi *vouchery* do zakupu o danej wartości – oczywiście tylko niższej niż aktualna wartość 1 kWh w ładowarce.

Ten system powoduje, że przy zakupie *voucher* zamienia się automatycznie co do liczby na kWh, a zakup poczyniony przez *Użytkownika* transferuje się przez algorytm do *Inwestora* automatycznie spalając token (który reprezentuje 1 kWh/każdy token). Dzięki temu liczba tokenów w algorytmie maleje, a *Użytkownik* ma tańsze ładowanie pojazdu elektrycznego.

Relacja między tymi aktorami będzie występowała również wtedy gdy *Użytkownik* zdecyduje się ładować pojazd bez użycia *voucherów* (czyli za gotówkę), w takim przypadku wygenerowane podczas transakcji gotówkowej tokeny zostaną przypisane *Inwestorowi* (zgodnie z wielkością inwestycji w ICO), zwiększając tym samym jego pulę. Dokładny opis systemu generowania i spalania tokenów oraz systemu transakcji odwróconych, znajduje się w kolejnym podrozdziale pracy.

Algorytm vs. Użytkownik stacji ładowania

Jednym z założeń modelu jest fakt, że *Użytkownik* stacji ładowania nie widzi algorytmu, jest on finalnym źródłem przychodu – pierwotnie dla sieci, w której funkcjonują *Inwestorzy*, a długoterminowo tylko *Beneficjenta* rzeczywistego. Dlatego nie widzi całego wysiłku ICO i blockchain’u, ponieważ to tylko etap inwestycji. Tak samo jakby nie widział obligatariuszy, którzy zainwestowali w firmę, która jest właścicielem sieci stacji w klasycznym modelu biznesowym. Algorytm jest zbudowany dla *Użytkowników*, ale nie mają oni na niego wpływu, nie mogą go modyfikować. Są jego elementem stanowiącym liczbę zmienną w czasie – liczba *Użytkowników* przy rozwoju elektromobilności będzie się zwiększać. Jak wspomniane było wcześniej, algorytm to zestawienie inteligentnych kontraktów które warunkują funkcjonowanie całego modelu.

Wszystkie założenia przedstawione powyżej, funkcje aktorów algorytmu i ich wzajemne powiązania są opracowane jako dorobek własny autorki. Cała koncepcja powiązań i oddziaływania na siebie wszystkich postaci występujących w algorytmie zbudowana została na potrzeby algorytmu symulującego rozliczanie procesu ładowania energią elektryczną. Wszystkie relacje zostały tak zamodelowane aby w pełni odwzorowywać naturalne zachowania i procesy występujące przy procesie ładowania pojazdu elektrycznego.

5.2. Realizacja procesu ładowania

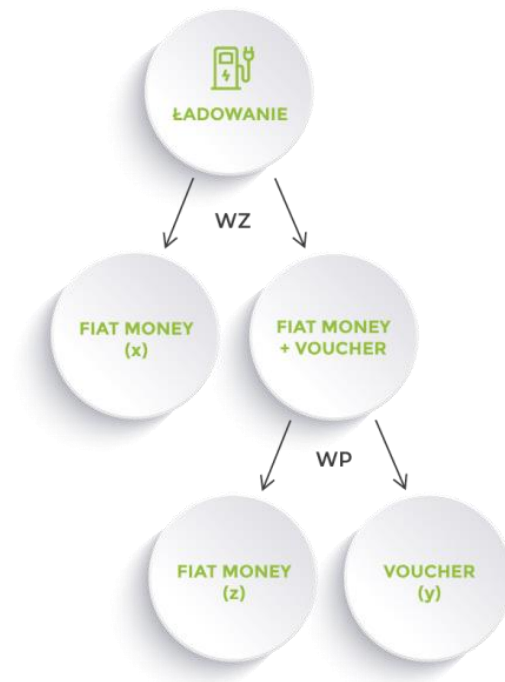
Znając już aktorów występujących w modelu i relacje między nimi, można przejść do opisu samego procesu ładowania pojazdu elektrycznego, czyli opisu funkcjonowania inteligentnego kontraktu. Pomocne będzie posłużenie się prostym przykładem opisującym ogólne zasady funkcjonowania i realizacji procesu. Cały powstały algorytm działa w oparciu o: przepływ energii elektrycznej, przepływy finansowe i przepływ tokenów. Przepływy te nie są liniowe, działają w trzech płaszczyznach a aktorzy wzajemnie na siebie oddziałują. Oby maksymalnie uprościć zasadę działania algorytmu, warto przeanalizować przykładowe scenariusze na bazie jednej ładowarki i przyjętych poniżej założeń (Rys.16.):

Przykład:

Inwestor inwestuje 8 000 Euro i przekazuje je *Beneficjentowi*. Algorytm automatycznie za tą kwotę inwestycji generuje 40 000 tokenów dla *Inwestora*. *Beneficjent* za otrzymane pieniądze kupuje i instaluje 1 ładowarkę do samochodu elektrycznego i ustala w niej cenę energii elektrycznej. Użytkownik chcąc naładować samochód elektryczny w liczbie 100 kWh ma opcje:

- a) zakup 100% energii za *Fiat money* (gotówka) po aktualnej cenie obowiązującej w ładowarce,
- b) zakup energii za *Fiat money* (gotówka) oraz przy użyciu *voucherów*, widzianych na aukcji za np. 80% aktualnej ceny (założenie modelowe, w rzeczywistości po cenie którą ustala popyt i podaż). Proporcja liczby *voucherów* do całości energii jaką *Użytkownik* kupuje i jaką może wykorzystać jest właśnie przedmiotem analizy tego modelu. Na potrzeby tego przykładu założymy 80/20 na rzecz gotówki.

Zawsze podczas trwania życia modelu, zakładanego na 15 lat, *Użytkownik* może ładować pojazd elektryczny w dwojaki sposób, pierwszy – tylko za gotówkę (płatny np. kartą kredytową) lub ten opisany powyżej łączący płatność gotówką i *voucherem*. Przebieg obydwu rodzajów ładowania wygląda następująco (Rys.16.):



Rys.16. Specyfikę ładowania według dwóch scenariuszy a). i b).

WZ – współczynnik podziału,

WP – współczynnik proporcji,

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh].

Scenariusz a). płatność gotówkowa:

Beneficjent przyjmie gotówkę za sprzedaną energię w procesie ładowania, opłaca koszty zakupu energii elektrycznej z sieci, opłaca OPEX¹⁵ oraz inkasuje pozostały zysk.

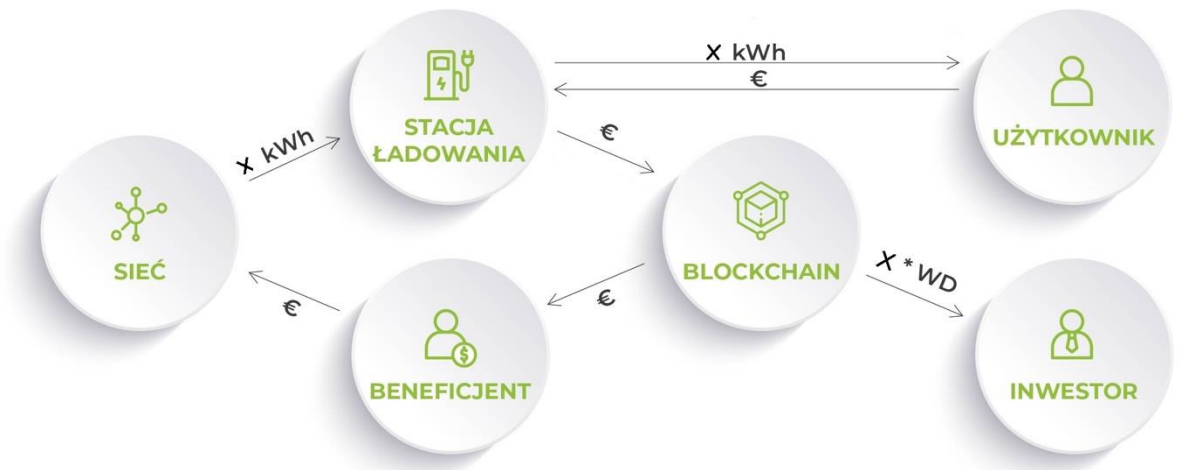
Algorytm w tym czasie wygeneruje iloczyn – ”100 (X w odniesieniu do liczby pobranych kWh energii) · współczynnik degradacji (np. $WD=0,8$) · współczynnik podziału ($WZ=1$)” nowych tokenów, tj. 80 sztuk nowych tokenów i przypisze je proporcjonalnie do Inwestorów (w tym przypadku do jednego posiadającego już 40 000 szt. tokenów). Algorytm zwiększy liczbę tokenów na blockchain’ie o wspomniane 80 sztuk (Rys.17, Rys.18.).

$$T_W(t) = x(t) \cdot WD(t) \quad t \in N: t \in < 1,15 > \quad (1)$$

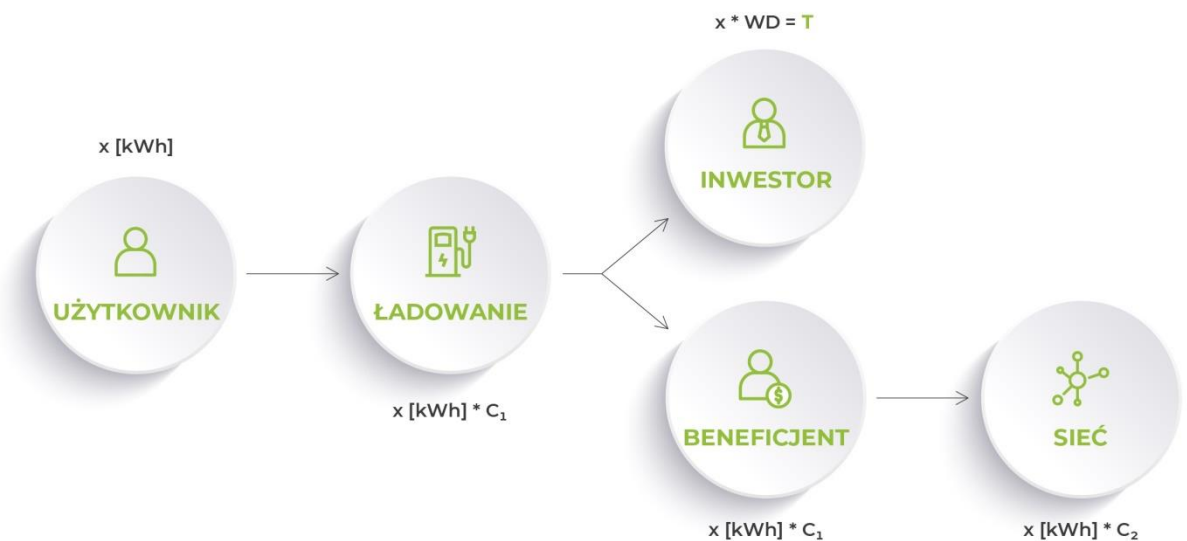
$$T_W(t) = E_{en.el.}(t) \cdot WZ \cdot WD(t) \quad (2)$$

¹⁵ OPEX (ang. operating expenditures) – oznacza wydatki związane z utrzymaniem produktu, biznesu czy systemu (płace i wydatki bieżące).

T_w – liczba tokenów wygenerowanych po procesach ładowania za Fiat money,
 x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],
 WZ – współczynnik podziału,
 WD – współczynnik degradacji,
 $E_{en.el.}(t)$ – całkowita ilość pobranej energii w procesach ładowania w czasie [kWh].



Rys.17. Łącuch połączeń w zdarzeniu a). płatność gotówkowa



Rys.18. Transfer środków podczas procesu ładowania za Fiat money

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],
 WD – współczynnik degradacji,
 T – token,
 C_1 – cena sprzedaży energii elektrycznej (w ładowarce) [€/kWh],

C_2 – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej [€/kWh].

Ta wersja ładowania pojazdu elektrycznego, realizowana jest tylko gotówkowo. Liczba tokenów w systemie rośnie, rozdzielane są one proporcjonalnie, zgodnie z wielkością inwestycji poszczególnych *Inwestorów*. Dlatego też, aby odpowiednio regulować ich liczbę i zwiększać możliwości zarobkowe na inwestycji, wprowadzony został wspomniany *współczynnik degradacji (WD)*. Pozwoli on na ograniczenie liczby tokenów w systemie a tym samym, co będzie widoczne w scenariuszu b), za sprawą odwróconych aukcji zachęci klientów do korzystania z nich (oferując tańszą energię). We wzorze (2) występuje również *współczynnik podziału (WZ)*, opisany wzorem (3) który w prostym tłumaczeniu określa procent ładowań w scenariuszu a). do wszystkich ładowań (tj. ładowań w scenariuszu a). i b.), współczynnik ten jest wartością zmienną w algorytmie, mogącą być dowolnie zadawaną w obliczeniach. (Rys.16.). Opisany przykład tak naprawdę jest sytuacją krańcową – rozpatruje tylko wersje zakupu za *Fiat money*. Rysunek 17 (Rys.17.) opisuje wspomniane wcześniej przepływy i zależności między aktorami algorytmu. Jego analiza pozwala na jeszcze większą świadomość odgrywanych ról i funkcjonowania proponowanego modelu.

$$WZ = \frac{a}{(a + b)} \quad (3)$$

WZ – współczynnik podziału [%],

a – % procesów ładowań płatnych tylko gotówką,

b – % procesów ładowań płatnych gotówką i voucherem.

Z obserwacji rynku i rozwoju elektromobilności oraz Internetu rzeczy (IoT) przypuszczać można, że powyższy scenariusz będzie realizowany dość rzadko – zapewne w pierwszym okresie życia algorytmu. Wraz z rozpowszechnianiem się aut elektrycznych, *Użytkownicy* będą szukali nowych form finansowania procesu ładowania i tutaj system aukcyjny oferujący niższą cenę, będzie wysoce konkurencyjny. Jak zatem wyglądałby podobny proces przy wykorzystaniu *voucherów* przedstawia przykład poniżej:

Scenariusz b). ładowanie przy użyciu gotówki i voucherów

Wspomniana powyżej proporcja liczby *voucherów* do ilości energii elektrycznej pobranej w procesie i opłaconej gotówką, określa *współczynnik proporcji (WP)*. W modelu zapisywany jest jako procent udziałów gotówki w procesach realizowanych za *voucher* i gotówkę (*Fiat money*). W modelu wartość ta może być dowolnie zadawana, warto jednak pamiętać, że z perspektywy *Beneficjenta* musi ona posiadać taką wartość która zabezpieczy jego koszty i OPEX.

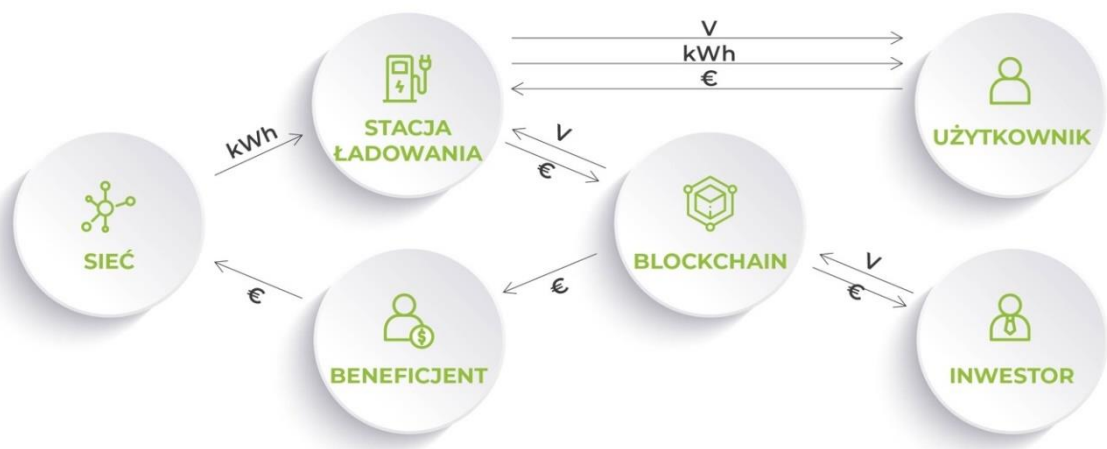
$$WP = \frac{c}{(c + d)} \quad (4)$$

WP – współczynnik proporcji [%],

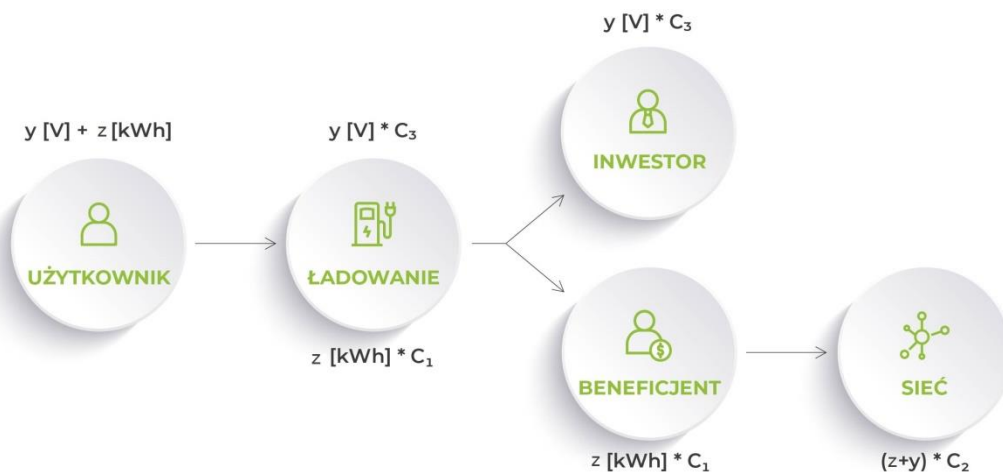
c – % udziałów gotówki w procesach ładowań opłacanych gotówką i voucherem,

d – % udziałów *vouchera* w procesach ładowań opłacanych gotówką i voucherem.

Beneficjent przyjmie płatność gotówką za 80 kWh energii elektrycznej (ze 100 kWh ładowanych), opłaca całościowy koszt energii i OPEX. Za sprawą ceny energii dostępnej w ładowarce reguluje swój zysk operacyjny, im wyższa cena energii elektrycznej w ładowarce tym większy przychód i zysk dla *Beneficjenta*. Pozostałą energię tj. 20 kWh *Użytkownik* stacji ładowania kupuje na odwróconej aukcji jako system *voucherów* (w myśl opisywanej wcześniej zasady), tj. potrzebuje dokupić 20 *voucherów* po cenie jaką oferuje aukcja (czyli cenie po jakiej *Inwestor* wystawił tokeny/*vouchery* na aukcji). Gdy dojdzie do transakcji, algorytm spali tokeny a należność ze sprzedaży prześle bezpośrednio do *Inwestora*. W tym przypadku na blockchain'ie nastąpi degradacja liczby tokenów, co pozostali właściciele tokenów odnotują za zysk i zwiększenie wartości kapitalizacji każdego z tokenów pozostałych w systemie (będzie ich mniej) (Rys.19, Rys.20.).



Rys.19. Łańcuch połączeń w scenariuszu b). płatność gotówką i voucherem



Rys.20. Transfer środków podczas procesu ładowania za gotówkę i voucherem
 y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

C_1 – cena sprzedaży energii elektrycznej (w ładowarce) [€/kWh],

C_2 – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej [€/kWh],

C_3 – cena vouchera oferowana na aukcji [€/kWh].

Możliwość wystawiania tokenów (w postaci voucherów) na akcji, pozwoli *Inwestorom* na odzyskanie pierwotnej kwoty zainwestowanego kapitału. A wykorzystanie algorytmu blockchain da gwarancje i wyeliminuje podmiot centralny, który gdyby występował, niekoniecznie mógłby należycie realizować przepływy z dokonywanych transakcji. Po pewnym czasie (czas życia algorytmu) wszystkie tokeny (w postaci voucherów) zostaną wysprzedane w blockchain, tym samym *Beneficjent* spłaci *Inwestorów* i zostanie samodzielnym udziałowcem biznesu.

Opisując powyższe dwa przypadki opowiedziany został cały schemat funkcjonowania modelu, jednak w głębszej jego warstwie należy dość mocno skupić się na szczegółach jakimi są: *współczynnik degradacji*, cena energii elektrycznej i marża, generacja tokenów, czas życia modelu, proporcja ładowania poprzez gotówkę oraz gotówkę i voucher. Wszystkie te czynniki niejako ukryte dla *Użytkownika* stacji, dość mocno warunkują funkcjonowanie modelu i przepływy finansowe. Aby je dokładnie badać oraz analizować w kontekście rozwoju rynku ładowarek, zostały dokładnie opisane i poddane dyskusji w kolejnym podrozdziale.

5.3. Założenia i ograniczenia do modelowania

Aby dobrze modelować ekonomię tokenizacji i wpływu jaki będzie ona miała na cały ekosystem inwestycji i rozbudowy infrastruktury, trzeba poczynić założenia, które będą jak najbardziej bliskie rzeczywistości i mają szansę być skomercjalizowane. Dlatego w model przyjmuje się pewne założenia i ograniczenia, t.j.:

Ilości pobranej energii elektrycznej w procesie ładowania

Dzienny poziom użytkowania stacji ładowania, rozumiany jako wartości pobranej energii elektrycznej został wygenerowany wg algorytmu pseudolosowości (PRNG)¹⁶. Potrzebą użycia PRNG w modelu było określenie wartości ilości pobieranej energii elektrycznej dla pojedynczego procesu ładowania. Dane rzeczywiste na których bazuje model to 11 950 rzeczywistych procesów ładowania pojazdów, uzyskane dzięki współpracy z firmą Nexity Global SA, której właścicielem jest firma Innogy SA. Pełne dane prawie 12 tys. pomiarów użytych w modelu, zostały pozyskane z 16 stacji ładowania zlokalizowanych na terenie Polski, będących w eksploatacji w okresie od

¹⁶ Generator liczb pseudolosowych (ang. pseudo-random number generator/PRNG) – program lub podprogram, który na podstawie niewielkiej ilości informacji, generuje deterministycznie ciąg bitów, który pod pewnymi względami jest nieodróżnialny od ciągu uzyskanego z prawdziwie losowego źródła [127].

1 lipca 2019 do 30 listopada 2019. Analizując dane pomiarowe i wykorzystując generator liczb pseudolosowych ustalone zostało, że najwyższe poziomy ładowania będą traktowane jako najwyższe szacunkowe ilości i wynoszą 80 kWh pobranej energii na jeden proces ładowania, najniższe analogicznie – 39 kWh pobranej energii na jeden proces ładowania. Dlatego przedział generowania liczb pseudolosowych wykorzystywanych w modelu został ustalony od wartości 39 kWh do 80 kWh pobranej energii na jeden proces ładowania i tylko wartości z tego przedziału wykorzystywane będą do modelowania scenariuszy rozwoju.

$$E_{en.el.}(t) = X(t) \cdot L_L(t) \quad \text{dla } X \in N; \quad X \in \langle 39,80 \rangle; \quad 1 \ll t \ll 15 \quad (5)$$

$$x(t) = E_{en.el.}(t) \cdot WZ \quad (6)$$

$$z(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \cdot (WP) \quad (7)$$

$$y(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \cdot (1 - WP) \quad (8)$$

$E_{en.el.}$ – całkowita ilość pobranej energii w procesach ładowania w czasie [kWh],

X – wielkość ładowania według PRNG w czasie [kWh],

L_L – liczba ładowań w czasie [szt.],

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

WZ – współczynnik podziału,

WP – współczynnik proporcji.

Roczna liczba ładowań

Wartość ta określana jest co roku poczynając od drugiego roku funkcjonowania modelu (Rys.21.). Mówi ona o rocznej liczbie cykli ładowań w modelu. Dla pierwszego roku podana jest jako stała liczba, 584 000 sztuk procesu – będąca iloczynem liczby ładowarek (800 szt.) i dwóch ładowań dziennie podczas całego pierwszego roku. Dla kolejnych lat wartość ta opisuje zależność (9):

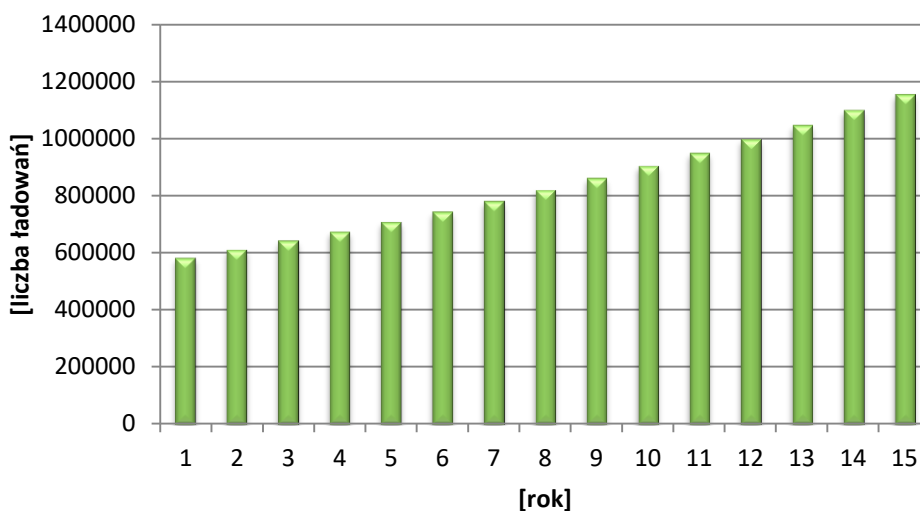
$$L_{L0} = 800 \cdot 2 \cdot 365 = 584\,000 \quad (9)$$

$$L_L(t) = L_{L0} \cdot (1 + WR)^{t-1} \quad \text{dla } t \in N: \quad 1 \ll t \ll 15 \quad (10)$$

L_L – liczba ładowań w czasie [szt.],

L_{L0} – liczba ładowań w pierwszym roku [szt.],

WR – współczynnik rozwoju.



Rys.21. Liczba rocznych cykli ładowań podczas życia modelu

Współczynnik Rozwoju

Współczynnik rozwoju (WR) to stała, obrazująca perspektywę rozwoju rynku pojazdów elektrycznych. Dana ta obrazuje wartość corocznego przyrostu pojazdów z napędem elektrycznym na Polskich drogach, zaczerpnięta jest z raportów branżowych prezentowanych między innymi przez Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych [128]. W opisywanym modelu jej wartość wynosi 5%.

$$WR = 5\% \quad (11)$$

Współczynnik Podziału

Współczynnik podziału (WZ) to zaokrąglona wartość opisująca procentowy udział ładowań realizowanych za gotówkę względem wszystkich zachodzących procesów ładowania. Mówiąc prościej i odnosząc się do opisanych powyżej scenariuszy ładowania, będzie to procent określający ładowania w scenariuszu a). do ładowań łącznie w scenariuszu a). i b). W trakcie życia modelu liczba realizowanych ładowań za gotówkę oraz gotówkę i *voucher* można zmieniać i tym samym obserwować reakcje rynku, a przede wszystkim przychody poszczególnych aktorów. Ten współczynnik ważny jest z powodów przytoczonych powyżej ale i dla rozwoju samego projektu, a w szczególności z faktu że ładowanie mieszane (*voucher* + gotówka) będzie tańsze. Chcąc uzyskać wiedzę na temat procentowej liczby ładowań realizowanych za gotówkę i *voucher* należy wartość WZ odjąć od 100%.

$$WZ = a/(a + b) \quad (12)$$

WZ – współczynnik podziału [%],

a – % procesów ładowania płatnych tylko gotówką,

b – % procesów ładowania płatnych gotówką i *voucherem*.

Współczynnik Proporcji

W trakcie ładowania przy użyciu gotówki i *vouchera* ($y+z$) (scenariusz b), Rys.22.), model przyjmuje procentowy udział *vouchera* w jednej sprzedaży (procesie ładowania) jako wartość analizowaną, tym samym przy różnych scenariuszach model analizuje zasadność ekonomii przedsięwzięcia dla *Inwestorów* i *Beneficjenta*. W przypadku realizowania procesu ładowania z użyciem gotówki i *vouchera*, procent udziału liczby *voucherów* (y) i kWh (z) opłaconych gotówką z punktu widzenia każdego aktora modelu wpływa na całość analizy. Analizowany jest przypadek gdzie gotówki wykorzystano na poziomie 50%. W takim przypadku przy *współczynniku proporcji* $WP = 0,5$, w blockchain 50% zakupionej energii opłacone jest za gotówkę a kolejne 50% *voucherem*. To ograniczenie ma głęboki sens systemowy, ponieważ *Beneficjent* płaci za każdą kWh w koszcie zakupu (energia zakupiona z sieci), którą sprzedaje *Użytkownikowi* (podczas procesu ładowania). Jeśli 100% tego strumienia pieniędzy płynęłoby do *Inwestorów* ($WP=0$), tj. jeśli możliwym byłoby realizowanie ładowania jedynie za *vouchery*, to *Beneficjent* z dużą dozą prawdopodobieństwa zbankrutowałby z uwagi na generujący się ujemny *cash flow*¹⁷. Zachowując zasadę równowagi, która wyszczególniona była powyżej, tj. część kosztu zakupu energii elektrycznej jest finansowana przez żywą gotówkę – to jest ona w stanie pokryć 100% kosztów energii elektrycznej i kosztów operacyjnych sieci tzw. OPEX. Pozostała część, czyli marża jest transferowana bezpośrednio do *Beneficjenta*. Celem pracy jest między innymi znalezienie takiego współczynnika WP , który będzie gwarantował *Beneficjentowi* pokrycie kosztów OPEX oraz *Inwestorowi* możliwość zarobkowania (sprzedaży *voucherów*/tokenów), czyli takiego dla którego inwestycja będzie opłacalna dla obu stron modelu.

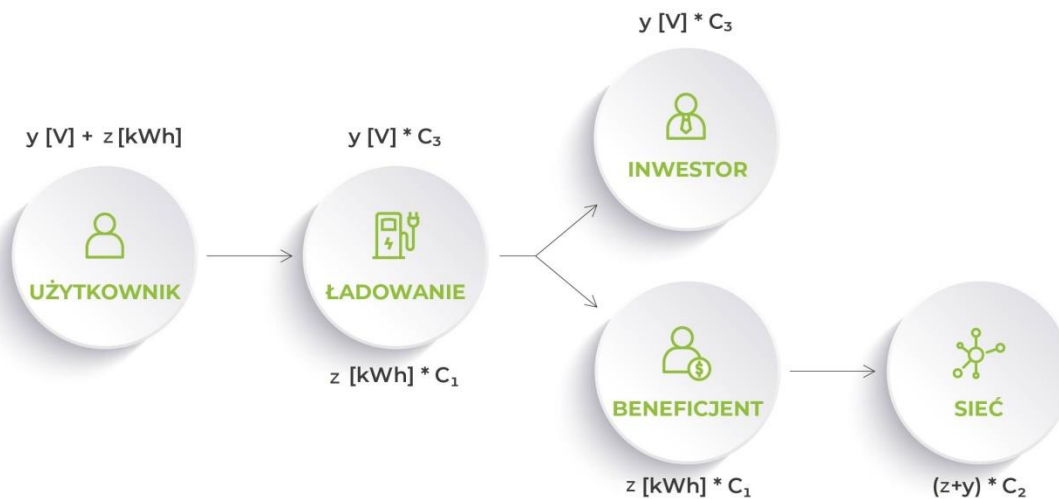
$$WP = \frac{c}{c + d} \quad (13)$$

WP – *współczynnik proporcji* [%],

c – % udziałów gotówki w procesach ładowania opłacanych gotówką i *voucherem*,

d – % udziałów *vouchera* w procesach ładowania opłacanych gotówką i *voucherem*.

¹⁷ Cash flow – dokument prezentujący informacje, które pozwalają na ocenę stopnia płynności finansowej przedsiębiorstwa, skuteczności ściągania należności i zdolności do regulowania zobowiązań. Nazywane jest też sprawozdaniem z przepływu środków pieniężnych czy sprawozdaniem z przepływów finansowych [129].



Rys.22. Schemat przepływu energii i środków przy ładowaniu za gotówkę i voucher

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

C_1 – cena sprzedaży energii elektrycznej (w ładowarce) [€/kWh],

C_2 – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej [€/kWh],

C_3 – cena vouchera oferowana na aukcji [€/kWh].

Współczynnik degradacji WD

Współczynnik degradacji WD (inaczej: stopień degradacji) związany jest z faktem, że algorytm zakłada nieregularny przyrost liczby tokenów spowodowany płatnością gotówką. Z czasem liczba tokenów musi się zmniejszać, ponieważ algorytm nie może żyć wiecznie, posiada on swój określony cykl życia (w modelu określony na 15 lat). Długość życia jest ściśle związana z ekonomią. Czas podczas którego w procesie ładowania generowane będą tokeny, również stanowi problem badawczy, który analizowany da odpowiedzi o kierunkach rozwoju elektromobilności. Czym jest współczynnik degradacji? Jest to wartość przez którą mnożona będzie liczba tokenów generowanych podczas procesu ładowania realizowanego tylko za gotówkę (*Fiat money*). Takie założenie wprowadza fakt, że po pewnym czasie tokeny się „skończą” tj. zostaną wykorzystane jako *vouchery* a następnie spalone, dając tym samym *Beneficjentowi*: możliwość „spłacenia” *Inwestorów* (spieniężą oni wszystkie swoje tokeny) oraz możliwość samodzielnego uczestniczenia w biznesie jakim będzie sieć ładowarek.

Opisując przykład – jeśli *Użytkownik* stacji ładowania użyje stacji i zapłaci tylko gotówką (scenariusz a.) to nastąpi doemitowanie tokenów w liczbie załadowanych kilowatogodzin (x) pomnożonych przez współczynnik degradacji WD (2). Dzięki temu liczba tokenów w czasie, będzie się degradować naturalnie. Bo chociaż będzie następować emisja tokenów, to równoległe algorytm zakłada możliwość ciągłej

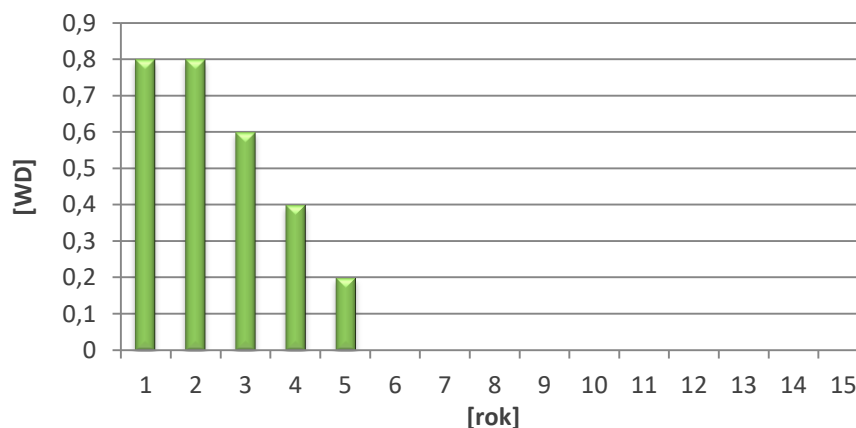
sprzedaży posiadanych tokenów w ramach oferowania *voucherów* (scenariusz b).). Dzięki temu tokeny będą spalane (burn) zawsze wtedy, kiedy Użytkownik zamiast wykorzystywać 100% gotówki na ładowanie, będzie kupował w aplikacji *vouchery* (1 *voucher*=1 kWh)

Istotne jest przeanalizowanie relacji między *WD* i jego zmianą w czasie, rozkładem wykorzystywania *voucherów* przez Użytkowników i ekonomią ekosystemu, zarówno dla *Token Owner'ów* (muszą mieć motywacje do wejścia w ICO) jak i dla *Beneficjenta* ostatecznego (musi mieć motywacje do zrobienia ICO). Zasada działania *współczynnika degradacji* zapisana w algorytmie odnosi się do sytuacji, w której podczas trwania inwestycji Użytkownik nie ma opcji (bądź z niej świadomie rezygnuje) i kupuje kilowatogodziny (kWh) w ładowarce za *Fiat money*/gotówkę rezygnując z *voucherów* (taki fakt odnotowuje algorytm). Taka sytuacja zwiększa tym samym liczbę tokenów zapisanych w blockchain'ie, jako bonus dla aktualnych *Token Holders (Inwestorów)*. *Współczynnik degradacji* będzie regulował tę sytuację – początkowo równy jest 0,8, jednak z czasem maleje i dąży do zera (w 6 roku osiąga wartość 0). Model zakłada główny scenariusz w którym od trzeciego roku *WD* spada o wartość 0,2 rokrocznie (Rys.23.).

$$WD_1 = WD_2 = 0,8 \quad (14)$$

$$\begin{cases} WD(t) > 0 \\ WD(t) = WD_{t-1} - 0,2 \end{cases} \quad t \in \mathbb{N}: 3 \leq t \leq 15 \quad (15)$$

WD – współczynnik degradacji



Rys.23. Zmian wartości współczynnika degradacji w czasie

Marża, cena energii elektrycznej, cena voucheru

Marża netto to różnica ceny energii elektrycznej kupowanej z sieci i ceny energii elektrycznej sprzedawanej w ładowarce w procesie ładowania. Obie wartości możemy zmieniać dowolnie, co daje możliwość zmian marży. Ekonomia marży między kosztem zakupu energii elektrycznej, a ceną sprzedaży oraz cena tokenu jest wartością zmienną w czasie. Założeniem jest, że cena energii elektrycznej w sieci i w ładowarce, rokrocznie

wzrasta o wartości 3%, a cena *vouchera* dostępnego na aukcjach stanowi 80% ceny energii elektrycznej oferowanej w ładowarce. Wartości ceny energii są zgodne z historycznymi i prognozowanymi podwyżkami cen energii na rynku (patrząc do roku 2021). Jeśli chodzi o wzrosty cen energii sprzedawanej i kupowanej podczas procesu ładowania – wartości te mogą być swobodnie regulowane – są to wartości zmienne ale wzrastające (Rys.24.), podobnie jak cena *vouchera* (tokenu).

$$C_1(1) = 0,45 \quad (16)$$

$$\Delta = 3\% \quad (17)$$

$$C_1(t) = C_1(1) \cdot (1 + \Delta)^{t-1} \quad t \in N: t \in \langle 2,15 \rangle \quad (18)$$

$$C_2(1) = 0,3 \quad (19)$$

$$C_2(t) = C_2(1) \cdot (1 + \Delta)^{t-1} \quad t \in N: t \in \langle 2,15 \rangle \quad (20)$$

$$C_3(t) = C_1(t) \cdot 0,8 \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (21)$$

$C_1(1)$ – cena sprzedaży energii elektrycznej w ładowarce w pierwszym roku [€/kWh],

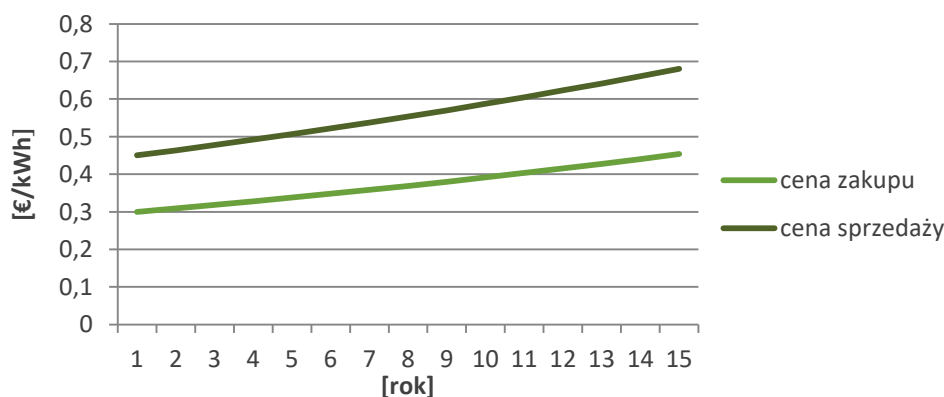
C_1 – cena sprzedaży energii elektrycznej w ładowarce [€/kWh],

Δ – roczny wzrost ceny zakupu i sprzedaży energii elektrycznej [%/r],

$C_2(1)$ – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej w pierwszym roku [€/kWh],

C_2 – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej [€/kWh],

C_3 – cena sprzedaży wouchera/tokenu [€/kWh].



Rys.24. Zmiany cen zakupu i sprzedaży energii elektrycznej w czasie życia modelu

Koszty stałe

Kosztami stałymi w algorytmie są nakłady finansowe poczynione na konserwację i serwis urządzeń. Rokrocznie przyjęto, że jest to wartość 1000 Euro na każdą ładowarkę a w 6 roku – 6000 Euro. W kwotach tych ujęto wszystkie koszty zmienne związane z obsługą przedsięwzięcia. Dodatkowo w 11 roku życia modelu, przyjęte jest

założenie reinwestycji, tj. wymiany wszystkich ładowarek na nowe – co stanowi koszt 4 800 000 Euro, zapewniający *Beneficjentowi* dalsze prowadzenie biznesu.

Liczba generowanych tokenów

Model zakłada inwestycję 6 400 000 Euro netto (czyli po wszystkich kosztach emisji i kosztach uruchomienia ICO) co wygeneruje 32 000 000 sztuk tokenów (T) dla *Token Owners (Inwestorów/ Token Holders)*. Liczba wygenerowanych tokenów na każde 8 000 Euro jakie stanowi cena ładowarki daje 40 000 szt. tokenów dla *Inwestora*. Z prostej kalkulacji przy starcie algorytmu jeden token posiada wartości 0,2 Euro. W dalszej części opisu ważną informacją jest fakt że 1 token jest równy 1 *voucherowi* a ten jest równy 1 kWh energii.

$$T_{(0)} = 32\,000\,000$$

$$6\,400\,000\ \text{€} = 32\,000\,000\ \text{szt. } T \quad (22)$$

$$0,2\ \text{€} = 1\ T \quad (23)$$

$$x\ \text{token [szt]} = x\ \text{Voucher [szt]} = x\ \text{[kWh]} \quad (24)$$

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (*Fiat money*) [kWh]; wolumen wygenerowanych tokenów podczas procesu ładowania realizowanego za gotówkę [szt.]

$T_{(0)}$ – tokeny początkowe [szt.]

To przyrównanie wartości jest odzwierciedleniem obecnej sytuacji jeśli chodzi o ceny energii elektrycznej dostępne na stacjach ładowania (Rys.25.). Zakładając i potwierdzając, że cena energii elektrycznej z roku na rok rośnie – wartość 0,2 Euro będzie wartością startową dostrzegalną tylko w ramach ICO, w momencie realizacji wszystkich procesów, wartość tokenu (*voucheru*) rośnie i wynosi wspomniane 0,8 ceny sprzedaży energii elektrycznej.

Oprócz „startowej” generacji tokenów (w ramach ICO), tokeny będą generowane za sprawą realizacji procesu ładowania przy użyciu *Fiat money* (omawiany powyżej scenariusz a).). Za każdym razem gdy Użytkownik zechce ładować elektryka regulując płatność za pobraną energię elektryczną wyłącznie gotówką, algorytm wygeneruje tokeny w wartości: 1 pobrana kWh generuje 1 token pomnożony przez wartość współczynnika degradacji.

$$T_w(t) = x(t) \cdot WD(t) \quad t \in \mathbb{N}: t \in \langle 1, 15 \rangle \quad (25)$$

T_w – liczba tokenów wygenerowanych po procesie ładowania za *Fiat money* [szt.]

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (*Fiat money*) [kWh]

WD – współczynnik degradacji

Tokeny te trafią proporcjonalnie co do wkładu w ICO do *Inwestorów* a gotówka z procesu ładowania zasili konto *Beneficjenta*. *Beneficjentowi* dając tym samym płynność finansową na koszty obsługi ładowarki oraz zakup energii elektrycznej. Nie mniej jednak generowanie tokenów nie może odbywać się wiecznie. Dlatego też, jak zostało opisane powyżej wprowadzony został *współczynnik degradacji (WD)*. Wartość która nie jest stała w czasie i z upływem trwania algorytmu maleje, zmniejszając tym samym liczbę generowanych tokenów podczas procesu ładowania.

W modelu zakładamy więc wspomniany jednorazowy przyrost liczby tokenów – będzie to emisja w ramach ICO, a później już tylko jednoczesne zwiększanie (z procesu ładowania za *Fiat money*) i zmniejszanie, a docelowo całkowite wypalenie tokenów (burn) (T_B). Tokeny wypalone w procesie, to tak naprawdę liczba zużytych voucherów w procesie ładowania (według scenariusza b.), dlatego też zależność można zapisać jako:

$$T_B(t) = z(t) \quad t \in N: t \in < 1,14 > \quad (26)$$

$$\sum T_B(t) = \sum z(t) + 32\,000\,000 \quad (27)$$

T_B – tokeny spalone w procesie [szt.],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh], wolumen spalonych tokenów [szt.].

Widzimy więc, że liczba spalanych tokenów jest ściśle powiązana ze *współczynnikami podziału i proporcji* oraz ilością pobranej energii elektrycznej w procesie. Aby obliczyć liczbę spalonych tokenów w kolejnych latach w algorytmie zastosowany został warunek, który wywołuje wartość tokenów w poprzednim roku i na jego podstawie warunkuje dalsze działania algorytmu. Algorytm poprzez fakt istnienia tokenów, wykrywa moment ich całkowitego wypalenia i wtedy też wyłącza z algorytmu *Inwestora*. Instrukcja logiczna sprawdza czy suma spalonych tokenów jest większa niż liczba tokenów w obiegu w poprzednim roku, jeżeli tak, to wypalane zostają wszystkie tokeny, a jeżeli nie to wartość spalonych tokenów pozostaje taka jak w poprzednim roku i algorytm oblicza kolejną wartość tokenów dostępną w nowym roku.

System sprzedaży Voucherów

Jak zaznaczono wcześniej *Inwestor* w ramach inwestycji w ICO otrzymuje tokeny, może je sprzedać w systemie aukcyjnym (np. aplikacji mobilnej) lub np. giełdzie kryptowalut. System aukcyjny o którym mowa to tak naprawdę platforma ładowania pojazdów elektrycznych. Każdy pojedynczy token reprezentuje jeden *voucher*. *Voucher* reprezentuje formę płatności za proces ładowania. Użytkownik może ładować swój pojazd „za gotówkę” (*Fiat money* bądź inną kryptowalutę akceptowaną przez ICO) lub poprzez jednoczesny zakup *voucherów* (zazwyczaj po cenie niższej niż oferowana cena energii elektrycznej w ładowarce) i gotówki. *Voucher* oferuje ten sam wolumen energii

za cenę np. 20% niższą niż ta kupiona za gotówkę (taka wartość została przyjęta w modelu jednak można ją dowolnie ustalać). Takie założenie modelowe pozwala w rzeczywistości reagować na wartości podwyżek cen energii i ustalać cenę *vouchera* (podnosząc ją) ze względu na kreującą się wartość popytu i podaży. *Vouchera* jednak nigdy nie można użyć samodzielnie (*współczynnik proporcji* – opisany powyżej). To wymuszenie zakupów za *Fiat money* zapewni *Beneficjentowi* realizację dostaw energii elektrycznej i pokrycie kosztów związanych z obsługą ładowarek. Wiadome jest że cena *vouchera* będzie z czasem rosła, związane jest to z rosnącymi cenami energii elektrycznej. To założenie występowania proporcji w zakupach, odwołuje się do istoty wykorzystania blockchain – bez wymuszonego stosunku sprzedaży w szybkim czasie *Beneficjent* poniósłby bankructwo nie posiadając środków na spłatę zadłużeń wynikających z poboru energii elektrycznej. Ponieważ regulując płatność tylko za *voucher*, to *Inwestor* zanotowałby wpływ a *Beneficjentowi* pozostałaby tylko płatność za pobraną energię elektryczną. Scenariusze takich zdarzeń obrazować będą analizy w dalszej części pracy.

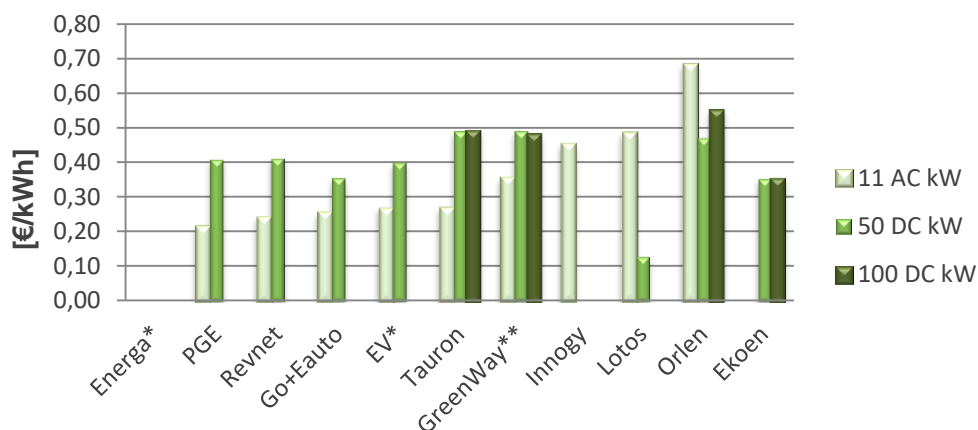
Inwestor wystawiał będzie *vouchery* na sprzedaż na tzw. odwróconej aukcji – „kto da mniej”, generując tym samym dla siebie czysty zysk ze sprzedaży. Sprzedany *Użytkownikowi voucher* (token) ulega spaleni, jest bezpowrotnie niszczone w algorytmie. Na platformie na jego miejsce pojawi się nowy *voucher* zaoferowany przez innego *Inwestora* chcącego sprzedać swoją pulę posiadanych tokenów.

Upraszczając, dla *Inwestora voucher* stanowi w pewnym rodzaju akcję, którą ten może sprzedać wykorzystując do tego platformę mobilną obsługującą proces ładowania. Co więcej, zakładając stały wzrost ceny energii elektrycznej, wartość *vouchera* ciągle rośnie. Oczywiście istnieje zagrożenie jakim jest niechęć *Inwestorów* do sprzedaży, podyktowaną czekaniem na wyższą cenę energii elektrycznej, nie mniej jednak, sytuacja taka byłaby skrajna i mało prawdopodobna – świadczy o tym porównanie analizy zachowań uczestników na polskiej Giełdzie Papierów Wartościowych, gdzie transakcje kupna i sprzedaży dla danych akcji odbywają się zarówno przy wysokim jak i niskim jej kursie. Aby jednak zabezpieczyć i taki scenariusz wydarzeń, w momencie niewyprzedania się *voucherów* przez cały cykl życia algorytmu tj. 15 lat (lub niechęci *Inwestorów* do sprzedaży), algorytm dokona tzn. funkcji „buyout” tj. wykupu wszystkich niesprzedanych wcześniej *voucherów* po aktualnej cenie sprzedaży energii elektrycznej dostępnej w ładowarce. Należność za wykupione *vouchery*, algorytm rozdysponuje do *Inwestorów*, wykupując ich tym samym z biznesu.

Cena vouchera na odwróconej aukcji

Przyjmujemy w modelu, że cena 1 *vouchera* (reprezentowanego wcześniej jako token) na odwróconej aukcji będzie wynosić 0,8 ceny energii zakupionej za gotówkę w ładowarce (w modelu wartość tę można swobodnie modyfikować). *Voucher* musi być tańszy niż kWh, jednak nie za tani, tak aby motywacja *Token Owners* do sprzedaży była odpowiednia. Oczywiście w rzeczywistości cena tokena/*vouchera* byłaby przedmiotem spekulacji i równowagą popytu i podaży, jednak na potrzeby modelowania zmiana ceny

będzie stała. Zmieniające się ceny mają wpływ na wartość transakcji ale nie na jej rentowność, powoduje to, że ustalenie stałej proporcji ceny tokena do ceny energii oferowanej za gotówkę wydaje się być uzasadnione. Startując algorytm, przyrównanie wartości 1 tokena do 1 *vouchera* jest wartością reprezentatywną – jest to wartość zbliżona do dostępnej obecnie ceny energii elektrycznej w stacjach ładowania (Rys.25.).



Rys.25. Ceny energii elektrycznej na stacjach ładowania EV w Polsce (przy założeniach: AC 11kW – ładowanie przez 4h śr. mocą 11kW; DC 50kW – ładowanie przez 1h śr. mocą 45kW; DC 100kW – ładowanie przez 1h śr. mocą 65kW) * brak pobierania opłat za ładowanie, ** stawka 5% rabatu dla członków Klubu EV Polska [130]

Stacje ładowania

Cały model opiera się na inwestycji na przykładzie ładowarek o mocy 2x22 kW AC, użycie takiej ładowarki zostało podyktowane badaniami i analizą przeprowadzoną w Rozdz.2. pracy. Taki rodzaj ładowarki został skalkulowany z całkowitym kosztem inwestycyjnym w kwocie 8 000 Euro. To znaczy, że całkowity koszt budowy i uruchomienia punktu ładowania wynosi 8 000 Euro, co daje wspomniane wcześniej 32 000 sztuk wygenerowanych tokenów na każdą ładowarkę. Jak podano powyżej model zakłada inwestycję 6 400 000 Euro co w konsekwencji daje możliwość wybudowania 800 sztuk stacji ładowania o mocy 2x22 kW. Na potrzeby modelu jedna stacja 2x22 kW AC jest traktowana jako 1 punkt do ładowania samochodów elektrycznych. W modelu przyjęte zostały również koszty serwisu i obsługi dla każdej stacji – 1 000 Euro rocznie, oraz określone jako koszt modernizacji samych ładowarek w 6 roku trwania modelu w wartości 6 000 Euro/urządzenie, pozwalające *Beneficjentowi* na dalsze wykorzystanie punktu i prowadzenie w późniejszym czasie samodzielnego biznesu.

5.4. Eksplikacja modelu i metod badawczych

Powołanie do życia modelu opisującego ładowanie pojazdów elektrycznych, jest ściśle związane z Initial Coin Offering (ICO), oraz z inteligentnym kontraktem. To jest

z wykreowaniem opisywanego algorytmu, który definiuje w jaki sposób będą tworzone (emitowane) przez system tokeny i w jaki sposób, oraz kiedy, będą transferowane między właścicielami/beneficjentami/inwestorami (zapis w bazie danych platformy Ethereum o kluczu prywatnym do którego jest przypisany token) lub kiedy i jak będą spalane (burn/niszczony/kasowane z procesu). Na podstawie wcześniej podanych wytycznych i założeń do modelowania prowadzono badania i szereg symulacji, pokazujących możliwości rozwoju najbardziej prawdopodobnych scenariuszy. Problem badawczy skupia się na odpowiedzi jak i czy, będzie rozwijać się elektromobilność w myśl wykorzystania ICO do finansowania budowy stacji ładowania. Do odpowiedzi na to pytanie posłużono się wielkościami opisującymi wartości przepływów finansowych. Skupiono się głównie na takich wskaźnikach jak NPV(ang: Net Present Value; to jest wartość bieżąca netto, wartość zaktualizowana netto) oraz IRR (ang: Internal Rate of Return; wewnętrzna stopa zwrotu).

NPV to podstawowy i jeden z głównych wskaźników dynamicznych, inaczej metoda wyrażania różnicy pomiędzy bieżącymi wpływami gotówki a ich bieżącymi wypływami. NPV często używane jest w budżetowaniu kapitałowym i jest stosowaną metodą oceny efektywności inwestycji [131]. Wskaźnik ten w analizowanym modelu posłużył jako wyznacznik oceny przedsięwzięcia mający realne przełożenie na rozwój elektromobilności poprzez alokację infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Mając wiedzę o wartości NPV dla danych współczynników i danych w modelu, można przetransponować tę wartość do środowiska pojazdów elektrycznych i na tej podstawie określić czy poszczególne wyniki NPV zachęci do inwestycji w ICO a tym samym przyczyni się do rozwoju elektromobilności poprzez budowę stacji ładowania.

Wartość wskaźnika NPV może być interpretowana jako:

- nadwyżka zaktualizowanych przychodów netto nad poniesionymi nakładami początkowymi lub równoważnie,
- nadwyżka zaktualizowanego zysku netto nad alternatywnym zyskiem z inwestycji o wewnętrznej stopie zwrotu równej przyjętej stopie dyskonta,
- wzrost zamożności inwestora wynikający z realizacji inwestycji z uwzględnieniem zmian wartości pieniądza w czasie [132].

W takim ujęciu NPV daje jednoznaczne przesłanki w zakresie decyzji inwestycyjnych. Zgodnie z tymi przesłankami inwestycja jest akceptowana, jeżeli jej $NPV \geq 0$, oraz odrzucana, gdy $NPV < 0$.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (28)$$

NPV – wartość bieżąca netto,

CF_t – przepływy gotówkowe (netto) w okresie *t*,

r – stopa dyskonta,

I₀ – nakłady początkowe,

t – kolejne okresy (kolejny rok) eksploatacji inwestycji.

Wartość zaktualizowana netto NPV, pozwala określić czy realizacja danej inwestycji jest opłacalna dla pewnej stopy procentowej. Z reguły odzwierciedla ona oczekiwania inwestorów odnośnie rentowności danego projektu. Niemniej jednak, bardzo często analitycy nie są zainteresowani samą wartością NPV, lecz obliczeniem stopy zwrotu z inwestycji. To oznacza, że przedmiotem analizy nie jest określenie czy dany projekt jest zyskowny, lecz ustalane jakiej stopy zwrotu można oczekiwać w przypadku tego projektu. Dlatego też kolejnym wyznacznikiem opłacalności finansowej do wejścia Inwestorów w ICO, jest wspomniana powyżej wewnętrzna stopa zwrotu (ang. Internal Rate of Return, IRR) – metoda oceny efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej, a także wskaźnik finansowy wyznaczony w oparciu o tę metodę [133].

Wskaźnik IRR jest stopą dyskontową, przy której wskaźnik NPV = 0. Oznacza to, że suma zdyskontowanych przepływów pieniężnych, które zostaną wygenerowane podczas realizacji danego projektu będzie równa poniesionym nakładom inwestycyjnym. Obliczenie wartości IRR polega więc na znalezieniu takiej wartości stopy dyskontowej która spełnia warunek:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad (29)$$

Dla danej inwestycji (o typowych przepływach pieniężnych) zachodzą więc następujące zależności:

- jeżeli stopa dyskonta $>$ IRR, to $NPV < 0$,
- jeżeli stopa dyskonta $=$ IRR, to $NPV = 0$,
- jeżeli stopa dyskonta $<$ IRR, to $NPV > 0$.

Tak więc wewnętrzna stopa zwrotu jest drugą spośród najczęściej stosowanych metod dyskontowych dla oceny przedsięwzięć inwestycyjnych. IRR jest miarą rentowności inwestycji. Pokazuje rzeczywistą stopę zysku z przedsięwzięcia, uwzględniając zmianę wartości pieniądza w czasie. IRR jest stopą procentową, przy której wartość wydatków pieniężnych jest równa bieżącej wartości wpływów pieniężnych. A zatem IRR pokazuje, po jakiej stopie procentowej zaktualizowane (zdyskontowane) wydatki będą równać się zaktualizowanym wpływom. Tym większy odnotujemy dochód z inwestycji, im większa jego wartość. Z drugiej strony – jest to maksymalna stopa kredytu inwestycyjnego, który pozwoli jeszcze sfinansować projekt bez straty dla właścicieli [134].

Podsumowując należy stwierdzić, że IRR to stopa rentowności danego przedsięwzięcia. Jest to również stopa graniczna, ukazująca najwyższą stopę zwrotu z danego projektu, która może zostać zaakceptowana przez inwestora (aby uznać, że projekt warty jest realizacji) [133].

Wykorzystanie NPV i IRR do oceny przedsięwzięcia jakim jest alokacji infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych finansowanych w ramach ICO, daje możliwość

oceny inwestycji i na tej podstawie wysnucia wniosków, jak modelowanie przy użyciu blockchain wpłynie na rozwój elektromobilności. Im większe zyski czerpać będą *Inwestorzy* i *Beneficjent* tym motywacja do inwestycji będzie większa i tym samym powstać będzie mogło więcej punktów ładowania dla pojazdów EV [134].

Do oceny inwestycji można użyć NPV, ponieważ w interesie aktorów leży podjęcie właściwej decyzji w związku z inwestycjami kapitałowymi, dlatego też muszą zastosować regułę decyzyjną. Reguła ta pozwala rozgraniczyć propozycje możliwe do przyjęcia od takich, których przyjęcie będzie niemożliwe. Reguła ta nie może być także sprzeczna z celami przedsiębiorstwa, ponieważ uniemożliwi ich realizację [135]. Wewnętrzna stopa zwrotu jest drugą spośród najczęściej stosowanych metod dyskontowych dla oceny przedsięwzięć inwestycyjnych, jak zostało wspomniane IRR jest miarą rentowności inwestycji. Im większa będzie wartość IRR, tym większy aktorzy odnotują dochód z inwestycji. W analizie posłużono się właśnie tymi regułami aby jak najdokładniej odwzorować rynek oraz zachowania głównie te dotyczące *Inwestorów* i *Beneficjenta*. Aktorzy ci bez zadowalających wskaźników finansowych nie podejmą pracy związanej z wystartowaniem algorytmu blockchain.

Mówiąc o analizie działania modelu mamy na myśli również jego funkcje, pracę całego algorytmu obsługującego proces ładowania samochodu elektrycznego. To jak działa cały „organizm”, jak jest regulowana liczba tokenów, jaki jest przepływ energii elektrycznej, jak traktowany jest *Użytkownik*, gdzie zlokalizowane są przepływy tokenów i środków. Dzięki zidentyfikowaniu powyższych funkcji modelu (które zostały opisane powyżej), możliwe jest prowadzenie symulacji i wnioskowanie na temat wpływu tokenizacji na rozwój elektromobilności. Obecnie blockchain daje bardzo dużo możliwości, jest w stanie przeniknąć do bardzo wielu mechanizmów rynkowych (również rynku energii elektrycznej) co daje możliwość rozwoju i połączenie technologii. Modelowanie najprościej rozpatrywać poszczególnymi zagadnieniami, stopniować jego zróżnicowanie i wzajemne powiązania.

Na podstawie opisanych w punkcie 5.3 założeń, można płynnie przejść do zagadnień finansowych warunkujących m.in. przychody i tym samym rozwój sektora pojazdów elektrycznych. Odnosząc się do energii elektrycznej, jej wolumenu i przychodów ze sprzedaży, można zapisać następująco:

$$E_{en.el.}(t) = X(t) \cdot L_L(t) \quad dla X \in N; X < 39,80 >; t \in N; 1 \ll t \ll 15 \quad (30)$$

$$x(t) = E_{en.el.}(t) \cdot WZ \quad (31)$$

$$x(t) = X(t) \cdot L_L(t) \cdot WZ \quad dla X \in N; X < 39,80 >; t \in N; 1 \ll t \ll 15 \quad (32)$$

$$z(t) + y(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \quad dla t \in N: 1 \ll t \ll 15 \quad (33)$$

$$z(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \cdot (WP) \quad dla t \in N: 1 \ll t \ll 15 \quad (34)$$

$$y(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \cdot (1 - WP) \quad dla t \in N: 1 \ll t \ll 15 \quad (35)$$

$E_{en.el}$ – całkowita ilość pobranej energii w procesach ładowania w czasie [kWh],

X – wielkość ładowania według PRNG w czasie [kWh],

L_L – liczba ładowań w czasie [szt.],

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

WZ – współczynnik podziału,

WP – współczynnik proporcji.

Odnosząc się do informacji z punktu 5.2 powyższe wartości energii można opisać jako procesy realizowane według scenariuszy a). i b). Jeżeli dodamy do tego aspekt generujących się podczas procesu ładowania tokenów dla *Inwestorów*, powyższe wielkości możemy rozwinąć jako zależności:

$$\begin{cases} T_B(t) > 0 \\ x(t) = E_{en.el}(t) \cdot WZ \\ z(t) + y(t) = E_{en.el}(t) \cdot (1 - WZ) \end{cases} \quad t \in N: t \in \langle 1, 15 \rangle \quad (36)$$

$$\begin{cases} T_B(t) > 0 \\ z(t) = [E_{en.el}(t) \cdot (1 - WZ)] \cdot WP \\ y(t) = [E_{en.el}(t) \cdot (1 - WZ)] \cdot (1 - WP) \end{cases} \quad t \in N: t \in \langle 1, 15 \rangle \quad (37)$$

$$\begin{cases} T_B(t) \ll 0 \\ E_{el.el}(t) = x(t) \\ z(t) = 0 \\ y(t) = 0 \end{cases} \quad t \in N: t \in \langle 1, 15 \rangle \quad (38)$$

T_B – tokeny spalone w procesie [szt.],

$E_{en.el}$ – całkowita ilość pobranej energii w procesach ładowania w czasie [kWh],

X – wielkość ładowania według PRNG w czasie [kWh],

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

WZ – współczynnik podziału,

WP – współczynnik proporcji.

Oznacza to, że w momencie kiedy w algorytmie dostępne są tokeny proces może być realizowany w dwóch scenariuszach. Jednak gdy wszystkie istniejące tokeny wyprzedzą się w formie *voucherów*, algorytm odnotowuje tę kwestię i proces ładowania pojazdów elektrycznych realizowany może być tylko za gotówkę. Moment

ten jest o tyle istotny dla *Beneficjenta*, że pozostaje on wtedy jedynym „udziałowcem” biznesu, wszyscy *Inwestorzy* sprzedali swoje tokeny (wystawili je na aukcji voucherów) spieniężając się i wycofując z biznesu. Od tego momentu to *Beneficjent* jest adresatem wszystkich przepływów pieniężnych w algorytmie. Zysk *Token Owner*’a w zależności od liczby tokenów w obiegu można więc zapisać:

$$\begin{cases} T_B(t) > 0 \\ Z_{TO}(t) = E_{en.el.}(t) \cdot (1 - WZ) \cdot (1 - WP) \cdot C_3(t) \end{cases} \quad t \in N: \quad t \in \langle 1, 15 \rangle \quad (39)$$

$$\begin{cases} T_B(t) > 0 \\ Z_{TO}(t) = y(t) \cdot C_3(t) \end{cases} \quad t \in N: \quad t \in \langle 1, 5 \rangle \quad (40)$$

$$\begin{cases} T_B(t) \leq 0 \\ Z_{TO}(t) = 0 \end{cases} \quad (41)$$

$$Z_{TO} = [T_{(0)} + \sum T_B(t)] \cdot C_3(t) \quad t \in N: \quad t \in \langle 1, 5 \rangle \quad (42)$$

Z_{TO} – zysk *Inwestora*,

T_B – tokeny spalone w procesie [szt.],

$T_{(0)}$ – tokeny początkowe [szt.],

y – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej voucherem w procesach ładowania opłacanych gotówką i voucherem [kWh],

C_3 – cena voucheru oferowana na aukcji [€/kWh],

WZ – współczynnik podziału,

WP – współczynnik proporcji.

Rozważając powyższe zależności, należy zaznaczyć, że w modelu istnieje możliwość regulacji ceny voucheru – skutkuje to możliwością zwiększania lub zmniejszenia zysku *Inwestora*. Należy jednak pamiętać że cena voucheru, jest poddawana konkurencji i aby być atrakcyjną dla *Użytkownika* stacji ładowania, musi zawierać się w przedziale atrakcyjności. Zysk *Inwestora* bardzo mocno skorelowany jest również z WZ i WP – te proporcje warunkują ilościowy udział *Inwestora* w biznesie, na wartości proporcji on sam nie ma wpływu, może to robić jedynie poprzez wspomnianą wcześniej regulację ceny voucheru wystawianego na aukcji. Jednak swoje kalkulacje musi prowadzić bardzo ostrożnie, zbyt niska cena pozwoli mu bowiem sprzedać token, ale tym samym zniechęci *Użytkownika* do ładowania za gotówkę (generowania tokenów). Dlatego też kalkulacje w obszarze cen voucherów wystawianych na aukcjach muszą być przemyślane i rozważne. Nie mniej jednak dynamikę zmiany ceny voucheru i tym samym rozważanego zysku *Inwestora*, jest mocno zbieżna z funkcjonowaniem akcji spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych. To indywidualne preferencje sprzedających i ich aktualna sytuacja finansowa mają tu kluczowe znaczenie jeśli mowa o cenach wystawianych na sprzedaż akcji. W przypadku modelu sytuacja ta jest podobna, dlatego też żeby uniknąć możliwych spekulacji przyjęto stały wzrost ceny voucheru zależny od cen energii dostępnej w ładowarce (21).

Beneficjent jako aktor powołujący do życia algorytm jest odpowiedzialny za całą aktywizację inteligentnego kontraktu, podobnie jak *Inwestor* jest mocno związany finansowo z modelem, ale strumienie jego zysku są bardziej złożone. *Beneficjent* jest aktorem odpowiedzialnym za życie algorytmu, jako postać jest kluczowa i nastawiona na zysk inwestycyjny. Finanse *Beneficjenta* to wypadkowa przychodów i poniesionych kosztów, można to zapisać jak podano poniżej:

$$Z_{BE}(t) = P_{BE}(t) - K_{BE}(t) \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (39)$$

$$Z_{BE} = \sum Z_{BE}(t) \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (40)$$

Z_{BE} – zysk *Beneficjenta* [€],

P_{BE} – przychód *Beneficjenta* [€],

K_{BE} – koszt *Beneficjenta* [€].

Przychody *Beneficjenta* mają kilka źródeł, jest to wkład pracy w ramach ICO oraz, jako główne i przeważające w pierwszym i ostatnim etapie życia modelu, wpływy za ładowanie gotówkowe (scenariusz a.). W pierwszych latach życia modelu *Użytkownik* jest bardziej skłonny do płatności gotówkowej, związane jest to z nowością dostępnego rozwiązania oraz małą liczbą *voucherów* na aukcjach. W końcowym etapie życia modelu, kiedy to wszystkie *vouchery* (tokeny) zostaną sprzedane przez *Inwestorów*, a cena energii sprzedawanej w ładowarce mocno wzrośnie, transakcje odbywać się będą tylko gotówkowo, dając tym samym *Beneficjentowi* zwiększoną liczbę przychodów. Przychody *Beneficjenta* możemy opisać jako:

$$P_{BE}(t) = W_{pocz.} + \{[x(t) + z(t)] \cdot C_1(t)\} \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (41)$$

$$W_{pocz.} = 6\,400\,000 \quad (42)$$

$$\begin{cases} T_B(t) > 0 \\ Z_{BE}(t) = \{[x(t) + z(t)] \cdot C_1(t)\} - K_{BE}(t) \end{cases} \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (43)$$

$$\begin{cases} T_B(t) \leq 0 \\ Z_{BE}(t) = [x(t) \cdot C_1(t)] - K_{BE}(t) \end{cases} \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (44)$$

$W_{ICO.}$ – kapitał początkowy zgromadzony w ramach ICO [€],

C_1 – cena sprzedaży energii elektrycznej (w ładowarce) [€/kWh],

K_{BE} – koszty *Beneficjenta* [€],

P_{BE} – przychód *Beneficjenta* [€],

K_{BE} – koszt *Beneficjenta* [€],

x – wolumen pobranej energii elektrycznej w procesach ładowania opłacanych gotówką (Fiat money) [kWh],

z – wolumen pobranej energii elektrycznej opłaconej gotówką w procesach ładowania opłacanych gotówką i *voucherem* [kWh].

W kosztach *Beneficjenta* ujęte zostały płatności za energię elektryczną z sieci oraz koszty obsługi serwisowej stacji, można je wyrazić jako:

$$K_{BE}(t) = [E_{en.el.}(t) \cdot C_2(t)] + M_c(t) \quad t \in N: t \in \langle 1,15 \rangle \quad (45)$$

K_{BE} – koszty Beneficjenta [€],

M_c – koszty serwisowe [€],

C_2 – cena zakupu energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej [€/kWh],

$E_{en.el.}$ – całkowita ilość pobranej energii w procesach ładowania w czasie [kWh].

Jak widać mechanizm finansowy modelu jest dość rozbudowany, aby dodatkowo nie zwiększać ilości zmiennych w całym modelu, koszty obsługi i prowadzenie rozliczeń, administracji, sprzedaży czy inne, zostały ujęte w kosztach serwisowych i cenie ładowarki. W kosztach skupiono się tylko na tych związanych z ceną energii, serwisem lub wymianą urządzeń. Takie ograniczenie poczynione zostało w pełni świadomie, dając Beneficjentowi przestrzeń na kreowanie swojego biznesu i podejmowanie decyzji. Jako przedsiębiorca który inicjuje życie modelu założone jest, że wykazuje się on na tyle daleko idącym doświadczeniem i świadomością, że pozwoli mu ona oszacować pozostałe koszty i za sprawą możliwości zmiany ceny sprzedaży energii elektrycznej w ładowarce ponosić odpowiedzialność.

5.5. Wyniki modelowania i analiza scenariuszy rozwoju elektromobilności

Dzięki zbudowanemu i opisanemu modelowi, możliwości zadawania zmiennych wartości w algorytmie są bardzo rozszerzone. Mimo to, praca skupia się na kilku z nich, w których prezentuje analizę wpływu alokacji urządzeń do ładowania na rozwój elektromobilności i tym samym wpływ możliwego zastosowania blockchain na rozwój rynku pojazdów elektrycznych. Model procesu opisującego wykorzystanie tokenów/voucherów, czy współczynników jest dość skomplikowany w swojej strukturze. Opierając się na danych rzeczywistych, określających ilość pobranej energii elektrycznej i założeniach wejściowych (WD, WZ, WP), poniższe wykresy prezentują przepływy finansowe dla Beneficjenta i Inwestora w różnych scenariuszach, które są bezpośrednim przełożeniem odzwierciedlającym możliwe wizje rozwoju elektromobilności (widziany jako chęć do rozbudowy infrastruktury) i przykładowy wpływ zastosowania ICO na rozwój tego sektora transportu. Połączenie aspektu elektrotechniki użytkowej, ekonomii i technologii Blockchain, a w efekcie utworzenie nowych punktów do ładowania, pozwoli zaobserwować jak może wyglądać charakterystyka wzrostu gęstości punktów ładowania w funkcji czasu tak, aby multiplikować liczbę pojazdów elektrycznych na Polskich drogach w ramach sprzężenia zwrotnego, czyli im więcej dostępnej infrastruktury, preferencyjnych warunków (cen energii elektrycznej do ładowania), tym więcej pojazdów elektrycznych. Wykorzystanie do tego procesu ICO zdaje się być ciekawym i uzasadnionym elementem nowych technologii i możliwości synergii. Tak więc możliwy wpływ rozwiązań z pogranicza technologii Blockchain jest wysoce prawdopodobny, i rodzi się tylko pytanie jak powinny wyglądać warunki brzegowe funkcjonowania modelu biznesowo–

technologicznego, aby było ono atrakcyjne dla *Inwestora*, *Beneficjenta* i *Użytkownika* równocześnie. Narzucającą się odpowiedzią na pytanie co powinno definiować warunki brzegowe są potencjalne przepływy finansowe, które przy zastosowaniu bazy danych opartej o blockchain stają się niezwykle transparentne i zabezpieczone dla każdej ze stron kontraktu.

Jednak najbardziej nieprzewidywalnymi zmiennymi modelu są zachowania społeczne. Czy posiadacze pojazdów elektrycznych będą korzystać z systemu *voucherów* (tokenów) zaproponowanych przez *Beneficjenta*? W jakiej proporcji będą korzystać z płatności gotówkowych, a w jakiej będą to płatności dzielone na *voucher* i gotówka. Model daje możliwość wygenerowania tysięcy scenariuszy, jednak aby zrozumieć wyniki badania w pracy zostanie zaprezentowane 5 scenariuszy. Dwa z nich będą obrazować scenariusze skrajne, tj.:

- Scenariusz I – ładowanie pojazdów elektrycznych odbywa się tylko za pomocą gotówki (*Fiat money*).
- Scenariusz II – scenariusz odwrotny do scenariusza I, czyli 100% transakcji realizowanych jest z użyciem gotówki i *voucherów*.

Kolejne dwa scenariusze zawierają podane poniżej założenia:

- Scenariusz III – pokazujący ekonomię dla wszystkich stron, przy założeniu 50% podziału między transakcjami *Fiat money*, a transakcjami *voucher* i *Fiat money*.
- Scenariusz IV – pokazujący analizę przy tych samych założeniach co scenariusz III, ale przy założeniu, że *współczynnik degradacji (WD)* i jego wpływ zostanie zniwelowany do zera, co oznacza, że tokeny dla TO będą się generować cały czas tak samo przez 15 lat, czyli cały cykl życia algorytmu.

Ostatni scenariusz V, będzie przeciwieństwem scenariusza IV, tj.:

- Scenariusz V – zakładający, że tokeny będą się generowały jednokrotnie, tylko przy starcie projektu, po czym zostaną wykupione przez *Beneficjenta* pod koniec trwania modelu, czyli po 15 latach.

Zaczynając od wartości startowych, opisywanych we wcześniejszych częściach pracy, związanych z nimi wynikach finansowych, a tym samym skali rozwoju elektromobilności, najłatwiej jest obrazować za pomocą wykresów i tabel. Tak zaprezentowane wartości, dają możliwość zobrazowania skali w jakiej porusza się dany aktor algorytmu i w jakim miejscu na osi czasu zachodzą zmiany. Dane zawarte w Tab.3. prezentują wartości ilości pobranej energii elektrycznej w procesie pojedynczego ładowania. Wartości te, można traktować jak bazę dla pracy algorytmu, mnogość rozwiązań w tej kwestii zapewnia ciągle działający algorytm pseudolosowości, który to, za każdym odświeżeniem pliku podstawia inne dane dla ilości pobranej energii elektrycznej w procesie. Aby jednak zobrazować odpowiedni punkt odniesienia, wartości pobranej energii dla każdego z prezentowanych scenariuszy

zostały zamrożone, tak aby wpływ pseudolosowości na wyniki nie zaburzał obrazu porównawczego.

Tab.3. Wartości zmiennych losowych obrazujące ilość pobranej energii elektrycznej w pojedynczym procesie ładowania

Rok	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
[kWh] /ładowanie	43	52	69	57	42	58	42	51	77	70	78	45	75	44	71

Scenariusz I

Scenariusz I daje obraz sytuacji, w której system *voucherów* nie znajduje zastosowania i nie przyjmuje się na rynku, lub *Inwestorzy* nie wystawiają tokenów na sprzedaż np. czekając na finalny buyout po 15 latach. W takiej sytuacji z perspektywy właściciela tokenów (*Inwestora*), w tym skrajnie niekorzystnym teoretycznie scenariuszu, wartość IRR (15 letni) na poziomie 19% wydaje się być bardzo przyzwoity. Jak pokazują poniższe tabele (Tab.4., Tab.5.) wartość Net Present Value (NPV) przy założeniu stopy dyskontowej 10% (inwestorzy kryptowalutowi są bardzo agresywni w oczekiwaniach i 10% wydaje się być minimalną wartością zwrotów z kapitału jakiego oczekują [136]), daje ponad 14 milionów Euro przy wkładzie 6,4 miliona Euro (Tab.5.). Z punktu widzenia tej strony modelu biznesowego inwestycja jest uzasadniona i można tu zakładać chęć inwestycji i tym samym rozbudowy infrastruktury do ładowania przekładającej się na rozwój elektromobilności.

Tab.4. Scenariusz I. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$

Zmienna	Symbol	Jednostka	Wartość
Cena energii elektrycznej w ładowarce dla $t1$	$C_{1(1)}$	[€/kWh]	0,45
Cena zakupu energii elektrycznej w sieci dla $t1$	$C_{2(1)}$	[€/kWh]	0,3
Cena sprzedaży vouchera dla $t1$	$C_{3(1)}$	[€/kWh]	0,36
Wzrost ceny sprzedaży energii elektrycznej	Δ	[%/rr]	3
Liczba ładowarek dla $t1$	L	[szt.]	800
Liczba ładowań dla $t1$	$L_{L(1)}$	[szt.]	584 000
Kapitał początkowy	$W_{pocz.}$	[mln €]	6,4
Współczynnik rozwoju	WR	[%/rr]	5
Współczynnik degradacji dla $t1$	$WD_{(1)}$		0,8
Współczynnik podziału	WZ		1

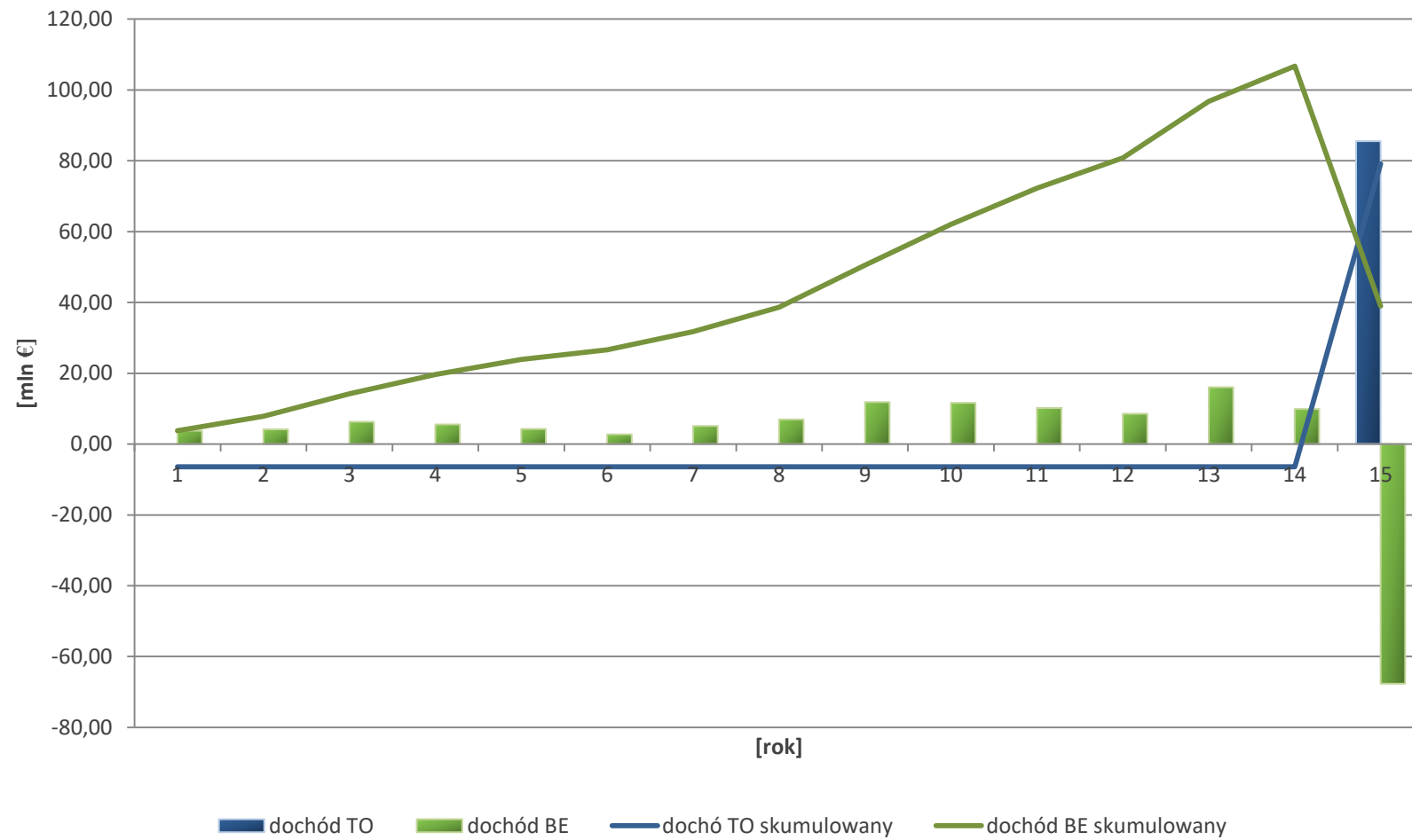
Beneficjent natomiast nie inwestuje kapitału początkowego. Dla niego założono stopę dyskontową równą 3%. Jednak w różnych scenariuszach może się okazać, że będzie musiał on uzupełniać cash flow, kiedy np. w danym roku odnotuje się duża sprzedaż energii za pomocą *voucherów*, co zobowiąże *Beneficjenta* do zakupu energii z własnych funduszy, mowa tu również o konieczności pokrycia kosztów serwisowych czy zakupie

nowych urządzeń do ładowania. W Scenariuszu I nie ma takiej sytuacji, model jest stabilny dla *Beneficjenta*. NPV wynosi po 15 latach prawie 38 milionów Euro, uwzględniając buyout na poziomie 85,5 mln Euro (Tab.5.). Wartości wewnętrznej stopy zwrotu IRR wynosi nieskończoność, związane jest to z tym, że inwestycja kapitałowa *Beneficjenta* jest równa zero, korzysta on tylko z kapitału zgromadzonego w ramach ICO.

Tab.5. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza I

<i>Rok</i>	<i>BE</i>	<i>TO</i>
<i>Inwestycja początkowa</i>	(-)1,00 €	(-)6 400 000,00 €
1	3 766 800,00 €	0,00 €
2	4 126 448,80 €	0,00 €
3	6 269 785,62 €	0,00 €
4	5 516 238,68 €	0,00 €
5	4 233 377,36 €	0,00 €
6	2 717 349,09 €	0,00 €
7	5 087 250,82 €	0,00 €
8	6 931 432,15 €	0,00 €
9	11 824 291,72 €	0,00 €
10	11 611 974,09 €	0,00 €
11	10 157 669,97 €	0,00 €
12	8 532 723,12 €	0,00 €
13	16 022 233,42 €	0,00 €
14	9 873 370,66 €	0,00 €
15	-67 686 281,04 €	85 512 889,59 €
<i>IRR (15 LAT)</i>		19 %
<i>NPV</i>	37 610 909,88 €	14 071 106 €
<i>Suma przepływów</i>	38 984 664,46 €	79 112 889,59 €

Można ująć, że skrajny Scenariusz I jest atrakcyjny zarówno dla strony inwestującej, jak i zarządzającej infrastrukturą. Powyższa tabela (Tab.5.) i wykres (Rys.26.) pokazuje jak kształtują się przepływy pieniężne w czasie. Taka wizja rozwoju alokacji infrastruktury jest więc zachęcająca i daje możliwość powołania do życia algorytmu, a tym samym rozwój infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych i elektromobilności. Kluczową kwestią będzie tu tylko nijako przekonanie *Inwestorów* do długiego czasu oczekiwania na zyski z inwestycji.



Rys.26. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Token Owner'a (TO) dla symulacji Scenariusz I

Scenariusz II

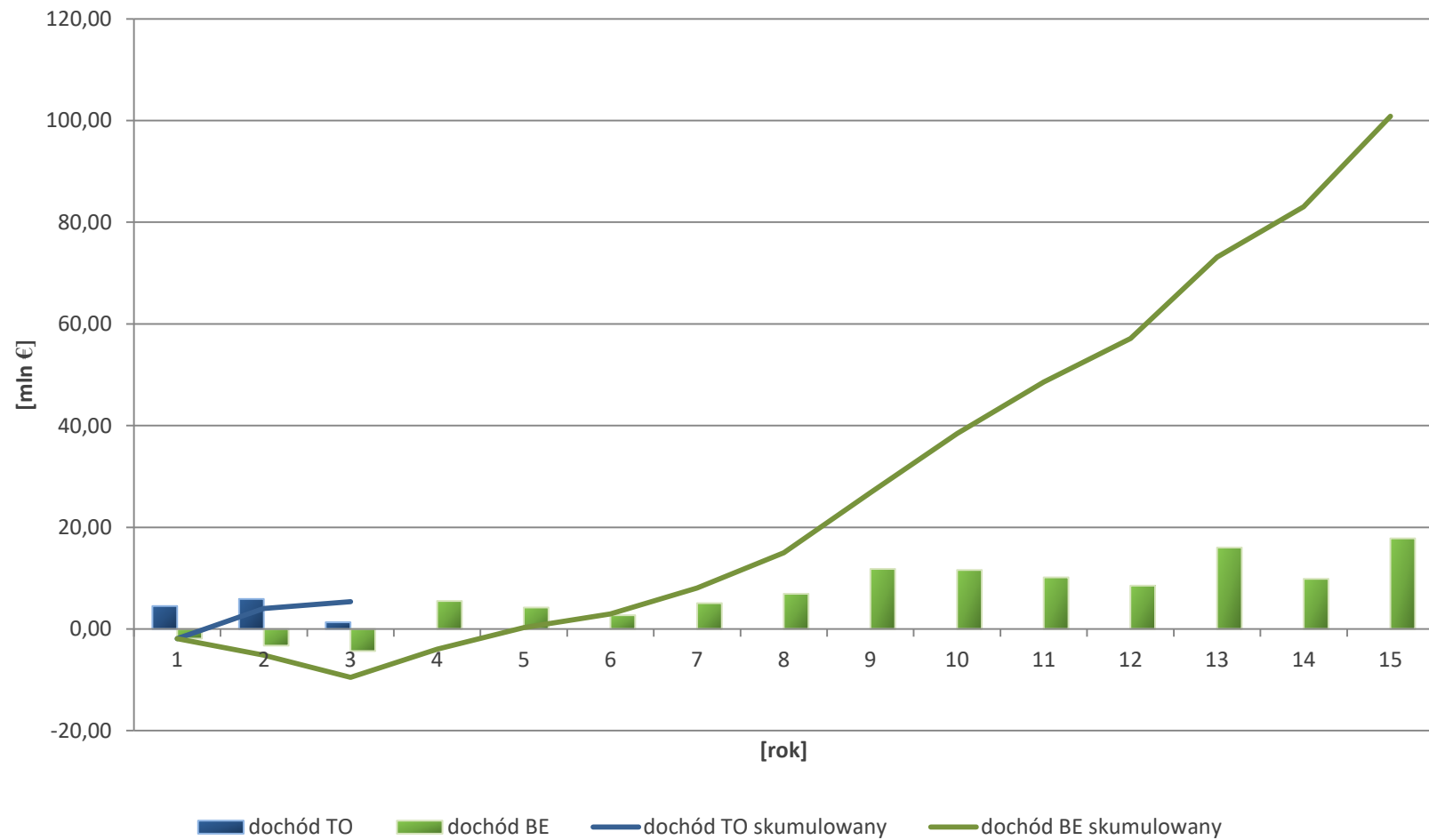
Scenariusz II, inny do poprzedniego, pokazuje wyniki, gdzie 100% transakcji wykonywanych jest przy użyciu gotówki i *vouchera* ($WZ=0$), z czego połowa kilowatogodzin z procesu ładowania opłacana jest gotówką, a pozostała połowa energii opłacana jest za pomocą *vouchera* (tokenu) zakupionego na aukcji (od *Inwestora/-ów*). W tym scenariuszu symulacja pokazuje skrajnie szybkie wypalenie wszystkich tokenów, dzieje się tak w czasie trzech pierwszych lat życia modelu. Okazuje się, że nie jest to najbardziej optymalna strategia dla właścicieli tokenów, ale ciekawa dla właściciela infrastruktury czyli *Beneficjenta* (*BE*) (Rys.27.). Z punktu widzenia *TO* zysk liczony jako wewnętrzna stopa zwrotu jest bardzo wysoki, na poziomie 45% (IRR), jednak trzy letnie NPV (stopa dyskonta 10%) to tylko 3,6 mln Euro w porównaniu do inwestycji 6,4 mln Euro (Tab.7.). Może być to zachęcające dla *Inwestorów*, jednak może być to za mało atrakcyjne dla inwestorów świata "crypto". Z punktu widzenia *Beneficjenta* NPV jest wyjątkowo wysokie, bo na poziomie ponad 71 mln euro (stopa dyskonta 3%) – w czasie 15 lat. Jednak jest to okupione koniecznością doinwestowania modelu w pierwszych trzech latach kwotą prawie 10 mln Euro. Stąd IRR to „tylko” 44%, które jest bardzo ponadprzeciętne. Potencjał modelu zakładał jednak finansowanie inwestycji w większości przez kapitał pochodzący z ICO. Przy tym skrajnym scenariuszu główna idea modelu nie sprawdza się, związane jest to z faktem zbyt szybkiego wypalania się tokenów i znaczącym doinwestowywaniem struktur przez *Beneficjenta*. W takim przypadku ciężko mówić o chęci powołania algorytmu do życia, Beneficjent nie będzie forsował takiego pomysłu, co skutkuje brakiem alokacji infrastruktury do ładowania i tym samym brakiem oddziaływania na wzrost liczby ładowarek do ładowania EV.

Tab.6. Scenariusz II. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$

Zmienna	Symbol	Jednostka	Wartość
Cena energii elektrycznej w ładowarce dla $t1$	$C_{1(t)}$	[€/kWh]	0,45
Cena zakupu energii elektrycznej w sieci dla $t1$	$C_{2(t)}$	[€/kWh]	0,3
Cena sprzedaży vouchera dla $t1$	$C_{3(t)}$	[€/kWh]	0,36
Wzrost ceny sprzedaży energii elektryczne	Δ	[%/rr]	3
Liczba ładowarek dla $t1$	L	[szt.]	800
Liczba ładowań dla $t1$	$L_{L(t)}$	[szt.]	584 000
Kapitał początkowy	$W_{pocz.}$	[mln €]	6,4
Współczynnik rozwoju	WR	[%/rr]	5
Współczynnik degradacji dla $t1$	$WD_{(t)}$		0,8
Współczynnik podziału	WZ		0
Współczynnik proporcji	WP		0,5

Tab.7. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza II

Rok	BE	TO
<i>Inwestycja początkowa</i>	-1,00 €	-6 400 000,00 €
1	-1 883 400,00 €	4 520 160,00 €
2	-3 263 224,40 €	5 911 738,56 €
3	-4 334 892,81 €	1 337 039,54 €
4	5 516 238,68 €	0,00 €
5	4 233 377,36 €	0,00 €
6	2 717 349,09 €	0,00 €
7	5 087 250,82 €	0,00 €
8	6 931 432,15 €	0,00 €
9	11 824 291,72 €	0,00 €
10	11 611 974,09 €	0,00 €
11	10 157 669,97 €	0,00 €
12	8 532 723,12 €	0,00 €
13	16 022 233,42 €	0,00 €
14	9 873 370,66 €	0,00 €
15	17 826 608,55 €	0,00 €
IRR (15 LAT)	44 %	45 %
NPV	71 470 818 €	3 599 508 €
Suma przepływów	100 853 002,43 €	5 368 938,10 €



Rys.27. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz II

Scenariusz III

Kolejną symulacją prezentowaną w pracy jest Scenariusz III, bada on model w centralnym punkcie rozkładu WZ, czyli wynoszącym 0,5. W takim podziale procesów ładowania połowa *Użytkowników* elektryków korzysta tylko z płatności gotówkowych, a druga połowa korzysta w połowie z *Fiat money* i voucher dzieląc ją również po połowie na *Fiat money* i voucher (tj. $WZ=0,5$, $WP=0,5$) (Tab.8.). W tej symulacji całość tokenów wypalone zostaje po 9 latach i naturalnie nie występuje tu forma wykupu tzw. buyout. Wartość wewnętrznej stopy zwrotu dla 9-letniej inwestycji dla właścicieli tokenów (*Inwestorów*) wynosi 48%, a NPV jest równe 13,6 mln Euro. To praktycznie dwukrotność wkładu na inwestycję, a dziewięć lat to stosunkowo dobry czas jeśli chodzi o elastyczność w ich sprzedaży. Wydaje się, że dla inwestorów nawet kryptowalutowych jest to ciekawa i interesująca propozycja. Również dla właściciela systemu cash flow (*Beneficjent*) wartości pokazane w tabeli (Tab.9.) wydają się być mocno zadawalające i pomimo, że w roku szóstym, kiedy zakładana jest modernizacja całej infrastruktury na nową (co oczywiście nie musi się zadziać w jednej chwili i koniecznie za gotówkę) pojawia się ujemny przepływ o wartości 3 mln Euro, to w perspektywie całych 15 lat inwestycji *Beneficjent* wypracowuje NPV równe 55 mln Euro, przy zerowej inwestycji (wartość IRR dąży do nieskończoności) (Rys.28.). Rozpatrując ten scenariusz szerzej i z perspektywy zarówno *Inwestora* jak i *Beneficjenta* widać, że jest on stabilny finansowo i taki z którego obaj aktorzy algorytmu powinni być bardzo zadowoleni. Oczywiście jest, że zadowolenie aktorów i perspektywa zysków z prezentowanego scenariusza pozytywnie wpływa na decyzyjność wejścia w ICO. Przy takich założeniach upatruje się wystartowanie algorytmu i tym samym utworzenie nowych miejsc infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych, skutkujących wzrostem liczby samochodów elektrycznych przyczyniających się do rozwoju elektromobilności.

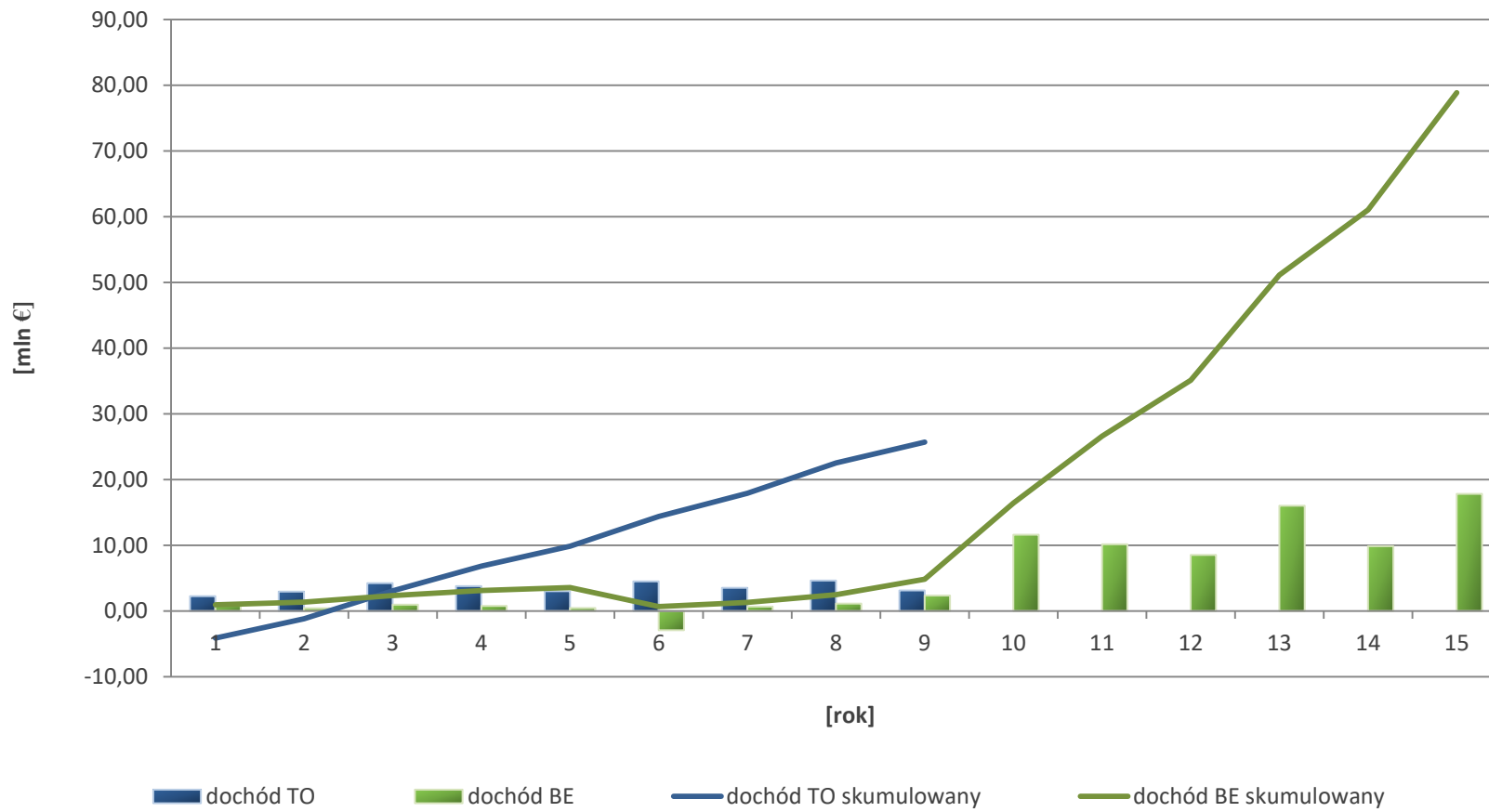
Tab.8. Scenariusz III. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$

Zmienna	Symbol	Jednostka	Wartość
Cena energii elektrycznej w ładowarce dla $t1$	$C_{1(t)}$	[€/kWh]	0,45
Cena zakupu energii elektrycznej w sieci dla $t1$	$C_{2(t)}$	[€/kWh]	0,3
Cena sprzedaży vouchera dla $t1$	$C_{3(t)}$	[€/kWh]	0,36
Wzrost ceny sprzedaży energii elektrycznej	Δ	[%/rr]	3
Liczba ładowarek dla $t1$	L	[szt.]	800
Liczba ładowań dla $t1$	$L_{L(t)}$	[szt.]	584 000
Kapitał początkowy	$W_{pocz.}$	[mln €]	6,4
Współczynnik rozwoju	WR	[%/rr]	5
Współczynnik degradacji dla $t1$	$WD_{(1)}$		0,8
Współczynnik podziału	WZ		0,5

Współczynnik proporcji	WP	0,5
------------------------	----	-----

Tab.9. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza III

Rok	BE	TO
Inwestycja początkowa	-1,00 €	-6 400 000,00 €
1	941 700,00 €	2 260 080,00 €
2	431 612,20 €	2 955 869,28 €
3	967 446,40 €	4 241 871,37 €
4	779 059,67 €	3 789 743,21 €
5	458 344,34 €	3 020 026,42 €
6	-2 920 662,73 €	4 510 409,46 €
7	671 812,71 €	3 532 350,49 €
8	1 132 858,04 €	4 638 859,29 €
9	2 356 072,93 €	3 132 951,54 €
10	11 611 974,09 €	0,00 €
11	10 157 669,97 €	0,00 €
12	8 532 723,12 €	0,00 €
13	16 022 233,42 €	0,00 €
14	9 873 370,66 €	0,00 €
15	17 826 608,55 €	0,00 €
IRR (15 LAT)		48 %
NPV	53 937 514 €	13 599 513 €
Suma przepływów	78 842 823,37 €	25 682 161,05 €



Rys.28. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz III

Scenariusz IV

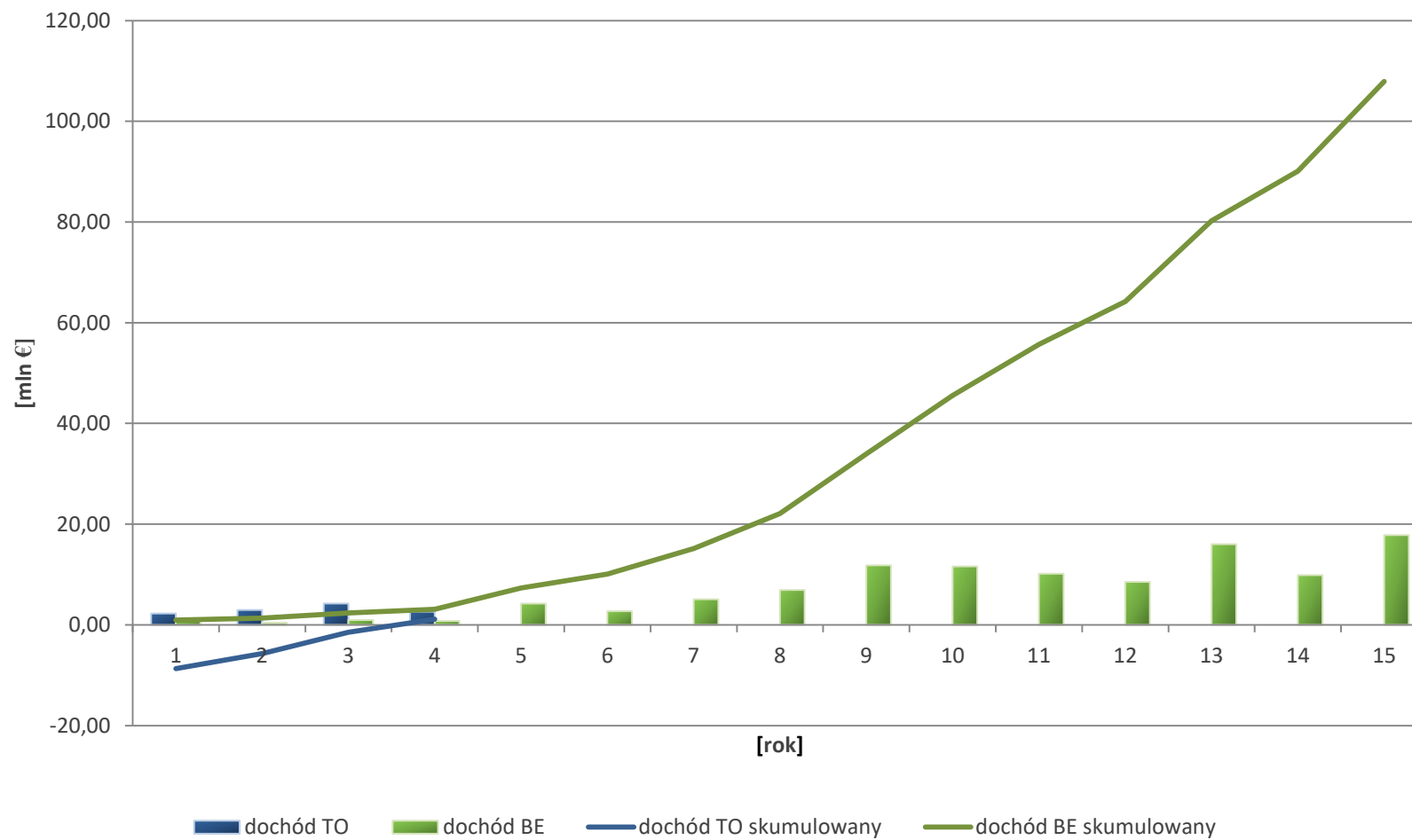
Zakładając stabilny i zrównoważony rozkład płatności za ładowanie pojazdów elektrycznych, w Scenariuszu III zaobserwować było można, że model dawał zachętę do powstrzymywania się przed sprzedażą, wiązało się to ze współczynnikiem degradacji (*WD*). Dzięki niemu posiadając tokeny podczas ładowania tylko za gotówkę, liczba tokenów proporcjonalnie się powiększała, korygowana jedynie o *WD*. W symulacji scenariusza IV, model wyłącza opcję generowania dodatkowych tokenów. Inwestorzy mają ich dokładnie 32 000 000 szt., które są przedmiotem aukcji *voucherów*. Okazuje się, że przy założeniach równoważnych do scenariusza III, ale zmianą współczynnika degradacji na *WD=0*, czas życia tokenów skraca się z 9 do 4 lat (Tab.10., Rys.29.). NPV spada z ponad 13 mln do 3 mln Euro (Tab.11.). Opłacalność inwestycji dla *TO* nie jest już atrakcyjna. Wprawdzie *BE* zyskuje 50% na NPV jednak ten zysk może nie rekompensować prawdopodobnego całkowitego spadku popytu na instrument finansowy. W tym scenariuszu ICO mogłoby okazać się całkowitą klęską, co skutkuje brakiem jakiegokolwiek zainteresowania rozwojem elektromobilności, infrastruktury i budowaniem sieci ładowarek.

Tab.10. Scenariusz IV. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$

Zmienna	Symbol	Jednostka	Wartość
Cena energii elektrycznej w ładowarce dla $t1$	$C_{1(t)}$	[€/kWh]	0,45
Cena zakupu energii elektrycznej w sieci dla $t1$	$C_{2(t)}$	[€/kWh]	0,3
Cena sprzedaży vouchera dla $t1$	$C_{3(t)}$	[€/kWh]	0,36
Wzrost ceny sprzedaży energii elektryczne	Δ	[%/rr]	3
Liczba ładowarek dla $t1$	L	[szt.]	800
Liczba ładowań dla $t1$	$L_{L(t)}$	[szt.]	584 000
Kapitał początkowy	$W_{pocz.}$	[mln €]	6,4
Współczynnik rozwoju	WR	[%/rr]	5
Współczynnik degradacji dla $t1$	$WD_{(t)}$		0
Współczynnik podziału	WZ		0,5
Współczynnik proporcji	WP		0,5

Tab.11. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza IV

Rok	BE	TO
<i>Inwestycja początkowa</i>	-1,00 €	-6 400 000,00 €
1	941 700,00 €	2 260 080,00 €
2	431 612,20 €	2 955 869,28 €
3	967 446,40 €	4 241 871,37 €
4	779 059,67 €	2 613 555,37 €
5	4 233 377,36 €	0,00 €
6	2 717 349,09 €	0,00 €
7	5 087 250,82 €	0,00 €
8	6 931 432,15 €	0,00 €
9	11 824 291,72 €	0,00 €
10	11 611 974,09 €	0,00 €
11	10 157 669,97 €	0,00 €
12	8 532 723,12 €	0,00 €
13	16 022 233,42 €	0,00 €
14	9 873 370,66 €	0,00 €
15	17 826 608,55 €	0,00 €
IRR (15 LAT)		29 %
NPV	78 339 841 €	3 069 560 €
Suma przepływów	107 938 099,23 €	5 671 376,02 €



Rys.29. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz IV

Scenariusz V

Kolejny skrajny scenariusz to Scenariusz V. Zakłada on, że za każdą kWh opłaconą gotówką zostanie wygenerowany 1 token dla TO. Scenariusz przewiduje udział współczynnika degradacji o wartości 1 przez cały okres 15 lat, zakończony wielkim buyoutem na końcu okresu (Tab.12.). Wartość tego wykupu to ponad 140 mln Euro i okazuje się, że cash flow niestety nie wytrzyma takich wartości i na końcu BE będzie musiał pokryć aż 100 mln Euro (Tab.13.). Wartość zdyskontowanych przepływów pieniężnych dla TO ze stopą dyskonta 10% daje prawie 10 krotność w stosunku do zainwestowanego kapitału tj. 60 mln Euro, a IRR = 53%. Bez zdyskontowania strumień finansowy przekracza 200 mln Euro! To 32 krotność inwestycji w 15 lat. Właśnie dlatego WD jest tak ważny w modelu, aby nie dopuścić do skrajnie rozregulowanej sytuacji (Rys.30.). Na realizację takiego scenariusza z przytoczonymi założeniami nie pozwoli Beneficjent, takie założenia nie zabezpieczają bowiem jego interesów, co prowadzi do braku chęci wystartowania przez niego algorytmu i tym samym do budowy stacji ładowania.

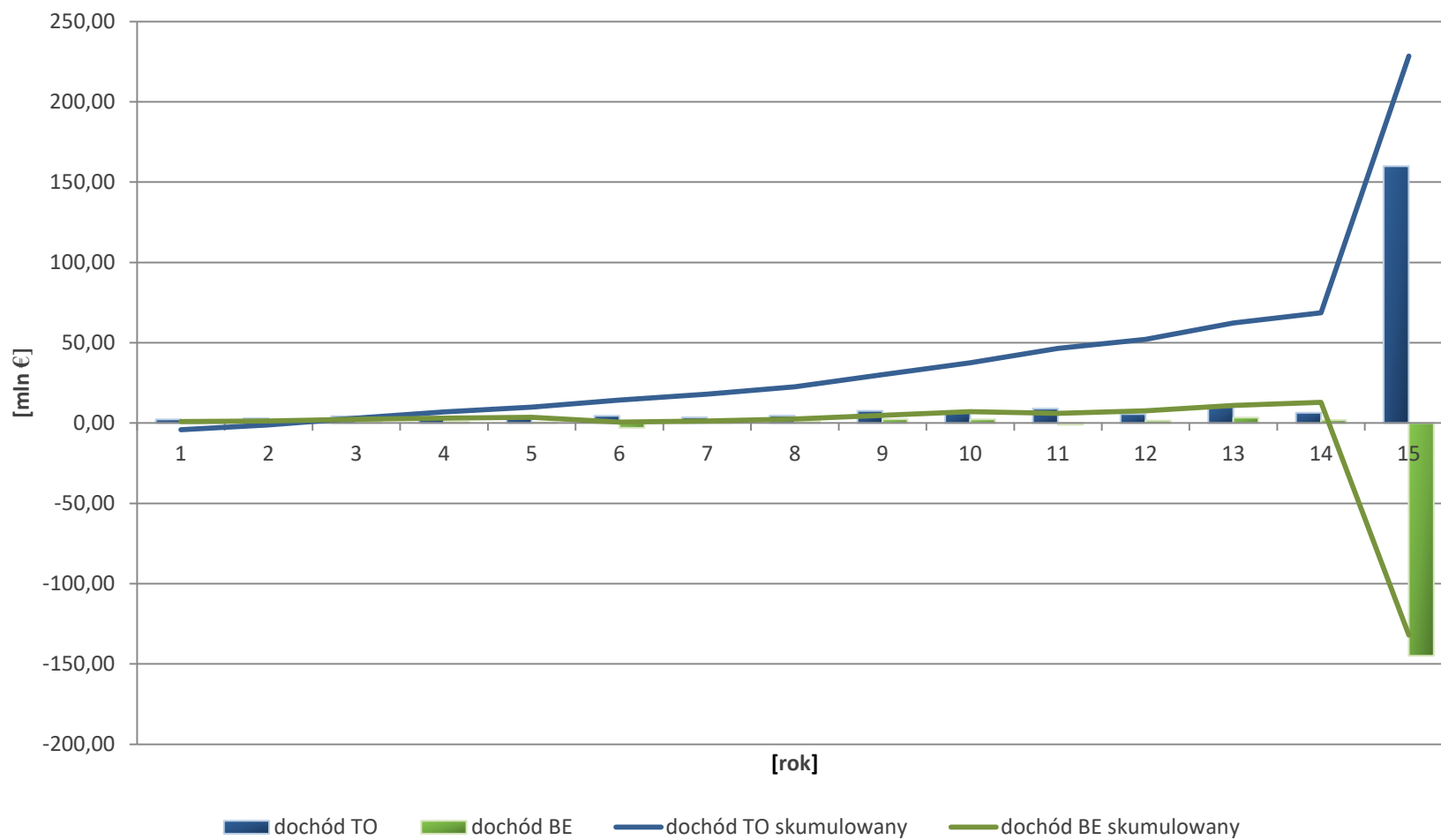
Badając scenariusza okazuje się, że skrajnym czasem w którym może funkcjonować WD w wartości jeden to 10 lat. Innymi słowy przepływ finansowy (cash flow) modelu jest dodatni dla BE kiedy maksymalny okres działania WD bez jego zmniejszenia wynosi nie więcej niż 10 lat, co prezentują wykresy poniżej.

Tab.12. Scenariusz V. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$

Zmienna	Symbol	Jednostka	Wartość
Cena energii elektrycznej w ładowarce dla $t1$	$C_{1(t)}$	[€/kWh]	0,45
Cena zakupu energii elektrycznej w sieci dla $t1$	$C_{2(t)}$	[€/kWh]	0,3
Cena sprzedaży vouchera dla $t1$	$C_{3(t)}$	[€/kWh]	0,36
Wzrost ceny sprzedaży energii elektrycznej	Δ	[%/rr]	3
Liczba ładowarek dla $t1$	L	[szt.]	800
Liczba ładowań dla $t1$	$L_{L(t)}$	[szt.]	584 000
Kapitał początkowy	$W_{pocz.}$	[mln €]	6,4
Współczynnik rozwoju	WR	[%/rr]	5
Współczynnik degradacji dla $t1$	$WD_{(t)}$		1
Współczynnik podziału	WZ		0,5
Współczynnik proporcji	WP		0,5

Tab.13. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza V

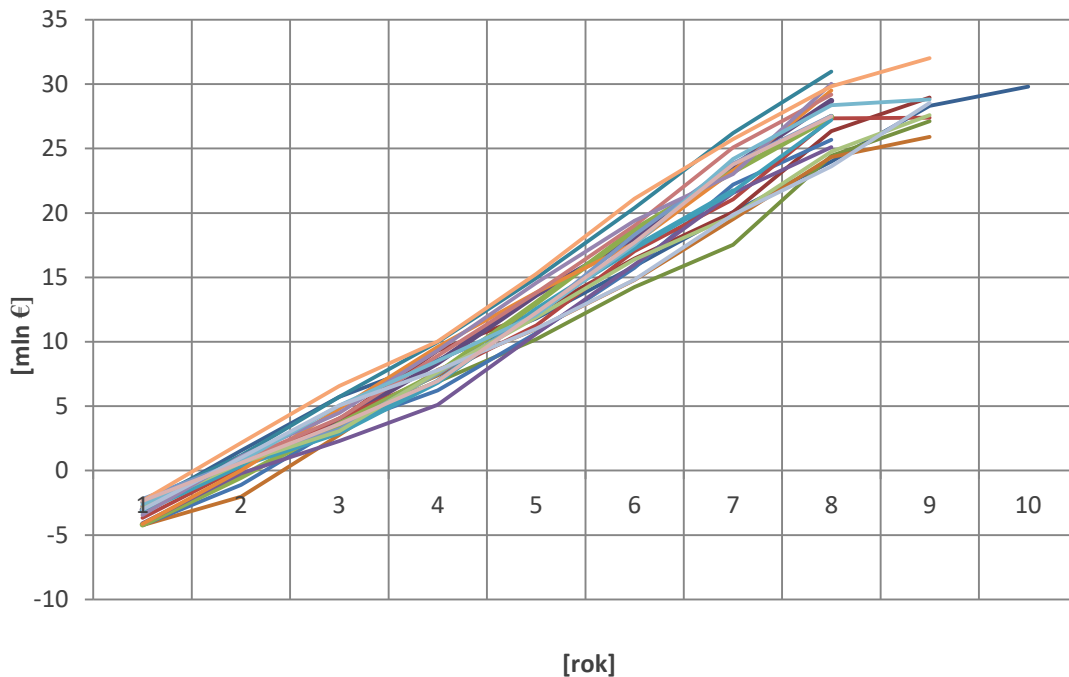
Rok	BE	TO
<i>Inwestycja początkowa</i>	-1,00 €	-6 400 000,00 €
1	941 700,00 €	2 260 080,00 €
2	431 612,20 €	2 955 869,28 €
3	967 446,40 €	4 241 871,37 €
4	779 059,67 €	3 789 743,21 €
5	458 344,34 €	3 020 026,42 €
6	-2 920 662,73 €	4 510 409,46 €
7	671 812,71 €	3 532 350,49 €
8	1 132 858,04 €	4 638 859,29 €
9	2 356 072,93 €	7 574 575,03 €
10	2 302 993,52 €	7 447 184,45 €
11	-1 060 582,51 €	8 974 601,98 €
12	1 533 180,78 €	5 599 633,87 €
13	3 405 558,36 €	10 093 340,05 €
14	1 868 342,67 €	6 404 022,40 €
15	-144 867 800,69 €	159 900 417,96 €
IRR (15 LAT)	34 %	53 %
NPV	- 83 313 843 €	66 173 115 €
Suma przepływów	-132 000 064 €	228 542 985 €



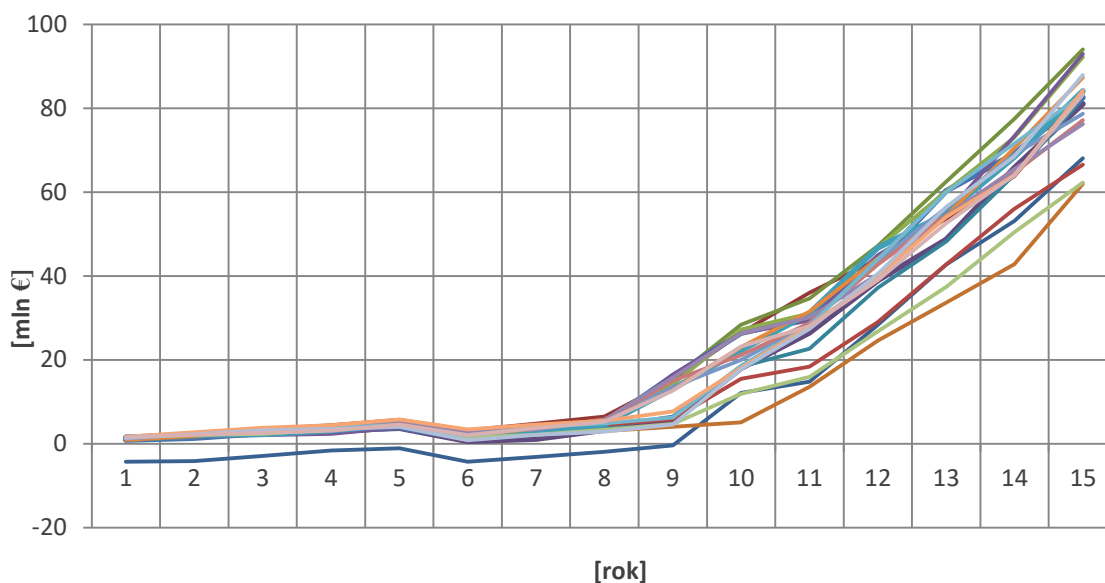
Rys.30. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz V

Scenariusz III dla wartości pseudolosowych

Odnosząc się jeszcze do rozkładu losowego, aby potwierdzić najbardziej optymalny wariant symulacji jakim jest Scenariusz III, przeanalizowano dwadzieścia przypadkowych losowań dla ilości pobranej energii elektrycznej w procesie ładowania. Na poniższych wykresach widać jest, że tendencje wzrostowe są zachowane, mowa tu zarówno o dochodach *Beneficjenta* jak i *Inwestora*. Jak wspomniane było wcześniej ilość pobranej energii elektrycznej dla algorytmu pseudolosowego waha się w przedziale od 39 kWh do 80 kWh, widać to na wykresach, im większą wartość wylosował algorytm tym dochody obu stron są wyższe. W okresie pierwszych 8–10 latach trwania algorytmu obserwuje się stosunkowo mniejsze wpływy dla *Beneficjenta*, związane jest to tak jak poprzednio z handlem i generowaniem się tokenów. W momencie kiedy wszystkie tokeny/*vouchery* z algorytmu zostają spalone, *Beneficjent* odnotowuje intensywny wzrost. Co ważne z analizy poniższych wykresów (Rys.31., Rys.32.) widać również, że sam algorytm jest stabilny w granicach pseudolosowości i nawet tak duże przedziały losowości w ilości pobranej energii elektrycznie nie destabilizują biznesu. Widać to w liniach na wykresie, mają one podobny trend. Pomimo kilku milionowych różnic w dochodach widać, że przy takich założeniach opracowany algorytm pracuje stabilnie i zrównoważenie dając poczucie rentowności i bezpieczeństwa każdej ze stron procesu, pokazując tym samym możliwości inwestycyjne przy użyciu opisywanej technologii Blockchain i wykorzystania do tego procesu ICO.



Rys.31. Skumulowany dochód Inwestora (TO) dla 20 rozkładów losowych ilości pobranej energii według Scenariusza III



Rys.32. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) dla 20 rozkładów losowych ilości pobranej energii według Scenariusza III

Na podstawie prezentowanych wykresów widać, że każda z symulacji daje możliwość zbadania scenariuszy rozwoju rynku infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych, oraz potencjału wykorzystania energii elektrycznej i zachowań społecznych przy wykorzystaniu technologii Blockchain. Zachowania to chęć uczestnictwa aktorów w procesie użytkowania i generowania tokenów/*voucherów*, a tym samym możliwość wykorzystania technologii Blockchain i procesu ICO do budowania nowych punktów do ładowania pojazdów elektrycznych, tak mocno skorelowanych z rozwojem sektora elektromobilności.

Analizując ustawienia opracowanego algorytmu i wyniki badań, oraz ujętych w nim założeń opartych na możliwości synergii elektromobilności i blockchain okazuje się, że zarówno przy 100% liczbie ładowań za gotówkę (*Fiat money*), jak i przy ładowaniu częściowo za *vouchery*, model daje bardzo dobre rezultaty finansowe dla *Beneficjenta* jak i *Token Owner'a*, a cash flow modelu zapewnia jego nieustanne funkcjonowanie. Jest to bardzo istotne ponieważ daje możliwość zastosowania technologii automatycznego rozliczania poprzez algorytmy kryptowalutowe, w którym na pozostałość cash flow *BE* i *TO* nie mają wpływu. Poprzez prawidłowe wykluczenie scenariuszy z ujemnymi przepływami pieniężnymi, uzyskuje się gwarancje nieprzerwanego działania algorytmu. Taki stan rzeczy można osiągnąć za sprawą odpowiednio dobranych współczynników (tj. *WP*, *WD* etc..) są on w stanie zapewnić odpowiednie przepływy finansowe potwierdzające automatyzację algorytmu. Współczynniki te mają swoje bezpośrednie przełożenie na wyniki finansowe *Beneficjenta* i *Inwestora*, podobnie zresztą jak ceny sprzedaży – to ich reakcje na poziomy osiąganych zysków będą bezpośrednio przekładać się na chęć kolejnych inwestycji w ICO. Należy jednak pamiętać, że *Beneficjent* jako inicjator algorytmu bierze na siebie odpowiedzialność za sukces przedsięwzięcia i jego przepływy muszą być zabezpieczone w taki sposób, aby zminimalizować lub całkowicie wykluczyć

ryzyko bankructwa, ale również zabezpieczyć zyskowność jego inwestycji, tak aby była konkurencyjna do alternatywnych metod pozyskiwania kapitału. Oczywiście to od *Beneficjenta* będzie zależeć jak agresywne dla rynku kryptoinwestorów przyjmie założenia. Symulacja pokazuje, że rozsądne i logiczne projektowanie modelu będzie zapewniać *Beneficjentowi* funkcjonowanie i nie ustanowi ryzyka zaatakowania modelu przez zachowanie, które wymusi ujemne przepływy.

W analizie warto również przyjrzeć się współczynnikowi *WR*. Z uwagi na mnogość możliwych wariantów w algorytmie, jego wartość nie zmienia się wraz ze zmianą innych współczynników, pozostaje dokładnie określona przez cały czas trwania modelu. Decyzja ta jak wspomniane było wcześniej, podyktowana jest wielokrotnością rozwiązań. Podwyższając wartość *WR*, zaobserwujemy tylko wzrost liczby procesów ładowania, a tym samym zwiększenie przychodów w modelu. Zmiana ta wpłynie pozytywnie na *Inwestora* i *Beneficjenta*, ale tak naprawdę nie odda zachowań rynkowych, niemożliwe jest bowiem zakładanie tak drastycznego wzrostu liczby samochodów elektrycznych na Polskich drogach. Wartość *WR* podyktowana jest analizami rynkowymi i danymi historycznymi świadczącymi o tempie rozwoju EV (patrz punkt 5.3.).

Scenariusz jaki uznaje się za optymalny to jeden z tych, które zakładają $WD=0,8$ przy obniżeniu jego wartości o 0,2 od 3 roku. Taka struktura współczynnika daje czas na motywację do inwestycji, ale też czas dla *BE* na wypełnienie rynku nowymi tokenami oraz motywację do ich obrotu wewnętrznego. Również przyjęcie *współczynnika proporcji* i *współczynnika podziału* równych 0,5 generuje harmonię w modelu, jako wartość dodaną w takim założeniu, może przyjąć zrozumienie zarówno przez *Użytkowników* jak i *TO* pewnej sprawiedliwości podziału. Niewątpliwie taki scenariusz i wyniki symulacji zachęca również *Inwestorów* już na samym początku działania procesu do inwestycji w ICO. Tym samym zabezpieczą powodzenie dla rozbudowy rynku infrastruktury dla EV oraz rozwoju elektromobilności.

Niezależnie od rozwoju cash flow, zakładając, że odbywa się on w ramach przedstawionych symulacji, potencjał finansowy dla wszystkich uczestników modelu okazuje się bardzo wysoki. Co za tym idzie pojawia się wielka motywacja do realizacji takich inwestycji infrastrukturalnych poprzez opisywany wcześniej mechanizm ICO.

Z przedstawionych symulacji widać, że model jest mało wrażliwy na uwarunkowania makroekonomiczne, ponieważ jeśli koszt energii elektrycznej będzie rósł to automatycznie, poprzez inflację, zostanie przesunięty na *Użytkownika* końcowego. To samo dotyczy innych czynników jak obciążenia podatkowe, akcyza, czy VAT. Udostępnienie takiej infrastruktury i późniejsza jej multiplikacja na pewno będzie wielką promocją elektromobilności i może rozpocząć przełamywanie mitu społecznego dotyczącego tego, że nie ma w Polsce ładowarek do pojazdów elektrycznych.

W przypadku analizowanego modelu definiuje się „optymalny” scenariusz jako taki, który nie będzie faworyzował żadnej ze stron (*Beneficjenta/ Użytkownika/ Inwestora*), tj. będzie atrakcyjny pod względem ICO, będzie konkurencyjny cenowo dla

Użytkownika, oraz pozwoli na osiągnięcie zysków *Beneficjentowi* i *Inwestorowi*. Dobranie właściwych założeń symulacji (popartych analizami i wnioskami) może być przyczynkiem do zapoczątkowania myśli o nowym kierunku w biznesie tj. wykorzystującym blockchain jako w pełni kompatybilne narzędzie do rozwoju infrastruktury do ładowania, a tym samym całego rynku pojazdów elektrycznych. Tak więc modelowanie łączące analizę zagadnień z dziedziny elektrotechniki, ekonomii ale też i biznesu, może być prekursorem dla innych analiz wykorzystujących technologie Blockchain.

Odpowiadając na pytanie, czy model wykorzystujący blockchain i emisja tokenów, których celem jest pozyskanie środków na rzeczywiste aktywa, może być opłacalny dla wszystkich stron transakcji jest jednoznaczna i twierdząca. Zaprezentowane rozwiązania finansowe, warunki inteligentnego kontraktu i przepływy finansowe pozwalają stwierdzić że model do symulacji rozliczania transakcji ładowania pojazdów elektrycznych może być podstawą, aby jego rzeczywista realizacja dała pozytywne przełożenie na rozwój środowiska. Przyczyniła się do rozbudowy infrastruktury do ładowania, a tym samym wsparła cały sektor elektromobilności. Podane wyniki symulacji pokazują, że wykorzystanie ICO do pozyskania kapitału w ramach idei rozwiązań blockchain, jest opłacalne dla wszystkich, zarówno dla *Beneficjenta* jak i *Inwestora* (z założeniem atrakcyjnych cen dla *Użytkownika*) oraz pozwala na planowanie rozwoju infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych.

6. Analiza wyników pracy

Rozwój elektromobilności jest kolejnym milowym krokiem przy dążeniu do zeroemisyjnego transportu drogowego. Wykorzystanie do ładowania pojazdów elektrycznych technologii takiej jak blockchain jeszcze bardziej podnosi jej atrakcyjność i daje nowe możliwości rozwoju. Dlatego też odnosząc się do tematyki pracy i zagadnień w niej poruszanych, dokonano opracowanie sposobu analizy przepływu, bilansowania i rozliczeń energii elektrycznej pobranej w procesie ładowania pojazdu elektrycznego. Do procesu tego wykorzystano środowisko blockchain. oraz mechanizm ICO jako możliwości dla rozwoju rynku punktów ładowania. W pracy skupiono się również na zbadaniu zależności, wzajemnych powiązań, możliwości współistnienia dwóch środowisk – elektrotechniki i blockchain przy rozwoju sektora elektromobilności

Odnosząc się do wcześniejszych rozdziałów pracy (Rozdz.2. Rozdz.3. i Rozdz.5) stwierdzono, że cel pracy został osiągnięty a teza potwierdzona. Praca opisuje model matematyczny pozwalający na analizę procesu ładowani samochod elektrycznych z wykorzystaniem technologii Blockchain w którym prezentuje, że:

- opisane w Rozdz.5. wyniki modelowania pokazują wykorzystanie ICO jako sposób na pozyskanie kapitału inwestycyjnego do budowy infrastruktury potrzebnej do ładowania samochodów elektrycznych. Podmiot organizujący zbiórkę funduszy kapitałowych w ramach ICO przedstawia swoje plany i założenia w dokumencie – White Paper, będącym zarazem wzorcem umownym, potwierdzając tym samym wiarygodność swojego biznesu. Możliwość działania wszystkich uczestników modelu oparta na inteligentnym kontrakcie dodatkowo zapewnia transparentność i daje poczucie bezpieczeństwa dla wszystkich stron przedsięwzięcia,
- przedstawione w pracy szczegółowe Scenariusze (przypadki), wraz z założeniami modelu, pokazują możliwe wyniki finansowe dla uczestników algorytmu, rysując tym samym wizję bardzo dochodowej inwestycji kapitału,

która może przekładać się na zwiększenie liczby ładowarek dla EV. Osiągnięcie głównego celu pracy widać na podstawie wyszczególnionych wskaźników ekonomicznych (Rozdz.5.5.). Im wyniki obliczeń dają wyższe wartości wskaźników finansowych tym chęć inwestycji w budowę infrastruktury jest większa i większy wpływ na rozwój elektromobilności i przyspieszenie ekspansji EV. Wykresy z Rozdz.5.5. obrazują wyniki finansowe dla poszczególnych aktorów algorytmu, jak również predyspozycje dla wykorzystania modelu do odzwierciedlenia i rozliczania procesu ładowania.

Spełniając szczegółowe cele zawarte w pracy i odnosząc się do opracowanej analizy rynku elektromobilności w Polsce oraz możliwych rozwiązań w tej dziedzinie – jako przykład zastosowanego rozwiązania dokonano wyboru ładowarki biorącej udział w symulacji procesu rozliczania energii elektrycznej. Jak opisuje Rozdz.2. i Rozdz.5., po dokonanej analizie dostępnych na rynku rozwiązań, opracowaniu specyfiki każdego z nich, oraz wykazaniu możliwych zalet i wad poszczególnych modeli, zdecydowano się na modelowanie z wykorzystaniem ładowarki dwustanowiskowej o mocy 2x22 kW AC. Ładowarka tego typu jest popularnym rozwiązaniem rynkowym, bardzo dobrze wpisującym się w realizowanie potrzeb obecnego rynku pojazdów elektrycznych. Dodatkowe aspekty techniczne i specyfikacje dla wybranego urządzenia opisane zostały w Rozdz.2. niniejszej pracy.

Kolejnym celem szczegółowym jaki postawiono w pracy było zweryfikowanie, że rozwój elektromobilności przy użyciu technologii Blockchain do rozliczania procesu ładowania EV jest możliwy. Cel został osiągnięty, potwierdza to zbudowany i omówiony w rozprawie model matematyczny, wraz ze wszystkimi założeniami i analizą wyników. Wyniki modelowania podają szczegółowe przypadki rozwoju rynku i związanej z nim rozbudowy infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Pod koniec kwietnia 2021 r. w Polsce funkcjonowało 1456 ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, w tym 975 stanowiły ładowarki prądu przemiennego (AC) o mocy mniejszej lub równej 22 kW – takie jakich użyto w modelu. Włączenie do ogólnego systemu 800 ładowarek założonych do obliczeń, stanowi wzrost tej części sektora ładowarek o ponad 92%. Powoduje to skok dający bardzo duże możliwości dla rozwoju rynku elektromobilności. Uwzględniając możliwość synergii z rynkiem odnawialnych źródeł energii można mówić o nowym trendzie, zbieżnym z zachodnimi rynkami i założeniami rozwoju wyznaczanymi przez Unię Europejską.

Realizując postawione w pracy cele i udowadniając postawioną tezę wykazano, że synergia środowisk blockchain i elektromobilności jest w pełni uzasadniona i gotowa do rozwoju rynku energii elektrycznej. Opisany w pracy model, wraz ze wszystkimi założeniami i wynikami obliczeń daje pewność i potwierdza postawioną tezę, że taka kooperacja może być wykorzystywana jako najnowszy nurt rozwoju. Oprócz badanego przypadku świadczą o tym opisywane w pracy (Rozdz.4., Rozdz.7.) inne sposoby rozliczania poboru i zużycia energii elektrycznej. Widać więc, że ten rodzaj współpracy pomiędzy środowiskiem blockchain a samochodami elektrycznymi w rozumieniu elektromobilności, jest w pełni możliwy i stanowi kolejny sposób na transformację

dotychczas stosowanych rozwiązań. Wykorzystanie rozwiązań mobilnych i zapewnienie transparentności całego procesu (poprzez zastosowanie technologii Blockchain) powoduje, że staje się on bezpieczny i jasny dla każdej ze stron uczestniczącej w procesie. Rynek kryptowalut i tokenizacja procesów, daje tym samym nowe możliwości funkcjonalne, dostęp do nowych rynków, nowych odbiorców i generacji oczekiwanych w tym sektorze zysków.

Odwołując się do wszystkich zrealizowanych w rozprawie założeń, oraz zbudowanego modelu matematycznego (Rozdz.5.) zauważyć można duży potencjał jaki drzemie w tej gałęzi rozwoju elektrotechniki. Opracowując proces rozliczania energii elektrycznej, jako nieodzowny element dyscypliny jaką jest elektrotechnika, widać jak za pomocą blockchain proces ten może być realizowany w zupełnie innej przestrzeni technologii IT. Dołączając do tego produkcję energii z odnawialnych źródeł, bardzo płynnie ale znacząco, blockchain wprowadza zagadnienia obrotu energią elektryczną w nową strefę, łącząc tym samym najnowsze technologie i rozwiązania w dziedzinie elektrotechniki, a ściślej w obrębie rozliczania produkcji, dystrybucji i zużycia energii elektrycznej.

7. Predykcja rozwoju, rekomendacje i integracja wiedzy

Technologia Blockchain znajduje coraz więcej możliwości swojej aplikacji. Dziedziny zastosowania najnowocześniejszej technologii obejmują sektory poczynając od bankowości, przez zabezpieczenia transakcji, aż po śledzenie tytułów hipotecznych. Głównym elementem technologii jest inteligentny kontrakt, który posiada potencjał do zrewolucjonizowania sposobu w jaki osoby fizyczne i firmy bezpiecznie kontraktują się ze sobą. Inteligentne kontrakty nie są jednak obecnie powszechnie stosowane, głównie dlatego, że potencjalni użytkownicy nie mają pewności co do ich wykonalności jako kontraktów na mocy obowiązujących przepisów o umowach i ustawach państwowych. Podobny sceptycyzm spowolnił akceptację podpisów elektronicznych pod koniec lat dziewięćdziesiątych, ale ostatecznie został rozwiązany poprzez wzór jednolitego aktu uznającego skuteczność podpisów elektronicznych ponad granicami międzypaństwowymi. Czy z inteligentnymi kontraktami może być podobnie jak z podpisaniem elektronicznym? Wydaje się, że takie rozwiązania są nieuniknione, nie mniej wymogi muszą być oparte na przeglądzie i zasadach aktualnych zmian legislacyjnych i obowiązujących przepisów regulujących technologię Blockchain [137]. Duży pozytywny wpływ na rozwój technologii mają również rozwiązania oparte na opisywanym wcześniej Hyperledger Fabric – bardziej skomercjalizowane, oparte na prywatnym blockchain’ie rozwiązania doskonale wpisują się w zapotrzebowania nowoczesnego świata.

Jak podają źródła [137, 138, 139, 140, 141], możliwości opisywania i rozwijania technologii Blockchain i inteligentnych kontraktów jest bardzo wiele. Należy jednak pamiętać, że są one częstym tematem dyskusji naukowych prowadzonych w głównej mierze przez informatyków. Chodzi tu o mechanizmy kodów i algorytmów, dlatego też, ze względu na dynamiczny charakter tych aplikacji, inteligentne kontrakty muszą być znacznie bardziej elastyczne, responsywne i kontrolowalne. Wielokrotnie poruszany jest aspekt bezpieczeństwa który niestety wpływa negatywnie na rozwój inteligentnych

kontraktów – dlatego tak ważne są kwestie legislacyjne. Według Black's Law Dictionary¹⁸ umowa to „porozumienie między dwiema lub więcej stronami, które nakładają na siebie zobowiązania które są wykonalne lub w inny sposób uznane przez prawo” – to właśnie na tą definicję powołują się zwolennicy legislacji inteligentnych kontaktów. W wielu krajach intensywnie pracują oni nad możliwościami prawnymi dla tego rozwiązania. Jak podane było w Rozdz.3.2., prawo opisujące możliwości posługiwania się kryptowalutą i tym samym rozwiązaniami z zastosowaniem technologii Blockchain jest jeszcze dość ubogie. Ale ekspansja inteligentnych kontraktów i tak wielkie ich możliwości, sukcesywnie popychają prawodawców do zmian i możliwości zawierania zgodnych z prawem transakcji właśnie poprzez blockchain.

Mówiąc o predykcji rozwoju technologii Blockchain zauważyć można kilka głównych sektorów i obszarów zastosowań. Opisany model do alokacji infrastruktury ładowania dla pojazdów elektrycznych również może odnaleźć w nich zastosowanie. Za sprawą swojej elastycznej, możliwości edycji założeń i wprowadzanych danych, może on być narzędziem wspierającym rozwój blockchain i analizę elektromobilności w wyszczególnionych poniżej dziedzinach występowania tj.:

- rozliczanie dostaw mediów tj. energii elektrycznej, gazu, wody itp. [144],
- trwałe nośnikowanie (zapis i przechowywanie) informacji,
- planowanie i kontrola dostaw energii,
- elektroniczna dokumentacja transakcji,
- tytuły własności, zapobieganie kradzieży,
- przeciwdziałanie oszustwom faktoringowym typu “dublowany factoring”,
- zdecentralizowana dystrybucja treści cyfrowych,
- płatności i rozliczenia międzybankowe,
- Zrobotyzowana Automatyzacja Procesów (ang. Robotic Process Automation – RPA) [73].

Wgłębiając się w tematykę wymienionych sektorów, ze względu na temat pracy i ulokowanie jej w prezentowanym środowisku, zastosowanie technologii Blockchain w rozliczeniach mediów jest szczególnie bliskie. Elektromobilność i energetyka to branże rynku które idealnie wpisują się w koncepcje zdecentralizowanej sieci, stanowią one podatny grunt dla rozwiązań opartych na technologii Blockchain [145]. Sprawne przeprowadzanie transakcji w dziedzinie handlu energią, wystawianiu rachunków i faktur, rozliczenia w procesach pomiarowych – wszystko to jest bardzo czasochłonne i kosztochłonne. Dlatego też, rozwiązaniami dotyczącymi zastosowania systemu interesują się między innymi takie polskie firmy jak Tauron i Energa, dodatkowo PGNiG zdecydowało się na inwestycję w projekt platformy optymalizującej handel

¹⁸ Black's Law Dictionary -słownik prawniczy Blacka jest najczęściej używanym słownikiem prawniczym w Stanach Zjednoczonych. Autorem dwóch pierwszych wydań słownika był Henry Campbell Black (1860–1927). Sąd Najwyższy Stanów Zjednoczonych cytował słownik jako drugorzędny organ prawny w wielu sprawach Sądu Najwyższego. W 2019 została wydana 11 edycja słownika: ISBN 978-1-5392-2975-9 [143].

gazem i energią oparty właśnie na inteligentnych umowach [146]. Projekt zakłada że umowa, której warunki zostaną spełnione, jest automatycznie księgowana, takie podejście eliminuje do zera ryzyko powstawania błędów lub celowej manipulacji danymi. W praktyce, strona dokonująca zakupu gazu otrzyma od PGNiG zawartą w umowie ilość surowca, a dane na temat transportu gazu zostaną automatycznie odnotowane za pomocą czujników i zakodowane cyfrowo w technologii Blockchain. Ogranicza to udział osób trzecich oraz pracowników w całym procesie co jednocześnie powoduje redukcję kosztów. Platforma obsługi klienta przechowuje i dokładnie kataloguje ważne dokumenty, takie jak faktury, czy indywidualne umowy z klientami [147]. W ujęciu opisywanej pracy, model dedykowany jest rozliczeniom energii elektrycznej, nie mniej jednak jest na tyle elastyczny, że dokonując pewnych zmian może pracować przy założeniu rozliczania innego medium.

Zbudowany model może w pełni odwzorowywać rzeczywistość i przy spełnieniu ramowych warunków opisywanego inteligentnego kontraktu mieć zastosowanie w rzeczywistości. Przy tym stopniu zainteresowania w najnowsze technologie, obszar OZE i rynek pojazdów elektrycznych, już teraz należałoby myśleć o możliwości komercjalizacji tego typu przedsięwzięcia. Zapewniając odpowiednie wsparcie prawne, informatyczne, technologiczne i sprzętowe z dużą dozą pewności można myśleć o wdrażaniu w życie idei działania modelu.

Widać jak bardzo energetyka dostrzega potencjał blockchain, rekomendując synergię obu technologii. Ważna jest tutaj możliwość wykorzystywania technologii do rozliczania transakcji kupna i sprzedaży energii pomiędzy małymi producentami, np. gospodarstwami domowymi (prosumentami) a ich klientami, odbiorcami energii, również rozproszonymi takimi jak samochody elektryczne – co bezpośrednio wiąże się z niniejszą dysertacją. Aktualnie rozwój energetyki rozproszonej, bazuje na małych źródłach energii, fakt ten nie sprzyja organizacji rynku energetycznego. Specyfika rynku ciągle opisuje obecny kształt, czyli głównie potrzeby dużej energetyki, bazującej na scentralizowanym wytwarzaniu, ale i tu pojawiają się pierwsze zmiany [148]. Podobnie jak energetyka chcąc bazować na rozproszonych źródłach wytwarzania, nowy system rozliczeń, bazujący na technologii Blockchain, jest również rozproszony i nie ma w nim centralnych jednostek nadzorujących realizowane transakcje. Dzięki tego typu bezpośredniej sprzedaży, bez dodatkowych partnerów, zostaje obniżony również koszt zakupu energii. Tak więc na redukcji kosztów w przyszłości skorzystają odbiorcy końcowi [80]. Jako opisywanych małych producentów energii uważa się prosumentów, którzy za sprawą platformy mogliby na blockchain rejestrować swoje transakcje – produkcję energii i tym samym stać się użytkownikiem rozproszonych sieci. Zazwyczaj do uczestniczenia w transakcji mógłby wystarczyć odpowiedni inteligentny licznik energii, współpracujący z platformą, dzięki czemu informacja na temat pobranej, wytworzonej oraz wprowadzonej do sieci energii, byłaby zapisywana i wprowadzana do poszczególnych bloków łańcucha. Takie logowanie daje możliwość rejestrowania całej historii związanej z profilem zużycia, oraz wytwarzania energii dla każdego pojedynczego użytkownika. Dodatkowo taki rejestr, mógłby posiadać

informacje dotyczące wszystkich przepływów mocy. Zgodnie z zasadą technologii Blockchain, transakcje byłyby rozpowszechniane oraz weryfikowane pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci. Zgodnie z zasadami działania, baza danych nie przewidywałaby możliwości dokonania jakichkolwiek zmian zgromadzonych informacji [98].

Opisując dalej kierunki rozwoju obu rynków, Blockchain to technologia, która bardzo dobrze nadaje się do rozliczania transakcji realizowanych między mniejszymi producentami energii, tj. gospodarstwami domowymi (prosumentami), a odbiorcami. Bazując na sieci peer-to-peer, omija się centralne serwery i instytucje prowadzące nadzór nad wymianą handlową. Dzięki blockchain każdy komputer w sieci może brać udział w przesyłaniu i uwierzytelnianiu transakcji, bez konieczności udziału centralnej giełdy (Towarowej Giełdy Energii). Posiadając te cechy, blockchain ma zachowywać pełne bezpieczeństwo, a system samym wychwytywać nieautoryzowane transakcje. Działania które mają zmierzać do uruchomienia tego typu zdecentralizowanego handlu energią podejmują już pierwsze koncerny energetyczne, tj. Vattenfall, który uruchomił w ubiegłym roku w Holandii projekt, zmierzający do wypracowania takich narzędzi które umożliwiają małym producentom energii dzielenie się nią z innymi uczestnikami rynku [80]. Biorąc pod uwagę, że posiadacze aut elektrycznych są właśnie takimi małymi udziałowcami rynku, realizacja takiego projektu jest kluczowa dla rozwoju i możliwości jakie niesie za sobą połączenie energetyki rozproszonej i elektromobilności osadzonych w technologii Blockchain. Nad takim połączeniem w rozliczeniach za ładowanie samochodów elektrycznych pracuje niemiecki koncern Innogy. Opracowywany projekt zakłada, że każdy samochód elektryczny będzie mieć wbudowane oprogramowanie umożliwiające zdalne rozliczanie się za sesje ładowania, z wykorzystaniem kryptowalut. Możliwości realizacji właśnie takiego scenariusza potwierdzają również wyniki zaprezentowane w poprzednich rozdziałach pracy. W łatwy sposób można dostrzec więc tendencje rynkowe i tym samym transformując model i założenia modelowania, przewidzieć kierunki rozwoju.

Możliwość tworzenia takich rozproszonych rejestrów sugestywnie nasuwa na myśl dalsze połączenia podmiotu jakim jest prosument z procesem ładowania pojazdów elektrycznych. Posiadając odpowiednie rejestry i dane, można posunąć się o krok dalej i pozwolić aby prosument sam dysponował wyprodukowaną przez siebie energią, tj. np. ładował nią swój samochód elektryczny bez względu na lokalizację ładowarki (oczywiście uwzględniając koszty przesyłu i obsługi). Posiadając własny bufor wyprodukowanej energii w łatwy sposób można dysponować zasobami i zużyciem. W badaniach rynkowych i prowadzonych projektach taki pomysł coraz częściej brany jest pod uwagę.

Odnosząc powyższe ideę do opisywanego w pracy modelu, bez wątplenia może stać się on podłożem do poszerzenia funkcjonalności właśnie o takie rozwiązanie. Odpowiednio zmieniając założenia algorytmu, model w swojej pierwotnej wersji można traktować jak fundament do dalszego rozwoju innych funkcjonalności. Rejestracja i rozliczanie energii elektrycznej wyprodukowanej z instalacji PV, użycie samochodu elektrycznego

jako magazynu energii, możliwość wykorzystania wyprodukowanej energii z PV do celów ładowania EV w punkcie ładowania to tylko niektóre z możliwości. Rozliczanie procesu pod względem podatkowym, fakturowanie, rozliczanie ilości wyprodukowanej lub zużytej energii, śledzenie zapotrzebowania, to kolejne możliwości odnoszące się do modelu. Pamiętając o jednoczesnym zbieraniu danych użytkowników i śledzeniu wszystkich przepływów dowolnych mediów.

Kontynuując dalej synergię pojęć blockchain i energia elektryczna, warto jeszcze w tym miejscu wspomnieć o klastrach energii. Klastry to w skrócie instalacje odnawialnych źródeł energii, które będą lub są własnością społeczności, rozliczane są między członków wspólnoty którzy decydują, w jaki sposób realizować produkcję i dzielić się przychodami. Od początku koncepcja klastrów energii, przy wsparciu Ministerstwa Energii, wzbudza duże zainteresowanie i wątpliwości co do praktycznej realizacji. Do najbardziej oczywistych należą sposoby rozliczenia, odpowiedzialności za zarządzanie siecią, bilansowanie popytu, jakość dostaw, w tym straty sieciowe, czasy przerw w napięciu. Nie mniej jednak połączenie środowisk w tym właśnie obszarze, pokazuje, że jest możliwość wykorzystania technologii Blockchain do dostarczenia funkcjonalnej warstwy aplikacji oraz kampanii informacyjno–marketingowej, dając tym samym możliwość wdrożenia klastra energii jako efektywnego udziałowca rynku energii [149]. Taka kooperacja energetyki i elektromobilności, może również ułatwić i uatrakcyjnić kolektywne inwestycje w instalacje fotowoltaiczne montowane na budynkach. Ich mieszkańcy (klastry) byłiby współwłaścicielami tych instalacji i będą mogli zarabiać na sprzedaży nadwyżek energii elektrycznej. Wykorzystane oprogramowanie ma realizować transakcje optymalnie, decydując np. o tym, czy w danym momencie produkowaną energię bardziej opłaca się skonsumować samemu, w tym ładując samochód elektryczny lub magazyn energii, czy odsprzedać ją do sieci. W całym opisywanym postępie pomocny jest również fakt, że branża energetyczna może wykorzystać wypracowane przez sektor finansowy podstawowe założenia w obszarze wykorzystania blockchain. Mowa o zdecentralizowanym przechowywaniu danych zwiększających bezpieczeństwo, dokonywaniu płatności, zawieraniu i weryfikacji transakcji, zdigitalizowaniu inteligentnych kontraktów, oraz wspomnianym wcześniej braku pośredników w zdecentralizowanych modelach biznesowych [80].

Opisując kolejne sektory wykorzystujące blockchain warto skupić się również na wspomnianym trwałym nośniku danych, jakim jest opracowany model. Blockchain jest technologią umożliwiającą tworzenie w pełni zautomatyzowanych rozwiązań do implementacji trwałego nośnika informacji. Wiąże się to z regulacjami prawnymi w UE, które wymagają, aby firma dostarczała lub udostępniła klientowi określone informacje na piśmie, na papierze lub na innym trwałym nośniku. Tak więc wykorzystanie do tego sieci zdecentralizowanych, wiąże się z postępującą cyfryzacją procesów biznesowych, w tym w komunikacji z klientem, gdzie wymagana jest implementacja trwałego nośnika (Rys.33.). Oczywiście pozostanie przy tradycyjnych trwałych nośnikach informacji (papier, CD–ROM, USB) jest możliwe, ale dla przedsiębiorstw działających w dużej skali całkowicie nieefektywne (w tym również

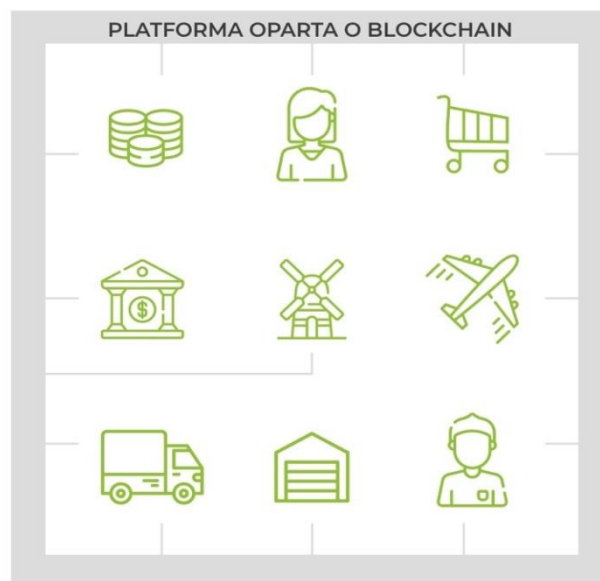
kosztowo). Nowoczesne przetwarzanie informacji doskonale sprawdzi się przy zawieraniu umów handlowych na przesył i dystrybucję energii elektrycznej. We wszystkich wspomnianych wcześniej zastosowaniach, związanych z energetyką, formalizacja umów poprzez zastosowanie blockchain, wydaje się być nieodzowną metodą komunikacji. Przy wykorzystaniu technologii Blockchain nie ma potrzeby tworzenia fizycznych (np. papierowych) wersji dokumentów [73].



Rys.33. Proces przekazywania dokumentów podczas zawierania umowy zdalnej z wykorzystaniem technologii Blockchain [73]

Idąc dalej i odbiegając od sektora energetycznego ale pozostając w biznesie i ekonomii, blockchain to również możliwości w e-głosowaniu, jako pierwsze nasuwają się możliwości wykorzystania technologii do głosowań w ramach walnych zgromadzeń spółek. [75]. Kolejną możliwością wykorzystania technologii Blockchain, która pozytywnie oddziałuje na odbiorcę końcowego jest możliwość śledzenia obiegu dokumentów korzystając zarówno z prywatnej jak i publicznej służby zdrowia. Śledzenie pochodzenia oraz warunków, w jakich były transportowane oraz przechowywane produkty jest również możliwe przy zastosowaniu blockchain. Oczywiście w celu śledzenia i zarządzania łańcuchem dostaw wykorzystuje się czujniki RFID, jednak ich wykorzystywanie przez poszczególne organizacje i przechowywanie danych z nimi związanymi w obrębie zcentralizowanych systemów, nie jest gwarantem ich autentyczności [73].

W przypadku łańcucha dostaw gdzie wykorzystuje się platformę blockchain, nie ma konieczności eliminowania któregokolwiek z uczestników, natomiast istotną zmianą jest brak konieczności polegania na infrastrukturze IT któregoś z podmiotów (Rys.34.). Zamiast tego może zostać stworzona jedna wspólna platforma, posiadająca wielu właścicieli, co zapewnia zdecentralizowanie informacji w niej zgromadzonych, gwarantując ich niepodważalność i szybką replikację pomiędzy uczestnikami [73].



Rys.34. Schemat procesu z zastosowaniem blockchain w wymianie informacji pomiędzy uczestnikami w łańcuchu dostaw

Tak więc widać, że możliwości użycia blockchain są tak naprawdę niczym nie ograniczone, tylko wizja projektanta może zatrzymać kierunek i obszar użycia. Odwołując się do prezentowanego i opisywanego w pracy modelu, technologia Blockchain wykorzystana jest od początku startu modelu. Posługując się ICO jako metodą finansowania zapoczątkowany zostaje algorytm. W założeniach przyjęto, że wszystkie operacje zawierane w dalszej perspektywie życia modelu, również obsługiwane są przez blockchain, a konkretniej przez smart contract (inteligentny kontrakt). W modelu widać niezwykłą synergię między blockchain i elektromobilnością, dzięki wzajemnemu przenikaniu się tych dwóch podmiotów, realizowany zostaje cały proces ładowania pojazdu elektrycznego. Czy model mógłby istnieć bez blockchain? Oczywiście tak, ale dzięki wyeliminowaniu centralnego podmiotu zaufania, model usytuowany w blockchain staje się na wskroś transparentny, czym przyciąga do siebie potencjalnych inwestorów gwarantując im odpowiedni transfer środków ze sprzedaży tokenów. Jako dalsze kierunki rozwoju modelu można wymienić:

- wykorzystanie przy rozliczeniach innych mediów,
- modelowanie przy dodatkowych (szczegółowych) funkcjonalnościach realizujących nowe potrzeby użytkownika lub inwestora,
- transformacja założeń i algorytmu na inny produkt i inwestycje, działającą w analogii do crowdfundingu,
- realizowanie modelu z dodatkowym założeniem ładowania energią elektryczną wyprodukowaną z własnej instalacji fotowoltaicznej,
- realizowanie modelu z możliwością sprzedaży/odsprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej np. z instalacji fotowoltaicznej,
- modelowanie algorytmu z dowolnymi założeniami finansowymi,
- przearanżowanie modelu na inne uwarunkowania prawne.

Kończąc opis odnośnie wytycznych rozwoju, trzeba wrócić jeszcze do mechanizmu tworzenia ogólnych zasad, praw, umów jakie można zastosować do nowej technologii w ramach inteligentnych kontraktów. Na podstawie tej analizy oceniana jest również przydatność inteligentnych kontraktów jako części naszego prawodawstwa. Przewidując kierunek rozwoju, stwierdzić można, że zamiast jasno zdefiniowanego pojedynczego przypadku użycia, inteligentne kontrakty mogą być stosowane w wielu przypadkach, na różne sposoby z bardzo różnymi celami i okolicznościami [97]. Dzięki opracowanemu modelowi można mieć nadzieje na wsparcie badań nowatorskich zastosowań, łączenie Internetu rzeczy z technologiami Blockchain, będzie się rozwijać i gruntować, a w szczególności podążać w kierunku opracowania możliwych nowych przypadków użycia w dziedzinie energii elektrycznej i elektromobilności.

8. Podsumowanie

Na przestrzeni ostatnich lat rynek motoryzacyjny stał się jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się sektorów światowej gospodarki. Dzieje się tak z uwagi na postępującą w coraz większym tempie rewolucję w motoryzacji, a mówiąc precyzyjnie – rozwój elektromobilności, która determinuje szereg zmian w otaczającym nas świecie. Polska będąc jeszcze u progu tej transformacji, dopiero zaczyna ją dostrzegać. Patrząc jednak na rynki zagraniczne, możemy mówić już o realnej zmianie, która weszła w codzienność. Wiele instytucji i osób zadaje sobie pewnie pytanie, jak mamy sprostać wyzwaniom jakie stawia transport alternatywny i czy jest to tylko chwilowy trend rynkowy czy dłuższa perspektywa. Analizując rozwój elektromobilności za granicami Polski oraz obserwując statystyki sprzedaży pojazdów elektrycznych na świecie, już teraz można dojść do bardzo ciekawych wniosków.

Pod koniec trzeciego kwartału 2020 roku liczba rejestrowanych pojazdów elektrycznych w Europie po raz pierwszy w historii przekroczyła liczbę rejestrowanych pojazdów z silnikiem Diesla [150]. Jeśli chodzi o motoryzację jest to przełomowy moment potwierdzający, że elektromobilność to nie chwilowy trend, ale trend który zmienia kierunki działania i myślenia kierowców. Dlatego też, tak ważny jest rozwój i synergia rynku pojazdów elektrycznych z innymi branżami i technologiami. Połączenie elektromobilności i blockchain wydaje się być więc idealnym połączeniem. Opisując sam blockchain jako technologię jasnym jest, że wykracza ona ponad dotychczas znane nam formy modeli działania. Przy bliższym poznaniu i zgłębieniu tematu widać jak wielkie prezentuje możliwości i jak duże wzbudza zaufanie. Eliminacja centralnego podmiotu zaufania, transparentność, gwarancja przesyłu danych i aktywów, odporność na ataki to tylko niektóre z czynników świadczące o przewadze tego rozwiązania. Odwołując się do opisanego we wstępie celu pracy, jakim było opracowanie modelu matematycznego, widać jak wykorzystanie przepływu energii elektrycznej, narzędzi finansowych i środowiska blockchain może pozytywnie wpłynąć

na rozbudowę stacji do ładowania pojazdów. Przedstawione w poprzednich sześciu rozdziałach wyniki badań, potwierdzają, że teza pracy:

Jest możliwe zastosowanie technologii Blockchain w elektroenergetyce, na potrzeby realizacji procesu ładowania pojazdu elektrycznego opartego na analizie technologicznej i finansowej, oraz obserwacji procesów ładowania w „Smart Grid”.

Technologię Blockchain można zastosować do rozwiązań biznesowych wspomagających rozwój sieci punktów ładowania samochodów elektrycznych, z korzyścią dla każdego uczestnika procesu, tj. inicjatora (beneficjenta), inwestora oraz użytkownika pojazdu elektrycznego.

została udowodniona, a postawione w pracy cele osiągnięte. Pozwala to sformułować następujące wnioski:

- Opracowany model matematyczny może służyć jako odzwierciedlenie rzeczywistości przy opisywaniu przedsięwzięcia w warunkach obecnego rynku pojazdów elektrycznych. Za sprawą zawartych w silniku modelu rzeczywistych danych pomiarowych procesu ładowania, może być wykorzystany do symulacji rozliczania ładowania pojazdu elektrycznego przy implementacji elementów założeń technologii i protokołu blockchain. Opisane warunki inteligentnego kontraktu odtwarzają rzeczywistość i sposób przepływu wszystkich środków finansowych i energii elektrycznej pobieranej w procesie.
- Wykorzystanie wskaźników finansowych jakimi są NVP i IRR jest odzwierciedleniem opłacalności *Beneficjenta* i *Inwestorów* do uczestnictwa w inwestycji budowania stacji ładowania dla EV. Wraz z wyższymi wartościami wskaźników finansowych chęć inwestycji w budowę infrastruktury jest większa. Najlepsze i najbardziej optymalne pod względem funkcjonowania przedsięwzięcia wskaźniki finansowe jednocześnie dla *Beneficjenta* jak i dla *Inwestora*, zaprezentowane zostały w Scenariuszu III. Wyniki pokazują, że proponowany model rozliczania procesu ładowania jest wysoce atrakcyjny finansowo i godny uwagi potencjalnych inwestorów projektu.
- Wykorzystanie mechanizmu ICO do finansowania rozbudowy infrastruktury stacji ładowania zwiększy liczbę ładowarek, co ułatwi planowanie podróży (z uwagi na pojemność akumulatorów trakcyjnych). Jednoczenie może wpłynąć na zwiększenie liczby samochodów elektrycznych.
- Blockchain jako zdecentralizowana platforma transakcyjna może wyprzeć lub przynajmniej dać alternatywę dla standardowych rozwiązań w dziedzinie rozliczania procesów, w tym procesu ładowania pojazdów elektrycznych. Już teraz środowisko blockchain coraz częściej zaczyna dominować w komercyjnych rozwiązaniach technologicznych, można zaobserwować to

w rozwiązaniach opartych na Hyperledger – czyli platformie będącej gospodarzem rozwijającym projekty biznesowe typu blockchain.

- Opisane wyniki modelowania procesu ładowania z użyciem blockchain, mogą być przyczynkiem do pozyskiwania kapitału do uruchomienia modelu w rzeczywistości, gdzie inwestorem może być dowolny podmiot prawny lub prywatny. Pozyskanie kapitału to jedno z realnych wyzwań przy rozwijaniu projektu, dlatego też zaproszenie do udziału w biznesie niekiedy jest jedynym sposobem jego realizacji. Beneficjent jako aktor startujący algorytm, nie wnosi żadnego kapitału początkowego, jego rola ogranicza się do kreowania smart contract'u, odpowiedzialności na dostarczenie energii elektrycznej do ładowarek i utrzymania stacji. Nazwa „Beneficjent” doskonale oddaje tu charakter postaci aktora. Możliwość pozyskania kapitału w ramach ICO jest niebywałym walorem przedsięwzięcia, a zapis wpłat na blockchain gwarantem bezpieczeństwa i wypłacalności.
- Blockchain na podstawie opisanego modelu jest mechanizmem o pozytywnym wpływie na rozwój elektromobilności tj. może wpłynąć na zwiększenie liczby stacji ładowania i zwiększenie liczby pojazdów elektrycznych. Wykorzystanie blockchain do obsługi procesu ładowania pojazdu elektrycznego i realizacja założeń ujętych w modelu, oraz perspektywiczne wyniki finansowe dla zaproponowanych rozwiązań, dają obraz rynku, w którym na skutek zwiększenia liczby ładowarek zwiększa się liczba pojazdów elektrycznych. Rozwój infrastruktury do ładowania zwiększa poczucie bezpieczeństwa i mobilności posiadaczy EV, gwarantując tym samym pozytywny wpływ na konkurencje w już działających punktach ładowania.
- Ryzykiem w opisywanym modelu jest ryzyko związane z tokenizacji. Emisja tokenów nie jest jednak nim obarczona, można przyrównać ją do emisji akcji spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych. To czego można się obawiać to brak chęci sprzedaży tokenów przez inwestorów. Odwzorowując rynek tokenów i kryptowalut do GPW sytuacja taka byłaby niemal precedensem z uwagi na samą specyfikę funkcjonowania aparatów takich jak GPW czy giełda kryptowalut. Pomimo to, warto mieć ten aspekt ryzyka na uwadze.
- Rosnące możliwości obliczeniowe komputerów, zwiększają znaczenie badań symulacyjnych w obszarze poruszanego zagadnienia. W zarządzaniu przedsiębiorstwem czy biznesem kluczowe jest sformułowanie właściwych założeń. Przytoczone wyniki badań eksperymentalnych, ukazują możliwości wykorzystania symulacji komputerowej, jako metody analizy zagadnień związanych z elektromobilnością. Symulacja taka, pozwala na studiowanie zagadnień o wysokim stopniu złożoności a zatem, na analizowanie problemów decyzyjnych będących poza zasięgiem klasycznych metod analitycznych. Decydując się jednak na niekorzystanie z analizy w środowisku rzeczywistym

na rzecz symulacji komputerowej, należy mieć świadomość, że symulacja jest skutecznym narzędziem badawczym jedynie przy spełnieniu pewnych warunków. Jako warunek kluczowy można przyjąć stosowanie w badaniach tylko pozytywnie zweryfikowanych modeli symulacyjnych. Pozytywna ocena modelu symulacyjnego to warunek konieczny, aby uznać symulator za narzędzie badawcze przy programowaniu opisywanego w pracy zagadnienia.

- Wzrost liczby stacji ładowania wpłynie na zwiększenie liczby samochodów elektrycznych. Zbliżenie się do poziomu 20% udziału EV w rynku i pozyskiwanie energii elektrycznej do ich ładowania ze źródeł odnawialnych, przyczyni się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (o co najmniej 55% do 2030 r. na terenie UE).

Reasumując powyższe rozważania, warto jeszcze raz podkreślić, że cele pracy zostały osiągnięte a postawiona teza udowodniona. Sam temat rozwoju elektromobilności i kooperacji ze środowiskiem blockchain nie został jednak wyczerpany. Pojęcia te są na tyle szerokie, że kryją w sobie jeszcze wiele zagadnień mogących stanowić rozważania naukowe. Dzięki posiadanej przez model funkcji aplikacyjnej, może on odzwierciedlić warunki rzeczywiste sektora elektromobilności i energii elektrycznej, przez co kolejnym etapem prezentowanych przez autorkę rozważań jest chęć przeniesienia modelu do innego środowiska programistycznego, prowadzenie dalszych symulacji oraz analiza przepływów finansowych w modelach o różnych założeniach i różnych technologiach.

9. Słownik pojęć i definicji

Aktor algorytmu – jest to postać która w algorytmie posiada i wykonuje określone funkcje i działania, inaczej postać będąca jednym z uczestników.

Beneficjent – jest postacią kreującą Algorytmu. Wybiera środowisko (rodzaj platformy blockchain), wybiera model ekonomii tokenu, uwiarygadnia się aby Inwestorzy chcieli uczestniczyć w ICO, przeprowadza KYC (*Know Your Client*), identyfikuje i selekcjonuje inwestorów. Jest również odpowiedzialny prawnie za finalne wykorzystanie kapitału inwestycyjnego i jest rozliczany z obietnic przez społeczność blockchain. Jest właścicielem stacji ładowania.

Inwestor – inaczej *Token holders*, właściciel kapitału. Dla Beneficjent jest swego rodzaju zasobem kapitału startowego, powierza go w celu pomnożenia i osiągnięcia satysfakcjonujących przychodów inwestycyjnych

Użytkownik stacji ładowania – postać korzystająca z usługi ładowania pojazdu elektrycznego, inaczej nazywana Klientem.

Blok – pojedynczy element łańcucha danych. Cechą bloku jest fakt, że odwołuje się on do poprzednich, dlatego też zmiana jednego bloku w łańcuchu hipotetycznie wiąże się ze zmianą we wszystkich poprzednich blokach (co praktycznie nie jest niemożliwe). Każdy blok składa się z nagłówka (element łączący aktualny blok z poprzednimi) i zapisanych w nim danych. Nagłówek bloku zawiera skrót, znacznik czasu oraz tzw. korzenia drzewa hash`y (ang. merkle tree root) który umożliwia weryfikację rodzaju zawartych w bloku danych. Bloki tworzą łańcuch, w którym każdy kolejny dokument zawiera informacje o treści jakie zawiera poprzedni.

Blockchain – rozproszona baza danych, która zbudowana jest ze stale rosnącej liczby bloków (zawierających informację) powiązanych wzajemnie ze sobą w szereg. Możemy wyróżnić:

- Blockchain prywatny – łańcuch, który podlega bezpośrednio pod określony podmiot, osobę czy firmę. Dostęp do łańcucha mają tylko jednostki posiadające odpowiednie uprawnienia, jest to sieć scentralizowana (z ang. Permissioned).
- Blockchain publiczny – otwartość systemu polega na tym, że każdy ma prawo do korzystania z funkcji blockchain'a (pobranie dowolnego fragmentu lub całości bazy danych), jeśli spełni określone wymagania. Wymagania dotyczą wszystkich użytkowników bez podziału na grupy bardziej, lub mniej uprzywilejowane. Jest on najczęściej wykorzystywany w systemach kryptowalutowych.

CAPEX (ang. capital expenditures) – wydatki inwestycyjne poniesione na rozwój np. produktu, systemu lub jego drożenie. CAPEX jest wykorzystywany w przedsiębiorstwach w ramach zakupu lub zwiększenia użyteczności już posiadanych aktywów (np. sprzęt produkcyjny, budynki przemysłowe, inne nieruchomości). Pod względem podatkowym CAPEX jest wydatkiem, który nie może zostać odliczony od podatku w roku, w którym jest poniesiony.

DAO (ang. Decentralised Autonomous Organisation) – szczególna formą inteligentnego kontraktu, opisywana jako całkowicie autonomiczny podmiot istniejący wyłącznie w przestrzeni cyfrowej. DAO może pełnić tradycyjne funkcje przypisane takim jednostką jak spółka, fundacja, stowarzyszenie czy spółdzielnia. DAO najczęściej są tworzone do celów ekonomicznych jako odpowiedniki spółek.

Distributed Ledger Technology – technologia rozproszonego rejestru (ang. Distributed Ledger Technology, DLT) technologia rozproszonej bazy danych, której rejestry są replikowane, współdzielone i zsynchronizowane w ramach konsensusu różnych osób, firm czy instytucji. Dane w ramach DLT rejestrowane są w formie ciągłej, nie ma tu podziału na bloki. Różnica między DLT a blockchain jest taka, że DLT to technologia, a blockchain to jedno z jej zastosowań. DLT swoje zastosowanie najczęściej znajduje w sieciach prywatnych.

Dowód wykonania pracy (ang. Proof of Work) – jest to mechanizm osiągania konsensusu w sieciach zdecentralizowanych. Dowód wykonania pracy jest to podstawowy mechanizmem wykorzystywanym m.in. w sieci Bitcoin. Wymaga on od węzła zatwierdzającego cały blok transakcji wykonania pracy polegającej znalezieniu rozwiązania równania. Im większa jest moc obliczeniowa węzłów zatwierdzających, tym wyższa jest trudność równania. Dlatego też rozwój oraz bezpieczeństwo sieci wymaga ciągłego zwiększania mocy obliczeniowej komputerów które należą do sieci.

Equity – pojęcie odnoszące się do wartości środków pieniężnych na platformie handlowej. Equity prezentuje zarówno kapitał własny/początkowy jak i bierze pod uwagę aktualny zysk lub stratę z otwartych pozycji finansowych.

Ethereum – platforma walutowa służąca do obsługi kryptowaluty jaką jest Ether (ETH).

Fiat money (Pieniądz fiducjarny) – pieniądz nie mający pokrycia w aktywach materialnych (np. złoto), opierający się jedynie na zaufaniu do emitenta tego pieniądza. Został wprowadzony jako alternatywa dla pieniądza towarowego i pieniądza reprezentatywnego. Tradycyjnie przyjęło się, że pojęcie pieniądza fiducjarnego jest równoważne z pieniądzem papierowym (banknot), w przeciwieństwie np. do monet z drogocennych kruszców i dlatego za pieniądz fiducjarny można uznać wszystkie powszechnie uznawane waluty krajowe, takie jak dolar amerykański, euro, czy polski złoty.

Funkcja skrótu (funkcja haszująca lub funkcja mieszająca) – przyporządkowuje dowolnie dużej liczbie jej krótszą wartość. Wartość skrótu ma zawsze stały rozmiar tj. stałą liczbę znaków. Jednym z najpowszechniejszych zastosowań wykorzystujących funkcji skrótu (oprócz technologii blockchain) jest podpis elektroniczny.

Giełda kryptowalut – to platforma, umożliwiająca wymianę i handel tokenami oraz kryptowalutami, daje możliwość wymiany jednostek pieniądza fiducjarnego (np. euro, dolar amerykański) na jednostki kryptowaluty. Giełda kryptowalut działa na zasadzie standardowej giełdy czy kantora – umożliwiają wymianę dobra nieufającym sobie osobom.

Hash (skrót) – ciąg znaków przyporządkowany dowolnemu zbiorowi danych za pomocą funkcji mieszającej (haszującej). Hash można opisać jako losowy kod, przyporządkowany do konkretnej informacji, przechowywany w celu ukrycia treści tej informacji (przed niepowołanymi).

Hyperledger – wspólna inicjatywa wielu firm (na czele z liderem projektu Linux Foundation), oparta na otwartym kodzie źródłowym, mająca na celu rozwój otwartych technologii blockchain w branżach, gdzie dzięki łańcuchowi bloków można wdrożyć nowe rozwiązania lub usprawnić obecne oraz rozwój technologii (projekty komercyjne). Jest to organizacja non-profit, w której skład wchodzi firmy, takie jak IBM, Intel, Oracle, Microsoft, Samsung i wielu innych developerów.

Initial Coin Offering (ICO) – metoda pozyskiwania kapitału poprzez sprzedaż kryptowalut lub tokenów (dających ich posiadaczom np. prawo majątkowe, dostęp, udział, użyteczność) w celu finansowania przedsięwzięcia. ICO w swojej formule jest podobne to oferty publicznej (ang. Initial Public Offering – IPO), wiąże się jednak ze zdecydowanie mniejszymi wymogami regulacyjnymi w większości krajów świata (proces podobny do publicznej emisji papierów wartościowych na giełdzie).

Inteligentny Kontrakt (ang. Smart Contract) – zapisany z łańcuchu danych, cyfrowy odpowiednik umowy. W swojej formule zawiera warunki świadczeń i usług występujące pomiędzy stronami umowy. W blockchain smart contracts uruchamiają się automatycznie tuż po zaistnieniu określonych w umowie warunków, po dokonaniu zapisu żadna ze stron nie może zmienić warunków kontraktu, ani uchylić się od jego wypełnienia. Proces podobny do kontraktu akredytowanego w którym rolę pośrednika (zabezpieczającego transakcję) pełni sam algorytm inteligentnego kontraktu.

KYC (Know Your Customer) (pol. poznaj swojego klienta) – procedura należytej staranności której efektem jest zbiór informacji o kliencie, który pozwala ustalić jego wiarygodność i jego profil transakcyjny oraz pozwala przeprowadzić weryfikację tożsamości. Głównym celem KYC jest zapobieganie nieprawidłowością finansowym, kradzieży tożsamości, defraudacją czy też finansowania terroryzmu

Konsensus (ang. consensus) – to automatyczny proces uzgadniania zgodności operacji w danej sieci blockchain’owej pomiędzy jej użytkownikami, bez konieczności zaangażowania centralnej jednostki lub zaufanej strony trzeciej. Konsensus musi zostać każdorazowo osiągnięty, zanim blok zostanie dodany do łańcucha danych. Najbardziej znanym sposobem osiągnięcia konsensusu jest Proof of Work.

Klucz prywatny – kod, dający możliwość odczytu wiadomości zaszyfrowanej według algorytmu RSA (jeden z algorytmów szyfrowania asymetrycznego). Klucz można przyrównać do indywidualnego hasła służącego do logowania w serwisach.

Klucz publiczny – kod, który jest wysyłany wraz z wiadomością zaszyfrowaną według algorytmu RSA (jeden z algorytmów szyfrowania asymetrycznego). Klucz służy do szyfrowania wiadomości. Jest to swego rodzaju kod wiadomości, na którego podstawie odbiorca może określić czy wiadomość pochodzi o właściwego nadawcy.

Kryptowaluta (ang. cryptocurrency) – forma cyfrowego aktywu opierającego się na algorytmach matematycznych i kryptograficznych. Obecnie funkcjonowanie kryptowalut nie poddaje się pod wpływ żadnego banku centralnego oraz organów rządowych. Pierwszą i jednocześnie najpopularniejszą kryptowalutą jest bitcoin (BTC), do popularnych należą również: Bitcoin Cash (BCH), Bitcoin Gold (BTG), Dash (DASH), Ether (ETH), Litecoin (LTC).

OPEX (ang. operating expenditures) – oznacza wydatki związane z utrzymaniem produktu, biznesu czy systemu (płace i wydatki bieżące).

Maszyna wirtualna – plik komputerowy funkcjonujący jak rzeczywisty komputer. Jest on wydzielany z systemu, dzięki czemu nie wpływa negatywnie na główny system operacyjny. Często używany jako stanowisko testowe przy sprawdzaniu innych systemów operacyjnych lub oprogramowania, bez potrzeby używania dodatkowego sprzętu. Maszynę wirtualną można porównać do komputera utworzony wewnątrz innego komputera.

P2P (ang. Peer to Peer) – rodzaj sieci, w obrębie której użytkownicy przesyłają informację bezpośrednio między sobą, bez konieczności wykorzystania centralnego serwera.

Pieniądz cyfrowy (waluta cyfrowa, kryptowaluta) – elektroniczne odwzorowanie wartości w świecie wirtualnym, oparte na sieci blockchain lub rozproszonych, Pieniądz cyfrowy jest odpowiednikiem pieniądza rzeczywistego, nie podlega bezpośredniej kontroli instytucji publicznych.

Problem bizantyjskich generalów – problem polegający na braku możliwości ustalenia właściwej decyzji przez różne jednostki (węzły). Występuje w sieciach komputerowych i polega na tym że wiele współpracujących ze sobą węzłów podaje różne rekomendacje, a system nie jest w stanie określić, które z nich należy przyjąć za prawdziwe i uwzględnić w ramach całościowej decyzji o działaniu, a które należy uznać za nieprawdziwe i odrzucić. Dla wyeliminowania tego problemu w sieciach blockchain stosuje się mechanizm konsensusu, który daje możliwość osiągnięcia porozumienia między poszczególnymi węzłami sieci.

Sieć rozproszona (ang. distributed web) – zbiór niezależnych od siebie komputerów, połączonych w jedną spójną strukturę. Urządzenia połączone w tego typu sieć zazwyczaj prowadzą komunikację typu P2P tj. bez konieczności wykorzystywania centralnego serwera. Zasoby obecne w sieci są współdzielone pomiędzy wszystkie komputery, co powoduje że wszystkie operacje pomiędzy użytkownikami są transparentne i bezpieczne.

Szybkość hashowania (ang. hash rate) – liczba hash'y, która może zostać obliczona w określonym czasie, najczęściej jednej sekundy. Wartość ta służy do określania efektywności i zyskowności wydobywania kolejnych bloków w łańcuchu.

Rejestr danych – miejsce w którym przechowywane są dane oraz informacje dotyczące konkretnego systemu.

Token – wirtualny żeton, bardzo często emitowany w ramach ICO. Jego publikacja jest związana z procesem tokenizacji, zazwyczaj pełni on wtedy rolę pieniądza. Zazwyczaj można nim płacić za ściśle określone rodzaje usług (tu: proces ładowania). Tokeny są najczęściej związane z jakimś projektem, firmą lub osobą. Token może również być używany jako kryptograficzne potwierdzenie własności, np. akcji jakiejś spółki.

Voucher – inaczej: talon, kupon, bon.

Znacznik czasu (ang. timestamp) – dowód na istnienie danej informacji lub pliku w określonym momencie czasu. Porównywany do datownika przy oznaczaniu dokumentów wpływających np. do urzędu.

10. Bibliografia

- [1] A. Zielińska, „Model for settlement electric vehicles charging and financing infrastructure for charging them with the support of blockchain environment”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 12, s. 239–243, grudz. 2019, doi: 10.15199/48.2019.12.54.
- [2] „Technika informatyczna”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Technika_informatyczna&oldid=66604624 (dostęp 23 luty 2022).
- [3] „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych (2)”. <https://www.rynekelektryczny.pl/infrastruktura-ladowania-pojazdow-elektrycznych/> (dostęp 10 luty 2021).
- [4] „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych (1)”. <https://www.rynekelektryczny.pl/infrastruktura-ladowania-pojazdow-elektrycznych/> (dostęp 23 luty 2022).
- [5] „Europejska motoryzacja na zakręcie. Czy klienci zaczną kupować auta elektryczne?” <https://forsal.pl/artykuly/1454379,europejska-motoryzacja-na-zakrecie-czy-klienci-zaczna-kupowac-auta-elektryczne.html> (dostęp 30 grudzień 2022).
- [6] P. Komarnicki, J. Haubrock, i Z. A. Styczynski, *Elektromobilität und Sektorenkopplung: Infrastruktur- und Systemkomponenten*, 2., Erweiterte und überarbeitete Auflage. Berlin [Heidelberg]: Springer Vieweg, 2020.
- [7] B. M. Buchholz i Z. A. Styczynski, *Smart Grids: Fundamentals and Technologies in Electric Power Systems of the future*, Second edition. Berlin [Heidelberg]: Springer, 2020.
- [8] M. Stotzer, Z. A. Styczynski, K. Hansch, A. Naumann, i P. Komarnicki, „Concept and potential of electric vehicle fleet management for ancillary service provision”, w *2013 IEEE Grenoble Conference*, Grenoble, France, cze. 2013, s. 1–6. doi: 10.1109/PTC.2013.6652364.
- [9] J. M. Alemany, B. Arendarski, P. Lombardi, i P. Komarnicki, „Accentuating the renewable energy exploitation: Evaluation of flexibility options”, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, t. 102, s. 131–151, lis. 2018, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.04.023.

- [10] C. Wenge, T. Winkler, M. Stotzer, i P. Komarnicki, „Power quality measurements of electric vehicles in the low voltage power grid”, w *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, Lisbon, Portugal, paź. 2011, s. 1–5. doi: 10.1109/EPQU.2011.6128866.
- [11] J. Brdulak i P. Pawlak, „Elektromobilność czynnikiem zmian jakościowych polskiego transportu samochodowego”, *Kwart. Nauk O Przedsiębiorstwie*, t. 58, nr 1, s. 31–42, mar. 2021, doi: 10.33119/KNoP.2020.58.1.3.
- [12] E. Sendek-Matysiak, „Najważniejsze bariery rozwoju elektromobilności w Polsce”, *Przegląd Komun.*, t. 75, nr 3, s. 8–15, 2020.
- [13] „Ranking największych sieci stacji ładowania samochodów elektrycznych w Polsce”. <https://wysokienapiecie.pl/26820-ranking-najwiekszych-sieci-stacji-ladowania-samochodow-elektrycznych-w-polsce/> (dostęp 9 luty 2021).
- [14] „Ranking sieci ładowania samochodów elektrycznych 2021”. <https://wysokienapiecie.pl/37981-ranking-sieci-ladowania-samochodow-elektrycznych-2021/> (dostęp 22 czerwiec 2021).
- [15] A. Zielińska, „Charging infrastructure and testing of the electric vehicle energy battery decline”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 1, s. 151–154, sty. 2019, doi: 10.15199/48.2019.01.38.
- [16] „Zelektryzowana klimatyzacja w pojazdach elektrycznych i hybrydowych”. <https://motofocus.pl/informacje/nowosci/93591/zelektryzowana-klimatyzacja-w-pojazdach-elektrycznych-i-hybrydowych> (dostęp 23 lipiec 2021).
- [17] P. Komarnicki, „Elektromobilność - integracja pojazdów elektrycznych z infrastrukturą sieci elektroenergetycznej”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 5, s. 3–15, maj 2020, doi: 10.15199/48.2020.05.01.
- [18] L. Kasprzyk, „Wybrane zagadnienia modelowania trwałości akumulatorów litowo-jonowych w pojazdach elektrycznych”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 3, s. 72–75, mar. 2019, doi: 10.15199/48.2019.03.17.
- [19] „Przyszłość baterii litowo-jonowych. Boom na rynku stanął pod znakiem zapytania - Forsal.pl”. <https://forsal.pl/biznes/artykuly/7762401,przyszlosc-baterii-litowo-jonowych-boom-na-ryнку-stanal-pod-znakiem-zapytania.html> (dostęp 9 luty 2022).
- [20] L. Kasprzyk, A. Domarecka, i D. Burzyński, „Modelowanie pracy i trwałości akumulatorów litowo-jonowych w pojazdach elektrycznych”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 12, s. 160–163, grudz. 2018, doi: 10.15199/48.2018.12.34.
- [21] „DIN EN 50272”. Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen. Deutsches Institut für Normung, 2011.
- [22] „ISO 6469-2:2009”. Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures, wrzesień 2009.
- [23] „DIN ISO 6722”. Straßenfahrzeuge – 60 V und 600 V einadrige Niederspannungsleitungen – Teil 1: Maße, Prüfverfahren und weitere Anforderungen für Kupferkabel. Deutsches Institut für Normung, 2011.
- [24] „ISO 19642”. Road vehicles – Automotive cables. International Organization for Standardization, 2014.
- [25] „ISO 14572”. Straßenfahrzeuge – Runde, beschichtete, 60 V und 600 V geschirmte und ungeschirmte einzel- oder mehradrige Kabel – Prüfungen und Anforderungen für normale und HochleistungsKabel International Organization for Standardization, 2014.

- [26] „Akumulatory LFP – Litowo-Żelazowo-Fosforanowe (Li-FePO₄) JYH”. <https://wamtechnik.pl/produkty/technologie-litowe/akumulatory-litowo-zelazowo-fosforanowe-li-fepo4/akumulatory-litowo-zelazowo-fosforanowe-li-fepo4-jyh/> (dostęp 11 styczeń 2021).
- [27] „ISO 10924–5”. Straßenfahrzeuge – Schutzschalter – Teil 5: Schutzschalter mit Schrauben, Nennspannung von 450 V. International Organization for Standardization, 2016.
- [28] K. Rafał i P. Grabowski, „Magazynowanie energii”, *Mag. Pol. Akad. Nauk*, t. 65, nr 1, s. 34–40, 2021, doi: 10.24425/ACADEMIAPAN.2021.136844.
- [29] J. Zawieska, „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce”, *Nowa Energ.*, t. 4, s. 66–72, 2019.
- [30] „PN–EN 62196–1:2015–05 – wersja angielska”. Wtyczki, gniazda wtyczkowe, złącza pojazdowe i wtyki pojazdowe – Przewodowe ładowanie pojazdów elektrycznych – Część 1: Wymagania ogólne, 18 maj 2015.
- [31] „EV Charger Installation – Qmerit Electrification LLC”. <https://qmerit.com/ev-charger-installation/> (dostęp 9 luty 2021).
- [32] A. Zielińska, M. Skowron, i B. Andrzej, „Cooperation of the Process of Charging the Electric Vehicle With the Photovoltaic Cell”, w *2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE)*, Raclawice, wrz. 2018, s. 285–288. doi: 10.1109/PTZE.2018.8503159.
- [33] *Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Dz.U. 2018 poz. 317.*
- [34] „CleanTechnica Busts Into Electric Car Wilderness”. <https://cleantechnica.com/2015/10/31/cleantechnica-busts-into-electric-car-wilderness/> (dostęp 27 marzec 2019).
- [35] A. Fishbone, Z. Shahan, i P. Badik, „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych. Wytyczne dla miast”, 2017. [Online]. Dostępne na: https://greenwaypolska.pl/wp-content/uploads/sites/7/2019/09/GreenWay_Infrastruktura_ladowania_pojazdow_elektrycznych_Wytyczne_dla_miast_www_maj_2018.pdf
- [36] M. Gis i M. Bednarski, „Propozycja lokalizacji stacji szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych na trasach TEN-T na terenie kraju z uwzględnieniem zapisów ustawy o elektromobilności”, *Transp. Samoch.*, t. 1, s. 37–47, 2018.
- [37] P. Szymańska, A. Szczur, i P. Zmuda-Trzebiatowski, „Kryteria oceny lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych. Studium przypadku: sieć punktów ładowania w Poznaniu”, *Pr. Kom. Geogr. Komun. PTG*, t. 22, nr 2, s. 20–33, 2019, doi: 10.4467/2543859XPKG.19.008.11148.
- [38] C. Csiszár, „Demand Calculation Method for Electric Vehicle Charging Station Locating and Deployment”, *Period. Polytech. Civ. Eng.*, sty. 2019, doi: 10.3311/PPci.13330.
- [39] S. Bouguerra i S. Bhar Layeb, „Determining optimal deployment of electric vehicles charging stations: Case of Tunis City, Tunisia”, *Case Stud. Transp. Policy*, t. 7, nr 3, s. 628–642, wrz. 2019, doi: 10.1016/j.cstp.2019.06.003.
- [40] R. Pagany, A. Marquardt, i R. Zink, „Electric Charging Demand Location Model—A User- and Destination-Based Locating Approach for Electric Vehicle Charging Stations”, *Sustainability*, t. 11, nr 8, s. 2301, kwi. 2019, doi: 10.3390/su11082301.
- [41] Poznan University of Technology, Poznan, Poland, A. Merkisz-Guranowska, M. Bieńczak, M. Kiciński, i P. Zmuda-Trzebiatowski, „Location of airports – selected

- quantitative methods. Logforum”, *Logforum*, t. 12, nr 3, wrz. 2016, doi: 10.17270/J.LOG.2016.3.8.
- [42] V. Kamaraj, J. Ravishankar, i S. Jeevananthan, *Emerging solutions for e-Mobility and smart grids: select proceedings of ICRES 2020*. Springer, 2021. Dostęp: 23 luty 2022. [Online]. Dostępne na: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0719-6>
- [43] C. Guo, J. Yang, i L. Yang, „Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply”, *Energies*, t. 11, nr 9, s. 2314, wrz. 2018, doi: 10.3390/en11092314.
- [44] „Ile aut elektrycznych mamy w Polsce? Sprawdzamy!” <https://www.motofakty.pl/artykul/ile-aut-elektrycznych-mamy-w-polsce-sprawdzamy.html> (dostęp 14 styczeń 2022).
- [45] „Licznik elektromobilności: branża prognozuje dalszy wzrost samochodów z napędem elektrycznym w 2021 r.” <https://pspa.com.pl/2020/informacja/licznik-elektromobilnosci-branza-prognozuje-dalszy-wzrost-samochodow-z-napedem-elektrycznym-w-2021-r/> (dostęp 9 luty 2021).
- [46] „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych (3)”. <https://www.rynekelektryczny.pl/infrastruktura-ladowania-pojazdow-elektrycznych/> (dostęp 18 sierpień 2021).
- [47] „PN-EN IEC 61851-1:2019-10 - wersja angielska”. System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych -Część 1: Wymagania ogólne, 10 październik 2019.
- [48] R. Piąstka, J. Jajczyk, i K. Bednarek, „Charakterystyka procesu komunikacji podczas ładowania baterii pojazdu elektrycznego”, *Poznan Univ. Technol. Acad. J.*, t. 105, s. 37–47, 2020, doi: 10.21008/j.1897-0737.2020.105.0004.
- [49] „Badanie bezpieczeństwa stacji i przewodów ładowania pojazdów elektrycznych (EVSE) cz. II”. <https://www.merserwis.pl/m-blog/item/325-badanie-stacji-evse-elektromobilnosc.html> (dostęp 11 luty 2021).
- [50] Z. Bi, L. Song, R. De Kleine, C. C. Mi, i G. A. Keoleian, „Plug-in vs. wireless charging: Life cycle energy and greenhouse gas emissions for an electric bus system”, *Appl. Energy*, t. 146, s. 11–19, maj 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.02.031.
- [51] A. Dobrzycki, M. Filipiak, i J. Jajczyk, „Zasilanie układów ładowania akumulatorów autobusów elektrycznych”, *Poznan Univ. Technol. Acad. J.*, nr 92, s. 25–35, 2017, doi: 10.21008/J.1897-0737.2017.92.0002.
- [52] J. Merkisz i I. Pielecha, *Układy elektryczne pojazdów hybrydowych*, 1. wyd. Poznan: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015.
- [53] K. Zajkowski i K. Seroka, „Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym”, *Autobusy Tech. Eksploat. Syst. Transp.*, nr 7–8, s. 483–486, 2017.
- [54] „Stacja wymiany baterii w autach elektrycznych – pełny zasięg w pięć minut”. <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/stacja-wymiany-baterii-w-autach-elektrycznych-pelny-zasiieg-w-piec-minut/bl3y5sy> (dostęp 3 sierpień 2021).
- [55] „Poprawa współczynnika mocy”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Poprawa_wsp%C3%B3%C5%82czynnik_a_mocy&oldid=64809272 (dostęp 15 sierpień 2020).
- [56] „PN-HD 60364-7-722:2019-01 - wersja polska”. Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji - Zasilanie pojazdów elektrycznych, 6 grudzień 2019.

- [57] F. H. Malik i M. Lehtonen, „Analysis of power network loading due to fast charging of Electric Vehicles on highways”, w *2016 Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ)*, Tallinn, Estonia, sie. 2016, s. 101–106. doi: 10.1109/PQ.2016.7724097.
- [58] M. Żurek-Mortka, „Wpływ stacji szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych na sieć elektroenergetyczną. Cz.1, Wpływ jednoczesnego ładowania wielu pojazdów elektrycznych (EV) na jakość energii w sieci elektroenergetycznej”, *Elektro Info*, t. 6, s. 56–58, 2019.
- [59] J. Persson, J. Tollin, C. Gruffman, i Y. He, „Smart Charging – A Strategy for Charging EVs in Big Cities with Load Shifting and Control”, Szwecja, 2018, s. 5.
- [60] R. Villafafila-Robles i in., „Electric vehicles in power systems with distributed generation: Vehicle to Microgrid (V2M) project”, w *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, Lisbon, Portugal, paź. 2011, s. 1–6. doi: 10.1109/EPQU.2011.6128847.
- [61] J. Baraniak, B. Pawlicki, i S. Wincenciak, „Elektromobilność: szanse i zagrożenia dla sieci dystrybucyjnej”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 5, s. 16–21, maj 2020, doi: 10.15199/48.2020.05.02.
- [62] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, i M. A. S. Masoum, „Voltage profile and THD distortion of residential network with high penetration of Plug-in Electrical Vehicles”, w *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, Gothenburg, Sweden, paź. 2010, s. 1–6. doi: 10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638979.
- [63] S. Wang, N. Zhang, Z. Li, i M. Shahidehpour, „Modeling and impact analysis of large scale V2G electric vehicles on the power grid”, w *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, Tianjin, China, maj 2012, s. 1–6. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2012.6303372.
- [64] D. Fernandez, S. Pedraza, D. Celeita, i G. Ramos, „Electrical vehicles impact analysis for distribution systems with THD and load profile study”, w *2015 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)*, Bogota, Colombia, cze. 2015, s. 1–6. doi: 10.1109/PEPQA.2015.7168240.
- [65] Z. Hanzelka, „Rozważania o jakości energii elektrycznej (I)”, *Elektroinstalator*, nr 9, s. 15–21, 2001.
- [66] V. Dhillon, D. H. Metcalf, M. Hooper, F. Fierek, i Wydawnictwo Naukowe PWN, *Zastosowania technologii blockchain*. Warszawa: PWN, 2018.
- [67] S. Nakamoto, „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (dostęp 7 wrzesień 2020).
- [68] „Bitcoin P2P e-cash paper | Satoshi Nakamoto Institute”. <https://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/1/> (dostęp 7 wrzesień 2020).
- [69] „Klienci Tauronu znajdują się w sieci blockchain”. <https://cyfrowa.rp.pl/technologie/art18031211-klienci-tauronu-znajda-sie-w-sieci-blockchain> (dostęp 3 wrzesień 2020).
- [70] „Ethereum”. <https://ethereum.org/pl/> (dostęp 30 czerwiec 2020).
- [71] J. Klinger i B. Szczepański, *Blockchain – historia, cechy i główne obszary zastosowań*, t. 1. 2017.
- [72] E. Mataczyńska, „Technologia blockchain – możliwości, ryzyka, fakty i mity”, Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza, Analiza IPE nr 5/2018, maj 2018. [Online]. Dostępne na: <https://www.institutpe.pl/wp-content/uploads/2016/01/Myth-of-Blockchain.pdf>

- [73] „Raport PIIT: Blockchain w Polsce. Możliwości i zastosowania”. <https://www.piit.org.pl/wazne/raport-piit-blockchain-w-polsce.-mozliwosci-i-zastosowania> (dostęp 7 październik 2020).
- [74] „Peer-to-peer”, *Wikipedia*, *wolna encyklopedia*. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer> (dostęp 7 październik 2020).
- [75] „Blockchain Prywatny VS Blockchain Publiczny”. <https://bithub.pl/artykuly/blockchain-prywatny-vs-blockchain-publiczny/> (dostęp 7 październik 2020).
- [76] „Hyperledger”, *Wikipedia*, *wolna encyklopedia*. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Hyperledger> (dostęp 10 październik 2020).
- [77] „Peer-to-Peer – definicja i historia powstania”. <https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-peer-to-peer-definicja-historia-powstania-i-wplyw-na-rozwoj-internetu-cz-1> (dostęp 10 październik 2020).
- [78] „Sieci Peer-to-Peer”. <https://academy.binance.com/pl/articles/peer-to-peer-networks-explained> (dostęp 10 listopad 2020).
- [79] „Na czym polega atak DoS?” <https://academy.binance.com/pl/articles/what-is-a-dos-attack> (dostęp 11 listopad 2020).
- [80] „Blockchain - aspekty technologiczne oraz przykłady zastosowań”. <https://www.lazarski.pl/pl/nauka-i-badania/instytuty/wydzial-ekonomii-i-zarzadzania/centrum-technologiei-blockchain/blockchain-aspekty-technologiczne-oraz-przyklady-zastosowan/> (dostęp 10 listopad 2020).
- [81] „Drzewo skrótów”, *Wikipedia*, *wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/wiki/Drzewo_skr%C3%B3t%C3%B3w (dostęp 10 listopad 2020).
- [82] W. Szpringer i Wydawnictwo Poltext, *Blockchain jako innowacja systemowa: od internetu informacji do internetu wartości: wyzwania dla sektora finansowego*. Warszawa: Wydawnictwo Poltext, 2019.
- [83] „Wada bizantyjska”, *Wikipedia*, *wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wada_bizantyjska&oldid=50532522 (dostęp 23 luty 2022).
- [84] „Algorytm konsensusu w sieci blockchain - czym jest?” <https://monitorfx.pl/algorytm-konsensusu/> (dostęp 11 październik 2020).
- [85] „Czym są algorytmy konsensusu PoW i PoS”. <https://www.liteforex.pl/blog/for-professionals/czym-sa-algorytmy-konsensusu-pow-i-pos/> (dostęp 11 październik 2020).
- [86] „Metody osiągnięcia konsensusu w sieciach blockchain”. <https://bithub.pl/artykuly/metody-osiagania-konsensusu-sieciach-blockchain/> (dostęp 11 październik 2020).
- [87] „Proof of Work (PoW)”. <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-work.asp> (dostęp 24 luty 2022).
- [88] K. Piech, „Leksykon pojęć na temat technologii blockchain i kryptowalut”, 2016.
- [89] „Proof-of-Stake (PoS)”. <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp> (dostęp 24 luty 2022).
- [90] „What Is Delegated Proof of Stake (DPoS)?” <https://learn.bybit.com/blockchain/delegated-proof-of-stake-dpos/> (dostęp 24 luty 2022).
- [91] „Dowód Autorytetu (Proof of Authority) - jak działa”. <https://academy.binance.com/pl/articles/proof-of-authority-explained> (dostęp 24 luty 2022).

- [92] „Kod bajtowy”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod_bajtowy (dostęp 23 luty 2022).
- [93] „Maszyna Turinga”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Maszyna_Turinga&oldid=64311205 (dostęp 12 październik 2020).
- [94] D. Tapscott i A. Tapscott, *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business and the world*. 2016.
- [95] „The Idea of Smart Contracts”. <https://nakamotoinstitute.org/the-idea-of-smart-contracts/> (dostęp 11 październik 2020).
- [96] S. J. Pee, E. S. Kang, J. G. Song, i J. W. Jang, „Blockchain based smart energy trading platform using smart contract”, w *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIC)*, Okinawa, Japan, luty 2019, s. 322–325. doi: 10.1109/ICAIC.2019.8668978.
- [97] K. Lauslahti, J. Mattila, i T. Seppala, „Smart Contracts How Will Blockchain Technology Affect Contractual Practices?”, *SSRN Electron. J.*, 2017, doi: 10.2139/ssrn.3154043.
- [98] D. Mrowiec i M. Sołtysik, „Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk”, 2018, doi: 10.24425/123701.
- [99] J. Reed, *Smart contracts: the essential guide to using blockchain smart contracts for cryptocurrency exchange*. Miejsce nieznane: wydawca nieznany, 2016.
- [100] *Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o obrocie instrumentami finansowymi*.
- [101] „SEC Issues Investigative Report Concluding DAO Tokens, a Digital Asset, Were Securities”. <https://www.sec.gov/news/press-release/2017-131> (dostęp 12 październik 2020).
- [102] *Dekret Prezydenta Republiki Białoruś 21 grudnia 2017 roku Nr 8 o rozwoju gospodarki cyfrowej*.
- [103] G. Thornton, „The Malta Virtual Financial Assets Act”. <https://www.grantthornton.com.mt/industry/fintech-and-innovation/The-Malta-Virtual-Financial-Asset-Act/> (dostęp 5 kwiecień 2022).
- [104] „Virtual financial assets framework frequently asked questions”. Malta Financial Services Authority. Dostęp: 25 październik 2020. [Online]. Dostępne na: https://www.mfsa.mt/wp-content/uploads/2019/01/20190125_VFARFAQs_v1.01.pdf
- [105] *Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o ofercie publicznej i warunkach wprowadzania instrumentów finansowych do zorganizowanego systemu obrotu oraz o spółkach publicznych*.
- [106] „Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce «Energia do przyszłości»”. Ministerstwo Energii RP, 16 marzec 2017. [Online]. Dostępne na: [file:///C:/Users/ania/Downloads/DIT_PRE_PL%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/ania/Downloads/DIT_PRE_PL%20(5).pdf)
- [107] „CAPEX”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. <https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=CAPEX&oldid=53562787> (dostęp 23 luty 2022).
- [108] A. Zielińska, M. Skowron, i A. Bień, „The concept of the blockchain technology model use to settle the charging process of an electric vehicle”, w *2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, Janow Podlaski, Poland, cze. 2019, s. 271–274. doi: 10.23919/PTZE.2019.8781739.
- [109] M. Pustisek, A. Kos, i U. Sedlar, „Blockchain Based Autonomous Selection of Electric Vehicle Charging Station”, w *2016 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things (IIKI)*, Beijing, paź. 2016, s. 217–222. doi: 10.1109/IIKI.2016.60.

- [110] Z. Li, J. Kang, R. Yu, D. Ye, Q. Deng, i Y. Zhang, „Consortium Blockchain for Secure Energy Trading in Industrial Internet of Things”, *IEEE Trans. Ind. Inform.*, s. 1–1, 2017, doi: 10.1109/TII.2017.2786307.
- [111] F. C. Silva, M. A. Ahmed, J. M. Martínez, i Y.-C. Kim, „Design and Implementation of a Blockchain-Based Energy Trading Platform for Electric Vehicles in Smart Campus Parking Lots”, *Energies*, t. 12, nr 24, s. 4814, grudz. 2019, doi: 10.3390/en12244814.
- [112] Z. Su, Y. Wang, Q. Xu, M. Fei, Y.-C. Tian, i N. Zhang, „A Secure Charging Scheme for Electric Vehicles With Smart Communities in Energy Blockchain”, *IEEE Internet Things J.*, t. 6, nr 3, s. 4601–4613, cze. 2019, doi: 10.1109/JIOT.2018.2869297.
- [113] N. Z. Aitzhan i D. Svetinovic, „Security and Privacy in Decentralized Energy Trading Through Multi-Signatures, Blockchain and Anonymous Messaging Streams”, *IEEE Trans. Dependable Secure Comput.*, t. 15, nr 5, s. 840–852, wrz. 2018, doi: 10.1109/TDSC.2016.2616861.
- [114] M. Nour, S. M. Said, A. Ali, i C. Farkas, „Smart Charging of Electric Vehicles According to Electricity Price”, w *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, Aswan, Egypt, luty 2019, s. 432–437. doi: 10.1109/ITCE.2019.8646425.
- [115] W. Stahl i P. Bućko, „Analiza wpływu ładowania pojazdów elektrycznych na dynamikę zmian dobowego obciążenia systemu elektroenergetycznego”, *Zesz. Nauk. Wydz. Elektrotechniki Autom. Politech. Gdań.*, t. 2019, nr 62, s. 29–32, cze. 2019, doi: 10.32016/1.62.04.
- [116] A. Zielińska, „Electromobility research: the impact of using renewable energy solutions on the development of electromobility”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 12, s. 125–128, grudz. 2020, doi: 10.15199/48.2020.12.24.
- [117] „Rząd wdroży E-Taryfę. Zniknie kluczowa bariera rozwoju elektromobilności”. <https://serwisy.gazetaprawna.pl/transport/artykuly/1488982,rzad-wdrozy-e-taryfe-elektromobilnosc.html> (dostęp 20 wrzesień 2020).
- [118] „Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF”. <https://www.iff.fraunhofer.de/de/gesch%20aeftsbereiche/konvergente-infrastrukturen/e-mobility4gridserv%20ice.html> (dostęp 13 luty 2020).
- [119] M. Kugler, C. Frank, S. Osswald, M. Miramontes, J. Kinigadner, i M. Lienkamp, „sun2car@GAP Abschlussbericht - Untersuchung des Kundenannahmeverhaltens zur Integration von Erneuerbarer Energie in Elektrofahrzeuge innerhalb der e-GAP Modellkommune Garmisch-Partenkirchen”, *Tech. Univ. Münch.*, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.1032.6168/1.
- [120] M. Röhrig, „Demand Response - das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk: Abschlussbericht: Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2013 bis 31.12.2015”, *enercity Contracting GmbH*, 2016. doi: 10.2314/GBV:870921525.
- [121] L. Pawczuk, R. Massey, i D. Schatsky, „Breaking blockchain open”, *Deloitte Development LLC*. [Online]. Dostępne na: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/financial-services/us-fsi-2018-global-blockchain-survey-report.pdf>
- [122] „IBM Institute for Business Value - Research, reports, and insights”. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/> (dostęp 5 wrzesień 2020).
- [123] „Innogy Charges New Electric Car Fleet Using Ethereum Blockchain - Bitcoin Magazine: Bitcoin News, Articles, Charts, and Guides”.

- <https://bitcoinmagazine.com/culture/innogy-charges-new-electric-car-fleet-using-ethereum-blockchain> (dostęp 20 wrzesień 2020).
- [124] „Highway to electromobility. Are we ready for electric vehicles?”, innogy Polska S.A. Dostęp: 7 wrzesień 2020. [Online]. Dostępne na: <https://www.innogy.pl/pl/~media/Innogy-Group/Innogy/Polska/Dokumenty/Artykuly/2017/innogy-polska-report-highway-to-electromobility-web.pdf>
- [125] „Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers?”, PwC. Dostęp: 7 wrzesień 2020. [Online]. Dostępne na: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf>
- [126] „Praktyczne zastosowanie Blockchain w codziennym życiu #2: Energetyka”. <https://iwetalaskowska.medium.com/praktyczne-zastosowanie-blockchaina-w-codziennym-%C5%BCyciu-2-energetyka-116526ca6c8d> (dostęp 10 wrzesień 2020).
- [127] „Generator liczb pseudolosowych”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Generator_liczb_pseudolosowych&oldid=64309578 (dostęp 10 wrzesień 2021).
- [128] „Kompendium elektromobilności - raport 2020”. https://elektromobilni.pl/pdf/kompendium_elektromobilnoscii_raport_2020_S.pdf (dostęp 30 październik 2020).
- [129] „Cash flow - co to jest?” <https://6krokow.pl/cash-flow/> (dostęp 23 styczeń 2022).
- [130] „Ile kosztuje ładowanie na publicznych stacjach AC i DC w Polsce?” <https://napradzie.pl/2020/12/25/ile-kosztuje-ladowanie-na-publicznych-stacjach-ac-i-dc-w-polsce/> (dostęp 28 grudzień 2020).
- [131] „NPV – Encyklopedia Zarządzania”. <https://mfiles.pl/pl/index.php/NPV> (dostęp 9 grudzień 2021).
- [132] „Wartość bieżąca netto”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Warto%C5%9B%C4%87_bie%C5%BC%C4%85ca_netto&oldid=56545193 (dostęp 31 grudzień 2021).
- [133] „IRR - Wewnętrzna stopa zwrotu - teoria i przykłady”. <https://econopedia.pl/finanse/irr-wewnetrzna-stopazwrotu/> (dostęp 8 grudzień 2021).
- [134] „Wewnętrzna stopa zwrotu – Encyklopedia Zarządzania”. <https://mfiles.pl/pl/index.php/Wewn%C4%99trznastopazwrotu> (dostęp 29 marzec 2021).
- [135] W. Bien, *Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa*. Warszawa: Difin, 2018.
- [136] „Najwięksi znani inwestorzy w bitcoin - miliardy dolarów z BTC”. <https://strefainwestorow.pl/artykuly/bitcoin/20210831/najwieksi-inwestorzy-bitcoin> (dostęp 30 grudzień 2021).
- [137] J. Arcari, „Decoding smart contracts: technology, legitimacy, & legislative uniformity”, *Fordham J. Corp. Financ. Law*, t. 24, nr 2, 2019.
- [138] B. K. Mohanta, S. S. Panda, i D. Jena, „An Overview of Smart Contract and Use Cases in Blockchain Technology”, w *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Bangalore, lip. 2018, s. 1–4. doi: 10.1109/ICCCNT.2018.8494045.
- [139] J. Gilcrest i A. Carvalho, „Smart Contracts: Legal Considerations”, w *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Seattle, WA, USA, grudz. 2018, s. 3277–3281. doi: 10.1109/BigData.2018.8622584.

- [140] „Why Smart Contracts Matter. Development of Blockchains over time”. <https://blockbasenetwork.medium.com/why-smart-contracts-matter-1495518b8c39> (dostęp 10 grudzień 2020).
- [141] C. Wright i A. Serguieva, „Sustainable blockchain-enabled services: Smart contracts”, w *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Boston, MA, grudz. 2017, s. 4255–4264. doi: 10.1109/BigData.2017.8258452.
- [142] M. Laarabi, A. Maach, i A. S. Hafid, „Smart contracts and over-enforcement: Analytical considerations on Smart Contracts as Legal Contracts”, w *2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, Meknes, Morocco, kwi. 2020, s. 1–6. doi: 10.1109/IRASET48871.2020.9092138.
- [143] „Black’s Law Dictionary”, *Wikipedia, wolna encyklopedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Black%27s_Law_Dictionary&oldid=1065899370 (dostęp 10 październik 2020).
- [144] A. Zielińska, „Possibilities of using blockchain technology in the area of electricity trade settlements”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. 1, nr 12, s. 159–162, grudz. 2021, doi: 10.15199/48.2021.12.32.
- [145] A. Zielińska, „Application possibilities of blockchain technology in the energy sector”, *E3S Web Conf.*, t. 154, s. 07003, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202015407003.
- [146] „Umowy klientów w sieci blockchain? Billon testuje z TAURONEM nowy projekt”. <https://alebank.pl/umowy-klientow-w-sieci-blockchain-billon-testuje-z-tauronem-nowy-projekt/?id=325996&catid=32532&cat2id=32535&cat3id=25924> (dostęp 30 grudzień 2020).
- [147] „Praktyczne zastosowania technologii Blockchain”. <https://cryps.pl/artikul/praktyczne-zastosowania-technologiei-blockchain/> (dostęp 11 październik 2020).
- [148] „Blockchain wkracza do energetyki. Pomoże prosumentom i energetyce rozproszonej”. <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/128334-blockchain-wkracza-do-energetyki-pomoze-prosumentom-i-energetyce-rozproszonej> (dostęp 10 październik 2021).
- [149] E. Mataczyńska, „Blockchain Technology Impact on the Energy Market Model”, *Energy Policy Stud.*, nr 1, s. 3–15, 2017.
- [150] „Europejczycy kupują już więcej elektryków i hybryd niż diesli, a jak jest w Polsce?” <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/europejczycy-kupuja-juz-wiecej-elektrykow-i-hybryd-niz-diesli-a-jak-jest-w-polsce/5dx4pvy> (dostęp 14 styczeń 2022).

11. Spis tabel i rysunków

- Rys.1. Liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych wraz z prognozami na rok 2021 [13]*
- Rys.2. Schemat blokowy reprezentujący układ pojazdu elektrycznego [17]*
- Rys.3. Udział akumulatorów w ostatecznej cenie pojazdu elektrycznego [19]*
- Rys.4. Komponenty i interfejsy komunikacyjne dla stacji ładowania pojazdów elektrycznych [17]*
- Rys.5. Technologie ładowania i dostępne złącza zasilania pojazdów elektrycznych [6]*
- Rys.6. Rekomendowany podział infrastruktury ładowania pojazdów EV [35]*
- Rys.7. Przykładowy schemat planowania lokalizacji punktów ładowania dla pojazdów EV [43]*
- Rys.8. Liczba zarejestrowanych EV osobowych w Polsce [4, 44, [46]*
- Rys.9. Liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce [44],[45] [46]*
- Rys.10. Podstawowe cechy blockchain*
- Rys.11. Schemat sieci P2P*
- Rys.12. Najważniejsze cechy mechanizmów konsensusu*
- Rys.13. Podstawowe kryteria zbiórki funduszy w ramach ICO*
- Rys.14. Przepływ środków przy użyciu blockchain i w sposób tradycyjny*
- Rys.15. Zależności między Aktorami modelu*
- Rys.16. Specyfikę ładowania według dwóch scenariuszy a). i b).*
- Rys.17. Łańcuch połączeń w zdarzeniu a). płatność gotówkowa*
- Rys.18. Transfer środków podczas procesu ładowania za Fiat money*
- Rys.19. Łańcuch połączeń w zdarzeniu b). płatność gotówką i voucherem*
- Rys.20. Transfer środków podczas procesu ładowania za gotówkę i voucher*
- Rys.21. Liczba rocznych cykli ładowań podczas życia modelu*

- Rys.22. Schemat przepływu energii i środków przy ładowaniu za gotówkę i voucher*
- Rys.23. Zmian wartości współczynnika degradacji w czasie*
- Rys.24. Zmiany cen zakupu i sprzedaży energii elektrycznej w czasie życia modelu*
- Rys.25. Ceny energii elektrycznej na stacjach ładowania EV w Polsce (przy założeniach: AC 11kW – ładowanie przez 4h śr. mocą 11kW; DC 50kW – ładowanie przez 1h śr. mocą 45kW; DC 100kW – ładowanie przez 1h śr. mocą 65kW) * brak pobierania opłat za ładowanie, ** stawka 5% rabatu dla członków Klubu EV Polska [130]*
- Rys.26. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Token Owner'a (TO) dla symulacji Scenariusz I*
- Rys.27. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz II*
- Rys.28. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz III*
- Rys.29. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz IV*
- Rys.30. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) i Inwestora (TO) dla symulacji Scenariusz V*
- Rys.31. Skumulowany dochód Inwestora (TO) dla 20 rozkładów losowych ilości pobranej energii według Scenariusza III*
- Rys.32. Skumulowany dochód Beneficjenta (BE) dla 20 rozkładów losowych ilości pobranej energii według Scenariusza III*
- Rys.33. Proces przekazywania dokumentów podczas zawierania umowy zdalnej z wykorzystaniem technologii Blockchain*
- Rys.34. Schemat procesu z zastosowaniem Blockchain w wymianie informacji pomiędzy uczestnikami w łańcuchu dostaw*
-
- Tab.1. Podstawowe cechy stacji ładowania pojazdów typu AC i DC [17]*
- Tab.2. Wymogi dotyczące liczba punktów ładowania w JST w Polsce [33]*
- Tab.3. Wartości zmiennych losowych obrazujące ilość pobranej energii elektrycznej w pojedynczym procesie ładowania*
- Tab.4. Scenariusz I. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$*
- Tab.5. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza I*
- Tab.6. Scenariusz II. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$*
- Tab.7. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza II*
- Tab.8. Scenariusz III. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$*
- Tab.9. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza III*
- Tab.10. Scenariusz IV. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$*
- Tab.11. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza IV*
- Tab.12. Scenariusz V. Wartości zmiennych w algorytmie dla roku $t=1$*

Tab.13. Skumulowany dochód Beneficjenta i Inwestora w czasie dla Scenariusza V

