

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

DYSCYPLINA NAUKOWA AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

Rozprawa doktorska

mgr inż. Krzysztof Zagrajek

**Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów
elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X)
jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu
elektroenergetycznego**

Promotor

prof. dr hab. inż. Józef Paska

WARSZAWA, 2023

Serdecznie dziękuję mojemu promotorowi Panu Profesorowi Józefowi Pasce za bezcenną pomoc i wsparcie w realizacji niniejszej rozprawy oraz wieloletnią opiekę naukową, która pozwoliła mi na kontynuację przygody z nauką.

Dziękuję również moim najbliższym: ukochanej Ani Hałackiewicz, Rodzicom oraz przyjaciółom: Rafałowi, Paulinie, Konradowi, Magdzie, Monice i Mariuszowi.

Dziękuję także kolegom z pracy dr. hab. Mariuszowi Kłosowi oraz dr. Karolowi Pawlakowi za pomoc merytoryczną, a także Panu Łukaszowi Sosonowskiemu z firmy Stoen Operator sp. z o.o. za możliwość wspólnej pracy i realizacji tematu od 2019 r.

Tytuł: *Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego*

Streszczenie: W niniejszej rozprawie przedstawiono koncepcję utworzenia nowego rynku usług elektroenergetycznych związanych z udostępnieniem energii elektrycznej zgromadzonej w akumulatorach pojazdów elektrycznych – technologia Vehicle-to-everything (V2X). Mając na uwadze możliwość coraz to częstszych problemów z pokrywaniem zapotrzebowania na energię elektryczną przez krajowe jednostki wytwórcze oraz widmem potencjalnych przerw w dostawach energii elektrycznej, należy poddać analizie alternatywne metody dostarczenia jej do odbiorców końcowych. W tym celu podjęto próbę sprawdzenia, czy jest możliwe i opłacalne wykorzystanie energii elektrycznej zgromadzonej w akumulatorach pojazdów elektrycznych, które stają się coraz bardziej popularnym środkiem transportu. Głównym celem pracy jest opracowanie koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdu elektrycznego na potrzeby odbiorców końcowych oraz wykonanie analizy efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa energetycznego zajmującego się zarządzaniem takim programem. W rozprawie zatem przedstawiono ogólne uwarunkowania, które muszą zaistnieć, aby taki program usług mógł zostać wdrożony. Przeanalizowano krajowe i europejskie akty prawne, a także przedstawiono stan obecny wiedzy w zakresie aspektów technicznych i ekonomicznych dotyczących technologii V2X. Następnie zaprezentowano autorskie badania ankietowe, które pozwoliły określić wstępne zainteresowanie wprowadzeniem takiej technologii w Polsce, a także oszacować wskaźniki potrzebne do realizacji procesów kontraktowania usług V2X. W kolejnych rozdziałach zaprezentowano autorską koncepcję programu usług V2X, ze szczególnym uwzględnieniem jej modelu matematycznego, mechanizmów kontraktowania usług, algorytmów poszukiwania pojazdów realizujących te usługi. Następnie zaproponowano model ekonomiczny rozliczenia usługobiorców, usługodawców oraz przedsiębiorstwa zarządzającego ww. programem. Kolejnym krokiem było sparametryzowanie wybranej usługi V2X świadczonej dla odbiorcy końcowego, polegającej na zapewnieniu rezerwowego źródła zasilania. Wykonano także symulacje walidujące algorytmy poszukiwania pojazdów, jak również modele ekonomiczne. Osiągnięte wyniki pozwalają stwierdzić, że istnieje możliwość wprowadzenia programu usług V2X na potrzeby odbiorców końcowych, jednakże niezbędne jest przeprowadzenie zmian legislacyjnych, a także prawidłowe zdefiniowanie liczby usługobiorców (odbiorców końcowych) i usługodawców (właścicieli pojazdów EV).

Słowa kluczowe: elektroenergetyka, rynek energii, elektromobilność, pojazdy elektryczne, technologia V2X, technologia V2G, sieci smart-grid.

Title: *Analysis of the concept of discharging services of electric vehicles for end-users (V2X) as an element of enhancing the flexibility resources of the power system*

Abstract: This thesis presents the concept of establishing a novel market for electricity services associated with the sharing of electricity from electric vehicle batteries - Vehicle-to-everything (V2X) technology. Taking into account the possibility of increasingly frequent problems with covering demand by domestic generation units and the spectrum of potential blackouts, it is necessary to examine alternative methods of supplying electricity to end users. For this purpose, an attempt has been made to see whether it is feasible and profitable to use electricity stored in the batteries of electric vehicles, which are becoming an increasingly popular means of transportation. The main objective of the thesis is to develop a concept of a service program for sharing the battery capacity of an electric vehicle for the own purposes of end users, and to perform an analysis of the economic efficiency of an electric power company engaged in the management of such a program. Thus, the dissertation presents the general conditions that must exist for such a service program to be implemented. Domestic and European legislation is analyzed, and the state of the art in technical and economic aspects concerning V2X technology is presented. Then the author's survey research is presented, which made it possible to determine the initial interest in introducing such technology in Poland, as well as to estimate the indicators needed for the implementation of V2X service contracting processes. The following chapters present the author's concept of the V2X services program, with special emphasis on its mathematical model, mechanisms for contracting services, and algorithms for finding vehicles providing these services. Then an economic model for the billing of service recipients, service suppliers and the company managing the aforementioned program was proposed. The next step was to specify the parameterization of the chosen V2X service provided to the end user, consisting in the provision of a backup power source. Simulations validating vehicle search algorithms as well as economic models have also been performed. The results achieved allow us to conclude that there is a possibility of introducing a V2X service program for end users, however, it is necessary to carry out legislative changes, as well as to correctly define the number of service recipients (end users) and service suppliers (EV owners).

Keywords: electric power industry, energy market, electromobility, electric vehicles, V2X technology, V2G technology, smart-grids.

Spis ważniejszych oznaczeń i skrótów

A – współczynnik premii za rozładowanie uEV;

B – współczynnik zwiększający karę dla V2Xus za niewykonanie usługi, związany z koniecznością przywołania innych uEV;

BEV – ang. Battery Electric Vehicle – baterijny pojazd elektryczny;

C – pojemność baterii EV;

d – dzień okresu rozliczeniowego;

da – kolejna akcja rozładowania;

DOD – ang. Depth of Discharge – poziom głębokości rozładowania baterii;

DSM – ang. Demand Side Management – zarządzanie stroną popytową;

DSR – ang. Demand Side Response – odpowiedź strony popytowej;

E – wolumen energii elektrycznej;

E-B – mechanizm ofertowania wstępnego (*early-bid*);

EBIT – ang. Earnings Before Interest and Taxes – zysk przed odliczeniem podatków i odsetek;

EBITDA – ang. Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization – zysk przed odliczeniem podatków i odsetek oraz amortyzacji środków trwałych i niematerialnych;

Ed – zapotrzebowanie na energię elektryczną usługobiorcy;

EndUs – ang. End User – odbiorca końcowy;

EV – ang. Electric Vehicle – pojazd elektryczny;

EVSE – ang. Electric Vehicle Supply Equipment – infrastruktura do ładowania pojazdów elektrycznych;

Fee – opłata ponoszona przez usługobiorcę korzystającego z Programu V2X;

G – obszar działania Dostawcy Usług V2X;

i – kolejny usługobiorca usług V2X;

IRiESD – Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej;

k - stawka za pozyskanie energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego V2X;

KSE – Krajowy System Elektroenergetyczny;

LOLE – ang. Loss of Load Expectation – oczekiwany czas niepokrycia zapotrzebowania;

M – tryb świadczenia usługi V2X;

MAN – obowiązkowy tryb świadczenia usługi V2X;

n – kolejny pojazd elektryczny V2X (uEV);

N – liczba pojazdów elektrycznych V2X;

OG – opłata za gotowość;

OP – opcjonalny tryb świadczenia usługi V2X;
OSD – Operator Systemu Dystrybucyjnego;
OSP – Operator Systemu Przesyłowego;
P – moc czynna;
PC – współczynnik zwiększający lub zmniejszający karę dla V2Xus za niewykonanie akcji rozładowania oraz od ewentualnego działania siły wyższej;
PHEV – ang. Plug-in Hybrid Electric Vehicle – hybrydowy pojazd elektryczny z możliwością ładowania;
R – okres rozliczeniowy;
RZOK – usługa V2X dotycząca Rezerwowego Zasilania Odbiorcy Końcowego;
s – zakontraktowana lub realizowana usługa V2X;
SF – składnik stały opłaty Fee;
SOC – ang. State of Charge – poziom naładowania baterii;
SV – składnik zmienny opłaty Fee;
uEV – pojazd elektryczny uczestniczący w Programie V2X;
UH – usługa harmonogramowana V2X;
UI – usługa interwencyjna V2X;
v – kolejny punkt świadczenia usługi V2X i-tego usługobiorcy;
V2B – ang. Vehicle-to-Building – pojazd-do budynku;
V2G – ang. Vehicle-to-Grid – pojazd-do sieci elektroenergetycznej;
V2L – ang. Vehicle-to-Load – pojazd-do odbioru energii elektrycznej;
V2V – ang. Vehicle-to-Vehicle – pojazd-do pojazdu;
V2X – ang. Vehicle-to-Everything – pojazd-do wszystkiego;
V2Xsp – dostawca usług V2X;
V2Xus – uczestnik Programu V2X;
VoLA – ang. Value of Lack of Adequacy – stawka za dostarczenie jednostki energii elektrycznej, jaką są w stanie zapłacić odbiorcy za utrzymanie dostaw energii posiadając wiedzę o planowanych trudnościach w dostawach energii;
VoLL – ang. Value of Lost Load – stawka za dostarczenie jednostki energii elektrycznej, jaką są w stanie zapłacić odbiorcy za utrzymanie dostaw energii w sytuacji awaryjnej;
WDB – Warunki Dotyczące Bilansowania;
z – strefa poszukiwań pojazdów elektrycznych V2X;

Spis treści

1. Wstęp	13
1.1. Wprowadzenie	13
1.2. Rozwój elektromobilności w Polsce.....	16
1.3. Elastyczność systemu elektroenergetycznego	17
1.4. Teza, cel i zakres pracy.....	19
2. Przegląd zagadnień dotyczących technologii V2X	23
2.1. Wprowadzenie	23
2.2. Aspekty techniczne	24
2.2.1. Integracja pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi	24
2.2.2. Integracja pojazdów elektrycznych z budynkami biurowymi i mieszkalnymi ..	26
2.3. Aspekty prawne	27
2.3.1. Wprowadzenie.....	27
2.3.2. Akty prawa europejskiego.....	27
2.3.3. Akty prawa krajowego	30
2.4. Aspekty ekonomiczne i organizacyjne	34
3. Badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X	36
3.1. Wprowadzenie	36
3.2. Odpowiedzi ankietowanych na wybrane pytania	39
4. Koncepcja programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznych	48
4.1. Podstawowe informacje o Programie V2X	48
4.2. Struktura podmiotowa Programu V2X.....	52
4.3. Struktura przedmiotowa Programu V2X.....	56
4.3.1. Model usługi V2X.....	56
4.3.2. Proces świadczenia usług V2X dla usługobiorców.....	61
4.4. Kontraktowanie usług V2X.....	62
4.4.1. Proces składania propozycji produktu przez usługobiorców	62
4.4.2. Proces składania ofert na wykonanie usługi przez Uczestników Programu V2X.....	68
4.5. Koszyk usług V2X.....	74
4.5.1. Wprowadzenie.....	74
4.5.2. Usługi świadczone dla odbiorcy końcowego	76
4.5.3. Usługi świadczone dla Operatora Systemu Dystrybucyjnego	79
5. Algorytmy poszukiwania pojazdów do świadczenia usług V2X	81
5.1. Obszar działania Dostawcy Usług V2X	81
5.2. Ofertowanie <i>early-bid</i>	84
5.3. Ofertowanie strefowe	90
5.4. Monitoring przyjazdu uEV - uzupełniające ofertowanie strefowe.....	96
6. Założenia do modelu ekonomicznego	100
6.1. Wprowadzenie	100
6.2. Model rozliczenia usługobiorcy	100
6.3. Model rozliczenia Uczestnika Programu V2X.....	107

6.4.	Model obliczania efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X.....	110
6.5.	Obliczanie kar dla usługodawców i usługobiorców	113
7.	Parametryzacja wybranej grupy usług V2X świadczonych dla odbiorców końcowych.....	117
7.1.	Podstawowe informacje o usługach	117
7.1.1.	Usługa harmonogramowana: <i>Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego</i>	117
7.1.2.	Usługa interwencyjna: <i>Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego</i>	118
7.2.	Wyznaczanie wolumenu energii elektrycznej dla wybranej grupy usług V2X.....	120
7.2.1.	Wyznaczanie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz moc dla UH-RZOK.....	120
7.2.2.	Wyznaczanie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz moc dla UI-RZOK	123
7.3.	Wyznaczanie prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia.....	123
7.4.1.	Metoda „ankietowa”.....	126
7.4.2.	Metoda wyznaczania prawdopodobieństw na podstawie zarejestrowanych danych	129
7.5.	Wyznaczanie wartości ekonomicznych w wybranej grupie usług V2X	131
7.5.1.	Metodyka wyznaczania stawek za pozyskanie energii elektrycznej z uEV	131
7.5.2.	Metodyka wyznaczania współczynników premii dla usługodawców.....	135
7.5.3.	Stawki dla usługi harmonogramowanej: <i>Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego</i>	136
7.5.4.	Stawki dla usługi interwencyjnej: <i>Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego</i>	137
8.	Wyniki badań	139
8.1.	Walidacja mechanizmów kontraktowania uEV	139
8.1.1.	Założenia	139
8.1.2.	Obszar Działania V2Xsp	140
8.1.3.	Ofertowany produkt	146
8.1.4.	Wybrane przypadki wyboru uEV do świadczenia usługi V2X.....	152
8.1.5.	Podsumowanie wyników symulacji	159
8.2.	Analiza ekonomiczna realizacji usług V2X dla odbiorcy końcowego.....	162
8.2.1.	Cel i założenia	162
8.2.2.	Wyznaczanie zbioru pojazdów elektrycznych V2X	165
8.2.3.	Wyznaczanie wolumenu energii elektrycznej zabezpieczonego przez usługi V2X	167
8.2.4.	Rozliczenie usługobiorcy	173
8.2.5.	Rozliczenie usługodawcy	179
8.2.6.	Obliczenie efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X.....	192
8.2.7.	Optimalizacja stawek za udostępnienie energii elektrycznej – wybrane przypadki	201
8.2.8.	Podsumowanie	206

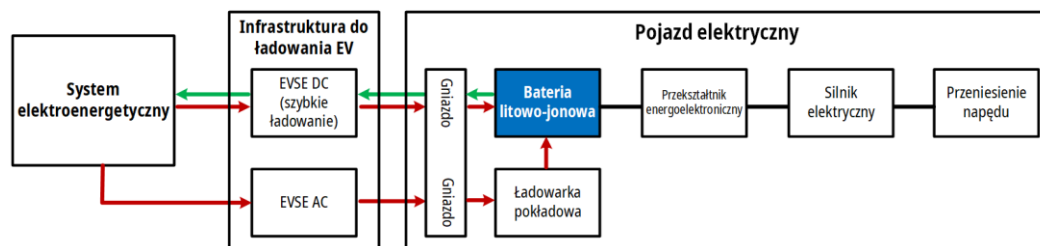
9. Wnioski końcowe.....	208
9.1. Podsumowanie badań	208
9.2. Osiągnięcia naukowe autora	210
9.3. Przyszłe prace badawcze	211
10. Bibliografia	213
11. Spis rysunków.....	223
12. Spis tabel	226
13. Załączniki.....	230
13.1. Załącznik 1 – Wyniki badania ankietowego.....	230
13.2. Załącznik 2 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie <i>early-bid</i>	235
13.2.1. Wprowadzenie.....	235
13.2.2. Metoda „Planowania Przebiegów”	235
13.2.3. Metoda „Przebiegów Historycznych”	237
13.2.4. Proces selekcji ofert	239
13.3. Załącznik 3 – Test poprawności planowania.....	246
13.4. Załącznik 4 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie ofertowania strefowego	249
13.4.1. Wyznaczanie stref poszukiwań	249
13.4.2. Proces selekcji ofert	254
13.5. Załącznik 5 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie Uzupełniającego Ofertowania Strefowego	266
13.6. Załącznik 6 – Tabele realizowalności i opłacalności usług V2X w przeprowadzonych symulacjach ekonomicznych.....	270

1. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

W XXI wieku znaczna część naszego życia społecznego i biznesowego jest zależna od energii elektrycznej. Jest ona niezbędna do zaspokojenia podstawowych potrzeb człowieka w zakresie: dostępu do żywności, zdrowia publicznego, gospodarki, edukacji i szeroko rozumianej mobilności [43, 148]. Powoduje to ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, jak również na moc, gdyż coraz to większa liczba sektorów gospodarki uzależnia się od energii elektrycznej [74, 136]. Ze względu na ograniczone zasoby paliw kopalnych, zasilających elektrownie konwencjonalne, poszukuje się alternatywnych rozwiązań w dostarczaniu energii elektrycznej odbiorcom końcowym. Jednym z kluczowych działań w tym obszarze jest rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE), który to stanowi filar transformacji energetycznej promowanej przez Unię Europejską (UE), Japonię i Stany Zjednoczone [106, 159]. Wiąże się on jeszcze z jednym niezwykle ważnym aspektem – polityką klimatyczną krajów rozwiniętych. W szczególności UE kładzie duży nacisk na redukcję emisji dwutlenku węgla (CO₂) zarówno w sektorach związanych z elektroenergetyką, głównie wytwarzania energii elektrycznej, jak też innych sektorach przemysłu [10]. Jednym z najbardziej zmieniających się obszarów gospodarki jest transport [84, 134]. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w sektorze transportu stanowi kluczowy aspekt polityki klimatycznej UE, o czym może świadczyć nakładanie kolejnych ograniczeń i restrykcji w stosowaniu pojazdów spalinowych [84]. W związku z tym producenci pojazdów rozpoczęli masowy proces elektryfikacji transportu prywatnego i publicznego, gdyż jest on zeroemisyjny w miejscu jego eksploatacji [51]. Na drogach pojawiły się zatem pojazdy elektryczne (EV – ang. electric vehicle), wśród których można wyróżnić pojazdy zasilane: wyłącznie energią elektryczną z baterii (BEV – ang. battery electric vehicle), energią elektryczną z baterii wspomagane silnikiem spalinowym z możliwością ładowania (PHEV – ang. plug-in hybrid), wyłącznie energią elektryczną wytworzoną w ogniwach paliwowych (FCEV – ang. fuel cells electric vehicle) [45]. Społeczeństwo europejskie, podobnie jak producenci, również przystosowuje się do zmiany w tym obszarze, co pokazują badania przeprowadzone w Niemczech już w 2014 roku [14]. Jednakże z punktu widzenia sektora elektroenergetycznego, poza niewątpliwymi użytkowymi zaletami pojazdów elektrycznych takimi jak: cicha praca, ekologiczność, czy dynamika jazdy, należy zastanowić się, czym tak naprawdę jest pojazd elektryczny i jak powinien być on traktowany w nowoczesnych

systemach elektroenergetycznych (SEE) [64]. Na Rys. 1.1 przedstawiono schemat blokowy typowego układu pojazd elektryczny - sieć z uwzględnieniem jego najważniejszych elementów.

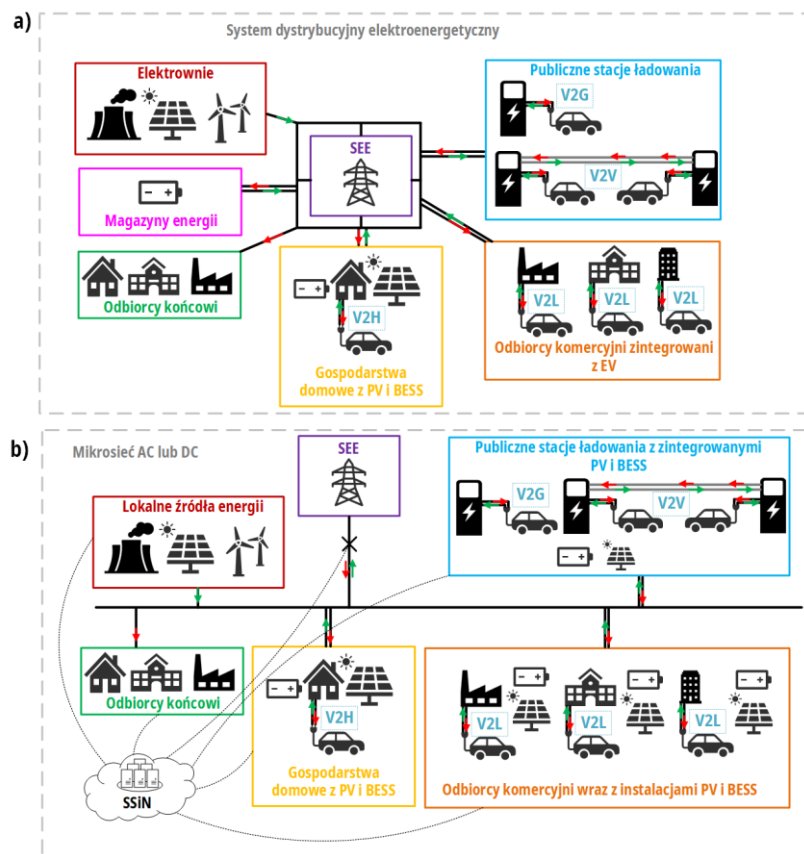


Rys. 1.1. Schemat blokowy układu pojazd elektryczny – sieć – opracowano na podstawie [52, 92, 156]

Na podstawie Rys. 1.1 można stwierdzić, że z elektroenergetycznego punktu widzenia pojazd elektryczny jest mobilnym magazynem energii elektrycznej [24, 154]. Oznacza to, że posiada on możliwość gromadzenia energii elektrycznej w baterii i wykorzystania jej w późniejszym czasie na potrzeby przemieszczenia się lub przesłania jej z powrotem do sieci elektroenergetycznej. Biorąc pod uwagę wyzwania z jakimi musi zmierzyć się polski sektor energetyczny, tj.: problemy dostępności paliw kopalnych, nadmierna emisyjność CO₂ i innych substancji do atmosfery z elektrowni węglowych oraz stopniowe wycofywanie wyeksploatowanych jednostek wytwórczych; wydaje się zasadne przeanalizowanie potencjału energetycznego pojazdów elektrycznych.

Warto także podkreślić, że szeroko rozumiana transformacja energetyczna to także decentralizacja systemów elektroenergetycznych i ich digitalizacja, tj. tworzenie inteligentnych sieci „Smart Grid” [2], opartych na lokalnych systemach elektroenergetycznych, często nazywanych mikrosieciami [104]. Zgodnie z paradygmatami stojącymi za tym pojęciem, takie sieci powinny zapewniać pełną funkcjonalność klasycznych krajowych systemów elektroenergetycznych, lecz muszą być także dopasowywane pod potrzeby danej grupy odbiorców, przy jednoczesnej minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko, dzięki rozwojowi OZE [17, 68]. Wprowadzenie sieci „Smart Grid” to także umożliwienie odbiorcom końcowym partycypowania w procesach energetycznych, chociażby poprzez zapewnienie możliwości zarządzania stroną popytową na żądanie (DSM – ang. demand side management) [68]. To również szansa na zintegrowanie i wykorzystanie w efektywny sposób pojazdów elektrycznych [125]. Wszystkie powyższe działania muszą jednak zostać skoordynowane, uwzględniając planowane i nieplanowane zmienności, w szczególności w zakresie generacji energii elektrycznej i zapotrzebowania. Należy zatem wprowadzić pojęcie „elastyczności systemu elektroenergetycznego” (ang. grid flexibility), czyli stopnia w jakim SEE może dostosowywać ww. czynniki w różnych trybach pracy [9]. Szczegółowo pojęcie elastyczności

i związane z nią technologie zostały omówione w podrozdziale 1.3. Spoiwem pomiędzy elastycznością SEE a pojazdami elektrycznymi jest technologia V2X (ang. Vehicle-to-everything – pojazd do wszystkiego) i jej inne formy: V2G (ang. Vehicle-to-grid – pojazd do SEE), V2B/V2H (ang. Vehicle-to-building/home – pojazd do budynku/domu), V2V (ang. Vehicle-to-vehicle – pojazd do pojazdu) oraz V2L (Vehicle-to-load – pojazd do odbioru) [77]. Pozwala ona na uwolnienie potencjału EV, jako mobilnego magazynu energii w procesach zasilania odbiorców końcowych, regulacji parametrów systemu elektroenergetycznego lub też dostarczenia energii innemu pojazdowi. Na Rys. 1.2 przedstawiono schematy blokowe wykorzystania technologii V2X w systemach elektroenergetycznych dystrybucyjnych.

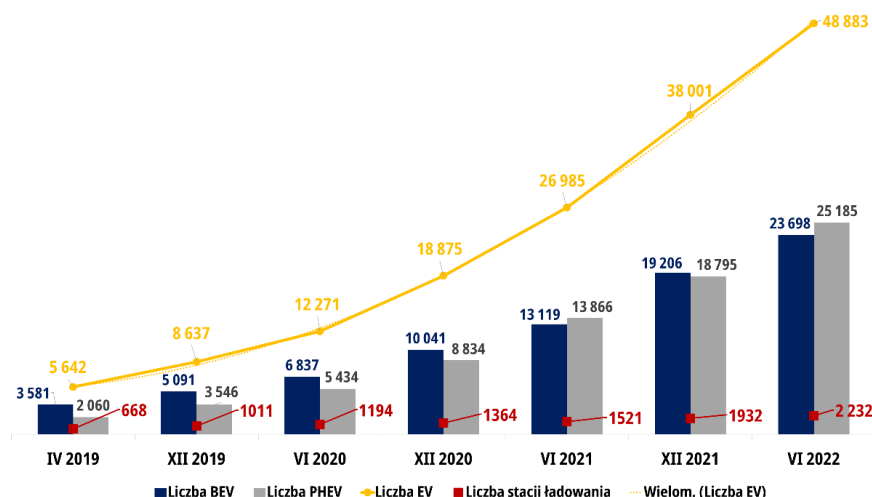


Rys. 1.2. Schemat blokowy zastosowania technologii V2X w: a) klasycznym systemie dystrybucyjnym; b) mikrosieci prądu przemiennego lub prądu stałego – na podstawie [77, 151, 152]

Zatem można stwierdzić, że tematyka związana z technologią V2X w implementacji nowoczesnych SEE jest niezwykle istotna, gdyż przy coraz to większym rozwoju floty EV otwiera się obszar nowych usług energetycznych dla odbiorców końcowych, użytkowników pojazdów elektrycznych oraz Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD) i Operatora Systemu Przesyłowego (OSP).

1.2. Rozwój elektromobilności w Polsce

Przeprowadzenie analizy związanej z wykorzystaniem pojazdów elektrycznych w systemach elektroenergetycznych powinno być w pierwszej kolejności poprzedzone omówieniem stanu elektromobilności w Polsce i jej potencjalnego rozwoju. Według rocznika Transport – Wyniki Działalności w 2021 r. opracowanego przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) w Polsce porusza się około 29 milionów pojazdów samochodowych, z czego 25 milionów to pojazdy osobowe [34]. Większość z tych pojazdów stanowią pojazdy spalinowe (benzynowe lub diesel). W zakresie ustalenia liczby pojazdów elektrycznych pojawia się pewien dysonans. Istnieją dwa źródła, z których można czerpać dane dotyczące liczby pojazdów elektrycznych. Pierwszym z nich jest ww. rocznik GUS, w którym zawarto dane wyłącznie z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK) [34]. Drugim źródłem są raporty sporządzane zazwyczaj co miesiąc przez Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (PSPA), tzw. „Licznik Elektromobilności” [115]. Różnice pomiędzy tymi źródłami głównie dotyczą pojazdów hybrydowych (wykorzystujących jednocześnie silnik spalinowy i napęd elektryczny). W raportach PSPA do ogólnej liczby pojazdów elektrycznych wlicza się pojazdy typu PHEV, zaś wg danych GUS pojazdy hybrydowe nie dzielą się na te z możliwością ładowania z gniazda (PHEV) i klasyczne pojazdy hybrydowe (HEV). W niniejszej pracy do zobrazowania liczby pojazdów elektrycznych zdecydowano się skorzystać ze statystyk PSPA, gdyż w międzynarodowych opracowaniach, np. sporządzonych przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA), przyjęto zaliczanie pojazdów typu PHEV do puli pojazdów elektrycznych [89]. Warto także zaznaczyć, że wspomniany wyżej „Licznik Elektromobilności” jest publikowany od kwietnia 2019 r. Do tego momentu jedynymi danymi były te, które były agregowane przez GUS, przy czym ich jakość była niezadowalająca. W rocznikach GUS poświęconych wynikom działalności transportu w latach 2016 – 2017 pojazdy hybrydowe i BEV były traktowane jako jedna pozycja [32]. Jedyna możliwość rozróżnienia ww. typów pojazdów oraz oszacowanie liczby EV mogło nastąpić na podstawie uwzględnienia pojazdów o pojemności skokowej silnika do 1399 cm³. Dla EV należy przyjmować pojemność skokową silnika równą 0 cm³, a liczba hybryd z silnikami o pojemności do 1,4 litra na rynku była niewielka. W wynikach GUS za rok 2018, pojazdy hybrydowe zostały rozdzielone od BEV i wówczas liczba BEV wynosiła 3018 [33]. W opinii autora tę wartość należy rozważać jako startową w przyszłych opracowaniach dotyczących prognozowania rozwoju elektromobilności w Polsce. Na Rys. 1.3 przedstawiono trend rozwoju floty osobowych pojazdów elektrycznych w Polsce w latach 2019 – 2022, wraz z rozwojem publicznych stacji ładowania.



Rys. 1.3. Samochody osobowe elektryczne w Polsce w okresie IV.2019 – VI.2022 – na podstawie [115]

W momencie pisania niniejszej rozprawy doktorskiej (wrzesień 2022 r.) w Polsce zarejestrowanych jest 54 331 pojazdów elektrycznych, w tym 52 011 pojazdów osobowych oraz 2 320 pojazdów użytkowych [115]. Ogólnodostępnych stacji ładowania jest obecnie 2 427, natomiast liczba punktów ładowania w tych stacjach wynosi 4 659 [115]. O różnicach pomiędzy punktem a stacją ładowania oraz definicji ogólnodostępnej stacji ładowania jest mowa w podrozdziale 2.2.

1.3. Elastyczność systemu elektroenergetycznego

Pojęcie elastyczności systemu elektroenergetycznego, które zostało wprowadzone w podrozdziale 1.1. w naukowej literaturze krajowej i międzynarodowej nie ma jednej, usystematyzowanej definicji, jednakże wszystkie są ze sobą zbieżne w zakresie oczekiwanego znaczenia tego pojęcia. Autorzy w [85] definiują elastyczność systemu jako „*Zdolność systemu elektroenergetycznego do reagowania na zmiany zapotrzebowania i zdolność wytwarzania energii elektrycznej*”. Z kolei francuscy naukowcy w 2019 r., zdefiniowali ją jako „*Stopień, w jakim system elektroenergetyczny może dostosować zapotrzebowanie na energię elektryczną lub jej wytwarzanie w reakcji na przewidywaną i nieprzewidzianą zmienność*” [9]. Zbliżone znaczenie pojęcia elastyczności SEE można znaleźć również w [47, 94, 132]. W europejskiej legislacji, tj. Dyrektywie Parlamentu Europejskiego 944/2019 w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej, można znaleźć informacje, że celem wprowadzenia usług elastyczności jest *zwiększenie wydajności w eksploatacji i rozwoju systemu dystrybucyjnego* [102].

Następnym pytaniem na jakie należy odpowiedzieć jest realizowalność elastyczności, ściślej rzecz biorąc realizowalność usług elastyczności, w systemach elektroenergetycznych. Analizując literaturę naukową można znaleźć kilka jej źródeł:

- sterowanie źródłami energii elektrycznej [9, 54, 82, 162],
- zarządzanie stroną popytową [9, 44, 145],
- zarządzanie energią elektryczną z magazynów energii [5, 116, 146],
- wykorzystanie inteligentnego ładowania EV [87, 127, 133, 162],
- wykorzystanie technologii V2X [37, 87, 95, 133],
- zarządzanie ciepłem [132, 145],
- restrukturyzacja sieci dystrybucyjnych [9, 126].

Każdy z ww. zasobów pozwala na uelastycznienie systemu elektroenergetycznego, tj. umożliwienie mu stabilnej pracy w okresach zwiększonego zapotrzebowania na moc lub w przypadku dużej generacji niestabilnych źródeł OZE. W celu zapewnienia OSD możliwości uzyskania pełnego potencjału energetycznego wszystkich podmiotów przyłączonych do ich sieci (odbiorcy, wytwórcy, instalacje magazynowania energii elektrycznej), w nowoczesnych modelach rynku energii elektrycznej, należy również uwzględnić miejsce handlu usługami energetycznymi, które będą zapewniać elastyczność SEE. Według [37] można wyróżnić pięć europejskich przedsięwzięć związanych z rynkami usług elastyczności prowadzonych przez: UKPN (Wielka Brytania), Enedis (Francja), GOPACS (Holandia), Enera i NODES (Niemcy). Dla ww. inicjatyw powstały rynki średnio i długoterminowe lub całkowicie lokalne, krótkoterminowe rynki skupiające się na bilansowaniu nadmiernej generacji OZE.

W Polsce obecnie trwają prace nad wprowadzeniem możliwości zamawiania usług elastyczności przez OSD. W projekcie nowelizacji Ustawy Prawo Energetyczne druk nr UC74, planuje się wprowadzić następującą definicję usługi elastyczności: *„usługa świadczona przez użytkowników systemu lub agregatorów na rzecz operatora systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego w celu zapewnienia bezpieczeństwa i zwiększenia efektywności rozwoju jego systemu, w tym zarządzania ograniczeniami systemowymi w tym systemie”, przy czym agregator jest to „uczestnik rynku zajmujący się agregacją”, a agregacja jest to: „działalność wykonywana przez agregatora w imieniu i na rzecz innych podmiotów, polegająca na łączeniu wielkości mocy lub energii elektrycznej oferowanej przez odbiorców lub wytwórców energii elektrycznej, z uwzględnieniem zdolności technicznych sieci do której są przyłączeni, w celu sprzedaży energii elektrycznej, świadczenia usług systemowych lub usług elastyczności na rynkach energii elektrycznej”* [121]. Wprowadzenie powyższych przepisów otworzyłoby nową

przestrzeń rynkową m.in. dla technologii V2X. Warto zwrócić uwagę, że zgodnie z głównymi funkcjonalnościami tej technologii, opisanymi w podrozdziale 1.1, pojazdy elektryczne są magazynami energii elektrycznej, dzięki czemu ich praca umożliwiłaby OSD zarządzanie ograniczeniami systemowymi. Ponadto otwiera się również możliwość łączenia ze sobą całych flot EV, dzięki planowanemu wprowadzeniu agregacji. Należy pamiętać, że usługi polegające na udostępnieniu pojemności baterii EV wiążą się z transferem pewnego wolumenu energii elektrycznej [142, 154]. Należy także zwrócić uwagę, że pojazd elektryczny nie stanowi wyłącznie narzędzia dla OSD, poprawiającego pracę systemu elektroenergetycznego w całym obszarze jego działania. Stanowi on także formę gwarancji dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych, co pośrednio można rozumieć również jako zasób elastyczności (w kontekście poprawy pracy systemu elektroenergetycznego). Jednakże ten obszar badań nie jest dostatecznie omówiony w literaturze naukowej [142].

Mając na uwadze powyższe, zasadne jest przeanalizowanie roli EV w procesach świadczenia usług elastyczności, jako jednego z zasobów dostępnych dla OSD, który to zyskuje na popularności, jak również bezpośrednio dla odbiorców końcowych.

1.4. Teza, cel i zakres pracy

Analizując uprzednio przedstawione aspekty wykorzystania pojazdów elektrycznych w nowoczesnych implementacjach systemów elektroenergetycznych należy zdecydowanie pogłębić tę tematykę, również ze względu na jej potencjał wdrożeniowy dla przedsiębiorstw energetycznych. W 2019 r. podjęto pierwsze próby określenia założeń pod utworzenie rynku usług rozładowania pojazdów elektrycznych w sieci Stoen Operator [138]. Ze względu na stopień skomplikowania procesu utworzenia takiego rynku, praca [138] stanowiła dla autora niniejszej rozprawy motywację do podjęcia dalszych badań. Analizując światową literaturę naukową stwierdzono, że głównymi tematami prac badawczych jest wpływ pojazdów elektrycznych na pracę systemu elektroenergetycznego dystrybucyjnego lub przesyłowego, w szczególności w zakresie wskazywania pozytywnego efektu jakim jest regulacja krzywej zapotrzebowania lub świadczenie usług systemowych. Jednakże zauważono lukę w postaci braku kompleksowych analiz świadczenia usług udostępnienia pojemności baterii EV bezpośrednio dla odbiorców końcowych, o czym wspomniano również w [142]. Należy podkreślić, że w pracy [142] wyróżnia się możliwość realizacji takiej usługi za pomocą technologii V2B (Vehicle-to-building) lub V2L (Vehicle-to-load). Z punktu widzenia dostarczenia energii do odbiorcy, nie wykazuje się różnicy w sposobie realizacji ww. usług wynikającej z zastosowanej technologii, lecz w literaturze V2L oznacza często zasilanie

odbiorów krytycznych za pomocą pojazdów elektrycznych [57, 142]. W raporcie przedstawiającym *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2021-2030* wykonanym przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne, zwraca się uwagę na rosnące wartości wskaźnika niezawodności systemu LOLE, dotyczącego liczby godzin w czasie roku, dla których nie będzie pokryte zapotrzebowanie [110]. Może to skutkować problemami z dostępnością energii elektrycznej. Zatem należy poszukiwać alternatywnych rozwiązań zabezpieczenia dostaw energii elektrycznej, m.in. poprzez planowane lub interwencyjne rozładowanie baterii pojazdów elektrycznych. Jednakże problematyka badawcza tego obszaru nie dotyczy wyłącznie określenia sposobu udostępnienia pojemności baterii EV na potrzeby odbiorcy końcowego i obliczenia przesłanego wolumenu energii. Należy szczególnie przeanalizować ww. aspekty w kontekście obowiązującego otoczenia prawnego i ekonomicznego, które to wpłynę na wykonalność usług energetycznych z wykorzystaniem EV. Jednym ze zdefiniowanych problemów jest skwantyfikowanie wartości takiej usługi, biorąc pod uwagę zestawienie strony podażowej (liczba EV) i popytowej (liczba odbiorców końcowych) oraz operacyjną efektywność gospodarczą przedsiębiorstwa świadczącego ww. usługi. O tej konieczności wspomniano w [142]. Autorzy w [142] zwracają uwagę na konieczność wykonania analiz opłacalności realizacji takich usług z wykorzystaniem wskaźnika VoLL (ang. Value of lost load), oznaczającego stawkę za dostarczenie jednostki energii elektrycznej, jaką są w stanie zapłacić odbiorcy za utrzymanie dostaw energii w sytuacji awaryjnej lub posiadając wiedzę o planowanych trudnościach w dostawach energii – VoLA (ang. Value of Lack of Adequacy) [107]. W pracy [76] wskazano, że w przypadku gdy OSD chciałby uczestniczyć w rynku usług V2X, to beneficem wykorzystania takich rozwiązań może być odroczenie lub zrealizowanie z mniejszymi nakładami inwestycyjnymi przedsięwzięć w zakresie modernizacji sieci elektroenergetycznej. Należy jednak wspomnieć, że w przypadku braku wprowadzenia usług elastyczności, ocena ekonomiczna rozwiązań dla OSD jest niezwykle trudna, gdyż nie ma możliwości zweryfikowania, czy wybrane usługi V2X będą zgodne z regulacjami prawnymi.

Kolejna kwestia związana z opracowaniem kompleksowych modeli ekonomicznych dotyczy obliczenia bonifikat z tytułu realizacji usług V2X dla posiadacza pojazdu elektrycznego [26, 52, 53, 160, 161]. Zatem można zdefiniować kolejny obszar badawczy, w którym należy wykonać szczegółowe analizy. Powinny one dotyczyć wyceny usługi V2X dla usługobiorcy, ze szczególnym uwzględnieniem skutków gospodarczych, jakie może odnieść odbiorca końcowy w sytuacji niedostarczenia energii elektrycznej. Ponadto, należy się także zastanowić nad dokładniejszą wyceną realizacji usług dla właściciela pojazdu

elektrycznego. W przytoczonych pracach [26, 52, 53, 160, 161] traktuje się profit z tytułu realizacji takiej usługi na równi ze sprzedażą energii elektrycznej, np. w godzinach szczytowego zapotrzebowania. Cenami referencyjnymi są wówczas cena sprzedaży energii na giełdzie lub stawki taryfowe. Podejście to, jednakże wiąże się z pewnymi niedokładnościami. Mianowicie, pojazdy elektryczne musiałyby być traktowane na równi z klasycznymi jednostkami wytwórczymi, a to mogłoby powodować zniekształcenie cen na rynku giełdowym. Również należy pamiętać, że usługa V2X jest usługą dodatkową, często realizowaną w trybie interwencyjnym. Musi ona zatem odzwierciedlać charakter jej świadczenia, który jest związany z następującym ciągiem zdarzeń: przywołania do pracy, przemieszczenia się wymagającego zakłócenie typowego rytmu dnia oraz udostępnienia pojemności baterii pojazdu elektrycznego. Ponadto w przypadku stosowania stawek taryfowych, można domniemywać, że niektórym usługobiorcom nie dałoby się zapewnić realizacji usługi, gdyż usługodawcy wybieraliby wyłącznie korzystniejsze ekonomicznie oferty. Zatem proponuje się ujednolicenie profitu dla właściciela EV do jednego wspólnego składnika. W przypadku niniejszej rozprawy jest to cena ładowania w ogólnodostępnych stacjach ładowania w danym obszarze, a następnie powiązanie jej z elementami probabilistycznymi, takimi jak np. prawdopodobieństwo wykorzystania pojazdów w danym przedziale czasowym.

Na podstawie powyższych informacji w niniejszej rozprawie przedstawiono kompleksową metodykę rozliczania usług V2X świadczonych dla odbiorcy końcowego. Można zatem sformułować następującą tezę badawczą:

Do zabezpieczenia dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych można wykorzystać energię zgromadzoną w akumulatorach pojazdów elektrycznych, tworząc odpowiedni program świadczenia usług V2X oraz kompleksową metodykę oceny opłacalności ekonomicznej zarówno dla odbiorcy, właściciela pojazdu elektrycznego, jak również przedsiębiorstwa energetycznego, w której mogą być wykorzystane wskaźniki operacyjnej efektywności gospodarczej EBIT i EBITDA oraz wskaźniki wartości energii niedostarczonej VoLL lub VoLA.

W niniejszej rozprawie doktorskiej zostaną zrealizowane następujące zagadnienia naukowe:

- Opracowanie koncepcji programu świadczenia usług rozładowania pojazdów elektrycznych, w celu planowanego i nieplanowanego zaspokajania potrzeb energetycznych odbiorców końcowych;

- Utworzenie modeli matematycznych oceny poziomu wykonania usługi rozładowania pojazdu elektrycznego, a także jej rozliczenia z punktu widzenia odbiorcy końcowego i użytkownika pojazdu;
- Parametryzacja usług udostępnienia pojemności baterii EV, z uwzględnieniem elementów probabilistycznych dostępności pojazdów elektrycznych w obszarze działania operatora usług;
- Opracowanie algorytmów poszukiwania pojazdów elektrycznych do świadczenia usług rozładowania EV;
- Opracowanie metodyki obliczania opłacalności przedsięwzięcia, polegającego na wprowadzeniu w danym obszarze programu usług rozładowania EV, z wykorzystaniem wskaźników określających operacyjną efektywność gospodarczą przedsiębiorstwa, tj. EBIT i EBITDA.

Głównym celem pracy jest opracowanie koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdu elektrycznego dla potrzeb odbiorców końcowych oraz wykonanie analizy efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa energetycznego zajmującego się zarządzaniem takim programem.

Niniejsza rozprawa doktorska składa się z 7 rozdziałów merytorycznych oraz wniosków końcowych. W rozdziale 2 zostaną zaprezentowane najważniejsze zagadnienia techniczne, ekonomiczne oraz prawne dotyczące technologii V2X. W rozdziale 3 przedstawiono wykonane pomocnicze badania ankietowe, które pomogą określić początkowe parametry stosowane przy ocenie realizowalności usług V2X i ich wycenie. W rozdziale 4 przedstawiono autorską koncepcję mechanizmu rynkowego dotyczącego realizacji usług udostępniania pojemności baterii EV, tzw. *Programu V2X*. W rozdziale 5 zaprezentowano propozycje autorskich algorytmów poszukiwania pojazdów elektrycznych wykonujących usługi rozładowania. W rozdziale 6 przedstawiono modele ekonomiczne proponowanych rozwiązań, w tym modele rozliczania odbiorcy końcowego korzystającego z usług V2X oraz użytkownika pojazdu elektrycznego. W rozdziale 7 wykonano parametryzację wybranej grupy usług V2X, uwzględniając przyjęte założenia, m.in. w zakresie zastosowania wskaźników VoLL i VoLA. W rozdziale 8 zaprezentowano wybrane wyniki przeprowadzonych symulacji rozwiązań opracowanych w rozdziałach 5 – 7. Szczegółowe opisy matematyczne rozwiązań zostały przedstawione w załącznikach do niniejszej rozprawy.

2. Przegląd zagadnień dotyczących technologii V2X

2.1. Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale dokonano przeglądu najważniejszych zagadnień dotyczących aspektów technicznych, prawnych i ekonomiczno-społecznych związanych z technologią V2X, znajdujących się w światowej i krajowej literaturze naukowej. Poszczególne rozwiązania zostały zgrupowane pod kątem ich funkcjonalności i przydatności. Należy podkreślić, że tematyka dotycząca technologii V2X, V2G oraz V2B jest niezwykle popularna w ostatnich latach, zaś sama technologia przesyłu energii elektrycznej z pojazdu do sieci została zidentyfikowana przez prof. Willa Kemptona z Uniwersytetu w Delaware w 1990 r. [20]. W Tab. 2.1 przedstawiono zestawienie liczby prac naukowych dostępnych w serwisie ScienceDirect w latach 2010 – 2022 dotyczących ww. technologii.

Tab. 2.1. Liczba prac naukowych dotyczących technologii V2X, V2G, V2B w portalu ScienceDirect w latach 2010 – 2022

Rok	Liczba prac naukowych – „V2X”	Liczba prac naukowych – „V2G”	Liczba prac naukowych – „V2B”
2010	10	42	22
2011	10	42	16
2012	7	69	15
2013	11	89	23
2014	18	144	25
2015	25	154	27
2016	45	186	26
2017	53	189	28
2018	122	257	35
2019	153	269	39
2020	242	331	59
2021	309	479	54
2022	364	561	75
Łączna liczba prac	2 348	3 660	1 323
Suma z lat 2010 - 2022	1 359	2 770	422

Na podstawie Tab. 2.1 można stwierdzić, że tematyka wykorzystania baterii pojazdów elektrycznych na potrzeby systemów elektroenergetycznych jest szeroko omawiana w literaturze naukowej od 2014 roku, przy czym w latach 2020 – 2022 liczba prac jest około 2 razy większa niż w latach ubiegłych. Świadczy to, że podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna i wymaga dokładnego przeanalizowania. Jednakże należy zwrócić uwagę na jeden aspekt dotyczący nazewnictwa. Wyniki wyszukiwania hasła „V2X” w portalach naukowych zwracają dużą liczbę prac dotyczących systemów komunikacji między pojazdem (niekoniecznie elektrycznym) a różnymi obiektami i systemami, w tym bezpieczeństwa na drodze. Niniejsza rozprawa dotyczy specjalności *elektroenergetyka*, w związku z tym przegląd zagadnień w technologii V2X odnosi się wyłącznie do prac związanych z przesyłaniem energii

elektrycznej z pojazdu elektrycznego do dowolnego obiektu, tak jak w [19, 38, 57, 108, 142]. Zdaniem autora, analizując ww. problematykę badawczą, większą liczbę pożądaných rezultatów można otrzymać przez wyszukiwanie hasła „V2G”, dla którego zagadnienia są bardziej doprecyzowane w kontekście elektroenergetyki, lecz nie oddają one w pełni aspektów funkcjonalnych mechanizmów udostępniania pojemności baterii EV na potrzeby odbiorców końcowych.

2.2. Aspekty techniczne

2.2.1. Integracja pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi

W światowej literaturze naukowej pojawia się wiele aspektów technicznych powiązanych z integracją pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi w kontekście technologii V2X/G. Zanim jednak omówione zostaną aspekty związane z rozładowaniem pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci, należy skupić się na ogólnym problemie integracji EV z siecią elektroenergetyczną. Pojazdy elektryczne są przyłączone do SEE za pomocą stacji ładowania (EVSE) wykorzystujących przekształtniki energoelektroniczne [36, 49, 67, 151]. Szczegóły techniczne komunikacji oraz standaryzacji połączenia EVSE i EV zostały opisane w normach ISO 15118, ISO 21782, IEC 61851. Większość zastosowań stacji ładowania dotyczy naładowania pojazdu, a co za tym idzie odnotowuje się wówczas zwiększenie zapotrzebowania na moc [69]. W tym kontekście należy zwrócić uwagę, że istotna jest analiza dobowych profili wykorzystania pojazdów elektrycznych prywatnych [83, 95] i użytkowych [3], w tym autobusów [153]. Wiąże się ona z określeniem wpływu ładowania pojazdów na pracę systemu elektroenergetycznego, w szczególności w obszarze jakości energii elektrycznej [151]. Dotyczy to m.in.: zmiany poziomów napięcia [36, 40], obciążenia linii elektroenergetycznych i transformatorów [50, 120], a także zmiany wartości współczynnika zawartości harmonicznych (THD) prądu i napięcia [65, 153, 155]. W szczególności te ostatnie związane są z wykorzystaniem przekształtników energoelektronicznych, dlatego niezwykle ważne jest wykonywanie kompleksowych badań jakości energii elektrycznej [65]. Mając na uwadze to, że ładowanie pojazdów elektrycznych może oddziaływać negatywnie na pracę systemu elektroenergetycznego, w szczególności w zakresie zwiększonego zapotrzebowania na moc i energię, powstają próby przeciwdziałania temu efektowi za pomocą technologii V2X/V2G. Ściślej rzecz biorąc wykorzystuje się technologię dwukierunkowego przepływu energii elektrycznej z/do baterii pojazdu elektrycznego, przy użyciu stacji ładowania prądem stałym (DC), w celach realizacji usług poprawiających pracę systemu elektroenergetycznego, tj. usług systemowych (ang. Ancillary

Services) [133, 137]. Świadczone usługi można podzielić na kilka podgrup. Pierwszą z nich jest regulacja krzywej zapotrzebowania na moc, gdzie standardowe podejście polega na umożliwieniu rozładowania pojazdów elektrycznych w godzinach zwiększonego poboru mocy, co skutkuje odciążeniem SEE – zjawisko znane powszechnie w literaturze jako „peak shaving”, czyli redukcja szczytów [12, 53, 76, 117]. W zakresie regulacji zapotrzebowania na moc powstały również prace, w których badano odpowiednie zarządzanie jednostkami wytwórczymi, magazynami energii i flotą EV realizującą usługi V2G, tak aby uzyskać bezpieczeństwo pracy systemu [41] lub usługi zbliżone do V2G, tj. przemieszczanie się pojazdów z zewnętrznymi zasobnikami baterijnymi [46].

Z uprzednio analizowanymi pojęciami wiążą się również aspekty dotyczące zgrupowania (zagregowania) pojazdów elektrycznych, w celu poprawienia ich dyspozycyjności. W pracach [21, 75, 123] przedstawiono modele agregacji pojazdów elektrycznych mogących realizować usługi systemowe związane z redukcją zapotrzebowania lub przesuwania obciążenia w czasie (ang. load shifting). Warto podkreślić, że także w rzeczywistych pilotażowych projektach związanych z technologią V2G badano możliwość realizacji usługi redukcji szczytów za pomocą rozładowania EV – projekty: *M-tech Labo* [93], *Invent* oraz *Jump Smart Manui* [25]. Ponadto w 2020 r. testowano możliwość realizacji usługi peak-shaving w projekcie rządów Chin i Singapuru dot. budowy zrównoważonego miasta *Sino-Singapore Tianjin Eco-city* [161]. Według [161] w tym projekcie umożliwiono również użytkownikom EV realizację drugiej usługi systemowej popularnej w aplikacjach V2G – regulację częstotliwości. Problematyka realizacji takiej usługi jest szeroko omawiana w literaturze. Już w 2008 r. w pracy [62] przedstawiono możliwość regulacji częstotliwości za pomocą pojazdów elektrycznych. W [56, 78] autorzy przedstawili różne strategie ładowania i rozładowania pojazdów uwzględniając możliwość regulacji częstotliwości za pomocą technologii V2G. W pracach [118, 158] przedstawiono zaś możliwości wykorzystania pojazdów elektrycznych realizujących zasilanie i wykonywanie usług systemowych dla wysp Bornholm (w istniejącym mikrosystemie elektroenergetycznym) i Minorka. Warto podkreślić, że w artykułach naukowych pojawiają się także aspekty probabilistyczne w realizacji usługi systemowej – regulacja częstotliwości, dotyczące prawdopodobieństwa odpowiedzi na sygnał od strony agregatora [150] oraz uwzględnienia zachowań podróży w przypadku brytyjskiego SEE [86]. W rzeczywistych implementacjach pilotaży technologii V2G również sprawdzano możliwość regulacji częstotliwości, np. w projektach: *Parker*, *Smart Solar Charging*, *Grid Motion*, *Invent* [25]. Warto także wspomnieć, że w pracy [119] zaprezentowano możliwość regulacji napięcia za pomocą pojazdów elektrycznych i technologii V2G.

Należy także podkreślić, że szeroko rozumiana integracja pojazdów elektrycznych z SEE niesie za sobą możliwość optymalizacji wielu zagadnień, m.in. ładowania pojazdów oraz ich rozładowywania [119]. Do tego celu wykorzystuje się często zaawansowane metody matematyczno-informatyczne takie jak: wykorzystanie logiki rozmytej [59], programowanie liniowe całkowitoliczbowe (MILP) [88], algorytmy genetyczne [6]. Ciekawy aspekt został także poruszony w [79]. Autorzy omówili tam wkomponowanie technologii V2G w mikrosystem energetyczny Niemiec w 2030 roku [79]. Ostatnim niezwykle istotnym aspektem technicznym powiązaniem z integracją EV z SEE, wartym dodatkowego podkreślenia jest problem potencjalnej degradacji baterii pojazdów elektrycznych wynikającej z nadmiernego ich zużycia w procesach rozładowania i ładowania [28, 109, 141]. W artykule [109] stwierdzono, że wpływ wykorzystania baterii EV w technologii V2G na jej żywotność jest mniejszy niż w przypadku częstszego korzystania z EV w czasie regularnej jazdy. W pracy [141] przedstawiono zaś podstawowe modele degradacji baterii EV.

2.2.2. Integracja pojazdów elektrycznych z budynkami biurowymi i mieszkalnymi

Pojemność baterii pojazdu elektrycznego może być udostępniana nie tylko na potrzeby realizacji usług systemowych dla OSP lub usług elastyczności dla OSD. Technologię pojazdo-budynku (V2B) można wykorzystać również na potrzeby zasilania budynków mieszkalnych i niemieszkalnych [142]. Warto jednak zaznaczyć, że w literaturze rozróżnia się pojęcia V2B i V2H. To pierwsze dotyczy integracji pojazdów z dużymi blokami mieszkalnymi lub budynkami biurowymi, zaś drugie dotyczy koncepcji wykorzystania pojazdu elektrycznego jako mobilnego magazynu energii w domach jednorodzinnych [71, 142, 144]. W obu przypadkach jednakże główne zastosowanie EV polega na poprawie efektywności pracy instalacji fotowoltaicznej (PV) znajdującej się na dachu budynku [15, 140, 162]. Pojazdy elektryczne wykorzystując technologię V2B/V2H lub „Smart Charging” mogą także realizować usługi zarządzania stroną popytową [144], w szczególności wykorzystując większą ich liczbę na parkingach przed obiektami biurowymi [55]. Interesującą propozycję wykorzystania technologii V2B zawarto w [16]. Autorka pracy [16] przedstawiła możliwość przesyłu energii elektrycznej z pojazdu do wielu budynków jednocześnie, tworząc mikrosystem elektroenergetyczny składający się z: przyłącza do SEE, dwóch budynków (mieszkalny oraz biuro), EV oraz zintegrowanej z budynkami instalacji PV. Ten koncept został nazwany V2B² – gdzie ² oznacza wykorzystanie drugiego budynku.

2.3. Aspekty prawne

2.3.1. Wprowadzenie

Druga grupa zagadnień wymagających dokładnego przeglądu, które są związane z technologią V2X to aspekty prawne. Konieczność analizy tego typu kwestii została także zauważona w literaturze [38, 98, 142]. Niemniej jednak, ze względu na złożoność zagadnienia, jakim jest technologia przesyłu energii elektrycznej z EV do instalacji odbiorcy końcowego lub sieci elektroenergetycznej, ograniczono się wyłącznie do analizy obowiązujących aktów prawnych w Polsce i w Europie. Wynika to z faktu, że ustalenie ram funkcjonowania usług udostępnienia pojemności baterii EV wymaga zgodności z obecnym prawodawstwem, w szczególności w obszarze korzystania z infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych, własności tych stacji oraz ról poszczególnych użytkowników. W niniejszej pracy przeanalizowano następujące dokumenty:

- Dyrektywa Parlamentu UE 2014/94 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [101];
- Dyrektywa Parlamentu UE 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej [102];
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. (wraz z późn. zm.) Prawo Energetyczne [128];
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. (wraz z późn. zm.) o elektromobilności i paliwach alternatywnych [129].

Warto podkreślić, że przeprowadzona analiza aktów prawnych została uprzednio już przedstawiona w publikacjach [154, 156], jednakże w niniejszej rozprawie ww. zagadnienia zostały zaktualizowane oraz poszerzone o nowe elementy.

2.3.2. Akty prawa europejskiego

W pierwszej kolejności należy przeanalizować dokumenty prawa europejskiego, jako nadrzędnego w stosunku do prawa krajowego oraz wyznaczającego kierunki rozwoju legislacji w krajach członkowskich. Analizę należy rozpocząć od zapoznania się z Dyrektywą Parlamentu UE 2014/94 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (dalej: Dyrektywa 2014/94). W preambule Dyrektywy 2014/94, a ściślej rzecz biorąc w części zawierającej motywy jej wprowadzenia, stwierdza się, że „*energia elektryczna ma potencjał zwiększenia efektywności energetycznej pojazdów drogowych i przyczynienia się do ograniczenia emisji CO₂ z transportu*” [101]. Ponadto zawarto ogólne uzasadnienia

wprowadzenia niniejszej dyrektywy związane z rozwojem infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych, w szczególności publicznie dostępnych punktów ładowania. Podkreślono konieczność stosowania w punktach ładowania inteligentnych systemów pomiarowych w celu zapewnienia bezpiecznej i stabilnej pracy SEE. Parlament UE zaleca, aby ładowanie pojazdów odbywało się w godzinach niskiego zapotrzebowania na moc w SEE. W zakresie technologii V2X wspomniano, że: *„W perspektywie długoterminowej można by także przewidzieć przesyłanie mocy z akumulatorów z powrotem do sieci w godzinach o wysokim ogólnym zapotrzebowaniu na energię elektryczną”* [101]. Oznacza to, że europejscy legislatorzy zauważyli możliwość korzystania z technologii V2X/G, lecz niestety nie objawia się to w zapisach niniejszej dyrektywy. Z punktu widzenia użytkowego można znaleźć w niej jedynie następujące definicje [101, 156]:

- punkt ładowania (art. 2 pkt 3) – *„urządzenie, które umożliwia ładowanie pojedynczego pojazdu elektrycznego lub wymianę akumulatora pojedynczego pojazdu elektrycznego”*;
- punkt ładowania o normalnej mocy (art. 2 pkt 4) – *„punkt ładowania o mocy mniejszej lub równej 22 kW, który umożliwia dostarczanie energii elektrycznej do pojazdu elektrycznego, z wyłączeniem urządzeń o mocy mniejszej lub równej 3,7 kW, które są zainstalowane w prywatnych gospodarstwach domowych lub których zasadniczym celem nie jest ładowanie pojazdów elektrycznych, i które nie są dostępne publicznie”*;
- punkt ładowania o dużej mocy (art. 2 pkt 5) – *„punkt ładowania o mocy większej niż 22 kW, który umożliwia dostarczanie energii elektrycznej do pojazdu elektrycznego”*;
- publicznie dostępny punkt ładowania lub tankowania paliwa (art. 2 pkt 7) – *„punkt ładowania lub punkt tankowania paliwa dostarczający paliwa alternatywnego, który umożliwia użytkownikom w całej Unii niedyskryminacyjny dostęp. Niedyskryminacyjny dostęp może oznaczać różne warunki w zakresie uwierzytelniania, użytkowania i płatności”*.

Powyższe definicje będą miały znaczenie w kontekście późniejszej analizy aktów prawa krajowego. Niemniej jednak należy podkreślić, że w części normatywnej Dyrektywy 2014/94 nie znajdują się żadne zapisy dotyczące technologii V2X/V2G [101].

Drugim dokumentem prawa europejskiego, który należy przeanalizować jest Dyrektywa Parlamentu UE 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej (dalej: Dyrektywa 2019/944). Jest to jeden z najbardziej rozbudowanych dokumentów prawa europejskiego w zakresie elektroenergetyki. Na podstawie przeprowadzonej analizy preambuły Dyrektywy 2019/944 można stwierdzić, że temat i zakres niniejszej rozprawy doktorskiej wpisują się w agendę proponowaną przez Unię

Europejską. W motywie (39) Dyrektywy 2019/944 wspomina się, że każdy odbiorca powinien mieć możliwość dostępu do rynków energii elektrycznej, by oferować swoją elastyczność, również za pomocą agregatorów [102]. Podkreślono, że elastyczność może być realizowana za pomocą magazynowania energii, w tym magazynowanie energii przy użyciu pojazdów elektrycznych lub poprzez odpowiedź odbioru np. w formie inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych, dopasowującego się do zapotrzebowania na moc w SEE [102]. Analizując szczegółowe zapisy z części normatywnej Dyrektywy 2019/944 należy zwrócić uwagę na aspekty związane z integracją EV z SEE, kwestiami właścicielskimi infrastruktury elektroenergetycznej posiadanej przez OSD oraz realizacją usług elastyczności.

Należy podkreślić, że UE zauważa możliwość magazynowania energii w pojazdach elektrycznych, co skutkuje koniecznością przeprowadzenia pogłębionej analizy przepisów dotyczących tego tematu. Co do zasady, OSD nie mogą być właścicielami, ani nie mogą tworzyć lub zarządzać instalacjami magazynowania energii elektrycznej [102]. Warto zwrócić uwagę, że przez instalację magazynowania energii elektrycznej rozumie się: *„instalację, w której ma miejsce magazynowanie energii”*, zaś proces magazynowania energii jako: *„odroczenie, w systemie energetycznym, końcowego zużycia energii elektrycznej w stosunku do momentu jej wytworzenia lub przekształcenie jej w inną postać energii, umożliwiającą jej magazynowanie, magazynowanie takiej energii, a następnie ponowne przekształcenie takiej energii w energię elektryczną lub wykorzystanie jej w postaci innego nośnika energii”* [102]. W przepisach art. 36 ust. 2 Dyrektywy 2019/944 zawarto możliwość uzyskania przez OSD ustępstwa z ww. zakazu, jednakże muszą zostać spełnione jednocześnie następujące warunki:

- po przeprowadzeniu postępowania przetargowego żadne podmioty nie uzyskały prawa do bycia właścicielem lub zarządcą takich instalacji magazynowania lub nie są w stanie świadczyć usług po „rozsądnych kosztach”,
- instalacje magazynowania energii są niezbędne do realizacji zadań powierzonych OSD (niezawodne funkcjonowanie systemu dystrybucyjnego) oraz nie są one wykorzystywane do zakupu lub sprzedaży energii elektrycznej,
- organ regulacyjny udzielił zgody na takie działanie.

Powyższe zapisy uniemożliwiają de facto OSD zarządzanie flotą mobilnych magazynów energii elektrycznych (EV) w celach zarobkowych – świadczenie usług rozładowania. Kolejnym ograniczeniem dla OSD, zgodnie z art. 33 ust. 2 Dyrektywy 2019/944 jest brak możliwości posiadania, tworzenia i obsługi punktów ładowania pojazdów

elektrycznych, z wyłączeniem tych wykorzystywanych na własny użytek [102]. Istnieje, tak jak w przypadku instalacji magazynowania, możliwość uzyskania derogacji od właściwego organu regulacyjnego, jednakże trzeba mieć na uwadze, że rynek dostawców punktów ładowania i usług ładowania jest zdecydowanie bardziej rozbudowany, a funkcjonowanie EVSE nie jest konieczne do utrzymania bezpiecznej pracy systemu, co zdecydowanie utrudnia uzyskanie odstępstw. W związku z tym, praktycznie nie możliwe jest, aby OSD był operatorem usług rozładowania pojazdów elektrycznych w danym obszarze, a co więcej Dyrektywa 2019/944 nie określa dla nich w ogóle takiej roli [102, 156]. Zapisy art. 32 ust. 1 niniejszej dyrektywy wskazują na konieczność zapewnienia przez państwa członkowskie niezbędnych ram do zamawiania usług elastyczności przez OSD. W szczególności usługi te mogą być realizowane za pomocą wytwarzania rozproszonego, odpowiedzi odbioru, czy też magazynowania energii. Zatem po analizie aspektów technicznych omówionych w rozdziale 2.2, a także usług elastyczności omówionych w rozdziale 1.3, można stwierdzić, że OSD będą mogli korzystać z zagregowanych EV w celu realizacji usług elastyczności, z wykorzystaniem technologii V2X lub Smart-Charging [102].

2.3.3. Akty prawa krajowego

Wprowadzone dyrektywy 2014/94 oraz 2019/944 wpłynęły na zmianę polskiego prawodawstwa w zakresie rozwoju elektromobilności w obszarze krajowej elektroenergetyki. W pierwszej kolejności należy omówić zapisy Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o Elektromobilności i Paliwach Alternatywnych (dalej: ustawa o elektromobilności) [129]. Ze względu na konieczność zgodności z europejskimi aktami prawnymi, w ww. ustawie zawarto te same definicje dotyczące różnego rodzaju punktów ładowania, z zachowaniem podziału na moce zawarte w Dyrektywie 2014/94. W ustawie o elektromobilności wprowadzono dodatkową definicję związaną z infrastrukturą do ładowania EV – stacją ładowania. Zgodnie z art. 2 pkt 27) ustawy o elektromobilności stacja ładowania jest to: *„urządzenie budowlane obejmujące punkt ładowania o normalnej mocy lub punkt ładowania o dużej mocy, związane z obiektem budowlanym, lub wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania o normalnej mocy lub punktem ładowania o dużej mocy - wyposażone w oprogramowanie umożliwiające świadczenie usług ładowania, wraz ze stanowiskiem postojowym oraz instalacją prowadzącą od punktu ładowania do przyłącza elektroenergetycznego”* [129]. Należy zatem odróżnić punkt ładowania od stacji ładowania, która jest pojęciem szerszym, gdyż do jej zaistnienia potrzeba także infrastruktury elektroenergetycznej oraz budowlanej. Warto także dodać, że w ustawie o elektromobilności

wprowadzono nowy rodzaj przedsiębiorstwa, jakim jest Operator Ogólnodostępnych Stacji Ładowania (OOSŁ) [129]. Równocześnie doprecyzowano przepisy w zakresie ogólnodostępnych stacji ładowania. Zgodnie z art. 3 ust. 1 pkt 10) ustawy o elektromobilności OOSŁ ma obowiązek zapewnić dostawcom usług ładowania dostęp do infrastruktury na zasadach równoprawnego traktowania. Należy odpowiedzieć sobie na pytanie kim jest zatem dostawca usług ładowania. Zgodnie z art. 3 ust. 2 pkt 2) dostawca usług ładowania to podmiot odpowiedzialny za świadczenie usług ładowania pojazdów elektrycznych obejmujących faktyczny proces ładowania oraz zapewnienie możliwości korzystania z infrastruktury stacji ładowania [129]. Przepisy art. 6 ustawy o elektromobilności pozwalają pełnić rolę dostawcy usług ładowania przez OOSŁ. W art. 7 ustawy o elektromobilności pośrednio zostało zdefiniowane „równoprawne traktowanie” w zakresie dostępu do ogólnodostępnych stacji ładowania. Wskazano bowiem, że *„dostawca usługi ładowania nie może uzależniać świadczenia usługi ładowania od uprzedniego zawarcia przez użytkownika pojazdu elektrycznego lub pojazdu hybrydowego umowy w formie pisemnej, w postaci papierowej lub elektronicznej”* [129]. Zatem nie istnieje możliwość realizacji usług rozładowania w ogólnodostępnych stacjach ładowania, gdyż w przypadku realizacji ww. usług użytkownik EV musi mieć pewność, że będą panować warunki pozwalające na przeprowadzenie procesu przesyłu energii elektrycznej z baterii EV do sieci elektroenergetycznej. Oznacza to, że obecna legislacja umożliwiałaby świadczenie usług V2X/G wyłącznie w prywatnych stacjach ładowania. Jednakże historia prac legislacyjnych poprzedniej dużej nowelizacji ustawy Prawo Energetyczne oraz innych ustaw (w tym ustawy o elektromobilności) przyjętej w 2021 r. zakładała w pierwotnej wersji wprowadzenie do porządku prawnego dwukierunkowego punktu ładowania. Zgodnie z propozycjami przedstawionymi przez Ministerstwo Energii pod koniec 2018 r. dwukierunkowy punkt ładowania miał być zdefiniowany następująco: *„punkt ładowania umożliwiający pobór energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego bądź pojazdu hybrydowego”* [122]. Proponowana nowelizacja ustawy o elektromobilności miała również umożliwić pobór energii elektrycznej od posiadaczy pojazdów elektrycznych przez OSD i OOSŁ [122]. Byłby to przepis, który bezsprzecznie umożliwiłby uruchomienie nowego rynku usług V2G/V2X, jednakże nie znalazł się on, podobnie jak inne przepisy dotyczące przesyłu energii elektrycznej z pojazdu do sieci, w ostatecznej wersji nowelizacji z maja 2021 r. Wspomniana nowelizacja przyniosła jednak szereg zmian w ustawie Prawo Energetyczne [128]. Część z nich autor przywołał już w publikacji [156]. Najważniejsze zmiany dotyczą uporządkowania definicji magazynów energii oraz magazynowania energii, gdyż do momentu nowelizacji funkcjonowały dwie znacząco od siebie różniące się definicje magazynu energii

[154]. Obecna definicja magazynowania energii elektrycznej brzmi: „przetworzenie energii elektrycznej pobranej z sieci elektroenergetycznej lub wytworzonej przez jednostkę wytwórczą przyłączoną do sieci elektroenergetycznej i współpracującą z tą siecią do innej postaci energii, przechowanie tej energii, a następnie ponowne jej przetworzenie na energię elektryczną”, zaś magazyn energii elektrycznej to „instalacja umożliwiająca magazynowanie energii elektrycznej i wprowadzenie jej do sieci elektroenergetycznej” [128]. Jak wspomniano w [156] istnieje jeden zapis w ustawie Prawo Energetyczne, który może budzić wątpliwości w przypadku implementacji technologii V2X. Mowa o zapisach art. 43g ust. 1: „Operator systemu elektroenergetycznego prowadzi, w postaci elektronicznej, rejestr magazynów energii elektrycznej przyłączonych do jego sieci, stanowiących jej część lub wchodzących w skład jednostki wytwórczej lub instalacji odbiorcy końcowego przyłączonej do jego sieci” oraz art. 43g ust. 3: „Wpisowi do rejestru, o którym mowa w ust. 1, podlegają magazyny energii elektrycznej o łącznej mocy zainstalowanej większej niż 50 kW” [128]. W przypadku, gdy pojazd elektryczny traktujemy jako magazyn energii elektrycznej przyłączony do sieci lub instalacji odbiorcy końcowego, to powinien od polegać wpisowi do rejestru jeżeli jego moc zainstalowana byłaby większa niż 50 kW. Pojawia się pytanie, jak należy interpretować moc zainstalowaną – zdaniem autora rozprawy, moc zainstalowana takiego magazynu jest też maksymalną moc dwukierunkowego punktu ładowania. Praktycznie jednak ww. zapisy ustawy Prawo Energetyczne spowodowałyby niezwykle utrudnienie, gdyż większość pojazdów musiałaby zostać wpisana do rejestrów OSD. W związku z tym proponuje się wprowadzenie nowego pojęcia w momencie implementacji technologii V2X – mobilnego magazynu energii elektrycznej. W publikacjach [154, 156] przedstawiono wstępne propozycje zmian legislacyjnych konieczne do płynnej implementacji technologii V2X w Polsce. W Tab. 2.2 zaprezentowano rozszerzoną wersję ww. propozycji.

Tab. 2.2. Propozycja zmian legislacyjnych umożliwiające wprowadzenie rynku usług V2X – na podstawie [154, 156]

Brakujący aspekt prawny	Propozycja zmian	Uzasadnienie	Priorytet wprowadzenia
Rozdzielenie mobilnego magazynu energii elektrycznej od wersji stacjonarnych	Nowa definicja w Ustawie Prawo Energetyczne: mobilny magazyn energii – instalacja umożliwiająca magazynowanie energii elektrycznej i wprowadzania jej do sieci w pojeździe elektrycznym lub pojeździe hybrydowym, o których mowa w art. 2 pkt 12) i pkt 13) Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych	Wprowadzenie rozdziału magazynów energii elektrycznej stacjonarnych i mobilnych pozwoli na doprecyzowanie przepisów w zakresie wykorzystania ich w realizacji usług systemowych, elastyczności oraz V2X. Pozwoli także na brak konieczności prowadzenia rejestru EV, realizujących usługi V2X	Krytyczny
Definicja dwukierunkowego punktu ładowania	Uwzględnienie definicji dwukierunkowego punktu ładowania proponowanej uprzednio przez Ministerstwo Energii: dwukierunkowy punkt ładowania – punkt ładowania umożliwiający pobór energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego bądź pojazdu hybrydowego	Bez zdefiniowania dwukierunkowego punktu ładowania nie ma możliwości wprowadzenia rynku usług V2X, ze względu na brak miejsca realizacji takiej usługi.	Krytyczny
Zdefiniowanie ram rynku usług V2X	Wprowadzenie definicji usługi V2X , Dostawcy usług V2X oraz Programu V2X (propozycja definicji została zamieszczona w rozdziale 4), w tym także ustalenie ról poszczególnych podmiotów i ich relacji biznesowych.	Konieczność ustanowienia ram prawnych dla rynku usług V2X jest niezbędna w celu legalnej realizacji przesyłu energii z pojazdu do sieci elektroenergetycznej	Krytyczny
Utworzenie katalogu usług elastyczności	W aktualnym projekcie nowelizacji ustawy Prawo Energetyczne nie zawarto konkretnego katalogu usług V2X, należy wprowadzić zatem katalog zbliżony do katalogu usług systemowych znajdujący się w Warunkach Dotyczących Bilansowania (WDB).	W celu umożliwienia realizacji usług elastyczności konieczne jest wprowadzenie katalogu usług, w szczególności z uwzględnieniem w nich jako zasobu pojazdu elektrycznego	Wysoki
Utworzenie taryf, regulaminów korzystania oraz innych regulacji w zakresie rozliczania użytkowników EV w rynku usług V2X	Ustanowienie regulacji prawnych dotyczących rozliczania użytkowników EV za oddaną energię oraz umożliwiający efektywny proces świadczenia usług rozładowywania pojazdów elektrycznych, np. priorytetowy dostęp do wybranych dwukierunkowych punktów ładowania.	Wprowadzenie ogólnych ram prawnych rozliczenia użytkowników EV za udostępnioną energię z baterii pozwoli na uporządkowanie relacji pomiędzy usługobiorcą, usługodawcą oraz pośrednikami, w tym także w zakresie przeciwdziałaniu złym praktykom biznesowym.	Wysoki
Umożliwienie realizacji wybranych usług systemowych przez zagregowane zasoby magazynów energii elektrycznej	Uwzględnienie możliwości realizacji usług przez JG _{ma} , które mogłyby składać się z zagregowanych mobilnych magazynów energii o danym potencjale	Umożliwienie świadczenia usług systemowych przez zagregowane zasoby mobilnych magazynów energii pozwoli na realizację przez nich często omawianego konceptu – regulacja częstotliwości na poziomie sieci OSP	Średni
Uwzględnienie usług rozładowania EV w innych mechanizmach rynkowych	Wskazanie technologii magazynowania energii – pojazd elektryczny – w procesach na rynku mocy, realizacja pozostałych usług systemowych, uwzględnienie EV w planach obrony KSE, uczestnictwo w giełdzie energii	Potencjał energetyczny pojazdów elektrycznych pozwala na wykorzystanie ich w wielu procesach rynkowych. Należy wprowadzić regulacje umożliwiające korzystanie z każdego segmentu rynku energii elektrycznej przez EV.	Niski

2.4. Aspekty ekonomiczne i organizacyjne

W literaturze naukowej znajduje się także szereg prac dotyczących analiz ekonomiczno-organizacyjnych zastosowanych w implementacji wybranych rozwiązań z zakresu technologii V2X. Jedną z fundamentalnych kwestii poruszaną w pracach naukowych jest stworzenie ram i założeń do określenia ról poszczególnych aktorów uczestniczących w procesie wykorzystania EV w systemie elektroenergetycznym oraz zdefiniowanie modeli komunikacji pomiędzy nimi. W pracach [13, 35, 147], przedstawiono modele biznesowe wykorzystania EV w procesach świadczenia usług dla operatorów systemów elektroenergetycznych. Warto podkreślić, że powyższe modele dotyczą zarówno jednokierunkowego przepływu energii [35], jak również wykorzystania technologii V2X/G [13, 147]. Szczególnie należy skupić się na publikacji [35]. Autorzy przedstawili w niej kompleksową analizę efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa zajmującego się realizacją usług ładowania. Do tego celu wykorzystali wskaźniki EBIT (ang. earnings before interest and taxes) i EBITDA (ang. earnings before interest, taxes, depreciation and amortization), które w dalszej części niniejszej rozprawy posłużą do zbudowania autorskiego modelu rozliczeń aktorów w programie usług V2X [35]. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań jest utworzenie agregatorów świadczenia usług, którzy komunikują się w imieniu użytkowników EV z danym operatorem systemu elektroenergetycznego [50, 70]. Jednakże, główny wątek który jest poruszany w pracach naukowych dotyczy wyceny usług. W pracach [52, 53, 76, 81, 161] przedstawiono podejście, w którym bonifikaty dla użytkowników EV są oparte o stawki taryfowe za energię elektryczną, w szczególności w tzw. okresach zwiększonego zapotrzebowania (ang. peak price). Należy również podkreślić, że w artykułach [26, 31, 160] do ustalenia ceny za rozładowanie EV wykorzystuje się prognozowane stawki obowiązujące na rynku dnia następnego. Ponadto na ich podstawie prognozuje się także wykorzystanie usług rozładowania EV. Interesujące rozwiązanie zostało przedstawione w [26], gdzie autorzy wykorzystali aparat matematyczny logiki rozmytej, w celu znalezienia optymalnych punktów pracy zagregowanych, rozładowujących się EV. W literaturze poruszono również podejście do wyceny usług V2X związane z wykorzystaniem taryf gwarantowanych FiT (ang. Feed-in-Tariff) [124]. Z artykułu [124] wynika, że satysfakcjonująca cena za rozładowanie pojazdu elektrycznego będzie wynosić w przybliżeniu tyle, co stawka dla wytwórców OZE – w przypadku tej pracy w przedziale 124 – 143 USD/MWh. Zwraca się jednak uwagę, że gwarantowana cena może nie być wystarczającym bodźcem do zachęcenia użytkowników EV do partycypacji w rynku usług V2G. Z kolei w publikacji [81], aby otrzymać cenę za rozładowanie EV do standardowych stawek taryfowych dla odbiorców końcowych dodano marżę wynikającą z różnicy między

średnią ceną sprzedaży energii w danej godzinie doby i średnią ceną taryfową. Zauważa się także możliwość wykorzystania specjalnych taryf powiązanych np. z redukcją zapotrzebowania [53], lub wykorzystaniem usług elastyczności [37, 87]. Kolejnym aspektem ekonomicznym poruszonym w literaturze jest wycena kosztów degradacji baterii EV wynikającej z realizacji usług V2X/G [109, 124, 141]. W pracach naukowych przeanalizowano również wpływ rozładowania EV na funkcjonowanie technologii V2B. W publikacji [139] natomiast przedstawiono zastosowanie technologii V2B na potrzeby kampusu uniwersyteckiego. Ciekawy aspekt został omówiony w [97], gdzie wykorzystano autobus szkolny na potrzeby realizacji technologii V2G. W pracy [80] zaprojektowano algorytm zarządzania energią elektryczną w domu jednorodzinnym z uwzględnieniem EV jako dodatkowego magazynu energii. Podobne rozwiązanie zaprezentowano także w [15, 144].

3. Badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X

3.1. Wprowadzenie

Ze względu na fakt, że zagadnienia dotyczące technologii V2G lub szerzej mówiąc V2X związane są z wieloma obszarami badawczymi m.in. technologicznym, ekonomicznym oraz społecznym, wydaje się sensowne, aby o słuszności wykorzystania pojazdów elektrycznych w realizacji tych technologii wypowiedzieli się ich użytkownicy oraz osoby planujące zakup tych pojazdów. Dotychczasowe badania opierały się głównie na zapytaniu respondentów, czy byliby w stanie uczestniczyć w rozładowaniu pojazdów w ramach technologii V2G, jakie są ich obawy oraz jakie mogłyby być potencjalne korzyści, które byliby w stanie otrzymać w zamian za rozładowanie swoich pojazdów [29, 48, 63, 64, 105]. Innym typem badań są szeroko dostępne ankiety dotyczące eksploatacji pojazdów elektrycznych w zakresie wykonywanych podróży [72, 73] i strategii ich ładowania lub rozładowania [8, 100]. Jednakże głównym celem ankiety przeprowadzonej w ramach badań przy realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej jest uzyskanie odpowiedzi, czy początkowe założenia do koncepcji programu usług V2G opisanych w [154] są realne do wykonania, w momencie gdy uwzględni się zachowania i przyzwyczajenia użytkowników pojazdów elektrycznych i spalinowych. Część wyników uzyskanych w badaniu ankietowym została już przedstawiona w autorskiej publikacji [152], jednakże w niniejszej rozprawie zaprezentowano rozszerzoną ich wersję, w której przedstawiono wyniki dla wszystkich pytań oraz uzyskano dodatkowe 26 odpowiedzi w stosunku do uprzednio już opublikowanych badań.

Jak podkreślono w [152] istotną kwestią jest dopasowanie właściwej grupy respondentów. Obecnie technologią V2X, w tym V2G interesuje się wąska grupa odbiorców, tj. właściciele pojazdów elektrycznych lub osoby związane z sektorem energetycznym. W związku z tym można zastanowić się, czy wstępne badania ankietowe powinny być przeprowadzane na grupie reprezentatywnej, czy też na grupie celowej. Zdaniem autora pracy odpowiedzi uzyskane od grupy celowej, tj. od właścicieli EV lub pracowników sektora elektroenergetycznego powinny pozwolić na ustanowienie pewnych warunków brzegowych, wokół których należy budować koncepcje rynku usług V2X/V2G (w dalszej części pracy: Program V2X). Taką grupę przyjęto również jako grupę celową w przeprowadzanych badaniach ankietowych. W przypadku uruchomienia pilotażowego programu usług będzie możliwe zebranie informacji zwrotnych od „zwykłych” użytkowników pojazdów elektrycznych i powtórzenie badania na reprezentatywnej grupie osób.

W związku z ograniczonymi możliwościami kontaktu między ludźmi spowodowanymi przez pandemię COVID-19, zdecydowano się na internetową formę badania ankietowego za pomocą narzędzia Microsoft Forms. Odpowiedni formularz został udostępniony na forach użytkowników pojazdów elektrycznych. Anonimowa ankieta została przeprowadzona w dniach 6 lipca 2021 r. – 30 sierpnia 2021 r. i składała się z 23 pytań zamkniętych jednokrotnego lub wielokrotnego wyboru. W ramach tej ankiety uzyskano 156 odpowiedzi. Należy także podkreślić, że przeprowadzone badania ankietowe nie stanowią głównego problemu badawczego omawianego w niniejszej rozprawie. Jednakże są one niezbędnym elementem, na podstawie którego opracowano metodykę obliczania prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X, o której mowa w rozdziałach 4 – 7.

W Tab. 3.1 przedstawiono podstawowe informacje o przeprowadzonej ankiecie, zaś w Tab. 3.2 przedstawiono listę pytań do respondentów, w podziale na te opisane w zasadniczej części niniejszej rozprawy (zaznaczone na zielono) oraz te, które zostały opisane w załączniku 1.

Tab. 3.1. Podstawowe informacje o przeprowadzonym badaniu ankietowym

Czas trwania ankiety	6 lipca 2021 – 30 sierpnia 2021
Forma badania	Anonimowa, internetowa – Microsoft Forms oraz papierowa
Liczba otrzymanych odpowiedzi	156
Miejsce publikacji ogłoszenia o ankiecie	Grupy na portalu Facebook¹: - Kierowcy samochodów elektrycznych w Polsce (liczba członków: 7 775); - Elektromobilność (liczba członków: 7 316); - Energetyka i nowe technologie (liczba członków: 15 778). Profile w mediach społecznościowych doktoranta: - Profil na portalu Facebook; - Profil na portalu LinkedIn. Inne: - Korespondencja mailowa do osób z branży.

Tab. 3.2. Spis pytań zadanych w przeprowadzonym badaniu ankietowym

Lp.	Pytanie	Łączna liczba respondentów	Pytanie jednokrotnego lub wielokrotnego wyboru	Uwagi
1.	Czy Pani/Pan interesuje się elektromobilnością i technologiami powiązanymi z nimi?	156	Jednokrotnego	
2.	Czy w Pani/Pana miejscu zamieszkania istnieje możliwość ładowania pojazdu elektrycznego?	156	Jednokrotnego	
3.	Czy w Pani/Pana miejscu pracy istnieje możliwość ładowania pojazdu elektrycznego?	156	Jednokrotnego	
4.	Czy posiada Pani/Pan obecnie prywatny samochód osobowy spalinowy?	156	Jednokrotnego	
5.	W jakich godzinach Pani/Pan najczęściej używa samochodu spalinowego?	106	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy odpowiedzieli „Tak” na pytanie (4)

¹ Stan liczby członków na dzień 09.03.2022 r.

Lp.	Pytanie	Łączna liczba respondentów	Pytanie jednokrotnego lub wielokrotnego wyboru	Uwagi
6.	Czy posiada Pani/Pan obecnie samochód elektryczny (BEV) lub hybrydę z możliwością ładowania z gniazda (PHEV)?	156	Jednokrotnego	
7.	W jakich godzinach Pani/Pan najczęściej używa samochodu elektrycznego?	51	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy wskazali w pytaniu (6), że posiadają EV
8.	Jeżeli Pani/Pan posiadał(a)by pojazd elektryczny, proszę wskazać miejsce ładowania, w którym najchętniej by Pani/Pan je wykonywał(a):	105	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy wskazali w pytaniu (6), że nie posiadają EV
9.	Proszę wskazać miejsce ładowania, w którym najchętniej Pani/Pan je wykonuje:	51	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy wskazali w pytaniu (6), że posiadają EV
10.	Czy jesteś zaznajomiona/y z zagadnieniem technologii Vehicle-to-Grid (V2G) lub Vehicle-to-everything (V2X)?	156	Jednokrotnego	
11.	Czy posiadając samochód elektryczny przystąpił(a)by Pani/Pan do programu V2G, polegającego na podłączaniu samochodu do domowej stacji ładowania na polecenie zewnętrznego operatora, a następnie rozładowaniu baterii do zadanego poziomu, w zamian za korzyści finansowe?	156	Jednokrotnego	
12.	W jakich godzinach był(a)by Pani/ Pan w stanie świadczyć usługę rozładowania pojazdu elektrycznego w przydomowej stacji ładowania?	126	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy odpowiedzieli „Tak” lub „Nie wiem” na pytanie (11)
13.	Czy posiadając samochód elektryczny przystąpił(a)by Pani/Pan do programu V2G, polegającego na przemieszczeniu się do punktu świadczenia usługi (np. zakład przemysłowy), podłączeniu samochodu do stacji ładowania na polecenie zewnętrznego operatora, a następnie rozładowaniu baterii do zadanego poziomu, w zamian za korzyści finansowe?	156	Jednokrotnego	
14.	W jakich godzinach był(a)by Pani/ Pan w stanie świadczyć usługę rozładowania pojazdu elektrycznego w innym punkcie niż przydomowa stacja ładowania?	63	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy odpowiedzieli „Tak” lub „Nie wiem” na pytanie (13)
15.	Jaką odległość był(a)by Pani/Pan w stanie pokonać aby dojechać do punktu świadczenia usługi?	63	Wielokrotnego	Tylko dla tych, którzy odpowiedzieli „Tak” lub „Nie wiem” na pytanie (13)
16.	Jaki rodzaj korzyści byłby dla Pani/Pana główną zachętą do przystąpienia do programu V2G?	156	Wielokrotnego	9 respondentów nie udzieliło odpowiedzi
17.	Czy w zamian za stałe miesięczne wynagrodzenie był(a)by Pani/Pan w stanie pełnić gotowość do rozładowania pojazdu elektrycznego w godzinach ustalonych przez operatora Programu V2G, będąc świadomym o potencjalnych karach za niewykonanie usługi?	156	Jednokrotnego	1 respondent nie udzielił odpowiedzi
18.	Czy w zamian za uzyskanie benefitu finansowego za pojedynczą akcję rozładowania był(a)by Pani/Pan w stanie świadczyć usługi rozładowania, nie ponosząc przy tym kar za niewykonanie usługi?	156	Jednokrotnego	2 respondentów nie udzieliło odpowiedzi
19.	Jaki impuls ekonomiczny skłoniłby Panią/Pana do podjęcia decyzji o rozładowaniu swojego pojazdu elektrycznego?	156	Wielokrotnego	13 respondentów nie udzieliło odpowiedzi

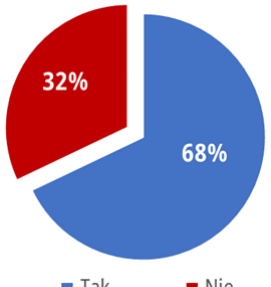
Lp.	Pytanie	Łączna liczba respondentów	Pytanie jednokrotnego lub wielokrotnego wyboru	Uwagi
20.	Czy w sytuacji krytycznej dla funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego tj. ryzyka wystąpienia dużej awarii systemowej był(a)by Pani/Pan gotowa/y do wykonania czynności, polegających na przyjechaniu w ustalone miejsce oraz udostępnieniu dostępnej energii zgromadzonej w akumulatorze do ratowania systemu elektroenergetycznego?	156	Jednokrotnego	
21.	Które z poniższych wymagań powinny być spełnione, żeby Pani/Pan przystąpiła/przystąpił do programu V2G?	156	Wielokrotnego	8 respondentów nie udzieliło odpowiedzi
22.	Jaki przedział liczby ludności odpowiada miejscowości, w której Pani/Pan przebywa przez większą część roku (min. 180 dni w ciągu roku)?	156	Jednokrotnego	
23.	Jaki przedział wynagrodzeń brutto odpowiada Pani/Pana aktualnym zarobkom miesięcznym?	156	Jednokrotnego	

3.2. Odpowiedzi ankietowanych na wybrane pytania

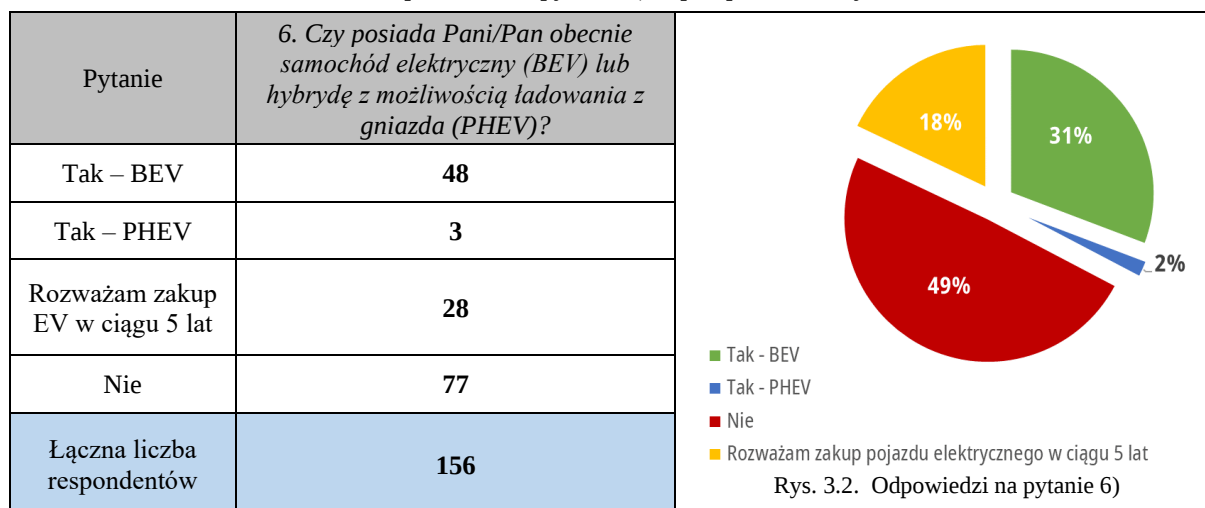
W niniejszym podrozdziale przedstawiono odpowiedzi ankietowanych na pytania, które w Tab. 3.2 zostały oznaczone kolorem zielonym. Wybór tych pytań był związany z koniecznością wykorzystania odpowiedzi w procesie tworzenia metodyk badawczych.

Pierwsze dwa analizowane pytania dotyczyły sprawdzenia, ile spośród ankietowanych posiada prywatny pojazd spalinowy, a ile posiada pojazd elektryczny. W Tab. 3.3 – Tab. 3.4 oraz na Rys. 3.1 i Rys. 3.2 przedstawiono odpowiedzi na te pytania.

Tab. 3.3. Odpowiedzi na pytanie 4) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	4. Czy posiada Pani/Pan obecnie prywatny samochód osobowy spalinowy?	 Rys. 3.1. Odpowiedzi na pytanie 4)
Tak	106	
Nie	50	
Łączna liczba respondentów	156	

Tab. 3.4. Odpowiedzi na pytanie 6) w przeprowadzanej ankiecie



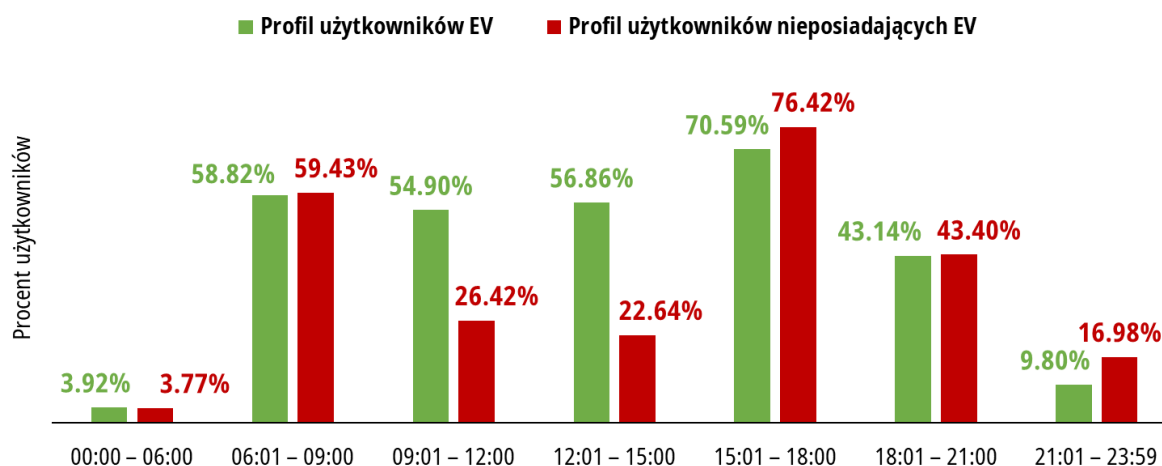
Na podstawie ww. tabel można stwierdzić, że większość ankietowanych (68%) posiada prywatny samochód spalinowy. Bardziej interesujące są odpowiedzi na pytanie 6. 33% wszystkich ankietowanych posiada bateryjny pojazd elektryczny (BEV) lub hybrydę z możliwością ładowania (PHEV). Jest to dobry prognostyk, zważywszy na to, że niecałe 20% ankietowanych jest zainteresowanych kupnem pojazdu elektrycznego w najbliższych 5 latach. Należy również wspomnieć, że wśród ankietowanych znajdują się osoby, które posiadają zarówno pojazd elektryczny jak i spalinowy. Było ich 27 ze 156 takich ankietowanych. W tej grupie jest również dwóch respondentów, z którymi przeprowadzono dodatkowe wywiady. Obaj stwierdzili, że pojazd elektryczny służy do przemieszczania się po terenach miejskich, natomiast samochód spalinowy ma zastosowanie w trasach. Ciekawą grupą respondentów są osoby, które rozważają zakup EV w ciągu kolejnych 5 lat. Należy podzielić tę grupę na dwa podzbiory. Pierwszy z nich zawiera tych ankietowanych, którzy posiadają pojazd spalinowy i planują zakup pojazdu elektrycznego. Taką chęć wskazało 24 ankietowanych, co stanowi około 15% wszystkich odpowiadających i aż 86% planujących zakup pojazdów elektrycznych. Drugi podzbiór charakteryzuje osoby, które nie posiadają samochodu spalinowego i planują zakup EV. Stanowią oni 2,5% wszystkich ankietowanych i 14% planujących zakup. Należy jednak podkreślić, że wśród tej grupy osób mogą być te, które posiadają już jeden EV i planują zakup kolejnego. Jednakże w polu komentarzy na końcu ankiety, nikt nie zostawił dodatkowej uwagi w tym zakresie. W porównaniu do analizy badania ankietowanego przeprowadzonego w [152], liczba osób, które planują zakup EV wzrosła o 2, co stanowi 8% nowych respondentów. Kolejne analizowane pytania dotyczą godzin, w których ankietowani poruszają się swoimi pojazdami. W pytaniu 5) lub 7) zapytano ich o ww. kwestię. Powyższe pytania były

dostępne tylko dla tych ankietowanych, którzy na pytania 4) lub 6) odpowiedzieli twierdząco. W Tab. 3.5 przedstawiono wyniki odpowiedzi dla pytań 5) i 7).

Tab. 3.5. Odpowiedzi na pytania 5) i 7) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	5. W jakich godzinach Pani/Pan najczęściej używa samochodu spalinowego?	7. W jakich godzinach Pani/Pan najczęściej używa samochodu elektrycznego?
00:00 – 06:00	4	2
06:01 – 09:00	63	30
09:01 – 12:00	28	28
12:01 – 15:00	24	29
15:01 – 18:00	81	36
18:01 – 21:00	46	22
21:01 – 23:59	18	5
Brak odpowiedzi	1	-
Łączna liczba respondentów	106	51

Należy wspomnieć, że wyniki przedstawione w Tab. 3.5 są podzielone względem zdefiniowanych uprzednio przedziałów czasowych. Zdecydowano się na takie rozwiązanie, aby ułatwić proces pozyskiwania odpowiedzi oraz późniejszą agregację danych od respondentów. Należy jednak zauważyć, że w przypadku tworzenia rozwiązań komercyjnych istotne jest, aby precyzyjnie zdefiniować godziny, w których użytkownicy pojazdów poruszają się po drogach. W niniejszej rozprawie podjęto wyłącznie próbę określenia profilu wykorzystania pojazdów przez potencjalnych uczestników świadczących usługi rozładowania pojazdów EV. Na podstawie wyników z Tab. 3.5 stworzono profil użytkowania pojazdów spalinowych i EV w poszczególnych przedziałach czasowych. Wyrażono go w formie procentowego udziału użytkowników danego typu pojazdów w poszczególnych godzinach. Profil został przedstawiony na Rys. 3.3.



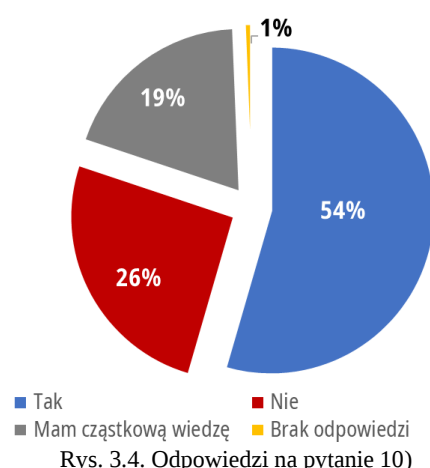
Rys. 3.3. Profil wykorzystania danego typu pojazdów w poszczególnych godzinach doby

Na podstawie Rys. 3.3 można stwierdzić, że w godzinach uznawanych za tzw. godziny szczytu komunikacyjnego użytkownicy pojazdów elektrycznych i spalinowych wykorzystują swoje pojazdy w podobny sposób. Można jednak zauważyć mniejszą regularność w codziennych podróżach użytkowników pojazdów elektrycznych, którzy chętniej korzystają z pojazdu w ciągu dnia. Największa różnica między procentem poruszających się użytkowników została zanotowana pomiędzy godziną 12:00 a 15:00.

Kolejne pytania ankiety szczegółowo omawiane w niniejszym rozdziale dotyczą już bezpośrednio technologii V2G/V2X. Pierwsze pytanie z tej grupy dotyczyło sprawdzenia stanu wiedzy respondentów w obszarze technologii V2G/V2X. Odpowiedzi na to pytanie zostały przedstawione w Tab. 3.6.

Tab. 3.6. Odpowiedzi na pytanie 10) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	10. Czy jesteś zaznajomiona/y z zagadnieniem technologii Vehicle-to-Grid (V2G) lub Vehicle-to-everything (V2X)?	
Tak	85	
Nie	40	
Mam częściową wiedzę	30	
Brak odpowiedzi	1	
Łączna liczba respondentów	156	

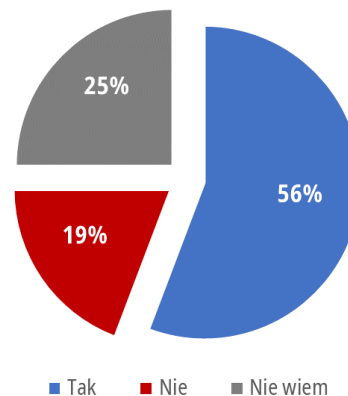


Na podstawie Tab. 3.6 można stwierdzić, że większość ankietowanych jest zaznajomiona lub ma pewną częściową wiedzę odnośnie do technologii V2G/V2X. Oznacza to, że grupa celowa, na której przeprowadzono badanie została dobrana w poprawny sposób. Wyniki są również dość interesujące z innego powodu. W przestrzeni publicznej nieczęsto słyszy się o potencjale jaki mogą zaoferować pojazdy elektryczne pełniąc funkcję mobilnych magazynów energii, jednak wyniki ankiety wskazują, że przynajmniej w grupie zainteresowanych wiedza o tym zagadnieniu jest utrwalona. W tym miejscu warto także przeanalizować poszczególne odpowiedzi w tym zakresie. Aż 41 z 51 ankietowanych, którzy posiadają EV są zaznajomieni z technologią V2X/V2G. Kolejne pytania, dotyczące koncepcji wykorzystania baterii pojazdów elektrycznych na potrzeby zasilania odbiorców końcowych i wsparcia OSD, pozwalają na ocenę, czy użytkownicy pojazdów chcieliby świadczyć je we własnych domach, czy byliby skłonni dojechać w tym celu w inne miejsce. W Tab. 3.7

przedstawiono odpowiedzi na pytanie dot. świadczenia usług V2G/V2X we własnym gospodarstwie domowym.

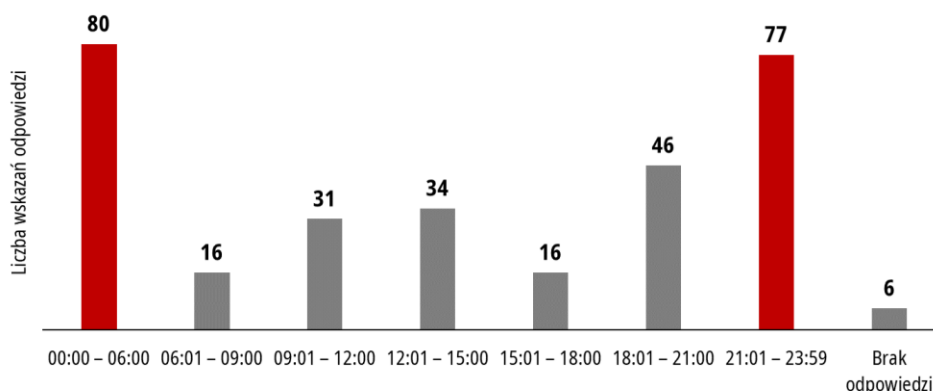
Tab. 3.7. Odpowiedzi na pytanie 11) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie		
	11. Czy posiadając samochód elektryczny przystąpił(a)by Pani/Pan do programu V2G, polegającego na podłączeniu samochodu do domowej stacji ładowania na polecenie zewnętrznego operatora, a następnie rozładowaniu baterii do zadanego poziomu, w zamian za korzyści finansowe?	
Tak	87	
Nie	30	
Nie wiem	39	
Łączna liczba respondentów	156	



Rys. 3.5. Odpowiedzi na pytanie 11)

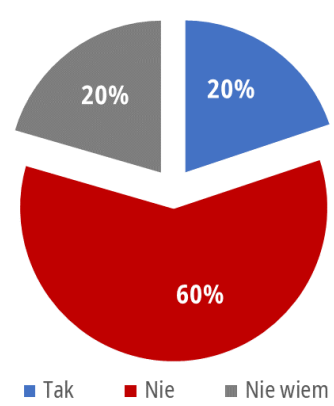
Na podstawie Tab. 3.7 można stwierdzić, że większość respondentów byłaby zainteresowana świadczeniem usług V2G/V2X w domu. W tym miejscu należy podkreślić, że rozładowanie odbywałoby się na polecenie zewnętrznego operatora. Jest to o tyle ważne, że zaangażowanie zewnętrznego operatora odróżnia koncepcję wykorzystania EV na potrzeby własne gospodarstwa domowego (V2H) od tego na potrzeby systemu dystrybucyjnego (V2G) lub innego odbiorcy (V2X). Mając na uwadze powyższe można stwierdzić, że przyszły operator usług V2G/V2X mógłby rozważyć wprowadzenie do swojego portfela usług, które pozwalałyby na regulację pewnych parametrów systemu dystrybucyjnego w sposób rozproszony. Stanowi to też podstawę do tworzenia zasobów pod możliwość świadczenia usług elastyczności. Na Rys. 3.6 przedstawiono odpowiedzi na pytanie dot. godzin świadczenia takiej usługi.



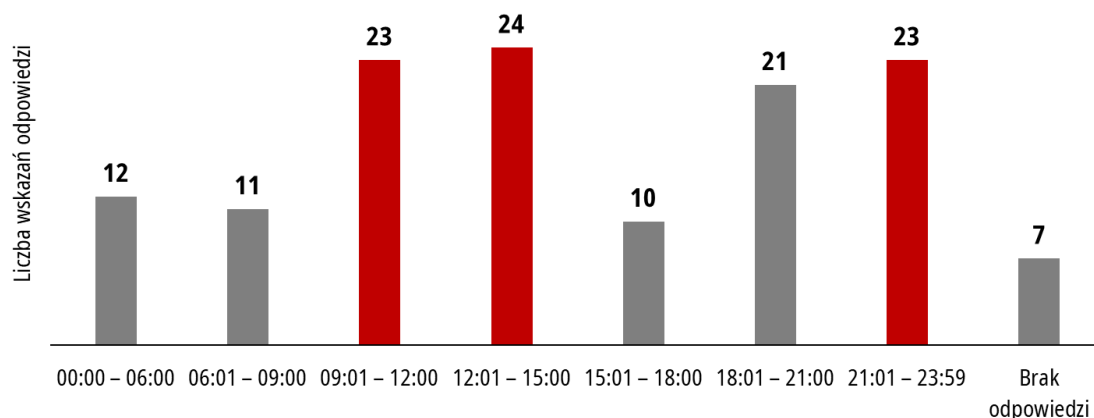
Rys. 3.6. Odpowiedzi na pytanie 12)

Na podstawie Rys. 3.6 można stwierdzić, że najczęściej wybieranymi były godziny wieczorne (21:01 – 23:59) oraz nocne (00:00 – 06:00). Należy zwrócić uwagę na dużą różnicę między najpopularniejszymi a najmniej wybieranymi godzinami. Można także zauważyć, że odpowiedzi na pytanie 12) są powiązane z profilem wykorzystania pojazdów z Rys. 3.3. W godzinach, kiedy użytkownicy nie korzystają ze swoich pojazdów byłiby w stanie świadczyć takie usługi. Oznacza to też, że w czasie kiedy respondenci nie wykorzystują swoich samochodów z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że pozostają w swoich domach. Kolejne pytanie w obszarze świadczenia usług V2X/V2G dotyczy możliwości ich świadczenia w innym miejscu niż gospodarstwo domowe – co wymaga przemieszczenia się. W Tab. 3.8 przedstawiono odpowiedzi na to pytanie.

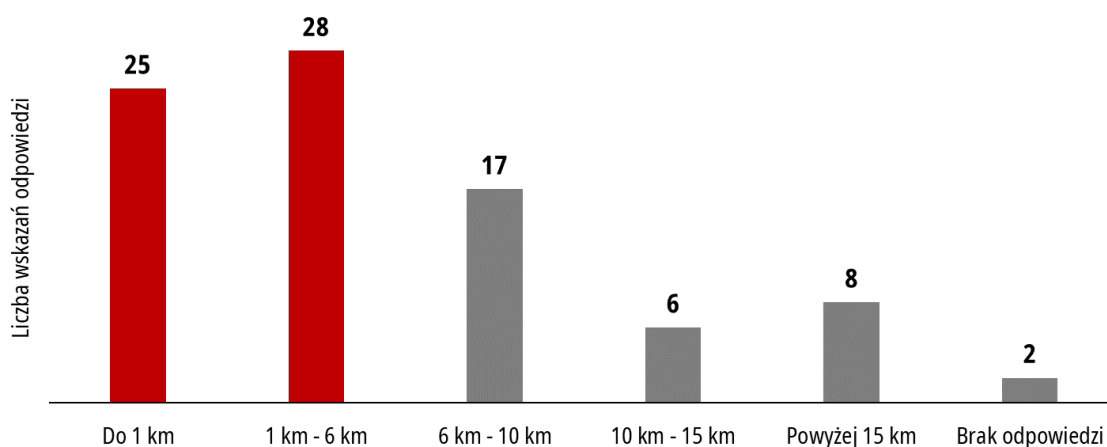
Tab. 3.8. Odpowiedzi na pytanie 13) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	<i>13. Czy posiadając samochód elektryczny przystąpił(a)by Pani/Pan do programu V2G, polegającego na przemieszczeniu się do punktu świadczenia usługi (np. zakład przemysłowy), podłączeniu samochodu do stacji ładowania na polecenie zewnętrznego operatora, a następnie rozładowaniu baterii do zadanego poziomu, w zamian za korzyści finansowe?</i>	
Tak	31	 ■ Tak ■ Nie ■ Nie wiem Rys. 3.7. Odpowiedzi na pytanie 13)
Nie	93	
Nie wiem	32	
Łączna liczba respondentów	156	

Na podstawie Tab. 3.8 można stwierdzić, że chęć do świadczenia usług V2G/V2X w innym miejscu niż własne gospodarstwo domowe jest znacznie mniejsza. Aż 60% ankietowanych nie chciałoby świadczyć takich usług, a zaledwie 20% byłoby skłonne je wykonywać. Odpowiedzi na to pytanie powinny skłonić przyszłych usługodawców do głębszej analizy modelu biznesowego oraz zaproponowania korzystnych warunków świadczenia usług. Należy w związku z tym zintensyfikować działania promocyjne pojazdów elektrycznych oraz ich roli w zrównoważonej transformacji energetycznej Polski. Ankietowani, którzy odpowiedzieli na pytanie 13) „Tak” lub „Nie wiem” zostali poproszeni o wskazanie godzin, w których mogliby świadczyć usługi V2X/V2G w innej niż docelowej lokalizacji oraz maksymalnej odległości jaką byłiby w stanie pokonać do punktu świadczenia usługi. Odpowiedzi na te pytania zostały przedstawione na Rys. 3.8 i Rys. 3.9.



Rys. 3.8. Odpowiedzi na pytanie 14)



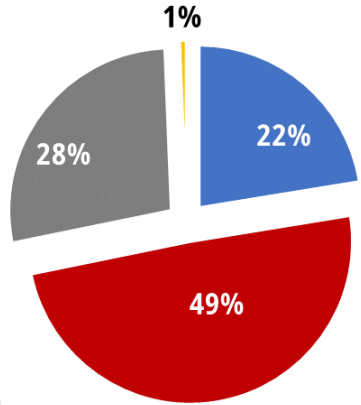
Rys. 3.9. Odpowiedzi na pytanie 15)

Na podstawie Rys. 3.8 można stwierdzić, że rozkład godzin, w których użytkownicy pojazdów mogliby świadczyć usługi V2X/V2G jest inny niż w przypadku świadczenia usług w gospodarstwie domowym. Liczba odpowiedzi dla trzech przedziałów czasowych jest zbliżona. Co ciekawe największa liczba wskazań została odnotowana dla przedziału 12:01 – 15:00. Może być to związane z większą mobilnością tych użytkowników pojazdów. Z punktu widzenia elektroenergetyki warto podkreślić, że ww. przedział czasowy odpowiada także największym wartościom zapotrzebowania na moc w sezonie letnim. Również dla przedziału czasowego 15:01 – 18:00 odnotowano dość dużą liczbę odpowiedzi, a ten przedział czasowy odpowiada chwili, w której odnotowuje się maksymalne wartości zapotrzebowania na moc w sezonie zimowym. Są to dobre prognozy dla OSP, który mógłby w przyszłości wykorzystywać potencjał EV do pokrycia zapotrzebowania na moc w systemie. Z punktu widzenia OSP duża liczba odpowiedzi dot. przedziału czasowego 21:01 – 23:59 jest także

sygnałem, że można byłoby regulować zapotrzebowanie poprzez elastyczne ładowanie pojazdów i stopniowe zmniejszanie nocnej doliny zapotrzebowania na moc. Zarówno OSP, jak i OSD powinni zwrócić uwagę, że w EV jest duży potencjał do realizacji usług systemowych lub elastyczności. Należy też brać pod uwagę odpowiedzi na pytanie 15), które zostały przedstawione na Rys. 3.9. Na podstawie tego rysunku można stwierdzić, że usługi muszą być projektowane w taki sposób, aby odległość którą muszą przebyć użytkownicy pojazdów była nie większa niż kilka kilometrów. W związku z tym w dalszej części rozprawy zaproponowano mechanizm polegający na podziale rozpatrywanego obszaru na strefy względem punktu świadczenia usługi.

Kolejne pytania w zakresie chęci przystąpienia do programu usług V2X/V2G były skierowane do wszystkich respondentów i dotyczyły trybu świadczenia usługi. W pytaniu 17) zapytano ankietowanych, czy byliby w stanie pełnić gotowość do realizacji usług i wykonywać je w zamian za pewne stałe wynagrodzenie miesięczne. Odpowiedzi na to pytanie zawarto w Tab. 3.9.

Tab. 3.9. Odpowiedzi na pytanie 17) w przeprowadzanej ankiecie

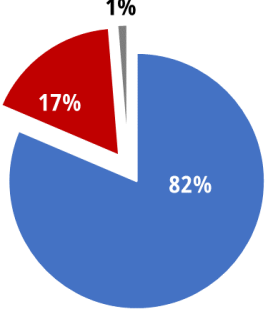
Pytanie	17. Czy w zamian za stałe miesięczne wynagrodzenie był(a)by Pani/Pan w stanie pełnić gotowość do rozładowania pojazdu elektrycznego w godzinach ustalonych przez operatora Programu V2G, będąc świadomym o potencjalnych karach za niewykonanie usługi?	
Tak	35	 ■ Tak ■ Nie ■ Tak, ale posiadając inne dodatkowe benefity ■ Brak odpowiedzi
Tak, ale posiadając inne dodatkowe benefity	43	
Nie	77	
Brak odpowiedzi	1	
Łączna liczba respondentów	156	

Rys. 3.10. Odpowiedzi na pytanie 17)

Na podstawie Tab. 3.9 można stwierdzić, że użytkownicy pojazdów mogliby rozważyć udział w programie świadczenia usług V2X w trybie, kiedy otrzymywaliby opłatę za gotowość. Jest to o tyle ciekawe, że wiąże się z dużym zaangażowaniem w realizację obowiązków wobec usługodawcy. Prawie 30% ankietowanych stwierdziło, że nie tylko wynagrodzenie miesięczne byłoby zachęcające do pojęcia się takich działań, ale również usługodawca musiałby zapewnić inne benefity. Ankietowani wskazali je w pytaniu 16), które zostało opisane w Załączniku 1. Drugie pytanie dotyczące trybu realizacji usług miało na celu sprawdzenie ilu ankietowanych

byłoby w stanie realizować usługi V2X/V2G bez kar za niewykonanie usługi. Wyniki przedstawiono w Tab. 3.10.

Tab. 3.10. Odpowiedzi na pytanie 18) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	18. Czy w zamian za uzyskanie benefitu finansowego za pojedynczą akcję rozładowania był(a)by Pani/Pan w stanie świadczyć usługi rozładowania, nie ponosząc przy tym kar za niewykonanie usługi?	
Tak	127	 ■ Tak ■ Nie ■ Brak odpowiedzi Rys. 3.11. Odpowiedzi na pytanie 18)
Nie	27	
Brak odpowiedzi	2	
Łączna liczba respondentów	156	

Na podstawie Tab. 3.10 można stwierdzić, że znaczna większość byłaby w stanie dobrowolnie świadczyć usługi V2X/V2G, bez ponoszenia odpowiedzialności za brak ich realizacji. Niestety ten model może okazać się problematyczny dla usługodawcy, który potrzebuje uzyskać zadany poziom pewności realizacji usługi. Należy zatem w tym zakresie poszukać pewnego kompromisu pomiędzy brakiem kar dla potencjalnych uczestników za nie podjęcie się realizacji usługi V2X a zagwarantowaniem usługobiorcy, że taka usługa zostanie wykonana.

Pozostałe pytania ankietowe, które uprzednio przedstawiono w Tab. 3.2, zostały opisane w Załączniku 1 do niniejszej rozprawy.

4. Koncepcja programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznych

4.1. Podstawowe informacje o Programie V2X

Zgodnie z przedstawionymi w podrozdziale 2.3 regulacjami prawnymi w obszarze magazynowania energii elektrycznej oraz technologii pojazd - wszystko (ang. Vehicle-to-everything – V2X) nie ma bezpośredniej możliwości świadczenia usług systemowych polegających na udostępnieniu pojemności baterii pojazdu elektrycznego na potrzeby systemu dystrybucyjnego lub przesyłowego. Jediną szansą na wprowadzenie takich usług byłoby uruchomienie rynku usług elastyczności, który jest przedmiotem proponowanej nowelizacji Ustawy Prawo Energetyczne. W związku z tym, że prace legislacyjne w obszarze usług elastyczności sieci są na początkowym etapie, można nakreślić całkowicie nowy obszar rynku energii – rynku usług V2X, który mógłby stanowić część większego rynku usług elastyczności. Należy także podkreślić, że bez względu na odbiorcę usług (OSD, odbiorca końcowy itp.) każde działanie polegające na udostępnieniu pojemności baterii pojazdu elektrycznego powinno być traktowane jako nowy zasób elastyczności systemu elektroenergetycznego, jednakże należy odróżnić usługi świadczone bezpośrednio usługobiorcom od tych świadczonych dla OSD, które będą wymagały utworzenia nowego otoczenia prawnego, tj. rynku usług elastyczności. Stąd też kluczowe jest odróżnienie „zasobów elastyczności” od „usług elastyczności”. Te pierwsze są szerszym pojęciem i skupiają wszelkie działania mające na celu bezpośrednio lub pośrednio usprawnienie pracy systemu elektroenergetycznego. Drugie pojęcie dotyczy usług świadczonych przez poszczególne podmioty przyłączone do systemu elektroenergetycznego dla OSD.

W niniejszym rozdziale zaprezentowano rozważania uprzednio analizowane w publikacjach [152, 154], które zostały ujednolicone oraz poszerzone o nowe autorskie elementy. Warto zauważyć, że wstępne wyniki oraz definicje zostały przedstawione na seminarium Szkoły Głównej Handlowej pt. „*Szkoła Energii*”, jednakże zostały one również zmodyfikowane o kolejne elementy poprawiające czytelność i dokładność stosowanych pojęć [157]. W dalszej części rozprawy mechanizm rynkowy udostępniania pojemności baterii EV został nazwany *Programem V2X*. Należy podkreślić, że co do zasady nie ma dużych różnic w przepływie energii elektrycznej pomiędzy pojazdem elektrycznym a siecią elektroenergetyczną odbiorcy końcowego komercyjnego, gospodarstwa domowego lub innego wybranego punktu w systemie dystrybucyjnym. W publikacjach [152, 154] powyższy mechanizm rynkowy określany był jako *Program V2G*. W rozprawie doktorskiej postanowiono

ujednolicić nazewnictwo tego rodzaju usług, stosując bardziej ogólną formę świadczenia usług rozładowania pojazdów elektrycznych. Należy jednak pamiętać, że omawiane w niniejszej rozprawie usługi dotyczą tych, które są wyłącznie świadczone przez niezależne przedsiębiorstwo energetyczne specjalizujące się w agregacji floty pojazdów elektrycznych oraz rozliczaniu usług rozładowania EV. Warto także podkreślić, że wykonana koncepcja Programu V2X stanowi również autorską modyfikację raportu wykonanego dla firmy Stoen Operator w 2019 r. [138]. W powyższym dokumencie skupiono się na konstrukcji założeń pod realizację usług V2X/G dla OSD [138]. Po dokładnym przeanalizowaniu możliwości prawnych, technicznych i ekonomicznych postanowiono poszerzyć zakres usługobiorców również o odbiorców końcowych oraz rozszerzyć pojęcie świadczenia usług V2X o wykorzystanie ich w rynku usług elastyczności.

Zatem, w celu ułatwienia analiz wprowadzono następujące definicje:

- 1) **Program V2X** – mechanizm polegający na wykorzystaniu pojazdów elektrycznych w celu powiększenia zasobów elastyczności systemu elektroenergetycznego, w tym poprawy parametrów pracy sieci elektroenergetycznej lub/i poprawy bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorcy końcowego;
- 2) **Dostawca usług V2X (V2Xsp)** – przedsiębiorstwo energetyczne w rozumieniu art. 3 pkt 12) Ustawy Prawo Energetyczne, zajmujące się obrotem energii elektrycznej pochodzącej z baterii pojazdów elektrycznych w ramach Programu V2X, eksploatacją dwukierunkowych stacji ładowania EV oraz rozliczeniem wykonania usług rozładowania EV na obszarze jego działania;
- 3) **Obszar działania Dostawcy Usług V2X (G)** – obszar zlokalizowany na terenie jednego powiatu, określony za pomocą siatki kwadratowej o długości boku jeden kilometr;
- 4) **Pojazd elektryczny V2X (uEV)** – pojazd elektryczny w rozumieniu art. 2 pkt 12) Ustawy o Elektromobilności i Paliwach Alternatywnych, posiadający możliwość świadczenia usług udostępnienia pojemności swojej baterii na potrzeby odbiorcy końcowego lub Operatora Systemu Dystrybucyjnego, będący aktywnym elementem Programu V2X;
- 5) **Uczestnik Programu V2X (V2Xus)** – właściciel Pojazdu elektrycznego V2X lub floty Pojazdów elektrycznych V2X, zajmujący się świadczeniem usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorcy końcowego lub Operatora Systemu Dystrybucyjnego;
- 6) **Usługa V2X** – proces podejmowany przez Uczestnika Programu V2X polegający na wykorzystaniu Pojazdu elektrycznego V2X, jako mobilnego magazynu energii, w celu zwiększenia zasobów elastyczności systemu elektroenergetycznego, poprzez poprawę

parametrów pracy systemu elektroenergetycznego lub zapewnieniu odbiorcy końcowemu ciągłości dostaw energii elektrycznej;

7) **Usługobiorcy usług V2X** – przedsiębiorstwa lub osoby fizyczne korzystające z Usług V2X, jako formy zabezpieczenia ciągłości dostaw energii elektrycznej lub wykorzystania Pojazdów elektrycznych V2X do poprawy parametrów pracy systemu elektroenergetycznego;

8) **Usługa harmonogramowana V2X** – usługa V2X, której wykonanie usługobiorcy zlecają dla konkretnego terminu, z określonym wyprzedzeniem czasowym.

W szczególności są to okresy, dla których:

- a. planowane są wyłączenia zasilania z systemu elektroenergetycznego,
- b. prognozowane jest zwiększone zapotrzebowanie na moc i energię elektryczną,
- c. OSP lub OSD z wyprzedzeniem nałoży ograniczenia sieciowe oraz
- d. będą istniały przesłanki do wykorzystania *Pojazdów elektrycznych V2X* przez dostawców mocy w procesach na rynku mocy;

9) **Usługa interwencyjna V2X** – usługa V2X, której wykonanie usługobiorcy zlecają, bez zadanego wyprzedzenia czasowego, w przypadku wystąpienia przerwy w dostawach energii elektrycznej lub nagłego wystąpienia zakłócenia uniemożliwiającego normalną pracę sieci lub instalacji usługobiorcy;

10) **Odbiorca końcowy V2X (EndUs)** – odbiorca końcowy energii elektrycznej w rozumieniu art. 3 pkt 13) Ustawy Prawo Energetyczne, który zdecydował się na wykorzystanie Pojazdów elektrycznych V2X jako mobilnego magazynu energii elektrycznej w czasie planowanych i nieplanowanych przerw w dostawach energii elektrycznej lub w czasie nałożonych przez właściwego operatora systemu ograniczeń poboru mocy z sieci elektroenergetycznej;

11) **Ofertowanie early-bid** – proces składania ofert w ramach Usługi V2X świadczonej dla odbiorcy końcowego lub Operatora Systemu Dystrybucyjnego, który dotyczy wszystkich Uczestników Programu V2X posiadających Pojazdy elektryczne V2X, znajdujących się w obszarze działania Dostawcy Usług V2X, kończący się z założonym przez Dostawcę Usług V2X wyprzedzeniem czasowym przed okresem świadczenia Usługi V2X ,określonym w Kontrakcie V2X;

12) **Ofertowanie strefowe** – proces składania ofert przez Uczestników Programu V2X w ramach Usługi V2X świadczonej dla odbiorcy końcowego lub Operatora Systemu Dystrybucyjnego, w którym dokonuje się podziału Obszaru działania Dostawcy Usług

V2X na strefy obszarowe zależne od lokalizacji odbiorcy końcowego lub punktu świadczenia usługi w systemie Operatora Systemu Dystrybucyjnego;

- 13) ***Tryb obowiązkowy*** – tryb świadczenia usługi V2X przez Uczestników Programu V2X za pomocą Pojazdów elektrycznych V2X, uregulowany Kontraktem V2X, w którym otrzymuje się wynagrodzenie za pozostawianie w gotowości do udostępnienia pojemności baterii EV oraz bezwarunkowe świadczenie usługi na żądanie Dostawcy Usług V2X pod rygorem zapłaty kar z tytułu braku reakcji na ww. żądanie oraz niewykonania usługi w miejscu jej świadczenia;
- 14) ***Tryb opcjonalny*** – tryb świadczenia usługi V2X przez Uczestników Programu V2X za pomocą Pojazdów elektrycznych V2X, uregulowany Kontraktem V2X, w którym otrzymuje się wynagrodzenie za wykonaną czynność udostępnienia pojemności baterii EV, pod rygorem zapłaty kar z tytułu niewykonania usługi w miejscu jej świadczenia, po uprzednim zaakceptowaniu oferty od Dostawcy Usług V2X;
- 15) ***Kontrakt V2X*** – umowa regulująca proces świadczenia usług V2X, zawierająca w szczególności informacje dotyczące: wielkości wynagrodzenia i kar, trybu świadczenia usługi, procesu składania ofert oraz obowiązków Uczestnika Programu V2X; zawierana z Dostawcą Usług V2X na okres co najmniej jednego roku.

Z wykorzystaniem powyższych definicji można sformułować podstawowe zasady działania rynku usług V2X tj. Programu V2X. Produktem oferowanym przez Uczestników Programu V2X (V2Xus) jest określony wolumen energii elektrycznej pochodzącej z baterii pojazdu elektrycznego V2X (uEV). Produkt ten jest udostępniany na żądanie Dostawcy Usług V2X w czasie i miejscu określonym przez usługobiorcę usług V2X (dalej: usługobiorcy), tj. odbiorcę końcowego V2X (EndUs) lub Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD). Punktem rozliczenia usługi jest dwukierunkowy punkt ładowania (dalej: punkt ładowania V2X lub EVSE_{V2X}), który należy do usługobiorcy lub do V2Xsp, przy czym procesy związane z zarządzaniem i eksploatacją takiego punktu są tylko w gestii V2Xsp. Dostawca Usług V2X byłby także odpowiedzialny za stworzenie systemu teleinformatycznego przeznaczonego do zarządzania, nadzoru oraz rozliczeń Programu V2X. Dodatkowo ww. system powinien posiadać aplikację dla Uczestnika Programu V2X oraz usługobiorcy, którzy za jej pomocą będą definiować parametry produktu lub ofert. W przypadku aplikacji dla V2Xus konieczne jest, aby posiadała ona trzy główne funkcjonalności:

- monitorowała parametry pojazdu elektrycznego, m.in. poziom naładowania baterii (SOC), lokalizację, prędkość pojazdu, zużycie energii²,
- umożliwiała wprowadzenie danych dot. świadczonej usługi takich jak np. minimalny poziom naładowania baterii po zakończeniu jej realizacji,
- umożliwiała otrzymywanie powiadomień o wezwaniach (tryb obowiązkowy) lub prośbach (tryb opcjonalny) do wykonania usługi V2X.

W przypadku aplikacji dla EndUs i OSD konieczne jest, aby aplikacja posiadała następujące funkcjonalności:

- możliwość definiowania produktu,
- możliwość ustalenia harmonogramu świadczenia usług,
- niezależny od ich układów zasilania system łączności z serwerami V2Xus,
- możliwość edycji parametrów obiektów w zakresie m.in.: dodania lub usunięcia punktów ładowania V2X, zgłoszenia awarii punktu ładowania V2X, obliczania zapotrzebowania na moc i energię obiektu.

Mechanizmy usług udostępnienia pojemności baterii EV mogą stanowić szeroko dostępne rozwiązania rynkowe, w których uczestnicy, jak również Dostawcy Usług V2X będą ze sobą konkurować. Istotną kwestią jest także fakt, że należy zachować wszelkie zasady konkurencyjności. Omawiane w niniejszej rozprawie założenia do funkcjonowania Programu V2X są tylko propozycją jednego podejścia do tego problemu, jednak należy pamiętać, aby umożliwić w danym obszarze, np. wyżej wspomnianego jednego powiatu, funkcjonowanie kilku Programów V2X równocześnie. W związku z tym istotną rolę w tym procesie pełniłby regulator polskiego rynku energii, tj. Urząd Regulacji Energetyki (URE). To na nim spoczywałaby odpowiedzialność za zapewnienie równości w traktowaniu każdego z dostawców usług oraz uczestników ich Programów V2X.

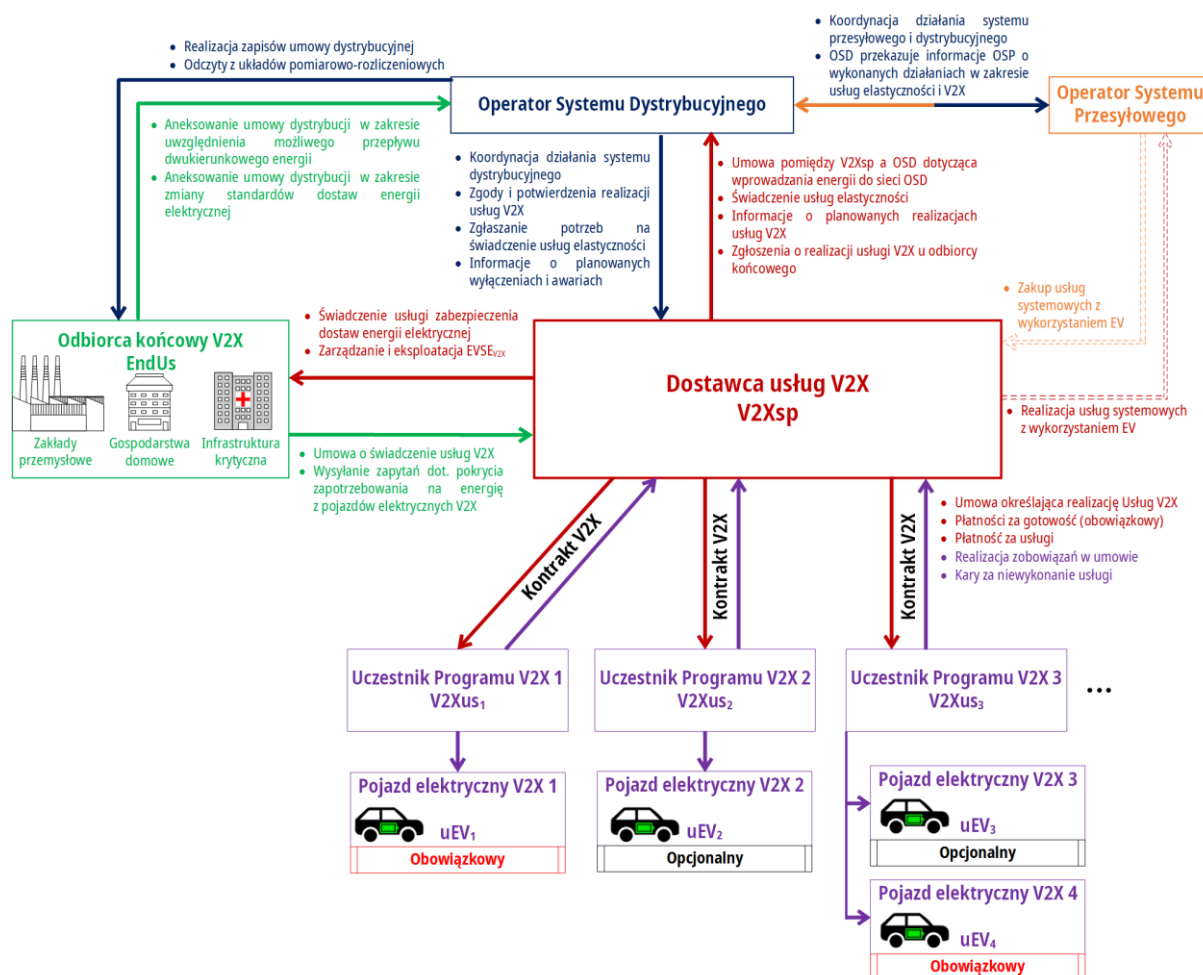
W kolejnych podrozdziałach omówiona zostanie struktura podmiotowa Programu V2X oraz przedstawiony zostanie koszyk usług wraz z szczegółową charakterystyką produktu.

4.2. Struktura podmiotowa Programu V2X

Niezwykle istotnym problemem, z którym należy się zmierzyć projektując rynek usług V2X jest dopasowanie oczekiwanych ról poszczególnych uczestników (graczy) do istniejących

² Dane pozyskiwane byłyby ze specjalnego urządzenia montowanego w pojeździe elektrycznym V2X – przykładowe urządzenie: <https://www.csselectronics.com/pages/electric-vehicle-data-logger-cloud-battery-telematics>

regulacji prawnych, np. rola OSD w procesie świadczenia usług V2X w świetle spełnienia przepisów Dyrektywy PE 944/2019 [102]. W związku z tym należy opracować szereg wzajemnych relacji pomiędzy uczestnikami, tak aby zachować zgodność z najważniejszymi aktami prawnymi. Na Rys. 4.1 przedstawiono schemat relacji pomiędzy podmiotami w Programie V2X.



Rys. 4.1. Relacje pomiędzy podmiotami uczestniczącymi w Programie V2X

Na podstawie Rys. 4.1 można stwierdzić, że główną rolę w kształtowaniu rynku usług V2X powinien posiadać Dostawca Usług V2X (V2Xsp). Jego zadaniem jest kontraktowanie zarówno właścicieli pojazdów elektrycznych (wykonawców usług), jak również odbiorców końcowych, których dostawy energii elektrycznej byłyby zabezpieczane za pomocą energii pochodzącej z baterii pojazdów elektrycznych. Z punktu widzenia przedsiębiorstwa energetycznego V2Xsp powinien posiadać zbliżoną strukturę organizacyjną do tych występujących w spółkach dystrybucyjnych. Jednakże ze względu na dość specyficzny charakter świadczenia usług (harmonogramowane i interwencyjne – szczegółowo omówione

w podrozdziale 4.3) proponuje się, aby V2Xsp posiadał w swojej strukturze specjalną jednostkę szybkiego reagowania (QRU – ang. Quick Response Unit), której praca dotyczyłaby wyłącznie obsługi wybranych usług interwencyjnych. Tworząc fundamenty rynku usług V2X należy pamiętać o konieczności uwzględnienia w nich roli OSD. Warto wspomnieć, że zadania przewidziane dla V2Xsp pokrywają się z tymi, które realizują spółki obrotu energią elektryczną, jednakże dotyczą one wyłącznie handlu energią bez uwzględnienia ewentualnych zmian punktów pracy systemu elektroenergetycznego. W związku z tym rola OSD w procesie kształtowania Programu V2X jest kluczowa, gdyż to właśnie OSD koordynuje ruch sieciowy w lokalnej sieci dystrybucyjnej. Oznacza to, że każdy proces wprowadzenia energii do sieci, bądź też redukcji zapotrzebowania powinien odbywać się w porozumieniu z OSD lub OSP. Pojawia się w takim razie pytanie, dlaczego OSD nie mógłby pełnić roli Dostawcy Usług V2X. Ze względu na charakterystykę polskiego rynku energii, podsektor dystrybucyjny jest rozdzielony od podsektora obrotu. Ponadto, zgodnie z art. 33 ust. 2 Dyrektywy PE 944/2019, OSD nie mogą posiadać, zarządzać ani eksploatować punktów ładowania pojazdów elektrycznych, z wyjątkiem tych na własny użytek [102]. Wspominano o tym problemie już w rozdziale 2 niniejszej rozprawy, w czasie analizy stanu prawnego dot. magazynowania energii elektrycznej oraz elektromobilności. Na Rys. 4.1 pozostawiono też możliwość świadczenia usług przez Dostawcę Usług V2X na rzecz Operatora Systemu Przesyłowego. W tym miejscu należy podkreślić, że w przypadku znaczących zmian w Warunkach Dotyczących Bilansowania powinna istnieć możliwość włączenia usług V2X do katalogu usług systemowych. Ponadto, usługi V2X mogą stanowić dodatkowe zasoby w dalszych etapach rozwoju usług redukcji zapotrzebowania lub mechanizmów mocowych. Należy także jeszcze raz podkreślić, że założeniem wprowadzenia Programu V2X do polskiego rynku energii byłoby oddanie URE kompetencji w zakresie dbania o transparentność prowadzenia działalności przez Dostawcę Usług V2X oraz rozstrzyganie sporów pomiędzy podmiotami. W Tab. 4.1 przedstawiono zbiorcze zestawienie ról i obowiązków poszczególnych podmiotów w ramach Programu V2X.

Tab. 4.1. Podmioty i ich role w Programie V2X – na podstawie [138]

Nazwa podmiotu	Rola w Programie V2X	Potencjalni gracze	Uwagi
Dostawca Usług V2X	- Zarządzanie systemem sterowania i nadzoru ruchu pojazdów elektrycznych V2X - Serwisowanie punktów EVSE_{V2X} - Rozliczanie wykonania usług V2X - Poszukiwanie pojazdów V2X - Kontraktowanie właścicieli pojazdów V2X	- Spółka obrotu energią elektryczną - Dostawca usług ładowania w rozumieniu Ustawy o Elektromobilności - Operatorzy ogólnodostępnych stacji ładowania - Inne przedsiębiorstwa z branży energetycznej	Ze względu na charakter działalności polegający na obrocie energią elektryczną konieczne jest posiadanie koncesji na obrót energią elektryczną, przyznawaną na zasadach opisanych w Ustawie Prawo Energetyczne
Uczestnik Programu V2X	- Udostępnianie pojazdów elektrycznych V2X w celu świadczenia usług V2X - W trybie obowiązkowym pozostawanie w stanie gotowości do świadczenia usług - Realizacja kontraktu V2X	- Właściciele pojazdów elektrycznych - Właściciele flot pojazdów elektrycznych - Niezależni agregatorzy pojazdów elektrycznych	
Odbiorca końcowy V2X	- Składanie ofert na zabezpieczony wolumen energii elektrycznej z Programu V2X - Utrzymywanie dostępności stanowisk postojowych przy punktach ładowania V2X - Udostępnianie punktów ładowania V2X na potrzeby świadczenia usług elastyczności dla OSD	- Zakłady przemysłowe - Centra handlowe - Budynki biurowe - Gospodarstwa domowe - Obiekty infrastruktury krytycznej	Odbiorca końcowy V2X może posiadać własne punkty ładowania V2X, przy czym muszą przejść one proces certyfikacji na polecenie Dostawcy Usług V2X
Operator Systemu Dystrybucyjnego	- Kontrolowanie wprowadzanej energii elektrycznej do sieci dystrybucyjnej lub realizowanych redukcji zapotrzebowania - Monitorowanie ruchu sieciowego w czasie świadczenia usług V2X - Zlecanie Dostawcy Usług V2X usług elastyczności świadczonych za pomocą pojazdów elektrycznych V2X - Przekazywanie informacji dot. planowanych przerw w dostawach energii elektrycznej i stosowanych ograniczeniach sieciowych	Właściwy OSD dla regionu	Wymagane jest prawne uregulowanie relacji między OSD a Dostawcą Usług V2X
Operator Systemu Przesyłowego	- Potencjalne zlecanie Dostawcy Usług V2X usług systemowych świadczonych za pomocą pojazdów elektrycznych V2X - Monitorowanie pracy KSE w czasie świadczenia usług V2X - Dostosowanie rynku mocy do możliwości świadczenia obowiązku mocowego przez pojazdy elektryczne V2X	OSP – Polskie Sieci Elektroenergetyczne	Rola OSP w Programie V2X jest zależna od skali rozwoju usług V2X. W przypadku dużej liczby Uczestników Programu V2X, OSP powinien dostosować przepisy dot. świadczenia usług systemowych.

Nazwa podmiotu	Rola w Programie V2X	Potencjalni gracze	Uwagi
Organ regulacyjny	• Monitorowanie funkcjonowania Programu V2X pod kątem transparentności przepisów i równości wszystkich uczestników • Monitorowanie nadużyć dot. rozliczania usług V2X, w szczególności w sposobie nakładania kar za brak ich realizacji • Zatwierdzanie funkcji Dostawcy Usług V2X	• Urząd Regulacji Energetyki	Ze względu na skomplikowany proces tworzenia rynku usług V2X, URE powinno uczestniczyć od początku tego procesu.

4.3. Struktura przedmiotowa Programu V2X

4.3.1. Model usługi V2X

W podrozdziale 4.1 przedstawiono usługę V2X jako „proces podejmowany przez Uczestnika Programu V2X polegający na wykorzystaniu Pojazdu elektrycznego V2X, jako mobilnego magazynu energii, w celu zwiększenia zasobów elastyczności systemu elektroenergetycznego, poprzez poprawę parametrów pracy systemu elektroenergetycznego lub zapewnieniu odbiorcy końcowemu ciągłości dostaw energii elektrycznej”. Należy się zatem zastanowić, jak taki proces można opisać matematycznie uwzględniając jego realizację. W przypadku Programu V2X będą to przepływy energii elektrycznej z lub do baterii pojazdu elektrycznego V2X. Do tego celu stworzono model matematyczny usługi V2X, który jest poszerzeniem rozważań z [154]. Niech $e_{V2X,n}$ oznacza przepływ energii elektrycznej z n -tego pojazdu elektrycznego do sieci elektroenergetycznej lub do n -tego pojazdu elektrycznego z sieci elektroenergetycznej, albo do instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego. Przepływ energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej do n -tego pojazdu elektrycznego nazywa się ładowaniem pojazdu elektrycznego i oznacza się go jako $e_{V2X-,n}$, zaś proces przepływu energii elektrycznej z baterii n -tego pojazdu elektrycznego do sieci elektroenergetycznej oznacza się jako $e_{V2X+,n}$. Można zatem zapisać postać ogólną równania przesyłu energii elektrycznej z lub do pojazdu elektrycznego jako:

$$e_{V2X,n} = \begin{cases} e_{V2X-,n} = C_n \cdot \frac{(SOC_{ex,n} - SOC_{t,n})}{\eta_c} \\ e_{V2X+,n} = C_n \cdot (SOC_{t,n} - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n))) \cdot \eta_d \end{cases} \quad (4.1)$$

gdzie: C_n – pojemność baterii pojazdu elektrycznego, wyrażona w kWh; $SOC_{ex,n}$ – oczekiwany poziom naładowania baterii (ang. State-of-charge) pojazdu elektrycznego na koniec procesu ładowania, wyrażony w %; $SOC_{t,n}$ – poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego V2X w chwili rozpoczęcia procesu ładowania lub rozładowania, wyrażony w %; $SOC_{f,n}$ – poziom

naładowania baterii pojazdu elektrycznego wymagany do wykonania następnej podróży, wyrażony w %; $SOC_{0,n}$ – minimalny poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego ograniczony przez możliwości techniczne, wyrażony w %, przy czym musi być spełniona zależność, że: $SOC_{f,n}(1 + REZ_n) \geq SOC_{0,n}$; REZ_n – rezerwa poziomu naładowania baterii pojazdu elektrycznego, za pomocą której można wydłużyć trasę przejazdu, np. w celu uniknięcia zatorów drogowych, wyrażona w %; η_d – sprawność procesu rozładowania³, wyrażona w %; η_c – sprawność procesu ładowania⁴, wyrażona w %.

Warto nadmienić, że wielkość przepływów energii elektrycznej została określona w chwili rozpoczęcia procesu ładowania lub rozładowania pojazdu elektrycznego. Niemniej jednak od chwili podjęcia się przez uczestnika Programu V2X realizacji usługi w docelowym miejscu jej świadczenia do momentu jej rozpoczęcia mija pewien czas, a uczestnik nie musi znajdować się przy punkcie ładowania V2X. W przypadku gdy uczestnik musi przebyć pewną odległość należy zdefiniować także poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego w chwili podjęcia decyzji o realizacji usługi V2X – SOC_{akt} . Relacja między poziomem SOC_t , a SOC_{akt} została określona równaniem:

$$SOC_{t,n} = \begin{cases} C_n \cdot \left(SOC_{akt,n} - \frac{us_{EV,n} \cdot d_n}{C_n} \right), & : d_n > 0 \\ SOC_{akt}, & : d_n = 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

gdzie: C_n – pojemność baterii pojazdu elektrycznego, wyrażona w kWh; $SOC_{t,n}$ – poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego w chwili rozpoczęcia procesu ładowania lub rozładowania pojazdu elektrycznego V2X, wyrażony w %; $SOC_{akt,n}$ – poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego w chwili podjęcia decyzji o świadczeniu usługi V2X, wyrażony w %; $us_{EV,n}$ – średnie zużycie energii elektrycznej przez pojazd elektryczny V2X, wyrażone w kWh/km; d_n – odległość między pojazdem elektrycznym V2X a punktem świadczenia usługi, wyrażona w km, z dokładnością do części tysięcznych.

Powyższe rozważania dotyczą zadanego wolumenu energii, który jest przesyłany z lub do uEV. Nie można jednak zapomnieć, że wielkość tego wolumenu musi posiadać ograniczenie mocowe, wynikające z mocy punktu ładowania V2X. Zatem w modelu matematycznym usługi V2X należy uwzględnić także ograniczenia wynikające z minimalnej i maksymalnej mocy

³ Wyznaczana przez V2Xsp dla wszystkich przepływów energii elektrycznej między baterią a EV według najlepszej wiedzy technicznej.

⁴ Wyznaczana przez V2Xsp dla wszystkich przepływów energii elektrycznej między EV a baterią według najlepszej wiedzy technicznej.

dwukierunkowego punktu ładowania (ładowanie DC) oraz możliwości ładowarki pokładowej pojazdu elektrycznego (ładowanie AC). Określono je za pomocą równania:

$$\begin{cases} P_{MIN}^{EVSE} \leq P_{V2X} \leq P_{MAX}^{EVSE} \\ P_{MIN}^{CHARG} \leq P_{V2X} \leq P_{MAX}^{CHARG} \end{cases} \quad (4.3)$$

gdzie: P_{MIN}^{EVSE} – minimalna moc przesyłana z/do punktu ładowania V2X (DC) do/z sieci elektroenergetycznej lub instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego, wyrażona w kW; P_{MAX}^{EVSE} – maksymalna moc przesyłana z/do punktu ładowania V2X (DC) do/z sieci elektroenergetycznej lub instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego, wyrażona w kW; P_{MIN}^{CHARG} – minimalna moc przesyłana przez przetwornicę pokładową samochodu (ładowanie AC) z sieci elektroenergetycznej lub instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego, wyrażona w kW; P_{MAX}^{CHARG} – maksymalna moc przesyłana przez przetwornicę pokładową samochodu (ładowanie AC) z sieci elektroenergetycznej lub instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego, wyrażona w kW; P_{V2X} – moc usługi V2X, wyrażona w kW.

Jak zostało wspomniane w podrozdziale 2.2.1, technologia V2X jest możliwa do implementacji wyłącznie przy zastosowaniu przepływu energii za pomocą prądu stałego, jednakże należy pamiętać, że usługi V2X stanowią też rodzaj zasobów elastyczności. Wobec tego, jednym z rozwiązań zapewniającym OSD elastyczność sieci jest redukcja zapotrzebowania, która może być realizowana za pomocą tzw. inteligentnego ładowania (ang. Smart Charging), tj. kontrolowania poziomu mocy ładowania pojazdu. Tę funkcję można zaimplementować już przy okazji ładowania AC.

Biorąc pod uwagę ograniczenie mocowe usługi V2X wynikające z zainstalowanych punktów ładowania V2X oraz fakt, że musi być ona świadczona w pewnym bloku czasowym (bloku świadczenia usługi), można przepływ energii z/do n -tego pojazdu elektrycznego V2X $e_{V2X,n}$ wyrazić za pomocą równania:

$$e_{V2X,n} = \int_{\tau=0}^T P_{V2X,\tau} d\tau \quad (4.4)$$

gdzie: τ – pojedyncza godzina świadczenia usługi V2X; T – długość bloku świadczenia usługi V2X, wyrażona w godzinach.

Należy jednak pamiętać, że realizacja usługi V2X nie sprowadza się wyłącznie do analizy przepływów energii elektrycznej z/do pojazdu elektrycznego V2X. Istotą problemu wykonania usługi V2X jest sprawdzenie, jaka ilość energii elektrycznej zostanie faktycznie dostarczona do sieci elektroenergetycznej bądź do instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego lub zredukowana w czasie trwania usług redukcji zapotrzebowania. Niech ta

wielkość zostanie oznaczona przez $E_{V2X,T}$. Zakłada się, że usługi V2X będą świadczyć właściciele pojazdów elektrycznych, którzy także są uczestnikami życia społecznego, w związku z tym ich proces podejmowania decyzji, poruszania się lub zaniechania wykonania usługi jest losowy. Zatem można określić prawdopodobieństwo wykonania usługi V2X $P_{uEV}(AE)$. Należy podkreślić, że dla danej usługi sposób wyznaczania tego prawdopodobieństwa będzie inny, tym niemniej bez względu na rodzaj usługi zawsze będzie występować element probabilistyczny. Wobec tego, oczekiwana ilość energii elektrycznej przesyłana w ramach usługi V2X jest określona za pomocą równania:

$$E_{V2X,T} = P_{uEV}(AE) \cdot \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{REQ}} e_{V2X,n} \quad (4.5)$$

gdzie: $E_{V2X,T}$ – oczekiwana ilość energii elektrycznej przesyłana z lub do pojazdu elektrycznego w ramach usługi V2X; $P_{uEV}(AE)$ – prawdopodobieństwo wykonania usługi V2X od strony Uczestnika Programu V2X; N_{uEV}^{REQ} – liczba pojazdów elektrycznych V2X potrzebnych do pokrycia zamówionego zapotrzebowania na energię elektryczną; n – kolejny pojazd elektryczny V2X.

Na podstawie wzoru (4.5) można stwierdzić, że każdy rodzaj usługi V2X będzie uwzględniał przepływy energii z/do pojazdów elektrycznych. Problem, który należy rozwiązać przy analizie ww. równania dotyczy znalezienia liczby pojazdów elektrycznych V2X, które są wymagane do świadczenia usługi. Prawdopodobieństwo $P_{uEV}(AE)$ może przyjmować co najwyżej wartość równą 1, w związku z tym można oczekiwać, że ilość energii $E_{V2X,T}$ w najkorzystniejszym przypadku będzie równa sumie ilości energii dostępnej z pojazdów elektrycznych. Wspominane prawdopodobieństwo jest wynikiem szeregu niezależnych od siebie zdarzeń losowych, które mają wpływ na stan realizacji usługi. Jednym z przykładów ww. zdarzeń może być prawdopodobieństwo dojazdu pojazdów elektrycznych do punktu świadczenia usługi. Dla każdej usługi V2X zdarzenia składające się na całkowite prawdopodobieństwo $P_{uEV}(AE)$ mogą być różne i powinny być opisane przy parametryzacji danej usługi.

Biorąc pod uwagę, że zamawiający usługę V2X (EndUs lub OSD) oczekuje dostarczenia pewnego wolumenu energii elektrycznej⁵ E_d , można zapisać następującą relację:

$$E_d \geq E_{V2X,T} \quad (4.6)$$

⁵ Sposób rozliczania wolumenu energii elektrycznej przesłanego z/do pojazdu jest charakterystyczny dla poszczególnych rodzajów usług V2X i powinien być wyznaczany oddzielnie dla każdej z nich.

Z punktu widzenia V2Xsp istotne jest, aby dostarczyć energię do podmiotu, dla którego usługa jest świadczona. Wobec tego zadaniem dostawcy usług jest wysłanie zapytania lub żądań wykonania usługi (w zależności od trybu świadczonej usługi przedstawionych w podrozdziale 4.1) do takiej liczby uczestników Programu V2X, aby zapewnić pewien poziom bezpieczeństwa wykonania tej usługi. Niech N_{uEV}^{EST} oznacza liczbę pojazdów elektrycznych V2X, która będzie potrzebna do wykonania usługi, biorąc pod uwagę konieczność wysłania większej liczby zapytań i żądań wynikającej z prawdopodobieństwa $P_{uEV}(AE)$. Celem takiego działania będzie zapewnienie podmiotowi, dla którego świadczona jest usługa pokrycie określonego wolumenu energii. Zostało to przedstawione za pomocą następujących równań:

$$E'_{V2X,T} \geq E_d \quad (4.7)$$

$$E'_{V2X,T} = P_{uEV}(AE) \cdot \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{EST}} e_{V2X,n} \quad (4.8)$$

gdzie: $E'_{V2X,T}$ – oczekiwana ilość energii elektrycznej przesyłana z lub do pojazdu elektrycznego w ramach usługi V2X, uwzględniająca rezerwę wynikającą z prawdopodobieństwa wykonania tej usługi.

Z równań (4.5) i (4.8) można wyprowadzić zależność między liczbą pojazdów N_{uEV}^{REQ} a liczbą pojazdów N_{uEV}^{EST} :

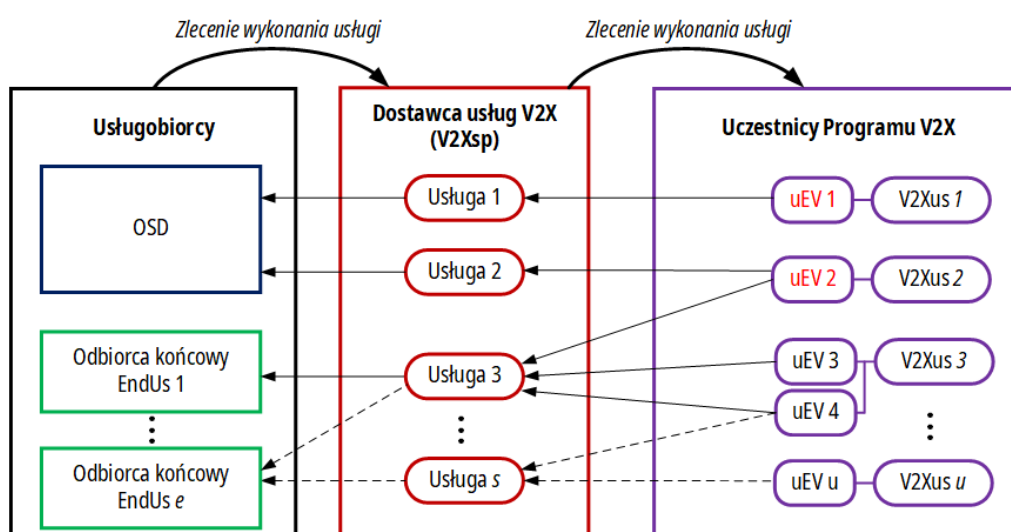
$$N_{uEV}^{EST} = \frac{N_{uEV}^{REQ}}{P_{uEV}(AE)} \quad (4.9)$$

Zatem można stwierdzić, że usługa V2X jest matematycznie opisana za pomocą równań przepływów energii elektrycznej pomiędzy baterią pojazdu elektrycznego a siecią elektroenergetyczną lub instalacją elektroenergetyczną odbiorcy końcowego. Do analizy oczekiwanej ilości dostarczonej lub pobranej energii wykorzystuje się podejście probabilistyczne, która wymusza na V2Xsp poszukiwanie większej liczby pojazdów elektrycznych niż wymagana z obliczeń dot. przepływów energii – tak aby wypełnić zobowiązania zawarte w ramach kontraktów V2X. Należy też podkreślić, że oczekiwana ilość dostarczonej energii do usługobiorcy powinna uwzględnić prawdopodobieństwo jej dostarczenia w miejscu świadczonej usługi, np. należy uwzględnić możliwość awarii sprzętu. Ze względu na skomplikowany proces pozyskania odpowiedniego wolumenu energii z pojazdów elektrycznych V2X konieczne jest stworzenie specjalnych mechanizmów kontraktowania usług V2X przez V2Xsp opartych o algorytmy różnicujące czas, miejsce oraz typ pojazdów elektrycznych V2X, które będą brać udział w tym procesie.

4.3.2. Proces świadczenia usług V2X dla usługobiorców

Jak już wspomniano, założeniem Programu V2X jest świadczenie usług V2X dla odbiorców końcowych (EndUs) lub OSD, w ramach rynku usług elastyczności. Odpowiedzialnym za realizację usług przed ww. podmiotami jest Dostawca Usług V2X (V2Xsp). Głównym założeniem programu jest udostępnienie energii z baterii pojazdów elektrycznych V2X (uEV) przez uczestników Programu V2X (V2Xus). Warto nadmienić, że w celu zapewnienia konkurencyjności rynku, każdy V2Xus może świadczyć więcej niż jedną usługę V2X, jednakże w momencie rozpoczęcia uczestnictwa w Programie V2X wskazuje on katalog usług, które byłby w stanie świadczyć. Zgodnie z założeniami, to uczestnik programu będzie mógł wybrać tryb świadczenia usługi – obowiązkowy lub opcjonalny. Uczestnicy świadczący usługi w trybie obowiązkowym będą otrzymywać wezwania, zaś w trybie opcjonalnym V2Xus otrzyma prośbę. Wprowadzenie trybów świadczenia usługi ma na celu uatrakcyjnienie produktu, przy jednoczesnym zachowaniu pewnego poziomu wykonania usługi (kary za niewykonanie). Podobne rozwiązania stosowano przy implementacji usługi systemowej *Redukcja zapotrzebowania na polecenie OSP*, realizowanej w latach 2017 – 2020. W tej usłudze wykorzystywano trzy rodzaje programów: Gwarantowany, Bieżący, Bieżący Uproszczony [135]. Rozwiązania przedstawione w niniejszych założeniach Programu V2X są inspirowane uprzednio funkcjonującymi mechanizmami rynkowymi (np. rynek mocy i ww. programy DSR), lecz zostały dostosowane do potrzeb i możliwości technologii V2X.

Na Rys. 4.2 przedstawiono relacje pomiędzy V2Xsp, V2Xus a usługobiorcami w zakresie realizacji usług V2X.



Rys. 4.2. Schemat procesu świadczenia usług V2X na rzecz usługobiorców

Na podstawie Rys. 4.2 można stwierdzić, że cały proces związany ze świadczeniem usług V2X jest procesem zamkniętym. Impulsem do jego rozpoczęcia jest zlecenie przez usługobiorców (OSD i odbiorców końcowych) wykonania usługi V2X. Następnie Dostawca usług V2X (V2Xsp) poszukuje uczestników Programu V2X chętnych do realizacji takiej usługi (tryb opcjonalny – pojazdy uEV oznaczone kolorem czarnym) lub wręcz wzywa uczestników do jej realizacji (tryb obowiązkowy – pojazdy uEV oznaczone kolorem czerwonym). Założono, że w kolejnym kroku procesu uczestnicy Programu V2X będą świadczyć wybrane przez siebie usługi.

4.4. Kontraktowanie usług V2X

4.4.1. Proces składania propozycji produktu przez usługobiorców

Jak wykazano w poprzednich podrozdziałach zależności pomiędzy poszczególnymi aktorami w Programie V2X są dość skomplikowane. Stąd też kwestie dotyczące kontraktowania usług V2X są niezwykle istotne, zarówno z punktu widzenia V2Xsp, jak i potencjalnych uczestników Programu V2X.

Opis procesu kontraktowania usług V2X należy rozpocząć od zdefiniowania podziału na dwie zasadnicze grupy usług:

- usługi harmonogramowane,
- usługi interwencyjne.

Pierwsze z nich, tj. usługi harmonogramowane dotyczą sytuacji, w których usługobiorcy zlecają wykonanie usługi w konkretnym terminie. Może to dotyczyć okresów, w których: planowane są wyłączenia zasilania z systemu elektroenergetycznego, prognozuje się zwiększone zapotrzebowanie na moc i energię elektryczną, OSP lub OSD z wyprzedzeniem nałoży ograniczenia sieciowe oraz tzw. dostawcy mocy (uczestnicy rynku mocy) będą wykorzystywać pojazdy elektryczne do realizacji swoich obowiązków mocowych w testowych okresach zagrożeniach lub okresach zagrożenia, ogłaszanych zgodnie z przepisami Ustawy o Rynku Mocy. Należy podkreślić, że proces kontraktowania usług harmonogramowanych powinien rozpocząć się z pewnym wyprzedzeniem czasowym, tak aby zapewnić maksymalnie wysoką jakość usług. Druga grupa usług – usługi interwencyjne – dotyczy sytuacji, w których nastąpiła awaria w instalacji elektroenergetycznej odbiorcy bądź w systemie elektroenergetycznym. Pojazdy elektryczne V2X wówczas mogą pełnić rolę „mobilnych agregatów”. W takich przypadkach usługobiorca może zgłosić się do V2Xsp w zapewnieniu dostaw energii elektrycznej. Należy także podkreślić, że priorytet wykorzystania danego

pojazdu elektrycznego będą miały usługi harmonogramowane, a usługi interwencyjne będą świadczone w przypadku dostępnego potencjału.

W pierwszej kolejności omówiony zostanie proces kontraktowania usług V2X harmonogramowanych. Rozpoczyna się on od działania usługobiorcy, czyli odbiorcy końcowego V2X (EndUs) lub OSD. Ich zadaniem jest zaproponować parametry produktu, które będą podlegały późniejszemu ofertowaniu przez Uczestników Programu V2X (V2Xus). Niech $\mathbf{Pr}$ oznacza wektor opisujący produkt w Programie V2X. Należy podkreślić, że ze względu na możliwość świadczenia usług, które charakteryzują się różnymi cechami, istotne jest aby znormalizować produkt do jednego zestawu danych. W podrozdziale 4.3.1. przedstawiono model usługi V2X oparty na przepływach energii elektrycznej pomiędzy pojazdem a instalacją odbiorcy lub siecią elektroenergetyczną. Zatem, głównym parametrem określającym zamawiany produkt w ramach Programu V2X będzie wolumen energii elektrycznej wymagany przez usługobiorcę – E_d . Wektor $\mathbf{Pr}$ określono równaniem:

$$\mathbf{Pr} = [E_d, t_s, n_{cs}, P_d, data_{ST}, data_{FIN}] \quad (4.10)$$

gdzie: E_d – zamówiony przez usługobiorcę wolumen energii elektrycznej, wyrażony w kWh; t_s – czas świadczenia usługi V2X, wyrażony w godzinach; n_{cs} – liczba dwukierunkowych punktów ładowania V2X; P_d – maksymalne zapotrzebowanie na moc do pokrycia w usłudze V2X, odnoszące się do zarejestrowanych przez urządzenia pomiarowo-rozliczeniowe wartości 15-minutowych mocy, wyrażone w kW; $data_{ST}$ – data rozpoczęcia procesu świadczenia usługi V2X, w formacie {dzień-miesiąc-rok;godzina}; $data_{FIN}$ – data zakończenia procesu świadczenia usługi V2X, w formacie {dzień-miesiąc-rok;godzina}.

Usługobiorca przesyła propozycję produktu do Dostawcy Usług V2X (V2Xsp) w celu weryfikacji możliwości realizacji takiej usługi co najmniej 24 godziny, lecz nie później niż 8 godzin przed godziną rozpoczęcia usługi. Kolejny krok zatem należy do V2Xsp. Jego zadaniem jest sprawdzenie, czy zaproponowane parametry produktu będą możliwe do wypełnienia w ramach umowy zawartej z usługobiorcą oraz kontraktów V2X zawartych z V2Xus. Należy podkreślić, że V2Xsp posiada zbiór danych o swoich usługobiorcach, w tym zna maksymalną liczbę punktów ładowania V2X w danej lokalizacji. Zatem jest w stanie ocenić maksymalną liczbę pojazdów elektrycznych V2X (uEV), które mogą świadczyć usługę jednocześnie. W celu uproszczenia analiz, w początkowej fazie implementacji Programu V2X, należy założyć że przywołanie danego uEV do świadczenia usługi będzie dotyczyło całego bloku czasowego świadczenia usługi – t_s . Warto także podkreślić, że algorytm pracy punktów ładowania V2X powinien dostosować się do zadanego profilu obciążenia, który usługobiorca

umieści w systemach V2Xsp⁶. Oznacza to, że w tym kroku V2Xsp musi określić korektę wolumenu energii zamówionego przez usługobiorcę, biorąc pod uwagę potencjalnie dostępną energię z pojazdów elektrycznych. Zgodnie z założeniami ogłoszenie o realizacji usługi harmonogramowanej będzie odbywać się z pewnym wyprzedzeniem, zatem nie jest możliwa ocena potencjału energetycznego pojazdów elektrycznych w momencie rozpoczęcia świadczenia usługi. Jednakże V2Xsp powinien mieć możliwość wstępnego oszacowania wolumenu energii dostępnego w zakontraktowanych pojazdach elektrycznych. W związku z tym proponuje się, aby kilka tygodni przed rozpoczęciem procesu świadczenia usług, V2Xsp monitorował w ramach pilotażu ruch pojazdów wraz z ich stanem SOC. Te dane mogłyby zostać również uzupełnione o wyniki ankiet preliminaryjnych omówionych w rozdziale 3. Dzięki zastosowaniu ww. danych historycznych V2Xsp będzie mógł skorygować potencjał energetyczny pojazdów elektrycznych. Zadaniem V2Xsp jest także sprawdzenie, czy w danej godzinie doby nie nastąpi sytuacja, w której usługobiorcy złożą zbyt wiele zapytań o możliwość wykonania usługi harmonogramowanej. W przypadku takiej sytuacji V2Xsp powinien uszeregować propozycje produktu według następującej kolejności:

- 1) czas złożenia oferty,
- 2) zamówiony wolumen energii elektrycznej,
- 3) długość bloku świadczenia usługi.

Efektem tego etapu procesu kontraktowania usług V2X jest odpowiedź V2Xsp na propozycję produktu złożoną przez usługobiorcę. Można opisać ją za pomocą wektora $\mathbf{Pr}'$, przedstawioną zależnością:

$$\mathbf{Pr}' = [E'_d, t'_s, n_{cs}, P'_d, data_{ST}, data_{FIN}] \quad (4.11)$$

gdzie: E'_d – zweryfikowany przez V2Xsp wolumen energii elektrycznej wymagany przez usługobiorcę, wyrażony w kWh; t'_s – zweryfikowany przez V2Xsp czas świadczenia usługi V2X, wyrażony w godzinach; n_{cs} – liczba dwukierunkowych punktów ładowania V2X; P'_d – zweryfikowane przez V2Xsp maksymalne zapotrzebowanie na moc do pokrycia w usłudze V2X, odnoszące się do zarejestrowanych przez urządzenia pomiarowo-rozliczeniowe wartości 15-minutowych mocy, wyrażone w kW; $data_{ST}$ – data rozpoczęcia procesu świadczenia usługi V2X, w formacie {dzień-miesiąc-rok;godzina}; $data_{FIN}$ – data zakończenia procesu świadczenia usługi V2X, w formacie {dzień-miesiąc-rok;godzina}.

⁶ W niniejszej rozprawie pominięto proces tworzenia takich algorytmów.

Ponadto dla swoich potrzeb V2Xsp oblicza liczbę pojazdów elektrycznych V2X potrzebnych do realizacji usługi N_{uEV}^{REQ} , biorąc pod uwagę historyczne dane dot. poruszania się pojazdów oraz dostępnej ilości energii elektrycznej w ich bateriach w godzinie, o której ma rozpocząć się proces świadczenia usługi. Należy podkreślić, że liczba pojazdów elektrycznych V2X potrzebnych do realizacji usługi musi być mniejsza niż liczba pojazdów elektrycznych V2X, które znajdują się w obszarze działania V2Xsp i nie będą świadczyć usług V2X w analizowanym momencie czasu. Niech $E_{avg,t}^{uEV_G}$ oznacza średnią ilość energii elektrycznej dostępną w bateriach pojazdów elektrycznych V2X w godzinie t , wyznaczaną na podstawie danych historycznych z poprzedniego pełnego okresu rozliczeniowego. Na podstawie ww. danej oraz proponowanego przez usługobiorcę wolumenu energii do zabezpieczenia w ramach usługi V2X, V2Xsp oblicza czy możliwe jest wykonanie takiej usługi stosując równania:

$$\bigvee_{N_{uEV}^{DST} \leq |N_{uEV}^{V2Xsp}|} N_{uEV}^{DST} \geq N_{uEV}^{REQ} \quad (4.12)$$

$$N_{uEV}^{REQ} = \frac{E_d}{\frac{P_{us}(AE)}{E_{avg,t}^{uEV_G}}} \quad (4.13)$$

$$N_{uEV}^{REQ} \leq n_{CS} \quad (4.14)$$

$$E_d^{POT} = N_{uEV}^{REQ} \cdot E_{avg,t}^{uEV_G} \quad (4.15)$$

$$E'_d = \begin{cases} E_d, & \text{jeśli } N_{uEV}^{REQ} \leq n_{CS} \\ n_{CS} \cdot E_{avg,t}^{uEV_G}, & \text{jeśli } N_{uEV}^{REQ} > n_{CS} \end{cases} \quad (4.16)$$

$$N_{uEV}^{REQ'} = \begin{cases} N_{uEV}^{REQ}, & \text{jeśli } N_{uEV}^{REQ} \leq n_{CS} \\ n_{CS}, & \text{jeśli } N_{uEV}^{REQ} > n_{CS} \end{cases} \quad (4.17)$$

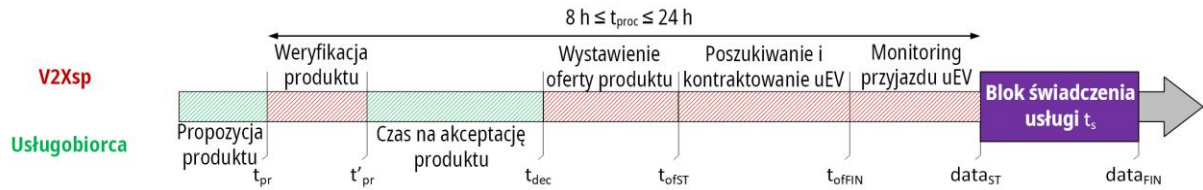
gdzie: N_{uEV}^{DST} – liczba pojazdów elektrycznych V2X, które nie wykonują w danym momencie lub nie planują wykonywać usługi V2X, znajdująca się na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; $N_{uEV}^{REQ'}$ – skorygowana liczba pojazdów elektrycznych V2X, potrzebna do realizacji usługi V2X, na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; N_{uEV}^{V2Xsp} – zbiór wszystkich pojazdów elektrycznych V2X, znajdujących się na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; $P_{us}(AE)$ – prawdopodobieństwo realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia, uwzględniające potencjalną awarię punktu ładowania V2X, awarię systemu rozliczania usługi V2Xsp oraz przerwanie usługi przez V2Xus.

Należy także obliczyć maksymalne zapotrzebowanie na moc (15-minutowe) do pokrycia w usłudze V2X, zgodnie z równaniem:

$$P'_d \leq \min \left\{ \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{REQ'}} P_{avg,t,n}^{uEV_G}; \sum_{cs=1}^{n_{cs}} P_{MAX,cs}^{EVSE} \right\} \quad (4.18)$$

gdzie: $P_{avg,t}^{uEV_G}$ – wartość średnia maksymalnych mocy rozładowania pojazdów elektrycznych V2X w godzinie t , znajdujących się na obszarze działania Dostawcy Usług V2X.

Zweryfikowane przez V2Xsp parametry produktu są zwracane do usługobiorcy. W kolejnym kroku działań usługobiorca musi podjąć decyzję, czy akceptuje lub odrzuca propozycję produktu opracowaną przez V2Xsp. W przypadku odrzucenia oferty proces traktowany jest jako zakończony. W przypadku zaakceptowania propozycji produktu, V2Xsp wystawia oferty produktu (typu *early-bid* i strefowego). W kolejnych procesach V2Xsp jest odpowiedzialny za monitorowanie przyjazdu pojazdów. Na Rys. 4.3 przedstawiono wszystkie ww. procesy kontraktowania usługi harmonogramowanej. Dalsze szczegółowe kroki procesu kontraktowania tych usług zostaną omówione w podrozdziale 4.4.2.



Rys. 4.3. Proces składania propozycji produktu – usługa harmonogramowana

Drugi rodzaj usług, tj. usługi interwencyjne, charakteryzuje się uproszczonym mechanizmem składania propozycji produktu. Zakłada się, że propozycję produktu mógłby złożyć każdy usługobiorca w momencie, gdy w instalacji elektroenergetycznej lub sieci elektroenergetycznej wystąpiłoby zakłócenie, które uniemożliwiałoby normalną pracę układu. Wówczas usługobiorca wysyła informację do V2Xsp o wystąpieniu awarii oraz definiuje wektor produktu $\mathbf{Pr}_{INT}$. Określono go zależnością:

$$\mathbf{Pr}_{INT} = [E_d^{INT}, t_s^{INT}, n_{cs}, P_d^{INT}] \quad (4.19)$$

gdzie: E_d^{INT} – interwencyjnie dostarczany wolumen energii elektrycznej do usługobiorcy, wyrażony w kWh; t_s^{INT} – oczekiwany przez usługobiorcę czas świadczenia interwencyjnej usługi V2X, wyrażony w godzinach; n_{cs} – liczba dwukierunkowych punktów ładowania V2X;

P_d^{INT} – interwencyjne, maksymalne zapotrzebowanie na moc do pokrycia w usłudze V2X, wyrażone w kW;

Należy podkreślić, że założeniem usług interwencyjnych jest wysłanie możliwie jak największej liczby pojazdów elektrycznych V2X do miejsca świadczenia usługi. Ze względu na konieczność szybkiego reagowania, V2Xsp musi jak najszybciej zweryfikować propozycję produktu, na podstawie parametrów uEV dostępnych w najbliższym sąsiedztwie wystąpienia awarii. W związku z tym w czasie do 5 minut⁷ od zgłoszenia, V2Xsp wysyła odpowiedź do usługobiorcy z zweryfikowanymi parametrami produktu $\mathbf{Pr}'_{INT}$. Określono je równaniem:

$$\mathbf{Pr}'_{INT} = [E_d^{INT'}, t_s^{INT'}, n_{cs}, P_d^{INT'}] \quad (4.20)$$

gdzie: $E_d^{INT'}$ – zweryfikowany przez V2Xsp, interwencyjnie dostarczany wolumen energii elektrycznej do usługobiorcy, wyrażony w kWh; $t_s^{INT'}$ – zweryfikowany przez V2Xsp czas świadczenia interwencyjnej usługi V2X, wyrażony w godzinach; n_{cs} – liczba dwukierunkowych punktów ładowania V2X; $P_d^{INT'}$ – zweryfikowane przez V2Xsp interwencyjne, maksymalne zapotrzebowanie na moc do pokrycia w usłudze V2X, odnoszące się do rejestrowanych przez urządzenia pomiarowo-rozliczeniowe wartości 15-minutowych mocy, wyrażone w kW;

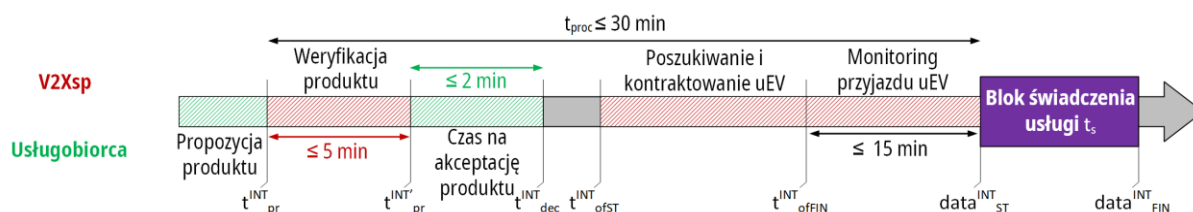
Następnie usługobiorca posiada okno czasowe na akceptację usługi, które nie powinno być nie dłuższe niż 2 minuty⁸. Niezwłocznie po wysłaniu przez usługobiorcę zaakceptowanej propozycji produktu, V2Xsp rozpoczyna proces poszukiwania pojazdów, uwzględniając jak najkrótszą odległość, którą muszą pokonać właściciele pojazdów elektrycznych V2X. Czas przyjazdu pojazdów do punktu świadczenia usług powinien być określony w odpowiednich kontraktach V2X, lecz nie powinien być dłuższy niż 15 minut⁹. Należy także dodać, że zgodnie z pierwotnymi założeniami autorskiego Programu V2X usługobiorca będzie posiadał zapisy w Kontrakcie V2X, że V2Xsp nie gwarantuje dostarczenia 100% wolumenu energii zadeklarowanego w propozycji produktu. W kolejnych procesach V2Xsp monitoruje przyjazd zakontraktowanych uEV oraz wykonuje ewentualne dodatkowe przywołania. W tym miejscu należy poruszyć istotny problem, który może wystąpić w czasie przerwy w dostawie energii elektrycznej. Mianowicie V2Xsp musi zapewnić komunikację z usługobiorcą, która byłaby niezależna od awarii zasilania w miejscu świadczenia usługi. Czas realizacji usługi od wysłania przez usługobiorcę propozycji produktu nie powinien przekroczyć 30 minut. Na Rys. 4.4

⁷ Propozycja przedziału czasowego – weryfikacja w czasie implementacji takiego programu przez potencjalnego V2Xsp.

⁸ jw.

⁹ jw.

przedstawiono wszystkie ww. procesy kontraktowania usługi interwencyjnej. Dalsze kroki procesu kontraktowania tych usług zostaną omówione w podrozdziale 4.4.2.



Rys. 4.4. Proces składania propozycji produktu – usługa interwencyjna

4.4.2. Proces składania ofert na wykonanie usługi przez Uczestników Programu V2X

W poprzednim podrozdziale przedstawiono procesy związane ze złożeniem przez usługobiorcę propozycji produktu, czyli pewnych skwantyfikowanych wielkości opisujących usługę V2X. W niniejszym podrozdziale natomiast przedstawiono zdarzenia, które wpływają na możliwość zakontraktowania usługi od strony Uczestników Programu V2X (V2Xus). W pierwszej kolejności omówiono proces kontaktowania usługi harmonogramowanej.

Na podstawie Rys. 4.3 można stwierdzić, że po wystawieniu przez V2Xsp oferty produktu, następuje proces kontaktowania usług. Zgodnie z autorskimi założeniami Programu V2X wyróżnia się dwie główne metody kontraktowania usług (oferowania usług) – *early-bid* (z ang. ofertowanie wstępne) oraz mechanizm ofertowania strefowego. Z poprzedniego podrozdziału wynika także, że dla usługi harmonogramowanej występuje pewne wyprzedzenie czasowe. W związku z tym dla tego rodzaju usług możliwe są do zastosowania obie ww. metody składania ofert przez V2Xus. W tym miejscu należy zastanowić się na czym powinno polegać złożenie oferty na wykonanie usługi V2X. Jak wspomniano w podrozdziale 4.3.1 głównym parametrem określającym usługę V2X jest wolumen energii elektrycznej przesyłany z/do pojazdu elektrycznego. Oznacza to, że oferta na wykonanie usługi będzie parametryzowana przez możliwy do zaproponowania wolumen energii elektrycznej, który można udostępnić lub pobrać z/do pojazdu elektrycznego V2X (uEV). Dodatkowo dla każdej oferty zostaną wprowadzone ograniczenia wynikające z bloku świadczenia usługi (czasu realizacji) t_s oraz minimalnej mocy punktu ładowania V2X. Zakłada się także pewne stałe stawki za rozładowanie/ładowanie uEV dla danej usługi, przy czym należy podkreślić, że w zależności od rodzaju usługi ich wysokość może być zmienna. Powyższe założenia powodują, że konkurencja na rynku usług V2X odbywa się za pomocą oferowanego wolumenu energii elektrycznej, a nie jak w wielu mechanizmach aukcyjnych ceny produktu. Dzięki takiemu rozwiązaniu V2Xus będą w stanie odpowiedzieć na pytanie, czy opłaca się im podjąć

decyzję o udostępnieniu swojego pojazdu elektrycznego. W przypadku konkurencji cenowej, V2Xus musieliby posiadać znacznie bardziej szczegółową wiedzę dot. rynku energii oraz elektromobilności, a celem tego rozwiązania jest popularyzacja wśród wszystkich użytkowników pojazdów elektrycznych. Należy także podkreślić, że istotne jest aby w przypadku kontraktowania usług przejść od relacji V2Xus – V2Xsp, do relacji uEV – V2Xsp. Wynika to z faktu, że dla V2Xsp istotny będzie potencjał energetyczny dostępny z pojedynczego pojazdu, a nie z punktu widzenia ich właściciela. Wektor opisujący typową ofertę składaną przez V2Xus dla n -tego uEV uEV_n^{OF} opisano równaniem:

$$uEV_n^{OF} = [ID_n, M_n, C_{OF,n}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (4.21)$$

gdzie: n – kolejny pojazd elektryczny V2X (uEV); ID_n – numer identyfikacyjny n -tego pojazdu elektrycznego V2X w bazie V2Xsp (uEV); M_n – tryb świadczenia usług V2X n -tego pojazdu elektrycznego V2X (uEV); $C_{OF,n}$ – wolumen energii elektrycznej oferowany przez n -ty pojazd elektryczny V2X (uEV), wyrażony w kWh; $t_{s,n}^{uEV}$ – maksymalny czas świadczenia usługi V2X oferowany przez n -ty pojazd elektryczny V2X (uEV), wyrażony w godzinach; $P_{uEV,n}^{MAX}$ – maksymalna moc przesyłana z/do baterii n -tego pojazdu elektrycznego V2X (uEV), wyrażona w kW.

Tak jak wspomniano pierwszy sposób kontraktowania usługi dotyczy mechanizmu *early-bid*. Założono, że ten typ ofertowania powinien zostać wprowadzony do Programu V2X, jako pewnego rodzaju podstawa, w stosie ofert przy świadczeniu usług V2X. Umożliwia on złożenie ofert na udostępnienie/ladowanie pojemności swojej baterii wszystkim V2Xus bez względu na miejsce, w którym się znajdują, tj. miejsce w obszarze działania V2Xsp (szczegółowo omówiony w podrozdziale 5.1). Warto jednak podkreślić, że w przypadku mechanizmu *early-bid* istnieją ograniczenia w zakresie samodzielnego definiowania pojemności oferowanej przez V2Xus w danym uEV. Należy wprowadzić dodatkowe metody weryfikacji użytkowników, które szczegółowo opisano w rozdziale 5 i załączniku 3, w celu określenia ich wiarygodności w procesie podawania danych w systemie teleinformatycznym. Ponadto, zakłada się, że stworzona aplikacja powinna obliczyć taką pojemność na podstawie wprowadzonych danych dot. SOC danego uEV. Wprowadzenie mechanizmu *early-bid* ma na celu dotarcie do tych V2Xus, którzy mogą przemieszczać się w ciągu dnia, jednakże może zdarzyć się przypadek gdy dany uczestnik zechce wykonać usługę w swoim czasie wolnym, a wykorzystywanie do celów jej realizacji pojazdów znajdujących się najbliżej miejsca świadczenia usługi, pozbawiłoby go możliwości brania udziału w tym procesie. Co do zasady, mechanizm *early-bid* jest dobrowolny dla uczestników Programu V2X posiadających pojazdy

elektryczne świadczące usługi w trybie obowiązkowym (uEV_{man}) lub opcjonalnym (uEV_{op}). Zatem w mechanizmie *early-bid* możliwy jest do zakontraktowania przez V2Xsp, dla wybranej usługi harmonogramowej, pewien wolumen energii elektrycznej E_{E-B} . Ze względu na to, że dostawca usług chciałby utrzymać wysoki poziom niezawodności realizacji usług, zaakceptowanie przez właściciela uEV oferty w przypadku gdy zostanie ona wyłoniona jako wygrana będzie powodować obowiązek jej realizacji. Oznacza to, że po zatwierdzeniu w dedykowanym systemie teleinformatycznym oferty na realizację danej usługi harmonogramowej V2X, zakwalifikowaniu jej przez V2Xsp do stosu ofert wygranych i późniejszym braku jej realizacji będą naliczane kary dla V2Xus, konkretnie dla danego uEV. Wychodząc naprzeciw uczestnikom, V2Xsp powinien rozważyć możliwość korekty złożenia oferty wyłącznie dla uEV_{op} . Okno czasowe na takie decyzje powinno zamknąć się z takim wyprzedzeniem, aby nie zakłócić dalszego procesu kontraktowania usług. Po zamknięciu takiego okna, V2Xus ze swoim pojazdem uEV_{op} , w przypadku złożenia wygranej oferty, byłby zobowiązany do realizacji usługi, pod rygorem zapłaty za jej niewykonanie. Należy podkreślić, że z punktu widzenia V2Xsp każda usługa V2X będzie parametryzowana wolumenem energii elektrycznej. Zatem po zakończonym procesie V2Xsp będzie mógł zrealizować usługę za pomocą niepełnego wolumenu energii elektrycznej. Należy jednak podkreślić, że w przypadku znaczących braków wolumenu energii elektrycznej w stosunku do liczby miejsc rozładowania uEV, V2Xsp może zastrzec zablokowanie okna korekty ofert dla uEV_{op} . Niech E_d'' oznacza wolumen energii elektrycznej, który pozostaje do zakontraktowania po zakończeniu procesu ofertowania *early-bid*. Wobec tego można określić wolumen energii, który musi zostać zakontraktowany w ramach ofertowania strefowego. Powyższe zależności określono równaniem:

$$E_d'' = E_d' - E_{E-B} \quad (4.22)$$

gdzie: E_{E-B} – wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w ofertowaniu *early-bid*, wyrażony w kWh; E_d' – zweryfikowany przez V2Xsp wolumen energii elektrycznej wymagany przez usługobiorcę, wyrażony w kWh.

Pozostały wolumen energii elektrycznej, tj. E_d'' V2Xsp musi zakontraktować w ramach ofertowania strefowego. Jak wskazuje nazwa, proces ofertowania strefowego będzie dotyczyć poszukiwań uEV, które znajdują się w tzw. Obszarze Działania Dostawcy Usług V2X, a konkretnie w specjalnie do tego wyznaczonych obszarach w zależności od miejsca świadczenia usługi. Stworzono zatem specjalny autorski algorytm, którego szczegółowy opis został przedstawiony w podrozdziale 5.3 oraz Załączniku 4.

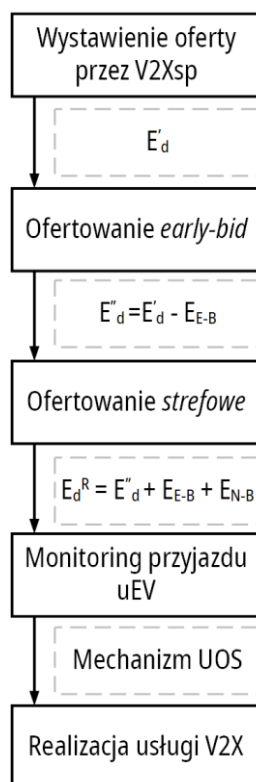
Zgodnie z ww. informacjami, celem zastosowania algorytmu strefowego jest wyznaczenie specjalnie zdefiniowanych obszarów, tj. stref, w których poszukuje się dostępnych uEV_{man} oraz chętnych uEV_{op} . Należy pamiętać, że realizacja ofertowania strefowego będzie możliwa wyłącznie, gdy V2Xsp zapewni ciągły monitoring pojazdów za pomocą dedykowanej aplikacji dla V2Xus. Jest to konieczne, ponieważ V2Xsp musi posiadać możliwość oceny potencjału energetycznego wybranych uEV w czasie rzeczywistym, tzn. sprawdzenia poziomu naładowania baterii SOC. Dla celów ofertowania strefowego w aplikacji powinna się także znaleźć możliwość wprowadzenia danych związanych z minimalnym poziomem SOC baterii, który powinien pozostać na zakończeniu bloku świadczenia usługi oraz współczynnika rezerwy, o których mowa w podrozdziale 4.3.1. W procesie kontraktowania usług na podstawie algorytmu strefowego mogą zatem brać udział te uEV, które zostały przypisane do stref. Ze względu na specyfikę trybów świadczenia usługi, w przypadku gdy w zadanym obszarze poszukiwań uEV znajdują się te, za pomocą których świadczy się je w trybie obowiązkowym, wysyłane jest żądanie wykonania usługi pod warunkiem spełnienia ograniczenia mocowego (zadana moc ładowania) oraz ograniczenia czasowego (blok świadczenia usługi). Wówczas V2Xus, który dysponuje uEV_{man} otrzyma powiadomienie z parametrami usługi do zrealizowania, w szczególności z miejscem jej wykonania, czasem trwania i godziną rozpoczęcia. W przypadku kontraktowania uEV_{op} , tj. w trybie opcjonalnym, V2Xus otrzyma powiadomienie o możliwości wykonania usługi V2X w danym miejscu. Uczestnicy, którzy dysponują uEV_{op} będą mieli możliwość zaakceptowania takiej oferty lub jej korekty przez pewien czas, tzw. blok korekty oferty. Po zamknięciu bramki czasowej V2Xsp oczekuje jej realizacji pod rygorem zapłaty kary za jej niewykonanie, tj. nie pojawienie się w miejscu świadczenia usługi, brak przyłączenia uEV do punktu ładowania V2X lub przerwanie usługi w czasie jej trwania, bez dostarczenia zadanego wolumenu energii. W tym etapie niezwykle istotną rolę odgrywa V2Xsp, który musi monitorować przyjazd pojazdów do miejsca świadczenia usługi. W przypadku gdyby wybrane pojazdy nie dotarły do zadanego punktu, V2Xsp uruchamia środki zaradcze, które szczegółowo zostaną omówione przy okazji opisu mechanizmu Uzupełniającego Ofertowania Strefowego (UOS) w podrozdziale 4.5.4. Należy podkreślić, że w przypadku działania algorytmu strefowego i uzupełniającego ofertowania strefowego nie może zdarzyć się sytuacja niedokontraktowania, tj. gdy suma wolumenów E_d'' i E_{E-B} jest mniejsza od założonej przez V2Xsp prognozowanej wartości wolumenu. Natomiast możliwe jest przekontraktowanie, czyli sytuacja w której zakontraktowano więcej energii niż wymagane. Wynika to z zaokrągleń „do góry” poszukiwanej liczby pojazdów, a co za tym idzie, pojemność oferowana przez „ostatni” pojazd

będzie łącznie przekraczać założoną wartość E'_d . Zatem należy wprowadzić wartość wolumenu energii elektrycznej, który jest poddany do realizacji. Określono go równaniem:

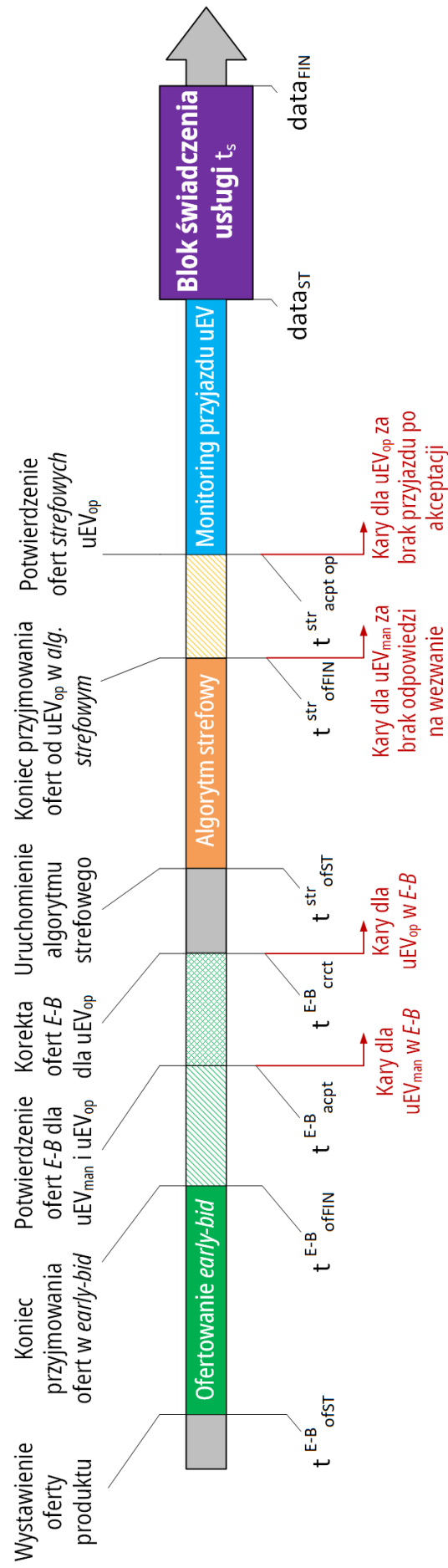
$$E_d^R = E_d'' + E_{E-B} + E_{N-B} \quad (4.23)$$

W równaniu (4.23) pojawia się składnik E_{N-B} . Oznacza on wskaźnik niezbilansowanej energii elektrycznej dostarczonej przez uEV do usługobiorcy. Wprowadza się założenie, że V2Xus otrzymują płatność za cały wolumen energii elektrycznej oferowany z pojazdu. Opłata za niezbilansowanie zostanie przeniesiona do rozliczenia usługobiorcy, tak aby dla V2Xsp wszystkie transakcje były tylko przepływami finansowymi. Należy jednak podkreślić, że wartość wolumenu E_{N-B} nie będzie znacząca, dlatego że stanowi ona zgodnie z przyjętymi założeniami maksymalnie 10% wolumenu energii kontraktowanego w ramach ofertowania strefowego.

Na Rys. 4.5 przedstawiono proces kontraktowania usługi V2X z podkreśleniem różnych wartości wolumenów energii elektrycznej, potrzebnych do zakontraktowania w kolejnych etapach realizacji usługi, zaś na Rys. 4.6 przedstawiono procesy dotyczące składania ofert przez V2Xus dla usług harmonogramowanych.

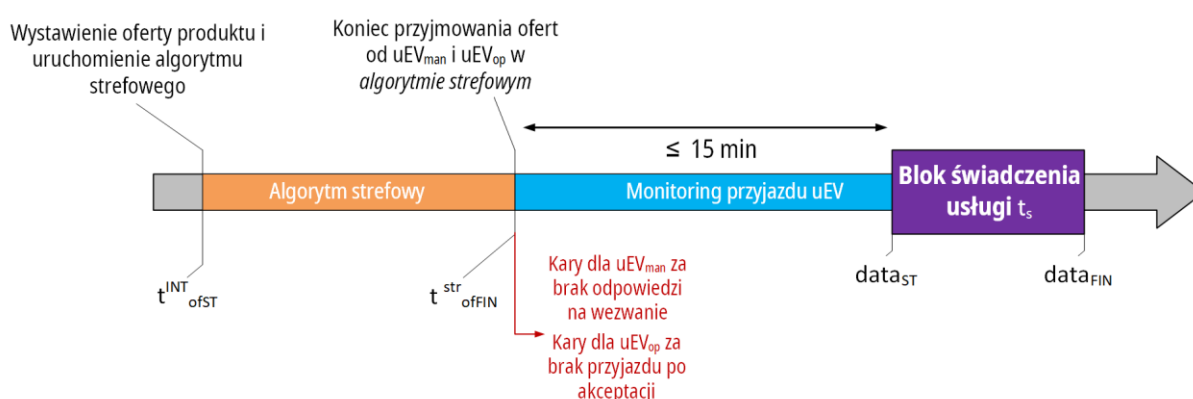


Rys. 4.5. Proces kontraktowania wolumenów energii elektrycznej – usługa harmonogramowana



Rys. 4.6. Proces kontraktowania usługi V2X harmonogramowanej od strony V2Xus

W przypadku procesu kontraktowania usług interwencyjnych, jak przedstawiono w podrozdziale 4.4.1, istotne jest, aby czas od momentu złożenia przez usługobiorcę propozycji produktu do momentu rozpoczęcia usługi był jak najkrótszy – wstępnie założono go na nie dłuższy niż 30 minut. W związku z tym, w procesach składania ofert przez V2Xus nie ma zastosowania mechanizm *early-bid*, ponieważ wymagałoby to zaangażowania większego obszaru poszukiwania oraz dłuższego czasu realizacji. Oznacza to, że proces składania ofert przez V2Xus dla usług interwencyjnych sprowadza się do realizacji algorytmu strefowego. W związku z tym, wolumeny energii, które wynikają z procesu kontraktowania V2Xus w ramach usług interwencyjnych sprowadzają się do składników: $E_{E-B} = 0$, $E'_d = E''_d$ oraz E_{N-B} , przedstawionych w równaniach (4.22) i (4.23). W przypadku usług interwencyjnych, dla uEV_{op} nie ma możliwości cofnięcia decyzji o realizacji usługi, co odróżnia poszukiwanie pojazdów świadczących usługi w trybie opcjonalnym od mechanizmów kontraktowania usług harmonogramowanych. Na Rys. 4.7 przedstawiono procesy dotyczące składania ofert przez V2Xus dla usług interwencyjnych.



Rys. 4.7. Proces kontraktowania usługi V2X interwencyjne od strony V2Xus

4.5. Koszyk usług V2X

4.5.1. Wprowadzenie

Zgodnie z założeniami Programu V2X, usługa V2X to: „proces podejmowany przez Uczestnika Programu V2X polegający na wykorzystaniu Pojazdu elektrycznego V2X, jako mobilnego magazynu energii, w celu zwiększenia zasobów elastyczności systemu elektroenergetycznego, poprzez poprawę parametrów pracy systemu elektroenergetycznego lub zapewnieniu odbiorcy końcowemu ciągłości dostaw energii elektrycznej”. Mogą być one świadczone zarówno dla odbiorców końcowych (EndUs), jak również OSD. W przypadku tych pierwszych mogą być one realizowane jako m.in. zabezpieczenie zasilania rezerwowego w czasie awarii lub planowanych wyłączeń, ale także w innych celach

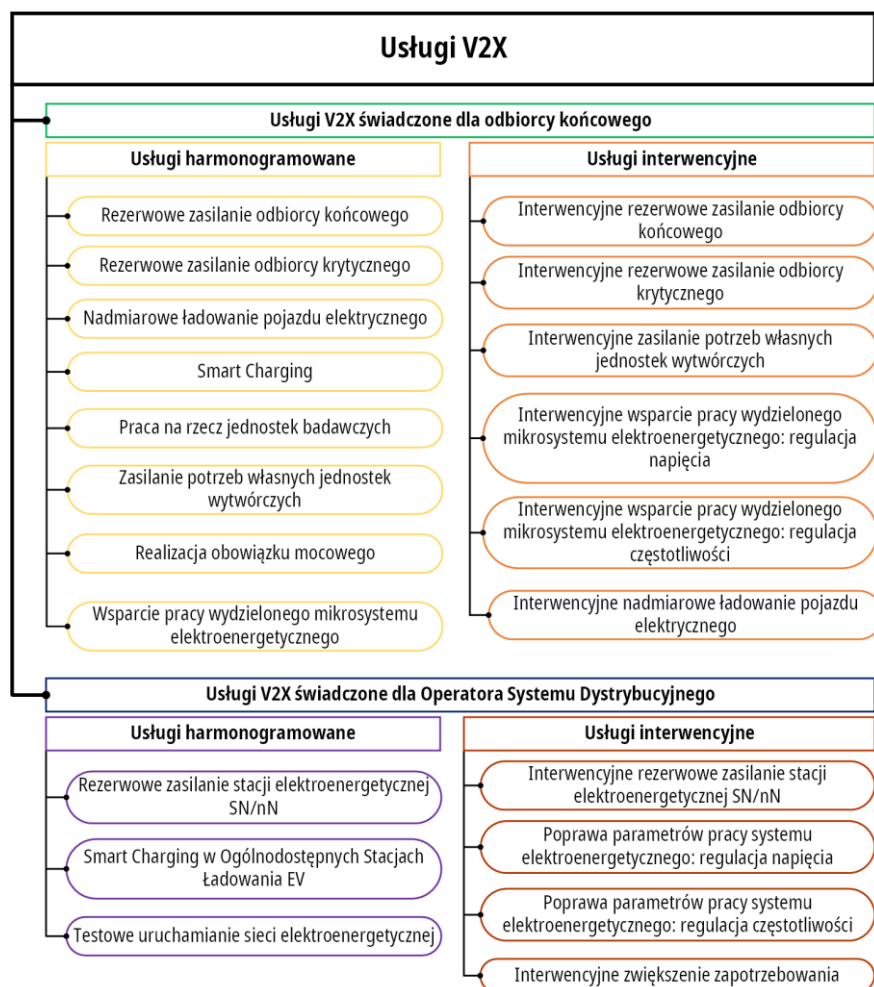
związanych z przepływem energii elektrycznej między instalacją elektroenergetyczną odbiorcy a mobilnym magazynem energii. Usługi te są regulowane wewnętrzną umową między EndUs a V2Xsp, w szczególności w zakresie:

- obowiązków V2Xsp dot. dostarczania uEV w miejscu świadczenia usług,
- płatności należnych dla V2Xsp za realizację usług,
- obowiązków EndUs w zakresie zapewnienia dostępu do punktów ładowania V2X,
- obowiązków V2Xsp dotyczących zarządzania i eksploatacji punktami ładowania V2X,
- opracowywania przez EndUs rzetelnych prognoz zapotrzebowania na moc i energię,
- zapewnienia przez EndUs bezpieczeństwa realizacji usługi w punkcie jej świadczenia.

Inna sytuacja dotyczy usług V2X świadczonych na rzecz OSD. Warunkiem brzegowym do ich realizacji jest powstanie ram prawnych w obszarze usług elastyczności sieci, gdyż tylko one mogą stanowić dla OSD zewnętrzną pomoc w procesie bilansowania i zarządzania systemem elektroenergetycznym dystrybucyjnym. W momencie pisania niniejszej rozprawy, ze względu na brak obowiązujących przepisów prawa krajowego dotyczących usług elastyczności, postanowiono wymienić jedynie propozycje usług, które mogłyby mieć zastosowanie w przyszłości. Niezależnie od powyższych, realizacja usług V2X dla EndUs stanowi zasoby elastyczności, gdyż jak wspomniano w rozdziale 1.3, jednym ze środków elastyczności jest redukcja zapotrzebowania u odbiorcy końcowego. Oznacza to, że pomimo braku ram prawnych, OSD uzyskałby oczekiwany efekt, np. lokalnego odciążenia systemu elektroenergetycznego. Należy także wspomnieć o możliwości wykorzystaniu uEV w procesie świadczenia usług systemowych na rzecz Operatora Systemu Przesyłowego (OSP). Zachowując odpowiednie proporcje można wyobrazić sobie, w szczególności przy dużej liczbie uEV, że niektóre usługi systemowe mogłyby być świadczone przy ich wykorzystaniu. Jednym z najbardziej oczywistych rozwiązań wykorzystania usług V2X w realizacji usług systemowych jest udostępnienie pojemności baterii uEV do celów Interwencyjnej Ofertowej Redukcji poboru mocy przez odbiorców. Usługa ta mogłaby być świadczona bezpośrednio przez agregatora (V2Xsp) w miejscach zbiorowego ładowania pojazdów elektrycznych zarządzanych przez V2Xsp lub pośrednio w miejscach redukcji zapotrzebowania, tzw.

obiektach redukcji (ORed). Jednakże w pierwszym przypadku należy pamiętać o warunkach stawianych przez OSP, tj. minimalna moc redukcji wynosi 1 MW [111].

W niniejszym podrozdziale przedstawiono propozycję usług V2X zarówno dla odbiorcy końcowego, jak i OSD. Schemat ogólny podziału usług został przedstawiony na Rys. 4.8.



Rys. 4.8. Propozycja koszyka usług V2X w ramach Programu V2X

4.5.2. Usługi świadczone dla odbiorcy końcowego

Usługi, które będą świadczone na rzecz odbiorcy końcowego V2X (EndUs) można podzielić na usługi harmonogramowe i interwencyjne. Należy wspomnieć, że niektóre z usług mogą być świadczone wyłącznie w wybranych rodzajach obiektów oraz w przypadku usług harmonogramowanych muszą być zapowiedziane z odpowiednim wyprzedzeniem.

Usługi harmonogramowe

1) *Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia odbiorcy końcowemu dodatkowego źródła zasilania w czasie planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie ogłoszenia przez OSD ograniczeń sieciowych;

Niniejsza usługa zostanie opisana i sparametryzowana w sposób szczegółowy w dalszej części rozprawy.

2) *Rezerwowe zasilanie odbiorcy krytycznego* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia odbiorcy krytycznemu dodatkowego źródła zasilania w czasie planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie ogłoszenia przez OSD ograniczeń sieciowych;

3) *Nadmiarowe ładowanie pojazdu elektrycznego* – usługa polegająca na przywołaniu uEV w celu doładowania jego baterii, przy użyciu energii elektrycznej pochodzącej z nadwyżek produkcyjnych ze źródeł generacji wewnętrznej odbiorcy końcowego;

4) *Smart Charging* – usługa polegająca na ograniczeniu lub zwiększeniu poziomu mocy ładowania uEV, zależnym od otoczenia technicznego i ekonomicznego¹⁰;

5) *Praca na rzecz jednostek badawczych* – usługa polegająca na udostępnieniu uEV do testów urządzeń i rozwiązań opracowywanych w państwowych i prywatnych jednostkach badawczych i naukowych;

6) *Zasilanie potrzeb własnych jednostek wytwórczych*¹¹ – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w czasie planowanych postojów i remontów jednostki wytwórczej lub w czasie planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej, w celu utrzymania ciągłości jej dostaw, zasilającej potrzeby własne lub potrzeby ogólne jednostek wytwórczych. Usługa ta jest realizowana w koordynacji z właściwym operatorem systemu elektroenergetycznego;

7) *Realizacja obowiązku mocowego*¹² – usługa polegająca na wykorzystaniu uEV w procesie realizacji obowiązku mocowego w okresach zagrożenia lub testowych okresach

¹⁰ Usługa może być świadczona w przypadku, gdy EndUs jest przedsiębiorstwo zarządzające flotą pojazdów elektrycznych oraz w odniesieniu do wszystkich pojazdów uczestniczących w Programie V2X.

¹¹ Tylko w przypadku gdy odbiorcą końcowym byłoby przedsiębiorstwo energetyczne zarządzające jednostką wytwórczą, z dostępną infrastrukturą do świadczenia usług V2X.

¹² Tylko w przypadku, gdy punkt świadczenia usługi V2X należy do jednostki fizycznej, tworzącej jednostkę rynku mocy redukcji zapotrzebowania, określoną w art. 2 ust. 1 pkt 14) Ustawy z dnia 8 grudnia 2017 r. o rynku mocy [131].

zagrożeniach, ogłaszanych zgodnie z odrębnymi przepisami Ustawy z dnia 8 grudnia 2017 r. o rynku mocy;

8) *Wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego* – usługa polegająca na udostępnieniu uEV jako mobilnego magazynu energii, mającego zapewnić stabilną pracę wydzielonego systemu elektroenergetycznego.

Usługi interwencyjne

1) *Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia odbiorcy końcowemu źródła zasilania w czasie nieplanowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie wystąpienia awarii w systemie elektroenergetycznym uniemożliwiającym podstawowe zasilanie obiektu;

Niniejsza usługa zostanie opisana i sparametryzowana w sposób szczegółowy w dalszej części rozprawy.

2) *Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy krytycznego* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia odbiorcy krytycznemu źródła zasilania w czasie nieplanowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie wystąpienia awarii w systemie elektroenergetycznym uniemożliwiającym podstawowe zasilanie obiektu. Do obsługi usługi wykorzystywana byłaby specjalna jednostka szybkiego reagowania V2Xsp – QRU;

3) *Interwencyjne zasilanie potrzeb własnych jednostek wytwórczych* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu utrzymania ciągłości dostaw energii elektrycznej zasilającej potrzeby własne lub potrzeby ogólne jednostek wytwórczych, w czasie awarii w systemie elektroenergetycznym mogących doprowadzić jednostkę wytwórczą do pracy na minimum techniczne. Usługa ta jest realizowana w koordynacji z właściwym operatorem systemu elektroenergetycznego;

4) *Interwencyjne wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego: regulacja napięcia* – usługa polegająca na interwencyjnym wykorzystaniu uEV, jako mobilnego magazynu energii w celu utrzymania zadanych parametrów napięcia w wydzielonym systemie elektroenergetycznym;

5) *Interwencyjne wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego: regulacja częstotliwości* – usługa polegająca na interwencyjnym wykorzystaniu uEV, jako mobilnego magazynu energii w celu utrzymania zadanych parametrów częstotliwości w wydzielonym systemie elektroenergetycznym;

6) *Interwencyjne nadmiarowe ładowanie pojazdu elektrycznego* – usługa polegająca na interwencyjnym przywołaniu uEV w celu doładowania jego baterii, przy użyciu energii elektrycznej pochodzącej z nadwyżek produkcyjnych ze źródeł generacji wewnętrznej odbiorcy końcowego.

4.5.3. Usługi świadczone dla Operatora Systemu Dystrybucyjnego

Usługi V2X świadczone dla OSD powinny stanowić podzbiór usług elastyczności, które operator ma zamiar zlecać w swoim obszarze działania. Implementacja usług V2X wymaga nie tylko utworzenia katalogu usług elastyczności, ale także korekt w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRiESD). Ponadto, poza działaniami w obszarze prawnoformalnym OSD powinien także dokonać istotnych działań modernizacyjnych, aby uwolnić potencjał świadczenia usług V2X jako zasobów elastyczności, np. dostosowanie terenu wokół stacji SN/nN i wyposażenie go w punkty ładowania V2X. Należy także zaznaczyć, że niektóre z usług można byłoby świadczyć w gospodarstwie domowym, co poszerzałoby potencjał zasobów elastyczności. Podobnie jak w przypadku usług świadczonych dla odbiorcy końcowego, usługi świadczone na rzecz OSD można podzielić na harmonogramowane i interwencyjne.

Usługi harmonogramowe

- 1) *Rezerwowe zasilanie stacji elektroenergetycznej SN/nN* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia źródła zasilania dla wybranego obszaru systemu dystrybucyjnego, w czasie planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie ogłoszenia przez OSD ograniczeń sieciowych;
- 2) *Smart Charging w Ogólnodostępnych Stacjach Ładowania Pojazdów Elektrycznych* – usługa polegająca na czasowym ograniczeniu lub zwiększeniu mocy ładowania uEV, korzystających z infrastruktury ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Usługa ta musi być skoordynowana z Operatorem Ogólnodostępnych Stacji Ładowania¹³;
- 3) *Testowe uruchamianie sieci elektroenergetycznej* – usługa polegająca na wykorzystaniu uEV, jako źródeł energii podających napięcie do testowanego np. w skutek modernizacji fragmentu systemu dystrybucyjnego.

¹³ Wprowadzenie tej usługi wymaga gruntownej nowelizacji przepisów Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Główne zmiany powinny dotyczyć umożliwienia realizacji usług V2X, w szczególności w ogólnodostępnych stacjach ładowania EV, co najmniej na poziomie usług Smart Charging.

Usługi interwencyjne

- 1) *Interwencyjne rezerwowe zasilanie stacji elektroenergetycznej SN/nN* – usługa polegająca na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia źródła zasilania dla wybranego obszaru systemu dystrybucyjnego, w czasie nieplanowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie wystąpienia awarii w systemie elektroenergetycznym uniemożliwiającym podstawowe zasilanie stacji elektroenergetycznej. Do obsługi usługi wykorzystywana byłaby specjalna jednostka szybkiego reagowania V2Xsp – QRU;
- 2) *Poprawa parametrów pracy systemu elektroenergetycznego: regulacja napięcia* – usługa polegająca na wykorzystaniu uEV, jako mobilnego magazynu energii w celu utrzymania zadanych parametrów napięcia w wybranym węźle systemu dystrybucyjnego;
- 3) *Poprawa parametrów pracy systemu elektroenergetycznego: regulacja częstotliwości* – usługa polegająca na wykorzystaniu uEV, jako mobilnego magazynu energii w celu utrzymania zadanych parametrów częstotliwości w wybranym węźle systemu dystrybucyjnego;
- 4) *Interwencyjne zwiększenie zapotrzebowania* – usługa polegająca na przywołaniu uEV w celu wykonania dodatkowego ładowania ich baterii ze względu na konieczność zwiększenia zapotrzebowania w wybranym węźle systemu dystrybucyjnego, spowodowana zbyt dużą generacją z odnawialnych źródeł energii znajdujących się na tym obszarze. Do obsługi usługi wykorzystywana byłaby specjalna jednostka szybkiego reagowania V2Xsp – QRU.

5. Algorytmy poszukiwania pojazdów do świadczenia usług V2X

5.1. Obszar działania Dostawcy Usług V2X

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w podrozdziale 4.4 kontraktowanie V2Xus i ich pojazdów (uEV) jest możliwe jeżeli znajdują się w obszarze działania Dostawcy Usług V2X. Według definicji ww. obszar jest to: *obszar zlokalizowany na terenie jednego powiatu, określony za pomocą siatki kwadratowej o długości boku jeden kilometr*. W tej definicji należy wyróżnić kilka elementów, które powinny zostać szczegółowo omówione. W pierwszej kolejności należy określić lokalizacyjnie obszar działania. Zdecydowano, że maksymalny obszar na jakim dany V2Xsp może świadczyć swoje usługi to jeden powiat. Jest to rozwiązanie zainspirowane definicją klastra energii w Ustawie z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii [130]. W przyszłości, dzięki transformacji energetycznej, będą tworzyć się zdecentralizowane obszary energetyczne, a z punktu widzenia powierzchni terenu oraz warunków gospodarczych powiat wydaje się wystarczający aby implementować lokalne rynki energii wraz z udziałem w nich usług V2X. Druga część definicji dotyczy podziału obszaru działania Dostawcy Usług V2X na siatkę kwadratową. Zdecydowano się na takie rozwiązanie, aby ułatwić sposób poszukiwania uEV do świadczenia usług. W czasie normalnego ruchu pojazdy poruszają się po drogach, co znacząco utrudnia określenie ich pozycji względem punktu świadczenia usług. Zatem podział na siatkę kwadratową pozwala zgrupować pojazdy w pewnym mniejszym obszarze, a następnie przypisać im parametr lokalizacyjny tzw. strefę. Rozwiązanie to opisano w [154], jednakże na potrzeby niniejszej rozprawy zostało ono poprawione. Należy także podkreślić, że wykorzystanie siatki kwadratowej było wcześniej wykorzystywane w pracach dotyczących przypisywania pojazdów elektrycznych do poszczególnych obszarów [27, 143]. Warto także podkreślić, że w literaturze wykorzystuje się również inne podejście do poszukiwania pojazdów świadczących usługi, np. z wykorzystaniem meta-heurystycznych algorytmów optymalizacji inspirowanych naturą – WOA, tj. *Whale optimization algorithm* [39].

Niech G oznacza obszar działania Dostawcy Usług V2X. W związku z tym w obszarze G można wyróżnić punkty g , które określają położenie uEV lub punktu świadczenia usługi za pomocą współrzędnych geometrycznych. Należy podkreślić, że te współrzędne geometryczne mają także przypisane współrzędne geograficzne, jednak na potrzeby uproszczenia analiz w dalszej części rozprawy zastosowano wyłącznie współrzędne geometryczne. Można je określić w następujący sposób:

$$g(x_g, y_g) \in G \quad (5.1)$$

gdzie: x_g i y_g – współrzędne geometryczne wybranego punktu g .

Następnie należy podzielić obszar G na kwadraty o boku 1 km. Niech G_2 oznacza obszar pojedynczego kwadratu. Należy podkreślić, że w zaprezentowanym podejściu wykorzystano współrzędne geometryczne siatki. Początek układu współrzędnych (0,0) znajduje się w pierwszym lewym dolnym kwadracie (Rys. 5.1). Warto nadmienić, że jeśli w wyniku podziału obszaru G na siatkę kwadratową, jeden z utworzonych kwadratów nie będzie mieścił się lokalizacyjnie w granicach przyjętych zgodnie z definicją, to taki kwadrat zostanie wyłączony z obszaru działania V2Xsp. Powyższe rozważania przedstawiono za pomocą równań:

$$G_2 = [(x_g, y_g); (x_g, y_{g'}); (x_{g'}, y_g); (x_{g'}, y_{g'})] \quad (5.2)$$

wiedząc, że:

$$x_{g'} - x_g = 1 \text{ km} \wedge y_{g'} - y_g = 1 \text{ km} \quad (5.3)$$

oraz:

$$x_g \geq x_{g_{min}} \wedge y_g \geq y_{g_{min}} \wedge x_g \leq x_{g_{max}} \wedge y_g \leq y_{g_{max}} \quad (5.4)$$

gdzie: $x_{g_{MAX}}$, $x_{g_{MIN}}$, $y_{g_{MAX}}$, $y_{g_{MIN}}$ – współrzędne geometryczne określające granice obszaru G .

W analizowanym obszarze działania Dostawy Usług V2X należy również scharakteryzować usługobiorców oraz pojazdy elektryczne świadczące usługi V2X. Pierwsza grupa tj. usługobiorcy będą określani wyłącznie za pomocą współrzędnych geometrycznych, gdyż parametry propozycji produktu będą określane wyłącznie w systemie rozliczeń usług. Niech $L_{i,v}$ oznacza v -ty punkt świadczenia usługi V2X znajdujący się w obszarze działania V2Xsp przypisany do i -tego usługobiorcy. Konieczność iteracji liczby punktów świadczenia usługi V2X u danego usługobiorcy wynika z tego, że zamawiający usługi V2X może chcieć realizować usługi w wielu miejscach w obszarze G , np. OSD może wyznaczyć kilka stacji transformatorowych. Zatem:

$$L_{i,v}(x_{L_{i,v}}, y_{L_{i,v}}) \in G \quad (5.5)$$

gdzie: $x_{L_{i,v}}$, $y_{L_{i,v}}$ – współrzędne geometryczne określające v -ty punkt świadczenia usługi V2X u i -tego usługobiorcy.

Kolejnym obiektem do scharakteryzowania w ramach obszaru działania Dostawcy Usług V2X jest pojazd elektryczny świadczący usługi V2X (uEV). W tym miejscu może pojawić się wątpliwość, dlaczego na siatce reprezentującej obszar działania V2Xsp umieszczamy pojazd, a nie uczestnika Programu V2X (V2Xus). Odpowiedź na to pytanie wynika ze zdefiniowanych uprzednio założeń, według których przepływy energii elektrycznej do/z sieci elektroenergetycznej są realizowane za pomocą uEV, a nie V2Xus, który co do zasady może posiadać kilka uEV w swoim portfelu. Należy przypomnieć, że N_{uEV}^{V2Xsp} będzie oznaczać zbiór wszystkich pojazdów elektrycznych świadczących usługi V2X w obszarze działania V2Xsp, a kolejny uEV oznaczamy przez n . Oznacza to, że moc zbioru N_{uEV}^{V2Xsp} będzie oznaczać liczbę wszystkich pojazdów elektrycznych V2X w Obszarze Działania V2Xsp (N_{uEV}^{V2Xsp}). Należy podkreślić, że każdy uEV należy opisać w dokładny sposób, tak aby V2Xsp posiadał pełny obraz co do jego stanu. Zatem możemy zdefiniować wektor zmiennych, które pozwolą opisać n -ty pojazd elektryczny świadczący usługi V2X uEV_n . Został on określony równaniem:

$$uEV_n = [ID_n, x_n, y_n, SOC_{akt,n}, SOC_{f,n}, C_n, P_{uEV,n}^{MAX}, TV_n, CS_n, t_{s,n}^{uEV}, M_n] \quad (5.6)$$

gdzie: ID_n – numer identyfikacyjny pojazdu w bazie V2Xsp; x_n, y_n – współrzędne geometryczne/geograficzne, w których znajduje się uEV¹⁴; $SOC_{akt,n}$ – aktualny poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego, np. w chwili podjęcia decyzji o świadczeniu usługi V2X, wyrażony w %; $SOC_{f,n}$ – poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego wymagany do wykonania następnej podróży, wyrażony w %; C_n – pojemność baterii pojazdu elektrycznego, wyrażona w kWh; $P_{uEV,n}^{MAX}$ – maksymalna moc przesyłana z/do baterii n -tego pojazdu elektrycznego V2X (uEV), wyrażona w kW; TV_n – typ pojazdu określony w bazie V2Xsp¹⁵; CS_n – typ standardu ładowania określony w bazie V2Xsp; $t_{s,n}^{uEV}$ – maksymalny czas świadczenia usługi V2X oferowany przez n -ty pojazd elektryczny V2X, wyrażony w godzinach; M_n – tryb świadczenia usługi (obowiązkowy – OB lub opcjonalny – OP).

Aby zaliczyć dany pojazd do zbioru wszystkich pojazdów musi on spełniać następującą zależność:

$$uEV_n \in N_{uEV}^{V2Xsp} \quad (5.7)$$

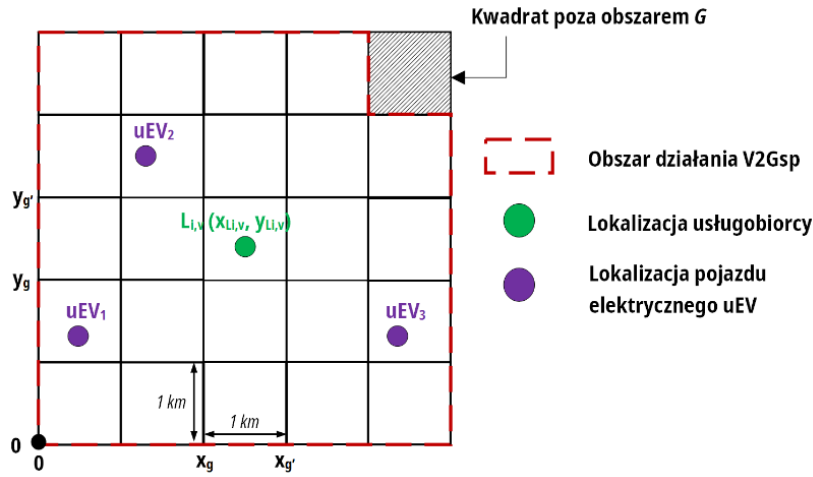
¹⁴ Na potrzeby niniejszej rozprawy współrzędne x_n i y_n określone są w układzie współrzędnym, zaś w rozwiązaniu docelowym, system teleinformatyczny powinien określać je jako współrzędne geograficzne na podstawie danych z systemu GPS pojazdu.

¹⁵ Określenie rodzaju pojazdu jest ważne, ponieważ nie każde miejsce postojowe będzie w stanie obsłużyć dany typ pojazdu.

Zatem można określić macierz wszystkich pojazdów świadczących usługi V2X w obszarze działania V2Xsp:

$$N_{uEV}^{V2Xsp} = \begin{bmatrix} ID_1 & x_1 & y_1 & SOC_{akt,1} & SOC_{f,1} & C_1 & P_{uEV,1}^{MAX} & TV_1 & CS_1 & t_{s,1}^{uEV} & M_1 \\ ID_2 & x_2 & y_2 & SOC_{akt,2} & SOC_{f,2} & C_2 & P_{uEV,2}^{MAX} & TV_2 & CS_2 & t_{s,2}^{uEV} & M_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_n & x_n & y_n & SOC_{akt,n} & SOC_{f,n} & C_n & P_{uEV,n}^{MAX} & TV_n & CS_n & t_{s,n}^{uEV} & M_n \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Na podstawie macierzy z równania (5.8) określa się zbiór pojazdów zdolnych do świadczenia usług V2X w obszarze działania G . W kolejnych podrozdziałach przedstawiono działania poszczególnych algorytmów poszukiwania uEV ze zbioru N_{uEV}^{V2Xsp} , tak aby usługa była w pełni zakontraktowana. Na Rys. 5.1 zaprezentowano graficzną reprezentację obszaru działania G , za pomocą przykładowej siatki kwadratowej o boku 1 km.



Rys. 5.1. Przykładowa siatka kwadratowa wyznaczająca obszar działania V2Xsp

5.2. Ofertowanie *early-bid*

Mechanizm składania ofert *early-bid* ma na celu stworzyć konkurencyjne warunki do realizacji usług harmonogramowanych w punkcie $L_{i,v}$ dla wszystkich uczestników Programu V2X w danym obszarze działania V2Xsp. Jak już wcześniej podkreślono, udział V2Xus w nim jest dobrowolny, zaś dla V2Xsp stanowi on pewnego rodzaju gwarancję wykonywania usług o wysokim standardzie. Zgodnie z informacjami przedstawionymi w podrozdziale 4.4, oferty typu *early-bid* składa się z pewnym wyprzedzeniem czasowym. Oznacza to, że sposób kontraktowania może przypominać mechanizmy oparte na prognozach wykorzystania pojazdów w dniu następnym tak jak w [31]. V2Xus dla swojego uEV otrzymuje propozycję produktu świadczenia usługi zgodnie z równaniem (4.11) i składa ofertę, w której uwzględnione są parametry z równania (4.21), lecz nie tylko. Należy mieć na uwadze problem dotyczący prognozowania SOC pojazdu w momencie rozpoczęcia usługi, jak również

wiarygodności danych podawanych przez V2Xus. Zatem w mechanizmie *early-bid* parametry oferty z równania (4.21) zostaną zmodyfikowane w następujący sposób:

$$\mathbf{uEV}_{E-B,n}^{of} = [ID_n, M_n, SOC_{akt}^{E-B}, DIST_{E-B}, C_{OF,n}^{E-B}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (5.9)$$

gdzie: SOC_{akt}^{E-B} – aktualny lub prognozowany poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego w chwili złożenia oferty w mechanizmie *early-bid*, wyrażony w %; $DIST_{E-B}$ – planowana do przebycia odległość w dniu świadczenia usługi V2X, licząc od momentu złożenia oferty w mechanizmie *early-bid*, wyrażona w km; $C_{OF,n}^{E-B}$ – maksymalna możliwa do zaoferowania pojemność baterii w ramach usługi V2X kontaktowanej w mechanizmie *early-bid*, wyrażona w kWh.

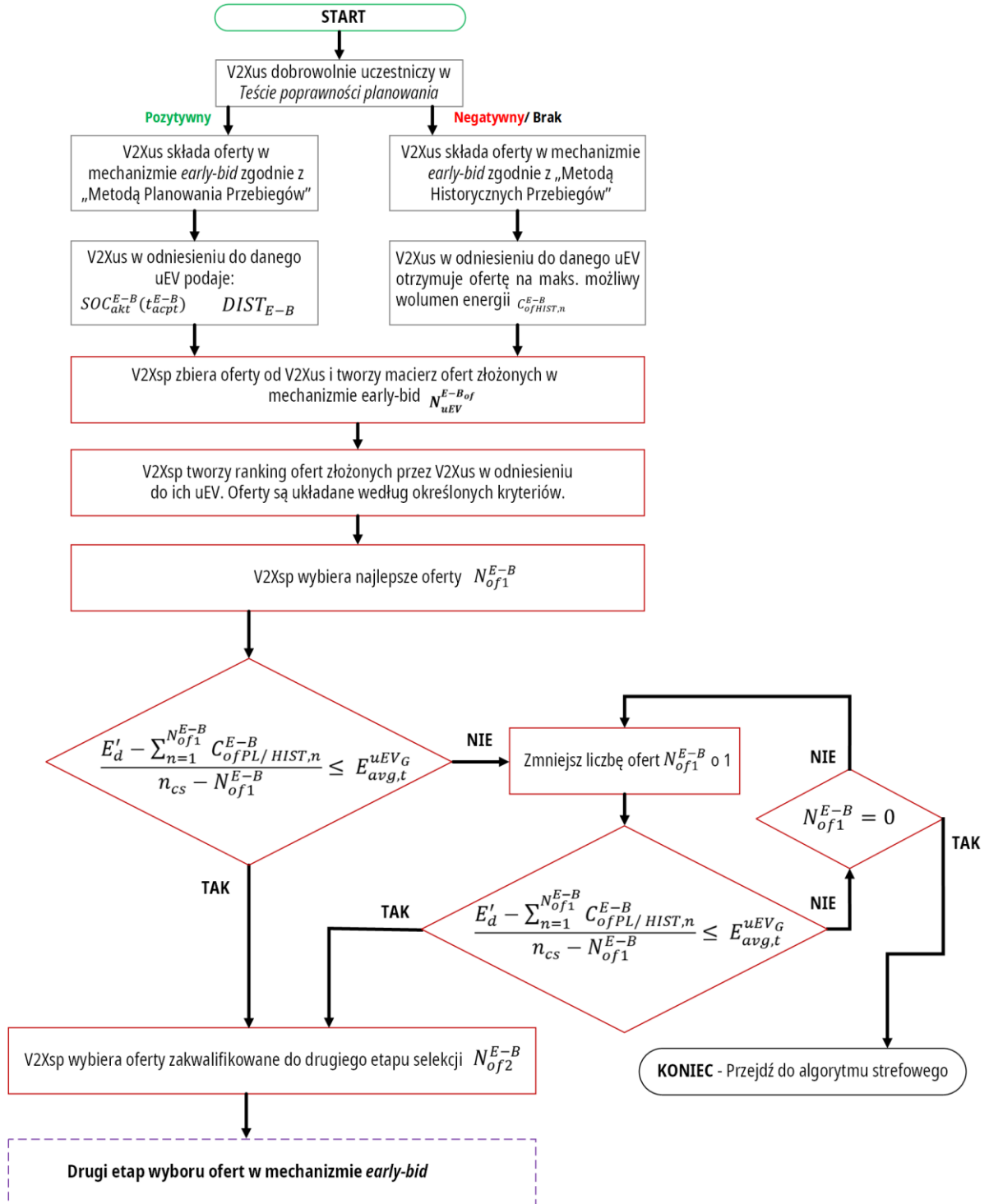
Proces kontraktowania usług V2X w ramach mechanizmu *early-bid* polega na złożeniu oferty przez V2Xus w czasie odpowiedniego okna czasowego. Po zamknięciu tego okna następuje pierwsza selekcja ofert, a następnie wysyłane jest przez V2Xsp potwierdzenie, czy dany V2Xus w odniesieniu do swojego uEV chce dalej uczestniczyć w procesie kontraktowania danej usługi (tzw. potwierdzenie usługi). Zatem dla V2Xsp niezwykle istotny problem dotyczy obliczenia ilości zakontraktowanej energii elektrycznej w tym mechanizmie, co przełoży się później na wolumen energii elektrycznej potrzebny do zakontraktowania w ramach ofertowania strefowego. Należy podkreślić, że w każdym etapie selekcji ofert są analizowane warunki dotyczące liczby zakontraktowanych pojazdów EV oraz powiązania tych pojazdów z dostępną w nich energią elektryczną. W celu dokładniejszego prognozowania tych wartości wprowadzono założenie, które umożliwia V2Xus składanie ofert nie tylko zgodnie z ich trybem świadczenia usług (obowiązkowy lub opcjonalny), ale także ze względu na ich zdolność do planowania. Proponuje się, aby V2Xus mogli składać oferty według następujących metod:

- „Planowania Przebiegów” – V2Xus będzie miał możliwość konfiguracji oferty, w odniesieniu do danego uEV, podając parametry takie jak SOC_{akt}^{E-B} i $DIST_{E-B}$, które będą obowiązywać od momentu zakwalifikowania oferty jako wygranej, po uprzednim potwierdzeniu wykonania usługi w czasie t_{acpt}^{E-B} ;
- „Przebiegów Historycznych” – V2Xus będzie składał ofertę na podstawie predefiniowanej, maksymalnej pojemności baterii, która może zostać wykorzystana $C_{OFHIST,n}^{E-B}$. Ze względu na brak zdolności prognozowania V2Xus, w tej metodzie należy bazować na danych wyłącznie pozyskanych z systemu teleinformatycznego i urządzenia rejestrującego parametry jezdne.

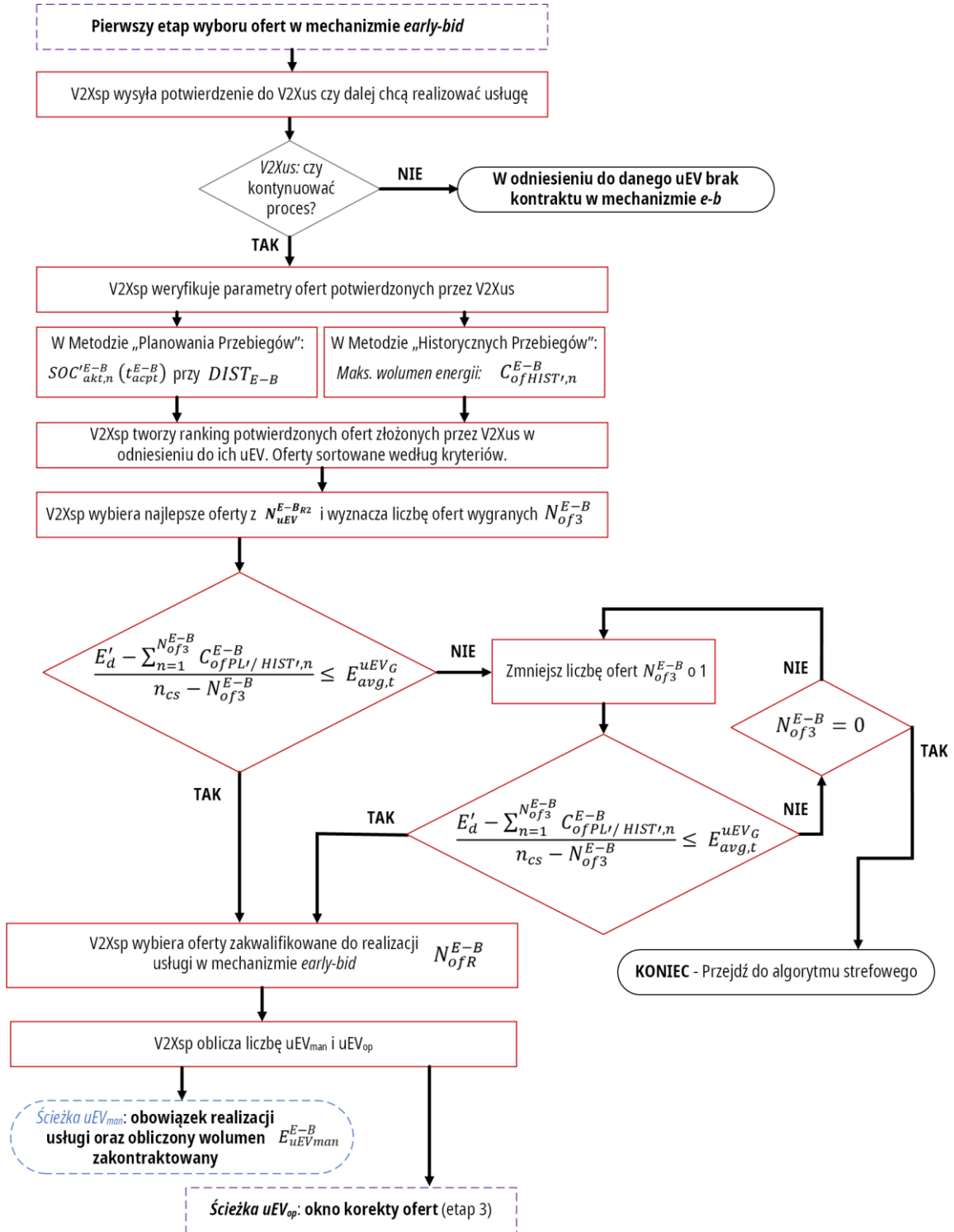
Po uzyskaniu potwierdzenia realizacji usługi V2X przez V2Xus w ramach pierwszego etapu selekcji ofert w mechanizmie *early-bid*, V2Xsp przechodzi o drugiego etapu selekcji, w którym weryfikowane są po raz ostatni parametry elektryczne danego uEV. Efektem tego etapu jest wybranie najlepszych ofert, które spełniają kryteria narzucone przez V2Xsp. Zasady oraz priorytety sortowania rekordów są następujące:

- 1) Oferowana pojemność: max $\rightarrow$ min;
- 2) Maksymalna moc rozładowania EV: max $\rightarrow$ min;
- 3) Tryb świadczenia usług: obowiązkowy $\rightarrow$ opcjonalny;
- 4) Czas świadczenia usługi: max $\rightarrow$ min, przy czym musi być on większy niż wymagany przez V2Xsp w ramach realizacji danej usługi V2X.

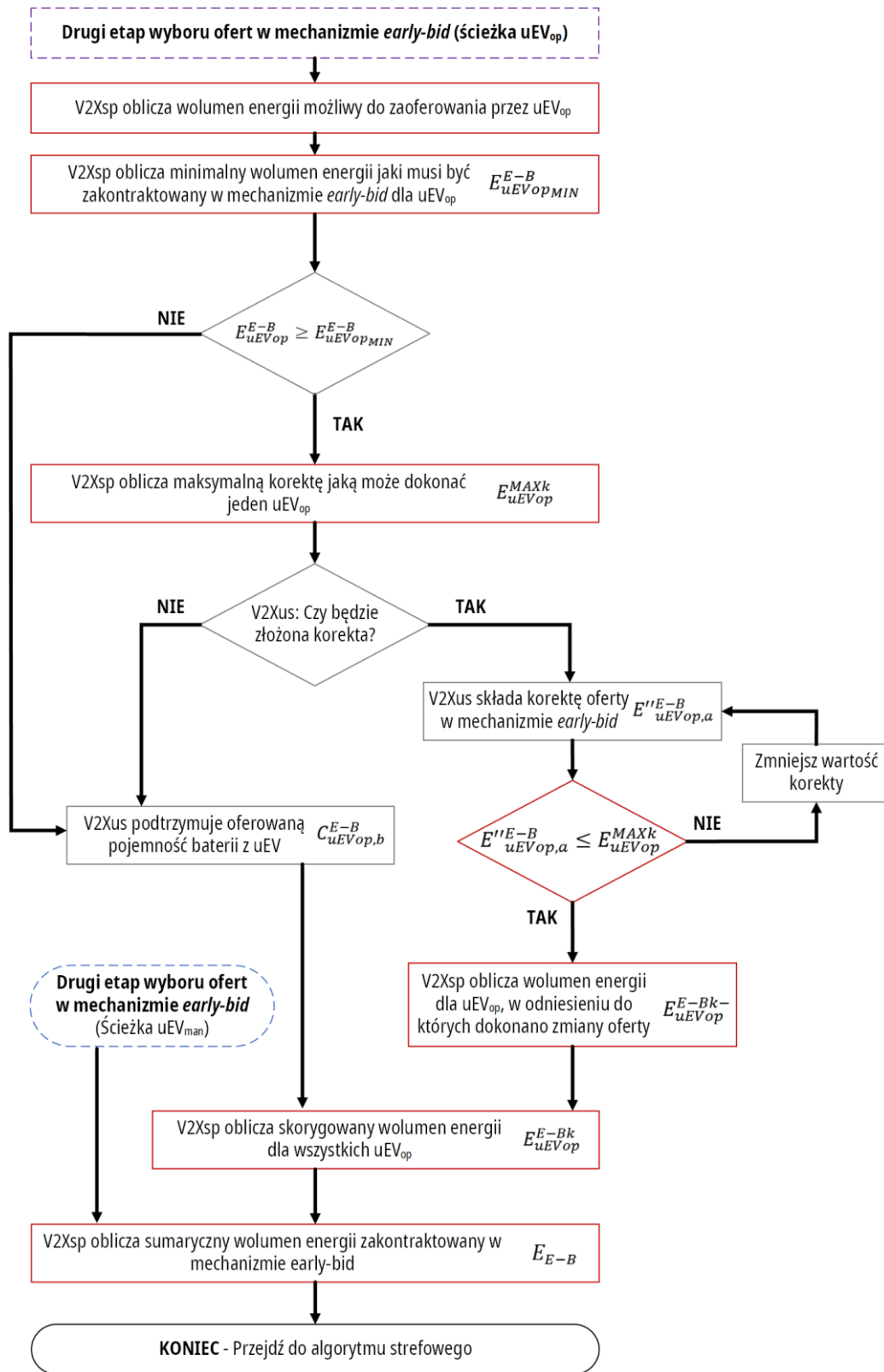
Wybór ofert zależy od wyników działania algorytmu, opisanego w dalszej części tego podrozdziału. Po zakwalifikowaniu wybranych ofert do realizacji, istnieje jak już wcześniej wspomniano okno czasowe do korekty swojej oferty dla uczestników, których pojazdy realizują usługi w trybie opcjonalnym (uEV_{op}). Zatem po zakończeniu działania mechanizmu *early-bid*, V2Xsp uzyskuje pewien wolumen energii elektrycznej pozwalający na realizację usługi V2X u usługobiorcy. Na Rys. 5.2 – Rys. 5.4 przedstawiono schemat blokowy procesu kontraktowania w ramach mechanizmu *early-bid*. Szczegółowy proces kontraktowania uEV w ramach mechanizmu *early-bid* został przedstawiony w Załączniku 2.



Rys. 5.2. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie *early-bid* – część 1



Rys. 5.3. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie *early-bid* – część 2



Rys. 5.4. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie *early-bid* – część 3

5.3. Ofertowanie strefowe

Wykorzystanie mechanizmu ofertowania strefowego (algorytmu strefowego) dotyczy zarówno usług harmonogramowanych, jak również usług interwencyjnych. Zaprezentowane rozwiązania w tym podrozdziale są modyfikacją założeń i wyliczeń przedstawionych w [154]. Danymi wejściowymi są: zmienna E_d'' , która oznacza wolumen energii elektrycznej konieczny do zakontraktowania w ramach działania ofertowania strefowego oraz $N_{uEV}^{REQ''}$, czyli poszukiwana liczba uEV w ramach ofertowania strefowego. Wartości te są wyrażone w następujący sposób:

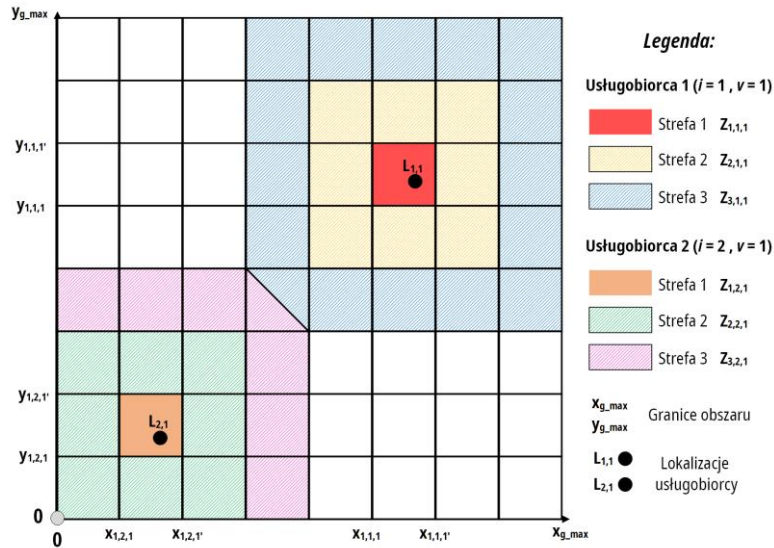
$$\bigvee_{N_{uEV}^{REQ''} \leq n_{cs}} N_{uEV}^{REQ''} = \begin{cases} \frac{E_d''}{E_{avg,t1}^{uEV_G}}, & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ N_{uEV}^{REQ'}, & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (5.10)$$

$$E_d'' = \begin{cases} E_d' - E_{E-B}, & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ E_d', & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (5.11)$$

gdzie: E_{E-B} – wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w ofertowaniu *early-bid*, wyrażony w kWh; E_d' – zweryfikowany przez V2Xsp wolumen energii elektrycznej wymagany przez usługobiorcę, wyrażony w kWh; $E_{avg,t1}^{uEV_G}$ – wartość średnia wolumenu energii elektrycznej dostępnego w bateriach pojazdów elektrycznych V2X w chwili uruchomienia algorytmu strefowego, wyrażona w kWh.

Ideą ofertowania strefowego, z wykorzystaniem autorskiego algorytmu, jest zaangażowanie w świadczenie usług V2X uczestników Programu V2X, którzy znajdują się jak najbliżej lokalizacji *i*-tego usługobiorcy. Została ona wstępnie opisana w [154]. W niniejszej rozprawie doprecyzowano jednak model matematyczny procesu tworzenia stref. Należy podkreślić, że głównym zamierzeniem w takim procesie jest zapewnienie usługobiorcy jak najszybszego dostępu do energii elektrycznej zgromadzonej w pojazdach elektrycznych. W związku z tym, że każdy *i*-ty usługobiorca może posiadać *v* punktów świadczenia usługi V2X, konieczne jest opracowanie algorytmu, za pomocą którego zostaną wyznaczone strefy w każdym punkcie świadczenia usługi. Przykład takiej sytuacji może dotyczyć przedsiębiorstwa zarządzającego parkingami Park & Ride. Co do zasady usługobiorcą byłoby to przedsiębiorstwo, lecz punkty świadczenia usługi V2X mogą być rozproszone po całym obszarze działania V2Xsp. Zatem, aby do każdego z punktów zapewnić przyjazd pojazdów z odpowiednim potencjałem energetycznym, należy wyznaczyć strefy wokół *v*-tych punktów świadczenia usługi. W celu zrozumienia tego procesu, na Rys. 5.5 przedstawiono wyznaczone strefy dla dwóch usługobiorców, tj. $i = 2$, każdy z nich posiada 1 punkt świadczenia usług,

$v = 1$, w obszarze działania G o wymiarach $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ i wartościach $x_{g_{min}} = 0$ oraz $y_{g_{min}} = 0$. Szczegółowy opis matematyczny tworzenia stref świadczenia usług w algorytmie opisano w załączniku 4, w podrozdziale 13.4.1.



Rys. 5.5. Przykładowe wyznaczanie stref poszukiwania uEV w algorytmie strefowym

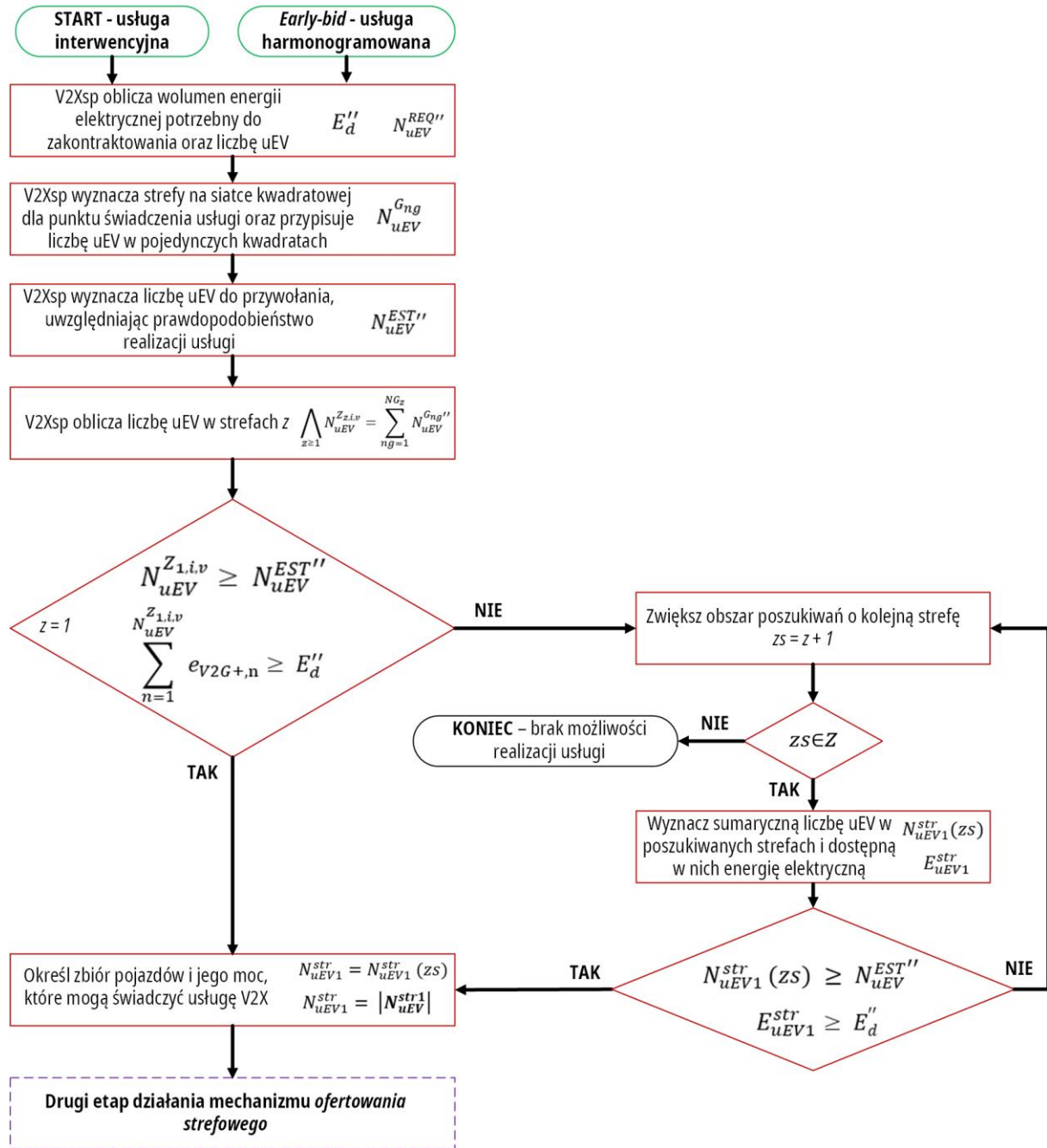
Ponadto, zaproponowany algorytm strefowy uwzględnia konieczność wezwania odpowiedniej liczby uczestników wraz z ich pojazdami (uEV), uwzględniając prawdopodobieństwo wykonania usługi $V2X P_{uEV}(AE)$. W tym celu, w pierwszej kolejności należy wyliczyć liczbę pojazdów elektrycznych $V2X$ potrzebnych do przywołania w ramach algorytmu strefowego $N_{uEV}^{EST''}$, która uwzględnia prawdopodobieństwo realizacji usługi. Konieczne jest zatem zlokalizowanie n -tego uEV w obszarze działania $V2X_{sp}$, w momencie rozpoczęcia poszukiwania pojazdów. Oznacza to, że można wówczas przypisać liczbę uEV w poszczególnych kwadratach siatki N_{uEV}^{Gng} do stref wyznaczonych dla v -tego punktu świadczenia usługi $V2X$ i -tego usługobiorcy. Niech $N_{uEV}^{Zz,i,v}$ oznacza liczbę pojazdów w z -tej strefie wyznaczonej dla ww. punktu. Należy także dodać, że istnieją warunki konieczne, aby $V2X_{sp}$ uwzględnił w swoich obliczeniach danego uEV. Warunki te dotyczą czasu świadczenia usługi przez uEV, który musi być co najmniej równy czasowi wymaganemu przez usługobiorcę oraz potencjalnie dostępna w nim energia elektryczna równa przepływowi energii elektrycznej z n -tego pojazdu elektrycznego do sieci elektroenergetycznej musi być większa od 0, tj. istnieje możliwość wykorzystania takiego uEV w procesie świadczenia usług $V2X$. Do dalszej realizacji procesu kontraktowania usługi $V2X$ w ramach mechanizmu ofertowania strefowego wybrana jest liczba stref, dla której liczba pojazdów znajdujących się w nich jest co najmniej

równa liczbie $N_{uEV}^{EST''}$. Ponadto analizowany jest także warunek dostępności wymaganego wolumenu energii elektrycznej do realizacji usługi V2X, biorąc pod uwagę dostępną pojemność w uEV. Następnie tworzone są rankingi ofert w odniesieniu do wybranych uEV. Podstawowa kolejność sortowania ofert obejmuje następujące kryteria:

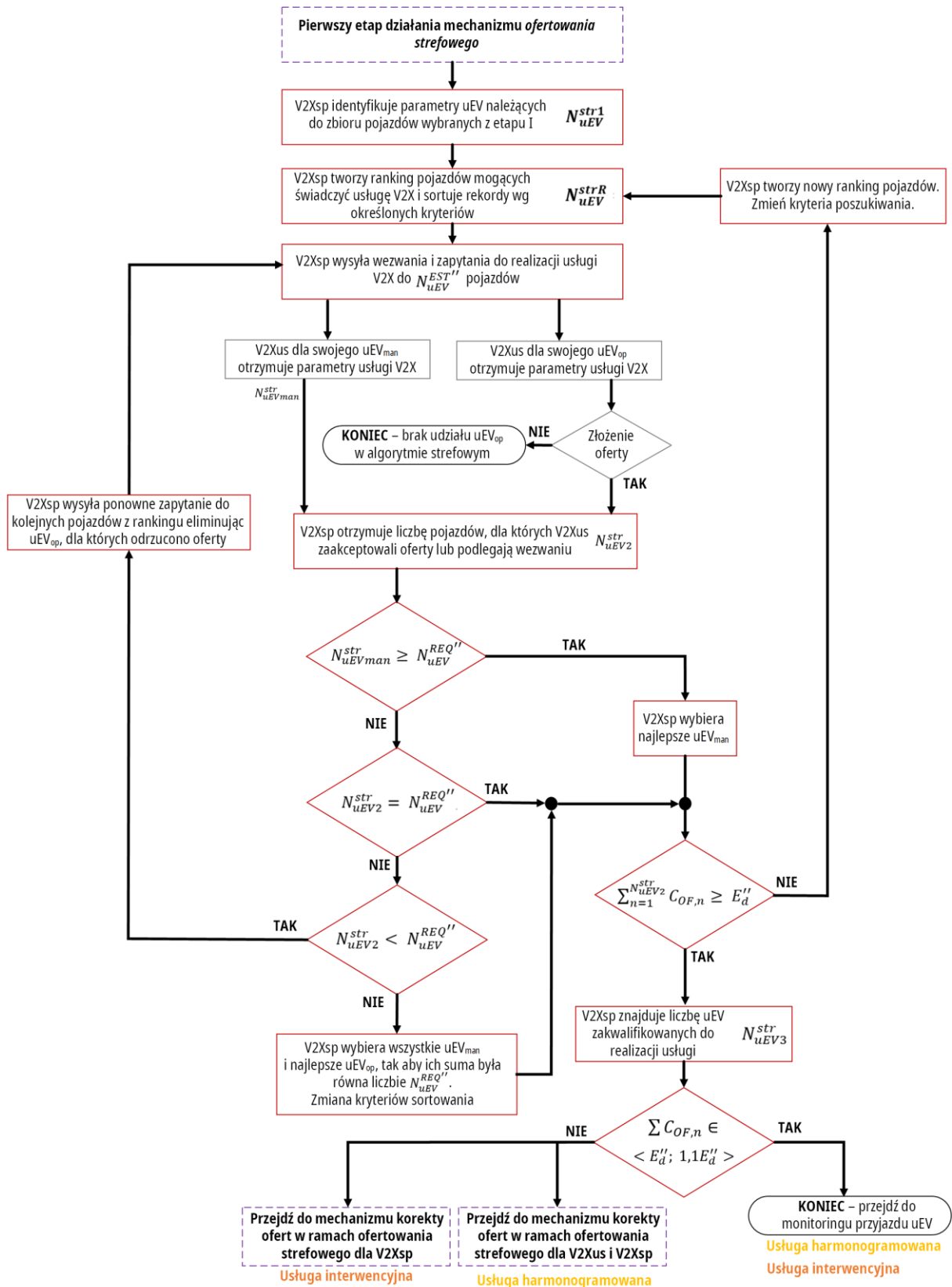
- 1) *Tryb świadczenia usług (M_n):* obowiązkowy $\rightarrow$ opcjonalny;
- 2) *Odległość od punktu świadczenia usługi ($DIST_n^{str}$):* min $\rightarrow$ max;
- 3) *Oferowana pojemność ($C_{OF,n}$):* max $\rightarrow$ min;
- 4) *Maksymalna moc rozładowania ($P_{uEV,n}^{MAX}$):* max $\rightarrow$ min;
- 5) *Czas świadczenia usługi ($t_{s,n}^{uEV}$):* max $\rightarrow$ min.

Po procesie sortowania ofert, V2Xsp wysyła wezwania (call) do wykonania usługi V2X dla uczestników Programu V2X, których uEV świadczący usługi w trybie obowiązkowym (uEV_{man}) znajdują się w obszarze poszukiwań. Uczestnik nie ma możliwości odrzucenia oferty, zaś nie podjęcie jej do realizacji lub brak przyjazdu do miejsca świadczenia usługi będzie skutkowało nałożeniem kar finansowych. W przypadku pojazdów elektrycznych V2X, które świadczą usługi w trybie opcjonalnym (uEV_{op}), wysyłana jest prośba (request). V2Xus w odniesieniu do swojego uEV_{op} może odrzucić taką prośbę lub ją zaakceptować. Do momentu, gdy realizacja usługi nie zostanie potwierdzona, V2Xus w odniesieniu do uEV_{op} może wycofać swoją ofertę, jednakże po jej akceptacji skutki finansowe są analogiczne jak w przypadku braku realizacji usługi przez uEV_{man} . Należy wspomnieć, że V2Xsp musi wysłać tyle próśb i wezwań, aby został uwzględniony margines bezpieczeństwa wynikający ze stochastycznego charakteru realizacji usługi przez V2Xus. Następnie analizowane są przyjęte prośby oraz wezwania oraz sprawdzana jest ponownie liczba pojazdów realizujących usługę V2X oraz warunek dostępnej pojemności baterii uEV. Jeżeli oferowana przez V2Xus w odniesieniu do ich uEV pojemność baterii będzie większa niż wymagana, wówczas następuje proces korekty ofert. Dla usług harmonogramowanych posiada on 2 stopnie (korekty składane przez V2Xus lub dopasowująca do realnego wolumenu korekta przez V2Xsp), zaś w przypadku usług interwencyjnych korekta oferty może być wyłącznie dokonywana przez V2Xsp. W procesie składania ofert uwzględnia się tzw. „limit kontraktowy”, równy 110% wolumenu E_d'' . Efektem działania algorytmu ofertowania strefowego jest wyznaczenie pojazdów, które będą realizować usługę V2X N_{uEV3K}^{strRS} oraz wolumenu energii elektrycznej E_{uEVC}^{str} , który będzie co najwyżej równy wartości limitu kontraktowego, lecz zawsze niemniejszy od wymaganego wolumenu E_d'' . Na Rys. 5.6 – Rys. 5.9 przedstawiono schemat blokowy kontraktowania usług V2X w ramach mechanizmu

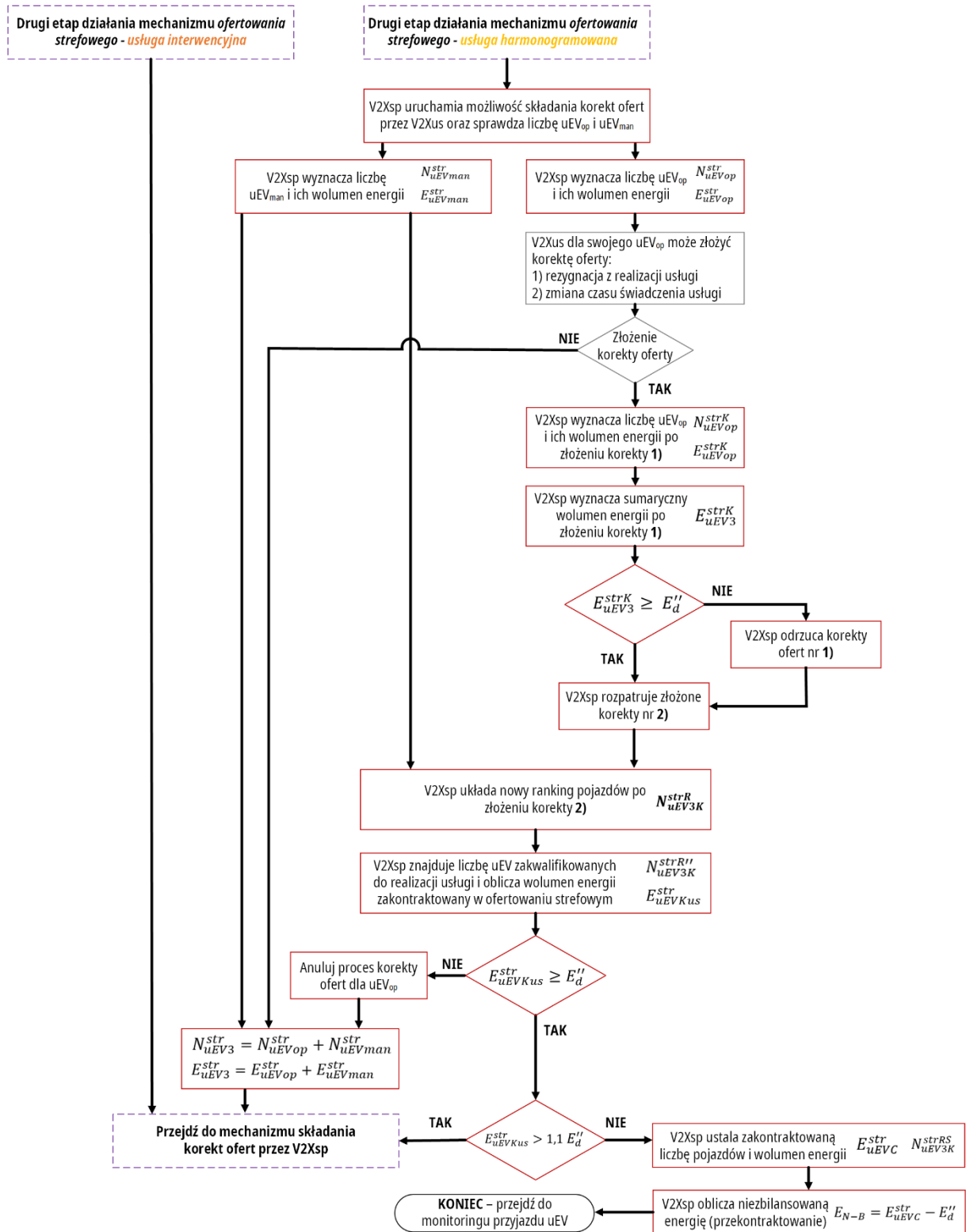
ofertowania strefowego. Szczegółowy proces kontraktowania uEV w ramach mechanizmu *ofertowania strefowego* został przedstawiony w Załączniku 4.



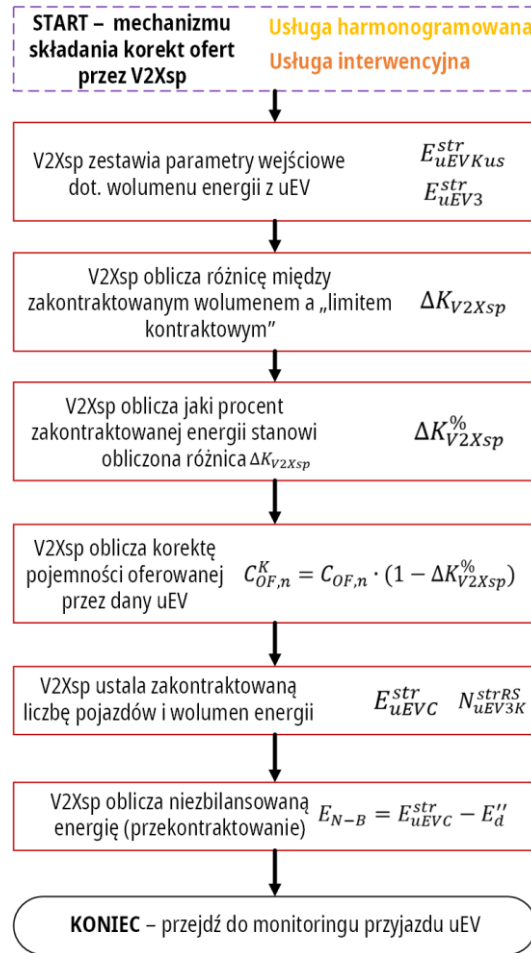
Rys. 5.6. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 1



Rys. 5.7. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 2



Rys. 5.8. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 3

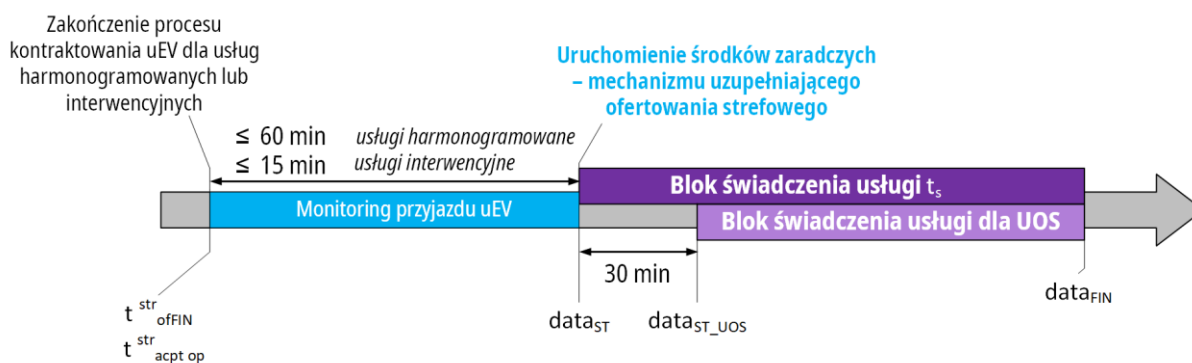


Rys. 5.9. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 4

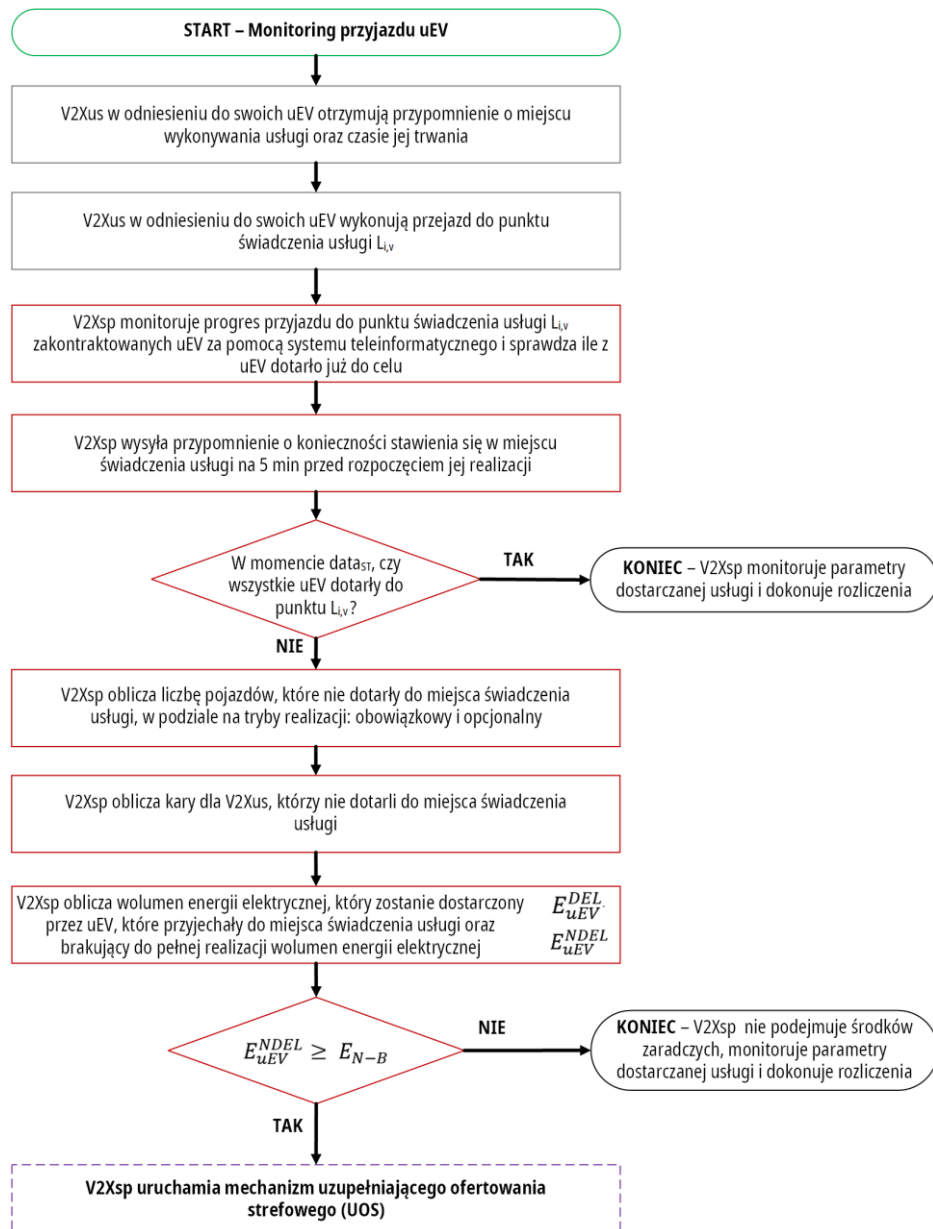
5.4. Monitoring przyjazdu uEV - uzupełniające ofertowanie strefowe

Po ułożeniu nowego rankingu pojazdów zakontraktowanych w mechanizmie *ofertowania strefowego* i wybraniu z niego najlepszych rekordów oraz zakontraktowaniu pewnej liczby pojazdów w ramach mechanizmu *early-bid*, V2Xsp rozpoczyna proces monitorowania przyjazdu uEV do punktu świadczenia usługi. Wykorzystuje do tego system teleinformatyczny oraz rejestratory parametrów jezdnych, w szczególności nadajniki GPS. W całym bloku czasowym sprawdzenia, czy V2Xus dotarli do punktu świadczenia usługi, V2Xsp oblicza ile pojazdów dotarło do punktu, a końcowa iteracja tego działania kończy się w momencie rozpoczęcia świadczenia usługi. W przypadku, gdy wszystkie zakontraktowani V2Xus w odniesieniu do swoich uEV dotarli do miejsca świadczenia usługi, V2Xsp rozpoczyna proces monitorowania dostarczenia energii z pojazdów do usługobiorcy, co kończy proces pozyskania uEV do realizacji usługi. Natomiast, w przypadku gdy V2Xus w odniesieniu do swoich uEV nie dotarli do punktu $L_{i,v}$ należy uzupełnić liczbę pojazdów, tak aby na koniec czasu świadczenia usługi, wolumen energii elektrycznej zakontraktowany przez usługobiorcę z V2Xsp był zbliżony ze stanem wymaganym. W związku z tym, że czas świadczenia usługi

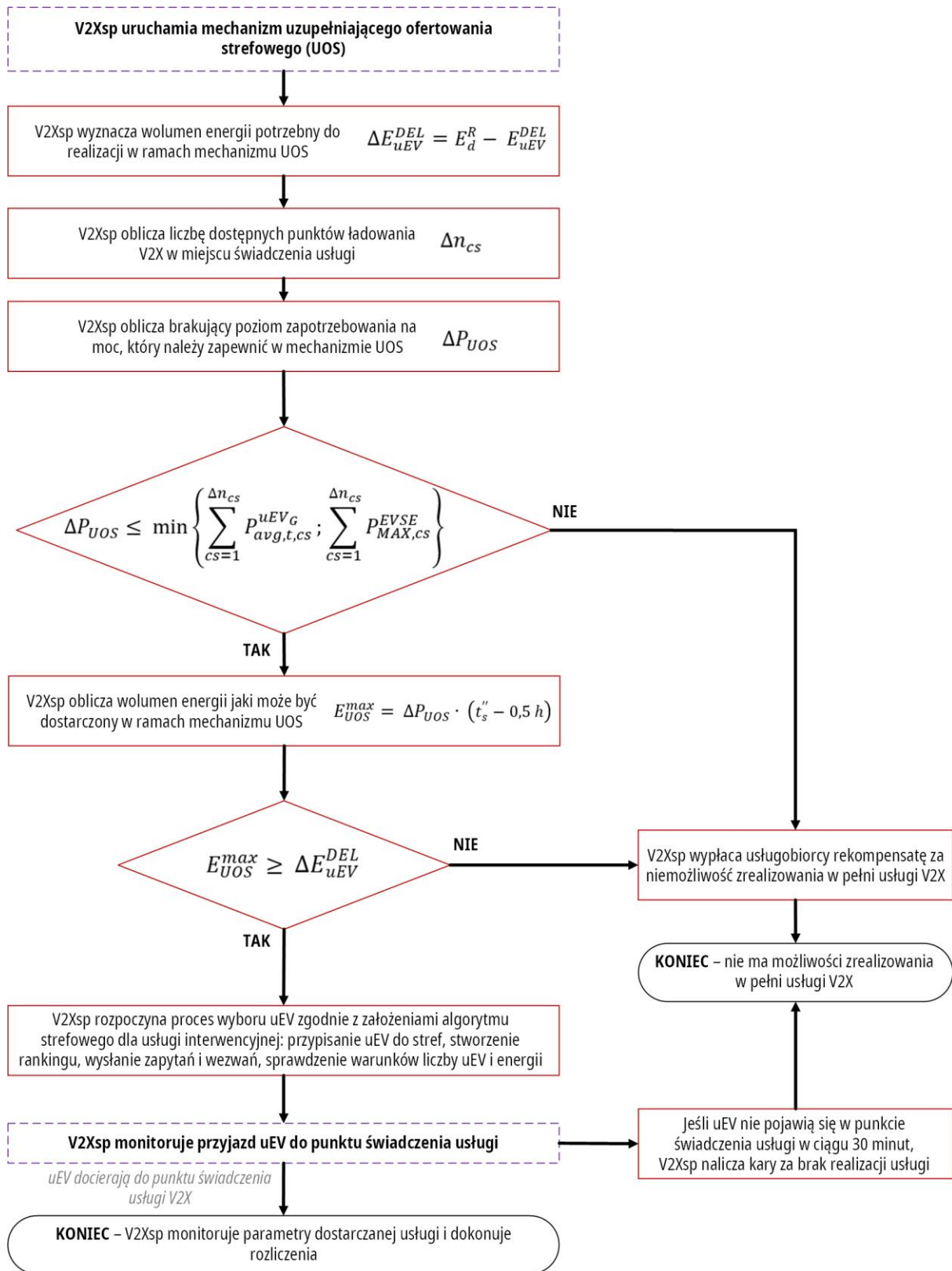
byłby krótszy, to również należy w pierwszej kolejności uwzględniać pojazdy o mocy rozładowania zbliżonej do maksymalnej dostępnej w punktach ładowania oraz największej pojemności, którą mogą udostępnić. Powyższe procesy zostały zdefiniowane jako mechanizm „Uzupełniającego Ofertowania Strefowego” (UOS). Na Rys. 5.10 przedstawiono oś czasu, na której zaznaczono najważniejsze procesy związane z mechanizmem uzupełniającego ofertowania strefowego, zaś na Rys. 5.11 – Rys. 5.12 przedstawiono schematy blokowe realizacji ww. mechanizmu. Szczegółowy proces kontraktowania uEV w ramach mechanizmu *Uzupełniającego Ofertowania Strefowego* został przedstawiony w załączniku 5.



Rys. 5.10. Proces kontraktowania uEV w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego



Rys. 5.11. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego – część 1



Rys. 5.12. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego – część 2

6. Założenia do modelu ekonomicznego

6.1. Wprowadzenie

We wcześniejszych rozdziałach rozprawy omówiono kwestie związane z procesem kontraktowania usług V2X dla wybranego obszaru działania V2Xsp. W niniejszym rozdziale omówiono natomiast podstawowe założenia do utworzenia modelu ekonomicznego, który pozwoli na rozliczenie usługobiorcy (odbiorcy końcowego V2X), usługodawcy (V2Xus wraz z jego pojazdem elektrycznym – uEV) oraz przedsiębiorstwa zarządzającego Programem V2X (V2Xsp). Zaprezentowany model jest osiągnięciem naukowym autora, jednakże opiera się on na rozwiązaniach przedstawionych w publikacjach [35, 124, 142]. Pierwszą próbę określenia modelu ekonomicznego w Programie V2X przedstawiono w [138], lecz po dokładnej analizie został on znacząco zmodyfikowany. W podrozdziale 4.1., opisującym proces zdefiniowania usługi V2X stwierdzono, że dla każdej usługi zachodzi pewien przepływ energii elektrycznej pomiędzy pojazdem elektrycznym a instalacją elektroenergetyczną usługobiorcy (instalacja odbiorcy lub sieć elektroenergetyczna). Zatem model rozliczania usług V2X dla usługobiorcy musi być jednolity (dla OSD i odbiorcy końcowego) i uzależniony od przesłanej energii elektrycznej w części zmiennej oraz od mocy zamówionej, czynników statystycznych oraz płatności za gotowość w części stałej opłat. Jednakże wycena, tzn. ustalenie stawki jednostkowej oraz wyznaczenie współczynników korekcyjnych poszczególnej usługi V2X powinno się różnić i być ocenione indywidualnie. W dalszej części rozprawy skupiono się wyłącznie na wycenie usługi pt. „*Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*” z puli usług harmonogramowanych, realizowanych dla odbiorcy końcowego. Jest to związane głównie z faktem, że w momencie tworzenia niniejszej rozprawy nie istnieją ramy prawne i organizacyjne do oceny technicznej i ekonomicznej usług elastyczności dla OSD. Niemniej jednak należy pamiętać, że realizacja usług V2X wyłącznie dla odbiorcy końcowego jest również działaniem pośrednio zwiększającym elastyczność systemu.

6.2. Model rozliczenia usługobiorcy

Tak jak wspomniano w podrozdziale 6.1 model rozliczenia usługobiorcy musi być jak najbardziej uogólniony, tak aby mógł posłużyć do rozliczeń zarówno dla odbiorcy końcowego V2X (EndUs), jak i OSD zamawiającego usługi elastyczności. Co do zasady został on podzielony na dwa składniki determinujące całkowitą opłatę dla V2Xsp, którą musi uiścić i -ty usługobiorca w odniesieniu do zamówionej usługi ($Fee_{i,s}$):

- składnik stały – zależny od mocy zamówionej w danej usłudze V2X wpływającej na wykorzystywany potencjał pojazdów elektrycznych oraz na poziom mocy potrzebny do zabezpieczenia;
- składnik zmienny – zależny od przesłanej energii elektrycznej z pojazdu do instalacji usługobiorcy.

Należy podkreślić, że z punktu widzenia usługobiorcy należy rozliczyć każdą usługę V2X oddzielnie, tzn. wartości poszczególnych składników muszą odnosić się do wybranej usługi, a następnie obliczana jest sumaryczna opłata dotycząca wszystkich zakupionych usług, jaką musi on uiścić na rzecz V2Xsp. Powyższe rozważania zostały przedstawione za pomocą równań:

$$Fee_{i,s} = \sum_{v=1}^V (SF_{i,v,s} + SV_{i,v,s}) \quad (6.1)$$

$$Fee_i = \sum_{s=1}^S Fee_{i,s} \quad (6.2)$$

gdzie: $Fee_{i,s}$ – opłata miesięczna dla i -tego usługobiorcy korzystającego z programu V2X, który zamówił s -tą usługę V2X w v -tych lokalizacjach, wyrażona w PLN; Fee_i – opłata miesięczna dla i -tego usługobiorcy korzystającego z programu V2X, który zamówił s rodzajów usług V2X w v -tych lokalizacjach, wyrażona w PLN; $SF_{i,v,s}$ – składnik stały opłaty miesięcznej dla i -tego usługobiorcy korzystającego z programu V2X, który zamówił s -tą usługę V2X w v -tej lokalizacji, wyrażony w PLN; $SV_{i,v,s}$ – składnik zmienny opłaty miesięcznej dla i -tego usługobiorcy korzystającego z programu V2X, który zamówił s -tą usługę V2X w v -tej lokalizacji, wyrażony w PLN.

Następnie należy przyjrzeć się poszczególnym składnikom opłaty dla usługobiorcy (Fee). Jak już wspomniano wartość składnika stałego jest zależna od mocy zamówionej, która wpływa zarówno na liczbę pojazdów które należy przywołać jak i uwzględnić możliwości ich przywołania, biorąc pod uwagę ograniczony obszar działania V2Xsp. Zatem Fee w zakresie opłaty stałej można podzielić na dwa składniki: opłatę za gotowość oraz opłatę za moc zamówioną:

$$SF_{i,v,s} = OG_{i,v,s} + OPZ_{i,v,s} \quad (6.3)$$

gdzie: $OG_{i,v,s}$ – opłata za gotowość podjęcia s -tej usługi V2X u i -tego usługobiorcy korzystającego z programu V2X, która była realizowana w v -tym miejscu świadczenia usługi, wyrażona w PLN; $OPZ_{i,v,s}$ – opłata za moc zamówioną dla i -tego usługobiorcy korzystającego

z programu V2X, który zamówił s-tą usługę V2X, w v-tym miejscu świadczenia usługi, wyrażona w PLN.

Założono, że opłata za gotowość powinna odzwierciedlać możliwość wykonania s-tej usługi V2X w zależności od liczby uczestników V2X, którzy zadeklarowali możliwość jej świadczenia oraz od liczby usługobiorców, którzy zadeklarowali ją do koszyka swoich usług. Ponadto, należy uwzględnić również przeciętny koszt przemieszczenia się pojazdu elektrycznego między punktem świadczenia usługi a lokalizacją, w której znajduje się pojazd w momencie zaakceptowania usługi. Zatem:

$$OG_{i,v,s} = \frac{No_{usb,s}}{No_{uEV,s}} \cdot K_{TEV,s} \quad (6.4)$$

gdzie: $No_{usb,s}$ – liczba usługobiorców korzystających z s-tej usługi V2X na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; $No_{uEV,s}$ - liczba pojazdów elektrycznych zakontraktowana w Programie V2X w ramach s-tej usługi V2X na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; $K_{TEV,s}$ – koszt przemieszczenia się pojazdu świadczącego s-tą usługę V2X w celu jej realizacji wyrażony w PLN.

Zaproponowano, aby był on wyznaczany w odniesieniu do średniego zużycia energii elektrycznej w pojazdach, które potencjalnie mogą świadczyć s-tą usługę, średniej odległości jaką pokonują V2Xus, aby dojechać do miejsca świadczenia usługi oraz jednostkowego kosztu ładowania pojazdu elektrycznego w ogólnodostępnych stacjach ładowania znajdujących się w obszarze działania V2Xsp. Przedstawiono go za pomocą równania:

$$K_{TEV,s} = K_{OSŁ} \cdot u_{SEV} \cdot L_{EV,s} \quad (6.5)$$

gdzie: $K_{OSŁ}$ – jednostkowy koszt ładowania pojazdu elektrycznego w ogólnodostępnych stacjach ładowania, obsługiwanych przez wskazanego na danym obszarze działania V2Xsp operatora ogólnodostępnych stacji ładowania i dostawcy usług ładowania wyznaczonego decyzją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki, w rozumieniu Ustawy o Elektromobilności i paliwach alternatywnych, wyrażony w PLN/kWh; $K_{TEV,s}$ – koszt przemieszczenia się pojazdu świadczącego s-tą usługę V2X w celu jej realizacji wyrażony w PLN; $L_{uEV,s}$ – średnia odległość jaką przebywają uczestnicy programu V2X w odniesieniu do swoich pojazdów elektrycznych podczas świadczenia s-tej usługi V2X, wyrażana w km; u_{SEV} – średnie zużycie energii elektrycznej przez pojazd elektryczny, wyznaczone jako średnia wartość z godzinowych odczytów urządzenia rejestrującego parametry jezdne, wyrażone w kWh/km.

Ze względu na dość trudny sposób pozyskania danych do obliczenia ww. składnika, należy wprowadzić dodatkowe założenia. W przypadku parametru odległościowego $L_{uEV,s}$ należy rozpatrzyć dwa przypadki jego obliczania:

- przed uruchomieniem Programu V2X $L_{uEV,s}^P$ oraz
- w czasie normalnego funkcjonowania Programu V2X $L_{uEV,s}^N$.

Analiza parametru odległościowego w czasie normalnego funkcjonowania Programu V2X polega na obliczeniu średniej odległości, jaką pokonują V2Xus w swoich uEV od momentu podjęcia decyzji o świadczeniu usługi do czasu przyjazdu do usługobiorcy, na podstawie danych z rejestratorów jezdnych w okresie ostatnich 30 dni kalendarzowych:

$$L_{uEV,s}^N = \frac{\sum_{d=1}^D L_{uEVd,s}^{N_{AVG}}}{D} \quad (6.6)$$

gdzie: $L_{uEVd,s}^{N_{AVG}}$ – średnia odległość pokonywana przez uEV w ciągu jednego dnia kalendarzowego okresu rozliczeniowego w czasie realizacji s-tej usługi V2X, wyrażona w km; d – kolejny dzień okresu rozliczeniowego; D – liczba dni w okresie rozliczeniowym.

Wyznaczenie wartości tego parametru przed uruchomieniem Programu V2X stanowić może wyzwanie dla V2Xsp. Przy założeniu, że każdy uEV posiadałby rejestrator parametrów jezdnych w okresie tzw. 14-dniowego pilotażu (brak świadczenia usług, jedynie monitoring ruchu pojazdu) można pozyskać dane dot. jego przemieszczenia. Jednakże należy pamiętać, że pojazdy poruszają się często w odległościach innych niż te, które będą obliczane dla dystansu między punktem świadczenia usługi a obecną lokalizacją uEV. Po raz kolejny warto odwołać się do przeprowadzonych wstępnych badań ankietowych. Na podstawie odpowiedzi na pytanie 15) (Rys. 3.9) można znaleźć maksymalną akceptowalną dla uczestników odległość jaką chcą pokonywać w ramach świadczenia usług. Sugeruje się jednak, aby tworząc rzeczywisty model rozliczenia usług V2X przeprowadzić znacznie dokładniejsze badania ankietowe, niż te przedstawione w niniejszej rozprawie, tj. na większej grupie ankietowanych. Mając na uwadze powyższe, proponuje się aby wartość parametru związanego z przeciętną odległością pokonywaną przez uEV do celu świadczenia usługi V2X wynosiła:

$$L_{uEV,s}^P = \min\{L_{uEV,s}^{P_{AVG}}; L_{ANK}\} \quad (6.7)$$

gdzie: L_{ANK} – odległość jaką pokonuje uEV do miejsca świadczenia usługi, wyznaczona na podstawie badania ankietowego jako największa wartość z przedziału dla najpopularniejszej odpowiedzi, wyrażona w km; $L_{uEV,s}^{P_{AVG}}$ – odległość jaką pokonuje uEV do miejsca świadczenia usługi, wyznaczona jako średnia z przejazdów wykonywanych przez uEV planowanych do zakontraktowania s-tej usługi w okresie pilotażu Programu V2X, wyrażona w km.

Dzięki wykorzystaniu rejestratorów parametrów jezdnych uEV można także wyznaczyć wartość parametru u_{SEV} , przy czym pod uwagę bierze się wartość średnią ze wszystkich pojazdów planowanych do funkcjonowania w Programie V2X. Ostatnim parametrem wymagającym wyjaśnienia jest koszt ładowania pojazdów w ogólnodostępnych stacjach ładowania $K_{OSŁ}$. Należy przypomnieć, że jednym z założeń niniejszego modelu rozliczania jest zachowanie możliwie jak największego stopnia ogólności. Oznacza to też, że parametry pozwalające na określenie wymiaru ekonomicznego opłat dla usługobiorcy powinny dawać możliwość zastosowania we wszystkich sytuacjach. W przypadku kosztu związanego z przemieszczaniem się pojazdu należy rozpatrzyć problem uprzedniego naładowania pojazdu i wykorzystania zgromadzonej energii w pojeździe do przyjazdu do punktu świadczenia usługi. Jednakże, V2Xus będą ładować swoje pojazdy w różny sposób, charakterystyczny dla ich stylu życia oraz możliwości w zakresie infrastruktury. Proponuje się zatem, aby przyjąć jedną stawkę określającą koszt związany z ładowaniem – stawkę za ładowanie pojazdu w ogólnodostępnych stacjach ładowania. W tym miejscu przez ogólnodostępne stacje ładowania EV należy rozumieć te punkty ładowania, które wraz z infrastrukturą zostały wybudowane przez OSD na podstawie art. 64 Ustawy o Elektromobilności i Paliwach Alternatywnych. Następnie w drodze decyzji Prezes URE wyznaczył odpowiednich Operatorów Ogólnodostępnych Stacji Ładowania (OOSŁ) oraz ustanowił dostawców usług ładowania – „przedsiębiorstwa energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie obrotu energią elektryczną, które dokonuje sprzedaży energii elektrycznej do co najmniej 40% odbiorców końcowych przyłączonych do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej na terenie gminy, w której ma pełnić funkcję operatora ogólnodostępnej stacji ładowania” – zgodnie z przepisami art. 65 ust. 2 Ustawy o Elektromobilności i Paliwach Alternatywnych [129]. Dzięki takiemu założeniu koszt brany pod uwagę do kalkulacji stawki $K_{TEV,S}$ będzie stały dla danego obszaru i niezależny od rodzaju usługobiorcy.

Kolejnym składnikiem składającym się na opłatę uiszczaną przez usługobiorcę jest tzw. opłata za moc zamówioną. Podobnie jak w rozliczeniach odbiorcy końcowego z OSD za pobraną energię składnik stały opłaty jest uzależniony od mocy [91]. W kontekście usług V2X należy się zastanowić jak powinien być zdefiniowany poziom mocy, według którego usługobiorca będzie rozliczany. Ze względu na fakt, że moc rozładowania będzie zależeć od infrastruktury do rozładowania ($EVSE_{V2X}$) proponuje się, aby uzależnić opłatę za moc zamówioną od sumarycznej mocy punktów ładowania V2X w danej lokalizacji usługobiorcy. Ponadto w procesie naliczania ww. opłaty należy uwzględnić udział kosztów stałych

ponoszonych przez V2Xsp w stosunku do sumarycznej mocy wszystkich punktów ładowania V2X w obszarze działania V2Xsp. Zatem:

$$OPZ_{i,v,s} = P_{i,v}^{EVSE} \cdot \frac{OPEX_{V2Xsp}^{FIX}}{\sum_{i=1}^{No_{usb,s}} P_i^{EVSE}} \quad (6.8)$$

gdzie: $P_{i,v}^{EVSE}$ – maksymalna moc rozładowania wynikająca z zainstalowanych dwukierunkowych punktów ładowania V2X, znajdujących się u i -tego usługobiorcy, w v -tej lokalizacji, wyrażona w kW; $OPEX_{V2Xsp}^{FIX}$ – roczne operacyjne koszty stałe ponoszone przez Dostawcę Usług V2X, wyrażone w PLN; P_i^{EVSE} – maksymalna moc rozładowania wynikająca z zainstalowanych dwukierunkowych punktów ładowania V2X, znajdujących się we wszystkich lokalizacjach i -tego usługobiorcy, wyrażona w kW.

Warto poruszyć także temat kosztów stałych ponoszonych przez V2Xsp. Na podstawie publikacji [35] można stwierdzić, że do kosztów stałych ponoszonych przez dostawcę usług V2X, który jest także operatorem punktów V2X, można zaliczyć:

- wynagrodzenia pracowników,
- koszty stałe eksploatacji punktów ładowania V2X,
- koszty montażu i uruchomienia punktów ładowania V2X,
- amortyzacja punktów ładowania V2X¹⁶,
- amortyzacja urządzeń komputerowych i teleinformatycznych,
- pozostałe, niezawierające się w ww. kategoriach koszty stałe (np. podatki).

W publikacji [35] sugeruje się, aby to operator stacji ładowania (w przypadku tej rozprawy – V2Xsp) był właścicielem infrastruktury do ładowania (lub rozładowania). Jednakże, zgodnie z założeniami Programu V2X właścicielem infrastruktury powinien być usługobiorca. Należy jednak pamiętać o zapisach art. 33 ust. 2 Dyrektywy PE 944/2019, które praktycznie wykluczają możliwość posiadania infrastruktury do ładowania przez OSD, z wyjątkiem tej wykorzystywanej na potrzeby własne [102]. Zatem dla usług elastyczności sieci świadczonych dla OSD, właścicielem punktów ładowania V2X powinien zostać V2Xsp. Oznacza to, że przy tworzeniu modeli ekonomicznych poszczególnych usług należy zdefiniować odpowiednio wydatki po stronie V2Xsp. W przypadku usług elastyczności będzie to nakład inwestycyjny w postaci zakupu punktów ładowania V2X oraz koszty ich amortyzacji, instalacji oraz eksploatacji. Natomiast w przypadku usług świadczonych bezpośrednio dla

¹⁶ W niniejszej rozprawie – tylko dla usług świadczonych dla OSD.

usługobiorców, koszty związane z zakupem infrastruktury nie będą zaliczane jako wydatki po stronie V2Xsp.

Kolejnym składnikiem, który należy przeanalizować jest składnik zmienny opłaty miesięcznej dla i -tego usługobiorcy. Jest on wyrażony w następujący sposób:

$$SV_{i,v,s} = \sum_{da=1}^{DAM} E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \quad (6.9)$$

gdzie: $E_{uEV,da,s}^{DEL'}$ – wolumen energii elektrycznej dostarczony do odbiorcy końcowego V2X podczas jednej da -tej akcji rozładowania pojazdów elektrycznych V2X (uEV), dla i -tego usługobiorcy, w v -tej lokalizacji, dla s -tej usługi, wyrażony w kWh; $da(i,v)$ – akcja rozładowania pojazdu elektrycznego dla i -tego usługobiorcy, w v -tej lokalizacji, dla s -tej usługi V2X; DAM – liczba akcji rozładowania dla i -tego usługobiorcy, w v -tej lokalizacji, dla s -tej usługi, w ciągu okresu rozliczeniowego; $k_{da,s}$ – stawka za pozyskanie energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego V2X, w czasie realizacji da -tej akcji rozładowania dla s -tej usługi V2X, wyznaczana oddzielnie dla każdej usługi V2X, wyrażona w PLN/kWh.

W pierwszej kolejności trzeba zdefiniować, czym jest akcja rozładowania. Przez to pojęcie należy rozumieć czynność udostępnienia pojemności baterii EV dla usługobiorcy świadconą w v -tej lokalizacji i -tego usługobiorcy, dla zadanej s -tej usługi. Można zatem stwierdzić, że rozliczenie takiej akcji rozładowania będzie odbywało się ex-post. Oznacza to, że należy określić zależność pomiędzy wolumenem energii elektrycznej planowanym do dostarczenia przez uEV a tym faktycznie dostarczonym. Zatem:

$$E_{uEV,da,s}^{DEL'} = E_{uEV,da,s}^{DEL} + E_{UOS,da,s}^{DEL} - E_{uEV,da,s}^{NS} \quad (6.10)$$

gdzie: $E_{uEV,da,s}^{DEL}$ – wolumen energii elektrycznej planowany do dostarczenia przez pojazdy elektryczne V2X, które dotarły do v -tego punktu świadczenia usługi, i -tego usługobiorcy, realizując s -tą usługę V2X, wyrażony w kWh; $E_{UOS,da,s}^{DEL}$ – wolumen energii elektrycznej, w jaki można zaopatrzyć i -tego usługobiorcy w v -tym punkcie świadczenia usługi, realizując s -tą usługę, w mechanizmie Uzupełniającego Ofertowania Strefowego, wyrażony w kWh; $E_{uEV,da,s}^{NS}$ – wolumen energii elektrycznej niedostarczony w czasie realizacji usługi V2X, stanowiący ubytki energii, w v -tym punkcie świadczenia usługi, realizując s -tą usługę, dla i -tego usługobiorcy, wyrażony w kWh.

Zgodnie z założeniami Programu V2X, stawki za korzystanie z pojemności baterii uEV przez usługobiorcę $k_{da,s}$ powinny być wyznaczone indywidualnie dla każdej usługi. Powinna być ona wyznaczana w zależności od stopnia skomplikowania realizacji takiej usługi lub od znanych parametrów statystycznych w obszarze elektroenergetyki, w szczególności

bezpieczeństwa elektroenergetycznego i niezawodności zasilania. To drugie podejście zastosowano w parametryzacji usługi realizowanej dla odbiorcy końcowego, która została opisana w rozdziale 7. Niemniej jednak wartość $k_{da,s}$ nie może być mniejsza niż pewna wartość graniczna $k_{da,s}^{LIM}$ określona dla każdej usługi V2X, np. w przypadku świadczenia usługi rezerwowego zasilania dla odbiorcy końcowego będzie to przeciętny jednostkowy koszt energii elektrycznej dostarczonej z sieci elektroenergetycznej. Możliwe jest także wprowadzenie dodatkowych ograniczeń wynikających z charakterystyki danej usługi V2X.

W modelu rozliczania usługobiorcy należy uwzględnić również kary z tytułu braku możliwości zapewnienia warunków technicznych do realizacji usługi np. niedostępne punkty ładowania V2X. Jednakże powinny stanowić one dodatkowy, niezależny od składnik. Szczegóły zostaną omówione w podrozdziale 6.5.

6.3. Model rozliczenia Uczestnika Programu V2X

Bardziej skomplikowany, niż omawiany w podrozdziale 6.2 model rozliczania usługobiorcy, dotyczy Uczestnika Programu V2X, czyli usługodawcy. Jest to związane z możliwością świadczenia usług w dwóch trybach: obowiązkowym i opcjonalnym. Zgodnie z założeniami Programu V2X, usługodawca rozliczający się w trybie obowiązkowym jest zobligowany do realizacji usługi V2X na wezwanie V2Xsp, ale otrzymuje jednocześnie comiesięczną opłatę za gotowość. Ze względu na to, że po zakończeniu usługi rozładowania pojemności danego uEV może istnieć potrzeba uzupełnienia w nim energii elektrycznej lub V2Xus wyraziłby chęć naładowania swojego pojazdu w innej stacji ładowania należącej do V2Xsp, należy również uwzględnić pomniejszenie wynagrodzenia o wartość energii pobranej przy ładowaniu. Zatem można zapisać ogólny wzór pozwalający obliczyć wynagrodzenie dla V2Xus w odniesieniu do n -tego uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym:

$$S_{uEV,n}^{MAN} = \sum_{s=1}^S OG_{n,s}^{uEV} \cdot N_{RM} + \left(\sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{OS\acute{L}} \cdot A_{2,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} \right) + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n} \quad (6.11)$$

gdzie: $OG_{n,s}^{uEV}$ - opłata za gotowość realizacji s -tej usługi V2X, wypłacana uczestnikom programu V2X w odniesieniu do n -tego pojazdu realizującego usługi w trybie obowiązkowym, wyrażana w PLN; N_{RM} - liczba miesięcznych okresów rozliczeniowych określonych w Kontrakcie V2X; N_{dis} - liczba akcji rozładowania pojazdu elektrycznego V2X w zadanych okresach rozliczeniowych; $E_{dis,n,s}^{uEV}$ - wolumen energii elektrycznej udostępniony przez n -ty uEV w czasie akcji rozładowania w ramach realizacji s -tej usługi V2X, wyrażony w kWh;

$E_{dis,n}^{uEV}$ – wolumen energii elektrycznej udostępniony przez n -ty uEV w ramach wykonanych akcji rozładowania dla wszystkich usług V2X, wyrażony w kWh; N_{ch} – liczba akcji ładowania pojazdu elektrycznego V2X w zadanych okresach rozliczeniowych, realizowana w punktach ładowania zarządzanych lub dysponowanych przez właściwego V2Xsp; K_{ch} – jednostkowy koszt ładowania pojazdu elektrycznego V2X w stacjach ładowania zarządzanych przez V2Xsp, wyrażony w PLN/kWh; $E_{ch,n}^{uEV}$ – wolumen energii elektrycznej pobrany przez n -ty uEV w ramach wykonanych akcji ładowania, wyrażony w kWh; K_{DEG} – jednostkowy koszt degradacji baterii EV, wynikający z wykorzystania pojemności baterii w procesach świadczenia usług V2X, wyrażony w PLN/kWh; $A_{2,s}$ – współczynnik premii za rozładowanie dla uEV, świadczących usługi w trybie obowiązkowym dla s -tej usługi V2X; $S_{uEV,n}^{MAN}$ – wynagrodzenie w danym okresie rozliczeniowym dla n -tego uEV świadczącego usługi w trybie obowiązkowym, wyrażone w PLN.

Następnie, należy omówić najważniejsze składniki wynagrodzenia oraz sposób ich wyliczenia. Pierwszy z nich dotyczy opłaty za gotowość. Jest ona wyliczana oddzielnie dla każdej usługi, na podstawie sumarycznej stawki za gotowość pobranej od usługobiorców, wyliczonej na podstawie równania (6.4). Uzależniona jest także od potencjału mocowego danego uEV świadczącego usługi w trybie obowiązkowym w stosunku do średniej wartości mocy rozładowania uEV w całym obszarze działania V2Xsp, wyliczanej dla s -tej usługi. Przedstawiono ten składnik za pomocą równania:

$$OG_{n,s}^{uEV} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Ousb,s}} \sum_{v=1}^V OG_{i,v,s}}{N_{uEV,s}^{MAN}} \cdot \frac{P_{uEV_{man},n}^{MAX}}{P_{uEV_{G,s}}^{AVG}} \quad (6.12)$$

gdzie: $OG_{n,s}^{uEV}$ - opłata za gotowość realizacji s -tej usługi V2X, wypłacana uczestnikom programu V2X w odniesieniu do n -tego pojazdu realizującego usługi w trybie obowiązkowym, wyrażana w PLN; $N_{uEV,s}^{MAN}$ – liczba pojazdów świadczących s -tą usługę w trybie obowiązkowym; $P_{uEV,n}^{MAX}$ – maksymalna moc przesyłana z/do baterii n -tego pojazdu elektrycznego V2X (uEV), świadczącego usługi w trybie obowiązkowym, wyrażona w kW; $P_{uEV_{G,s}}^{AVG}$ – średnia moc pojazdów elektrycznych mogących świadczyć s -tą usługę V2X w obszarze działania V2Xsp, wyrażona w kW.

Kolejnym składnikiem wynagrodzenia dla Uczestnika Programu V2X świadczącego usługi w trybie obowiązkowym jest saldo rozliczenia energii elektrycznej oddanej do usługobiorcy i pobranej w ramach ładowania pojazdu. Jak wspomniano wcześniej, V2Xus może naładować swój pojazd w stacjach ładowania zarządzanych przez V2Xsp. Zatem konieczne jest rozliczenie energii elektrycznej pobranej w tym celu. Proponuje się, aby model

rozliczenia energii elektrycznej oddanej do usługobiorcy opierał się na iloczynie wielkości wolumenu energii elektrycznej przesłanej z baterii EV, jednostkowego kosztu ładowania pojazdu w ogólnodostępnej stacji ładowania, o którym mowa w podrozdziale 6.2, oraz współczynnika premii z tytułu rozładowania $A_{M,S}$, zależnego od natężenia ruchu komunikacyjnego w obszarze działania V2Xsp¹⁷. Warto nadmienić, że ww. współczynniki powinny być zależne również od rodzaju usług i trybu ich świadczenia. Zabieg polegający na ustaleniu stałej ceny bazowej za rozładowanie EV, która będzie powiększona w zależności od współczynnika $A_{M,S}$, jest kontynuacją rozważań dotyczących ujednolicenia modeli rozliczeniowych, dla wszystkich regionów kraju oraz nie spowoduje, że wykonywanie usług byłoby nieopłacalne dla wybranej grupy usługobiorców (w przypadku uzależnienia od ceny energii elektrycznej usługobiorcy). Wielkość opłaty z tytułu ładowania jest iloczynem pobranej energii elektrycznej do ładowania pojazdu oraz kosztu pobrania 1 kWh w czasie ładowania EV. Należy podkreślić, że zawsze musi zachodzić relacja:

$$K_{ch} \leq K_{Osł} \quad (6.13)$$

Przedostatnim składnikiem wynagrodzenia przedstawionego równaniem (6.11) jest zwrot za przyspieszoną degradację baterii, wynikającą z większej liczby cykli ładowanie-ładowanie niż w przeciętnym EV ze względu na wykorzystanie technologii V2X. Składnik ten jest dość często opisywany w literaturze [109, 141], jednakże postanowiono wykorzystać sposób przedstawiony w [124]. Na podstawie rozważań przedstawionych w ww. publikacji oblicza się zwrot z tytułu nadmiernej degradacji baterii:

$$K_{DEG,n} = \frac{K_{wym} + K_{BAT} \cdot C_n}{L_c \cdot C_n \cdot DOD_n} \quad (6.14)$$

przy czym:

$$DOD_n = SOC_{max,n} - SOC_{0,n} \quad (6.15)$$

gdzie: L_c – oczekiwana, przeciętna liczba cykli ładowanie-rozładowanie baterii EV; C_n – pojemność baterii n -tego uEV, wyrażona w kWh; DOD_n – poziom głębokości rozładowania baterii n -tego uEV, wyrażony w %; $SOC_{max,n}$ – maksymalny poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego ograniczony przez możliwości techniczne, wyrażony w %; $SOC_{0,n}$ – minimalny poziom naładowania baterii pojazdu elektrycznego ograniczony przez możliwości techniczne, wyrażony w %; K_{BAT} – uśredniony jednostkowy

¹⁷ Metodyka wyznaczania współczynników $A_{M,S}$ została przedstawiona w Rozdziale 7, przy okazji parametryzacji wybranej usługi V2X.

koszt zakupu baterii EV, wyrażony w PLN/kWh; K_{wym} – koszt robocizny związany z wymianą baterii w EV, wyrażony w PLN.

W odróżnieniu od wynagrodzenia za świadczenie usług w trybie obowiązkowym, w trybie opcjonalnym V2Xus będzie otrzymywać wynagrodzenie tylko za faktyczną realizację usługi V2X. Oznacza to, że nie uwzględniana jest opłata za gotowość, zaś pozostałe współczynniki pełnią tę samą funkcję. Warto jednak podkreślić, że wielkość współczynnika $A_{M,s}$ (dla trybu opcjonalnego A_1) nie powinna być mniejsza niż dla trybu obowiązkowego. Wynika to z faktu, że uczestnik, który nie posiada stałego wynagrodzenia powinien otrzymać preferencyjną zachętę ekonomiczną, w postaci większego wynagrodzenia. Zatem, wynagrodzenie w okresie rozliczeniowym dla V2Xus zostało przedstawione za pomocą równania:

$$S_{uEV,n}^{OP} = \left(\sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{OSL} \cdot A_{1,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} \right) + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n} \quad (6.16)$$

gdzie: $A_{1,s}$ – współczynnik premii za rozładowanie dla uEV, świadczących usługi w trybie opcjonalnym dla s-tej usługi V2X; $S_{uEV,n}^{OP}$ – wynagrodzenie w danym okresie rozliczeniowym dla n-tego uEV świadczącego usługi w trybie opcjonalnym, wyrażone w PLN.

6.4. Model obliczania efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X

Jak wynika z założeń Programu V2X, dostawca usług (V2Xsp) powinien zachowywać się w warunkach rynkowych jak spółka obrotu energią elektryczną, przy czym handel energią polega na świadczeniu usług V2X dla odbiorców końcowych i OSD. Zatem należy zastanowić się nad potencjalnymi przychodami, jakie będzie generował V2Xsp. Zakłada się, że będą one zależne od sumarycznych opłat pobranych od usługobiorców, dla których będą świadczone usługi V2X. Należy zaznaczyć, że pomija się inne formy przychodu, a skupiono się wyłącznie na obliczeniu efektywności gospodarczej z tytułu świadczenia usług udostępnienia pojemności baterii EV dla usługobiorców. Całkowity przychód V2Xsp oblicza się ze wzoru:

$$IN_{V2Xsp}^{TOTAL} = \sum_{i=1}^{No_{usb}} Fee_i \quad (6.17)$$

gdzie: No_{usb} – liczba usługobiorców korzystających z usług V2X na obszarze działania Dostawcy Usług V2X; IN_{V2Xsp}^{TOTAL} – całkowity przychód uzyskiwany przez Dostawcę Usług V2X za realizację wszystkich usług V2X u wszystkich Odbiorców końcowych V2X w ciągu okresu rozliczeniowego, wyrażony w PLN.

Nieco bardziej rozbudowany model ekonomiczny należy zastosować do oceny wydatków V2Xsp. Należy w nim uwzględnić wynagrodzenia dla Uczestników Programu V2X w odniesieniu do ich pojazdów elektrycznych, świadczących usługi zarówno w trybie obowiązkowym, jak i opcjonalnym. Ponadto niezbędne jest uwzględnienie operacyjnych kosztów stałych przedsiębiorstwa, operacyjnych kosztów zmiennych oraz wartości kar umownych za brak realizacji przyjazdu pojazdów do miejsca świadczenia usługi. Sposób obliczania wydatków V2Xsp przedstawiono za pomocą wzoru:

$$CST_{V2Xsp} = \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{OP}} S_{uEV,n}^{OP} + \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{MAN}} S_{uEV,n}^{MAN} + \sum_{s=1}^S \left(OPEX_{V2Xsp,s}^{VAR} + \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG} \right) + OPEX_{V2Xsp}^{FIX} \quad (6.18)$$

gdzie: N_{uEV}^{OP} – liczba pojazdów elektrycznych realizujących usługi V2X w trybie opcjonalnym; N_{uEV}^{MAN} – liczba pojazdów elektrycznych realizujących usługi V2X w trybie obowiązkowym; $OPEX_{V2Xsp,s}^{VAR}$ – operacyjne koszty zmienne Dostawcy Usług V2X, wyrażone w PLN; $OPEX_{V2Xsp}^{FIX}$ – operacyjne koszty stałe Dostawcy Usług V2X, wyrażone w PLN; $PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG}$ – kary związane z brakiem możliwości zapewnienia realizacji s-tej usługi V2X dla i-tego usługobiorcy, wyrażone w PLN.

Większość składników równania (6.18) nie wymaga specjalnych wyjaśnień, jednakże należy poświęcić większą uwagę składnikowi $OPEX_{V2Xsp,s}^{VAR}$. Przez operacyjne koszty zmienne V2Xsp należy rozumieć koszt energii elektrycznej niedostarczonej usługobiorcom w czasie da-tej realizacji s-tej usługi V2X, w wyniku awarii systemu teleinformatycznego do prowadzenia rozliczeń. Zatem:

$$OPEX_{V2Xsp,s}^{VAR} = \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{da=1}^{DAM} \left(1 - P(V2X_{sp}) \right) \cdot k_{da,s} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL} \quad (6.19)$$

gdzie: $P(V2X_{sp})$ – prawdopodobieństwo działania systemu teleinformatycznego przeznaczonego do zarządzania, nadzoru oraz rozliczeń Programu V2X.

Składnik pozwalający na obliczenie kar związanych z brakiem możliwości zapewnienia realizacji s-tej usługi V2X dla i-tego usługobiorcy wymaga również szczegółowego omówienia. Rolą V2Xsp jest zakontraktowanie odpowiedniej liczby pojazdów elektrycznych, dysponujących wystarczającym wolumenem energii elektrycznej do pokrycia potrzeb usługobiorcy. Zatem, w każdym v-tym punkcie świadczenia usługi wielkości wolumenów energii powinny być zbilansowane. W przypadku, gdy V2Xus wraz ze swoimi uEV nie pojawią się w miejscu świadczenia usługi, V2Xsp posiada środki zaradcze, które umożliwią realizację

usługi. Pierwszym z nich jest zapewnienie brakującego wolumenu w ramach mechanizmu UOS, zaś drugi wynika z „*limitu kontraktowego*”, o którym mowa w podrozdziale 5.3. Jeśli wolumen energii niedostarczonej będzie mniejszy niż nadwyżka wynikająca z ww. limitu lub w ramach mechanizmu UOS zostanie zakontraktowany brakujący wolumen, wówczas usługobiorcy nie przysługuje bonifikata z tytułu braku możliwości realizacji usługi V2X. W przeciwnym razie, tj. gdy zachodzą przesłanki do niezbilansowania usługobiorcy, V2Xsp musi wypłacić dwukrotność opłaty za dostarczenie brakującego wolumenu energii elektrycznej. Powyższe rozważania przedstawiono za pomocą równań:

$$PEN_{V2Xsp,i,v,s}^{ALG} = \begin{cases} 0, & \bigwedge_{da \in DAM} E_{UOS,da}^{DEL} \geq \Delta E_{uEV,da}^{DEL} \vee E_{uEV,da}^{NDEL} < E_{N-B,da} \\ \sum_{da=1}^{DAM} \Delta E_{uEV,da}^{DEL} \cdot 2k_{da,s} & \end{cases} \quad (6.20)$$

$$PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG} = \sum_{v=1}^V PEN_{V2Xsp,i,v,s}^{ALG} \quad (6.21)$$

Do ogólnej oceny efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X posłużono się wskaźnikami EBITDA (ang. earnings before interest, taxes, depreciation and amortization) oraz EBIT (ang. earnings before interest and taxes), które są wykorzystywane podczas wykazywania opłacalności operacyjnej przedsiębiorstw [96], w tym tych związanych z elektromobilnością [35], oraz przedsięwzięć z zakresu energetyki [11]. Wskaźnik EBITDA informuje o zysku operacyjnym przedsiębiorstwa przed uwzględnieniem potrąceń z tytułu naliczonych odsetek, podatków oraz amortyzacji urządzeń i praw niematerialnych. Natomiast wskaźnik EBIT oznacza zysk operacyjny przedsiębiorstwa z uwzględnieniem amortyzacji urządzeń i praw niematerialnych. Na podstawie [11], wskaźnik EBIT dla V2Xsp jest równy:

$$EBITDA = IN_{V2Xsp}^{TOTAL} - CST_{V2Xsp} \quad (6.22)$$

$$EBIT = EBITDA - K_{D\&A} \quad (6.23)$$

gdzie: $K_{D\&A}$ – amortyzacja urządzeń i praw niematerialnych V2Xsp, wyrażona w PLN.

Można przyjąć, że przedsiębiorstwo przynosi zyski wtedy gdy:

$$\begin{cases} EBITDA > 0 \\ EBIT > 0 \end{cases} \quad (6.24)$$

Obliczone wskaźniki EBITDA i EBIT pozwolą na ocenę, czy przy zadanych opłatach za rozładowanie EV w miejscu świadczenia usługi V2X ($k_{da,s}$) oraz stawkach wynagrodzenia dla uEV ($S_{uEV,n}^{OP}$ lub $S_{uEV,n}^{MAN}$), przedsiębiorstwo energetyczne będące Dostawcą Usług V2X może

funkcjonować w warunkach rynkowych nie przynosząc strat operacyjnych, czyli zachowując opłacalność. W analizie konkretnych przypadków świadczenia usług V2X należy także pamiętać, aby wysokość opłaty ponoszonej przez usługobiorców była dobrana w sposób odpowiedni, jednocześnie nie stanowiąc bariery w postaci wysokiego progu wejścia, przy zachowaniu zysku operacyjnego większego od 0. Zatem pojawia się możliwość wykonywania działań optymalizacyjnych w zakresie zmiany wartości wskaźnika $k_{da,s}$, tak aby parametr EBIT zachowywał dalej wartości niemniejsze od 0 oraz był niemniejszy niż pewna wartość graniczna charakterystyczna dla s-tej usługi V2X ($k_{da,s}^{LIM}$). Warto podkreślić, że amortyzacja urządzeń należących do V2Xsp nie zależy od wskaźnika $k_{da,s}$, jednakże może wpłynąć ona na końcowy wynik, stąd też oddzielne obliczenia dla wskaźnika EBITDA i EBIT nie są konieczne. Zatem zadanie optymalizacyjne może przyjąć następującą postać:

$$\begin{aligned} Min EBIT = & \sum_{i=1}^{No_{usb}} \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V \left(\frac{No_{usb,s}}{No_{uEV,s}} \cdot K_{Ost} \cdot u_{SEV} \cdot L_{EV,s} + P_{i,v}^{EVSE} \cdot \frac{OPEX_{V2Xsp}^{FIX}}{\sum_{i=1}^{No_{usb,s}} P_i^{EVSE}} + \sum_{da=1}^{DAM} E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \right) + \\ & - \left(\sum_{n=1}^{N_{uEV}^{OP}} \left(\sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{Ost} \cdot A_{1,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} \right) + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n} + \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{MAN}} \sum_{s=1}^S OG_{n,s}^{uEV} \cdot \right. \\ & N_{RM} + \left(\sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{Ost} \cdot A_{2,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} \right) + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n} + \\ & \left. \sum_{s=1}^S \left(\sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{da=1}^{DAM} (1 - P(V2X_{sp})) \cdot k_{da,s} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL} + \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG} \right) + OPEX_{V2Xsp}^{FIX} \right) - K_{D\&A} \end{aligned} \quad (6.25)$$

przy ograniczeniu:

$$\begin{cases} EBIT \geq 0 \\ k_{da,s} \geq k_{da,s}^{LIM} \end{cases} \quad (6.26)$$

Przedstawione w równaniu (6.25) zadanie optymalizacyjne dotyczy rozwiązania problemu liniowego, jednakże w niniejszej rozprawie stanowi on dodatkowy element pozwalający na wskazanie kierunków dalszych badań, przy czym wykonano w tym zakresie podstawowe obliczenia w rozdziale 8.2.7.

6.5. Obliczanie kar dla usługodawców i usługobiorców

Metodyka wyznaczania wartości kar dla V2Xsp została przedstawiona w podrozdziale 6.4, ze względu na konieczność uwzględnienia rekompensat w funkcji wydatków ponoszonych przez to przedsiębiorstwo. W przypadku kar dla usługodawców i usługobiorców należy zwrócić uwagę, że z punktu widzenia V2Xsp stanowią one wyłącznie przepływy finansowe między tymi podmiotami i nie można ich zaliczyć, ani do przychodów, ani do wydatków V2Xsp. W pierwszej kolejności należy przeanalizować kary naliczane dla usługobiorcy. Jednym z przypadków, w którym naliczone zostaną dla niego kary jest brak możliwości zapewnienia warunków technicznych do realizacji usługi V2X. Rozumie się przez to sytuację, w której V2Xus wraz ze swoimi uEV przyjechali do punktu świadczenia usługi, lecz nie mogli jej wykonać z winy usługobiorcy, np. ze względu na zajęty punkt ładowania V2X przez inny,

niepowiązany z Programem V2X, pojazd elektryczny. Należy odróżnić sytuację, w której brak realizacji usługi był spowodowany awarią urządzenia – wtedy kary nie są naliczane. Zatem można przedstawić ww. sytuację za pomocą wzoru:

$$PEN_{ND,i,v,s} = \begin{cases} 0, & \text{jeśli } \bigwedge_{da \in DAM} N_{uEV,da}^{AR} - N_{uEV,da}^{RS} = 0 \\ \bigwedge_{s \in S} K_{TEV,s} \cdot \sum_{da=1}^{DAM} P_{AVG,i,v}^{EVSE} \cdot t'_{s,da} \cdot (N_{uEV,da}^{AR} - N_{uEV,da}^{RS}) & \end{cases} \quad (6.27)$$

gdzie: $N_{uEV,da}^{AR}$ – liczba wezwanych przez V2Xsp pojazdów elektrycznych V2X do świadczenia da -tej akcji rozładowania w ramach s -tej usługi V2X, które przyjechały do v -tego punktu świadczenia i -tego usługobiorcy; $N_{uEV,da}^{RS}$ – liczba wezwanych przez V2Xsp pojazdów elektrycznych V2X do świadczenia da -tej akcji rozładowania w ramach s -tej usługi V2X, które przyjechały do v -tego punktu świadczenia i -tego usługobiorcy i wykonywały ją zgodnie z przedstawioną ofertą; $P_{AVG,i,v}^{EVSE}$ – średnia moc punktów ładowania V2X znajdujących się w v -tym punkcie świadczenia usługi i -tego usługobiorcy, wyrażona w kW; $t'_{s,da}$ – zamówiony czas realizacji usługi V2X, dla da -tej akcji rozładowania pojazdów elektrycznych V2X, wyrażony w godzinach; $PEN_{ND,i,v,s}$ – kara opłacana przez i -tego usługobiorcę na rzecz Dostawcy Usług V2X wynikająca z niemożliwości zapewnienia warunków technicznych i organizacyjnych na realizację zamówionej usługi V2X, w v -tej lokalizacji, dla s -tej usługi, wyrażona w PLN.

Na podstawie wzoru (6.27) można stwierdzić, że V2Xus w odniesieniu do realizacji s -tej usługi V2X za pomocą n -tego uEV otrzyma następującą bonifikatę:

$$BON_{uEV,n,s}^{ND} = K_{TEV,s} \cdot \sum_{da=1}^{DAM} P_{AVG,i,v}^{EVSE} \cdot t'_{s,da} \quad (6.28)$$

gdzie: $BON_{uEV,n,s}^{ND}$ – bonifikata otrzymana przez V2Xus w odniesieniu do n -tego uEV z tytułu braku możliwości realizacji s -tej usługi V2X, w wyniku zaniedbań usługobiorcy, wyrażona w PLN.

Druga analizowana sytuacja dotyczy naliczania kar za brak realizacji usług V2X i jest związana z brakiem podjęcia stosownych akcji przez Uczestnika Programu V2X w odniesieniu do swojego uEV. Warto nadmienić, że sposób wyliczania kar będzie zależny od wybranego przez V2Xus, w odniesieniu do n -tego uEV, trybu realizacji usług – obowiązkowego lub opcjonalnego. V2Xus w odniesieniu do n -tego uEV zakontraktowanego w trybie obowiązkowym jest zobligowany do realizacji s -tej usługi V2X, ponieważ otrzymuje cykliczną opłatę za gotowość. Zatem należna kara, którą będzie musiał zapłacić dla usługobiorcy za

pośrednictwem V2Xsp, powinna składać się z dwóch części – pierwsza stanowi ekwiwalent przywołania dodatkowych pojazdów w danej godzinie doby, druga zaś uzależniona jest od braku dostarczenia oferowanego wolumenu energii elektrycznej. Można przedstawić powyższe rozważania za pomocą wzoru:

$$PEN_{2,n} = \begin{cases} 0, & \text{jeśli } \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{v=1}^V \sum_{da=1}^{DA_n} C_{OF,n,da,s} \\ \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{v=1}^V \sum_{da=1}^{DA_n} B_{2,da,s} \cdot K_{TEV,s} + \frac{C_{OF,n,da,s}}{E_{d,da,s}^R} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \cdot PC_{2,da,s} & \end{cases} \quad (6.29)$$

przy czym:

$$B_{2,da,s} = \frac{1}{P_{uEV}(UsEV)_{da}} \quad (6.30)$$

gdzie: $PEN_{2,n}$ – składnik kar z tytułu niewykonania zamówionych S usług V2X dla n -tego pojazdu elektrycznego V2X, świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym, wyrażony w PLN; $B_{2,da,s}$ – współczynnik zwiększający karę za niewykonanie usługi, związany z koniecznością przywołania innych pojazdów, który wynika z ich dostępności w godzinach świadczenia s -tej usługi V2X, w ramach da -tej akcji rozładowania; $C_{OF,n,da,s}$ – pojemność oferowana przez n -ty uEV, w da -tej akcji rozładowania dla s -tej usługi V2X, która finalnie nie została udostępniona usługobiorcy, wyrażona w kWh; $E_{d,da,s}^R$ – oczekiwany wolumen energii elektrycznej do dostarczenia usługobiorcy w da -tej akcji rozładowania dla s -tej usługi V2X, wyrażony w kWh; $PC_{2,da,s}$ – współczynnik zwiększający lub zmniejszający karę dla V2Xus, którzy w odniesieniu do n -tego uEV korzystają z trybu obowiązkowego świadczenia usługi, za niewykonanie da -tej akcji rozładowania, dla s -tej usługi V2X, uzależniony od rodzaju usługobiorcy, dla którego wykonywana była da -ta akcja rozładowania oraz od ewentualnego działania siły wyższej; DA_n – liczba akcji rozładowania n -tego uEV w ciągu okresu rozliczeniowego wykonanych dla i -tego usługobiorcy, w v -tej lokalizacji przy realizacji s -tej usługi V2X; $P_{uEV}(UsEV)_{da}$ – prawdopodobieństwo dostępności pojazdów elektrycznych V2X w obszarze działania V2Xsp, w czasie rozpoczęcia da -tej akcji rozładowania¹⁸.

W podobny sposób można wyznaczyć wielkość kar naliczanych dla V2Xus w odniesieniu do uEV rozliczanych w trybie opcjonalnym. Różnica uwidoczniła się w rozliczaniu uEV w trybie opcjonalnym, w którym uwzględnia się tylko składnik powiązany z planowanym do dostarczenia wolumenem energii elektrycznej. Przedstawiono to za pomocą równania (6.31):

¹⁸ Metodyka wyznaczania prawdopodobieństwa $P(UsEV)_{da}$ została przedstawiona w podrozdziale 7.3.

$$PEN_{1,n} = \begin{cases} 0, & \text{jeśli } \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{v=1}^V \sum_{da=1}^{DA_n} C_{OF,n,da,s} \\ \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{No_{usb,s}} \sum_{v=1}^V \sum_{da=1}^{DA_n} \frac{C_{OF,n,da,s}}{E_{d,da,s}^R} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \cdot PC_{1,da,s} \end{cases} \quad (6.31)$$

gdzie: $PC_{1,da,s}$ – współczynnik zwiększający lub zmniejszający karę dla V2Xus, którzy w odniesieniu do n -tego uEV korzystają z trybu opcjonalnego świadczenia usługi, za niewykonanie da -tej akcji rozładowania, dla s -tej usługi V2X, uzależniony od rodzaju usługobiorcy, dla którego wykonywana była da -ta akcja rozładowania oraz od ewentualnego działania siły wyższej; $PEN_{1,n}$ – składnik kar z tytułu niewykonania zamówionych S usług V2X dla n -tego pojazdu elektrycznego V2X, świadczącego usługi V2X w trybie opcjonalnym, wyrażony w PLN.

W niniejszej rozprawie nie uwzględniono metodyki wyznaczania współczynników $PC_{1,da,s}$ oraz $PC_{2,da,s}$. Autor pracy chce skupić się w dalszych pracach badawczych nad opracowaniem sposobu wyznaczania ww. współczynników. Jednakże, według wstępnych koncepcji współczynniki te powinny być zależne od „trudności realizacji usługi” oraz wysokości priorytetu danego usługobiorcy. Przez „trudność realizacji usługi” należy rozumieć dostępność pojazdów elektrycznych V2X w momencie rozpoczęcia usługi, czas przyjazdu do usługobiorcy oraz współczynniki charakteryzujące w danym momencie funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego w Obszarze Działania V2Xsp.

Na podstawie naliczonych kar od V2Xus w odniesieniu do ich uEV oraz kar wynikających z zawodności systemów V2Xsp, można obliczyć łączną bonifikatę, jaką otrzyma usługobiorca za brak zrealizowania zamówionej s -tej usługi V2X. Stosowna zależność została przedstawiona w równaniu:

$$BON_{i,s}^{ENS} = PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG} + PEN_{ENS,i,s}^{V2Xsp} + \sum_{da=1}^{DA_n} \frac{C_{OF,n,da,s}}{E_{d,da,s}^R} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \cdot PC_{1,da,s} + \sum_{da=1}^{DA_n} B_{2,da,s} \cdot K_{TEV,s} + \frac{C_{OF,n,da,s}}{E_{d,da,s}^R} \cdot E_{uEV,da,s}^{DEL'} \cdot k_{da,s} \cdot PC_{2,da,s} \quad (6.32)$$

przy czym:

$$PEN_{ENS,i,s}^{V2Xsp} = \frac{OPEX_{V2Xsp,s}^{VAR}}{No_{usb,s}} \quad (6.33)$$

gdzie: $BON_{i,s}^{ENS}$ – bonifikata wypłacana przez Dostawcę Usług V2X, pozyskana od V2Xus na rzecz usługobiorcy, wynikająca z niemożliwości zapewnienia realizacji usługi przez awarię systemu rozliczeniowego i poszukiwań pojazdów lub brak przyjazdu zakontraktowanych pojazdów do miejsca świadczenia usługi, u i -tego usługobiorcy, dla s -tej usługi V2X, wyrażona w PLN.

7. Parametryzacja wybranej grupy usług V2X świadczonych dla odbiorców końcowych

7.1. Podstawowe informacje o usługach

7.1.1. Usługa harmonogramowana: *Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*

Zgodnie z przedstawionymi we wcześniejszych rozdziałach informacjami w niniejszej rozprawie zostanie sparametryzowana jedna usługa harmonogramowana V2X z koszyka usług dla odbiorców końcowych, tj. „*Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*” (UH-RZOK). Jest to jedna z podstawowych usług V2X świadczonych dla EndUs, polegająca na zapewnieniu zamówionego wolumenu energii elektrycznej przez zakontraktowanie odpowiedniej liczby pojazdów elektrycznych, z założonym wyprzedzeniem czasowym. Ze względu na to, możliwe jest wykorzystanie uEV jako dodatkowych, mobilnych źródeł energii elektrycznej w czasie planowanych przerw w dostawach energii elektrycznej do EndUs. Stanowią one pewnego rodzaju zabezpieczenie mitygujące negatywne skutki planowanego wyłączenia lub ograniczenia zasilania u odbiorców końcowych energii elektrycznej. Również można wykorzystać UH-RZOK do innych celów, np. wsparcia zasilania wybranych lub wszystkich odbiorów EndUs w czasie ogłoszonych przez OSP i URE stanów pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), w których występują ograniczenia w poborze mocy tzw. „stopnie zasilania”. Należy podkreślić, że pojazdy elektryczne wówczas stanowią wyłączną pomoc dla odbiorcy końcowego i nie służą one jako środki do realizacji obowiązków mocowych lub redukcji zapotrzebowania w usłudze systemowej Interwencyjna Redukcja Poboru (IRP) [111].

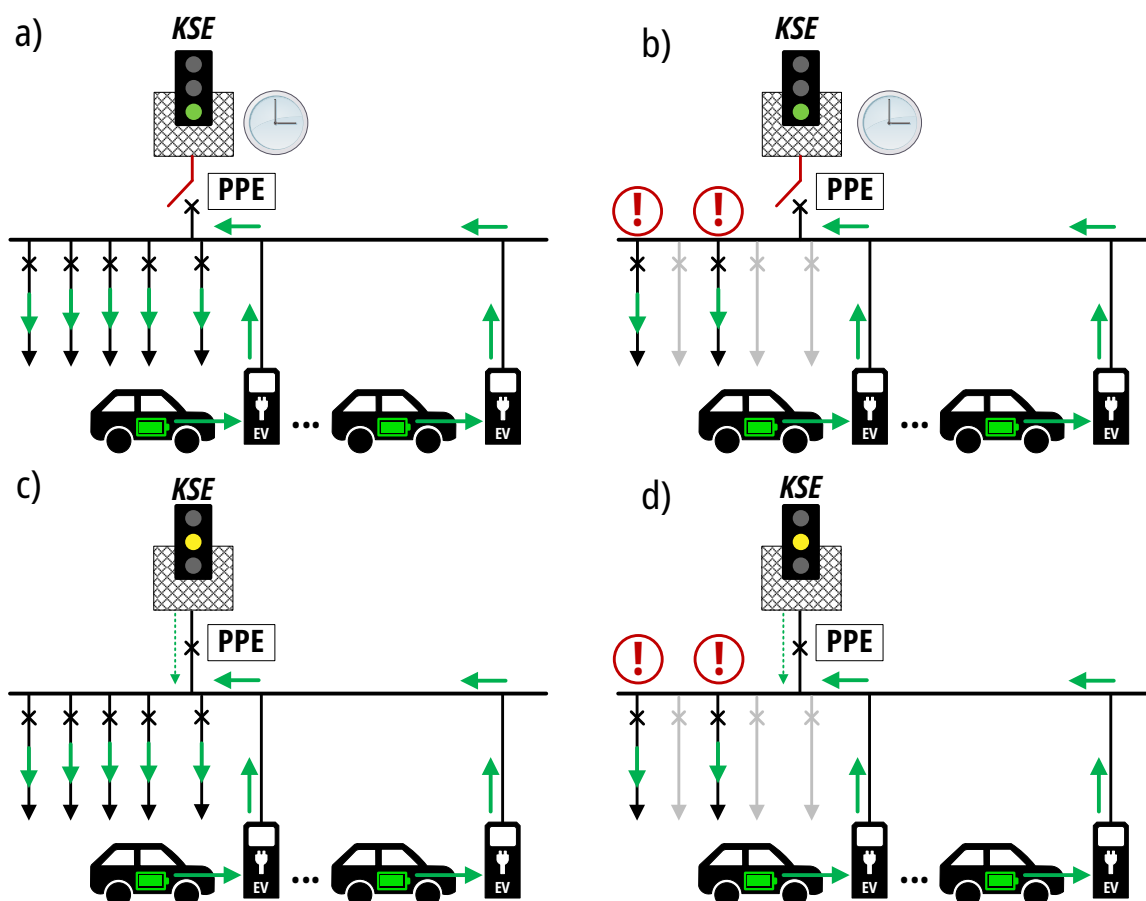
Co do zasady każdy odbiorca może być zabezpieczany usługą UH-RZOK, w tym także gospodarstwa domowe. Dokonano zatem podziału na kategorie odbiorców, które zostały przedstawione w Tab. 7.1.

Tab. 7.1. Grupy zabezpieczanych odbiorców w ramach UH-RZOK

Grupa	Podmioty
I	Gospodarstwa domowe
II	Zakłady przemysłowe
III	Biura i centra handlowe
IV	Pozostałe (nie spełniające kryteriów przynależności do grup I – III)

Podział na kategorie jest o tyle istotny, że pozwala V2Xsp na wprowadzenie różnych stawek za świadczoną usługę UH-RZOK, o czym mowa w podrozdziale 7.5. Należy także pamiętać, że w przypadku odbiorców bytowo-komunalnych ogromną rolę w takich przypadkach będzie odgrywać V2Xsp, który będzie musiał skonfigurować ofertę dla takiej

grupy odbiorców, głównie ze względu na ich niewielką wiedzę w obszarze elektroenergetyki. W czasie konfiguracji oferty, usługobiorca będzie mógł wybrać, czy wszystkie odbiorniki będą zabezpieczane, bądź tylko wybrane (priorytetowe), co wpłynie na wolumen energii elektrycznej, który zostanie obliczony przez V2Xsp. Na Rys. 7.1 przedstawiono schematy jednokreskowe możliwych scenariuszy realizacji usługi UH-RZOK.

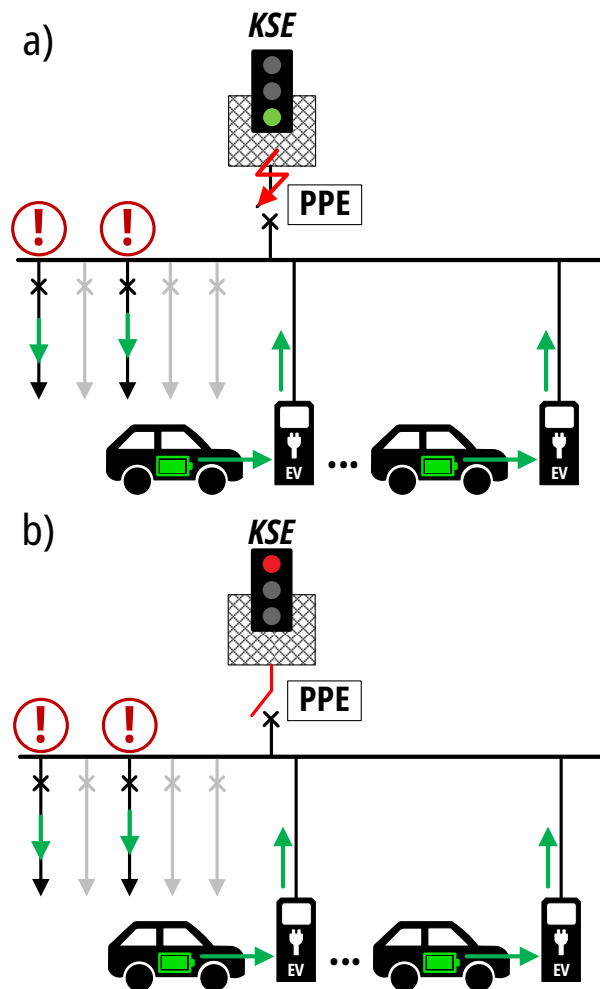


Rys. 7.1. Schemat jednokreskowy realizacji usługi V2X UH-RZOK dla przypadków: a) planowanej przerwy w zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie wszystkich odbiorów za pomocą V2X; b) planowanej przerwy w zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie odbiorów priorytetowych za pomocą V2X; c) pracy KSE z ograniczeniami w poborze mocy – zasilanie wszystkich odbiorów za pomocą V2X; d) pracy KSE z ograniczeniami w poborze mocy – zasilanie odbiorów priorytetowych za pomocą V2X

7.1.2. Usługa interwencyjna: *Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*

Drugą usługą V2X, która zostanie szczegółowo scharakteryzowana jest: „*Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*” (UI-RZOK). Usługa ta należy do grupy usług interwencyjnych, tzn. jej aktywacja następuje po wykryciu awarii w systemie elektroenergetycznym dystrybucyjnym uniemożliwiającej zasilanie odbiorcy końcowego lub w czasie całkowitego zaniku napięcia w KSE, tj. w sytuacji, w której doszło do kaskadowego wyłączania kolejnych linii elektroenergetycznych uniemożliwiając zasilanie odbiorcy

końcowego. UI-RZOK polega zatem na przywołaniu odpowiedniej liczby uEV, które poprzez udostępnienie pojemności ich baterii zapewnią dodatkowe źródło zasilania. W odróżnieniu od UH-RZOK, dla ww. usługi nie występuje wyprzedzenie czasowe, które pozwala na zgłoszenie się pojazdów z całego obszaru działania V2Xsp. Do tej usługi wybierane są pojazdy wyłącznie znajdujące się w najbliższym sąsiedztwie EndUs, które kontraktowane są zgodnie z Mechanizmem Ofertowania Strefowego. Usługobiorcami UI-RZOK mogą być te same grupy odbiorców końcowych, które zostały zdefiniowane w Tab. 7.1. Ze względu na specyfikę usługi, tj. krótki czas jej podjęcia, EndUs jest zobligowany do zdefiniowania odbiorników energii elektrycznej, które muszą być zabezpieczane za pomocą pojemności baterii uEV. Na Rys. 7.2 przedstawiono schematy jednokreskowe możliwych scenariuszy realizacji usługi UI-RZOK.



Rys. 7.2. Schemat jednokreskowy realizacji usługi V2X UI-RZOK dla przypadków: a) nieplanowanej przerwy zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie wybranych odbiorów za pomocą V2X; b) całkowitego zaniku napięcia w KSE – zasilanie odbiorników priorytetowych za pomocą V2X

7.2. Wyznaczanie wolumenu energii elektrycznej dla wybranej grupy usług V2X

7.2.1. Wyznaczanie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz moc dla UH-RZOK

Pierwszą czynnością przy parametryzacji usługi V2X UH-RZOK jest wyznaczenie odpowiedniego poziomu zapotrzebowania na energię elektryczną i moc, aby przywołane uEV były w stanie tę usługę wykonać. Procedura w tym zakresie zostanie rozdzielona na dwie części. Pierwsza z nich dotyczy sytuacji, w której EndUs chce zabezpieczyć dostawy energii elektrycznej do swoich odbiorników w czasie planowanych przerw zasilania. Druga zaś dotyczy dostosowania zabezpieczanego wolumenu energii elektrycznej do obliczonych przez OSD poziomów ograniczenia mocy.

Ogólny proces wyznaczenia poziomu zapotrzebowania na energię i moc, wymaganego od usługi V2X UH-RZOK, przez odbiorcę końcowego w czasie planowanych przerw w zasilaniu opiera się na obliczeniu mocy zapotrzebowanej i ustalenie bloku czasowego świadczenia usługi. Dla odbiorców przemysłowych, do tego celu można wykorzystać „*Metodę wskaźnika zapotrzebowania na moc*” opisaną w [112]:

$$P_z = k_{jd} \cdot \sum_{zw=1}^{ZW} \left(k_{jg} \cdot \sum_{zod=1}^{ZOD} P_{Nod} \cdot k_{zod} \right) \quad (7.1)$$

gdzie: P_{Nod} – moc znamionowa odbiornika należącego do jednego rodzaju, wyrażona w kW; k_{zod} – wskaźnik zapotrzebowania na moc jednej grupy odbiorników; ZOD – liczność grupy odbiorników należących do jednego rodzaju; k_{jg} – wskaźnik równoczesności obciążeń poszczególnych grup odbiorników; ZW – liczba grup odbiorników u EndUs; k_{jd} – wskaźnik jednoczesności mocy czynnej odbiorcy końcowego; P_z – moc zapotrzebowana EndUs, tj. przewidywane obciążenie szczytowe, występujące w ciągu roku po osiągnięciu przewidywanej wydajności procesów produkcyjnych, wyrażone w kW.

Ze względu na trudność w oszacowaniu współczynników k_{zod} oraz k_{jg} , można przyjąć uproszczenie funkcji z równania (7.1), które jest następujące:

$$P_z = k_{jd} \cdot \sum_{od=1}^{OD} P_{Nod} \quad (7.2)$$

gdzie: OD – łączna liczba odbiorników u EndUs.

Na podstawie równania (7.2) można zatem wyznaczyć moc zapotrzebowaną EndUs w grupie odbiorców przemysłowych. Następnym składnikiem do obliczenia zabezpieczanego wolumenu energii elektrycznej jest blok czasowy. W tym przypadku można uznać, że EndUs

będzie dysponować najlepszą wiedzą w tym zakresie. Jednakże, aby obliczyć całkowity wolumen zabezpieczany za pomocą UH-RZOK potrzebne jest jeszcze uwzględnienie współczynnika odzwierciedlającego dostępną energię w uEV. Jest to o tyle istotne, że ww. energia będzie zależna od preferencji Uczestników Programu V2X, a ściślej rzecz ujmując od zadeklarowanego poziomu SOC na koniec usługi rozładowania. Ze względu na trudność w pozyskaniu takiej danej lub oszacowanie jej przez EndUs, proponuje się zatem, aby V2Xsp co miesiąc publikował na swojej stronie internetowej zaktualizowane wartości wskaźnika dostępności energii elektrycznej z pojazdu uEV dla każdej godziny doby. Powyższe rozważania przedstawiono za pomocą równań:

$$E_{avg,t}^{uEV_G} = \frac{\sum_{d=1}^{D_{R-1}} E_{avg,t,d}^{uEV_G}}{D_{R-1}} \quad (7.3)$$

$$k_{R,t}^{uEV} = \frac{E_{avg,t}^{uEV_G}}{C_{avg_{R-1}}^{uEV_G}} \quad (7.4)$$

$$C_{avg_{R-1}}^{uEV_G} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{uEV}^{V2Xsp}} C_n}{N_{uEV}^{V2Xsp}} \quad (7.5)$$

$$E_{dt} = P_z \cdot 1 \text{ h} \cdot k_{R,t}^{uEV} \quad (7.6)$$

$$E_d \leq \sum_{t=1}^{t_s} E_{dt} \quad (7.7)$$

gdzie: R – kolejny okres rozliczeniowy; $E_{avg,t}^{uEV_G}$ – średnio miesięczny wolumen energii elektrycznej dostępny w pojazdach elektrycznych V2X, wyznaczany dla każdej godziny doby, w dni należące do $R-1$ okresu rozliczeniowego, wyrażony w kWh; $E_{avg,t,d}^{uEV_G}$ – średni wolumen energii elektrycznej dostępny w pojazdach elektrycznych V2X, wyznaczany dla każdej godziny doby, w dniu należącym do $R-1$ okresu rozliczeniowego, wyrażony w kWh; D_{R-1} – liczba dni w $R-1$ okresie rozliczeniowym; d – kolejny dzień okresu rozliczeniowego; $k_{R,t}^{uEV}$ – wskaźnik dostępności energii elektrycznej w pojazdach elektrycznych V2X, wyznaczany dla każdej godziny doby w R -tym okresie rozliczeniowym; $C_{avg_{R-1}}^{uEV_G}$ – średnia pojemność baterii pojazdów elektrycznych V2X znajdujących się w obszarze działania V2Xsp w $R-1$ okresie rozliczeniowym, wyrażona w kWh; E_{dt} – maksymalny, estymowany wolumen energii elektrycznej możliwy do zabezpieczenia przez EndUs w godzinie t , bez uwzględnienia prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X w miejscu świadczenia, wyrażony w kWh.

Jak wynika z równania (7.7) zgłaszane przez EndUs zapotrzebowanie na energię elektryczną nie może być większe niż suma maksymalnych estymowanych wartości wolumenów energii elektrycznej uwzględniających wskaźniki dostępności energii w uEV. Należy przypomnieć, że są to wartości estymowane i podlegają weryfikacji przez V2Xsp przy składaniu propozycji produktu, podczas którego uwzględnione zostanie prawdopodobieństwo realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia. Niemniej jednak stanowią one oszacowanie wielkości wolumenu, który powinien być zbliżony do realnych wartości pozwalających na zabezpieczenie potrzeb EndUs. Należy także podkreślić, że odbiorca końcowy powinien sprawdzić jeszcze jeden warunek samodzielnie. Mianowicie dotyczy on realizacji usługi w punktach ładowania, które dany EndUs posiada. Minimalna liczba punktów ładowania V2X n_{cs}^{MIN} powinna być równa stosunkowi wyliczonego wolumenu energii E_d i wartości średniej dobowej wolumenu $E_{avg,D}^{uEV_{EST}}$. Zatem:

$$n_{cs}^{MIN} = \frac{E_d}{E_{avg,D}^{uEV_{EST}}} = \frac{E_d}{\frac{1}{24} \sum_{t=1}^{24} E_{avg,t}^{uEV_{EST}}} \quad (7.8)$$

gdzie: $E_{avg,D}^{uEV_{EST}}$ – średnio miesięczny wolumen energii elektrycznej dostępny w pojazdach elektrycznych V2X, wyznaczany dla wszystkich dób należących do $R-1$ okresu rozliczeniowego, wyrażony w kWh.

W przypadku zabezpieczenia dostaw energii elektrycznej w czasie „stopni zasilania”, EndUs powinien oszacować, czy obliczona moc P_z pozwoli na spełnienie limitów narzuconych przez OSD. Wówczas należy dokonać korekty obliczenia mocy P_z , tak aby moc pobierana z SEE nie przekraczała narzuconych limitów.

Powyższe rozważania dotyczą ogólnej sytuacji, w której EndUs mógłby wyznaczyć samodzielnie zabezpieczany za pomocą UH-RZOK wolumen energii elektrycznej. Jednakże należy pamiętać, że usługobiorcą mogą być również gospodarstwa domowe. Zazwyczaj tacy klienci nie będą posiadać wiedzy z zakresu elektroenergetyki, stąd też oszacowanie poziomu zapotrzebowania na energię i moc będzie spoczywało wyłącznie na V2Xsp. Odbiorca końcowy V2X związany z gospodarstwem domowym powinien dostarczyć faktury za energię elektryczną, na podstawie których można wyliczyć średnie dzienne zapotrzebowanie na energię oraz estymowany dobowy profil zużycia energii – z wykorzystaniem profili standardowych dostępnych w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRiESD) danego OSD. W przypadku, gdy EndUs będzie chciał zabezpieczyć tylko wybrane odbiorniki powinien dostarczyć ich karty katalogowe, a następnie V2Xsp na ich podstawie oraz wcześniej wymienionych danych oszacuje maksymalną wartość wolumenu E_d .

7.2.2. Wyznaczanie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz moc dla UI-RZOK

Co do zasady metodyka wyznaczania mocy zapotrzebowanej w usłudze UI-RZOK jest analogiczna do tej przedstawionej za pomocą równań (7.2) – (7.7). Niemniej jednak, ze względu na charakterystykę usługi UI-RZOK (podtrzymanie zasilania w czasie awarii) należy zastanowić się nad długością bloku jej świadczenia. Zgodnie z równaniem (4.19), EndUs powinien podać oczekiwany czas świadczenia usługi t_s^{INT} . Jednakże należy wprowadzić ograniczenia co do czasu jego trwania, ponieważ w przypadku dużych obszarowych awarii systemowych pojazdy elektryczne nie będą miały jak uzupełnić swojej pojemności baterii, a zapotrzebowanie na usługi interwencyjne V2X może być zwiększone. Zatem proponuje się, aby V2Xsp, w porozumieniu z właściwym OSD, kalkulował i udostępniał cyklicznie wskaźnik przeciętnego czasu trwania pojedynczej nieplanowanej przerwy w zasilaniu odbiorcy końcowego $k_{dp,gr}^{EndUs}$, wyznaczany dla każdej grupy odbiorców opisanej w Tab. 7.1. Do oszacowania wartości tego wskaźnika potrzebny jest rozwój instalacji „zaawansowanej infrastruktury pomiarowej” (AMI), który pozwoliłby na agregację przez OSD danych dot. godzinowych stanów pracy infrastruktury elektroenergetycznej. Zatem w niniejszej rozprawie nie przedstawiono szczegółowych obliczeń dot. wskaźnika $k_{dp,gr}^{EndUs}$, jedynie zasygnalizowano konieczność jego wykorzystania.

7.3. Wyznaczanie prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia

Jak wspomniano w [152] oraz w rozdziale 4 niniejszej rozprawy, wolumen energii elektrycznej przesyłanej z baterii pojazdu elektrycznego V2X do instalacji usługobiorcy powinien uwzględniać nie tylko preferencje V2Xus, ale także prawdopodobieństwa realizacji usługi (równanie (4.13)). Te można podzielić na dwie składowe – zależne od czynników wpływających na jej realizację w miejscu jej świadczenia oraz te zależne od zachowań V2Xus. W niniejszym podrozdziale omówione zostanie pierwsze z wyżej wymienionych. Warto podkreślić, że zarówno dla usługi UH-RZOK, jak i UI-RZOK proces wyznaczania ww. prawdopodobieństw jest tożsamy. Niech $P_{us}(AE)$ oznacza prawdopodobieństwo realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia, uwzględniające potencjalną awarię punktu ładowania V2X, awarię systemu rozliczania usługi V2Xsp oraz przerwanie usługi przez V2Xus. Zatem:

$$P_{us}(AE) = p_{EVSE} \cdot p_{DPL} \cdot (1 - P(INT)) \cdot P(V2Xsp) \quad (7.9)$$

gdzie: p_{EVSE} – prawdopodobieństwo działania (braku awarii) dwukierunkowego punktu ładowania V2X; p_{DPL} – prawdopodobieństwo znajdowania się dwukierunkowego punktu

ładowania V2X w stanie dostępności dla V2Xus; P(INT) – prawdopodobieństwo przerwania procesu świadczenia usługi V2X; $P(V2X_{sp})$ – prawdopodobieństwo działania systemu teleinformatycznego przeznaczonego do zarządzania, nadzoru oraz rozliczeń Programu V2X.

Należy wspomnieć, że przedstawione za pomocą równania (7.9) prawdopodobieństwo realizacji usługi w miejscu jej świadczenia zostało zmodyfikowane względem publikacji [152]. Jest to związane z nowym podejściem do wyznaczania wartości oczekiwanej wolumenu energii elektrycznej przesyłanego z pojazdu elektrycznego do instalacji usługobiorcy. Niemniej jednak sposób wyznaczania składowych prawdopodobieństw nie zmienił się i został on zaczerpnięty z publikacji [30, 149]. Autorzy powyższych publikacji do obliczania wartości prawdopodobieństw z równania (7.9) wykorzystali najprostszy model niezawodnościowy, tj. model dwustanowy. Analiza takiego modelu polega na przypisaniu urządzeniu/obiektowi dwóch stanów pracy: „0” – brak działania, „1” – prawidłowe działanie. Przejście ze stanu „0” do „1” lub na odwrót jest opisane za pomocą parametrów: strumienia niesprawności λ lub strumienia odnow μ [107].

Pierwszy składnik równania (7.9) to prawdopodobieństwo znajdowania się w stanie prawidłowego działania technicznego dwukierunkowego punktu ładowania V2X p_{EVSE} . Do obliczenia tej wartości, autorzy w publikacji [30] przypisali odpowiednie wartości intensywności odnow punktu ładowania V2X μ_{EVSE} i intensywności uszkodzeń punktu ładowania V2X λ_{EVSE} . Zatem:

$$p_{EVSE} = \frac{\mu_{EVSE}}{\lambda_{EVSE} + \mu_{EVSE}} \quad (7.10)$$

Kolejnym składnikiem wzoru (7.9) jest prawdopodobieństwo dostępności punktu ładowania V2X. Przez „dostępność punktu ładowania V2X” należy rozumieć swobodny dostęp do realizacji usługi V2X w tym punkcie dla danego uEV, który będzie zapewniony przez V2Xsp i usługobiorcę. Dotyczy to sytuacji, w których w miejscu przeznaczonym na przyłączenie uEV do instalacji elektroenergetycznej usługobiorcy nie będzie znajdował się żaden inny pojazd w momencie rozpoczęcia świadczenia usługi V2X. Nie mogą również odbywać się na niej żadne prace serwisowe. Bez względu na przyczynę braku dostępności punktu ładowania V2X dla uEV, takie zdarzenie należy traktować jako sytuację, w której pojazd elektryczny nie znajduje się w miejscu świadczenia usługi [149]. W związku z tym można określić wartość intensywności powrotu do stanu dostępności punktu ładowania V2X μ_{DPL} oraz wartość intensywności przejścia do stanu nieplanowanej zajętości takiego punktu λ_{DPL} . W dalszych analizach przyjęto wartości ww. parametrów na podstawie [149].

Prawdopodobieństwo dostępności punktu ładowania V2X, wyrażone za pomocą modelu dwustanowego obiektu przedstawiono za pomocą równania:

$$p_{DPL} = \frac{\mu_{DPL}}{\lambda_{DPL} + \mu_{DPL}} \quad (7.11)$$

Kolejnym prawdopodobieństwem, które należy rozpatrzyć jest prawdopodobieństwo przerwania świadczenia V2X przez uczestnika programu lub inną postronną osobę (np. poprzez odłączenie kabla do przesyłu energii elektrycznej między uEV a instalacją usługobiorcy). Można zaobserwować, że jego podstawy są zbliżone do prawdopodobieństwa dostępności punktu ładowania. W literaturze wskazuje się nawet, że omawiany wcześniej brak pojazdu elektrycznego w miejscu świadczenia usługi może być spowodowany błędem człowieka [149]. Niemniej jednak, ze względu na inny charakter funkcjonalny tego prawdopodobieństwa wydzielono je od tego, które zostało przedstawione za pomocą wzoru (7.11). Zatem prawdopodobieństwo nieprzerwania procesu świadczenia usługi V2X określa się jako:

$$1 - P(INT) = 1 - \frac{\lambda_{INT}}{\lambda_{INT} + \mu_{INT}} \quad (7.12)$$

gdzie: λ_{INT} – intensywność zakłóceń procesu świadczenia usługi V2X; μ_{INT} – intensywność przywrócenia procesu świadczenia usługi V2X;

Kolejnym analizowanym prawdopodobieństwem z równania (7.9) jest to związane z funkcjonowaniem systemów rozliczenia V2Xsp – $P(V2Xsp)$. W publikacji [149] jej autorzy przedstawili przedsiębiorstwo posiadające takie same kompetencje jak dostawca usług V2X jako agregatora oraz stworzyli model dwustanowy jego funkcjonowania. Stosuje się zatem pewne uproszczenie, które sprowadza stan niedostępności agregatora do niedostępności V2Xsp, która może być spowodowana awarią systemów teleinformatycznych przeznaczonych do zarządzania, nadzoru oraz rozliczeń Programu V2X. Wówczas V2Xsp nie ma możliwości realizacji swoich założonych zadań. Zatem:

$$P(V2Xsp) = 1 - \frac{\lambda_s}{\lambda_s + \mu_s} \quad (7.13)$$

gdzie: λ_s – intensywność awarii systemu teleinformatycznego V2Xsp; μ_s – intensywność napraw systemu teleinformatycznego V2Xsp;

Mając na uwadze powyższe sposoby wyznaczenia wartości prawdopodobieństw realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia, należy zastanowić się w jaki sposób będą aktualizowane dane w rzeczywistej realizacji Programu V2X. Wiedząc, że w modelu dwustanowym prawdopodobieństwo znajdowania się w stanie dyspozycyjności (stan „1”) można zapisać z wykorzystaniem parametrów MTTF (ang. Mean Time to Failure – średni czas pracy bezawaryjnej) i MTTR (ang. Mean Time to Repair – średni czas odnowy) [107], to

wyduje się zasadne rejestrowanie wszystkich niepożądanych zdarzeń dotyczących braku dostępności do punktu ładowania V2X lub zakłóceń w procesach świadczenia usług. Zatem po pierwszym roku funkcjonowania Programu V2X, V2Xsp powinien skorygować wartości prawdopodobieństw p_{DPL} oraz $P(INT)$ uwzględniając zarejestrowane zdarzenia oraz wskaźniki MTTF i MTTR. Jednakże w niniejszej rozprawie pominięto metodykę wyznaczania takich wartości, ze względu na to że wykracza ona poza zakres rozprawy.

7.4. Wyznaczanie prawdopodobieństwa realizacji wybranej grupy usług V2X, od strony Uczestnika Programu V2X

7.4.1. Metoda „ankietowa”

Problematyka niniejszego podrozdziału została opisana uprzednio w [152], jednakże została ona dostosowana do zmienionych założeń Programu V2X zaprezentowanego w niniejszej rozprawie doktorskiej. Na podstawie równań (4.5) – (4.9) można stwierdzić, że w celu skutecznej realizacji usługi V2X konieczne jest uwzględnienie zdarzeń losowych związanych z V2Xus. Oznacza to wyznaczenie wartości prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X $P_{uEV}(AE)$. Przez skuteczną realizację należy rozumieć wysłanie wystarczającej liczby próśb i żądań realizacji usługi do potencjalnie świadczących usługę pojazdów elektrycznych V2X, w ramach działania mechanizmu ofertowania strefowego. W przypadku usług UH-RZOK i UI-RZOK prawdopodobieństwo $P_{uEV}(AE)$ będzie odnosić się do dwóch niezależnych od siebie zdarzeń losowych: pozytywnej reakcji V2Xus na możliwość świadczenia usługi w danym czasie oraz niewykorzystywania samochodu elektrycznego. Przedstawiono to za pomocą równania:

$$P_{uEV}(AE) = P_{uEV}(EC)_t \cdot P_{uEV}(UsEV)_t \quad (7.14)$$

Jednakże warto podkreślić, że w czasie analizy zauważono problem z wyznaczeniem wartości startowych [152]. Należy zatem znaleźć metodę pozyskania takich informacji, które spowodują że V2Xsp wyśle stosowne zapytania do właściwej liczby uczestników dysponujących uEV. Po dokonaniu analiz stwierdzono, że wyznaczenie tej wartości może być wykonane z wykorzystaniem pozyskanych danych ankietowych, opisanych w rozdziale 3-cim niniejszej rozprawy.

Pierwsze z prawdopodobieństw, jak wspomniano wcześniej, dotyczy reakcji Uczestników Programu V2X na wysłaną prośbę o realizację usługi V2X. Ze względu na fakt, że te usługi mogą być świadczone w różnych godzinach, prawdopodobieństwo ich podjęcia będzie różnić się w zależności od pory dnia. Niech $P_{uEV}(EC)_t$ oznacza prawdopodobieństwo

chęci realizacji usługi V2X przez V2Xus w odniesieniu do swojego uEV w zadanym przedziale czasowym. Warto podkreślić, że charakterystyka usługi UH-RZOK i UI-RZOK odpowiada opisowi usługi, o której chęć realizacji zapytano ankietowanych w pytaniu 13), tj. „Czy posiadając samochód elektryczny przystąpił(a)by Pani/Pan do programu V2G, polegającego na przemieszczeniu się do punktu świadczenia usługi (np. zakład przemysłowy), podłączeniu samochodu do stacji ładowania na polecenie zewnętrznego operatora, a następnie rozładowaniu baterii do zadanego poziomu, w zamian za korzyści finansowe?”. Następnie ankietowani, którzy odpowiedzieli na powyższe pytanie „Tak” lub „Nie wiem” mieli za zadanie wskazać przedziały czasowe, w których mogliby realizować taką usługę (pytanie 14-ste) [152]. Na podstawie ich odpowiedzi można zatem wyznaczyć prawdopodobieństwo chęci realizacji usług UH-RZOK i UI-RZOK w zadanych przedziałach czasowych, które jest obliczane według wzoru:

$$P_{uEV}(EC)_t = \frac{N_{uEV}^{RZOK}(t)}{R_{YES}^{RZOK} + R_{DK}^{RZOK}} \quad (7.15)$$

gdzie: $N_{uEV}^{RZOK}(t)$ – liczba ankietowanych wyrażająca chęć świadczenia usługi V2X wymagającej przemieszczenia się między lokalizacjami, w danym przedziale czasowym t ; R_{YES}^{RZOK} – łączna liczba ankietowanych, która udzieliła odpowiedzi „Tak” na pytanie dot. świadczenia usługi V2X wymagającej przemieszczenia się między lokalizacjami; R_{DK}^{RZOK} – łączna liczba ankietowanych, która udzieliła odpowiedzi „Nie wiem” na pytanie dot. świadczenia usługi V2X wymagającej przemieszczenia się między lokalizacjami.

Należy zwrócić uwagę, że w mianowniku we wzorze (7.15) znajduje się liczba ankietowanych, która odpowiedziała na pytanie 13) „Nie wiem”. Jest to o tyle istotne, aby brać pod uwagę opinię również niezdecydowanych (potencjalnie przyszłych) użytkowników EV. Pozwoli to na zmniejszenie ryzyka operacyjnego z punktu widzenia V2Xsp. Warto także podkreślić, że w docelowej implementacji Programu V2X, przyszły V2Xsp powinien bardzo dokładnie określić przedziały czasowe, tj. maksymalny interwał powinien wynosić jedną godzinę [152]. Przeprowadzona dla potrzeb niniejszej rozprawy ankieta ma wyłącznie wskazać sposób, jak powyższe dane należy pozyskiwać.

Drugi rodzaj prawdopodobieństwa, potrzebny do ewaluacji realizacji usług UH-RZOK i UI-RZOK od strony V2Xus, jest związany z dostępnością pojazdu elektrycznego w danym czasie t , wynikającą z braku jego użytkowania $P_{uEV}(U_{sEV})_t$. Podobnie jak w przypadku poprzedniego prawdopodobieństwa można obliczyć początkową jego wartość korzystając z danych ankietowych. Do tego celu wykorzystane zostaną odpowiedzi na pytania 5) – 7). Celem tej metody jest sprawdzenie ilu potencjalnych V2Xus korzystałoby z pojazdu

elektrycznego w poszczególnych godzinach doby. Należy pamiętać, że chęć korzystania z EV nie musi pokrywać się z chęcią świadczenia usługi, o której mowa w poprzednim akapicie. Dodatkowo poszerzono zbiór wykorzystywanych danych o odpowiedzi ankietowanych, którzy posiadają i użytkują obecnie pojazd spalinowy (ICE – ang. Internal Combustion Engine) i jednocześnie zamierzają zakupić pojazd elektryczny w ciągu najbliższych 5 lat. Dzięki temu można zwiększyć dokładność obliczeń dla prawdopodobieństwa $P_{uEV}(UsEV)_t$, zakładając że profil użytkowania pojazdu elektrycznego będzie zbliżony do tego jaki obecnie jest rejestrowany dla pojazdu ICE. Należy jednak wspomnieć, że z punktu widzenia V2Xsp interesujące jest prawdopodobieństwo niewykorzystywania uEV w danym czasie t . Inaczej mówiąc, V2Xus w odniesieniu do swojego uEV będzie mógł wykonać usługę V2X, jeśli nie wykorzystuje pojazdu w celach komunikacyjnych/służbowych. Można zatem przedstawić powyższe rozważania za pomocą wzorów [152]:

$$P_{1uEV}(UsEV)_t = \frac{N_{US}^{EV}(t) + N_{US}^{ICE}(t)}{R_{EV} + R_{ICE}} \quad (7.16)$$

$$P_{uEV}(UsEV)_t = 1 - P_{1uEV}(UsEV)_t = 1 - \frac{N_{US}^{EV}(t) + N_{US}^{ICE}(t)}{R_{EV} + R_{ICE}} \quad (7.17)$$

gdzie: $N_{US}^{EV}(t)$ – liczba respondentów, którzy wskazali wykorzystanie pojazdu elektrycznego w czasie t ; $N_{US}^{ICE}(t)$ – liczba respondentów, którzy wskazali wykorzystanie pojazdu spalinowego w czasie t , z jednoczesnym wskazaniem chęci kupna pojazdu elektrycznego w ciągu 5 lat; $P_{1uEV}(UsEV)_t$ – prawdopodobieństwo wykorzystania pojazdu w czasie t ; R_{EV} – łączna liczba respondentów, która posiada pojazd elektryczny; R_{ICE} – łączna liczba respondentów, która posiada pojazd spalinowy oraz wykazuje chęć zakupu pojazdu elektrycznego w ciągu 5 lat.

Podobnie jak w przypadku obliczania prawdopodobieństwa w równaniu (7.17) należy pamiętać, że w przeprowadzonej ankiecie zastosowano trzygodzinne przedziały czasowe. Docelowo V2Xsp powinien utrzymać interwał jednogodzinny i dla każdej godziny doby obliczyć prawdopodobieństwo $P_{uEV}(UsEV)_t$. Warto również podkreślić, że w podrozdziale 6.5 niniejsze prawdopodobieństwo jest wykorzystywane do obliczenia kar za niewykonanie usługi, w odniesieniu do da -tej akcji rozładowania ($P_{uEV}(UsEV)_{da}$). Co do zasady sposób obliczania tej wartości jest analogiczny jak ten przedstawiony za pomocą równań (7.16) – (7.17). Należy jednak zastosować odpowiedni przedział czasowy – przy obliczaniu $P_{uEV}(UsEV)_{da}$ wybiera się godzinę doby, w której rozpoczęto da -tą akcję rozładowania EV. W Tab. 7.2 przedstawiono otrzymane wartości prawdopodobieństw $P_{uEV}(EC)_t$ oraz $P_{uEV}(UsEV)_t$.

Tab. 7.2. Obliczone za pomocą metody „ankietowej” prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X

Godziny	Prawdopodobieństwo chęci realizacji usługi V2X przez V2Xus $P_{uEV}(EC)_t$	Prawdopodobieństwo dostępności pojazdu $P_{uEV}(UsEV)_t$
00:00 – 06:00	0,190	0,947
06:01 – 09:00	0,175	0,427
09:01 – 12:00	0,365	0,573
12:01 – 15:00	0,381	0,560
15:01 – 18:00	0,159	0,293
18:01 – 21:00	0,333	0,627
21:01 – 23:59	0,365	0,880

7.4.2. Metoda wyznaczania prawdopodobieństw na podstawie zarejestrowanych danych

Zaproponowane w podrozdziale 7.4.1. sposoby wyznaczania prawdopodobieństw realizacji usługi UH-RZOK i UI-RZOK od strony V2Xus pozwalają na określenie wartości początkowych, kiedy V2Xsp nie dysponuje zbiorem swoich danych. W toku działania Programu V2X należy aktualizować je zgodnie z dynamiką poruszania się Uczestników Programu V2X. Planuje się zatem wykorzystanie urządzeń rejestrujących parametry jezdne zamontowane w uEV. W celu umożliwienia wszystkim graczom Programu V2X dostępu do najświeższych danych dot. poruszania się oraz chęci podejmowania usługi V2X sugeruje się, aby po pierwszym miesiącu funkcjonowania Programu V2X (konkretniej świadczenia usług UH-RZOK i UI-RZOK) została zmieniona metodyka wyznaczania prawdopodobieństw $P_{uEV}(UsEV)_t$ oraz $P_{uEV}(EC)_t$.

W przypadku prawdopodobieństwa $P_{uEV}(UsEV)_t$ sposób obliczania jego wartości byłby zbliżony jak w równaniach (7.16) – (7.17), z tym że odpowiedzi ankietowe zostałyby zastąpione danymi z urządzeń rejestrujących parametry jezdne, przedstawione dla każdej godziny doby τ . Zatem:

$$P'_{1uEV}(UsEV)_\tau = \frac{N_{TRIP}^{uEV}(\tau)}{N_{uEV}^{V2Xsp}} \quad (7.18)$$

$$P'_{uEV}(UsEV)_\tau = 1 - P_{1uEV}(UsEV)_\tau = 1 - \frac{N_{TRIP}^{uEV}(\tau)}{N_{uEV}^{V2Xsp}} \quad (7.19)$$

gdzie: $N_{TRIP}^{uEV}(\tau)$ – liczba zarejestrowanych podróży wykonywanych przez uEV w godzinie τ ; N_{uEV}^{V2Xsp} – liczba wszystkich uEV należących do Programu V2X danego V2Xsp; $P'_{uEV}(UsEV)_\tau$ – prawdopodobieństwo związane z dostępnością pojazdu elektrycznego w danej godzinie τ , wynikające z braku jego użytkowania, rejestrowane po pierwszym miesiącu funkcjonowania Programu V2X; $P'_{1uEV}(UsEV)_\tau$ – prawdopodobieństwo wykorzystania pojazdu elektrycznego w danej godzinie τ , rejestrowane po pierwszym miesiącu funkcjonowania Programu V2X.

Bardziej skomplikowane rozwiązanie należy zastosować do obliczenia prawdopodobieństwa chęci realizacji danej usługi V2X przez V2Xus w odniesieniu do swojego uEV w danej godzinie doby τ . Do tego celu stworzono algorytm, w którym prawdopodobieństwo to zależy od gęstości rozmieszczenia uEV w danym kwadracie siatki obszaru działalności V2Xsp (G), dla danej godziny doby τ [152]. Niech $\mathbf{P}'_{uEV}(\mathbf{EC})_{\tau}$ oznacza taki zbiór prawdopodobieństw. Zgodnie z [152], w pierwszej kolejności należy wyznaczyć liczbę uEV w danym kwadracie siatki obszaru $G - N_{uEV}^{G_{ng}}$. Należy podkreślić, że istotne jest określenie tej liczby dla każdej godziny τ w powtarzające się dni tygodnia w miesiącu D_d ¹⁹ – wynika to z charakterystycznego sposobu przemieszczania się uEV w kolejne te same dni tygodnia. Następnie wyznacza się stosunek liczby reakcji kończących się zaakceptowaniem realizacji usługi V2X, do liczby wszystkich reakcji, które otrzymali V2Xus w odniesieniu do swoich uEV, tzw. „systemowe prawdopodobieństwo reakcji V2Xus” $P^{SYS}(\mathbf{EC})_{\tau,D_d}$. Przedstawiono to za pomocą równania [152]:

$$\bigwedge_{d \in N_D} \bigwedge_{\tau \in 24} P^{SYS}(\mathbf{EC})_{\tau,D_d} = \frac{ACPT_{\tau,D_d}}{NS_{\tau,D_d}} \quad (7.20)$$

gdzie: NS_{τ,D_d} – liczba wszystkich reakcji, które otrzymali V2Xus w odniesieniu do swoich uEV, w godzinie τ , w dniu D_d ; $ACPT_{\tau,D_d}$ – liczba reakcji kończących się zaakceptowaniem realizacji usługi V2X, w godzinie τ , w dniu D_d ; d – kolejne te same dni tygodnia; N_D – liczba tych samych dni tygodnia w miesiącu.

Następnie uśrednia się wartość $P^{SYS}(\mathbf{EC})_{\tau,D_d}$ dla liczby tych samych dni tygodnia w miesiącu ($N_d = 4$ oznacza, że w miesiącu występowały np. cztery poniedziałki itp.), przy czym oblicza się wartość dla każdej godziny τ . Uzyskana z takiego obliczenia wartość „systemowego prawdopodobieństwo reakcji V2Xus” $P^{SYS}(\mathbf{EC})_{\tau,avg}$ stanowi podstawę do jego zróżnicowania w obszarze działania V2Xsp. Następnie pozostaje wyliczyć wskaźniki zróżnicowania liczby pojazdów w kolejnych kwadratach siatki G_{ng} . Dla każdej godziny τ wylicza się średnią liczbę pojazdów znajdujących się w danym kwadracie siatki obszaru G oraz średnią sumaryczną liczbę uEV znajdujących się w obszarze G dla d -kolejnych tych samych dni miesiąca. Dzieląc obie wartości przez siebie otrzymuje się wskaźnik informujący o gęstości pojazdów w danym kwadracie siatki W_{G_{ng},τ,D_d} . Następnie wylicza się wartość średnią wskaźnika W_{G_{ng},τ,D_d} tj. $W_{G_{ng},\tau,D_d}^{avg}$. W kolejnym kroku oblicza się prawdopodobieństwo chęci

¹⁹ Dla każdej godziny τ , każdego dnia tygodnia np. poniedziałku, należy stworzyć oddzielną macierz z liczbą pojazdów w danym kwadracie.

realizacji usługi V2X dla każdej godziny τ w danym dniu tygodnia D_d - $P^{Gng}(EC)_{\tau,D_d}$. Sposób wyliczenia tej wartości przedstawiono za pomocą równania:

$$P^{Gng}(EC)_{\tau,D_d} = P^{SYS}(EC)_{\tau,avg} + (W_{Gng,\tau,D_d} - W_{Gng,\tau,D_d}^{avg}) \quad (7.21)$$

Następnie tworzy się macierz wartości $P^{Gng}(EC)_{\tau,D_d}$, reprezentującą obliczone zróżnicowane wartości prawdopodobieństw reakcji V2Xus - $\mathbf{P}'_{uEV}(EC)_{\tau}$.

Należy podkreślić, że otrzymane prawdopodobieństwa powinny być obliczone dla każdej usługi (UH-RZOK i UI-RZOK) oddzielnie, ze względu na inne wartości parametrów $ACPT_{\tau,D_d}$ i NS_{τ,D_d} . Szczegółowy zapis i metodyka obliczania poszczególnych składników zostały przedstawione w autorskiej publikacji [152].

7.5. Wyznaczanie wartości ekonomicznych w wybranej grupie usług V2X

7.5.1. Metodyka wyznaczania stawek za pozyskanie energii elektrycznej z uEV

Jednym z celów niniejszej rozprawy było opracowanie metodyki kompleksowej oceny opłacalności przedsięwzięcia, polegającego na zabezpieczeniu dostaw energii elektrycznej za pomocą pojazdów elektrycznych, z uwzględnieniem porównania wartości usług rozładowania pojazdu ze wskaźnikiem wartości energii niedostarczonej. Podobna tematyka została wspomniana w publikacji [142], lecz nie została ona wówczas szczegółowo opisana. W niniejszej rozprawie poruszono ten problem, z uwzględnieniem również podziału na rodzaje usług (interwencyjna i harmonogramowana).

W pierwszej kolejności należy zdefiniować wskaźniki wartości energii niedostarczonej. W literaturze te wskaźniki określone zostały jako VoLL (ang. Value of Lost Load) oraz VoLA (ang. Value of Lack of Adequacy) [18, 107]. Parametr VoLL należy rozumieć jako wartość niepokrytego zapotrzebowania na energię elektryczną, która wiąże się z pewną utratą działalności społeczno-gospodarczej odbiorcy końcowego [18]. Inaczej mówiąc odbiorca energii elektrycznej jest w stanie ocenić, jaki ponosi koszt w efekcie niedostarczenia energii elektrycznej. Parametr VoLL można także rozumieć, jako „*oszacowaną wartość energii elektrycznej, którą odbiorcy są gotowi zapłacić, aby uniknąć wyłączeń*” [103]. Parametr VoLA jest scharakteryzowany w podobny sposób jak VoLL, przy czym odbiorca otrzymuje z wyprzedzeniem informację o planowanej przerwie w dostawie energii elektrycznej [18, 107]. Warto podkreślić, że zarówno VoLL jak i VoLA wyrażane są w EUR/MWh lub EUR/kWh. Oznacza to, że w przypadku zastosowania tych wskaźników otrzymuje się informacje o pewnego rodzaju stawce za usługę zapewnienia zasilania w czasie planowanej i nieplanowanej przerwy w dostawie energii elektrycznej. W literaturze występują także

parametry WTP (ang. willingness-to-pay) lub WTA (willingness-to-accept), dotyczące określenia wartości jaką odbiorcy są w stanie zapłacić w danym okresie – wyrażane w EUR/h [7, 18].

Mając na uwadze powyższe, wydaje się zasadne aby do kalkulacji stawek za udostępnienie pojemności baterii EV na potrzeby odbiorców końcowych, o których mowa w równaniu (6.9), stosować wskaźniki VoLL oraz VoLA, jako wartości referencyjne (startowe). Wynika to z faktu, że realizowane usługi UH-RZOK i UI-RZOK powinny, co do zasady zapewnić dodatkową energię w czasie przerw lub ograniczeń w dostawach energii elektrycznej. Należy jednak zastanowić się nad przypisaniem ww. wskaźników do rodzajów usług świadczonych przez V2Xsp. Proces kontraktowania usług harmonogramowanych rozpoczyna się z pewnym wyprzedzeniem czasowym, zatem przyjęto, że jako wartość referencyjną stawki za rozładowanie uEV w usłudze UH-RZOK stosuje się wskaźnik VoLA. Jest on przypisany oddzielnie dla każdej *da*-tej akcji rozładowania, tzn. występuje rozróżnienie w przynależności *i*-tego odbiorcy do grupy odbiorców, zdefiniowanej w Tab. 7.1.

$$k_{da,UH-RZOK}^{REF} \equiv VoLA_{i,v} \quad (7.22)$$

gdzie: $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$ – referencyjna stawka za pozyskanie energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego V2X, w czasie realizacji *da*-tej akcji rozładowania dla usługi V2X UH-RZOK, wyrażona w PLN/kWh; $VoLA_{i,v}$ – wartość energii elektrycznej niedostarczonej dla *i*-tego odbiorcy w *v*-tym punkcie świadczenia usługi UH-RZOK, w czasie planowanej przerwy w zasilaniu, o której odbiorca dowiaduje się z jednodniowym uprzedzeniem, wyrażona w PLN/kWh.

W odróżnieniu od usług harmonogramowanych, usługi interwencyjne, jak np. UI-RZOK będą świadczone w przypadku nieplanowanych przerw w zasilaniu, a to znaczy, że bez uprzedzenia czasowego. Zatem jako wartość referencyjną stawki za pozyskanie energii elektrycznej z uEV przyjęto wskaźnik VoLL. Podobnie jak w przypadku parametru VoLA jest on przypisany do konkretnej *da*-tej akcji rozładowania, tj. występuje rozróżnienie pomiędzy grupami EndUs.

$$k_{da,UI-RZOK}^{REF} \equiv VoLL_{i,v} \quad (7.23)$$

gdzie: $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$ – referencyjna stawka za pozyskanie energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego V2X, w czasie realizacji *da*-tej akcji rozładowania dla usługi V2X UI-RZOK, wyrażona w PLN/kWh; $VoLL_{i,v}$ – wartość energii elektrycznej niedostarczonej dla *i*-tego

odbiorcy w v -tym punkcie świadczenia usługi UI-RZOK, w czasie nieplanowanej przerwy w zasilaniu, wyrażona w PLN/kWh.

Biorąc pod uwagę jeden z celów rozprawy doktorskiej, tj. ocenę opłacalności przedsięwzięcia z uwzględnieniem porównania wartości usług rozładowania uEV ze wskaźnikami VoLL lub VoLA można stwierdzić, że funkcja określająca wynik operacyjny przedsiębiorstwa, tj. EBIT, zdefiniowania uprzednio wzorem (6.23), powinna przyjmować wartości większe od 0, przy zastosowaniu stawek opisanych równaniami (7.22) – (7.23).

Dalsze badania w tym zakresie powinny skoncentrować się na minimalizacji stawek za udostępnienie pojemności baterii uEV, tak aby wskaźniki EBIT dalej wykazywały operacyjną opłacalność przedsięwzięcia. Niech $k_{da,UH-RZOK}$ i $k_{da,UI-RZOK}$ oznaczają te stawki odpowiednio dla usługi UH-RZOK i UI-RZOK. Jednakże do takiego zadania optymalizacyjnego należy także uwzględnić ograniczenia. Dolnymi wartościami granicznymi $k_{da,s}^{LIM}$ dla usług UH-RZOK i UI-RZOK jest parametr:

- $k_{da,RZOK}^{LIM_{MCEN}}$ – przeciętny koszt 1 kWh energii elektrycznej uwzględniający opłatę za energię elektryczną oraz jej dystrybucję – ograniczenie wynika z faktu, że usługi V2X są usługami dodatkowymi, wyrażony w PLN/kWh.

Wprowadza się również dodatkowe, charakterystyczne dla tych rodzajów usług V2X, dolne ograniczenia parametrów $k_{da,UH-RZOK}$ lub $k_{da,UI-RZOK}$ związane z wartością składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X $SV_{i,v,s}$ oraz sumarycznych zmiennych kosztów zawartych w rachunku za energię elektryczną ponoszonych przez EndUs, przeliczonych dla maksymalnego czasu wykorzystania usługi V2X $k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}}$ – oba wyrażone w PLN.

Natomiast górnymi wartościami granicznymi powinny być stawki referencyjne $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$ oraz $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$. Należy jednak podkreślić, że maksymalne wartości stawek $k_{da,s}$ mają sens wtedy i tylko wtedy, gdy wprowadza się ograniczenie stanowiące, że parametry VoLL i VoLA, zostaną potraktowane jako *maksymalna oszacowana wartość energii elektrycznej, którą odbiorcy są gotowi zapłacić, aby uniknąć wyłączeń*. Zatem ograniczenia do zadań optymalizacyjnych, opisane uprzednio za pomocą równania (6.26), można zapisać następująco:

Dla usługi UH-RZOK:

$$\begin{cases} EBIT \geq 0 \\ k_{da,UH-RZOK} \geq k_{da,RZOK}^{LIM_{MCEN}} \\ SV_{i,v,UH-RZOK} \geq k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}} \\ k_{da,UH-RZOK} \leq k_{da,UH-RZOK}^{REF} \end{cases} \quad (7.24)$$

Dla usługi UI-RZOK:

$$\begin{cases} EBIT \geq 0 \\ k_{da,UI-RZOK} \geq k_{da,RZOK}^{LIM_{MCEN}} \\ SV_{i,v,UI-RZOK} \geq k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}} \\ k_{da,UI-RZOK} \leq k_{da,UI-RZOK}^{REF} \end{cases} \quad (7.25)$$

W czasie poszukiwania wartości wskaźników $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$ oraz $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$ należy wykonać jeszcze jedno działanie. W podziale na grupy odbiorców końcowych V2X, który został przedstawiony w Tab. 7.1, nie rozróżnia się każdej działalności gospodarczej, dla której oblicza się wskaźniki VoLL i VoLA. Oznacza to, że należy dokonać uśrednienia tych wartości lub ich przypisania zgodnie z najlepszą wiedzą. Problem ten będzie dotyczyć grupy II, do której należy zaliczyć zakłady przemysłowe oraz III i IV. W raporcie [18], dla wybranych sektorów przemysłowych zróżnicowano wskaźniki VoLL i VoLA. Dla celów opisu niniejszego Programu V2X dokonuje się uśrednienia wartości ww. wskaźników dla grupy II, według następujących równań:

$$VoLL_{II}^{avg} = \frac{\sum_{xb=1}^{N_{BU}} VoLL_{bu_{xb}}}{N_{BU}} \quad (7.26)$$

$$VoLA_{II}^{avg} = \frac{\sum_{xb=1}^{N_{BU}} VoLA_{bu_{xb}}}{N_{BU}} \quad (7.27)$$

gdzie: $VoLL_{II}^{avg}$ – uśredniony wskaźnik wartości energii elektrycznej niedostarczonej dla i -tych odbiorców należących do II grupy Odbiorców Końcowych V2X, w czasie nieplanowanej przerwy w zasilaniu, wyrażony w PLN/kWh; $VoLA_{II}^{avg}$ – uśredniony wskaźnik wartości energii elektrycznej niedostarczonej dla i -tych odbiorców należących do II grupy Odbiorców Końcowych V2X, w czasie planowanej przerwy w zasilaniu, o której odbiorca dowiaduje się z jednodniowym uprzedzeniem, wyrażony w PLN/kWh; bu_{xb} – kolejny element zbioru działalności gospodarczych zaliczanych przez V2Xsp do II grupy Odbiorców Końcowych V2X; N_{BU} – moc zbioru działalności gospodarczych zaliczanych przez V2Xsp do II grupy Odbiorców Końcowych V2X;

Zbiór działalności gospodarczej, wyznaczony na podstawie [18], można zapisać za pomocą równania:

$$bu = \{bu_1; bu_2; bu_3; bu_4; bu_5; bu_6; bu_7; bu_8; bu_9; bu_{10}\} \quad (7.28)$$

gdzie: bu_1 – przemysł metalurgiczny; bu_2 – przemysł chemiczny i petrochemiczny; bu_3 – przemysł produktów mineralnych, niemetalicznych; bu_4 – przemysł spożywczy; bu_5 – przemysł tekstylny i galanterijny; bu_6 – przemysł papierniczy; bu_7 – przemysł wyrobów drewnianych; bu_8 – przemysł wytwarzania wyposażenia transportu, w tym podzespołów; bu_9 – przemysł konstrukcji maszyn oraz elektroniczny; bu_{10} – przemysł budowlany.

Dla grupy III oraz IV przyjęto wskaźniki VoLL oraz VoLA odpowiadające kategorii działalności gospodarczej „usługi”, zgodnie z [18]. Powyższe uproszczenie wynika z braku dostępnych danych przedstawionych oddzielnie dla biur i centrów handlowych. Należy także dodać, że w [18] zbiór działalności należących do kategorii „usługi” jest dość szeroki. W czasie implementacji Programu V2X, V2Xsp mógłby wykonać analogiczne badania ankietowe jak w [18] dot. wskaźników VoLL i VoLA, co pozwoliłoby na weryfikację wielkości stawek $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$ oraz $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$.

7.5.2. Metodyka wyznaczania współczynników premii dla usługodawców

Wynagrodzenie usługodawców jest uzależnione od składnika, którego wielkość jest związana z warunkami realizacji udostępnienia pojemności baterii uEV na potrzeby usług V2X. Jest to tzw. współczynnik premii z tytułu rozładowania uEV – $A_{M,S}$. Co do zasady powinien być on uzależniany od poziomu „trudności” wykonania usługi V2X, który zależy od prawdopodobieństwa związanego z dostępnością uEV w danym przedziale czasowym oraz wybranego trybu świadczenia usług przez V2Xus (tryb obowiązkowy i opcjonalny). Zatem, dla każdej parametryzowanej usługi V2X (UH-RZOK i UI-RZOK) oraz dla każdego trybu jej świadczenia należy wyznaczyć wartości graniczne współczynników $A_{M,S}$. W momencie opracowywania niniejszej rozprawy jedyną metodą za pomocą, której można wyznaczyć ww. współczynniki jest „metoda ekspercka”. W toku funkcjonowania Programu V2X, wartości powinny być aktualizowane przez V2Xsp, tak aby dopasować się do potrzeb V2Xus, przy jednoczesnej kalkulacji EBIT dla V2Xsp. Proponuje się zatem, aby przyporządkować każdej wartości $P_{uEV} (UsEV)_t$, wyznaczanej zgodnie z równaniami (7.16) – (7.17), wartość współczynnika $A_{M,S}$ według następujących przedziałów:

Dla usługi UH-RZOK:

$$\begin{cases} A_{2,UH-RZOK} \in < 1,05; 1,35 > \\ A_{1,UH-RZOK} \in < 1,2; 1,5 > \end{cases} \quad (7.29)$$

Dla usługi UI-RZOK:

$$\begin{cases} A_{2,UI-RZOK} \in < 1,5; 1,8 > \\ A_{1,UI-RZOK} \in < 1,7; 2,0 > \end{cases} \quad (7.30)$$

gdzie: $A_{2,UH-RZOK}$ – współczynnik premii dla V2Xus w odniesieniu do jego uEV świadczącego usługę UH-RZOK w trybie obowiązkowym; $A_{1,UH-RZOK}$ – współczynnik premii dla V2Xus w odniesieniu do jego uEV świadczącego usługę UH-RZOK w trybie opcjonalnym; $A_{2,UI-RZOK}$ – współczynnik premii dla V2Xus w odniesieniu do jego uEV świadczącego usługę UI-RZOK w trybie obowiązkowym; $A_{1,UI-RZOK}$ – współczynnik premii dla V2Xus w odniesieniu do jego uEV świadczącego usługę UI-RZOK w trybie opcjonalnym;

Następnie przyjmuje się, że najniższe wartości współczynników opisanych w równaniach (7.29) – (7.30) zostaną przypisane dla przedziałów czasowych, w których prawdopodobieństwo $P_{uEV}(UsEV)_t$ osiąga największe wartości. Natomiast najwyższe wartości współczynników $A_{M,s}$ zostaną przypisane, kiedy najtrudniej jest wykonać usługę, tj. w okresach, w których $P_{uEV}(UsEV)_t$ osiąga najmniejsze wartości. W pozostałych przedziałach czasowych V2Xsp równomiernie rozkłada wartości współczynników $A_{M,s}$. Przedstawiono to za pomocą równań:

$$P_{uEV}(UsEV)_t = \max \rightarrow A_{M,s} = \min \quad (7.31)$$

$$P_{uEV}(UsEV)_t = \min \rightarrow A_{M,s} = \max \quad (7.32)$$

$$P_{uEV}^{\min}(UsEV)_t \leq P_{uEV}(UsEV)_t \leq P_{uEV}^{\max}(UsEV)_t \rightarrow A_{M,s} = A_{M,s}^{\min} + \frac{A_{M,s}^{\max} - A_{M,s}^{\min}}{N_{period}} \quad (7.33)$$

gdzie: $P_{uEV}^{\min}(UsEV)_t$ – minimalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikające z braku ich używania; $P_{uEV}^{\max}(UsEV)_t$ – maksymalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikające z braku ich używania; $A_{M,s}^{\min}$ – minimalna wartość współczynnika premii za rozładowanie uEV; $A_{M,s}^{\max}$ – maksymalna wartość współczynnika premii za rozładowanie uEV; N_{period} – liczba przedziałów czasowych, dla których wyliczane jest prawdopodobieństwo dostępności pojazdów elektrycznych, wynikające z braku ich używania.

7.5.3. Stawki dla usługi harmonogramowanej: *Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*

W niniejszym podrozdziale zostaną zaprezentowane referencyjne stawki za pozyskanie energii elektrycznej z uEV oraz wartości współczynników $A_{M,s}$ dla usługi UH-RZOK. W Tab. 7.3 przedstawiono stawki referencyjne $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$, zaś w Tab. 7.4 przedstawiono

wartości wskaźnika VoLA dla poszczególnych sektorów przemysłu, o których mowa w równaniu (7.28). W Tab. 7.5 przedstawiono współczynniki $A_{M,UH-RZOK}$, dla przedziałów czasowych zdefiniowanych w badaniu ankietowym, opisanym w rozdziale 3 rozprawy.

Tab. 7.3. Stawki referencyjne za udostępnianą energię elektryczną z uEV dla UH-RZOK²⁰ – na podstawie [18]

Grupa odbiorców	Stawki referencyjne $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$ [zł/kWh]
Grupa I – Gospodarstwa domowe	14,519
Grupa II – Zakłady przemysłowe	14,519
Grupa III – Biura i centra handlowe	9,163
Grupa IV – Pozostałe	9,163

Tab. 7.4. Wartości wskaźników VoLA dla sektora przemysłowego – na podstawie [18]

Rodzaj odbiorcy przemysłowego	VoLA [EUR/kWh]
bu_1 – przemysł metalurgiczny	0,17
bu_2 – przemysł chemiczny i petrochemiczny	0,41
bu_3 – przemysł produktów mineralnych, niemetalicznych	0,58
bu_4 – przemysł spożywczy	1,33
bu_5 – przemysł tekstylny i galanterijny	2,82
bu_6 – przemysł papierniczy	0,59
bu_7 – przemysł wyrobów drewnianych	0,83
bu_8 – przemysł wytwarzania wyposażenia transportu, w tym podzespołów	2,00
bu_9 – przemysł konstrukcji maszyn oraz elektroniczny	2,40
bu_{10} – przemysł budowlany	23,57
Średnia $VoLA_{II}^{avg}$	3,47

Tab. 7.5. Wartości współczynników $A_{M,UH-RZOK}$

Godziny	Prawdopodobieństwo dostępności pojazdu $P_{uEV}(UsEV)_t$	Tryb obowiązkowy $A_{2,UH-RZOK}$	Tryb opcjonalny $A_{1,UH-RZOK}$
00:00 – 06:00	0,947	1,05	1,2
06:01 – 09:00	0,427	1,3	1,45
09:01 – 12:00	0,573	1,2	1,35
12:01 – 15:00	0,560	1,25	1,4
15:01 – 18:00	0,293	1,35	1,5
18:01 – 21:00	0,627	1,15	1,3
21:01 – 23:59	0,880	1,1	1,25

7.5.4. Stawki dla usługi interwencyjnej: *Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego*

W niniejszym podrozdziale zostaną zaprezentowane referencyjne stawki za pozyskanie energii elektrycznej z uEV oraz wartości współczynników $A_{M,S}$ dla usługi UI-RZOK. W Tab. 7.6 przedstawiono stawki referencyjne $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$, zaś w Tab. 7.7 przedstawiono wartości wskaźnika VoLL dla poszczególnych sektorów przemysłu, o których mowa w równaniu (7.28).

²⁰ Wartości przeliczone z EUR na PLN, zgodnie ze średnim kursem Europejskiego Banku Centralnego (EBC) z okresu 02.01.2015 r. – 31.12.2015 r., który był równy 1 EUR = 4,1841 PLN.

W Tab. 7.8 przedstawiono współczynniki $A_{M,UI-RZOK}$, dla przedziałów czasowych zdefiniowanych w badaniu ankietowym, opisanym w rozdziale 3 rozprawy.

Tab. 7.6. Stawki referencyjne za udostępnianą energię elektryczną z uEV dla UI-RZOK²¹ – na podstawie [18]

Grupa odbiorców	Stawki referencyjne $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$ [zł/kWh]
Grupa I – Gospodarstwa domowe	26,192
Grupa II – Zakłady przemysłowe	18,402
Grupa III – Biura i centra handlowe	14,770
Grupa IV – Pozostałe	14,770

Tab. 7.7. Wartości wskaźników VoLL dla sektora przemysłowego – na podstawie [18]

Rodzaj odbiorcy przemysłowego	VoLL [EUR/kWh]
bu_1 – przemysł metalurgiczny	0,22
bu_2 – przemysł chemiczny i petrochemiczny	0,52
bu_3 – przemysł produktów mineralnych, niemetalicznych	0,73
bu_4 – przemysł spożywczy	1,69
bu_5 – przemysł tekstylny i galanterijny	3,57
bu_6 – przemysł papierniczy	0,75
bu_7 – przemysł wyrobów drewnianych	1,05
bu_8 – przemysł wytwarzania wyposażenia transportu, w tym podzespołów	2,53
bu_9 – przemysł konstrukcji maszyn oraz elektroniczny	3,04
bu_{10} – przemysł budowlany	29,88
Średnia $VoLL_{II}^{avg}$	4,40

Tab. 7.8. Wartości współczynników $A_{M,UI-RZOK}$

Godziny	Prawdopodobieństwo dostępności pojazdu $P_{uEV}(UsEV)_t$	Tryb obowiązkowy $A_{2,UI-RZOK}$	Tryb opcjonalny $A_{1,UI-RZOK}$
00:00 – 06:00	0,947	1,5	1,7
06:01 – 09:00	0,427	1,75	1,95
09:01 – 12:00	0,573	1,65	1,85
12:01 – 15:00	0,560	1,7	1,9
15:01 – 18:00	0,293	1,8	2
18:01 – 21:00	0,627	1,6	1,8
21:01 – 23:59	0,880	1,55	1,75

²¹ Wartości przeliczone z EUR na PLN, zgodnie ze średnim kursem Europejskiego Banku Centralnego (EBC) z okresu 02.01.2015 r. – 31.12.2015 r., który był równy 1 EUR = 4,1841 PLN.

8. Wyniki badań

8.1. Walidacja mechanizmów kontraktowania uEV

8.1.1. Założenia

W celu sprawdzenia zaprojektowanych i opisanych w rozdziale 5 oraz Załącznikach 2 i 4 (rozdział 13.2 oraz 13.4) mechanizmów kontraktowania uEV wykonano symulacje ich przykładowego działania, z wykorzystaniem programu MS Excel. W pierwszej kolejności należy jednak przedstawić założenia, dla których wykonano symulacje. Założono funkcjonowanie Dostawcy Usług V2X (V2Xsp), którego obszar działania to teren podzielony zgodnie z siatką kwadratową o wymiarach 5 km x 5 km. Za pomocą programu MS Excel wylosowano stałą liczbę uEV znajdujących się w obszarze działania, równą 1120. W przypadku tej symulacji założono, że jeden V2Xus posiada jeden uEV. Przyjęto, że sprawdzone zostanie zakontraktowanie uEV dla dwóch Odbiorców Końcowych V2X, w ramach usługi harmonogramowanej UH-RZOK, którzy wymagają realizacji usługi w różnych blokach czasowych. Należy wspomnieć, że każdy EndUs posiada jeden punkt świadczenia usług, tzn.:

- EndUs1 – $i = 1, v = 1$;
- EndUs2 – $i = 2, v = 1$.

Rodzaj świadczonej usługi jest to o tyle istotny, że w przypadku usług harmonogramowanych stosuje się oba podstawowe mechanizmy kontraktowania: *early-bid* oraz *Ofertowanie Strefowe*. W symulacjach pominięto analizy dot. mechanizmu Uzupełniającego Ofertowania Strefowego, ponieważ jego zasady poszukiwania uEV wykorzystują metodyki opracowane w klasycznym mechanizmie Ofertowania Strefowego. Założono także, że okno czasowe dla ofert w mechanizmie *early-bid* jest jedno dla realizacji obu usług oraz dany uEV świadczy tylko jeden raz usługę V2X dla danego EndUs, tzn. uEV_n nie może być zakontraktowany w mechanizmie *early-bid* i ofertowaniu strefowym dla EndUs1, ale może być zakontraktowany w ramach mechanizmu *early-bid* dla EndUs1 i być wybranym w ofertowaniu strefowym dla EndUs2, pod warunkiem że bloki czasowe świadczenia usługi nie pokrywają się ze sobą²². Ponadto należy wprowadzić podział uEV na pojazdy osobowe i ciężarowe/dostawcze (dalej: CARGO). Te pierwsze stanowią 883 z 1120 wszystkich uEV. Należy również podzielić wszystkie uEV, na te dla których V2Xus zdecydowali się świadczyć usługi V2X w trybie obowiązkowym lub opcjonalnym. Do tego celu wykorzystano przeprowadzone badania ankietowe. Metodyka wyznaczania liczby uEV świadczących usługi

²² W takim przypadku V2Xus ponosi ryzyko realizacji dwóch usług w ciągu jednego dnia.

V2X w danym trybie została uprzednio przedstawiona w [152]. W niniejszych symulacjach przedstawiono tylko aktualizację wyników z [152], gdyż metodyka nie uległa zmianie:

$$SUR_{MAN}^{V2GL} = 0,767 \quad (8.1)$$

$$SUR_{OPT}^{V2GL} = 0,233 \quad (8.2)$$

Na podstawie równania (8.1) liczba uEV świadczących usługi V2X w trybie obowiązkowym jest równa 849. Oznacza to, że w analizowanym Obszarze Działania V2Xsp znajduje się 271 pojazdów elektrycznych w trybie opcjonalnym. Pozostałe parametry uEV, opisane równaniem (5.6), zostały dobrane w sposób losowy, zgodnie z zakresami poniżej:

- x_n, y_n – zgodnie z przydziałem do kwadratu siatki obszaru G;
- $SOC_{akt,n} \in < 40\%, 90\% >$ - na podstawie [39, 66, 154]²³;
- $SOC_{f,n} \in < 25\%, 50\% >$ - na podstawie [8, 154]²⁴;
- $C_n \in < 30 \text{ kWh}, 80 \text{ kWh} >$ - na podstawie [154];
- $P_{uEV,n}^{MAX} \in < 20 \text{ kW}, 200 \text{ kW} >$;
- $t_{s,n}^{uEV} \in < 2 \text{ h}, 9 \text{ h} >$;
- $CS_n \in \{CCS, CHADEMO\}$ – na podstawie [58];
- $us_{EV,n} \in < 0,17 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}, 0,27 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} >$ - na podstawie [4, 27];
- $\eta_d = 90\%$ - na podstawie [4, 8];
- $REZ_n = 5\%$.

8.1.2. Obszar Działania V2Xsp

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale zdefiniowano Obszar Działania V2Xsp jako siatkę kwadratową o wymiarach 5 km x 5 km. W pierwszej kolejności należy zdefiniować lokalizacje usługobiorców (EndUs). Za pomocą MS Excel wylosowano następujące współrzędne geometryczne²⁵ dla obu EndUs:

$$L_{1,1} = (1,12; 4,87) \quad (8.3)$$

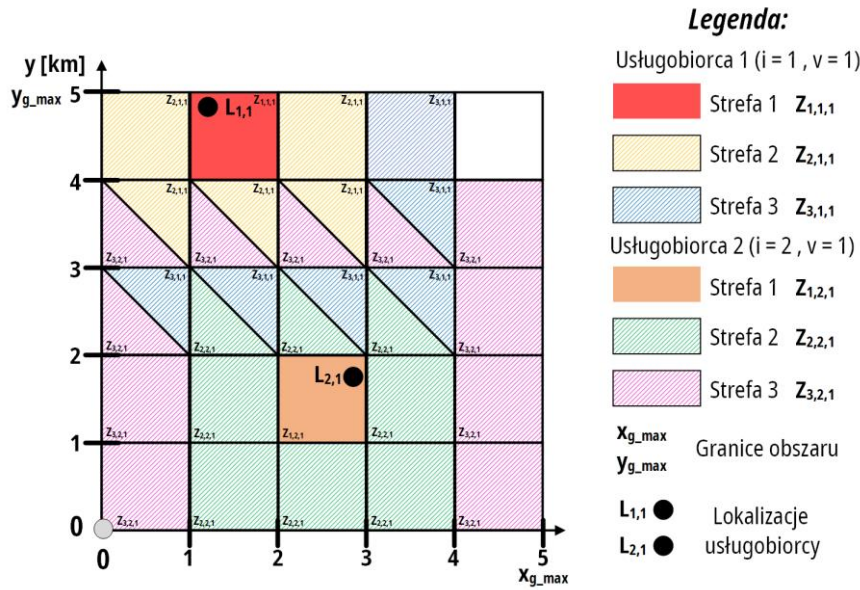
$$L_{2,1} = (2,93; 1,75) \quad (8.4)$$

²³ Zakres wartości rozszerzony w stosunku do pozycji literaturowych.

²⁴ Jw.

²⁵ Początek układu współrzędnych należy przyjąć jak na Rys. 5.1.

Następnie dla powyższych EndUs wydzielono strefy poszukiwania uEV. Ze względu na to, że liczba stref i przypisane do nich kwadraty siatki nie są zależne od gęstości uEV występującej na danym obszarze można wykonać te działania przed rozstrzygnięciem ofertowania *early-bid*. Na Rys. 8.1 przedstawiono obszar działania V2Xsp wraz z podziałem na poszczególne strefy poszukiwania uEV (do trzeciej włącznie) oraz lokalizacją EndUs1 i EndUs2.



Rys. 8.1. Analizowany obszar działania V2Xsp wraz z lokalizacją EndUs1 i EndUs2 oraz wyznaczonymi trzema strefami poszukiwań uEV

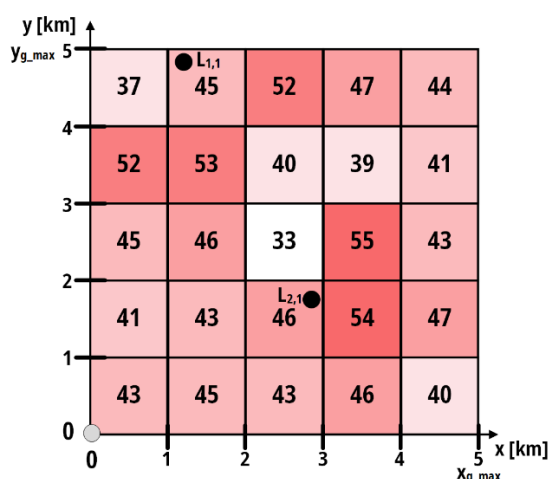
Należy podkreślić, że dla powyższego przypadku możliwe jest także wyznaczenie strefy 4 i 5, jednakże ze względu na czytelność rysunku ich nie umieszczono.

Kolejnym aspektem, który został uwzględniony w symulacjach jest rozkład uEV w Obszarze Działania V2Xsp. Jak wspomniano liczba wszystkich pojazdów elektrycznych w Programie V2X N_{uEV}^{V2Xsp} została wylosowana i jest równa 1120. Dla uproszczenia założono, że w symulowanych warunkach wszystkie pojazdy zawsze znajdują się w Obszarze Działania V2Xsp. Należy jednak zastanowić się nad możliwością realizacji usług V2X w różnych porach doby, tj. gdy pojazdy będą znajdować się w różnych kwadratach siatki obszaru działania V2Xsp. Pozwoli to też na weryfikację zaprojektowanych algorytmów pod kątem wyboru pojazdów przy różnej gęstości ich rozmieszczenia. Zaproponowano zatem jeden wariant symulacyjny dla mechanizmu *early-bid* (dla obu EndUs mechanizm *early-bid* rozpoczyna się i kończy w tym samym momencie) oraz sześć wariantów symulacyjnych dla mechanizmów ofertowania strefowego, przy czym dla każdego EndUs rozkład gęstości pojazdów jest inny (ze

względnie na różnicę w czasie uruchomienia usługi). Warianty te są scharakteryzowane w następujący sposób:

- 1) *Wariant Early-bid* – losowy rozkład pojazdów elektrycznych V2X w Obszarze Działania V2Xsp w czasie uruchomienia mechanizmu *early-bid*.

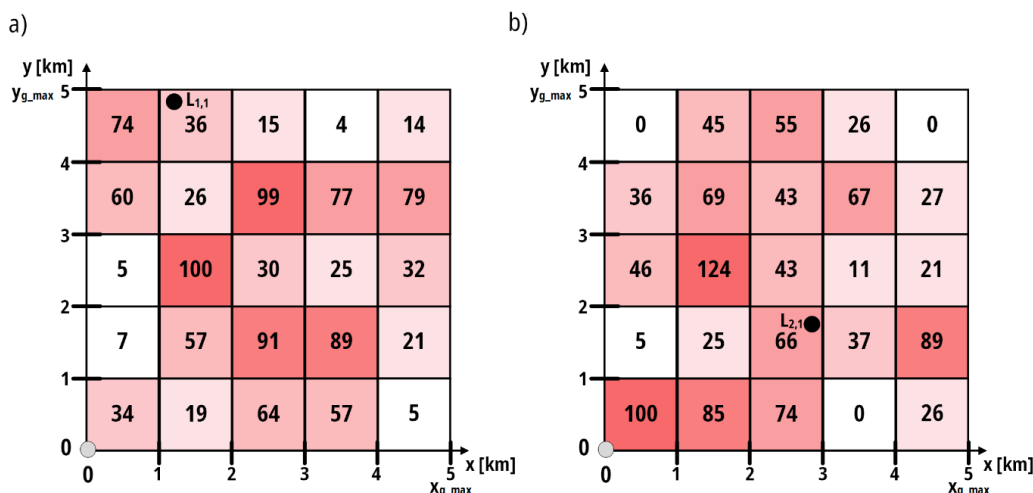
Wariant symulacyjny dla mechanizmu *early-bid* polegał na losowym przydzieleniu współrzędnych (x_n , y_n) każdemu z 1120 uEV. Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Zgodnie z założeniami mechanizmu *early-bid*, wszystkie pojazdy mogą brać udział w procesie składania oferty. Na Rys. 8.2 przedstawiono rozkład uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp dla *Wariantu Early-bid*.



Rys. 8.2. Rozmieszczenie uEV w wariantie symulacyjnym *Early-bid*

- 2) *Wariant 1 Ofertowanie Strefowe* – losowy rozkład pojazdów elektrycznych V2X w Obszarze Działania V2Xsp w czasie uruchomienia ofertowania strefowego.

Podstawowy wariant symulacyjny polegał na losowym przydzieleniu współrzędnych (x_n , y_n) każdemu z 1120 uEV. Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Na Rys. 8.3 przedstawiono *Wariant 1* rozkładu uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla EndUs1 i EndUs2.



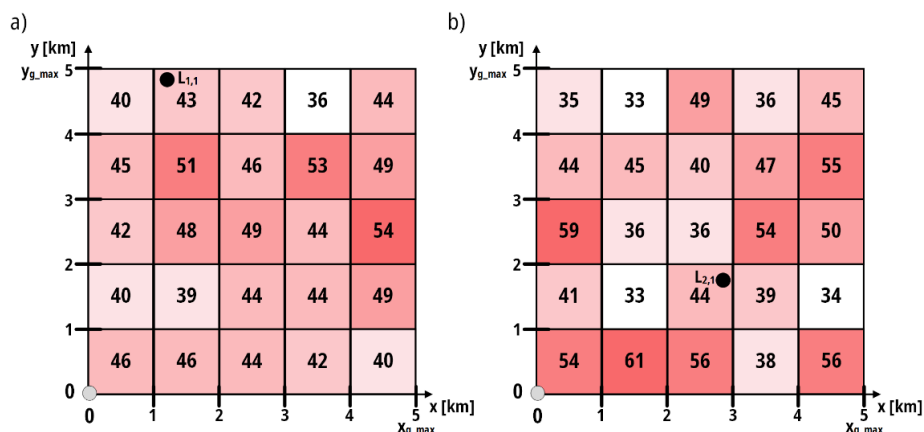
Rys. 8.3. *Wariant 1* rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2

3) *Wariant 1a Ofertowanie Strefowe* – losowy rozkład pojazdów elektrycznych V2X w Obszarze Działania V2Xsp w czasie uruchomienia ofertowania strefowego – przewaga pojazdów uEV_{op}.

Drugi z wariantów symulacyjnych dla mechanizmu ofertowania strefowego polegał na modyfikacji *Wariantu 1*, uwzględniającej zmianę liczebności pojazdów w trybie obowiązkowym (23) oraz opcjonalnym (1097). Celem takiego wariantu było sprawdzenie procesu wyboru pojazdów w trybie opcjonalnym do świadczenia usługi, w szczególności pod kątem niepewności związanych ze zgłoszeniem się do realizacji usługi. Rozmieszczenie uEV pozostało takie samo jak w przypadku *Wariantu 1* (Rys. 8.3).

4) *Wariant 2 Ofertowanie Strefowe* – równomierne rozmieszczenie pojazdów elektrycznych V2X w Obszarze Działania V2Xsp w czasie uruchomienia ofertowania strefowego.

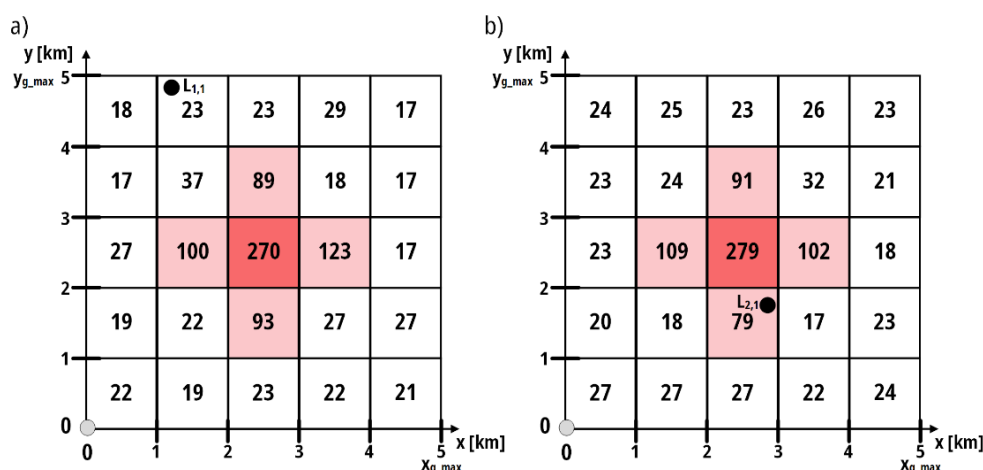
Kolejny analizowany wariant symulacyjny dotyczył sytuacji, w której uEV zostały równomiernie rozłożone w Obszarze Działania V2Xsp. Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Na Rys. 8.4 przedstawiono *Wariant 2* rozkładu uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla EndUs1 i EndUs2.



Rys. 8.4. *Wariant 2* rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2

5) *Wariant 3 Ofertowanie Strefowe* – koncentracja pojazdów elektrycznych V2X w centrum Obszaru Działania V2Xsp w czasie uruchomienia ofertowania strefowego.

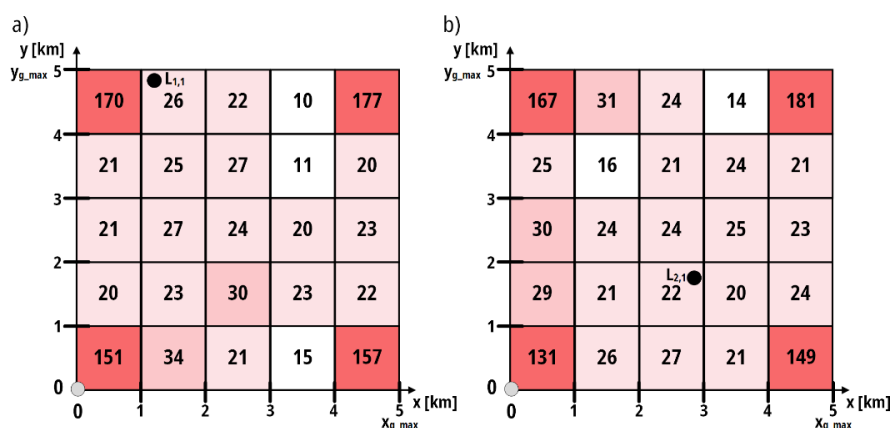
Następny wariant symulacyjny miał na celu oddawać warunki, które mogą zaistnieć w silnie zurbanizowanym terenie. Oznacza to, że pojazdy w większości znajdują się w centrum obszaru (co może symbolizować centrum miasta), natomiast realizacja usługi V2X wymaga przemieszczenia się do innego obszaru (kwadratu siatki). Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Na Rys. 8.5 przedstawiono *Wariant 3* rozkładu uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla EndUs1 i EndUs2.



Rys. 8.5. *Wariant 3* rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2

6) *Wariant 4 Ofertowanie Strefowe* – koncentracja pojazdów elektrycznych V2X na obrzeżach Obszaru Działania V2Xsp w czasie uruchomienia ofertowania strefowego.

Podobnie jak wariant symulacyjny 3), *Wariant 4* miał na celu oddawać warunki, które mogą zaistnieć w przypadku gdy Obszar Działania V2Xsp dotyczy dużych aglomeracji miejskich. Jednakże, tym razem pojazdy znajdują się na krańcach tego obszaru (tzw. „sypialnie miasta”). Przywołanie pojazdów do punktów świadczenia usługi V2X zatem może wymagać dłuższego czasu realizacji, gdyż pojazdy muszą przebyć dłuższą drogę. Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Na Rys. 8.6 przedstawiono *Wariant 4* rozkładu uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla EndUs1 i EndUs2.

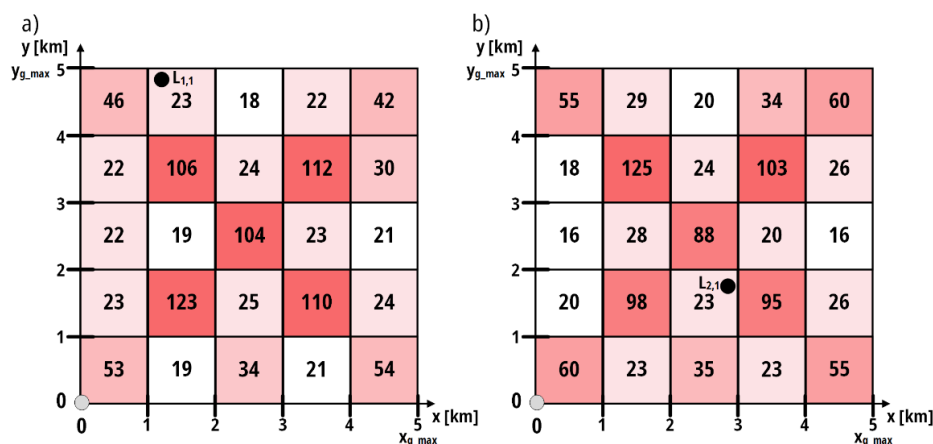


Rys. 8.6. *Wariant 4* rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2

7) *Wariant 5 Ofertowanie Strefowe* – koncentracja pojazdów elektrycznych V2X w kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp zbiegających do centrum obszaru w czasie uruchomienia ofertowania strefowego.

Ostatni wariant symulacyjny miał na celu oddawać warunki, które mogą zaistnieć w przypadku gdyby pojazdy znajdowały się w kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp zbiegających się do lub oddalających się z centrum tego obszaru. Jest to pewnego rodzaju przybliżenie sytuacji, w której pojazdy przemieszczają się z obrzeży miasta do centrum lub w odwrotną stronę. Uwzględniono także podział na uEV świadczące usługi V2X w trybie obowiązkowym i opcjonalnym – odpowiednio w trybie obowiązkowym: 849 i trybie opcjonalnym: 271. Na Rys. 8.7 przedstawiono *Wariant 5* rozkładu uEV w poszczególnych

kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla EndUs1 i EndUs2.



Rys. 8.7. Wariant 5 rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2

8.1.3. Ofertowany produkt

Kolejnym krokiem w przeprowadzeniu symulacji jest zdefiniowanie produktu, który EndUs1 i EndUs2 chcą zaoferować w ramach usługi UH-RZOK. Należy zacząć od zdefiniowania odbiorców końcowych V2X:

- 1) EndUs1 – odbiorca końcowy przyłączony do sieci niskiego napięcia, rozliczany w taryfie C21. Posiada on 15 punktów ładowania V2X, a jego profil zużycia energii elektrycznej jest charakterystyczny dla budynków biurowo-usługowych, tj. narasta pomiędzy godz. 6:00 – 8:00, swoje maksymalne wartości osiąga około godziny 12:00 – 13:00, a następnie powoli spada i osiąga pewien stały poziom zapotrzebowania na energię elektryczną około godz. 17:00. Przyjęto, że maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 140 kWh.
- 2) EndUs2 – odbiorca końcowy przyłączony do sieci średniego napięcia, rozliczany w taryfie B22. Posiada on 50 punktów ładowania V2X. Jego zużycie energii elektrycznej jest typowe dla dużych obiektów usługowo-biurowych, ponieważ wzrasta od wczesnych godzin porannych, utrzymuje się na stałym wysokim poziomie do około godz. 16:00 – 17:00, następnie powoli spada w ciągu kolejnych godzin doby. Przyjęto, że maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 2800 kWh.

W analizowanym przypadku obaj EndUs złożyli chęć zabezpieczenia wolumenu energii elektrycznej w ramach UH-RZOK. Oferty produktów, opisane uprzednio za pomocą równania

(4.10), które zostały wystawione przez EndUs1 (wektor $\mathbf{Pr}_1$) oraz EndUs2 (wektor $\mathbf{Pr}_2$) określono w następujący sposób:

$$\mathbf{Pr}_1 = [E_{d_1}, t_{s_1}, n_{cs_1}, P_{d_1}, data_{ST_1}, data_{FIN_1}] = [150 \text{ kWh}, 3 \text{ h}, 15, 70 \text{ kW}, 10:00, 13:00] \quad (8.5)$$

$$\mathbf{Pr}_2 = [E_{d_2}, t_{s_2}, n_{cs_2}, P_{d_2}, data_{ST_2}, data_{FIN_2}] = [2000 \text{ kWh}, 4 \text{ h}, 50, 3000 \text{ kW}, 15:00, 19:00] \quad (8.6)$$

Na podstawie równań (8.5) i (8.6) można zauważyć, że sytuacja dotyczy dwóch różnych bloków czasowych niepokrywających się ze sobą. Należy także pamiętać, że wartości wskazane w ofertach są określane przez EndUs według ich najlepszej wiedzy. Powyższe oferty po wysłaniu ich do V2Xsp są analizowane, a następnie odbiorcy otrzymują informację zwrotną ze zweryfikowanymi parametrami usługi (kolorem niebieskim oznaczono parametry poprawione przez V2Xsp):

$$\mathbf{Pr}'_1 = [E'_{d_1}, t'_{s_1}, n_{cs_1}, P'_{d_1}, data_{ST_1}, data_{FIN_1}] = [150 \text{ kWh}, 3 \text{ h}, 15, 70 \text{ kW}, 10:00, 13:00] \quad (8.7)$$

$$\mathbf{Pr}'_2 = [E'_{d_2}, t'_{s_2}, n_{cs_2}, P'_{d_2}, data_{ST_2}, data_{FIN_2}] = [628,9 \text{ kWh}, 4 \text{ h}, 50, 2500 \text{ kW}, 15:00, 19:00] \quad (8.8)$$

V2Xsp dokonując weryfikacji produktu bierze pod uwagę możliwość zrealizowania usługi V2X UH-RZOK w danym bloku czasowym, kierując się historycznymi danymi dot. dostępnej energii w uEV. Obliczana jest liczba uEV, która będzie wymagana aby usługa została zrealizowana N_{uEV}^{REQ} :

$$N_{uEV}^{REQ} = \frac{E_{d_1}}{P_{us}(AE)} = \frac{150}{0,90} = \frac{150}{12,51} \approx 14 \quad (8.9)$$

Prawdopodobieństwo $P_{us}(AE)$ zostało obliczone, zgodnie z równaniem (7.9). W symulacji przyjęto wartości:

- dla prawdopodobieństwa znajdowania się w stanie prawidłowego działania technicznego dwukierunkowego punktu ładowania V2X [30, 152]:

$$\mu_{EVSE} = 20\,000 \text{ na } 1 \text{ milion godzin};$$

$$\lambda_{EVSE} = 11,3266 \text{ na } 1 \text{ milion godzin};$$

$$p_{EVSE} = \frac{20000}{20000+11,3266} = 0,99943;$$

- dla prawdopodobieństwa związanego z dostępnością punktu ładowania V2X [149, 152]:

$$\mu_{DPL} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ 1/h};$$

$$\lambda_{DPL} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/h;}$$

$$p_{DPL} = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-2}} = 0,9524;$$

- dla prawdopodobieństwa przerwania świadczenia V2X przez uczestnika programu lub inną postronną osobę [149, 152]:

$$\mu_{INT} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ 1/h;}$$

$$\lambda_{INT} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/h;}$$

$$1 - P(INT) = 1 - \frac{5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-2}} = 0,9524;$$

- dla prawdopodobieństwa funkcjonowania systemów rozliczenia V2Xsp [149, 152]:

$$\mu_s = 99 \text{ 1/rok;}$$

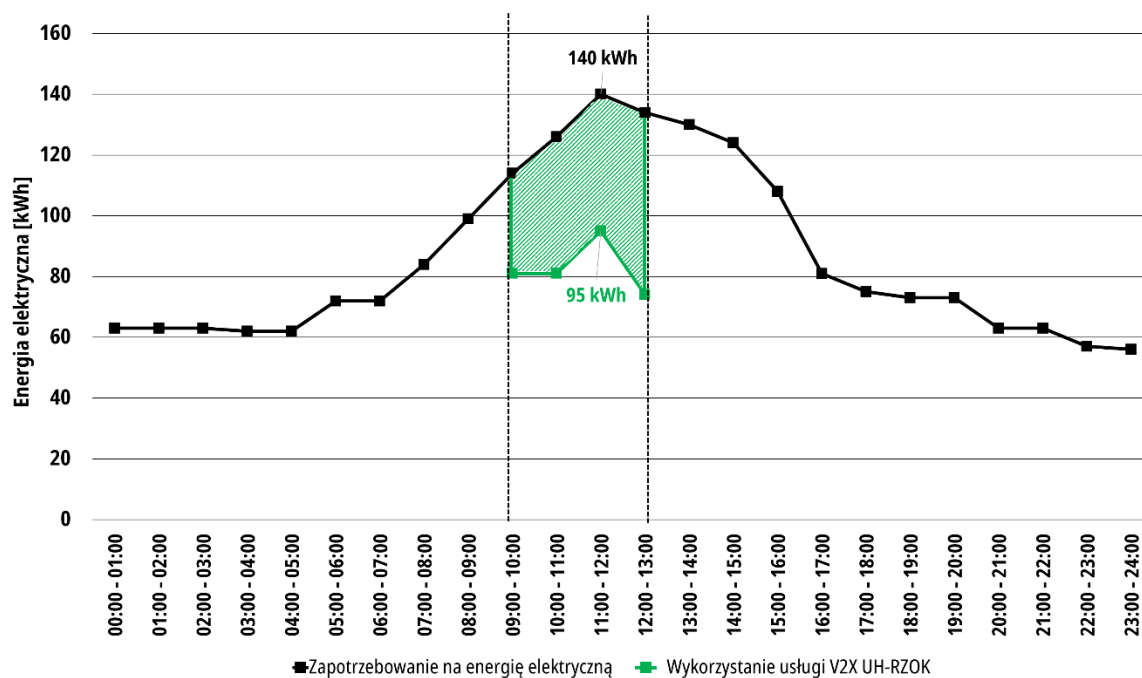
$$\lambda_s = 1 \text{ 1/rok;}$$

$$P(V2Xsp) = 1 - \frac{1}{1+99} = 0,99;$$

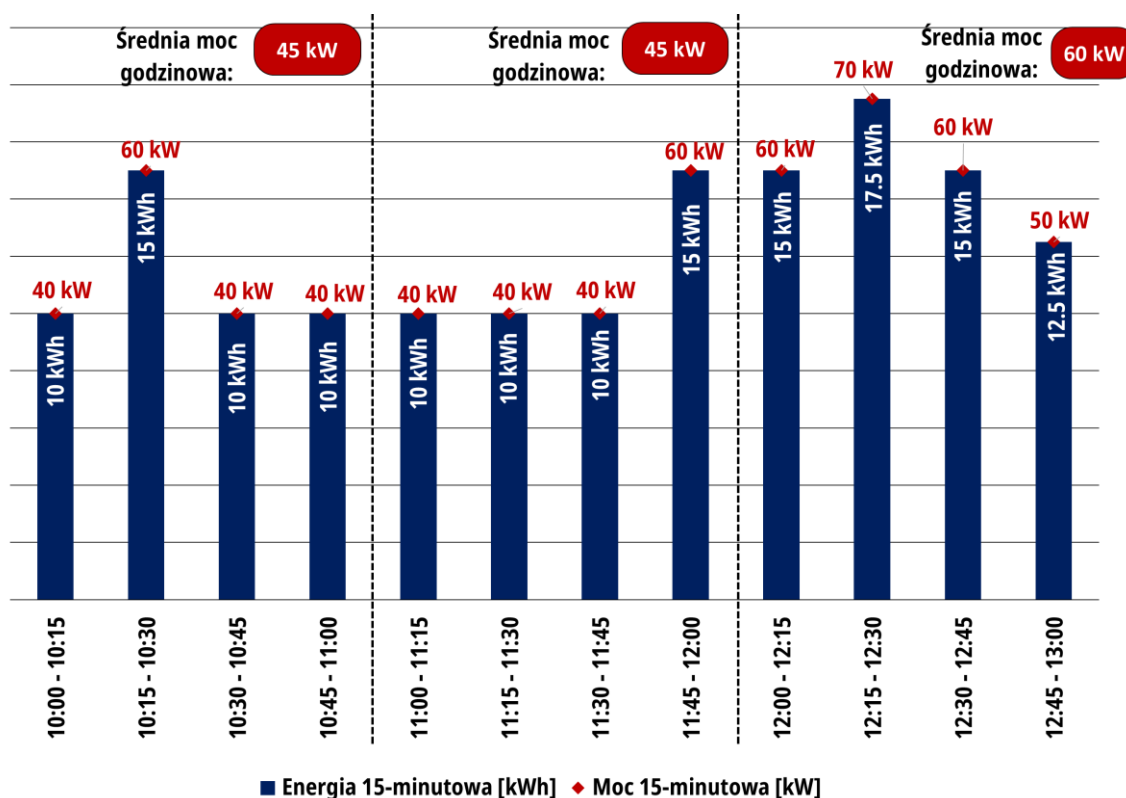
Zatem:

$$P_{us}(AE) = 0,99 \cdot 0,9524 \cdot 0,9524 \cdot 0,99943 = 0,897 \approx 0,90 \quad (8.10)$$

Parametr $E_{1avg,t}^{uEV_G}$ został obliczony jako średnia z wartości dostępnej energii w uEV dla obszaru działania V2Xsp w losowo utworzonym zbiorze uEV w programie MS Excel. Zgodnie z równaniem (4.17), jeśli wyliczona za pomocą równania (4.13) liczba N_{uEV}^{REQ} jest nie większa niż liczba dostępnych punktów ładowania V2X n_{CS} , to przyjmuje się tę liczbę, jako wiążącą. W przeciwnym przypadku należy wziąć pod uwagę maksymalną liczbę punktów ładowania V2X – n_{CS} . Analizując parametry produktu EndUs1 (równanie (8.5)) oraz obliczoną liczbę N_{1uEV}^{REQ} (równanie (8.9)), nie ma potrzeby zmiany wolumenu energii elektrycznej zabezpieczanego w ramach UH-RZOK. Nie ulega zmianie również poziom maksymalnego zapotrzebowania na moc, wyliczany zgodnie z równaniem (4.18). W obliczeniach przyjęto, że wartość średniej mocy rozładowania uEV $P_{1avg,t}^{uEV_G}$ wynosi 110,24 kW. Wynika ona, podobnie jak parametr $E_{1avg,t}^{uEV_G}$, z losowego utworzonego zbioru uEV w programie MS Excel. Zatem, na podstawie powyższych rozważań można zaprezentować profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs1 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi V2X. Na Rys. 8.8 przedstawiono taki profil, zaś na Rys. 8.9 przedstawiono 15-minutowe wartości mocy i energii elektrycznej udostępnianej przez uEV, a wykorzystywanej przez EndUs1 w czasie bloku świadczenia usługi UH-RZOK.



Rys. 8.8. Typowy dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs1 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi UH-RZOK



Rys. 8.9. Przykładowe wykorzystanie baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs1

Nieco inny przypadek dotyczy EndUs2. W równaniu (8.8) oznaczono kolorem niebieskim parametry, które w trakcie procesu weryfikacji produktu przez V2Xsp zostały zmienione. Wynika to głównie z obliczenia parametru N_{2uEV}^{REQ} :

$$N_{2uEV}^{REQ} = \frac{\frac{E_{d_2}}{P_{us}(AE)}}{E_{2avg,t}^{uEV_G}} = \frac{\frac{2000}{0,90}}{12,578} \approx 177 \quad (8.11)$$

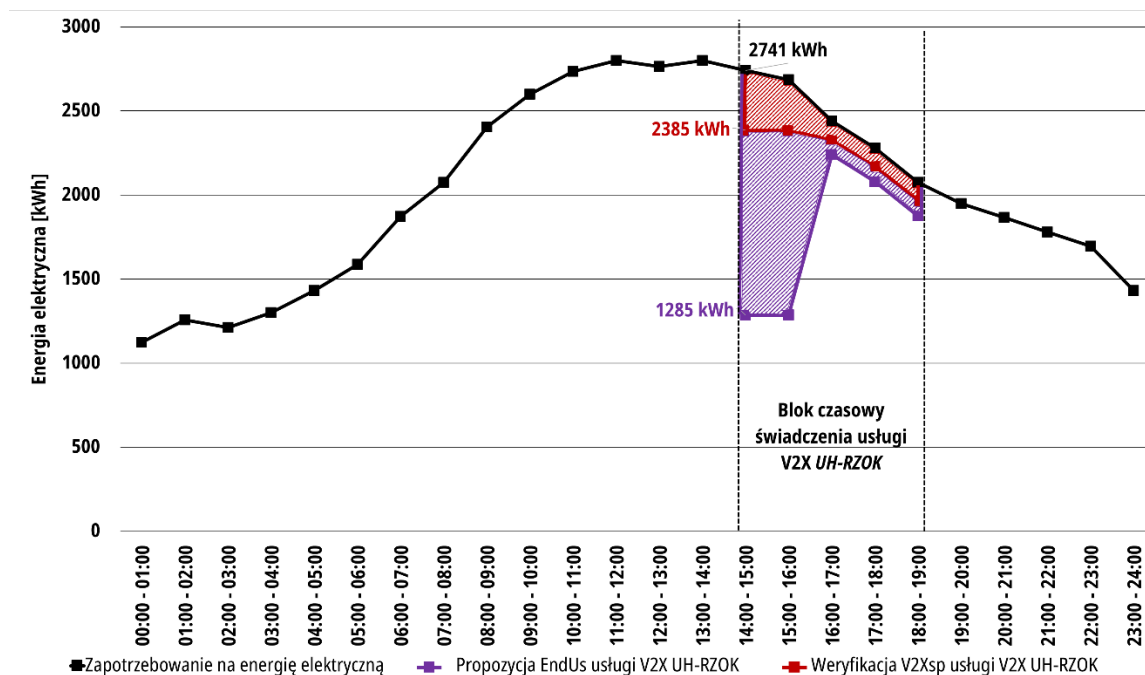
przy czym: wartość $E_{2avg,t}^{uEV_G}$ została oszacowana w analogiczny sposób jak dla EndUs1 – inna wartość wynika z różnej godziny rozpoczęcia świadczenia usługi, tj. stosuje się inny zbiór danych historycznych.

Z równania (8.11) wynika, że nie istnieje możliwość zrealizowania usługi V2X, gdyż wymagana liczba pojazdów jest większa niż liczba dostępnych punktów ładowania V2X ($177 > 50$). Zatem V2Xsp wysyła propozycję redukcji wolumenu energii elektrycznej oraz korektę maksymalnego poziomu zapotrzebowania na moc, zgodnie z równaniami (4.16) oraz (4.18).

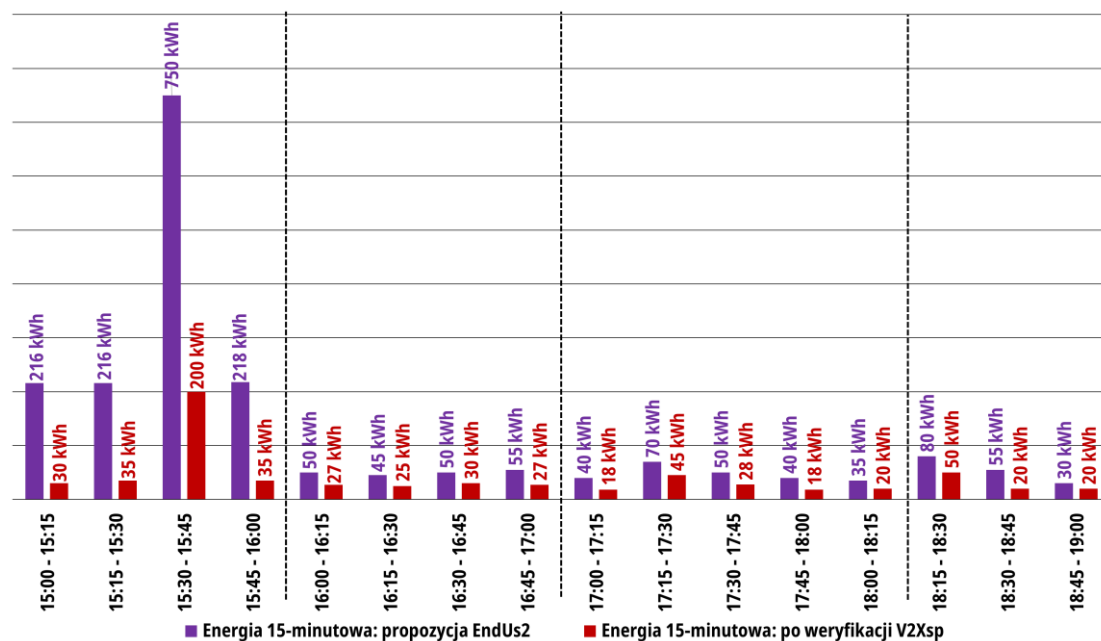
$$E'_{d_2} = n_{CS_2} \cdot E_{2avg,t}^{uEV_G} = 50 \cdot 12,578 = 628,9 \text{ kWh} \quad (8.12)$$

$$P'_d \leq \sum_{cs=1}^{n_{cs}} P_{MAX,cs}^{EVSE} \rightarrow P'_d \leq 2500 \text{ kW} \quad (8.13)$$

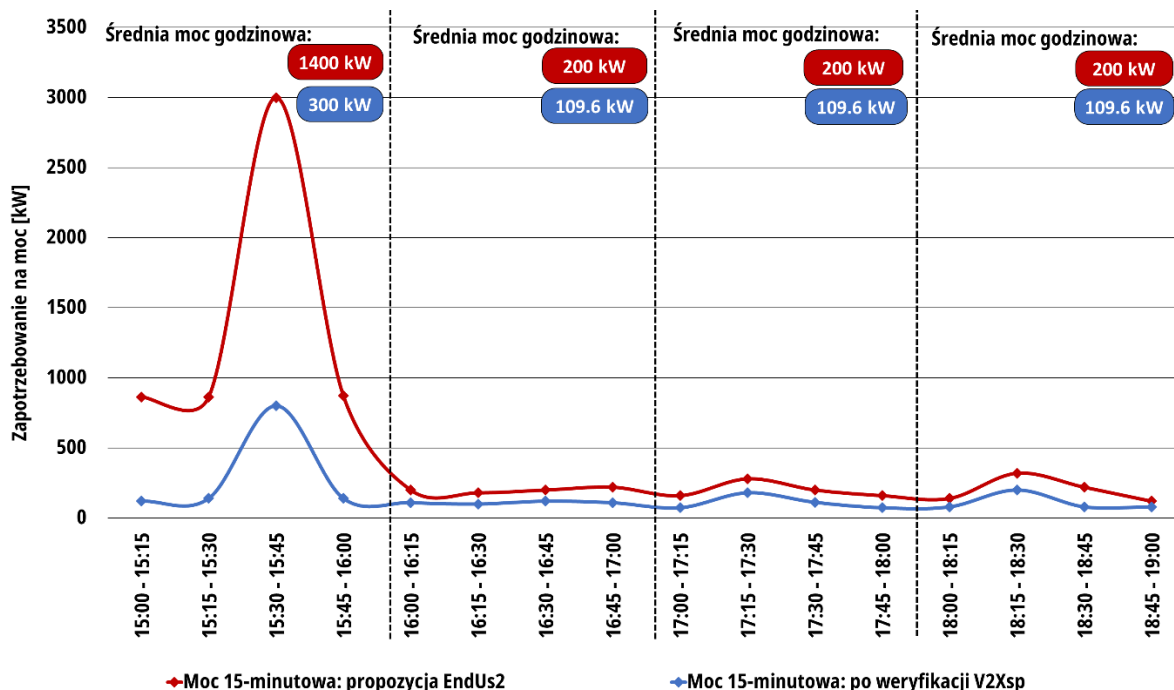
Założono, że EndUs2 zgadza się na proponowany wolumen energii elektrycznej równy 628,9 kWh, natomiast w zakresie poziomu zapotrzebowania na moc decyduje się na wartość równą 800 kW. Jest to dopuszczalne, ponieważ poziom zapotrzebowania na moc maksymalną deklarowany przez EndUs nie może być większy niż obliczony przez V2Xsp. Na Rys. 8.10 przedstawiono typowy dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs2 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi V2X UH-RZOK, w podziale na wartości proponowane pierwotnie przez EndUs2 oraz te zweryfikowane przez V2Xsp. Na Rys. 8.11 przedstawiono potencjalne wykorzystanie energii elektrycznej z baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK, zaś na Rys. 8.12 wykorzystanie ich mocy.



Rys. 8.10. Typowy dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs2 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi UH-RZOK



Rys. 8.11. Przykładowe wykorzystanie energii elektrycznej z baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs2



Rys. 8.12. Przykładowe wykorzystanie mocy z baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs2

Na podstawie Rys. 8.10 i Rys. 8.11 można stwierdzić, że oczekiwania EndUs2 były znacznie większe niż możliwości oferowane przez V2Xsp, w szczególności w pierwszej godzinie świadczenia usługi.

8.1.4. Wybrane przypadki wyboru uEV do świadczenia usługi V2X

W przeprowadzanych symulacjach proces wyboru uEV do świadczenia usługi UH-RZOK dla EndUs1 i EndUs2 składał się z dwóch części – pierwszej z wykorzystaniem mechanizmu *early-bid* oraz drugiej z użyciem mechanizmu ofertowania strefowego. Warto przypomnieć, że szczegółowy opis matematyczny ww. mechanizmów znajduje się w rozdziale 5 oraz załącznikach 2 i 4 (rozdział 13).

Mechanizm *early-bid*

Jak zostało wspomniane w podrozdziale 8.1. dla obu odbiorców końcowych utworzono jedno okno czasowe w ramach mechanizmu *early-bid*. Zatem w czasie symulacji w programie MS Excel wylosowano dwie liczby zakontraktowanych pojazdów do realizacji usługi UH-RZOK dla odbiorców EndUs1 i EndUs2. Ze zbioru 1120 pojazdów elektrycznych V2X, w przypadku realizacji usługi dla EndUs1 wylosowano 4 uEV (ID: 87, 65, 804, 1095), zaś dla EndUs2 16 uEV (ID: 609, 305, 987, 573, 992, 261, 614, 230, 24, 21, 104, 805, 1010, 1047, 969, 115). Do dalszej analizy konieczne jest także założenie metody podawania prognozowanej wartości dostępnej energii dla V2Xsp. Przyjęto, że w odniesieniu do wybranych pojazdów

połowa z nich korzysta z Metody „Planowania Przebiegów”, a druga z Metody „Przebiegów Historycznych”.

Proces selekcji ofert należy rozpocząć od tego, czy każda oferta uEV spełnia wymogi narzucone przez V2Xsp. W tym przypadku będzie to czas świadczenia usługi. Wymagany przez EndUs1 czas świadczenia usługi to 3 h, zaś dla EndUs2 to 4 h. W czasie analizy ofert dla EndUs1, jedna z nich nie spełniła warunku brzegowego, zatem została odrzucona. Natomiast dla EndUs2 wszystkie oferty zostały przyjęte. Finalnie w ramach mechanizmu *early-bid* przyjęto oferty od 3 uEV dla EndUs1 i 16 dla EndUs2. Oznacza to, że można utworzyć zbiór tych ofert na podstawie równań (13.12) i (13.13). Przykładowa oferta złożona przez V2Xus w odniesieniu do swojego uEV została przedstawiona za pomocą równania:

$$\mathbf{uEV}_{E-B,87}^{R1} = [87, 2, 6,58, 8, 194] \quad (8.14)$$

gdzie: $\mathbf{uEV}_{E-B,87}^{R1}$ – oferta składana przez uEV o ID = 87, wykonujący usługi V2X w trybie obowiązkowym, posiadający prognozowaną wartość dostępnej dla EndUs energii elektrycznej równą 6,58 kWh, mogący świadczyć usługi przez 8 h, z maksymalną mocą 194 kW.

Macierze reprezentujące potwierdzone oferty dla EndUs1 i EndUs2 przedstawiono w równaniach:

$$\mathbf{N}_{uEV}^{E-B_{EndUs1}} = \begin{bmatrix} 1095 & 2 & 13,21 & 6 & 81 \\ 87 & 2 & 6,58 & 8 & 194 \\ 65 & 2 & 6,15 & 3 & 56 \end{bmatrix} \quad (8.15)$$

$$\mathbf{N}_{uEV}^{E-B_{EndUs2}} = \begin{bmatrix} 614 & 1 & 33,63 & 4 & 200 \\ 969 & 2 & 19,11 & 7 & 55 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 609 & 2 & 3,72 & 9 & 32 \end{bmatrix} \quad (8.16)$$

Na podstawie analizy ofert złożonych w mechanizmie *early-bid* można stwierdzić, że dla EndUs1 skutecznie złożono 3 oferty na łączny wolumen energii elektrycznej równy $E_{E-B_1} = 25,94$ kWh, w tym wszystkie dla pojazdów w trybie obowiązkowym. Dla EndUs2 złożono 16 ofert na łączny wolumen energii elektrycznej $E_{E-B_2} = 195,45$ kWh, w tym 99,18 kWh przez V2Xus w odniesieniu do uEV w trybie opcjonalnym (8 pojazdów). Oznacza to, że V2Xsp może umożliwić składanie korekt, o ile istnieją warunki opisane w podrozdziale 13.2.4. W przypadku niniejszej analizy jeden V2Xus w odniesieniu do uEV o ID = 805 próbował złożyć korektę. Jednakże finalnie nie było możliwości złożenia korekt ofert dla $\mathbf{uEV}_{op}$, ze względu na zbyt mały sumaryczny wolumen energii dostępny od wszystkich $\mathbf{uEV}_{op}$.

Mechanizm ofertowania strefowego

Drugi mechanizm, który został poddany walidacji to mechanizm ofertowania strefowego. Jak wspomniano w podrozdziale 8.1.2 wykonano 6 wariantów symulacyjnych, w ramach których poszukiwano uEV do realizacji usługi UH-RZOK uwzględniając różne umiejscowienie pojazdów elektrycznych w Obszarze Działania V2Xsp. W niniejszej części tekstu opisane zostały najważniejsze obserwacje z procesu kontraktowania uEV dla EndUs1 i EndUs2 z wykorzystaniem mechanizmu ofertowania strefowego.

- **EndUs1**

Analizę mechanizmu ofertowania strefowego dla EndUs1 należy rozpocząć od wyznaczenia wymaganego wolumenu energii elektrycznej do zakontraktowania oraz liczby pojazdów, które powinny realizować usługę oraz liczby tych, do których należy wysłać prośby i żądania realizacji usługi. Na podstawie równań (5.10) – (5.11) oraz informacji pozyskanych z kontraktowania uEV w mechanizmie *early-bid* można stwierdzić, że wolumen energii elektrycznej potrzebny do zakontraktowania w ramach mechanizmu ofertowania strefowego wynosi:

$$E''_{d_1} = E'_{d_1} - E_{E-B_1} = 150 \text{ kWh} - 25,94 \text{ kWh} = 124,06 \text{ kWh} \quad (8.17)$$

Zatem liczba pojazdów wymaganych do zakontraktowania (równanie (5.10)):

$$N_{1uEV}^{REQ''} = \frac{E''_{d_1}}{E_{1avg,t1}^{uEV_G}} = \frac{124,06 \text{ kWh}}{12,99 \text{ kWh}} = 9,55 \approx 10 \quad (8.18)$$

przy czym: $E_{1avg,t1}^{uEV_G}$ jest to wartość średnia wolumenu energii elektrycznej dostępnego w bateriach pojazdów elektrycznych V2X w chwili uruchomienia algorytmu strefowego do realizacji usługi dla EndUs1 tzn. uwzględniająca współczynniki rezerwy oraz pożądaną przez V2Xus poziom naładowania baterii na koniec realizacji usługi.

Mając obliczoną liczbę pojazdów wymaganych do realizacji usługi należy sprawdzić następnie liczbę pojazdów, która musi zostać przywołana w ramach ofertowania strefowego $N_{1uEV}^{EST''}$, tj. do której zostaną wysłane prośby i żądania realizacji usługi V2X. Uwzględniając obliczone prawdopodobieństwa pozytywnej reakcji V2Xus na realizację usługi oraz dostępności pojazdów elektrycznych (Tab. 7.2) w godzinie rozpoczęcia świadczenia usługi, tj. 10:00, można obliczyć ww. liczbę pojazdów $N_{1uEV}^{EST''}$:

$$P_{uEV}(AE)_{9-12} = P_{uEV}(EC)_{9-12} \cdot P_{uEV}(UsEV)_{9-12} = 0,365 \cdot 0,573 = 0,209 \quad (8.19)$$

$$N_{1uEV}^{EST''} = \frac{N_{1uEV}^{REQ''}}{P_{uEV}(AE)_{9-12}} = \frac{10}{0,209} = 47,84 \approx 48 \quad (8.20)$$

Od tego kroku należy wykonać analizy dla każdego wariantu, ponieważ liczba uEV w poszczególnych kwadratach jest zmienna. W niniejszym podrozdziale szczegółowo zostanie opisany wyłącznie Wariant 1, gdyż kolejne symulacje były przeprowadzane w sposób analogiczny, uwzględniając inne rozkłady pojazdów zaprezentowane na Rys. 8.4 - Rys. 8.7. Porównanie pozostałych wyników zostało przedstawione w podrozdziale 8.1.5.

Na Rys. 8.3a przedstawiono rozkład uEV w obszarze działania V2Xsp. Na jego podstawie oraz za pomocą równania (13.52) należy wyznaczyć liczbę stref, które trzeba rozpatrzyć w procesie kontraktowania uEV. W pierwszej strefie znajduje się 29 pojazdów, które posiadają łączny potencjał 485 kWh. Oznacza to, że o ile wolumen dostępnej energii jest wystarczający, o tyle liczba pojazdów aby zrealizować założenia dot. prawdopodobieństwa realizacji jest zbyt mała. Zatem należy dodać jeszcze zbiór pojazdów z drugiej strefy (223 pojazdy, 3306 kWh energii). Wówczas uzyskujemy 252 pojazdy, o sumarycznym wolumenie energii elektrycznej w bateriach równym 3792 kWh. Zatem warunek opisany równaniem (13.52) jest spełniony. Następnie utworzony został ranking pojazdów, składający się z wektorów opisanych równaniem (13.56), zgodnie z równaniami (13.57) – (13.59). Przykładowe obliczenia dla jednego z elementu wektora (13.56) (ID = 453) przedstawiono za pomocą równań (8.21) – (8.24). W kolejnych równaniach parametry opisujące Wariant 1 dla EndUs1 zostały dodatkowo oznaczone przez indeks dolny 11, np. N_{11uEV}^{strR} , E_{11uEV3}^{str} .

$$uEV_{453}^{R_{11}} = [453, 2, 0,11 \text{ km}, 19,60 \text{ kWh}, 6 \text{ h}, 37 \text{ kW}] \quad (8.21)$$

$$M_{453R} = 2 \rightarrow \text{tryb obowiązkowy} \quad (8.22)$$

$$DIST_{453}^{str} = \sqrt{(1,01 - 1,12)^2 + (4,90 - 4,87)^2} = 0,11 \text{ km} \quad (8.23)$$

$$C_{OF,453} = 57 \text{ kWh} \cdot \left(\left(0,75 - \frac{0,25 \cdot 0,11}{57} \right) - (0,35 \cdot (1 + 0,05)) \right) \cdot 0,9 = 19,60 \text{ kWh} \quad (8.24)$$

Reprezentacja rankingu uEV (zapis uproszczony) została przedstawiona równaniem (8.25). Należy podkreślić, że macierz rankingowa w pełnym zapisie posiada 252 wierszy reprezentujących poszczególne pojazdy w strefie 1 i 2.

$$N_{11uEV}^{strR} = \begin{bmatrix} 453 & 2 & 0,11 & 19,60 & 6 & 37 \\ 418 & 2 & 0,18 & 17,13 & 5 & 68 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 510 & 1 & 2,50 & 2,24 & 6 & 85 \end{bmatrix} \quad (8.25)$$

Następnie V2Xsp wysyła zapytania i wezwania do realizacji usługi V2X do $N_{1uEV}^{EST''}$ pojazdów dysponowanych przez V2Xus. Niemniej jednak należy sprawdzić, ile z pojazdów znajdujących się w zbiorze N_{11uEV}^{strR} ma świadczyć usługi w trybie obowiązkowym, a ile w opcjonalnym. W analizowanej sytuacji podział ten jest następujący:

- Liczba uEV w trybie obowiązkowym: **194**;
- Liczba uEV w trybie opcjonalnym: **58**.

Wiedząc, że liczba pojazdów wymaganych do zakontraktowania jest równa 10 (równanie (8.18)), V2Xsp wysyła 10 wezwań do realizacji usługi V2X dla uEV, którzy zajmują pierwsze miejsca w rankingu, posortowanym według kryteriów opisanych w podrozdziale 5.3. oraz załączniku 4. Ze względu na fakt, że są to pojazdy w trybie uEV_{man} nie mogą one składać żadnych korekt ofert, a zatem proces wyboru pojazdów uznaje się za zakończony. Zatem liczba wybranych pojazdów N_{11uEV3}^{str} jest równa 10. W równaniu (8.26) przedstawiono pełną macierz 10 rekordów opisujących pojazdy wybrane do realizacji usługi UH-RZOK – N_{11uEV3}^{strR} .

$$N_{11uEV3}^{strR} = \begin{bmatrix} ID_n & M_{nR} & DIST_n^{str} & C_{OF,n} & t_{s,n}^{uEV} & P_{uEV,n}^{MAX} \\ 453 & 2 & 0,114 & 19,60 & 6 & 37 \\ 418 & 2 & 0,189 & 17,13 & 5 & 68 \\ 447 & 2 & 0,201 & 19,83 & 3 & 173 \\ 446 & 2 & 0,244 & 27,51 & 8 & 68 \\ 442 & 2 & 0,271 & 4,78 & 3 & 200 \\ 437 & 2 & 0,302 & 30,11 & 8 & 112 \\ 444 & 2 & 0,311 & 10,52 & 9 & 74 \\ 372 & 2 & 0,312 & 23,66 & 8 & 166 \\ 354 & 2 & 0,328 & 11,77 & 9 & 48 \\ 450 & 2 & 0,329 & 20,96 & 8 & 59 \end{bmatrix} \quad (8.26)$$

Wolumen energii elektrycznej oferowany przez wybranych uEV jest równy:

$$E_{11uEV3}^{str} = \sum_{n=1}^{N_{11uEV3}^{str}} C_{OF,n} = 185,86 \text{ kWh} \quad (8.27)$$

Wolumen obliczony w równaniu (8.27) jest znacznie większy niż wymagany przez EndUs1 (równanie (8.17)). Należy zatem przejść do mechanizmów korekty ofert. Opisywany przypadek polega na realizacji usługi harmonogramowanej UH – RZOK, dla której uEV_{op} mogą składać korekty ofert (np. wycofanie się z realizacji usługi). Jednakże w ramach tej usługi nie zakontraktowano żadnego uEV_{op} , stąd też zbiór pojazdów składa się wyłącznie z pojazdów w trybie obowiązkowym $N_{11uEV3man}^{strR}$. Zatem:

$$N_{11uEV3man}^{strR} \equiv N_{11uEV3K}^{strR} \quad (8.28)$$

$$N_{11uEV3K}^{strR''} = |N_{11uEV3K}^{strR}| \quad (8.29)$$

Co oznacza, że wolumen energii zakontraktowany w mechanizmie ofertowania strefowego w Wariancie 1 dla EndUs1, po uwzględnieniu etapu składania korekt ofert przez V2Xus jest równy:

$$E_{11uEVKus}^{str} = E_{11uEV3}^{str} = 185,86 \text{ kWh} \quad (8.30)$$

Następnie V2Xsp sprawdza, czy istnieje konieczność wykonania korekt składanych przez V2Xus, tak aby dopasować wolumen energii elektrycznej obliczony w równaniu (8.30) do „limitu kontraktowego”. Na podstawie równania (13.76):

$$\begin{aligned} E_{11uEVKus}^{str} &> 1,1 E_{d1}'' \\ 185,86 &> 1,1 \cdot 124,06 \\ 185,86 &> 136,46 \rightarrow \text{PRAWDA} \end{aligned} \quad (8.31)$$

Na podstawie zależności (8.31) można stwierdzić, że istnieje potrzeba uruchomienia wewnętrznego procesu V2Xsp dot. korekty ofert dla uprzednio wybranych V2Xus i ich pojazdów (uEV). Na podstawie równania (13.77) wyznacza się różnicę pomiędzy zakontraktowaną, dostępną pojemnością energią w uEV a „limitem kontraktowym”:

$$\Delta K_{V2Xsp11} = E_{11uEVKus}^{str} - 1,1 E_d'' = 185,86 - 136,46 = 49,4 \text{ kWh} \quad (8.32)$$

Następnym krokiem jest wyznaczenie jaki procent zakontraktowanej energii elektrycznej stanowi obliczona różnica $\Delta K_{V2Xsp11}$. Zatem:

$$\Delta K_{V2Xsp11}^{\%} = \frac{\Delta K_{V2Xsp11}}{E_{11uEVKus}^{str}} = \frac{49,4 \text{ kWh}}{185,86 \text{ kWh}} = 0,2658 = 26,58\% \quad (8.33)$$

Następnie oferowane przez uEV pojemności baterii są pomniejszane o obliczony w równaniu (8.33) procent pierwotnie zakontraktowanego wolumenu. Przykładowe obliczenie dla uEV o ID = 453 przedstawiono za pomocą równania:

$$C_{OF,453}^{K_{11}} = 19,60 \cdot (1 - 0,2658) = 14,39 \text{ kWh} \quad (8.34)$$

W Tab. 8.1 przedstawiono zestawienie zmniejszonych oferowanych pojemności baterii przez uEV w czasie realizacji usługi UH-RZOK dla EndUs1 w Wariancie 1.

Tab. 8.1. Korekty oferowanej pojemności baterii uEV dokonanej przez V2Xsp dla EndUs1 w Wariancie 1

Numer uEV	Oferowana pojemność $C_{OF,n}$ [kWh]	Oferowana pojemność po korekcie V2Xsp $C_{OF,n}^{K_{11}}$ [kWh]	Różnica [kWh]
453	19,60	14,39	5,21
418	17,13	12,58	4,55
447	19,83	14,56	5,27
446	27,51	20,20	7,31
442	4,78	3,51	1,27
437	30,11	22,10	8,00
444	10,52	7,73	2,80
372	23,66	17,37	6,29
354	11,77	8,64	3,13
450	20,96	15,39	5,57
Suma	185,86	136,46	49,4

Zatem zgodnie z równaniem (13.80) finalnie zakontraktowany wolumen energii elektrycznej w ramach mechanizmu ofertowania strefowego dla EndUs1 w Wariancie 1 E_{11uEVC}^{str} jest równy:

$$E_{11uEVC}^{str} = \sum_{n=1}^{N_{11uEV3K}^{strR''}} C_{OF,n}^{K_{11}} = 136,46 \text{ kWh} \quad (8.35)$$

Zakontraktowany wolumen energii elektrycznej mieści się w dopuszczalnym zakresie, ponieważ na podstawie równania (13.82):

$$E_d'' \leq E_{uEVC}^{str} \leq 1,1 E_d'' \quad 124,06 \leq 136,46 \leq 136,46 \rightarrow \text{PRAWDA} \quad (8.36)$$

Przekontraktowanie wolumenu energii, określone równaniem (13.83), jest równe:

$$E_{11N-B} = E_{11uEVC}^{str} - E_{d1}'' = 136,46 \text{ kWh} - 124,06 \text{ kWh} = 12,4 \text{ kWh} \quad (8.37)$$

Tak jak wspomniano w niniejszej sekcji tekstu, szczegółowo został przeanalizowany wyłącznie *Wariant 1*. Pozostałe warianty symulacyjne wykonuje się analogicznie, przy czym dla *Wariantu 1a*, w którym jest dominujący odsetek uEV_{op} nie uwzględnia się również procesu składania korekt ofert przez V2Xus.

- **EndUs2**

Analiza mechanizmu ofertowania strefowego dla EndUs2 przebiega analogicznie jak dla EndUs1. W celu uproszczenia rozważań przedstawiono wyłącznie obliczenia dla parametrów, które determinują realizację usługi UH-RZOK, tj. wymagany wolumen energii elektrycznej, wymagana liczba pojazdów, prawdopodobieństwo realizacji usługi V2X od strony V2Xus oraz liczba pojazdów, do których zostaną wysłane wezwania i prośby o realizację usługi. Obliczenia dla ww. parametrów zostały zaprezentowane w równaniach:

$$E''_{d_2} = E'_{d_2} - E_{E-B_2} = 628,9 \text{ kWh} - 195,45 \text{ kWh} = 433,43 \text{ kWh} \quad (8.38)$$

$$N_{2uEV}^{REQ''} = \frac{E''_{d_2}}{E_{2avg,t1}^{uEV_G}} = \frac{433,43 \text{ kWh}}{12,86 \text{ kWh}} = 33,7 \approx 34 \quad (8.39)$$

$$P_{uEV}(A)_{12-15} = P_{uEV}(EC)_{12-15} \cdot P_{uEV}(UsEV)_{12-15} = 0,381 \cdot 0,560 = 0,213 \quad (8.40)$$

$$N_{2uEV}^{EST''} = \frac{N_{2uEV}^{REQ''}}{P_{uEV}(A)_{12-15}} = \frac{34}{0,213} = 159,62 \approx 160 \quad (8.41)$$

Analiza poszczególnych wariantów symulacyjnych przebiega analogicznie jak dla EndUs1, tzn. należy wykonać obliczenia dla parametrów, opisanych równaniami (8.21) – (8.37).

8.1.5. Podsumowanie wyników symulacji

Ze względu na duży stopień skomplikowania symulacji i ich wielowariantowy charakter postanowiono zestawić najważniejsze dane w formie tabelarycznej. W Tab. 8.2 i Tab. 8.3 przedstawiono wyniki symulacji procesu kontraktowania dla EndUs1, zaś w Tab. 8.4 – Tab. 8.5 wyniki symulacji dla EndUs2.

Tab. 8.2. Wyniki symulacji procesu kontraktowania uEV dla realizowanej usługi UH-RZOK dla EndUs1

Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie <i>early-bid</i>	3					
Zakontraktowany wolumen energii w mechanizmie <i>early-bid</i> [kWh]	25,94					
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie ofertowania strefowego	10					
Wymagana liczba uEV wyliczona w momencie wystawienia produktu	14					
Zakontraktowany wolumen energii w mechanizmie ofertowania strefowego [kWh]	136,46					
Sumaryczny wolumen zakontraktowany przez V2Xsp [kWh]	162,41					
Zgłoszone zapotrzebowanie na energię elektryczną E_d' [kWh]	150,00					
Różnica względem E_d' [%]	8,27%					
Liczba iteracji	1	1	1	1	2	1
Średni dostępny czas trwania usługi [h]	6,7	6,8	6	5,6	6,1	5,5
Średnia moc rozładowania [kW]	100,5	128,8	136,6	106	119,2	90,9
Liczba pojazdów w trybie obowiązkowym	13	7	13	13	13	14
Liczba pojazdów w trybie opcjonalnym	0	6	0	0	0	0

Tab. 8.3. Wyniki symulacji mechanizmu dokonywania korekt przez V2Xsp w procesie kontraktowania uEV dla usługi UH-RZOK realizowanej dla EndUs1

Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Wolumen energii elektrycznej oferowany przez uEV w mechanizmie ofertowania strefowego przed korektą V2Xsp [kWh]	185,86	175,95	147,35	181,25	311,64	300,80
Limit kontraktowy w mechanizmie ofertowania strefowego (110% E_d') [kWh]	136,46					
Sumaryczna korekta wolumenu energii dokonana przez V2Xsp [kWh]	49,40	39,49	10,89	44,79	175,18	164,34
Procent zmniejszenia oferty [%]	26,58%	22,44%	7,39%	24,71%	56,21%	54,63%

Tab. 8.4. Wyniki symulacji procesu kontraktowania uEV dla realizowanej usługi UH-RZOK dla EndUs2

Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie <i>early-bid</i>	16					
Zakontraktowany wolumen energii w mechanizmie <i>early-bid</i> [kWh]	195,45					
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie ofertowania strefowego	34					
Wymagana liczba uEV wyliczona w momencie wystawienia produktu	50					
Zakontraktowany wolumen energii w mechanizmie ofertowania strefowego [kWh]	453,10	476,77				
Sumaryczny wolumen zakontraktowany przez V2Xsp [kWh]	648,56	672,23				
Zgłoszone zapotrzebowanie na energię elektryczną E_d' [kWh]	628,90					
Różnica względem E_d' [%]	3,13%	6,89%				
Liczba iteracji	1	2	1	1	2	1
Średni dostępny czas trwania usługi [h]	6,47	6,50	6,29	6,24	7,03	6,65
Średnia moc rozładowania [kW]	111,65	96,62	113,35	115,59	105,32	96,59
Liczba pojazdów w trybie obowiązkowym	42	11	42	42	42	42
Liczba pojazdów w trybie opcjonalnym	8	39	8	8	8	8

Tab. 8.5. Wyniki symulacji mechanizmu dokonywania korekt przez V2Xsp w procesie kontraktowania uEV dla usługi UH-RZOK realizowanej dla EndUs2

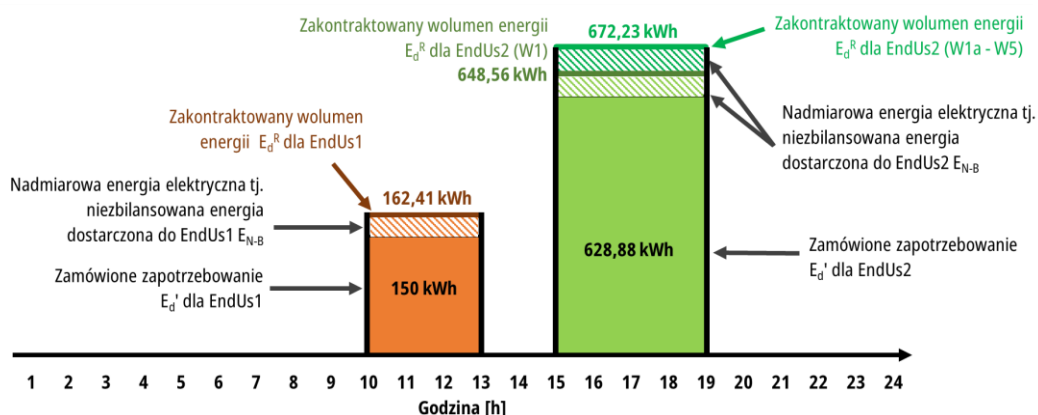
Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Wolumen energii elektrycznej oferowany przez uEV w mechanizmie ofertowania strefowego przed korektą V2Xsp [kWh]	453,10	676,62	739,78	544,33	802,56	531,80
Limit kontraktowy w mechanizmie ofertowania strefowego (110% E _d) [kWh]	476,77					
Sumaryczna korekta wolumenu energii dokonana przez V2Xsp [kWh]	0,00	199,85	263,01	67,55	325,78	55,02
Procent zmniejszenia oferty [%]	0,00%	29,54%	35,55%	12,41%	40,59%	10,35%

Na podstawie Tab. 8.2 – Tab. 8.5 można stwierdzić, że zaproponowane algorytmy kontraktowania pojazdów uEV w ramach realizacji usług V2X są poprawne. Każdy z wariantów symulacyjnych został zrealizowany i zakończył się skutecznym zakontraktowaniem wolumenu energii elektrycznej pozwalającego na wykonanie usługi V2X. W każdym z wariantów dla każdego usługobiorcy średni czas realizacji usługi deklarowany przez V2Xus jest znacznie większy niż wymagany przez V2Xsp. Analizując szczegółowo wyniki symulacji można stwierdzić, że zawsze istnieje możliwość zapewnienia odpowiedniego poziomu zapotrzebowania na moc, tj. suma potencjału uEV jest większa niż zakładana przez EndUs. Wynika to z faktu, że średnia moc rozładowania uEV jest większa niż średnia moc punktów ładowania V2X. Należy podkreślić, że dla EndUs1 we wszystkich wariantach V2Xsp musiał wykonać korektę ofert, tak aby został zachowany limit kontraktowy. W przypadku analizy wariantów symulacyjnych dla EndUs2, 5 spośród 6 wariantów również wymagało zastosowania ww. mechanizmu. Wyjątkiem okazał się Wariant 1 dla EndUs2, w którym to selekcja uEV pozwoliła na zakontraktowanie wolumenu energii w granicy limitu kontraktowego. Warto także podkreślić, że zarówno dla EndUs1, jak i EndUs2 w *Wariancie 4* (pojazdy rozmieszczone na krańcach obszaru) potrzebna była druga iteracja działania algorytmu ofertowania strefowego (podobnie jak w przypadku W1a dla EndUs2). Problemem okazała się zbyt mała oferowana pojemność w zakontraktowanych pojazdach uEV. W Tab. 8.6 przedstawiono wolumeny energii elektrycznej w pierwszej i drugiej iteracji algorytmu ofertowania strefowego przy realizacji UH-RZOK dla EndUs1 i EndUs2 dla Wariantu 4.

Tab. 8.6. Zmiany wartości wolumenów energii elektrycznej w toku działania algorytmu ofertowania strefowego w *Wariancie 4* dla EndUs1 i EndUs2

Miejsce świadczenia usługi	Wolumen energii elektrycznej wymagany do zakontraktowania w ofertowaniu strefowym [kWh]	Zakontraktowany wolumen energii elektrycznej w pierwszej iteracji algorytmu dla <i>Wariantu 4</i> [kWh]	Zakontraktowany wolumen energii elektrycznej w drugiej iteracji algorytmu dla <i>Wariantu 4</i> przed korektą V2Xsp [kWh]
EndUs1	124,06	112,19	311,64
EndUs2	433,43	403,92	802,56

W *Wariancie 4*, po zmianie kryteriów poszukiwania pojazdów, tj. gdy najważniejszym była dostępna pojemność baterii a nie odległość od punktu świadczenia usługi, algorytm zadziałał prawidłowo, lecz konieczność redukcji oferty przez V2Xsp była największa. Na Rys. 8.13 przedstawiono na osi czasu bloki świadczenia usługi V2X UH-RZOK wraz z odpowiednimi wartościami zakontraktowanych wolumenów energii elektrycznej z uEV.



Rys. 8.13. Realizacja usługi V2X UH-RZOK dla EndUs1 i EndUs2

8.2. Analiza ekonomiczna realizacji usług V2X dla odbiorcy końcowego

8.2.1. Cel i założenia

W niniejszym podrozdziale przedstawiono sprawdzenie poprawności modelu ekonomicznego opisanego w rozdziale 6 rozprawy, poprzez wykonanie symulacji realizacji usług harmonogramowanych UH-RZOK i interwencyjnych UI-RZOK w Obszarze Działania V2Xsp. Należy zatem wykorzystać parametry ww. usług, które zostały wyznaczone w rozdziale 7. Najważniejszym celem badań jest sprawdzenie, czy punktem odniesienia w ocenie opłacalności przedsięwzięcia, polegającego na wprowadzeniu Programu V2X, mogą być wskaźniki wartości energii niedostarczonej VoLL i VoLA.

Jednakże zbadanie opłacalności takiego przedsięwzięcia wymaga ustalenia pewnego horyzontu czasowego. W podrozdziale 8.1, podczas walidacji algorytmów poszukiwania uEV brano pod uwagę wyłącznie proces zakontraktowania pojazdów na potrzeby odbiorcy, który wyznaczył swój poziom zapotrzebowania na moc i energię elektryczną. W przypadku analizy opłacalności Programu V2X z punktu widzenia V2Xsp należy wziąć pod uwagę nie tylko realizację usługi V2X dla wybranego typu odbiorców, lecz należy spojrzeć ze znacznie szerszej perspektywy. Wobec tego zdecydowano się na wzięcie pod uwagę reprezentantów każdej z grup odbiorców, opisanych w Tab. 7.1 w rocznym horyzoncie czasowym z przypisanym zbiorem uEV świadczących usługi. Pojawiają się w tym momencie trzy aspekty, które należy zbadać.

Pierwszy z nich dotyczy liczby odbiorców przypisanych do danej grupy. W związku z tym zaproponowano rozwiązanie polegające na wyznaczeniu ośmiu poziomów łącznej liczby odbiorców w analizowanym Obszarze Działania V2Xsp, a następnie dokonaniu rozkładu ich na poszczególne grupy odbiorców. Poziomy te są następujące:

- 1) Poziom I – 100;
- 2) Poziom II – 500;
- 3) Poziom III – 1000;
- 4) Poziom IV – 5000;
- 5) Poziom V – 10 000;
- 6) Poziom VI – 50 000;
- 7) Poziom VII – 100 000;
- 8) Poziom VIII – 500 000.

Następnie dla każdego z poziomów dokonuje się rozkładu na grupy odbiorców końcowych V2X, zgodnie z Tab. 8.7.

Tab. 8.7. Rozkład odbiorców końcowych według grup zdefiniowanych w Programie V2X

Grupa odbiorców	Krajowy rozkład odbiorców wg Agencji Rynku Energii [1]	Miejski OSD	Własny 1	Własny 2
Grupa I	0,869689	0,932256	0,50	0,20
Grupa II	0,000031	0,000007	0,01	0,05
Grupa III	0,002315	0,001881	0,27	0,25
Grupa IV	0,127965	0,065856	0,22	0,50

W Tab. 8.7 przedstawiono cztery rozkłady występowania danej grupy odbiorców na obszarze działania V2Xsp, które zostały zaimplementowane w symulacyjnym arkuszu programu MS Excel. Należy podkreślić, że podział na grupy zdefiniowane uprzednio w Tab. 7.1 jest niewykonalny na podstawie powszechnie dostępnych danych. Stąd też postanowiono dokonać pewnego uproszczenia, polegającego na przypisaniu odbiorców zasilanych z odpowiednich poziomów napięcia do grup odbiorców końcowych V2X. Zatem:

- Grupa I → **odbiorcy bytowo-komunalni**, przy czym nie rozróżnia się w obszarach miejskich tych zamieszkujących budynki wielorodzinne i tworzących gospodarstwa jednorodzinne. Oznacza to, że w przypadku bloków mieszkalnych należy zsumować potencjał energetyczny odbiorców zamieszkujących taki budynek;
- Grupa II → **odbiorcy przyłączeni do sieci WN**. Grupa II jest zarezerwowana dla szeroko rozumianych zakładów przemysłowych, jednakże ze względu na konieczność

zdefiniowania konkretnego obszaru działania postanowiono o przypisaniu do tej grupy wyłącznie największych odbiorców przemysłowych;

- Grupa III → **odbiorcy przyłączeni do sieci SN**. Grupa ta powinna definiować obiekty biurowe i centra handlowe. Wydaje się, że pierwszymi obszarami podlegającymi implementacji Programu V2X mogą być duże miasta. Stąd też postanowiono zastosować tego rodzaju uproszczenie;
- Grupa IV → **odbiorcy komercyjni przyłączeni do sieci nN**. Do grupy IV zalicza się odbiorców końcowych V2X, których nie można przypisać do grup I-III. Zatem do tej grupy mogą należeć takie podmioty jak: szkoły, punkty usługowe, stacje benzynowe, czy też warsztaty. Większość z tych obiektów przyłączona jest do sieci niskiego napięcia, stąd też postanowiono o dokonaniu takiego uproszczenia.

Po dokonaniu uproszczeń możliwe było znalezienie odpowiednich danych. Pierwszy z rozkładów został zaczerpnięty z danych umieszczonych w Statystyce Elektroenergetyki Polski 2020 [1]. Drugi z nich bazuje na danych typowego miejskiego OSD, zaś trzeci i czwarty są propozycją własną autora. Ze względu na stopień skomplikowania i mnogość obliczeń, zdecydowano się w dalszych symulacjach wykorzystać wyłącznie rozkład drugi, tj. przypisany do Miejskiego OSD. Wynika to z faktu, że prawdopodobnie obszary miejskie będą pierwszymi, w których może zostać zaimplementowany Program V2X. Należy podkreślić, że arkusz symulacyjny dla analiz ekonomicznych pozwala wprowadzić własne rozkłady grup odbiorców końcowych V2X, co byłoby przydatne dla przyszłego V2Xsp. W Tab. 8.8 przedstawiono szczegółowe wyniki przypisania do danej grupy odbiorców końcowych V2X odpowiednich wartości liczbowych w zależności od analizowanych poziomów liczebności zabezpieczanych odbiorców z wykorzystaniem rozkładu pt. „Miejski OSD”. Warto podkreślić, że ze względu na konieczność zaokrąglenia wyników do liczb całkowitych, dla każdego z poziomów należy przyjąć maksymalną tolerancję równą „wartość poziomu” + 4 odbiorców.

Tab. 8.8. Liczba EndUs w grupach odbiorców końcowych V2X dla poszczególnych poziomów liczebności

Poziom liczebności	Liczba EndUs w Grupie I	Liczba EndUs w Grupie II	Liczba EndUs w Grupie III	Liczba EndUs w Grupie IV	Łączna liczba EndUs
Poziom I – 100	94	1	1	7	103
Poziom II – 500	467	1	1	33	502
Poziom III – 1 000	933	1	2	66	1 002
Poziom IV – 5 000	4 662	1	10	330	5 003
Poziom V – 10 000	9 323	1	19	659	10 002
Poziom VI – 50 000	46 613	1	95	3 293	50 002
Poziom VII – 100 000	93 226	1	189	6 586	100 002
Poziom VIII – 500 000	466 128	4	941	32 929	500 002

Drugi z aspektów, który należało zbadać dotyczy liczby uEV w danym obszarze działania V2Xsp. Ze względu na konieczność wykonania wielowariantowych analiz, tj. zbadania opłacalności w funkcji liczby uczestników Programu V2X (pobieranych wynagrodzeń) zdecydowano się na uzależnienie liczby uEV od procentu zarejestrowanych pojazdów elektrycznych w danym obszarze, uwzględniając powierzchnię tego obszaru oraz preferencje ankietowanych (patrz rozdział 3). Szczegółowo ten proces został przedstawiony w podrozdziale 8.2.2.

Trzeci z aspektów dotyczy horyzontu czasowego, dla którego będzie analizowana opłacalność przedsięwzięcia. Ten parametr jest o tyle istotny, że przekłada się na wolumen energii elektryczny zabezpieczany przez uczestników Programu V2X. Założono okres 12 miesięcy, ze względu na konieczność uzależnienia wolumenu energii elektrycznej od wskaźnika niezawodności systemu elektroenergetycznego LOLE (ang. Loss of Load Expectation), który reprezentuje oczekiwany czas niepokrycia zapotrzebowania [107]. Szczegółowo metodyka wyznaczenia wolumenów energii elektrycznych koniecznych do zabezpieczenia za pomocą Programu V2X została opisana w podrozdziale 8.2.3.

W zakresie pozostałych założeń należy przyjąć, że w punktach ładowania V2X zarządzanych przez V2Xsp, uczestnicy Programu V2X w odniesieniu do swoich uEV nie będą wykonywać ładowań, co upraszcza model rozliczeniowy usługodawcy. Wartościami referencyjnymi stawek za rozładowanie pojazdów płaconych przez odbiorcę końcowego V2X są te określone w rozdziale 7 niniejszej rozprawy. Ostatnim założeniem jest zdefiniowanie liczby usług V2X, które zostaną poddane symulacji. Zdecydowano się przeanalizować następujące dwa warianty:

- 1) *Wariant UH* – 100% zabezpieczanego wolumenu energii elektrycznej zostanie zakontraktowane w ramach usług harmonogramowanych;
- 2) *Wariant UI* – 100% zabezpieczanego wolumenu energii elektrycznej zostanie zakontraktowane w ramach usług interwencyjnych.

Ww. podział jest niezwykle istotny, ponieważ rodzaj usługi determinuje zarówno stawkę $k_{da,s}^{REF}$, jak i wysokość wynagrodzenia dla V2Xus.

8.2.2. Wyznaczanie zbioru pojazdów elektrycznych V2X

W odróżnieniu od symulacji dotyczących walidacji algorytmów poszukiwania uEV, w analizach ekonomicznych wprowadzenia Programu V2X nie ma konieczności odwoływania się do poszczególnych kwadratów siatki obszaru działania V2Xsp. Istotne jest, aby uwzględnić

całkowity potencjał pojazdów elektrycznych w tym obszarze, w pewnym horyzoncie czasowym. Mając na uwadze modele rozliczania usługobiorcy i usługodawcy, przedstawione w rozdziale 6, można zauważyć silne zależności pomiędzy liczebnością zbioru uEV a kwotami wynagrodzenia dla V2Xus oraz opłatami ponoszonymi przez EndUs. Jednakże, rozwój elektromobilności charakteryzuje się sporą niepewnością, a zatem zbiór Uczestników Programu V2X. Zatem, w celu dokonania analizy ekonomicznej przyjęto wielowariantowe podejście do obliczenia liczby uEV w Obszarze Działania V2Xsp, wykorzystujące skalowanie względem jego powierzchni.

Pierwszym krokiem było wyznaczenie początkowych danych, dla których nastąpi skalowanie. Wybrano jako miasto bazowe M. St. Warszawa. W celu znalezienia aktualnej liczby pojazdów zarejestrowanych w Warszawie posłużono się danymi zawartymi w odpowiedzi Sekretarza m. st. Warszawy na interpelację radnego Marka Szolca z dnia 28.01.2022 r. [61]. Według tego dokumentu w Warszawie na dzień 31.12.2021 r. było zarejestrowanych 2 009 458 pojazdów, w tym 1 526 850 samochodów osobowych, oraz 4094 samochodów z napędem elektrycznym [61]. Zatem EV stanowią 0,2% wszystkich pojazdów osobowych zarejestrowanych w Warszawie. Niemniej jednak w Programie V2X należy uwzględniać wszystkie rodzaje pojazdów, w szczególności ciężarowe, np. furgony i „samochody ciężarowo-osobowe”²⁶. Należy także podkreślić, że liczba zarejestrowanych pojazdów nie jest tożsama z liczbą pojazdów znajdujących się w danym obszarze. Co więcej z ww. interpelacji można dowiedzieć się, że nie prowadzi się danych dot. rejestracji pojazdów na osoby prywatne. Oznacza to, że w łącznej liczbie pojazdów uwzględnia się także pojazdy flotowe. Mając na uwadze także powierzchnię M. St. Warszawy (517,2 km²) można obliczyć liczbę pojazdów zarejestrowanych na 1 km², tj. 3855 pojazdów/km². Następnie wylicza się liczbę pojazdów elektrycznych przypadającą na 1 km² obszaru Warszawy, biorąc pod uwagę następujące poziomy elektryfikacji transportu:

- 1) Poziom A – 0,1%
- 2) Poziom B – 1%
- 3) Poziom C – 5%
- 4) Poziom D – 20%
- 5) Poziom E – 50%
- 6) Poziom F – 80%.

²⁶ Nazewnictwo przyjęte zgodnie z funkcjonującym w rocznikach statycznych publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny.

Następnie dokonuje się skalowania otrzymanych liczb pojazdów elektrycznych przypadających na 1 km² do obszaru o powierzchni 300 km². Wybór tej wartości nie był przypadkowy, gdyż powierzchnia pozostałych największych miast w Polsce (Kraków, Szczecin, Łódź, Wrocław, Zielona Góra, Gdańsk, Poznań) waha się w przedziale 261 km² – 327 km², stąd też celem było wskazanie, że w każdym z takich obszarów istnieje możliwość implementacji Programu V2X. Z otrzymanej liczby pojazdów elektrycznych przypadających na 300 km² obszaru działania V2Xsp następnie oblicza się prognozowaną liczbę uczestników, którzy mogliby świadczyć usługi V2X dla odbiorcy końcowego (UH-RZOK i UI-RZOK)²⁷. Do tego celu wykorzystuje się przeprowadzone badanie ankietowe, opisane w rozdziale 3, tj. odpowiedzi na pytanie 13 (Tab. 3.8). Na podstawie Tab. 3.8 ustala się, że współczynnik korekcyjny wynosi 0,4 i jest on powiązany z odpowiedziami „Tak” i „Nie wiem” na ww. pytanie. Ostatnim krokiem jest rozdzielenie uEV znajdujących się w obszarze działania V2Xsp na te świadczące usługi w trybie obowiązkowym i opcjonalnym. Ten podział wykonano uwzględniając współczynniki obliczone w [152], bez aktualizacji danych, o których mowa w rozdziale 7 (dla trybu obowiązkowego – 0,7586, dla trybu opcjonalnego – 0,2414). W Tab. 8.9 przedstawiono szczegółowe wyniki dot. zbioru uEV mogących świadczyć usługi V2X dla odbiorców końcowych w obszarze działania V2Xsp o powierzchni 300 km².

Tab. 8.9. Liczba uEV przypisana do poszczególnych poziomów elektryfikacji transportu obszaru działania V2Xsp o powierzchni 300 km²

Poziom elektryfikacji transportu	Liczba uEV w trybie obowiązkowym	Liczba uEV w trybie opcjonalnym	Całkowita liczba uEV
Poziom A – 0,1%	354	113	467
Poziom B – 1%	3 537	1 126	4 663
Poziom C – 5%	17 684	5 628	23 312
Poziom D – 20%	70 737	22 510	93 247
Poziom E – 50%	176 841	56 275	233 116
Poziom F – 80%	282 947	90 039	372 986

8.2.3. Wyznaczanie wolumenu energii elektrycznej zabezpieczonego przez usługi V2X

Do oceny ekonomicznej przedsięwzięcia polegającego na wprowadzeniu Programu V2X konieczne jest wyznaczenie prognozowanych wolumenów energii elektrycznej zabezpieczanych przez pojazdy elektryczne. Pewną trudnością może być wyznaczenie tej wartości, gdyż odbiorcy końcowi V2X mogą w sposób losowy wysyłać oferty na produkt (energię elektryczną z EV). Niemniej jednak, do takiego procesu można wykorzystać wskaźniki niezawodnościowe pracy systemu elektroenergetycznego, w szczególności oczekiwany czas

²⁷ Zakłada się, że jeden uczestnik dysponuje jednym pojazdem elektrycznym V2X.

niepokrycia zapotrzebowania - LOLE (ang. Loss of Load Expectation) [107]. Wskaźnik ten był również wykorzystywany w innych pracach naukowych, m.in. do oceny ilości potrzebnej energii z OZE w ramach układów typu off-grid [42].

W niniejszej analizie ekonomicznej założono, że czas, przez który powinna być świadczona usługa V2X UH-RZOK lub UI-RZOK jest zależny od różnicy między wartością prognozowaną LOLE, a standardem bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych, równym 3 godziny zgodnie z §3 Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 18 lipca 2018 r. w sprawie wykonania obowiązku mocowego, jego rozliczania i demonstrowania oraz zawierania transakcji na rynku wtórnym [90]. Wynika to z faktu, że ww. usługi V2X (w szczególności UI-RZOK) są usługami dodatkowymi dla odbiorcy, tzn. ich zadaniem jest zapewnienie ciągłości zasilania w sytuacjach krytycznych, kiedy standard bezpieczeństwa systemu nie jest zapewniony. Zależność opisującą powyższą różnicę przedstawiono za pomocą równania:

$$T_{an}^{V2X} = LOLE_{an} - LOLE_{min} \quad (8.42)$$

gdzie: $LOLE_{an}$ – prognozowana wartość wskaźnika LOLE w an -tym roku, wyrażona w godzinach; $LOLE_{min}$ – standard bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych, wyrażony w godzinach, w których dopuszcza się wystąpienie braku możliwości pokrycia zapotrzebowania [90]; T_{an}^{V2X} – prognozowany maksymalny czas wykorzystania usług V2X UH-RZOK lub/i UI-RZOK w an -tym roku przez odbiorcę końcowego V2X, wyrażony w godzinach.

W Tab. 8.10 przedstawiono prognozowane wartości wskaźnika LOLE użyte do analiz ekonomicznych oraz obliczone wartości T_{an}^{V2X} .

Tab. 8.10. Wartości wskaźnika LOLE oraz parametru T_{an}^{V2X}

Przypadek	LOLE [h/a]	LOLE _{min} [h/a]	T_{an}^{V2X} [h/a]
V2X_LOLE_10h	10	3	7
V2X_LOLE_30h	30		27
V2X_LOLE_103h	103 – na podstawie [110] ²⁸		100
V2X_LOLE_2294h	2 294 – na podstawie [110] ²⁹		2 291

Znając liczbę godzin, która wyznacza maksymalny czas świadczenia usług V2X dla odbiorcy końcowego, można wyznaczyć prognozowany maksymalny wolumen energii

²⁸ Wartość wyznaczona dla wykonanych analiz niezawodności systemu elektroenergetycznego w 2030 r. – Wariant Podstawowy [110].

²⁹ Wartość wyznaczona dla wykonanych analiz niezawodności systemu elektroenergetycznego w 2030 r. – Wariant opóźnień i braku mechanizmów mocowych po 01.07.2025 r. dla JWCD w ramach rynku mocy [110].

elektrycznej potrzebny do zabezpieczenia dostaw energii za pomocą V2X, na potrzeby obliczeń ekonomicznych. Zatem:

$$E_{V2X,i}^{EKO_{MAX}} = \frac{T_{an}^{V2X}}{8760} \cdot E_{dem,i} \quad (8.43)$$

gdzie: $E_{V2X,i}^{EKO_{MAX}}$ – prognozowany maksymalny wolumen energii elektrycznej potrzebny do zabezpieczenia dostaw energii w ramach świadczenia usług V2X, wyrażony w kWh, wyznaczany na potrzeby obliczeń ekonomicznych; $E_{dem,i}$ – typowe roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną i -tego odbiorcy końcowego V2X, wyrażone w kWh, przedstawione w Tab. 8.11.

Tab. 8.11. Prognozowane wartości wolumenów energii elektrycznej uwzględniane w analizie ekonomicznej usług V2X UH-RZOK i UI-RZOK – na podstawie [23]

Odbiorcy	Typowe roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną $E_{dem,i}$ [kWh]	Prognozowane maksymalne wolumeny energii elektrycznej potrzebne do zabezpieczenia dostaw energii dla 1 EndUs $E_{V2X,i}^{EKO_{MAX}}$ [kWh]			
		V2X_LOLE_10h	V2X_LOLE_30h	V2X_LOLE_103h	V2X_LOLE_2294h
Grupa I	3 000	2,40	9,25	34,25	784,59
Grupa II	28 541 000	22 806,74	87 968,84	325 810,50	7 464 318,61
Grupa III	1 351 650	1 080,09	4 166,04	15 429,79	353 496,59
Grupa IV	133 590	106,75	411,75	1 525,00	34 937,75

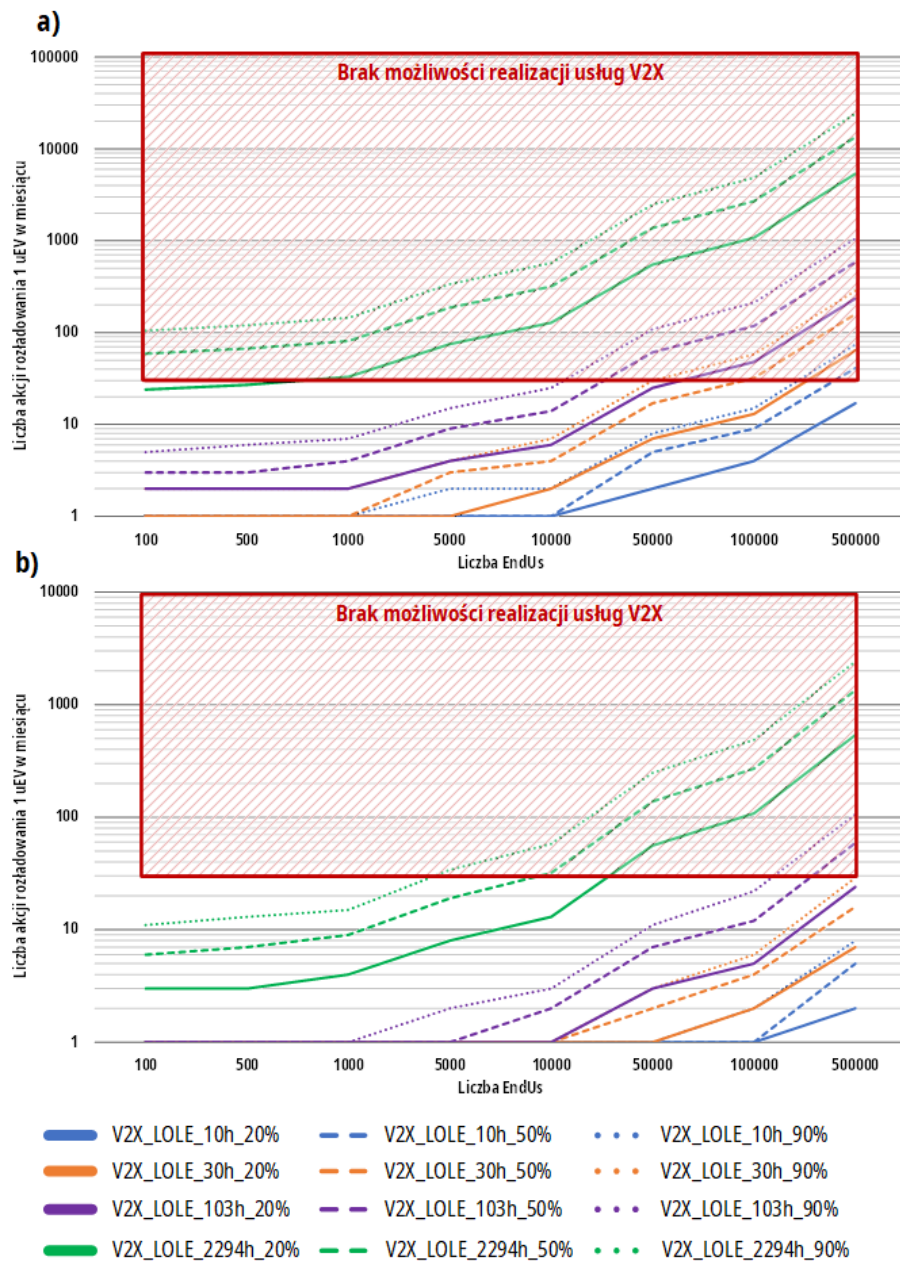
Przedstawione w Tab. 8.11 wartości $E_{V2X,i}^{EKO_{MAX}}$ odnoszą się do maksymalnego wolumenu energii, jaki może być zapewniony w ramach usług V2X. Wartość ta jest także tożsama z wolumenem energii, który niezostanie dostarczony do odbiorcy końcowego (LOEE – ang. Loss of Energy Expectation). Niemniej jednak należy założyć, że nie cały wolumen brakującej energii będzie uzupełniony z wykorzystaniem baterii pojazdów elektrycznych, chociażby ze względów logistycznych. Stąd też przyjęto 3 stopnie wykorzystania Programu V2X: 20%, 50% oraz 90%. Pozwalają one na skalowanie wolumenu energii zabezpieczanego przez usługi V2X:

$$E_{V2X,i}^{EKO_{st}} = st \cdot E_{V2X,i}^{EKO_{MAX}} \quad (8.44)$$

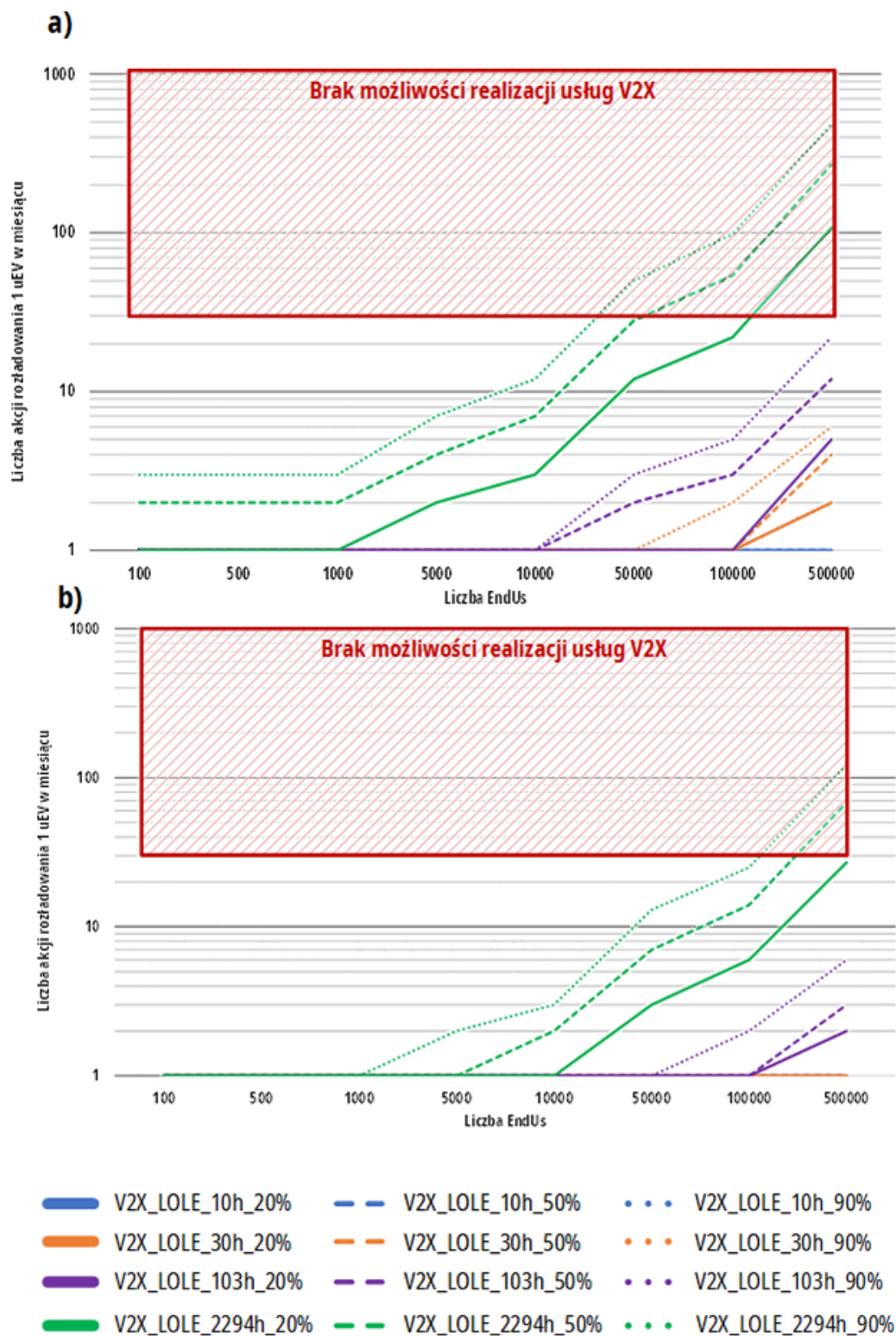
gdzie: $E_{V2X,i}^{EKO_{st}}$ – prognozowany wolumen energii elektrycznej potrzebny do zabezpieczenia dostaw energii w ramach świadczenia usług V2X, wyrażony w kWh, wyznaczany na potrzeby obliczeń ekonomicznych, dla którego uwzględnia się stopień wykorzystania Programu V2X; st – stopień wykorzystania Programu V2X, równy 20% lub 50% lub 90%.

Następnie należy sprawdzić, czy możliwe jest zrealizowanie usługi V2X dla zadanych: stopni wykorzystania Programu V2X, wolumenów energii oraz zakładając pewien poziom elektryfikacji transportu. Przez możliwość zrealizowania usługi należy rozumieć rozładowanie pojedynczego uEV wyłącznie raz dziennie, tzn. w ciągu okresu rozliczeniowego (miesiąca)

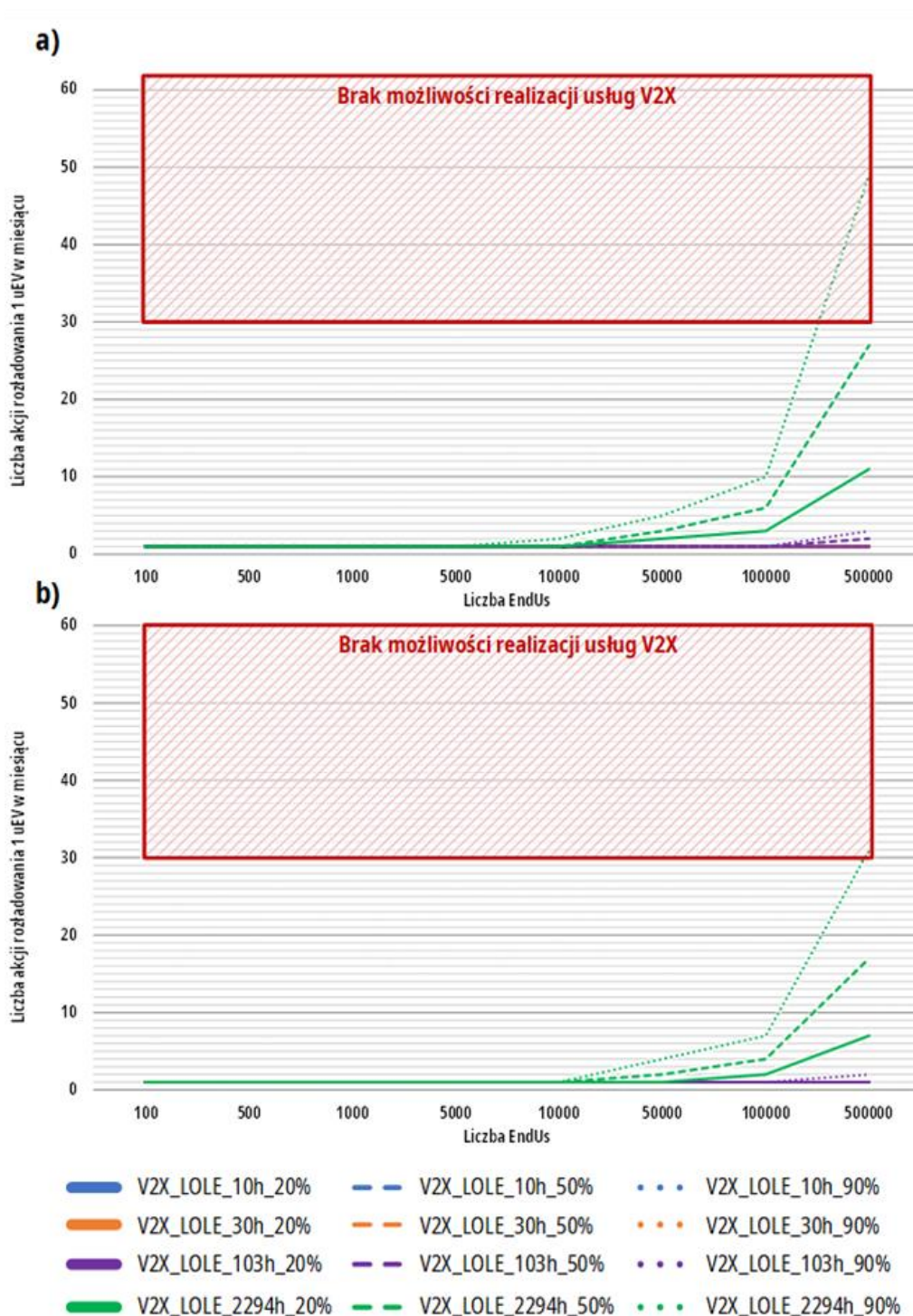
przeciętna liczba akcji rozładowania nie może być większa niż 30. Wartość średnia dostępnej energii z pojedynczego uEV została oszacowana jak w obliczeniach w rozdziale 8.2.2, tj. $E_{avg,t}^{uEVG} = 12,50 \text{ kWh}$. Warto podkreślić, że liczba rozładowań w ciągu okresu rozliczeniowego przekładająca się na możliwość zrealizowania usługi jest zależna od założonego poziomu elektryfikacji transportu. Na Rys. 8.14 – Rys. 8.16 przedstawiono zależności wymaganej liczby rozładowań pojedynczego uEV w funkcji liczby EndUs dla zadanego poziomu elektryfikacji transportu.



Rys. 8.14. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu:
a) 0,1%, b) 1%



Rys. 8.15. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu:
a) 5%, b) 20%



Rys. 8.16. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu:
a) 50%, b) 80%

Na podstawie Rys. 8.14 – Rys. 8.16 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem poziomu elektryfikacji transportu zmniejsza się okno braku możliwości realizacji usługi V2X. Niemniej jednak dla przypadku *V2X_LOLE_2294h_90%* dla żadnego z założonych poziomów elektryfikacji transportu nie da się zrealizować usługi V2X. Oznacza to, że w przypadkach gdy

zapotrzebowanie na usługi V2X będzie wysokie, należy zadbać o odpowiednio wysoką liczbę V2Xus dysponującymi uEV. Należy również podkreślić, że dla większości przypadków przedstawionych na Rys. 8.16 wymagana jest jedna akcja rozładowania w ciągu okresu rozliczeniowego. Zatem może okazać się, że świadczenie usług V2X nie przynosi wymiernych korzyści ekonomicznych i będzie nieatrakcyjne dla użytkowników pojazdów elektrycznych. Potwierdza to problem, z którym musi zmierzyć się V2Xsp, tj. odpowiednie wyskalowanie Programu V2X.

Należy jeszcze dodać, że w przeprowadzonych symulacjach konieczne było założenie jaką liczbę punktów ładowania V2X będzie posiadać każdy EndUs i jaka będzie moc tych punktów. W Tab. 8.12 przedstawiono zestawienie liczby punktów ładowania V2X oraz mocy tych punktów dla każdej grupy EndUs.

Tab. 8.12. Liczba oraz moc punktów ładowania V2X zainstalowanych w instalacji EndUs

Odbiorcy	Liczba punktów ładowania V2X dla 1 EndUs	Moc pojedynczego punktu ładowania V2X [kW]
Grupa I	1	7,2
Grupa II	50	50,0
Grupa III	15	50,0
Grupa IV	5	50,0

8.2.4. Rozliczenie usługobiorcy

Jak wspomniano w rozdziale 6, każda usługa V2X musi być rozliczana oddzielnie, tj. przychód dla V2Xsp z realizacji s -tej usługi V2X powinien pokryć koszty jej wykonania. Zgodnie z równaniami (6.1) i (6.2) opłata, którą musi uiścić i -ty usługobiorca składa się z części stałej i zmiennej. W wykonanych symulacjach dokonano analizy dwóch wariantów harmonogramowania usług (Warianty: UH, UI), co powoduje że łączna opłata w danym okresie rozliczeniowym ponoszona przez i -tego EndUs będzie dotyczyła zakontraktowania jednej usługi V2X (dla wariantów UH i UI). Ze względu na założenia symulacji dot. wielkości zabezpieczanego przez usługi V2X wolumenu energii elektrycznej, wszystkie obliczenia zostaną przedstawione w rocznej skali (12 okresów rozliczeniowych). Należy także podkreślić, że w przypadku grupy usług rezerwowego zasilania odbiorcy końcowego (UH-RZOK i UI – RZOK) różnice w zakontraktowanych usługach będą objawiać się w składniku zmiennym – inna stawka referencyjna. Zatem dla obu rodzajów usług można przyjąć ten sam model rozliczenia składnika stałego, obliczonego zgodnie z równaniem (6.3). Pierwszy składnik stały dotyczy opłaty za gotowość do pojęcia się przez V2Xus realizacji usługi V2X – $OG_{i,v,s}$. Zgodnie z równaniem (6.4) jest on zależny od stosunku liczby usługobiorców do liczby

usługodawców oraz od kosztów transportu danego uEV do punktu świadczenia usługi. Założono, że parametry opisane w równaniu (6.5) są następujące:

- $K_{OSŁ} = 1,49 \frac{PLN}{kWh}$ – wyznaczony na podstawie [22]³⁰;
- $u_{SEV} = 0,2 \frac{kWh}{km}$ – wyznaczony na podstawie [154];
- $L_{EV,S} = 6 \text{ km}$ – wyznaczony na podstawie przeprowadzonego badania ankietowego oraz [152].

Zatem, na podstawie powyższych danych oraz założonych poziomów liczebności EndUs oraz elektryfikacji transportu można utworzyć Tab. 8.13, w której przedstawiono wszystkie wartości opłaty $OG_{i,v,s}$ dla 12 okresów rozliczeniowych, tj. dla jednego roku kalendarzowego.

Tab. 8.13. Wartość opłaty $OG_{i,v,s}$ w funkcji poziomów elektryfikacji transportu oraz liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych

Poziom liczebności EndUs	Poziom elektryfikacji transportu	Roczna opłata za gotowość uiszczana przez EndUs [zł]					
		Poziom A	Poziom B	Poziom C	Poziom D	Poziom E	Poziom F
Poziom I		4,59	0,46	0,09	0,02	0,01	0,01
Poziom II		22,97	2,30	0,46	0,12	0,05	0,03
Poziom III		45,94	4,60	0,92	0,23	0,09	0,06
Poziom IV		229,72	23,01	4,60	1,15	0,46	0,29
Poziom V		459,44	46,01	9,20	2,30	0,92	0,58
Poziom VI		2 297,22	230,07	46,02	11,50	4,60	2,88
Poziom VII		4 594,43	460,13	92,04	23,01	9,20	5,75
Poziom VIII		22 972,16	2 300,66	460,19	115,05	46,02	28,76

Na podstawie Tab. 8.13 można zauważyć, że V2Xsp tworząc Program V2X w danym obszarze musi kontrolować liczbę usługobiorców w stosunku do poziomu elektryfikacji transportu w zakresie ponoszonych przez nich opłat stałych za gotowość. Zbyt wysoka liczba usługobiorców (EndUs) w stosunku do zakontraktowanych uEV może spowodować konieczność ponoszenia opłaty za gotowość, która będzie nieakceptowalna przez usługobiorcę. Należy także podkreślić, że w opracowanym modelu każda grupa odbiorców płaci tę samą opłatę za gotowość. Oznacza to, że pewna stawka może być akceptowalna dla zakładów przemysłowych, lecz nie do przyjęcia dla gospodarstw domowych. Jest to obszar do dalszych badań w zakresie tworzenia modelu rozliczeniowego usługobiorcy, w którym ww. aspekt zostanie zróżnicowany.

Kolejnym składnikiem stałym jest opłata za moc zamówioną $OPZ_{i,v,s}$. Jest ona wyznaczana zgodnie z równaniem (6.8) i należy podkreślić, że jej wartość jest zależna od

³⁰ Stan na maj 2022 r. W momencie edycji pracy (październik 2022 r.) stawka ta wynosi 1,99 PLN/kWh.

przynależności i -tego usługobiorcy do grupy EndUs, przedstawionych w Tab. 7.1. Wynika to z faktu, że dla każdej grupy założono inną wielkość dostępnej mocy w ramach realizacji usług V2X (Tab. 8.12). We wzorze (6.8) występuje również parametr $OPEX_{V2Xsp}^{FIX}$ odnoszący się do rocznych operacyjnych kosztów stałych ponoszonych przez V2Xsp. W celu oszacowania tej wartości posłużono się danymi z publikacji [35]. Zatem parametr $OPEX_{V2Xsp}^{FIX}$ określono następująco:

$$OPEX_{V2Xsp}^{FIX} = K_{HR} + K_{oth} + K_{UTEVSE} \quad (8.45)$$

gdzie: K_{HR} – koszt wynagrodzeń pracowników, wyznaczony na podstawie [35] i równy 1 000 000 euro/rok; K_{UTEVSE} – koszty stałe eksploatacji punktów ładowania V2X; K_{oth} – pozostałe koszty stałe niezawierające się w katalogu kosztów stałych opisanych w podrozdziale 6.2, wyznaczone na podstawie [35] i równe 100 000 euro/rok.

W przeprowadzonych symulacjach dokonano pewnego uproszczenia. W skład $OPEX_{V2Xsp}^{FIX}$ nie zaliczono kosztów instalacji punktów ładowania V2X. Wynika to z faktu, że do dalszych analiz ekonomicznych uwzględnia się tylko bilans przychodów i wydatków w cyklu rocznym, bez uprzedniego ustalenia horyzontu czasowego. Roczny koszt instalacji punktów ładowania V2X wynikałby z przyrostu nowych usługobiorców w ramach Programu V2X. Zatem w symulacjach założono, że dla danego przypadku wszystkie punkty ładowania V2X zostały już zainstalowane u usługobiorców, co powoduje że ten koszt można zaliczyć jako nakład inwestycyjny a nie koszt stały operacyjny. Niemniej jednak, aby obliczyć koszt eksploatacji punktów ładowania V2X, zgodnie z metodyką zaprezentowaną w [35], konieczne jest także obliczenie kosztów instalacji tych punktów. Przyjęto koszt instalacji pojedynczego punktu ładowania V2X równy 3 000 euro [35]. Warto także nadmienić, że przez koszt instalacji należy rozumieć zainstalowanie kupionej przez EndUs ładowarki i włączenie jej do systemu V2Xsp lub integracja i dostosowanie istniejącej infrastruktury do ładowania obsługującej technologię V2X na potrzeby systemu V2Xsp. Zgodnie z [35] koszt eksploatacji tych punktów jest równy 10% wartości kosztów instalacji. Ponadto do obliczeń wykorzystano kurs przeliczeniowy Europejskiego Banku Centralnego (EBC) z okresu 02.01.2015 r. – 31.12.2015 r., który był równy 1 EUR = 4,1841 PLN. W Tab. 8.14 przedstawiono roczne summaryczne (dla 12 okresów rozliczeniowych) wartości opłaty $OPZ_{i,v,s}$ wyliczone dla każdej grupy EndUs, dla zadanych poziomów liczebności EndUs, zakładając rozkład odbiorców pt. „Miejski OSD”. Nie uwzględnia się w tych obliczeniach poziomu elektryfikacji transportu, gdyż zgodnie ze wzorem (6.8) opłata $OPZ_{i,v,s}$ nie jest zależna od liczby uEV w obszarze V2Xsp.

Tab. 8.14. Wartość opłaty $OPZ_{i,v,s}$ dla poszczególnych grup EndUs w funkcji liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych

Poziom liczebności EndUs	Grupa EndUs	Roczna opłata za moc zamówioną uiszczana przez EndUs [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
Poziom I		6 146,31	2 134 135,70	640 240,71	213 413,57
Poziom II		2 653,50	921 352,76	276 405,83	92 135,28
Poziom III		1 663,47	577 593,53	173 278,06	57 759,35
Poziom IV		729,71	253 369,81	76 010,94	25 336,98
Poziom V		604,13	209 768,26	62 930,48	20 976,83
Poziom VI		500,19	173 678,46	52 103,54	17 367,85
Poziom VII		487,16	169 151,29	50 745,39	16 915,13
Poziom VIII		476,52	165 460,07	49 638,02	16 546,01

Na podstawie Tab. 8.14 można stwierdzić, że mała liczebność odbiorców końcowych w obszarze V2Xsp wpływa na zwiększoną opłatę za moc zamówioną. Wynika to z faktu, że koszty operacyjne V2Xsp muszą zostać rozdzielone na mniejszą liczbę usługobiorców. Należy zwrócić także uwagę na wielkość zaprezentowanych opłat. W przypadku odbiorców Grupy I mogą być one nie do zaakceptowania, gdyż stanowią co najmniej kilkadziesiąt procent przeciętnego rachunku za energię elektryczną. W przypadku odbiorców w grupach II - IV kwoty te nie są zbyt rażące. Opłata za moc zamówioną w usłudze V2X stanowi maksymalnie kilka procent kwoty rachunków za energię elektryczną. Niezależnie od tego należy poddać dalszej analizie sposób wyliczania opłaty za moc zamówioną, m.in. poprzez przeniesienia pewnych kosztów do opłaty za gotowość, gdyż dysproporcja między nimi jest zbyt duża.

W zakresie obliczania składnika zmiennego opłaty dla usługobiorcy za korzystanie z usług V2X (równanie (6.9)) posłużono się wartościami wskaźników VoLA i VoLL przedstawionymi w Tab. 7.3 i Tab. 7.6, jako wartościami stawek referencyjnych za udostępnianą energię elektryczną z uEV $k_{da,s}^{REF}$. Wolumen energii elektrycznej zabezpieczany za pomocą usług V2X został zdefiniowany uprzednio w Tab. 8.11, przy czym zastosowano stopnie wykorzystania usług V2X równe 20%, 50% i 90%. W Tab. 8.15 – Tab. 8.16 przedstawiono roczne wartości składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X w dwóch wariantach ich realizacji – 1) tylko usługa harmonogramowana; 2) tylko usługa interwencyjna.

Tab. 8.15. Roczne wartości składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X $SV_{i,v,s}$ dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Opłata zmienna dla odbiorców końcowych V2X $SV_{i,v,s}$ [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_10h	20%	6,96	66 225,41	1 979,40	195,63
	50%	17,40	165 563,52	4 948,51	489,08
	90%	31,32	298 014,34	8 907,32	880,35

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Opłata zmienna dla odbiorców końcowych V2X $SV_{i,v,s}$ [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_30h	20%	26,85	255 440,86	7 634,84	754,59
	50%	67,12	638 602,15	19 087,11	1 886,47
	90%	120,82	1 149 483,88	34 356,79	3 395,65
V2X_LOLE_103h	20%	99,44	946 077,26	28 277,19	2 794,77
	50%	248,61	2 365 193,16	70 692,98	6 986,92
	90%	447,50	4 257 347,69	127 247,37	12 576,46
V2X_LOLE_2294h	20%	2 278,26	21 674 630,11	647 830,51	64 028,17
	50%	5 695,66	54 186 575,27	1 619 576,28	160 070,43
	90%	10 252,18	97 535 835,48	2 915 237,30	288 126,77

Tab. 8.16. Roczne wartości składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X $SV_{i,v,s}$ dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UI

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Opłata zmienna dla odbiorców końcowych V2X $SV_{i,v,s}$ [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_10h	20%	12,56	83 936,41	3 190,55	315,34
	50%	31,40	209 841,03	7 976,36	788,34
	90%	56,51	377 713,85	14 357,45	1 419,02
V2X_LOLE_30h	20%	48,44	323 754,73	12 306,39	1 216,30
	50%	121,10	809 386,82	30 765,97	3 040,75
	90%	217,97	1 456 896,28	55 378,75	5 473,35
V2X_LOLE_103h	20%	179,40	1 199 091,59	45 579,22	4 504,81
	50%	448,50	2 997 728,97	113 948,05	11 262,03
	90%	807,30	5 395 912,14	205 106,49	20 271,65
V2X_LOLE_2294h	20%	4 110,06	27 471 188,24	1 044 219,96	103 205,23
	50%	10 275,16	68 677 970,61	2 610 549,89	258 013,07
	90%	18 495,29	123 620 347,10	4 698 989,80	464 423,52

Na podstawie powyższych danych można obliczyć roczną opłatę uiszczaną przez EndUs dla V2Xsp, tj. $Fee_i^y = 12Fee_i$. W Tab. 8.17 – Tab. 8.18 przedstawiono wybrane wartości Fee_i dla dwóch przypadków symulacyjnych:

- 1) Wariantu UH, Poziomu IV liczebności EndUs (5000 odbiorców) oraz Poziomu C elektryfikacji transportu (5%) – przypadek, dla którego rozpatruje się 4-ty z 8-miu poziomów liczebności odbiorców oraz 3-ci z 6-ciu poziomów elektryfikacji transportu;
- 2) Wariantu UH, Poziomu VII liczebności EndUs (100 000 odbiorców) oraz Poziomu D elektryfikacji transportu (20%) – przypadek, dla którego liczba odbiorców jest zbliżona do liczby uEV w obszarze działania V2Xsp.

Tab. 8.17. Roczne wartości opłaty za korzystanie z usług V2X Fee_i^y dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH, Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczna opłata dla V2Xsp uiszczana przez odbiorcę końcowego V2X Fee_i^y [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_10h	20%	741,27	319 599,82	77 994,95	25 537,22
	50%	751,71	418 937,93	80 964,05	25 830,67
	90%	765,63	551 388,75	84 922,86	26 221,94

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczna opłata dla V2Xsp uiszczana przez odbiorcę końcowego V2X Fee_i^y [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_30h	20%	761,16	508 815,27	83 650,39	26 096,17
	50%	801,43	891 976,56	95 102,65	27 228,05
	90%	855,13	1 402 858,28	110 372,33	28 737,23
V2X_LOLE_103h	20%	833,75	1 199 451,67	104 292,74	28 136,35
	50%	982,92	2 618 567,57	146 708,53	32 328,51
	90%	1 181,81	4 510 722,09	203 262,92	37 918,05
V2X_LOLE_2294h	20%	3 012,57	21 928 004,52	723 846,05	89 369,75
	50%	6 429,96	54 439 949,67	1 695 591,82	185 412,01
	90%	10 986,49	97 789 209,89	2 991 252,84	313 468,35

Tab. 8.18. Roczne wartości opłaty za korzystanie z usług V2X Fee_i^y dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH, Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczna opłata dla V2Xsp uiszczana przez odbiorcę końcowego V2X Fee_i^y [zł]			
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
V2X_LOLE_10h	20%	517,13	235 399,70	52 747,80	17 133,77
	50%	527,57	334 737,82	55 716,90	17 427,22
	90%	541,49	467 188,63	59 675,71	17 818,49
V2X_LOLE_30h	20%	537,02	424 615,16	58 403,24	17 692,73
	50%	577,29	807 776,45	69 855,50	18 824,61
	90%	630,99	1 318 658,17	85 125,19	20 333,78
V2X_LOLE_103h	20%	609,61	1 115 251,56	79 045,59	19 732,91
	50%	758,78	2 534 367,46	121 461,38	23 925,06
	90%	957,66	4 426 521,98	178 015,77	29 514,60
V2X_LOLE_2294h	20%	2 788,43	21 843 804,40	698 598,91	80 966,31
	50%	6 205,82	54 355 749,56	1 670 344,67	177 008,57
	90%	10 762,35	97 705 009,78	2 966 005,69	305 064,91

Na podstawie tabel Tab. 8.13 – Tab. 8.18 można stwierdzić, że w opłacie rocznej Fee_i^y udział składnika stałego i zmiennego zależy od stopnia wykorzystania usługi V2X. Im jest on większy tym bardziej rośnie udział składnika zmiennego w opłacie. Gdy jest mniejszy, wówczas składniki stałe (w szczególności za moc zamówioną) decydują o wysokości opłaty Fee_i^y . Łączna opłata dla gospodarstw domowych waha się w przedziale od kilkuset złotych rocznie do nawet kilkudziesięciu tysięcy. W szczególności górna granica może być nie do zaakceptowania przez odbiorców końcowych, lecz jednak biorąc pod uwagę koszty związane z instalacją agregatów prądotwórczych oraz ich eksploatacją w liczbie godzin odpowiadającej przypadkowi V2X_LOLE_2294h, nie wydają się one znacząco rozbieżne od kosztu usług V2X. Niezwykle istotną kwestię można zaobserwować analizując Tab. 8.18. Należy zwrócić uwagę, że w przypadkach gdy liczba usługobiorców jest zbliżona do liczby usługodawców można zaobserwować zmniejszenie jednostkowych składek dla usługobiorców, pomimo większego zapotrzebowania na usługę V2X. Wskazuje to na konieczność wykonania dokładnych analiz przez V2Xsp w momencie tworzenia ram Programu V2X w danym obszarze działania.

8.2.5. Rozliczenie usługodawcy

W niniejszych symulacjach rozliczenia usługodawcy, czyli Uczestnika Programu V2X (V2Xus) w odniesieniu do n -tego pojazdu elektrycznego V2X (uEV), należy w pierwszej kolejności obliczyć przeciętny wolumen energii dostarczany przez 1 uEV dla danego EndUs w ciągu roku. Warto podkreślić, że konieczność podziału na grupy EndUs jest kluczowa, gdyż współczynniki premii za rozładowanie są uzależnione od godzin świadczenia usługi. Jednocześnie należy pamiętać, że wolumen energii dostarczony przez 1 uEV jest zależny od poziomu liczebności EndUs, poziomu elektryfikacji transportu oraz od realizowanych przypadków symulacji. W celu obliczenia przeciętnego wolumenu energii elektrycznej dostarczanej przez 1 uEV należy podzielić iloczyn prognozowanego wolumenu energii uwzględniającego stopnie wykorzystania usługi V2X (Tab. 8.11 i równanie (8.44)) i liczby odbiorców w danej grupie, przez liczbę uEV przy zadanym poziomie elektryfikacji transportu. W Tab. 8.19 – Tab. 8.20 przedstawiono wybrane wartości ww. wolumenu dla dwóch przypadków symulacyjnych:

- 1) *Wariantu UH*, Poziomu **IV** liczebności EndUs (5000 odbiorców) oraz Poziomu **C** elektryfikacji transportu (5%) – przypadek, dla którego rozpatruje się 4-ty z 8-miu poziomów liczebności odbiorców oraz 3-ci z 6-ciu poziomów elektryfikacji transportu;
- 2) *Wariantu UH*, Poziomu **VII** liczebności EndUs (100 000 odbiorców) oraz Poziomu **D** elektryfikacji transportu (20%) – przypadek, dla którego liczba odbiorców jest zbliżona do liczby uEV w obszarze działania V2Xsp.

Tab. 8.19. Przeciętny roczny wolumen energii elektrycznej dostarczony przez 1 uEV dla poszczególnych grup EndUs –Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przeciętny wolumen energii dostarczony przez 1 uEV [kWh]				
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Suma
V2X_LOLE_10h	20%	0,10	0,20	0,09	0,30	0,69
	50%	0,24	0,49	0,23	0,76	1,72
	90%	0,43	0,88	0,42	1,36	3,09
V2X_LOLE_30h	20%	0,37	0,75	0,36	1,17	2,65
	50%	0,92	1,89	0,89	2,91	6,62
	90%	1,66	3,40	1,61	5,25	11,91
V2X_LOLE_103h	20%	1,37	2,80	1,32	4,32	9,81
	50%	3,42	6,99	3,31	10,79	24,52
	90%	6,16	12,58	5,96	19,43	44,13
V2X_LOLE_2294h	20%	31,38	64,04	30,33	98,91	224,66
	50%	78,45	160,10	75,82	247,29	561,65
	90%	141,21	288,17	136,47	445,11	1010,97

Tab. 8.20. Przeciętny roczny wolumen energii elektrycznej dostarczony przez 1 uEV dla poszczególnych grup EndUs –Poziom **VII** liczebności EndUs, Poziom **D** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przeciętny wolumen energii dostarczony przez 1 uEV [kWh]				
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Suma
V2X_LOLE_10h	20%	0,48	0,05	0,44	1,51	2,47
	50%	1,20	0,12	1,09	3,77	6,19
	90%	2,16	0,22	1,97	6,79	11,13
V2X_LOLE_30h	20%	1,85	0,19	1,69	5,82	9,54
	50%	4,62	0,47	4,22	14,54	23,86
	90%	8,32	0,85	7,60	26,17	42,94
V2X_LOLE_103h	20%	6,85	0,70	6,25	21,54	35,34
	50%	17,12	1,75	15,64	53,86	88,36
	90%	30,81	3,14	28,15	96,94	159,05
V2X_LOLE_2294h	20%	156,88	16,01	143,30	493,53	809,72
	50%	392,21	40,02	358,25	1233,82	2024,30
	90%	705,97	72,04	644,84	2220,88	3643,74

Następnie posiadając informacje o przeciętnym wolumenie energii elektrycznej udostępnianej z 1 uEV dla danej grupy EndUs należy zdefiniować godziny, w których usługa UH-RZOK lub UI-RZOK byłaby świadczona. Przyjęto, że w przeprowadzonych symulacjach usługi V2X były świadczone raz dziennie, w godzinach zdefiniowanych zgodnie z Tab. 8.21.

Tab. 8.21. Godziny świadczenia usług V2X w przeprowadzonych symulacjach

Godziny świadczenia usługi V2X	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
00:00 – 06:00				
06:01 – 09:00				✓
09:01 – 12:00		✓		
12:01 – 15:00				
15:01 – 18:00			✓	
18:01 – 21:00				
21:01 – 23:59	✓			

Kolejnym krokiem jest obliczenie składnika wynagrodzenia dla uEV świadczącego usługi w trybie obowiązkowym – opłaty za gotowość realizacji usługi $OG_{n,s}^{uEV}$. Zgodnie ze wzorem (6.12) ww. opłata jest zależna od liczby EndUs, jak również od poziomu elektryfikacji transportu, a ściślej rzecz ujmując od liczby pojazdów elektrycznych V2X świadczących usługi V2X w trybie obowiązkowym $N_{uEV,s}^{MAN}$. Należy również podkreślić, że jest ona także zależna od maksymalnej mocy rozładowania n -tego uEV świadczącego usługi w trybie obowiązkowym w stosunku do średniej mocy rozładowania uEV w obszarze działania V2Xsp. W przeprowadzonych symulacjach dokonano uproszczeń, polegających na założeniu stałej maksymalnej mocy rozładowania:

$$P_{uEV_{man},n}^{MAX} = const = 150 \text{ kW} \quad (8.46)$$

Założono także, że średnia moc pojazdów elektrycznych mogących świadczyć usługi UH-RZOK i UI-RZOK V2X w obszarze działania V2Xsp jest równa 107,77 kW. Wartość ta została uzyskana poprzez wygenerowanie losowego zbioru pojazdów uEV. W Tab. 8.22

przedstawiono wartości składnika wynagrodzenia $OG_{n,s}^{uEV}$ dla zadanych poziomów liczebności EndUs i elektryfikacji transportu w ujęciu 12 okresów rozliczeniowych.

Tab. 8.22. Wartość składnika wynagrodzenia uEV $OG_{n,s}^{uEV}$ w funkcji poziomów elektryfikacji transportu oraz liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych

Poziom liczebności EndUs	Poziom elektryfikacji transportu	Poziom A	Poziom B	Poziom C	Poziom D	Poziom E	Poziom F
Poziom I		1,81	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Poziom II		45,16	0,45	0,02	0,00	0,00	0,00
Poziom III		180,64	1,81	0,07	0,00	0,00	0,00
Poziom IV		4 516,08	45,27	1,81	0,11	0,02	0,01
Poziom V		18 064,34	181,07	7,24	0,45	0,07	0,03
Poziom VI		451 608,39	4 526,70	181,10	11,32	1,81	0,71
Poziom VII		1 806 433,56	18 106,80	724,41	45,28	7,24	2,83
Poziom VIII		45 160 839,12	452 669,96	18 110,15	1 131,88	181,10	70,74

Kolejnym składnikiem, który należy uwzględnić jest koszt degradacji baterii EV. Zgodnie ze wzorami (6.14) i (6.15) wyznaczono jednostkowy koszt degradacji baterii, zakładając następujące parametry:

- $K_{BAT} = 473 \text{ zł/kWh}$ – uśredniony jednostkowy koszt zakupu baterii EV – na podstawie [99]³¹;
- $K_{wym} = 5000 \text{ zł}$ – koszt robocizny związany z wymianą baterii w EV – na podstawie [60];
- $L_c = 5300$ – oczekiwana, przeciętna liczba cykli ładowanie-rozładowanie baterii EV – na podstawie [124];
- $DOD_n = 0,95$ – poziom głębokości rozładowania baterii n -tego uEV – na podstawie [124];
- $C_n = 50 \text{ kWh}$ – pojemność baterii uEV – średnia wartość pojemności baterii uEV uzyskana z wylosowanego zbioru uEV.

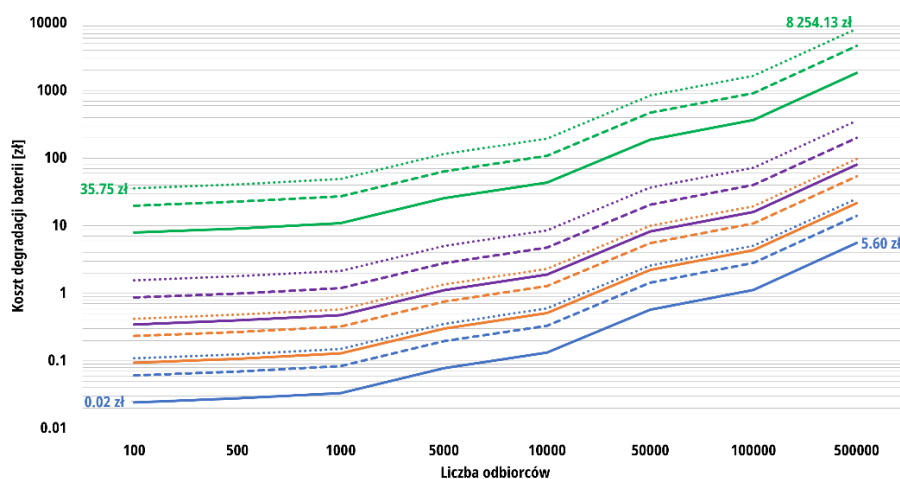
Zatem:

$$K_{DEG,n} = \frac{5000 + 473 \cdot 50}{5300 \cdot 50 \cdot 0,95} = 0,11 \text{ zł/kWh} \quad (8.47)$$

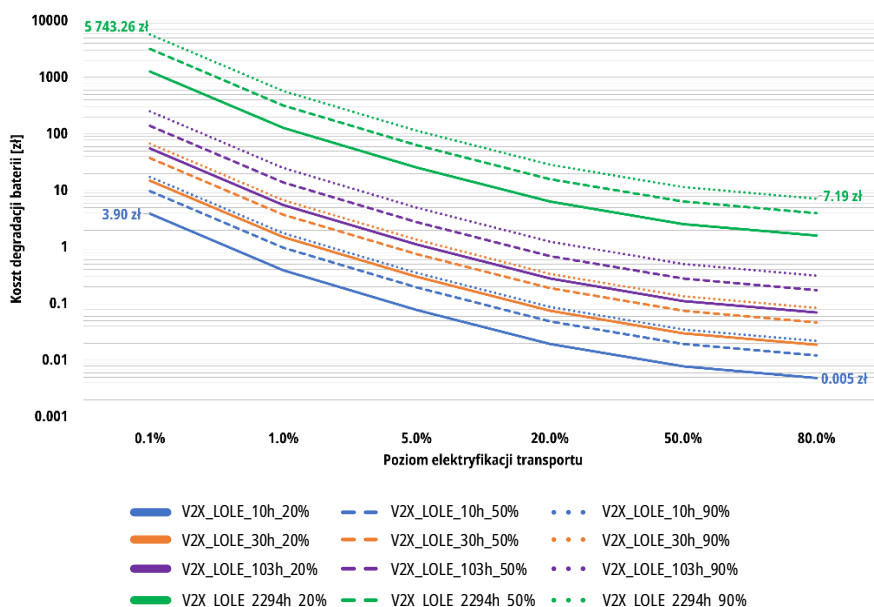
Wartość ta pozwala na obliczenie rocznej bonifikaty z tytułu nadmiernego wykorzystania baterii uEV. Dla przedstawionego w Tab. 8.18 przypadku symulacyjnego, jej wartości mieszczą się w przedziale od 0,08 zł/rok (przypadek V2X_LOLE_10 h) do nawet

³¹ Przyjęto jednostkową cenę baterii 110 USD/kWh, z uwzględnieniem przeciętnego kursu z marca 2022 r. (1 USD = 4,30 PLN).

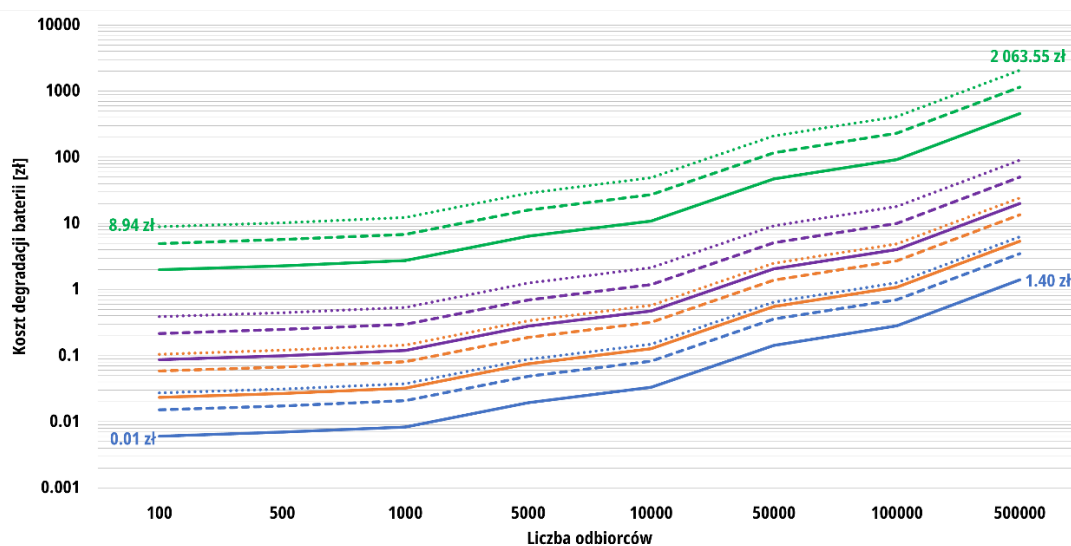
115,05 zł/rok (przypadek V2X_LOLE_2294 h), zaś dla przypadku przedstawionego w Tab. 8.19 w przedziale 0,05 zł/rok (przypadek V2X_LOLE_10 h) do 414,67 zł/rok (przypadek V2X_LOLE_2294 h) . Ze względu na to, że koszt degradacji baterii jest zależny od przeciętnego wolumenu dostarczonego przez 1 uEV oznacza to, że jest on zależny od poziomu liczebności EndUs i poziomu elektryfikacji floty. Na Rys. 8.17 i Rys. 8.18 przedstawiono zależności bonifikaty wynikającej z kosztu degradacji baterii w funkcji poziomu liczebności EndUs (przy stałym poziomie elektryfikacji transportu = 5%) oraz w funkcji poziomu elektryfikacji transportu (przy stałym poziomie liczebności EndUs = 5000). Natomiast na Rys. 8.19 i Rys. 8.20 przedstawiono analogiczne zależności dla stałego poziomu elektryfikacji transportu równego 20% oraz stałego poziomu liczebności odbiorców równego 100 000.



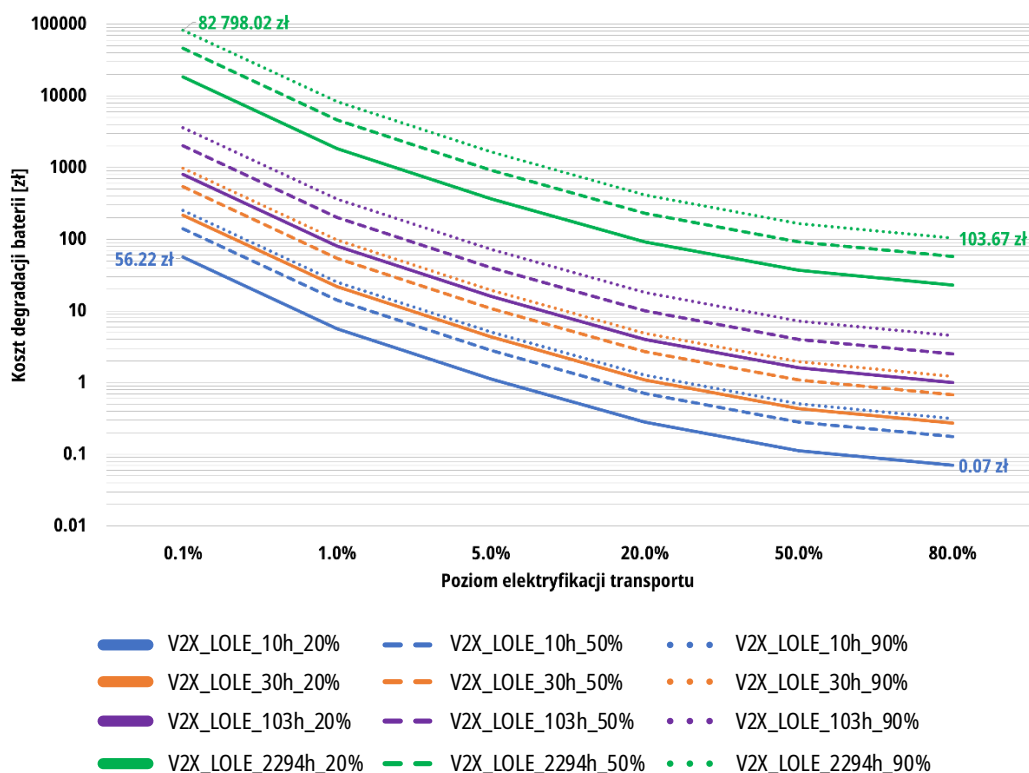
Rys. 8.17. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby odbiorców dla stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%



Rys. 8.18. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000



Rys. 8.19. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby odbiorców dla stałego poziomu elektryfikacji transportu – 20%



Rys. 8.20. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla stałego poziomu liczebności odbiorców – 100 000

Na podstawie Rys. 8.17 – Rys. 8.20 można stwierdzić, że bonifikata dla uEV wynikająca z kosztu degradacji baterii będzie zmniejszać się wraz ze wzrostem liczebności uEV w obszarze, tzn. dany uEV będzie mniej obciążony wykonywaniem usług V2X. Natomiast rośnie ona wraz ze wzrostem liczby EndUs, ponieważ wymagane będzie przesłanie większego wolumenu energii, a co za tym idzie stopień wykorzystania pojedynczego uEV będzie większy.

W czasie badań sprawdzono także wszystkie pozostałe przypadki, w szczególności te określające warunki brzegowe. W przypadku gdy poziom liczebności uEV jest najmniejszy (100 EndUs) oraz występuje poziom A elektryfikacji transportu (0,1%), wówczas wielkość bonifikaty waha się w przedziale 1,21 zł/rok, aż do 1784,43 zł/rok, w zależności od przypadku symulacji (liczba godzin świadczenia usługi wg wskaźnika LOLE). Dla takiej samej liczby odbiorców końcowych oraz przy maksymalnym poziomie elektryfikacji transportu bonifikaty są nie większe niż 2,23 zł/rok. Kolejnym ciekawym przypadkiem jest sytuacja, w której występuje maksymalna możliwa w analizach liczba odbiorców (500 000) oraz największy poziom elektryfikacji transportu (80%, tj. około 400 000 uEV). Wówczas wielkość bonifikaty mieści się w przedziale 0,35 zł/rok – 515,89 zł/rok. Potwierdza to wcześniejsze obserwacje, że kluczowe w doborze akceptowalnych stawek dla uczestników programu V2X jest odpowiednie wyskalowanie liczby usługobiorców i usługodawców. Warto również zauważyć, że ani zmiana poziomu liczebności odbiorców, ani zmiana poziomu elektryfikacji transportu jako punktów odniesienia nie wpływa na zmianę charakteru krzywych przedstawionych na Rys. 8.17 – Rys. 8.20.

Kolejnym składnikiem wynagrodzenia dla V2Xus w odniesieniu do danego uEV jest, zgodnie z równaniami (6.11) i (6.16), saldo rozliczenia energii elektrycznej udostępnionej i pobranej z/do uEV. W zrealizowanych symulacjach założono brak ładowania pojazdów w stacjach należących do V2Xsp, co powoduje, że saldo ogranicza się wyłącznie do składnika za udostępnienie pojemności baterii uEV na potrzeby wykonania usługi V2X UH-RZOK lub UI - RZOK. Analizując powyższy składnik należy zwrócić uwagę na jego zależność od okresu doby, w którym jest świadczona usługa V2X. Zatem każda akcja rozładowania pojazdu elektrycznego została przyporządkowana do godzin świadczenia usługi V2X zgodnie z Tab. 8.21, a następnie przypisano im współczynniki opisane w Tab. 7.5 i Tab. 7.8. Warto także przypomnieć o różnicach w sposobie rozliczania uEV świadczących usługi w trybie obowiązkowym i opcjonalnym. Pierwsza dotyczy nie uwzględniania składnika opłaty za gotowość do realizacji usługi, zaś druga w wartościach współczynników premii za rozładowanie (Tab. 7.5 i Tab. 7.8). Analizując ilość udostępnionej energii elektrycznej z baterii uEV należy także pamiętać o rozróżnieniu usług harmonogramowanych od usług interwencyjnych. W Tab. 8.23 – Tab. 8.24 przedstawiono wynagrodzenia dla V2Xus w odniesieniu do ich uEV w zakresie udostępnienia energii elektrycznej z baterii uEV na potrzeby realizacji usług V2X UH-RZOK i UI-RZOK, dla dwóch wariantów symulacyjnych przy założeniu: poziomu **IV** liczebności odbiorców i poziomu **C** elektryfikacji transportu (Tab.

8.23) oraz poziomu **VII** liczebności odbiorców i poziomu **D** elektryfikacji transportu (Tab. 8.24).

Tab. 8.23. Wartość składnika wynagrodzenia uEV związanego z rozliczeniem udostępnionej energii z uEV na potrzeby realizacji usługi V2X, dla 12 okresów rozliczeniowych – Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

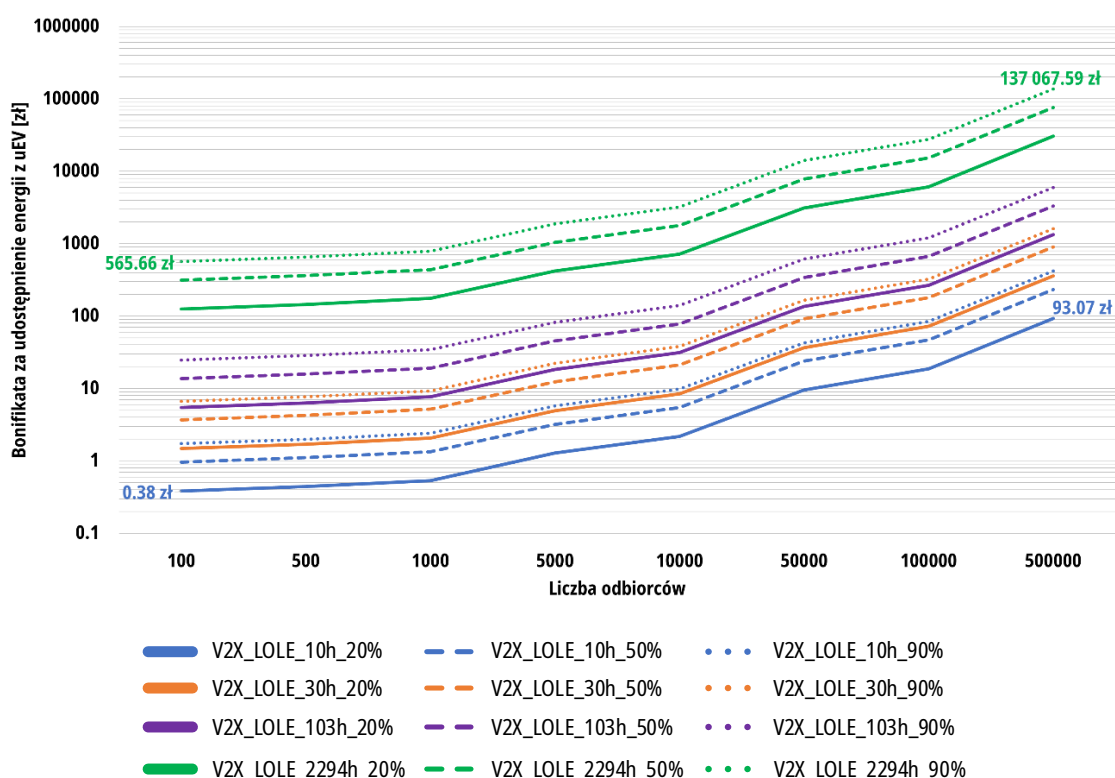
Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczna bonifikata za udostępnianą energię elektryczną z 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	1,28	1,43	1,74	1,94
	50%	3,20	3,58	4,35	4,86
	90%	5,75	6,45	7,83	8,75
V2X_LOLE_30h	20%	4,93	5,52	6,71	7,50
	50%	12,33	13,81	16,77	18,74
	90%	22,20	24,86	30,19	33,74
V2X_LOLE_103h	20%	18,27	20,46	24,84	27,77
	50%	45,67	51,15	62,11	69,41
	90%	82,21	92,07	111,80	124,95
V2X_LOLE_2294h	20%	418,53	468,75	569,17	636,12
	50%	1 046,34	1 171,87	1 422,92	1 590,30
	90%	1 883,41	2 109,36	2 561,26	2 862,54

Tab. 8.24. Wartość składnika wynagrodzenia uEV związanego z rozliczeniem udostępnionej energii z uEV na potrzeby realizacji usługi V2X, dla 12 okresów rozliczeniowych – Poziom **VII** liczebności EndUs, Poziom **D** elektryfikacji transportu

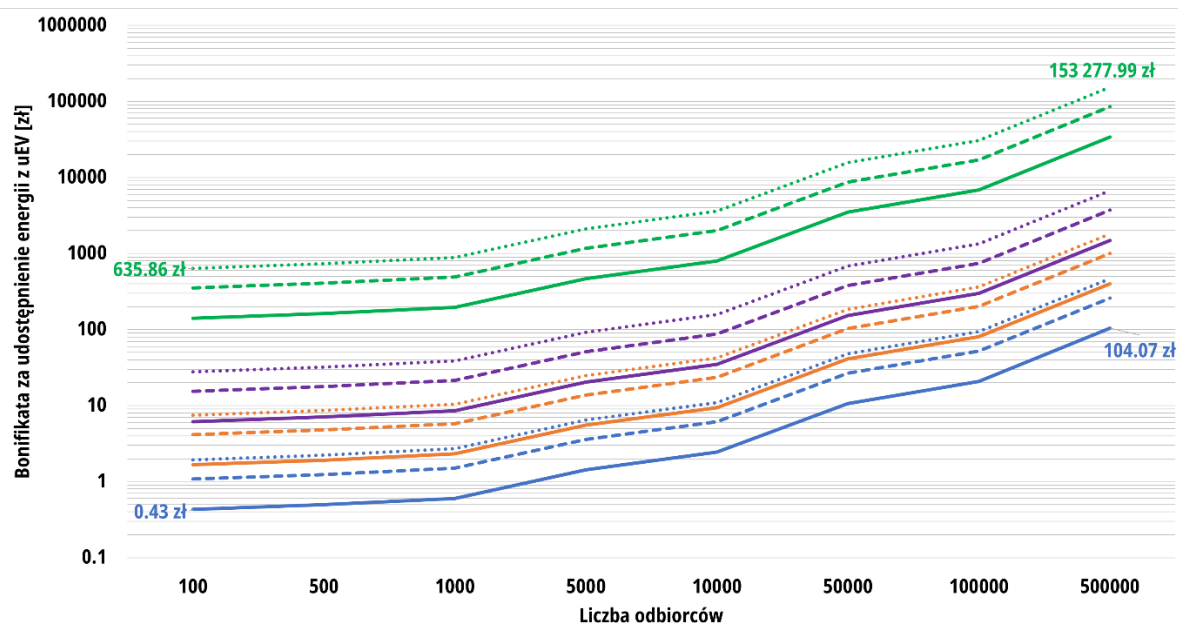
Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczna bonifikata za udostępnianą energię elektryczną z 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	4,67	5,23	6,33	7,07
	50%	11,69	13,07	15,83	17,68
	90%	21,04	23,52	28,50	31,82
V2X_LOLE_30h	20%	18,03	20,16	24,43	27,27
	50%	45,08	50,41	61,07	68,18
	90%	81,14	90,74	109,93	122,73
V2X_LOLE_103h	20%	66,78	74,68	90,48	101,01
	50%	166,95	186,70	226,20	252,53
	90%	300,52	336,06	407,16	454,55
V2X_LOLE_2294h	20%	1 529,96	1 710,94	2 072,88	2 314,18
	50%	3 824,91	4 277,34	5 182,20	5 785,44
	90%	6 884,84	7 699,22	9 327,97	10 413,80

Na podstawie Tab. 8.23 – Tab. 8.24 można stwierdzić, że zgodnie z oczekiwaniami wraz ze wzrostem wykorzystania pojazdów elektrycznych V2X w procesie świadczenia usług V2X na potrzeby odbiorcy końcowego rośnie wynagrodzenie za udostępnianą energię elektryczną. Wartości uzyskane dla przypadku V2X_LOLE_10h mogą budzić wątpliwość, czy V2Xus byłby dostatecznie zachęcony do realizacji usługi V2X, nawet w trybie opcjonalnym dla usług interwencyjnych. W przypadku symulacji V2X_LOLE_2294h wartości te wyglądają znacznie bardziej obiecująco. Niemniej jednak należy po raz kolejny zastanowić się nad odpowiednim skalowaniem przedsięwzięcia jakim jest wprowadzenie do przestrzeni publicznej Programu V2X. W przypadku przedstawionym w Tab. 8.23 liczba pojazdów świadczących usługi V2X jest około 4 razy większa niż liczba usługobiorców. Przekłada się to na niższe stawki

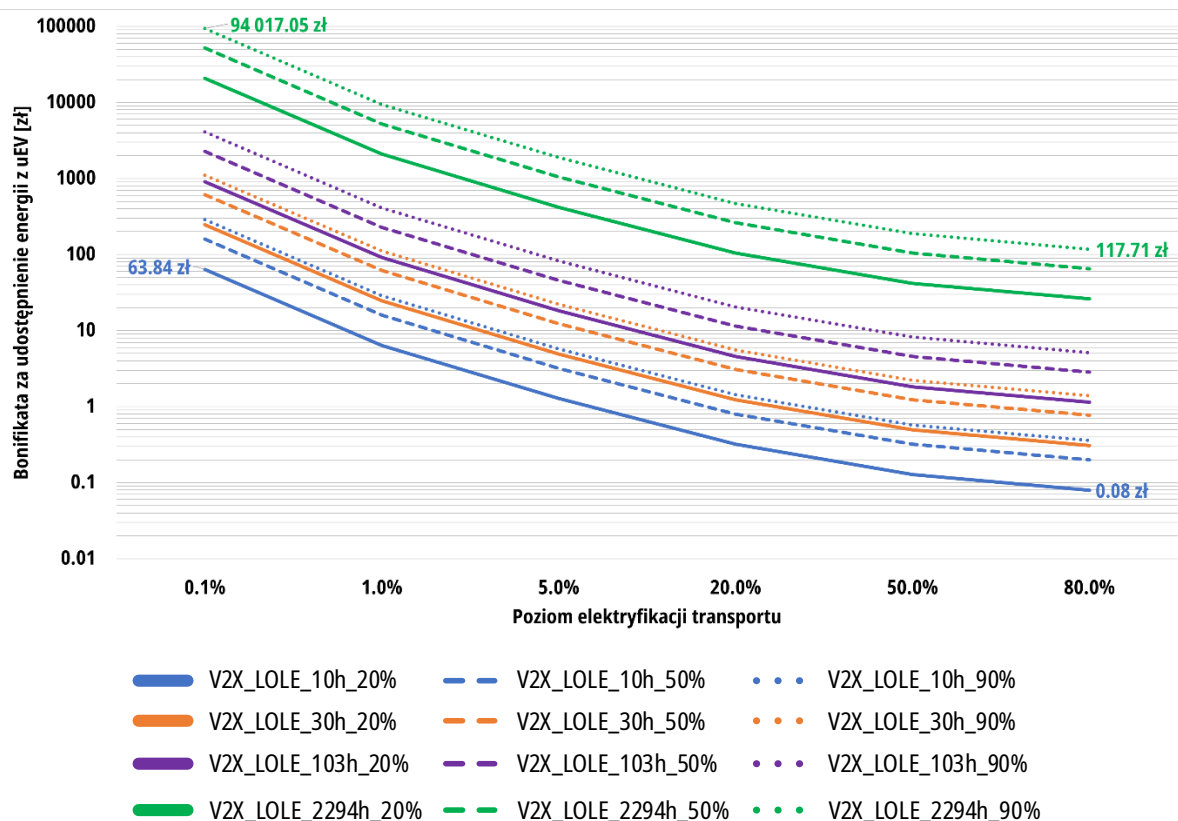
wynagrodzenia z tytułu udostępnienia energii z baterii uEV, ponieważ energia elektryczna jest łatwo dostępna. W przypadku symulacyjnym przedstawionym w Tab. 8.24, tj. gdy liczba usługobiorców jest zbliżona do liczby usługodawców, roczna bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z 1 uEV jest kilkukrotnie wyższa niż w przypadku złego wyskalowania modelu. Analogicznie jak w przypadku bonifikaty za degradację baterii wykonano analizy wpływu liczebności EndUs na wielkość opłaty za udostępnienie energii z uEV przy stałym poziomie elektryfikacji transportu oraz wpływu liczby uEV przy stałej liczebności odbiorców końcowych. Na Rys. 8.21 – Rys. 8.24 przedstawiono ww. zależności dla wariantu UH oraz dla pojazdów w trybie obowiązkowym i opcjonalnym.



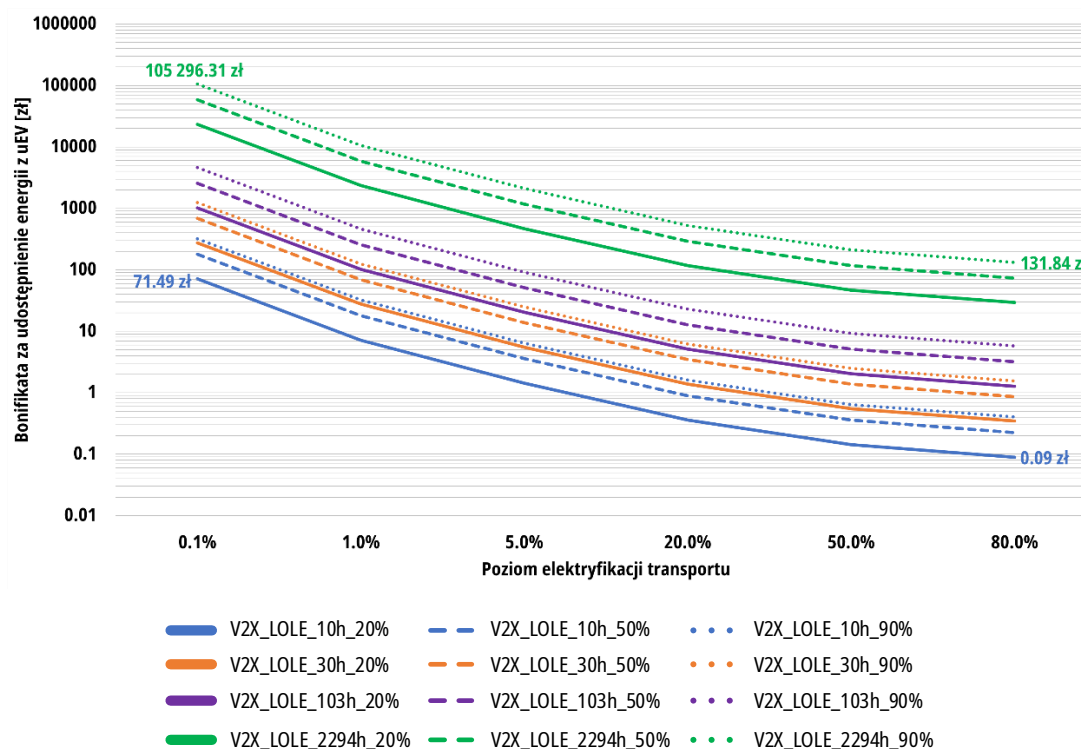
Rys. 8.21. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym w funkcji liczby odbiorców dla Wariantu UH oraz stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%



Rys. 8.22. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie opcjonalnym w funkcji liczby odbiorców dla *Wariantu UH* oraz stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%



Rys. 8.23. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla *Wariantu UH* oraz stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000



Rys. 8.24. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie opcjonalnym w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla *Wariantu UH* oraz stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000

Na podstawie Rys. 8.21 – Rys. 8.24 można stwierdzić ten sam trend zmian dla wielkości składnika wynagrodzenia dla uEV za udostępnioną energię z baterii pojazdu elektrycznego, jak w przypadku bonifikaty za zwiększoną degradację baterii. Podobnie jak w poprzednich przypadkach wykonano kompleksowe analizy, dla których obliczono wartości ww. składnika. W przypadku założenia poziomu liczebności odbiorców I (100 EndUs) oraz poziomu elektryfikacji transportu A (0,1%), wynagrodzenie dla uEV świadczącego usługi harmonogramowane V2X w trybie obowiązkowym mieści się w przedziale 19,17 zł/rok – 28 236,99 zł/rok, zaś dla uEV w trybie opcjonalnym 21,55 zł/rok – 31 741,55 zł/rok. Zgodnie z założeniami Programu V2X, realizacja usług interwencyjnych powinna być bardziej intratna niż harmonogramowanych. Dla tych samych założeń stawki rocznego wynagrodzenia wynoszą: dla trybu obowiązkowego 26,31 zł – 38 750,37 zł oraz dla trybu opcjonalnego 29,48 zł – 43 422,98 zł. Na drugim końcu skali rozpatrywanych przypadków, tj. dla poziomu elektryfikacji transportu F (80%) oraz poziomu liczebności EndUs VIII (500 000) wartości rocznego wynagrodzenia za udostępnioną energię z uEV są mniejsze niż dla wyżej opisanego przypadku. W przypadku Wariantu UH można mówić o rocznym wynagrodzeniu w przedziale: dla trybu obowiązkowego 5,82 zł – 8566,86 zł oraz dla trybu opcjonalnego 6,50 zł – 9580,03

zł. W przypadku Wariantu UI wartości te są nieznacznie większe, lecz w krytycznym przypadku nie przekraczają 13 000 zł/rok. Dalsza analiza pozostałych przypadków potwierdziła uprzednio postawioną tezę, że wraz ze wzrostem liczby usługobiorców i zmniejszeniem liczby usługodawców stawki wynagrodzenia będą rosły do kwot osiagających nawet kilka milionów złotych/rok. Niemniej jednak należy pamiętać, o przedstawionych na Rys. 8.14 – Rys. 8.16 zdarzeniach, w których usługi V2X nie mogą być zrealizowane. Wynika to z faktu nadmiernego obciążenia uEV procesami rozładowania baterii.

Posiadając informacje o wszystkich składnikach wynagrodzenia uEV za realizację usługi V2X UH-RZOK lub UI-RZOK można obliczyć całkowite wynagrodzenie dla V2Xus w odniesieniu do danego uEV w rocznym horyzoncie czasowym. Obliczono je zgodnie ze wzorami (6.11) i (6.16). W Tab. 8.25 – Tab. 8.28 przedstawiono wybrane wyniki symulacyjne dla dwóch wariantów symulacyjnych przy założeniu: poziomu **IV** liczebności odbiorców i poziomu **C** elektryfikacji transportu (Tab. 8.25), poziomu **VII** liczebności odbiorców i poziomu **D** elektryfikacji transportu (Tab. 8.26) oraz dla przypadków granicznych, tj. poziomu **I** liczebności EndUs i poziomu **A** elektryfikacji transportu (Tab. 8.27), a także dla poziomu **VIII** liczebności EndUs i poziomu **F** elektryfikacji transportu (Tab. 8.28).

Tab. 8.25. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wynagrodzenie za realizację usług V2X przez 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	3,17	1,51	3,63	2,02
	50%	5,20	3,78	6,35	5,05
	90%	7,92	6,80	9,99	9,10
V2X_LOLE_30h	20%	7,04	5,83	8,82	7,80
	50%	14,90	14,56	19,33	19,50
	90%	25,36	26,22	33,35	35,09
V2X_LOLE_103h	20%	21,20	21,58	27,77	28,88
	50%	50,27	53,94	66,71	72,20
	90%	89,04	97,09	118,63	129,97
V2X_LOLE_2294h	20%	445,91	494,31	596,55	661,69
	50%	1 112,07	1 235,78	1 488,65	1 654,22
	90%	2 000,27	2 224,41	2 678,13	2 977,59

Tab. 8.26. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wynagrodzenie za realizację usług V2X przez 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	50,23	5,51	51,89	7,35
	50%	57,67	13,77	61,81	18,38
	90%	67,58	24,79	75,04	33,09
V2X_LOLE_30h	20%	64,39	21,25	70,79	28,36
	50%	93,07	53,12	109,06	70,90
	90%	131,30	95,62	160,09	127,62
V2X_LOLE_103h	20%	116,08	78,70	139,78	105,03
	50%	222,28	196,76	281,53	262,58
	90%	363,89	354,16	470,53	472,65
V2X_LOLE_2294h	20%	1 667,39	1 803,09	2 210,31	2 406,33
	50%	4 100,56	4 507,71	5 457,85	6 015,82
	90%	7 344,79	8 113,89	9 787,91	10 828,47

Tab. 8.27. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wynagrodzenie za realizację usług V2X przez 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	22,19	22,76	29,33	30,70
	50%	52,77	56,91	70,61	76,74
	90%	93,53	102,44	125,66	138,13
V2X_LOLE_30h	20%	80,43	87,80	107,96	118,40
	50%	198,37	219,51	267,20	295,99
	90%	355,62	395,11	479,52	532,78
V2X_LOLE_103h	20%	293,01	325,19	394,99	438,50
	50%	729,81	812,98	984,75	1 096,26
	90%	1 312,21	1 463,37	1 771,11	1 973,26
V2X_LOLE_2294h	20%	6 673,23	7 450,19	9 009,54	10 046,09
	50%	16 680,37	18 625,49	22 521,14	25 115,23
	90%	30 023,22	33 525,87	40 536,60	45 207,41

Tab. 8.28. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wynagrodzenie za realizację usług V2X przez 1 uEV [zł]			
		Wariant UH		Wariant UI	
		Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny	Tryb obowiązkowy	Tryb opcjonalny
V2X_LOLE_10h	20%	76,91	6,85	78,97	9,15
	50%	86,16	17,14	91,32	22,87
	90%	98,49	30,85	107,78	41,17
V2X_LOLE_30h	20%	94,53	26,44	102,49	35,29
	50%	130,21	66,10	150,11	88,21
	90%	177,79	118,98	213,61	158,78
V2X_LOLE_103h	20%	158,84	97,93	188,33	130,69
	50%	291,00	244,82	364,70	326,72
	90%	467,20	440,68	599,87	588,09
V2X_LOLE_2294h	20%	2 089,13	2 243,54	2 764,58	2 994,03
	50%	5 116,72	5 608,84	6 805,33	7 485,08
	90%	9 153,50	10 095,92	12 193,00	13 473,14

Na podstawie Tab. 8.25 – Tab. 8.28 oraz innych zrealizowanych symulacji stwierdzono, że wartości graniczne rocznego wynagrodzenia dla V2Xus świadczącego usługi V2X za pomocą pojazdu w trybie opcjonalnym (uEV_{op}) mieszczą się w przedziale 10 000 – 15 000 zł. W przypadku pojazdów świadczących usługi w trybie obowiązkowym (uEV_{man}) wartości graniczne nie zależą wyłącznie od przesyłanego wolumenu, ale również od bonifikaty za gotowość. W złe „wyskalowanych” Programach V2X opłata ta mogłaby wynosić nawet kilkaset tysięcy złotych lub miliony złotych (Tab. 8.22). Dodatkowo należy wziąć pod uwagę możliwość zrealizowania usług V2X, uwzględniając założenia dot. nienadmiernego obciążania baterii uEV. W Tab. 8.25 – Tab. 8.28 zaznaczono kolorem czerwonym przypadki, dla których realizacja usług nie jest możliwa, na podstawie Rys. 8.14 – Rys. 8.16. Należy zwrócić uwagę jeszcze na jeden aspekt, mianowicie na tryb realizacji usługi przez V2Xus. Przy założeniu dużego zapotrzebowania na udostępnianą energię z baterii uEV oraz dobrze „wyskalowanym” Programie V2X, V2Xus w odniesieniu do swoich pojazdów świadczących usługi w trybie obowiązkowym tracą przewagę nad tymi uEV, które realizują usługi w trybie opcjonalnym. Dzieje się tak, gdyż dla uEV_{op} iloczyn współczynników premii za udostępnienie wolumenu energii oraz tego wolumenu jest znacznie większy niż suma opłaty za gotowość oraz ww. iloczynu dla uEV_{man} . Powyższa obserwacja może stanowić zachętę ekonomiczną dla mniej zdecydowanych i zorientowanych użytkowników EV, którzy chcieliby przystąpić do Programu V2X. Niemniej jednak przy dużych dysproporcjach między liczbą EndUs, a liczbą uEV (mała podaż usług, tj. mała liczba uEV) należy rozważać wyłącznie realizację usług w trybie obowiązkowym, ze względu na wysoką opłatę za gotowość. Po raz kolejny warto podkreślić, jak istotne jest prawidłowe wyznaczenie zbioru odbiorców końcowych V2X w stosunku do liczby uEV, które uczestniczą w Programie V2X. Ma to wpływ na kalkulację wynagrodzeń dla usługodawcy, biorąc pod uwagę możliwość realizacji usług V2X, jak również realistyczne stawki dla usługobiorców. Należy również zastanowić się nad pierwszą obserwacją opisaną w niniejszym akapicie, tj. granicznym wynagrodzeniem dla uEV_{op} mieszczącym się w przedziale 10 000 zł - 15 000 zł. Sprawdzono także, czy przy dobrym „wyskalowaniu” Programu V2X istnieje możliwość, że ww. kwota stanowi także graniczne wynagrodzenie dla uEV_{man} . W Tab. 8.29 przedstawiono maksymalne wartości rocznego wynagrodzenia dla uEV_{op} i uEV_{man} , dla wybranych przypadków symulacyjnych poszukujących „dobrego wyskalowania”, w których zachodzi możliwość realizacji usługi V2X (tj. dla danej pozycji w tabeli mogą występować inne przypadki stopnia zabezpieczenia wolumenu energii przez usługi V2X).

Tab. 8.29. Wybrane wartości maksymalnego rocznego wynagrodzenia dla V2Xus za realizację usług V2X przez 1 uEV

Usługodawcy		Usługobiorcy		Stosunek liczby EndUs do liczby uEV	Roczne wynagrodzenie za realizację usług V2X przez 1 uEV [zł]			
Poziom	Liczba uEV	Poziom	Liczba EndUs		Wariant UH		Wariant UI	
					Tryb <i>obowiązkowy</i>	Tryb <i>opcjonalny</i>	Tryb <i>obowiązkowy</i>	Tryb <i>opcjonalny</i>
A	467	II	502	1,07	7 734,09	8 582,66	10 415,28	11 561,75
A	467	III	1 002	2,15	2 006,92	2 037,02	2 639,15	2 739,49
B	4 663	IV	5 003	1,07	5 595,83	6 178,13	7 478,52	8 270,01
B	4 663	V	10 002	2,14	3 977,30	4 223,00	5 257,60	5 645,56
C	23 312	VI	50 002	2,14	8 451,87	9 194,36	11 222,64	12 272,99
D	93 247	VII	100 002	1,07	7 344,79	8 113,89	9 787,91	10 828,47
E	233 116	VIII	500 002	2,14	8 254,67	8 974,16	10 956,45	11 976,14

Na podstawie Tab. 8.29 można stwierdzić, że maksymalne wynagrodzenie dla V2Xus w odniesieniu do 1 uEV, dla wybranych przypadków, mieści się w przedziale 10 000 – 15 000 zł, zarówno dla uEV_{man} , jak i uEV_{op} . Można także zaobserwować silną zależność pomiędzy wysokością wynagrodzenia a możliwością realizacji usługi V2X. Dla przypadku opisanego w drugim wierszu Tab. 8.29 istnieje możliwość zrealizowania usługi, wówczas gdy wolumen energii elektrycznej odpowiada temu opisanemu za pomocą przypadku symulacyjnego *V2X_LOLE_103h* oraz przy stopniu wykorzystania usług V2X równym 90%. W pozostałych przypadkach opisanych w Tab. 8.29 można zrealizować usługi V2X do wartości wolumenu w sytuacjach odpowiadających przypadkom symulacyjnym *V2X_LOLE_2294h* oraz przy stopniu wykorzystania usług V2X równym 20%, 50% lub 90%.

8.2.6. Obliczenie efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X

Posiadając informację o jednostkowych opłatach uiszczanych przez EndUs na rzecz V2Xsp oraz wynagrodzeniach, które muszą otrzymać V2Xus w odniesieniu do swoich uEV można przejść do obliczenia efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X. Należy jednak w pierwszej kolejności wprowadzić pewne założenia uproszczające obliczenia. Założono, że po stronie wydatków ponoszonych przez V2Xsp nie uwzględnia się kosztów amortyzacji, stąd też obliczony zostanie wskaźnik EBITDA, jako ten określający efektywność gospodarczą V2Xsp. Kolejne założenie dotyczy braku uwzględnienia składników kar za niewykonanie usługi przez V2Xus oraz EndUs. Z punktu widzenia efektywności gospodarczej V2Xsp ww. parametry nie mają wpływu na obliczone wskaźniki EBITDA, gdyż V2Xsp w ich rozliczaniu stanowi tylko funkcję pośrednika pomiędzy stronami. Stąd też nie wpływają one na końcowy zysk przedsiębiorstwa. Jedyny składnik kar, który został uwzględniony w symulacjach dotyczy zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp, tj. kosztu energii elektrycznej niedostarczonej usługobiorcom w czasie realizacji usług V2X, w wyniku awarii systemu teleinformatycznego

do prowadzenia rozliczeń. Ten parametr wpływa na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa, gdyż jest zależny wyłącznie od działań V2Xsp. Zgodnie ze wzorem (6.19) koszt ten jest uzależniony od stawki za udostępnianą energię elektryczną z uEV, w tym przypadku stawek referencyjnych $k_{da,s}^{REF}$, które są równe wskaźnikom VoLA lub VoLL. Należy jednak podkreślić, że koszt niedostarczenia energii elektrycznej wynikający z awarii systemów V2Xsp jest niezależny od liczby uEV, stąd też poddano analizie jedynie zmianę ww. kosztów w funkcji liczebności EndUs. W Tab. 8.30 – Tab. 8.33 przedstawiono wybrane wyniki obliczeń rocznych kosztów zmiennych operacyjnych V2Xsp dla dwóch wariantów symulacyjnych przy założeniu poziomów liczebności odbiorców:

- poziomu I (Tab. 8.30),
- poziomu IV (Tab. 8.31),
- poziomu VII (Tab. 8.32),
- poziomu VIII (Tab. 8.33).

Tab. 8.30. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom I liczebności EndUs

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne koszty operacyjne zmienne V2Xsp [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	702,29	905,15
	50%	1 755,71	2 262,87
	90%	3 160,29	4 073,16
V2X_LOLE_30h	20%	2 708,82	3 491,28
	50%	6 772,04	8 728,21
	90%	12 189,68	15 710,78
V2X_LOLE_103h	20%	10 032,66	12 930,68
	50%	25 081,64	32 326,70
	90%	45 146,95	58 188,07
V2X_LOLE_2294h	20%	229 848,14	296 241,91
	50%	574 620,36	740 604,77
	90%	1 034 316,65	1 333 088,59

Tab. 8.31. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom IV liczebności EndUs

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne koszty operacyjne zmienne V2Xsp [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	1 830,31	2 784,49
	50%	4 575,78	6 961,21
	90%	8 236,40	12 530,18
V2X_LOLE_30h	20%	7 059,77	10 740,16
	50%	17 649,44	26 850,40
	90%	31 768,98	48 330,71
V2X_LOLE_103h	20%	26 147,31	39 778,36
	50%	65 368,28	99 445,91
	90%	117 662,90	179 002,64
V2X_LOLE_2294h	20%	599 034,92	911 322,32
	50%	1 497 587,29	2 278 305,81
	90%	2 695 657,12	4 100 950,46

Tab. 8.32. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom VII liczebności EndUs

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne koszty operacyjne zmienne V2Xsp [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	23 777,31	39 344,93
	50%	59 443,28	98 362,32
	90%	106 997,90	177 052,17
V2X_LOLE_30h	20%	91 712,49	151 759,00
	50%	229 281,22	379 397,51
	90%	412 706,19	682 915,51
V2X_LOLE_103h	20%	339 675,88	562 070,38
	50%	849 189,69	1 405 175,95
	90%	1 528 541,45	2 529 316,71
V2X_LOLE_2294h	20%	7 781 974,34	12 877 032,38
	50%	19 454 935,86	32 192 580,96
	90%	35 018 884,55	57 946 645,73

Tab. 8.33. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom VIII liczebności EndUs

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne koszty operacyjne zmienne V2Xsp [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	118 143,03	195 754,24
	50%	295 357,58	489 385,61
	90%	531 643,64	880 894,09
V2X_LOLE_30h	20%	455 694,55	755 052,08
	50%	1 139 236,37	1 887 630,19
	90%	2 050 625,47	3 397 734,35
V2X_LOLE_103h	20%	1 687 757,59	2 796 489,17
	50%	4 219 393,97	6 991 222,94
	90%	7 594 909,15	12 584 201,29
V2X_LOLE_2294h	20%	38 666 526,35	64 067 566,99
	50%	96 666 315,88	160 168 917,47
	90%	173 999 368,58	288 304 051,45

Zgodnie z oczekiwaniami wysokość rocznych kosztów operacyjnych zmiennych V2Xsp rośnie wraz z liczbą EndUs oraz stopniem wykorzystania usługi V2X, tj. wielkością wolumenu energii elektrycznej zabezpieczanego przez V2Xsp.

Po zdefiniowaniu brakującego składnika do obliczenia wskaźnika EBITA dla V2Xsp należy obliczyć przychód jaki Dostawca Usług V2X uzyska w ciągu roku kalendarzowego (12 okresów rozliczeniowych). Jest on zależny od liczby usługobiorców oraz od rodzaju świadczonych usług. W niniejszych symulacjach rozpatruje się wyłącznie warianty, w których świadczy się jeden rodzaj usługi (UH-RZOK lub UI-RZOK). Można zatem określić, że są to warianty graniczne, gdyż dla nich uzyskuje się największe lub najmniejsze wartości przychodów (w przypadku realizacji usług z grupy rezerwowego zasilania odbiorcy końcowego). W Tab. 8.34 – Tab. 8.37 przedstawiono zestawienie rocznych przychodów V2Xsp IN_{V2Xsp}^{TOTAL} dla wybranych przypadków symulacyjnych w podziale na Warianty UH i UI.

Tab. 8.34. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne przychody V2Xsp IN_{V2Xsp}^{TOTAL} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	12 982 622,56	13 078 039,92
	50%	13 257 169,63	13 495 713,05
	90%	13 623 232,40	14 052 610,55
V2X_LOLE_30h	20%	13 505 568,80	13 873 607,21
	50%	14 564 535,23	15 484 631,26
	90%	15 976 490,47	17 632 663,33
V2X_LOLE_103h	20%	15 414 322,57	16 777 427,80
	50%	19 336 419,65	22 744 182,73
	90%	24 565 882,44	30 699 855,97
V2X_LOLE_2294h	20%	72 703 082,98	103 931 823,81
	50%	162 558 320,69	240 630 172,76
	90%	282 365 304,30	422 894 638,03

Tab. 8.35. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne przychody V2Xsp IN_{V2Xsp}^{TOTAL} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	171 257 407,34	172 814 168,86
	50%	174 824 004,35	178 715 908,14
	90%	179 579 467,03	186 584 893,85
V2X_LOLE_30h	20%	178 050 924,89	184 055 576,44
	50%	191 807 798,21	206 819 427,09
	90%	210 150 295,97	237 171 227,96
V2X_LOLE_103h	20%	202 847 263,91	225 086 714,11
	50%	253 798 645,78	309 397 271,27
	90%	321 733 821,59	421 811 347,49
V2X_LOLE_2294h	20%	947 077 110,61	1 456 582 914,68
	50%	2 114 373 262,52	3 388 137 772,70
	90%	3 670 768 131,73	5 963 544 250,06

Tab. 8.36. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne przychody V2Xsp IN_{V2Xsp}^{TOTAL} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	4 916 726,64	4 937 012,82
	50%	5 022 069,82	5 072 785,27
	90%	5 162 527,41	5 253 815,21
V2X_LOLE_30h	20%	5 117 379,75	5 195 626,44
	50%	5 523 702,61	5 719 319,33
	90%	6 065 466,43	6 417 576,52
V2X_LOLE_103h	20%	5 849 763,63	6 139 566,18
	50%	7 354 662,30	8 079 168,67
	90%	9 361 193,87	10 665 305,33
V2X_LOLE_2294h	20%	27 831 312,54	34 470 688,88
	50%	62 308 534,58	78 906 975,43
	90%	108 278 163,96	138 155 357,49

Tab. 8.37. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne przychody V2Xsp IN_{V2Xsp}^{TOTAL} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	840 531 917,91	848 293 039,02
	50%	858 253 372,89	877 656 175,65
	90%	881 881 979,53	916 807 024,49
V2X_LOLE_30h	20%	874 287 069,68	904 222 822,51
	50%	942 641 252,32	1 017 480 634,38
	90%	1 033 780 162,49	1 168 491 050,21
V2X_LOLE_103h	20%	997 493 373,64	1 108 366 532,25
	50%	1 250 657 012,21	1 527 839 908,74
	90%	1 588 208 530,31	2 087 137 744,06
V2X_LOLE_2294h	20%	4 695 370 249,98	7 235 474 313,77
	50%	10 495 349 203,06	16 845 609 362,52
	90%	18 228 654 473,83	29 659 122 760,87

Na podstawie Tab. 8.34 – Tab. 8.37 można stwierdzić, że łączne roczne przychody V2Xsp z tytułu świadczenia usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK są silnie zależne od liczby odbiorców końcowych V2X oraz iloczynu wolumenu energii elektrycznej zabezpieczanej i stopnia wykorzystania usługi V2X. Analizując dane tabelaryczne można zauważyć też pewien trend, który obserwuje się w poprzednich obliczeniach, tj. dla przypadków V2X_LOLE_10h_90% oraz V2X_LOLE_30h_90% odnotowuje się większe przychody niż dla V2X_LOLE_30h_20% i V2X_LOLE_103h_20%. Należy zwrócić też uwagę, że realizacja usług interwencyjnych (UI-RZOK) przynosi znacznie większe przychody niż realizacja usług harmonogramowanych (UH-RZOK). W krytycznych przypadkach różnica może wynosić nawet 60% - w szczególności dla przypadków o dużym stopniu wykorzystania. Jednakże warto pamiętać, że wiąże się to także z większym ryzykiem realizacji usług, co w przypadku uwzględnienia wszystkich składników kar za brak realizacji usługi mogłoby pogorszyć wynik finansowy przedsiębiorstwa.

Kolejnym elementem potrzebnym do wyznaczenia wartości EBITDA jest określenie sumarycznych wydatków ponoszonych przez V2Xsp w ciągu roku. Składają się na nie: koszty stałe, wynagrodzenia dla uEV_{man} i uEV_{op} oraz koszty zmienne operacyjne tożsame z karą za niezrealizowanie usługi ze względu na awarie systemów teleinformatycznych. W Tab. 8.38 i Tab. 8.39 przedstawiono roczne wydatki ponoszone przez V2Xsp CST_{V2Xsp} , z uwzględnieniem podziału na ww. kategorie kosztów dla następujących przypadków:

- Wariant UH, Poziom liczebności EndUs: IV, Poziom elektryfikacji transportu: C;
- Wariant UI, Poziom liczebności EndUs: IV, Poziom elektryfikacji transportu: C.

Natomiast w Tab. 8.40 - Tab. 8.42 przedstawiono sumaryczne (bez podziału na kategorie) wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} dla następujących przypadków symulacyjnych:

- *Wariant UH* oraz *Wariant UI*, Poziom liczebności EndUs: **VII**, Poziom elektryfikacji transportu: **D**;
- *Wariant UH* oraz *Wariant UI*, Poziom liczebności EndUs: **I**, Poziom elektryfikacji transportu: **A**;
- *Wariant UH* oraz *Wariant UI*, Poziom liczebności EndUs: **VIII**, Poziom elektryfikacji transportu: **F**

Tab. 8.38. Wartości rocznych wydatków V2Xsp w podziale na kategorie kosztów – *Wariant UH*, Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} [zł]				
		Wynagrodzenia uEV _{man}	Wynagrodzenia uEV _{op}	Koszty stałe	Koszty zmienne operacyjne	Suma
V2X_LOLE_10h	20%	56 021,84	8 500,21	12 776 567,76	1 830,31	12 842 920,12
	50%	92 015,61	21 250,52		4 575,78	12 894 409,67
	90%	140 007,30	38 250,94		8 236,40	12 963 062,41
V2X_LOLE_30h	20%	124 581,40	32 786,52		7 059,77	12 940 995,46
	50%	263 414,51	81 966,31		17 649,44	13 139 598,01
	90%	448 525,33	147 539,35		31 768,98	13 404 401,42
V2X_LOLE_103h	20%	374 823,80	121 431,56		26 147,31	13 298 970,43
	50%	889 020,50	303 578,91		65 368,28	14 034 535,46
	90%	1 574 616,11	546 442,04		117 662,90	15 015 288,82
V2X_LOLE_2294h	20%	7 885 523,69	2 781 997,14		599 034,92	24 043 123,51
	50%	19 665 770,23	6 954 992,85		1 497 587,29	40 894 918,14
	90%	35 372 765,63	12 518 987,13		2 695 657,12	63 363 977,64

Tab. 8.39. Wartości rocznych wydatków V2Xsp w podziale na kategorie kosztów – *Wariant UI*, Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} [zł]				
		Wynagrodzenia uEV _{man}	Wynagrodzenia uEV _{op}	Koszty stałe	Koszty zmienne operacyjne	Suma
V2X_LOLE_10h	20%	64 161,01	11 378,34	12 776 567,76	2 784,49	12 854 891,60
	50%	112 363,53	28 445,86		6 961,21	12 924 338,37
	90%	176 633,56	51 202,55		12 530,18	13 016 934,06
V2X_LOLE_30h	20%	155 975,34	43 887,90		10 740,16	12 987 171,16
	50%	341 899,36	109 719,75		26 850,40	13 255 037,27
	90%	589 798,05	197 495,55		48 330,71	13 612 192,08
V2X_LOLE_103h	20%	491 097,65	162 547,78		39 778,36	13 469 991,55
	50%	1 179 705,13	406 369,45		99 445,91	14 462 088,25
	90%	2 097 848,44	731 465,01		179 002,64	15 784 883,84
V2X_LOLE_2294h	20%	10 549 357,59	3 723 969,62		911 322,32	27 961 217,30
	50%	26 325 354,99	9 309 924,05		2 278 305,81	50 690 152,61
	90%	47 360 018,18	16 757 863,29		4 100 950,46	80 995 399,69

Tab. 8.40. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	170 279 658,82	170 454 057,79
	50%	171 027 229,87	171 463 227,29
	90%	172 023 991,27	172 808 786,62
V2X_LOLE_30h	20%	171 703 603,68	172 376 285,40
	50%	174 587 092,02	176 268 796,33
	90%	178 431 743,13	181 458 810,89
V2X_LOLE_103h	20%	176 901 002,41	179 392 416,20
	50%	187 580 588,84	193 809 123,31
	90%	201 820 037,41	213 031 399,47
V2X_LOLE_2294h	20%	332 894 161,53	389 972 451,45
	50%	577 563 486,63	720 259 211,45
	90%	903 789 253,44	1 160 641 558,10

Tab. 8.41. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	4 857 154,64	4 860 780,78
	50%	4 872 890,45	4 881 955,79
	90%	4 893 871,54	4 910 189,15
V2X_LOLE_30h	20%	4 887 127,62	4 901 114,14
	50%	4 947 822,90	4 982 789,21
	90%	5 028 749,95	5 091 689,31
V2X_LOLE_103h	20%	4 996 528,99	5 048 330,94
	50%	5 221 326,34	5 350 831,20
	90%	5 521 056,13	5 754 164,87
V2X_LOLE_2294h	20%	8 280 068,86	9 466 851,39
	50%	13 430 175,99	16 397 132,32
	90%	20 296 985,51	25 637 506,90

Tab. 8.42. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Roczne wydatki V2Xsp CST_{V2Xsp} [zł]	
		Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	836 833 197,19	837 701 214,36
	50%	840 553 660,75	842 723 703,67
	90%	845 514 278,83	849 420 356,09
V2X_LOLE_30h	20%	843 919 794,44	847 267 860,67
	50%	858 270 153,88	866 640 319,44
	90%	877 403 966,45	892 470 264,47
V2X_LOLE_103h	20%	869 785 874,41	882 186 119,69
	50%	922 935 353,78	953 935 966,99
	90%	993 801 326,29	1 049 602 430,05
V2X_LOLE_2294h	20%	1 646 122 603,17	1 930 212 222,57
	50%	2 863 777 175,69	3 574 001 224,18
	90%	4 487 316 605,71	5 765 719 892,99

Po obliczeniu całkowitych przychodów oraz wydatków V2Xsp w danym roku kalendarzowym należy obliczyć wartości wskaźnika EBITDA zgodnie ze wzorem (6.22). Wykonano 1152 symulacje, z których 1048 zakończyło się uzyskaniem wartości wskaźnika

EBITDA niemniejszego od 0. Stanowi to około 91% rozpatrywanych przypadków. Największą wartość wskaźnika EBITDA równą 23 893 402 867,87 zł odnotowano dla przypadku symulacyjnego: Wariant **UI**, V2X_LOLE_2294h, st = 90%, Poziom **VIII** liczebności EndUs, Poziom **F** elektryfikacji transportu. Najmniejsza uzyskana wartość w symulacjach jest równa -4 491 475 884,19 zł i odpowiada przypadkowi symulacji: Wariant **UH**, V2X_LOLE_10h, st = 20%, Poziom **VIII** liczebności EndUs, Poziom **A** elektryfikacji transportu. Są to wartości graniczne, obie niemożliwe do zrealizowania ze względu na nadmierną liczbę rozładowań uEV w ciągu okresu rozliczeniowego. W dalszej części analizy skupiono się na uprzednio przedstawianych przypadkach. W Tab. 8.43 – Tab. 8.46 przedstawiono wartości wskaźnika EBITDA dla następujących przypadków symulacyjnych:

- Wariant **UH** oraz Wariant **UI**, Poziom liczebności EndUs: **IV** Poziom elektryfikacji transportu: **C**;
- Wariant **UH** oraz Wariant **UI**, Poziom liczebności EndUs: **VII**, Poziom elektryfikacji transportu: **D**;
- Wariant **UH** oraz Wariant **UI**, Poziom liczebności EndUs: **I**, Poziom elektryfikacji transportu: **A**;
- Wariant **UH** oraz Wariant **UI**, Poziom liczebności EndUs: **VIII**, Poziom elektryfikacji transportu: **F**.

Tab. 8.43. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przychody [tys. zł]		Wydatki [tys. zł]		EBITDA [tys. zł]	
		Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	12 982,62	13 078,04	12 842,92	12 854,89	139,70	223,15
	50%	13 257,17	13 495,71	12 894,41	12 924,34	362,76	571,37
	90%	13 623,23	14 052,61	12 963,06	13 016,93	660,17	1 035,68
V2X_LOLE_30h	20%	13 505,57	13 873,61	12 941,00	12 987,17	564,57	886,44
	50%	14 564,54	15 484,63	13 139,60	13 255,04	1 424,94	2 229,59
	90%	15 976,49	17 632,66	13 404,40	13 612,19	2 572,09	4 020,47
V2X_LOLE_103h	20%	15 414,32	16 777,43	13 298,97	13 469,99	2 115,35	3 307,44
	50%	19 336,42	22 744,18	14 034,54	14 462,09	5 301,88	8 282,09
	90%	24 565,88	30 699,86	15 015,29	15 784,88	9 550,59	14 914,97
V2X_LOLE_2294h	20%	72 703,08	103 931,82	24 043,12	27 961,22	48 659,96	75 970,61
	50%	162 558,32	240 630,17	40 894,92	50 690,15	121 663,40	189 940,02
	90%	282 365,30	422 894,64	63 363,98	80 995,40	219 001,33	341 899,24

Tab. 8.44. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom **VII** liczebności EndUs, Poziom **D** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przychody [tys. zł]		Wydatki [tys. zł]		EBITDA [tys. zł]	
		Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	171 257,41	172 814,17	170 279,66	170 454,06	977,75	2 360,11
	50%	174 824,00	178 715,91	171 027,23	171 463,23	3 796,77	7 252,68
	90%	179 579,47	186 584,89	172 023,99	172 808,79	7 555,48	13 776,11

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przychody [tys. zł]		Wydatki [tys. zł]		EBITDA [tys. zł]	
		Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_30h	20%	178 050,92	184 055,58	171 703,60	172 376,29	6 347,32	11 679,29
	50%	191 807,80	206 819,43	174 587,09	176 268,80	17 220,71	30 550,63
	90%	210 150,30	237 171,23	178 431,74	181 458,81	31 718,55	55 712,42
V2X_LOLE_103h	20%	202 847,26	225 086,71	176 901,00	179 392,42	25 946,26	45 694,30
	50%	253 798,65	309 397,27	187 580,59	193 809,12	66 218,06	115 588,15
	90%	321 733,82	421 811,35	201 820,04	213 031,40	119 913,78	208 779,95
V2X_LOLE_2294h	20%	947 077,11	1 456 582,91	332 894,16	389 972,45	614 182,95	1 066 610,46
	50%	2 114 373,26	3 388 137,77	577 563,49	720 259,21	1 536 809,78	2 667 878,56
	90%	3 670 768,13	5 963 544,25	903 789,25	1 160 641,56	2 766 978,88	4 802 902,69

Tab. 8.45. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przychody [tys. zł]		Wydatki [tys. zł]		EBITDA [tys. zł]	
		Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	4 916,73	4 937,01	4 857,15	4 860,78	59,57	76,23
	50%	5 022,07	5 072,79	4 872,89	4 881,96	149,18	190,83
	90%	5 162,53	5 253,82	4 893,87	4 910,19	268,66	343,63
V2X_LOLE_30h	20%	5 117,38	5 195,63	4 887,13	4 901,11	230,25	294,51
	50%	5 523,70	5 719,32	4 947,82	4 982,79	575,88	736,53
	90%	6 065,47	6 417,58	5 028,75	5 091,69	1 036,72	1 325,89
V2X_LOLE_103h	20%	5 849,76	6 139,57	4 996,53	5 048,33	853,23	1 091,24
	50%	7 354,66	8 079,17	5 221,33	5 350,83	2 133,34	2 728,34
	90%	9 361,19	10 665,31	5 521,06	5 754,16	3 840,14	4 911,14
V2X_LOLE_2294h	20%	27 831,31	34 470,69	8 280,07	9 466,85	19 551,24	25 003,84
	50%	62 308,53	78 906,98	13 430,18	16 397,13	48 878,36	62 509,84
	90%	108 278,16	138 155,36	20 296,99	25 637,51	87 981,18	112 517,85

Tab. 8.46. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Przychody [tys. zł]		Wydatki [tys. zł]		EBITDA [tys. zł]	
		Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI	Wariant UH	Wariant UI
V2X_LOLE_10h	20%	840 531,92	848 293,04	836 833,20	837 701,21	3 698,72	10 591,82
	50%	858 253,37	877 656,18	840 553,66	842 723,70	17 699,71	34 932,47
	90%	881 881,98	916 807,02	845 514,28	849 420,36	36 367,70	67 386,67
V2X_LOLE_30h	20%	874 287,07	904 222,82	843 919,79	847 267,86	30 367,28	56 954,96
	50%	942 641,25	1 017 480,63	858 270,15	866 640,32	84 371,10	150 840,31
	90%	1 033 780,16	1 168 491,05	877 403,97	892 470,26	156 376,20	276 020,79
V2X_LOLE_103h	20%	997 493,37	1 108 366,53	869 785,87	882 186,12	127 707,50	226 180,41
	50%	1 250 657,01	1 527 839,91	922 935,35	953 935,97	327 721,66	573 903,94
	90%	1 588 208,53	2 087 137,74	993 801,33	1 049 602,43	594 407,20	1 037 535,31
V2X_LOLE_2294h	20%	4 695 370,25	7 235 474,31	1 646 122,60	1 930 212,22	3 049 247,65	5 305 262,09
	50%	10 495 349,20	16 845 609,36	2 863 777,18	3 574 001,22	7 631 572,03	13 271 608,14
	90%	18 228 654,47	29 659 122,76	4 487 316,61	5 765 719,89	13 741 337,87	23 893 402,87

Na podstawie Tab. 8.43 – Tab. 8.46 można stwierdzić, że dla zaprezentowanych przypadków realizacji Programu V2X osiąga się efektywność gospodarczą prowadzenia takiego przedsięwzięcia. Wskaźnik EBITDA dla wszystkich przypadków jest większy od 0, a dla znaczącej większości przypadków jest on wyrażony w milionach złotych. W powyższych tabelach zaznaczono jednak przypadki, których nie da się zrealizować, aby spełniały założenia przyjęte w symulacjach (rozładowanie uEV więcej niż jeden raz dziennie). Zostały one

zaznaczone za pomocą przekreślenia – łącznie 3 przypadki przedstawione w Tab. 8.45 – Tab. 8.46. Po raz kolejny można zaobserwować, że „dobre wyskalowanie” Programu V2X pozwoli na przyniesienie zysków dla wszystkich uczestniczących stron. Mowa o przypadku opisanym w Tab. 8.44. Udowodniono wcześniej, że utrzymanie odpowiedniego stosunku pomiędzy liczbą EndUs a liczbą uEV wpływa na obniżenie stawek, a także pozwala uzyskać zysk operacyjny przedsiębiorstwa V2Xsp w przedziale 977,75 tys. zł – 2,766 mld zł dla Wariantu UH oraz 2,36 mln zł – 4,802 mld zł dla Wariantu UI. W przypadku symulacyjnym opisanym w Tab. 8.43, kiedy liczba uEV jest znacznie większa niż liczba zabezpieczanych EndUs, V2Xsp może liczyć na uzyskanie wartości wskaźnika EBITDA w przedziałach 139.7 tys. zł – 219 mln zł dla Wariantu UH oraz 223,1 tys. zł – 341 mln zł dla Wariantu UI. Należy jednak podkreślić, że w przeprowadzonych analizach zastosowano pewne uproszczenia, które mogą nie odzwierciedlać rzeczywistych kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwo, które chciałoby realizować Program V2X. Warto także zaznaczyć, że rolę V2Xsp mogą pełnić inne przedsiębiorstwa energetyczne, w szczególności spółki obrotu energią elektryczną. Należałoby wówczas wykonać ponowną analizę kosztów stałych ponoszonych przez to przedsiębiorstwo. Niezależnie od otrzymanych wyników można stwierdzić jednoznacznie, że do oceny efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa zarządzającego Programem V2X można zastosować model ekonomiczny wykorzystujący wskaźniki VoLL i VoLA.

8.2.7. Optymalizacja stawek za udostępnienie energii elektrycznej – wybrane przypadki

Na podstawie uprzednio przedstawionych obserwacji z wykonanych symulacji można stwierdzić, że stawki za udostępnianą energię elektryczną z uEV równe wskaźnikom VoLA lub VoLL pozwalają na osiągnięcie efektywności gospodarczej V2Xsp. Jednakże omawiane wcześniej stawki referencyjne są wartościami relatywnie dużymi dla odbiorców końcowych, w szczególności kiedy zestawimy je z cenami za energię elektryczną. Różnice te mogą być nawet kilkunastokrotne. Zatem zdecydowano się na poszerzenie zakresu przeprowadzonych analiz o możliwość optymalizacji stawek za udostępnienie energii elektrycznej z uEV, przy założeniu że wskaźnik EBITDA (w przypadku uproszczeń zastosowanych w symulacjach) będzie większy od 0. Zadanie optymalizacyjne zostało zdefiniowane za pomocą wzoru (6.25), przy czym dla składników $PEN_{V2Xsp,i,s}^{ALG}$ oraz $K_{D\&A}$ należy przyjąć wartości równe 0. W następnej kolejności obliczono wartości ograniczeń, przedstawionych w równaniach (7.24) – (7.25).

Średni koszt 1 kWh został skalkulowany na podstawie stawek taryfowych (obróć oraz dystrybucja) obowiązujących w maju 2022 r., dla grupy kapitałowej E-ON (OSD: Stoen Operator). W obliczeniach opłaty dystrybucyjnej przyjęto uproszczenie w sposobie naliczania opłaty mocowej dla odbiorców komercyjnych (Grupy EndUs: II, III oraz IV). Założono, że zapotrzebowanie na energię elektryczną rozkłada się równomiernie w ciągu roku. Ponadto przyjęto, że 90% obliczonego wolumenu energii zostanie pobrane w godzinach przypadających na godziny szczytowego zapotrzebowania na moc w systemie, o których mowa w art. 74 ust. 4 pkt 2) ustawy o rynku mocy [131]. Zgodnie z informacją Prezesa URE 55/2021 do ww. godzin należy piętnaście kolejnych godzin doby, występujących w dni robocze między 7:00 a 21:59 [113]. W celu uproszczenia obliczeń (brak konieczności tworzenia dobowych profili zapotrzebowania na energię elektryczną) nie uwzględniono współczynników obniżających opłatę mocową, związanych z kwalifikacją odbiorców do kategorii K1-K4, zgodnie z ustawą o rynku mocy [131]. Założono zatem jednolitą stawkę 102,60 zł/MWh, zgodnie z informacją Prezesa URE 56/2021 [114].

Zatem do wyliczenia wolumenu energii elektrycznej podlegającemu rozliczeniu dla opłaty mocowej stosuje się następującą zależność:

$$E_{OM_i} = \frac{N_{DR_{2022}}}{365} \cdot E_{dem,i} \cdot 0,9 \quad (8.48)$$

gdzie: $N_{DR_{2022}}$ – liczba dni roboczych w 2022 r. równa 251; E_{OM_i} – wolumen energii elektrycznej, obliczony dla i -tego odbiorcy końcowego, podlegający rozliczeniu dla opłaty mocowej, wyrażony w kWh.

Średni koszt 1 kWh został obliczony jako stosunek sumy opłat dystrybucyjnych i opłaty za energię elektryczną, obliczonych zgodnie z metodyką przedstawioną w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 6 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną [91], do typowego zapotrzebowania na energię elektryczną $E_{dem,i}$, określonego w Tab. 8.11. W analizowanym zadaniu optymalizacyjnym parametr $k_{da,RZOK}^{LIM_{MCEN}}$ jest równy ww. średniemu kosztowi 1 kWh. Aby ustalić drugie ograniczenie należy uwzględnić składniki zmienne opłaty za energię elektryczną. W kolejnym kroku oblicza się sumaryczne zmienne koszty energii elektrycznej ponoszonych przez EndUs, przeliczone dla maksymalnego czasu wykorzystania usługi V2X $k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}}$, zgodnie z następującą zależnością:

$$k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}} = S_{VC}^{an} \cdot \frac{T_{an}^{V2X}}{8760} + 0,01 \quad (8.49)$$

gdzie: S_{VC}^{an} – sumaryczna zmienne koszty energii elektrycznej ponoszone przez EndUs w rachunku za energię elektryczną, wyrażone w PLN.

W zrealizowanym zadaniu optymalizacyjnym pominięto uwzględnienie górnego ograniczenia, tj. $k_{da,s} \leq k_{da,s}^{REF}$, ze względu na fakt, że pobocznym celem niniejszej symulacji było sprawdzenie innych rozwiązań, dla których wskaźnik EBITDA byłby większy od 0. W Tab. 8.47 przedstawiono wartości ograniczeń zastosowanych w niniejszym zadaniu optymalizacyjnym.

Tab. 8.47. Wartości ograniczeń zastosowanych w analizowanym zadaniu optymalizacyjnym

Ograniczenie	Grupa EndUs	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV
Przeciętny koszt 1 kWh $k_{da,RZOK}^{LIM_{MCEN}}$ [zł/kWh]		0,73	1,30	1,48	1,77
Sumaryczne koszty zmienne przeliczone względem czasu wykorzystania usługi V2X $k_{da,RZOK}^{LIM_{VCEN}}$ [zł]	V2X_LOLE_10h	1,45	28 736,49	1 343,90	145,14
	V2X_LOLE_30h	5,56	110 840,70	5 183,57	559,81
	V2X_LOLE_103h	20,56	410 521,10	19 198,37	2 073,34
	V2X_LOLE_2294h	470,73	9 405 038,18	439 834,46	47 499,96

Do realizacji zadania optymalizacyjnego wykorzystano dodatek programu MS Excel – Solver. Zastosowano metodę rozwiązywania problemów liniowych *LP Simpleks*, gdyż funkcja opisana w równaniu (6.25) jest funkcją liniową. Ze względu na dużą liczbę przypadków symulacyjnych posłużono się autorskim makrem, które pozwala na automatyczne uruchomienie dodatku Solver oraz zapisanie wyników do innego arkusza.

Podobnie jak opisano w rozdziale 8.2.6 wykonano 1152 symulacje, tym razem z wykorzystaniem makra uruchamiającego dodatek programu MS Excel Solver. Znalezione rozwiązanie za pomocą metody LP Simpleks dla 860 przypadków, co stanowi około 75% wszystkich wykonanych symulacji. Ze względu na dużą liczbę symulacji ograniczono się wyłącznie do analizy przypadków uprzednio przedstawionych w pracy. W Tab. 8.48 – Tab. 8.51 przedstawiono wyniki, w których uzyskano zoptymalizowane wartości $k_{da,s}$ oraz obliczono nowe wartości wskaźnika EBITDA dla następujących przypadków symulacyjnych:

- *Wariant UH*, Poziom liczebności EndUs: **IV** Poziom elektryfikacji transportu: **C**;
- *Wariant UI*, Poziom liczebności EndUs: **IV** Poziom elektryfikacji transportu: **C**;
- *Wariant UH*, Poziom liczebności EndUs: **VII**, Poziom elektryfikacji transportu: **D**;
- *Wariant UI*, Poziom liczebności EndUs: **VII**, Poziom elektryfikacji transportu: **D**.

Tab. 8.48. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}$ oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – *Wariant UH*, Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Stawki za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}$ [zł/kWh]				EBITDA [tys. zł]	
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
V2X_LOLE_10h	20%	3,02	6,30	6,22	6,80	139,70	54,36
	50%	1,21	2,52	2,49	2,72	362,76	5,61
	90%	0,73	1,40	1,48	3,35	660,17	0,00
V2X_LOLE_30h	20%	3,01	6,30	6,22	6,80	564,57	235,25
	50%	1,20	2,52	2,49	2,72	1 424,94	47,23
	90%	0,73	1,40	1,48	3,14	2 572,09	0,00
V2X_LOLE_103h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	2 115,35	895,48
	50%	1,20	2,52	2,49	2,72	5 301,88	199,14
	90%	0,73	1,40	1,48	3,09	9 550,59	0,00
V2X_LOLE_2294h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	48 659,96	20 711,70
	50%	1,20	2,52	2,49	2,72	121 663,40	4 758,45
	90%	0,73	1,40	1,48	3,07	219 001,33	0,00
Wartości referencyjne stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$: Grupa I i II: 14,52 zł/kWh; Grupa III i IV: 9,16 zł/kWh							

Tab. 8.49. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}$ oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – *Wariant UI*, Poziom **IV** liczebności EndUs, Poziom **C** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Stawki za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}$ [zł/kWh]				EBITDA [tys. zł]	
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
V2X_LOLE_10h	20%	3,02	6,30	6,22	6,80	223,15	43,34
	50%	5,17	2,52	2,49	2,72	571,37	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,93	1 035,68	0,00
V2X_LOLE_30h	20%	3,01	6,30	6,22	6,80	886,44	192,75
	50%	3,97	2,52	2,49	2,72	2 229,59	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,72	4 020,47	0,00
V2X_LOLE_103h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	3 307,44	738,09
	50%	3,66	2,52	2,49	2,72	8 282,09	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,67	14 914,97	0,00
V2X_LOLE_2294h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	75 970,61	17 105,89
	50%	3,55	2,52	2,49	2,72	189 940,02	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,65	341 899,24	0,00
Wartości referencyjne stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$: Grupa I: 26,19 zł/kWh; Grupa II: 18,40 zł/kWh; Grupa III i IV: 14,77 zł/kWh							

Tab. 8.50. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}$ oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – *Wariant UH*, Poziom **VII** liczebności EndUs, Poziom **D** elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Stawki za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}$ [zł/kWh]				EBITDA [tys. zł]	
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
V2X_LOLE_10h	20%	Brak rozwiązania				977,75	977,75
	50%	7,79	2,52	2,49	2,72	3 796,77	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,14	7 555,48	0,00
V2X_LOLE_30h	20%	3,01	6,30	6,22	6,80	6 347,32	2 510,37
	50%	1,75	2,52	2,49	2,72	17 220,71	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	3,08	31 718,55	0,00

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Stawki za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}$ [zł/kWh]				EBITDA [tys. zł]	
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
V2X_LOLE_103h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	25 946,26	11 732,67
	50%	1,20	2,52	2,49	2,72	66 218,06	1 562,60
	90%	0,73	1,40	1,48	2,80	119 913,78	0,00
V2X_LOLE_2294h	20%	Brak rozwiązania				614 182,95	614 182,95
	50%	Brak rozwiązania				1 536 809,78	1 536 809,78
	90%	Brak rozwiązania				2 766 978,88	2 766 978,88
Wartości referencyjne stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UH-RZOK}^{REF}$: Grupa I i II: 14,52 zł/kWh; Grupa III i IV: 9,16 zł/kWh							

Tab. 8.51. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}$ oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – Wariant UI, Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Stawki za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}$ [zł/kWh]				EBITDA [tys. zł]	
		Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
V2X_LOLE_10h	20%	6,98	6,30	6,22	6,80	2 360,11	0,00
	50%	11,38	2,52	2,49	2,72	7 252,68	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	5,28	13 776,11	0,00
V2X_LOLE_30h	20%	3,01	6,30	6,22	6,80	11 679,29	1 897,74
	50%	5,34	2,52	2,49	2,72	30 550,63	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	4,22	55 712,42	0,00
V2X_LOLE_103h	20%	3,00	6,30	6,22	6,80	45 694,30	9 463,65
	50%	3,80	2,52	2,49	2,72	115 588,15	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	3,94	208 779,95	0,00
V2X_LOLE_2294h	20%	Brak rozwiązania				1 066 610,46	1 066 610,46
	50%	3,26	2,52	2,49	2,72	2 667 878,56	0,00
	90%	0,73	1,40	1,48	3,85	4 802 902,69	0,00
Wartości referencyjne stawek za udostępnianą energię elektryczną $k_{da,UI-RZOK}^{REF}$: Grupa I: 26,19 zł/kWh; Grupa II: 18,40 zł/kWh; Grupa III i IV: 14,77 zł/kWh							

Na podstawie Tab. 8.48 – Tab. 8.51 można stwierdzić, że istnieje możliwość zmniejszenia wielkości stawki za udostępnianą energię elektryczną z uEV $k_{da,s}$, poprzez zastosowanie narzędzi matematycznych. Zgodnie z oczekiwaniami wartość wskaźnika EBITDA również zmniejszyła się, lecz nigdy nie osiągnęła wartości mniejszej niż 0. Oznacza to, że przedsiębiorstwo może wykazać efektywność gospodarczą w warunkach rynkowych stosując dla wybranych przypadków stawki dla odbiorców końcowych, co najmniej równe tym, przedstawionych w Tab. 8.48 – Tab. 8.51. Warto podkreślić, że obserwuje się kilkukrotne zmniejszenie stawek $k_{da,s}$. Często również zoptymalizowane wielkości stawek dla EndUs pokrywają się z wartościami ograniczeń przedstawionymi w Tab. 8.47. Przykładowo dla przypadku V2X_LOLE_30h i stopniu wykorzystania usługi V2X $st = 50\%$ w Wariantcie UH, Poziomu VII liczebności uEV oraz Poziomu D elektryfikacji transportu optymalizacja stawek $k_{da,s}$ pozwala na zmniejszenie rocznej opłaty dla odbiorcy końcowego V2X z tytułu realizacji usług (Fee^v_i) o 59 zł/rok dla odbiorcy w Grupie I (-10,22%), 527 761 zł/rok dla odbiorcy

w Grupie II (-65,34%), 13 903 zł/rok dla odbiorcy w Grupie III (-19,90%) oraz 1 326 zł/rok dla odbiorcy w Grupie IV (-7,05%).

Pozwala to na stwierdzenie, że w przypadku implementacji Programu V2X w rzeczywistości, należy podjąć wszelkie działania mające na celu optymalizację stawek za udostępnienie energii elektrycznej z uEV dla odbiorców końcowych przy jednoczesnym zachowaniu dodatnich wskaźników EBITDA lub EBIT dla V2Xsp. Należy także zastanowić się nad poszerzeniem analiz o kolejne zadania optymalizacyjne, tym razem stawek wynagrodzenia dla uEV, tak aby uzyskać maksymalną możliwą atrakcyjność Programu V2X.

Warto zaznaczyć, że dla niektórych przypadków symulacyjnych rozwiązanie nie zostało znalezione. Wynikało to głównie z niemożności znalezienia wyniku spełniającego zadane ograniczenia. Przypadki, dla których nie znaleziono rozwiązania zakwalifikowano jako niemożliwe do zoptymalizowania, tj. przyjmuje się wartości sprzed optymalizacji. Powyższe obserwacje wskazują na konieczność dalszych badań w zakresie optymalizacji stawek za udostępnianą energię elektryczną z uEV, w szczególności z wykorzystaniem innego oprogramowania rozwiązującego zadania optymalizacyjne.

8.2.8. Podsumowanie

W niniejszym podrozdziale zaprezentowano symulacje dla wykonanej analizy ekonomicznej dotyczącej opracowanej koncepcji Programu V2X. Udowodniono, że istnieje możliwość wykorzystania wskaźników VoLL i VoLA w ocenie efektywności gospodarczej Dostawcy Usług V2X, jako wartości referencyjnych dla stawek za udostępnienie energii elektrycznej z uEV dla usługobiorców. Niemniej jednak należy pamiętać, że poza analizą efektywności ekonomicznej wybranego wariantu implementacji Programu V2X, także powinno się uwzględniać realizację techniczną takich usług, w szczególności w zakresie dbania o nienadmierne obciążanie baterii pojazdów elektrycznych, wynikające z dużej liczby cykli ładowanie-rozładowanie. Zatem ostatnim analitycznym działaniem jest znalezienie części wspólnej dla przypadków, które są jednocześnie realizowalne (spełniają założenie, że uEV jest rozładowany maksymalnie 1 raz w ciągu okresu rozliczeniowego, tj. miesiąca) oraz opłacalne z punktu widzenia V2Xsp. W Załączniku 6, w Tab. 13.11 – Tab. 13.22 przedstawiono zestawienie wszystkich symulowanych przypadków realizacji usług V2X, w podziale na te, które są:

- Realizowalne dla uEV/EndUs i opłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: R+O);

- Realizowalne dla uEV/EndUs, lecz nieopłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: R+NO);
- Nierealizowalne dla uEV/EndUs, lecz opłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: NR+O);
- Nierealizowalne dla uEV/EndUs i nieopłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: NR+NO).

Na podstawie Tab. 13.11 – Tab. 13.22 można stwierdzić, że znaczna większość symulowanych przypadków jest realizowalna dla uEV i EndUs oraz jest opłacalna ($EBITDA \geq 0$) dla V2Xsp. Liczba takich przypadków wynosi 954, co stanowi prawie 83% całości. Jest to dobry prognostyk do dalszych badań w zakresie implementacji Programu V2X na wybranym obszarze miejskim, w warunkach rzeczywistych. Przypadki nierealizowalne i nieopłacalne stanowią zaledwie 2,5% wszystkich analizowanych. Należy jednak pamiętać o konieczności zweryfikowaniu zaprezentowanego modelu ekonomicznego pod kątem rzeczywistych założeń, z pominięciem uproszczeń zastosowanych w symulacjach.

9. Wnioski końcowe

9.1. Podsumowanie badań

Ze względu na zachodzące zmiany w sektorze elektroenergetyki, głównie w obszarze powstawania sieci typu Smart-grid, należy uwzględnić pojazdy elektryczne jako istotny element systemów elektroenergetycznych opartych o rozproszone zasoby wytwarzania energii i jej magazynowania. Warto podkreślić, że wykorzystanie pełnego potencjału energetycznego, jaki posiadają pojazdy elektryczne, jest możliwe wyłącznie tylko wtedy, gdy obowiązujące ramy prawne pozwolą na szersze uczestnictwo mobilnych magazynów energii w procesach na rynku energii. W obecnym kształcie funkcjonowania rynku energii elektrycznej w Polsce nie istnieją warunki do sprawnego i łatwego dla przeciętnego użytkownika EV uczestnictwa w jego procesach, w tym zapewnienia realizacji usług dla OSP lub OSD. Sytuacja może zmienić się w momencie implementacji usług elastyczności dla OSD, dla których pojazdy elektryczne znakomicie odnajdują się, jako elementy zasobów stanowiących trzon realizacji tychże usług. Dzięki wykorzystaniu EV, jako mobilnych magazynów energii, zostanie umożliwione dostarczanie energii elektrycznej odbiorcom lub na potrzeby systemu elektroenergetycznego w godzinach szczytowego zapotrzebowania na moc, co pozwoli na osiągnięcie odpowiednich efektów technicznych (odciążenie systemu) lub ekonomicznych (obniżenie rachunków za energię elektryczną). Pojazdy elektryczne, dzięki posiadaniu funkcjonalności mobilnego magazynu energii, mogą także posłużyć jako środek przesuwający obciążenie w czasie (ang. load shifting). Jedną z ważniejszych funkcjonalności jest także wsparcie OSD w regulacji częstotliwości i napięcia w sieci elektroenergetycznej. Jednakże przede wszystkim, pojazdy elektryczne należy traktować jako rezerwowe źródło zasilania dla odbiorców w czasie planowanych i nieplanowanych przerw i ograniczeń w dostawie energii elektrycznej. Ten rodzaj usług nie wymaga znacznych modyfikacji legislacyjnych i jest jednym z najprostszych w implementacji.

Zgodnie z zaprezentowanymi badaniami w tym obszarze, kluczowe jest odpowiednie określenie ról poszczególnych aktorów w rynku usług V2X. Pozwoli to na zdefiniowanie obowiązków każdej ze stron realizujących usługi rozładowania. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że dostawcą takich usług mogłaby być większość przedsiębiorstw energetycznych (z wyłączeniem OSD), które w ramach swojej działalności realizowałyby kontrakty na nowopowstałym rynku. Do tego należy prawidłowo określić obszar działania takiego przedsiębiorstwa. W niniejszej rozprawie zaproponowano obszar wyznaczony za pomocą siatki kwadratowej, dla której można określić strefy poszukiwań EV

w zależności od lokalizacji miejsca świadczenia usługi V2X. Niezwykle istotnym jest także zaprojektowanie odpowiednich mechanizmów kontraktowania. Zaproponowano trzy mechanizmy ofertowania EV: wstępnego (*early-bid*), strefowego oraz uzupełniającego ofertowania strefowego. Każdy z tych mechanizmów stanowi kolejną warstwę procesów kontraktowania EV do realizacji usługi, tak aby zapewnić wysoki poziom niezawodności dostarczenia odpowiedniego wolumenu energii usługobiorcy. W symulacjach wyboru pojazdów przedstawionych w rozdziale 8.1 udowodniono, że dla różnych rozkładów rozmieszczenia pojazdów na siatce, określającej obszar działania V2Xsp, istnieje możliwość pozyskania pożądanego wolumenu energii. Co więcej, warto podkreślić, że na podstawie otrzymanych wyników symulacji można mówić o wysokim poziomie realizacji usług, gdyż dzięki zastosowaniu mechanizmu ofertowania wstępnego, w czasie realizacji ofertowania strefowego wystarczyła jedna lub dwie iteracje algorytmu poszukiwania pojazdów. W odróżnieniu od innych prac naukowych nie zdecydowano się na oddanie w pełni procesu wyboru pojazdów użytkownikom EV, na zasadach składania ofert. Podejście, które wybrano w niniejszej rozprawie jest zbliżone do mechanizmów mocowych stosowanych powszechnie w elektroenergetyce, jednakże uwzględnia ono elementy probabilistyczne oraz dobrowolność realizacji usług, w zależności od wybranego systemu rozliczeń. Takie działanie zostało umotywowane tym, że użytkownicy EV nie muszą posiadać kompletnej wiedzy dotyczącej funkcjonowania rynku energii, stąd też V2Xsp powinien maksymalnie ułatwić im podejmowanie decyzji (w odróżnieniu od handlu energią elektryczną na Towarowej Giełdzie Energii lub rynku bilansującym).

W toku badań stwierdzono także, że najłatwiejszą do realizacji usługą V2X będzie zapewnienie rezerwowego zasilania odbiorcy końcowemu za pomocą EV. W tym zagadnieniu zauważono problem ustalenia wartości stawek za udostępnianą energię z EV dla odbiorcy końcowego. Jak stwierdzono, w literaturze częstym punktem odniesienia jest cena energii elektrycznej, niemniej jednak według autora należy traktować usługę dostarczenia energii z EV w czasie planowanych, a w szczególności nieplanowanych przerw w dostawach energii elektrycznej, jako usługę dodatkową wymagającego ponadprzeciętnego zaangażowania użytkownika EV. Zatem zaproponowano wykorzystanie wskaźników VoLL i VoLA do oceny efektywności ekonomicznej takiego działania, zarówno z punktu widzenia V2Xsp, usługobiorcy i usługodawcy. Zaprezentowane wyniki w rozdziale 8.2 pozwalają stwierdzić, że jest to podejście prawidłowe, zapewniające operacyjną efektywność gospodarczą przedsiębiorstwa V2Xsp, gdyż wskaźniki EBITDA były większe od 0. Istnieje także pole do optymalizacji ww. stawek, tak aby utrzymać zysk operacyjny przedsiębiorstwa przy

jednoczesnym obniżeniu zobowiązań finansowych dla odbiorcy końcowego. Należy jednak mieć na uwadze, że każdy rodzaj usługi musi zostać zbadany pod kątem jej realizowalności. Jest ona mierzona za pomocą określenia prognozowanego do dostarczenia wolumenu energii elektrycznej w ciągu okresu rozliczeniowego oraz za pomocą dostępnego potencjału energetycznego pojazdów elektrycznych.

Mając na uwadze powyższe, można stwierdzić, że cele postawione w niniejszej rozprawie zostały osiągnięte. Opracowano koncepcję programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdów elektrycznych dla potrzeb odbiorców końcowych, stworzono kompleksową metodykę oceny opłacalności ekonomicznej takiego przedsięwzięcia, z wykorzystaniem wskaźników operacyjnej efektywności gospodarczej EBIT i EBITDA oraz wskaźników wartości energii niedostarczonej, wykonano analizy efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa energetycznego zajmującego się zarządzaniem takim programem. Przedstawione w rozprawie analizy techniczne i ekonomiczne oraz wyniki obliczeń pozwalają na potwierdzenie słuszności postawionej tezy.

Niezależnie od wyników badań, można stwierdzić, że pojazdy elektryczne jako mobilne magazyny energii posiadają ogromny potencjał w wykorzystaniu ich na potrzeby realizacji usług elastyczności i w konsekwencji podniesienia poziomu bezpieczeństwa elektroenergetycznego odbiorców końcowych. Ponadto ich wykorzystanie może stanowić nowe kierunki rozwoju przedsiębiorstw energetycznych, nie tylko w obszarze zastosowania innowacyjnych technologii, ale także w rozwoju nowych modeli rynków energii, dedykowanych dla tzw. energetyki obywatelskiej.

9.2. Osiągnięcia naukowe autora

Za własne osiągnięcia naukowe autora można uznać:

- Utworzenie koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii EV na potrzeby odbiorców końcowych;
- Utworzenie modelu realizacji usługi V2X uwzględniającego elementy probabilistyczne;
- Opracowanie algorytmów poszukiwania pojazdów elektrycznych, mogących świadczyć usługi V2X, opartych o wydzielone strefy na obszarze siatki kwadratowej;
- Opracowanie mechanizmów kontraktowania uczestników Programu V2X, w tym zaproponowanie koncepcji trzech mechanizmów: ofertowania wstępnego, ofertowania strefowego, uzupełniającego ofertowania strefowego;

- Zbudowanie modelu ekonomicznego rozliczenia odbiorców końcowych za zrealizowane usługi V2X, uwzględniającego wskaźniki z zakresu niezawodności systemów elektroenergetycznych VoLL i VoLA, które przyjęto jako wartości referencyjne stawek za dostarczoną kWh energii;
- Zbudowanie modelu ekonomicznego rozliczenia użytkowników pojazdów elektrycznych realizujących usługi V2X, z uwzględnieniem jednej stawki bazowej równej cenie ładowania w ogólnodostępnych stacjach ładowania oraz powiększanej o współczynniki wynikające z prawdopodobieństw dostępności pojazdów w danym przedziale czasowym;
- Wykonanie parametryzacji grupy usług V2X dotyczących zapewnienia rezerwowego zasilania odbiorców końcowych za pomocą pojazdów elektrycznych;
- Walidacje stworzonych algorytmów w badaniach symulacyjnych oraz analizy zaproponowanych modeli ekonomicznych, mając na uwadze parametry usług V2X;
- Optymalizacje stawek referencyjnych za udostępnianą energię elektryczną dla odbiorców końcowych;
- Określenie rynku usług rozładowania pojazdów elektrycznych w projektowanych rynkach usług elastyczności.

9.3. Przyszłe prace badawcze

Tak jak wspomniano zagadnienia związane z rozwojem technologii V2X są innowacyjne z punktu widzenia funkcjonowania jej na rynkach energii. W związku z tym należy prowadzić dalsze badania naukowe i realizować prace wdrożeniowe w tym obszarze. W czasie prac nad niniejszą rozprawą zdefiniowano następujące przyszłe prace badawcze:

- Opisanie usługi V2X za pomocą modelu niezawodnościowego jednostki szczytowej;
- Opisanie oraz zdefiniowanie funkcji „trudności realizacji usługi”, która pozwoli na określenie współczynników kar w modelach rozliczeniowych usługodawców;
- Zastosowanie innych kryteriów oraz innych narzędzi do optymalizacji wartości stawek za energię elektryczną udostępnioną przez EV dla odbiorcy końcowego;

- Porównanie efektywności działania autorskiego algorytmu strefowego z analizowanym w literaturze algorytmem typu WOA;
- Parametryzacja usług elastyczności w kontekście wykorzystania dla nich technologii V2X.

10. Bibliografia

- [1] Agencja Rynku Energii, "Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2020", Warszawa, 2021.
- [2] Ahmad T., Madonski R., Zhang D., Huang C., Mujeeb A., "Data-driven probabilistic machine learning in sustainable smart energy/smart energy systems: Key developments, challenges, and future research opportunities in the context of smart grid paradigm", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 160, (January), pp. 112128, doi:10.1016/j.rser.2022.112128.
- [3] Al-Hanahi B., Ahmad I., Habibi D., Masoum M.A.S., "Smart charging strategies for heavy electric vehicles", *eTransportation*, 2022, 13, pp. 100182, doi:10.1016/j.etrans.2022.100182.
- [4] Alinejad M., Rezaei O., Kazemi A., Bagheri S., "An Optimal Management for Charging and Discharging of Electric Vehicles in an Intelligent Parking Lot Considering Vehicle Owner's Random Behaviors", *Journal of Energy Storage*, 2021, 35, doi:10.1016/j.est.2021.102245.
- [5] Alipour M., Gharehpetian G.B., Ahmadihangar R., Rosin A., Kilter J., "Energy Storage Facilities Impact on Flexibility of Active Distribution Networks: Stochastic Approach", *Electric Power Systems Research*, 2022, 213, (June), pp. 108645, doi:10.1016/j.epsr.2022.108645.
- [6] Alonso M., Amaris H., Germain J.G., Galan J.M., "Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grids by heuristic algorithms", *Energies*, 2014, 7, (4), pp. 2449–2475, doi:10.3390/en7042449.
- [7] Aweke A.T., Navrud S., "Valuing energy poverty costs: Household welfare loss from electricity blackouts in developing countries", *Energy Economics*, 2022, 109, doi:10.1016/j.eneco.2022.105943.
- [8] Ayyadi S., Maaroufi M., Arif S.M., "EVs charging and discharging model consisted of EV users behaviour", *2020 5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*, 2020, doi:10.1007/978-3.
- [9] Babatunde O.M., Munda J.L., Hamam Y., Power system flexibility: A review, Energy Reports, Elsevier Ltd, luty 1 2020, T. 6, ss. 101–106.
- [10] Benjaafar S., Li Y., Daskin M., "Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2013, 10, (1), pp. 99–116, doi:10.1109/TASE.2012.2203304.
- [11] Berrada A., "Financial and economic modeling of large-scale gravity energy storage system", *Renewable Energy*, 2022, 192, pp. 405–419, doi:10.1016/j.renene.2022.04.086.
- [12] Bibak B., Tekiner-Mogulkoc H., "Influences of vehicle to grid (V2G) on power grid: An analysis by considering associated stochastic parameters explicitly", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2021, 26, doi:10.1016/j.segan.2020.100429.
- [13] Brandt T., Wagner S., Neumann D., "Evaluating a business model for vehicle-grid integration: Evidence from Germany", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 50, pp. 488–504, doi:10.1016/j.trd.2016.11.017.
- [14] Bühler F., Cocron P., Neumann I., Franke T., Krems J.F., "Is EV experience related to EV acceptance? Results from a German field study", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2014, 25, (PART A), pp. 34–49, doi:10.1016/j.trf.2014.05.002.
- [15] Buonomano A., Calise F., Cappiello F.L., Palombo A., Vicidomini M., "Dynamic analysis of the integration of electric vehicles in efficient buildings fed by renewables", *Applied Energy*, 2019, 245, pp. 31–50, doi:10.1016/j.apenergy.2019.03.206.

- [16] Buonomano A., "Building to Vehicle to Building concept: A comprehensive parametric and sensitivity analysis for decision making aims", *Applied Energy*, 2020, 261, doi:10.1016/j.apenergy.2019.114077.
- [17] Calise F., Cappiello F.L., Dentice d'Accadia M., Vicidomini M., "A novel smart energy network paradigm integrating combined heat and power, photovoltaic and electric vehicles", *Energy Conversion and Management*, 2022, 260, pp. 115599, doi:10.1016/j.enconman.2022.115599.
- [18] Cambridge Economic Policy Associates Ltd, "Study on the estimation of the Value of Lost Load of electricity supply in Europe", 2018.
- [19] Darcovich K., Recoskie S., Ribberink H., Michelet C., "The impact of V2X service under local climatic conditions within Canada on EV durability", *eTransportation*, 2021, 9, pp. 100124, doi:10.1016/j.etrans.2021.100124.
- [20] Deb S., Ammar, E.A. Al, AlRajhi H., Alsaidan I., Shariff S.M., V2G Pilot Projects. W;; 2021; ss. 252–267.
- [21] Deng R., Xiang Y., Huo D., Liu Y., Huang Y., i in., "Exploring flexibility of electric vehicle aggregators as energy reserve", *Electric Power Systems Research*, 2020, 184, doi:10.1016/j.epsr.2020.106305.
- [22] E-ON, Cennik ładowania w publicznie dostępnych punktach ładowania, [Online]: <https://eon.pl/dla-domu/oferta/e-mobility/publicznie-dostepne-ladowarki>, dostęp (19.10.2022).
- [23] E-ON, Średnie zużycie energii elektrycznej w poszczególnych grupach przyłączeniowych, [Online]: <https://eon.pl/srednie-zuzycie-energii>, dostęp (19.10.2022).
- [24] Englberger S., Abo Gamra K., Tepe B., Schreiber M., Jossen A., i in., "Electric vehicle multi-use: Optimizing multiple value streams using mobile storage systems in a vehicle-to-grid context", *Applied Energy*, 2021, 304, doi:10.1016/j.apenergy.2021.117862.
- [25] Everoze, EVConsult, V2G Global Roadtrip : Around the world in 50 projects. Lessons learned from fifty international vehicle-to-grid projects., [Online]: <http://everoze.com/app/uploads/2019/02/UKPN001-S-01-J-V2G-global-review.pdf>, dostęp (07.10.2022).
- [26] Faddel S., Aldeek A., Al-Awami A.T., Sortomme E., Al-Hamouz Z., "Ancillary Services Bidding for Uncertain Bidirectional V2G Using Fuzzy Linear Programming", *Energy*, 2018, 160, pp. 986–995, doi:10.1016/j.energy.2018.07.091.
- [27] Fotouhi A., Shateri N., Shona Laila D., Auger D.J., "Electric vehicle energy consumption estimation for a fleet management system", *International Journal of Sustainable Transportation*, 2020, 15, (1), pp. 40–54, doi:10.1080/15568318.2019.1681565.
- [28] Gandhi H.A., White A.D., "City-wide modeling of Vehicle-to-Grid Economics to Understand Effects of Battery Performance", 2021, doi:10.1021/acssuschemeng.1c05490.
- [29] Geske J., Schumann D., "Willing to participate in vehicle-to-grid (V2G)? Why not!", *Energy Policy*, 2018, 120, pp. 392–401, doi:10.1016/j.enpol.2018.05.004.
- [30] Ghavami M., Singh C., Reliability Evaluation of Electric Vehicle Charging Systems including the impact of Repair, 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Cincinnati, Ohio, 2017, ss. 1–9.
- [31] Giordano F., Arrigo F., Diaz-Londono C., Spertino F., Ruiz F., Forecast-Based V2G Aggregation Model for Day-Ahead and Real- Time Operations, 2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, USA, 2020.
- [32] Główny Urząd Statystyczny, "Transport – wyniki działalności w 2017 r.", Warszawa, Szczecin, 2018.

- [33] Główny Urząd Statystyczny, "Transport – wyniki działalności w 2018 r.", Warszawa, Szczecin, 2019.
- [34] Główny Urząd Statystyczny, "Transport – wyniki działalności w 2021 r.", Warszawa, Szczecin, 2022.
- [35] Goncearuc A., Sapountzoglou N., De Cauwer C., Coosemans T., Messagie M., i in., "Business model quantification framework for the core participants of the ev charging market", *World Electric Vehicle Journal*, 2021, 12, (4), doi:10.3390/wevj12040229.
- [36] González L.G., Siavichay E., Espinoza J.L., "Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 107, pp. 309–318, doi:10.1016/j.rser.2019.03.017.
- [37] Gonzalez Venegas F., Electric vehicle integration into distribution systems: Considerations of user behavior and frameworks for flexibility implementation Université Paris-Saclay, Paryż 2021,.
- [38] Gschwendtner C., Sinsel S.R., Stephan A., "Vehicle-to-X (V2X) implementation: An overview of predominate trial configurations and technical, social and regulatory challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 145, pp. 110977, doi:10.1016/j.rser.2021.110977.
- [39] Gu Y., Liu M., "Fair and Privacy-Aware EV Discharging Strategy Using Decentralized Whale Optimization Algorithm for Minimizing Cost of EVs and the EV Aggregator", *IEEE Systems Journal*, 2021, 15, (4), pp. 5571–5582, doi:10.1109/JSYST.2021.3050565.
- [40] Habib S., Kamran M., Rashid U., Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks - A review. *J. Power Sources* 2015, 277, 205–214.
- [41] Haddadian G., Khalili N., Khodayar M., Shahiedehpour M., "Security-constrained power generation scheduling with thermal generating units, variable energy resources, and electric vehicle storage for V2G deployment", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2015, 73, pp. 498–507, doi:10.1016/j.ijepes.2015.05.020.
- [42] Hadidian Moghaddam M.J., Kalam A., Nowdeh S.A., Ahmadi A., Babanezhad M., i in., "Optimal sizing and energy management of stand-alone hybrid photovoltaic/wind system based on hydrogen storage considering LOEE and LOLE reliability indices using flower pollination algorithm", *Renewable Energy*, 2019, 135, pp. 1412–1434, doi:10.1016/j.renene.2018.09.078.
- [43] Halkos G.E., Gkampoura E.C., "Evaluating the effect of economic crisis on energy poverty in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 144, doi:10.1016/j.rser.2021.110981.
- [44] Hanny L., Wagner J., Buhl H.U., Heffron R., Körner M.F., i in., "On the progress in flexibility and grid charges in light of the energy transition: The case of Germany", *Energy Policy*, 2022, 165, (June 2021), doi:10.1016/j.enpol.2022.112882.
- [45] Hasan M.K., Mahmud M., Ahasan Habib A.K.M., Motakabber S.M.A., Islam S., "Review of electric vehicle energy storage and management system: Standards, issues, and challenges", *Journal of Energy Storage*, 2021, 41, doi:10.1016/j.est.2021.102940.
- [46] He H., Du E., Zhang N., Kang C., Wang X., "Enhancing the power grid flexibility with battery energy storage transportation and transmission switching", *Applied Energy*, 2021, 290, (June 2020), pp. 116692, doi:10.1016/j.apenergy.2021.116692.
- [47] De Heer H., Van der Laan M., Armenteros A.S., "USEF: The Framework explained", 2021.
- [48] van Heuveln K., Ghotge R., Annema J.A., van Bergen E., van Wee B., i in., "Factors influencing consumer acceptance of vehicle-to-grid by electric vehicle drivers in the Netherlands", *Travel Behaviour and Society*, 2021, 24, (August 2020), pp. 34–45,

- doi:10.1016/j.tbs.2020.12.008.
- [49] Hinov N., Dimitrov V., Vacheva G., "Model for Vehicle to Home System with Additional Energy Storage for Households", *Electronics (Switzerland)*, 2021, 10, (9), doi:10.3390/electronics10091085.
 - [50] Hu J., Saleem A., You S., Nordström L., Lind M., i in., "A multi-agent system for distribution grid congestion management with electric vehicles", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2015, 38, pp. 45–58, doi:10.1016/j.engappai.2014.10.017.
 - [51] Huang P., Munkhammar J., Fachrizal R., Lovati M., Zhang X., i in., "Comparative studies of EV fleet smart charging approaches for demand response in solar-powered building communities", *Sustainable Cities and Society*, 2022, 85, (May), pp. 104094, doi:10.1016/j.scs.2022.104094.
 - [52] Huang S., Liu W., Zhang J., Liu C., Sun H., i in., "Vehicle-to-grid workplace discharging economics as a function of driving distance and type of electric vehicle", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2022, 31, doi:10.1016/j.segan.2022.100779.
 - [53] Huda M., Tokimatsu K., Aziz M., "Techno economic analysis of vehicle to grid (V2G) integration as distributed energy resources in Indonesia power system", *Energies*, 2020, 13, (5), doi:10.3390/en13051162.
 - [54] Hunter C.A., Penev M.M., Reznicek E.P., Eichman J., Rustagi N., i in., "Techno-economic analysis of long-duration energy storage and flexible power generation technologies to support high-variable renewable energy grids", *Joule*, 2021, 5, (8), pp. 2077–2101, doi:10.1016/j.joule.2021.06.018.
 - [55] Ioakimidis C.S., Thomas D., Rycerski P., Genikomsakis K.N., "Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot", *Energy*, 2018, 148, pp. 148–158, doi:10.1016/j.energy.2018.01.128.
 - [56] Iqbal S., Xin A., Jan M.U., Salman S., Zaki A.U.M., i in., "V2G strategy for primary frequency control of an industrial microgrid considering the charging station operator", *Electronics (Switzerland)*, 2020, 9, (4), doi:10.3390/electronics9040549.
 - [57] Islam S., Iqbal A., Marzband M., Khan I., Al-Wahedi A.M.A.B., "State-of-the-art vehicle-to-everything mode of operation of electric vehicles and its future perspectives", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 166, (June), pp. 112574, doi:10.1016/j.rser.2022.112574.
 - [58] ISO, Road vehicles — Vehicle to grid communication interface — Part 20: 2nd generation network layer and application layer requirements.
 - [59] Jiang T., Putrus G., Gao Z., Conti M., McDonald S., i in., "Development of a decentralized smart charge controller for electric vehicles", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2014, 61, pp. 355–370, doi:10.1016/j.ijepes.2014.03.023.
 - [60] Karczmarsz G., Jaki jest koszt wymiany baterii w samochodzie elektrycznym? Zapytałem i wiem (Spidersweb.pl), [Online]: <https://spidersweb.pl/autoblog/jaki-jest-koszt-wymiany-baterii-w-samochodzie-elektrycznym-w-polsce/>, dostęp (19.10.2022).
 - [61] Karpiński W., Odpowiedź na interpelację nr 2679 z 31.12.2021 r., [Online]: <https://bip.warszawa.pl/NR/exeres/09BAE444-2BA5-408F-9E73-BFA6AAA64793.frameless.htm>, dostęp (19.10.2022).
 - [62] Kempton W., Udo V., Huber K., Komara K., Letendre S., i in., "A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System", 2008, T. 2008.
 - [63] Kester J., Noel L., Zarazua de Rubens G., Sovacool B.K., "Promoting Vehicle to Grid (V2G) in the Nordic region: Expert advice on policy mechanisms for accelerated diffusion", *Energy Policy*, 2018, 116, pp. 422–432, doi:10.1016/j.enpol.2018.02.024.

- [64] Kester J., Zarazua de Rubens G., Sovacool B.K., Noel L., "Public perceptions of electric vehicles and vehicle-to-grid (V2G): Insights from a Nordic focus group study", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 74, pp. 277–293, doi:10.1016/j.trd.2019.08.006.
- [65] Khalid M.R., Alam M.S., Sarwar A., Jamil Asghar M.S., A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *eTransportation* 2019, 1.
- [66] Khalkhali H., Hosseinian S.H., "Multi-class EV charging and performance-based regulation service in a residential smart parking lot", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2020, 22, doi:10.1016/j.segan.2020.100354.
- [67] Khan W., Ahmad F., Alam M.S., "Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2019, 22, (1), pp. 143–152, doi:10.1016/j.jestch.2018.08.005.
- [68] Khodayar M.E., Wu H., "Demand forecasting in the smart grid paradigm: Features and challenges", *Electricity Journal*, 2015, 28, (6), pp. 51–62, doi:10.1016/j.tej.2015.06.001.
- [69] Kłos M., Marchel P., Paska J., Bielas R., Błędzińska M., i in., Forecast and impact of electromobility development on the Polish Electric Power System, E3S Web of Conferences, 2019, T. 84.
- [70] Krueger H., Cruden A., "Modular strategy for aggregator control and data exchange in large scale Vehicle-to-Grid (V2G) applications", *Energy Procedia*, 2018, 151, pp. 7–11, doi:10.1016/j.egypro.2018.09.019.
- [71] Kubli M., "EV drivers' willingness to accept smart charging: Measuring preferences of potential adopters", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2022, 109, (July), pp. 103396, doi:10.1016/j.trd.2022.103396.
- [72] Langbroek J.H.M., Franklin J.P., Susilo Y.O., "Electric vehicle users and their travel patterns in Greater Stockholm", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 52, pp. 98–111, doi:10.1016/j.trd.2017.02.015.
- [73] Langbroek J.H.M., Franklin J.P., Susilo Y.O., "How would you change your travel patterns if you used an electric vehicle? A stated adaptation approach", *Travel Behaviour and Society*, 2018, 13, pp. 144–154, doi:10.1016/j.tbs.2018.08.001.
- [74] Lechtenböhrer S., Nilsson L.J., Åhman M., Schneider C., "Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – Implications for future EU electricity demand", *Energy*, 2016, 115, pp. 1623–1631, doi:10.1016/j.energy.2016.07.110.
- [75] Lemeski A.T., Ebrahimi R., Zakariazadeh A., "Optimal decentralized coordinated operation of electric vehicle aggregators enabling vehicle to grid option using distributed algorithm", *Journal of Energy Storage*, 2022, 54, (February), pp. 105213, doi:10.1016/j.est.2022.105213.
- [76] Li X., Tan Y., Liu X., Liao Q., Sun B., i in., "A cost-benefit analysis of V2G electric vehicles supporting peak shaving in Shanghai", *Electric Power Systems Research*, 2020, 179, doi:10.1016/j.epsr.2019.106058.
- [77] Liu C., Chau K.T., Wu D., Gao S., "Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies", *Proceedings of the IEEE*, 2013, 101, (11), pp. 2409–2427, doi:10.1109/JPROC.2013.2271951.
- [78] Liu H., Hu Z., Song Y., Wang J., Xie X., "Vehicle-to-Grid Control for Supplementary Frequency Regulation Considering Charging Demands", *IEEE Transactions on Power Systems*, 2015, 30, (6), pp. 3110–3119, doi:10.1109/TPWRS.2014.2382979.
- [79] Loisel R., Pasaoglu G., Thiel C., "Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: An analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts", *Energy Policy*, 2014, 65, pp. 432–443, doi:10.1016/j.enpol.2013.10.029.

- [80] Lula A., Zagrajek K., "A concept of using a private electric vehicle to optimize the costs of electricity in household equipped with a PV power plant", *Przegląd Elektrotechniczny*, 2022, 98, (10), pp. 7–14, doi:10.15199/48.2022.10.02.
- [81] Ma Y., Houghton T., Cruden A., Infield D., "Modeling the benefits of vehicle-to-grid technology to a power system", *IEEE Transactions on Power Systems*, 2012, 27, (2), pp. 1012–1020, doi:10.1109/TPWRS.2011.2178043.
- [82] Makolo P., Zamora R., Lie T.T., "The role of inertia for grid flexibility under high penetration of variable renewables - A review of challenges and solutions", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 147, (July 2020), pp. 111223, doi:10.1016/j.rser.2021.111223.
- [83] Manríquez F., Sauma E., Aguado J., de la Torre S., Contreras J., "The impact of electric vehicle charging schemes in power system expansion planning", *Applied Energy*, 2020, 262, doi:10.1016/j.apenergy.2020.114527.
- [84] Marrero Á.S., Marrero G.A., González R.M., Rodríguez-López J., "Convergence in road transport CO₂ emissions in Europe", *Energy Economics*, 2021, 99, doi:10.1016/j.eneco.2021.105322.
- [85] Mataczyńska E., Sikora M., Lewandowski W., Wykorzystanie usług elastyczności przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego, Konferencja Rynek Energii Elektrycznej, Kazimierz Dolny, 2019.
- [86] Meng J., Mu Y., Jia H., Wu J., Yu X., i in., "Dynamic frequency response from electric vehicles considering travelling behavior in the Great Britain power system", *Applied Energy*, 2016, 162, pp. 966–979, doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.159.
- [87] Menniti D., Pinnarelli A., Sorrentino N., Vizza P., Brusco G., i in., "Techno Economic Analysis of Electric Vehicle Grid Integration Aimed to Provide Network Flexibility Services in Italian Regulatory Framework", *Energies*, 2022, 15, (7), doi:10.3390/en15072355.
- [88] Mesarić P., Krajcar S., "Home demand side management integrated with electric vehicles and renewable energy sources", *Energy and Buildings*, 2015, 108, pp. 1–9, doi:10.1016/j.enbuild.2015.09.001.
- [89] Międzynarodowa Agencja Energii, "Global EV Outlook 2022 Securing supplies for an electric future", Francja, 2022.
- [90] Ministerstwo Energii, "Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 18 lipca 2018 r. w sprawie wykonania obowiązku mocowego, jego rozliczania i demonstrowania oraz zawierania transakcji na rynku wtórnym", Warszawa, 2018.
- [91] Ministerstwo Energii, "Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 6 marca 2019 r. (wraz z późn. zm.) w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną", Warszawa, 2019.
- [92] Mitsubishi Electric, Automotive applications, [Online]: <https://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/application/automobile/>, dostęp (07.10.2022).
- [93] Mitsubishi Electric, MC, MMC and Mitsubishi Electric begin EV-Smart Grid Demonstration Project, [Online]: https://www.mitsubishielectric.com/news/2012/0412_zoom_02.html, dostęp (07.10.2022).
- [94] Mlecnik E., Parker J., Ma Z., Corchero C., Knotzer A., i in., "Policy challenges for the development of energy flexibility services", *Energy Policy*, 2020, 137, doi:10.1016/j.enpol.2019.111147.
- [95] Di Natale L., Funk L., Rüdisüli M., Svetozarevic B., Pareschi G., i in., "The potential of vehicle-to-grid to support the energy transition: A case study on Switzerland", *Energies*, 2021, 14, (16), doi:10.3390/en14164812.

- [96] Nissim D., "EBITDA, EBITA or EBIT?", *Columbia Business School Research Paper*, 2019, 17, (71), doi:10.2139/ssrn.2999675.
- [97] Noel L., McCormack R., "A cost benefit analysis of a V2G-capable electric school bus compared to a traditional diesel school bus", *Applied Energy*, 2014, 126, pp. 246–255, doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.009.
- [98] Noel L., de Rubens G.Z., Kester J., Sovacool B.K., "Vehicle-to-Grid A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility", Palgrave macmillan, 2019 , ISBN 978-3-030-04864-8.
- [99] Obserwarorium Rynku Paliw Alternatywnych, Koszt akumulatora samochodu elektrycznego stanowi dziś kilkadziesiąt procent jego ceny., [Online]: <https://orpa.pl/koszt-akumulatora-samochodu-elektrycznego-standowi-dzis-kilkadziesiat-procent-jego-ceny-podstawowy-komponent-bev-jest-nieustannie-udokonalany-i-coraz-tanszy-ekonomia-skali-sprzedazy-obnizy-ceny-aut/>, dostęp (19.10.2022).
- [100] Pareschi G., Küng L., Georges G., Boulouchos K., "Are travel surveys a good basis for EV models? Validation of simulated charging profiles against empirical data", *Applied Energy*, 2020, 275, doi:10.1016/j.apenergy.2020.115318.
- [101] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, "Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych", *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 2014, (4).
- [102] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, "Dyrektywa Parlamentu i Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2019/944/UE z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej", Parlament Europejski, Bruksela, 2019.
- [103] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, "Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/943 z dnia 5 czerwca 2019 r. W sprawie rynku wewnętrznego energii elektrycznej", *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 2019, (714), pp. 54–124.
- [104] Parol M., "Mikrosieci niskiego napięcia", Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013 , ISBN 978-83-7814-240-9.
- [105] Parsons G.R., Hidrue M.K., Kempton W., Gardner M.P., "Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2G) electric vehicles and their contract terms", *Energy Economics*, 2014, 42, pp. 313–324, doi:10.1016/j.eneco.2013.12.018.
- [106] Paska J., Surma T., Terlikowski P., Zagrajek K., "Electricity generation from renewable energy sources in Poland as a part of commitment to the polish and EU energy policy", *Energies*, 2020, 13, (6), doi:10.3390/en13164261.
- [107] Paska J., Marchel P., "Bezpieczeństwo elektroenergetyczne i niezawodność zasilania energią elektryczną", Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2021 , ISBN 978-83-8156-181-5.
- [108] Pearre N.S., Ribberink H., Review of research on V2X technologies, strategies, and operations. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 105, 61–70.
- [109] Peterson S.B., Apt J., Whitacre J.F., "Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization", *Journal of Power Sources*, 2010, 195, (8), pp. 2385–2392, doi:10.1016/j.jpowsour.2009.10.010.
- [110] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, "Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2021-2030", Konstancin - Jeziorna, 2020.
- [111] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, "Warunki dotyczące bilansowania", 2022.
- [112] Praca Zbiorowa, "Poradnik Inżyniera Elektryka Tom 3", II., WNT, Warszawa, 1996 , ISBN ISBN 83-204-1966-2.
- [113] Prezes Urzędu Regulacji Energetyki, "Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki

- Nr 55/2021 w sprawie wybranych godzin doby przypadających na godziny szczytowego zapotrzebowania na moc w systemie wyznaczone odrębnie dla kwartałów roku dostaw 2022 – na potrzeby obliczania opłaty mocowej na", Warszawa, 2021.
- [114] Prezes Urzędu Regulacji Energetyki, "Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 56/2021 w sprawie stawek opłaty mocowej na rok 2022", Warszawa, 2021.
 - [115] PSPA, Licznik Elektromobilności, [Online]: <https://pspa.com.pl/aktualnosci/informacja/>, dostęp (08.10.2022).
 - [116] Raczkowski R., Robak S., "System magazynowania energii elektrycznej jako środek poprawy elastyczności systemu elektroenergetycznego z dużym udziałem generacji OZE", *Przegląd Elektrotechniczny*, 2021, 1, (3), pp. 3–10, doi:10.15199/48.2021.03.01.
 - [117] Randleman J., Pitterle C., Rao P., Chimni A., Shaghaghi N., "DeLorean Energy: The potential of Asynchronous V2G Fleets as Peak Shaving Units".
 - [118] Raveendran V., Alvarez-Bel C., Nair M.G., "Assessing the ancillary service potential of electric vehicles to support renewable energy integration in touristic islands: A case study from Balearic island of Menorca", *Renewable Energy*, 2020, 161, pp. 495–509, doi:10.1016/j.renene.2020.06.083.
 - [119] Ravi S.S., Aziz M., Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives. *Energies* 2022, 15.
 - [120] Razeghi G., Zhang L., Brown T., Samuelsen S., "Impacts of plug-in hybrid electric vehicles on a residential transformer using stochastic and empirical analysis", *Journal of Power Sources*, 2014, 252, pp. 277–285, doi:10.1016/j.jpowsour.2013.11.089.
 - [121] RCL, "Projekt z dnia 17 września 2022 r. dotyczący zmiany ustawy Prawo Energetyczne oraz niektórych innych ustaw", Rządowe Centrum Legislacji, Warszawa, 2022.
 - [122] RCL, Projekt z dnia 5 października 2018 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw, [Online]: <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12317354/katalog/12543035#12543035>, .
 - [123] Ren H., Zhang A., Wang F., Yan X., Li Y., i in., "Optimal scheduling of an EV aggregator for demand response considering triple level benefits of three-parties", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2021, 125, doi:10.1016/j.ijepes.2020.106447.
 - [124] Richardson D.B., "Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates", *Journal of Power Sources*, 2013, 243, pp. 219–224, doi:10.1016/j.jpowsour.2013.06.024.
 - [125] Sbordon D., Bertini I., Di Pietra B., Falvo M.C., Genovese A., i in., "EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm", *Electric Power Systems Research*, 2015, 120, pp. 96–108, doi:10.1016/j.epr.2014.07.033.
 - [126] Schreiner L., Madlener R., "Investing in power grid infrastructure as a flexibility option: A DSGE assessment for Germany", *Energy Economics*, 2022, 107, (January), pp. 105843, doi:10.1016/j.eneco.2022.105843.
 - [127] Schuller A., Flath C.M., Gottwalt S., "Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration", *Applied Energy*, 2015, 151, pp. 335–344, doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.004.
 - [128] Sejm RP, "Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. (wraz z późn. zm.) Prawo Energetyczne", Warszawa, 2022.
 - [129] Sejm RP, "Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. (wraz z późn. zm.) o elektromobilności i paliwach alternatywnych", 2018, ss. 1–28.
 - [130] Sejm RP, "Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. (wraz z późn. zm.) o odnawialnych źródłach energii", Warszawa, 2022, ss. 1–28.
 - [131] Sejm RP, "Ustawa z dnia 8 grudnia 2017 r. (wraz z późn. zm.) o rynku mocy", Warszawa,

- 2021, ss. 1–104.
- [132] Selvakkumaran S., Eriksson L., Ottosson J., Lygnerud K., Svensson I.L., "How are business models capturing flexibility in the District Energy (DE) grid?", *Energy Reports*, 2021, 7, (September), pp. 263–272, doi:10.1016/j.egy.2021.08.146.
 - [133] Sevdari K., Calearo L., Andersen P.B., Marinelli M., "Ancillary services and electric vehicles: An overview from charging clusters and chargers technology perspectives", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 167, (August), pp. 112666, doi:10.1016/j.rser.2022.112666.
 - [134] Siskos P., Capros P., De Vita A., "CO2 and energy efficiency car standards in the EU in the context of a decarbonisation strategy: A model-based policy assessment", *Energy Policy*, 2015, 84, pp. 22–34, doi:10.1016/j.enpol.2015.04.024.
 - [135] Socha J., "DSR Program Bieżący Uproszczony", Konstancin - Jeziorna, 2018.
 - [136] Sorknæs P., Johannsen R.M., Korberg A.D., Nielsen T.B., Petersen U.R., i in., "Electrification of the industrial sector in 100% renewable energy scenarios", *Energy*, 2022, 254, pp. 124339, doi:10.1016/j.energy.2022.124339.
 - [137] Sortomme E., El-Sharkawi M.A., "Optimal scheduling of vehicle-to-grid energy and ancillary services", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, 3, (1), pp. 351–359, doi:10.1109/TSG.2011.2164099.
 - [138] Stoen Operator, "Analiza zastosowania samochodów elektrycznych z funkcją V2G jako mobilnych magazynów energii w sieci innogy Stoen Operator", Warszawa (dokument niepubliczny), 2019.
 - [139] Tanguy K., Dubois M.R., Lopez K.L., Gagné C., "Optimization model and economic assessment of collaborative charging using Vehicle-to-Building", *Sustainable Cities and Society*, 2016, 26, pp. 496–506, doi:10.1016/j.scs.2016.03.012.
 - [140] Thomas D., Deblecker O., Ioakimidis C.S., "Optimal operation of an energy management system for a grid-connected smart building considering photovoltaics' uncertainty and stochastic electric vehicles' driving schedule", *Applied Energy*, 2018, 210, pp. 1188–1206, doi:10.1016/j.apenergy.2017.07.035.
 - [141] Thompson A.W., Economic implications of lithium ion battery degradation for Vehicle-to-Grid (V2X) services. *J. Power Sources* 2018, 396, 691–709.
 - [142] Thompson A.W., Perez Y., "Vehicle-to-Everything (V2X) energy services, value streams, and regulatory policy implications", *Energy Policy*, 2020, 137, doi:10.1016/j.enpol.2019.111136.
 - [143] Torkey A., "Framework for Planning of Ev Charging Infrastructure: a Data-Driven Approach", *Transport Policy*, 2022, 128, (September), pp. 193–208, doi:10.1016/j.tranpol.2022.09.015.
 - [144] Tostado-Véliz M., León-Japa R.S., Jurado F., "Optimal electrification of off-grid smart homes considering flexible demand and vehicle-to-home capabilities", *Applied Energy*, 2021, 298, (May), doi:10.1016/j.apenergy.2021.117184.
 - [145] Troitzsch S., Sreepathi B.K., Huynh T.P., Moine A., Hanif S., i in., "Optimal electric-distribution-grid planning considering the demand-side flexibility of thermal building systems for a test case in Singapore", *Applied Energy*, 2020, 273, doi:10.1016/j.apenergy.2020.114917.
 - [146] Wang W., Huo Q., Zhang N., Yin J., Ni J., i in., "Flexible energy storage power station with dual functions of power flow regulation and energy storage based on energy-sharing concept", *Energy Reports*, 2022, 8, pp. 8177–8185, doi:10.1016/j.egy.2022.06.035.
 - [147] Weiller C., Neely A., "Using electric vehicles for energy services: Industry perspectives", *Energy*, 2014, 77, pp. 194–200, doi:10.1016/j.energy.2014.06.066.
 - [148] Xu J., Akhtar M., Haris M., Muhammad S., Abban O.J., i in., "Energy crisis, firm profitability, and productivity: An emerging economy perspective", *Energy Strategy*

- Reviews*, 2022, 41, doi:10.1016/j.esr.2022.100849.
- [149] Xu N.Z., Chung C.Y., "Uncertainties of EV Charging and Effects on Well-Being Analysis of Generating Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, 2015, 30, (5), pp. 2547–2557, doi:10.1109/TPWRS.2014.2362653.
 - [150] Yao E., Wong V.W.S., Schober R., "Robust Frequency Regulation Capacity Scheduling Algorithm for Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2017, 8, (2), pp. 984–997, doi:10.1109/TSG.2016.2530660.
 - [151] Yu H., Niu S., Shang Y., Shao Z., Jia Y., i in., "Electric vehicles integration and vehicle-to-grid operation in active distribution grids: A comprehensive review on power architectures, grid connection standards and typical applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 168, (August), pp. 112812, doi:10.1016/j.rser.2022.112812.
 - [152] Zagrajek K., "A survey data approach for determining the probability values of vehicle-to-grid service provision", *Energies*, 2021, 14, (21), pp. 7270, doi:10.3390/en14217270.
 - [153] Zagrajek K., Paska J., Kłos M., Pawlak K., Marchel P., i in., "Impact of electric bus charging on distribution substation and local grid in Warsaw", *Energies*, 2020, 13, (5), doi:10.3390/en13051210.
 - [154] Zagrajek K., Paska J., Sosnowski Ł., Gobosz K., Wróblewski K., "Framework for the introduction of vehicle-to-grid technology into the polish electricity market", *Energies*, 2021, 14, (12), doi:10.3390/en14123673.
 - [155] Zagrajek K., Sosnowski Ł., Biczal P., Wróblewski K., "Operation of electrical vehicles fast charging stations in Warsaw - Case study of innogyGO! Collecting point", *Przegląd Elektrotechniczny*, 2020, 96, (5), doi:10.15199/48.2020.05.03.
 - [156] Zagrajek K., Pojazdy elektryczne jako mobilne magazyny energii – propozycja nowych usług energetycznych. W: *Transformacja rynków energii. Gospodarka. Klimat. Technologia. Regulacje*; Wojtkowska-Łodej, G., Red.; Szkoła Główna Handlowa, Warszawa, 2022.
 - [157] Zagrajek K., Prezentacja - Pojazdy elektryczne jako mobilne magazyny energii propozycja nowych usług energetycznych, [Online]: https://energia.sgh.waw.pl/sites/energia.sgh.waw.pl/files/2022-05/Zagrajek_prezentacja_0.pdf, dostęp (19.10.2022).
 - [158] Zecchino A., Prostejovsky A.M., Ziras C., Marinelli M., "Large-scale provision of frequency control via V2G: The Bornholm power system case", *Electric Power Systems Research*, 2019, 170, pp. 25–34, doi:10.1016/j.epsr.2018.12.027.
 - [159] Zhang Q., Wu X., Chen Y., "Is economic crisis an opportunity for realizing the low-carbon transition? A simulation study on the interaction between economic cycle and energy regulation policy", *Energy Policy*, 2022, 168, doi:10.1016/j.enpol.2022.113114.
 - [160] Zheng Y., Yu H., Shao Z., Jian L., "Day-ahead bidding strategy for electric vehicle aggregator enabling multiple agent modes in uncertain electricity markets", *Applied Energy*, 2020, 280, doi:10.1016/j.apenergy.2020.115977.
 - [161] Zhou C., Xiang Y., Huang Y., Wei X., Liu Y., i in., "Economic analysis of auxiliary service by V2G: City comparison cases", *Energy Reports*, 2020, 6, pp. 509–514, doi:10.1016/j.egyr.2020.11.205.
 - [162] Zhou Y., Cao S., "Energy flexibility investigation of advanced grid-responsive energy control strategies with the static battery and electric vehicles: A case study of a high-rise office building in Hong Kong", *Energy Conversion and Management*, 2019, 199, doi:10.1016/j.enconman.2019.111888.

11. Spis rysunków

Rys. 1.1. Schemat blokowy układu pojazd elektryczny – sieć – opracowano na podstawie [52, 92, 156]	14
Rys. 1.2. Schemat blokowy zastosowania technologii V2X w: a) klasycznym systemie dystrybucyjnym; b) mikrosieci prądu przemiennego lub prądu stałego – na podstawie [77, 151, 152]	15
Rys. 1.3. Samochody osobowe elektryczne w Polsce w okresie IV.2019 – VI.2022 – na podstawie [115]	17
Rys. 3.1. Odpowiedzi na pytanie 4)	39
Rys. 3.2. Odpowiedzi na pytanie 6)	40
Rys. 3.3. Profil wykorzystania danego typu pojazdów w poszczególnych godzinach doby	41
Rys. 3.4. Odpowiedzi na pytanie 10)	42
Rys. 3.5. Odpowiedzi na pytanie 11)	43
Rys. 3.6. Odpowiedzi na pytanie 12)	43
Rys. 3.7. Odpowiedzi na pytanie 13)	44
Rys. 3.8. Odpowiedzi na pytanie 14)	45
Rys. 3.9. Odpowiedzi na pytanie 15)	45
Rys. 3.10. Odpowiedzi na pytanie 17)	46
Rys. 3.11. Odpowiedzi na pytanie 18)	47
Rys. 4.1. Relacje pomiędzy podmiotami uczestniczącymi w Programie V2X	53
Rys. 4.2. Schemat procesu świadczenia usług V2X na rzecz usługobiorców	61
Rys. 4.3. Proces składania propozycji produktu – usługa harmonogramowana	66
Rys. 4.4. Proces składania propozycji produktu – usługa interwencyjna	68
Rys. 4.5. Proces kontraktowania wolumenów energii elektrycznej – usługa harmonogramowana	72
Rys. 4.6. Proces kontraktowania usługi V2X harmonogramowanej od strony V2Xus	73
Rys. 4.7. Proces kontraktowania usługi V2X interwencyjne od strony V2Xus	74
Rys. 4.8. Propozycja koszyka usług V2X w ramach Programu V2X	76
Rys. 5.1. Przykładowa siatka kwadratowa wyznaczająca obszar działania V2Xsp	84
Rys. 5.2. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie <i>early-bid</i> – część 1	87
Rys. 5.3. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie <i>early-bid</i> – część 2	88
Rys. 5.4. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie <i>early-bid</i> – część 3	89
Rys. 5.5. Przykładowe wyznaczanie stref poszukiwania uEV w algorytmie strefowym	91
Rys. 5.6. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 1	93
Rys. 5.7. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 2	94
Rys. 5.8. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 3	95
Rys. 5.9. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie ofertowania strefowego – część 4	96

Rys. 5.10. Proces kontraktowania uEV w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego	97
Rys. 5.11. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego – część 1	98
Rys. 5.12. Schemat blokowy kontraktowania usługi V2X w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego – część 2	99
Rys. 7.1. Schemat jednokreskowy realizacji usługi V2X UH-RZOK dla przypadków: a) planowanej przerwy w zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie wszystkich odbiorów za pomocą V2X; b) planowanej przerwy w zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie odbiorów priorytetowych za pomocą V2X; c) pracy KSE z ograniczeniami w poborze mocy – zasilanie wszystkich odbiorów za pomocą V2X; d) pracy KSE z ograniczeniami w poborze mocy – zasilanie odbiorów priorytetowych za pomocą V2X	118
Rys. 7.2. Schemat jednokreskowy realizacji usługi V2X UI-RZOK dla przypadków: a) nieplanowanej przerwy zasilaniu odbiorcy końcowego przy stabilnej pracy KSE – zasilanie wybranych odbiorów za pomocą V2X; b) całkowitego zaniku napięcia w KSE – zasilanie odbiorników priorytetowych za pomocą V2X	119
Rys. 8.1. Analizowany obszar działania V2Xsp wraz z lokalizacją EndUs1 i EndUs2 oraz wyznaczonymi trzema strefami poszukiwań uEV	141
Rys. 8.2. Rozmieszczenie uEV w wariancie symulacyjnym <i>Early-bid</i>	142
Rys. 8.3. <i>Wariant 1</i> rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2	143
Rys. 8.4. <i>Wariant 2</i> rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2	144
Rys. 8.5. <i>Wariant 3</i> rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2	144
Rys. 8.6. <i>Wariant 4</i> rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2	145
Rys. 8.7. <i>Wariant 5</i> rozmieszczenia uEV w poszczególnych kwadratach siatki Obszaru Działania V2Xsp w momencie uruchomienia ofertowania strefowego dla: a) EndUs1; b) EndUs2	146
Rys. 8.8. Typowy dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs1 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi UH-RZOK	149
Rys. 8.9. Przykładowe wykorzystanie baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs1	149
Rys. 8.10. Typowy dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną EndUs2 wraz z potencjalnym wpływem realizacji usługi UH-RZOK	151
Rys. 8.11. Przykładowe wykorzystanie energii elektrycznej z baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs2	151
Rys. 8.12. Przykładowe wykorzystanie mocy z baterii pojazdów elektrycznych w czasie realizacji usługi V2X UH-RZOK dla EndUs2.....	152
Rys. 8.13. Realizacja usługi V2X UH-RZOK dla EndUs1 i EndUs2	162
Rys. 8.14. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu: a) 0,1%, b) 1%.....	170
Rys. 8.15. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu: a) 5%, b) 20%.....	171
Rys. 8.16. Liczba akcji rozładowania w funkcji liczby EndUs dla poziomu elektryfikacji transportu: a) 50%, b) 80%.....	172

Rys. 8.17. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby odbiorców dla stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%	182
Rys. 8.18. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000	182
Rys. 8.19. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby odbiorców dla stałego poziomu elektryfikacji transportu – 20%	183
Rys. 8.20. Bonifikata za degradację baterii uEV w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla stałego poziomu liczebności odbiorców – 100 000	183
Rys. 8.21. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym w funkcji liczby odbiorców dla <i>Wariantu UH</i> oraz stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%	186
Rys. 8.22. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie opcjonalnym w funkcji liczby odbiorców dla <i>Wariantu UH</i> oraz stałego poziomu elektryfikacji transportu – 5%	187
Rys. 8.23. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla <i>Wariantu UH</i> oraz stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000	187
Rys. 8.24. Bonifikata za udostępnienie energii elektrycznej z baterii uEV świadczącego usługi V2X w trybie opcjonalnym w funkcji liczby uEV w obszarze działania V2Xsp dla <i>Wariantu UH</i> oraz stałego poziomu liczebności odbiorców – 5000	188
Rys. 13.1. Odpowiedzi na pytanie 1)	230
Rys. 13.2. Odpowiedzi na pytanie 2)	230
Rys. 13.3. Odpowiedzi na pytanie 3)	231
Rys. 13.4. Porównanie oczekiwań i faktycznych miejsc ładowania pojazdów elektrycznych.....	231
Rys. 13.5. Odpowiedzi na pytanie 16) dotyczące rodzaju korzyści, które stanowiłyby główną zachętę do przystąpienia do Programu V2G/V2X	232
Rys. 13.6. Odpowiedzi na pytanie 19) dotyczące wyboru impulsu ekonomicznego, który skłoniłby respondenta do uczestnictwa w Programie V2G/V2X.....	232
Rys. 13.7. Odpowiedzi na pytanie 20)	232
Rys. 13.8. Odpowiedzi na pytanie 21) dotyczące wymagań niezbędnych do spełnienia, które pozwolą na uczestnictwo w Programie V2G/V2X.....	233
Rys. 13.9. Odpowiedzi na pytanie 22)	234
Rys. 13.10. Odpowiedzi na pytanie 23)	234

12. Spis tabel

Tab. 2.1. Liczba prac naukowych dotyczących technologii V2X, V2G, V2B w portalu ScienceDirect w latach 2010 – 2022	23
Tab. 2.2. Propozycja zmian legislacyjnych umożliwiającą wprowadzenie rynku usług V2X – na podstawie [154, 156]	33
Tab. 3.1. Podstawowe informacje o przeprowadzonym badaniu ankietowym.....	37
Tab. 3.2. Spis pytań zadanych w przeprowadzonym badaniu ankietowym.....	37
Tab. 3.3. Odpowiedzi na pytanie 4) w przeprowadzanej ankiecie.....	39
Tab. 3.4. Odpowiedzi na pytanie 6) w przeprowadzanej ankiecie.....	40
Tab. 3.5. Odpowiedzi na pytania 5) i 7) w przeprowadzanej ankiecie	41
Tab. 3.6. Odpowiedzi na pytanie 10) w przeprowadzanej ankiecie.....	42
Tab. 3.7. Odpowiedzi na pytanie 11) w przeprowadzanej ankiecie.....	43
Tab. 3.8. Odpowiedzi na pytanie 13) w przeprowadzanej ankiecie.....	44
Tab. 3.9. Odpowiedzi na pytanie 17) w przeprowadzanej ankiecie.....	46
Tab. 3.10. Odpowiedzi na pytanie 18) w przeprowadzanej ankiecie.....	47
Tab. 4.1. Podmioty i ich role w Programie V2X – na podstawie [138].....	55
Tab. 7.1. Grupy zabezpieczanych odbiorców w ramach UH-RZOK.....	117
Tab. 7.2. Obliczone za pomocą metody „ankietowej” prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X	129
Tab. 7.3. Stawki referencyjne za udostępnianą energię elektryczną z uEV dla UH-RZOK – na podstawie [18]	137
Tab. 7.4. Wartości wskaźników VoLA dla sektora przemysłowego – na podstawie [18].....	137
Tab. 7.5. Wartości współczynników AM, UH – RZOK.....	137
Tab. 7.6. Stawki referencyjne za udostępnianą energię elektryczną z uEV dla UI-RZOK – na podstawie [18]	138
Tab. 7.7. Wartości wskaźników VoLL dla sektora przemysłowego – na podstawie [18]	138
Tab. 7.8. Wartości współczynników AM, UI – RZOK	138
Tab. 8.1. Korekty oferowanej pojemności baterii uEV dokonanej przez V2Xsp dla EndUs1 w Wariancie 1	158
Tab. 8.2. Wyniki symulacji procesu kontraktowania uEV dla realizowanej usługi UH-RZOK dla EndUs1	160
Tab. 8.3. Wyniki symulacji mechanizmu dokonywania korekt przez V2Xsp w procesie kontraktowania uEV dla usługi UH-RZOK realizowanej dla EndUs1.....	160
Tab. 8.4. Wyniki symulacji procesu kontraktowania uEV dla realizowanej usługi UH-RZOK dla EndUs2	160
Tab. 8.5. Wyniki symulacji mechanizmu dokonywania korekt przez V2Xsp w procesie kontraktowania uEV dla usługi UH-RZOK realizowanej dla EndUs2.....	161
Tab. 8.6. Zmiany wartości wolumenów energii elektrycznej w toku działania algorytmu ofertowania strefowego w Wariancie 4 dla EndUs1 i EndUs2.....	161
Tab. 8.7. Rozkład odbiorców końcowych według grup zdefiniowanych w Programie V2X	163
Tab. 8.8. Liczba EndUs w grupach odbiorców końcowych V2X dla poszczególnych poziomów liczebności	164

Tab. 8.9. Liczba uEV przypisana do poszczególnych poziomów elektryfikacji transportu obszaru działania V2Xsp o powierzchni 300 km ²	167
Tab. 8.10. Wartości wskaźnika LOLE oraz parametru TanV2X.....	168
Tab. 8.11. Prognozowane wartości wolumenów energii elektrycznej uwzględniane w analizie ekonomicznej usług V2X UH-RZOK i UI-RZOK – na podstawie [23].....	169
Tab. 8.12. Liczba oraz moc punktów ładowania V2X zainstalowanych w instalacji EndUs	173
Tab. 8.13. Wartość opłaty OGi, v, s w funkcji poziomów elektryfikacji transportu oraz liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych	174
Tab. 8.14. Wartość opłaty OPZi, v, s dla poszczególnych grup EndUs w funkcji liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych	176
Tab. 8.15. Roczne wartości składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X SVi, v, s dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH.....	176
Tab. 8.16. Roczne wartości składnika zmiennego opłaty za korzystanie z usług V2X SVi, v, s dla poszczególnych grup EndUs – Wariant UI	177
Tab. 8.17. Roczne wartości opłaty za korzystanie z usług V2X Fee iydla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH , Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu.....	177
Tab. 8.18. Roczne wartości opłaty za korzystanie z usług V2X Fee iydla poszczególnych grup EndUs – Wariant UH , Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu.....	178
Tab. 8.19. Przeciętny roczny wolumen energii elektrycznej dostarczony przez 1 uEV dla poszczególnych grup EndUs –Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu.....	179
Tab. 8.20. Przeciętny roczny wolumen energii elektrycznej dostarczony przez 1 uEV dla poszczególnych grup EndUs –Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu.....	179
Tab. 8.21. Godziny świadczenia usług V2X w przeprowadzonych symulacjach.....	180
Tab. 8.22. Wartość składnika wynagrodzenia uEV OGN, suEV w funkcji poziomów elektryfikacji transportu oraz liczebności usługobiorców dla 12 okresów rozliczeniowych. 181	
Tab. 8.23. Wartość składnika wynagrodzenia uEV związanego z rozliczeniem udostępnionej energii z uEV na potrzeby realizacji usługi V2X, dla 12 okresów rozliczeniowych – Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	185
Tab. 8.24. Wartość składnika wynagrodzenia uEV związanego z rozliczeniem udostępnionej energii z uEV na potrzeby realizacji usługi V2X, dla 12 okresów rozliczeniowych – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu	185
Tab. 8.25. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	189
Tab. 8.26. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu	190
Tab. 8.27. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu	190
Tab. 8.28. Wartości rocznego wynagrodzenia uEV za realizację usług V2X – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu.....	190

Tab. 8.29. Wybrane wartości maksymalnego rocznego wynagrodzenia dla V2Xus za realizację usług V2X przez 1 uEV	192
Tab. 8.30. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom I liczebności EndUs	193
Tab. 8.31. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom IV liczebności EndUs	193
Tab. 8.32. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom VII liczebności EndUs	194
Tab. 8.33. Wartości rocznych zmiennych kosztów operacyjnych V2Xsp – Poziom VIII liczebności EndUs	194
Tab. 8.34. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	195
Tab. 8.35. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu.....	195
Tab. 8.36. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu	195
Tab. 8.37. Wartości rocznych przychodów V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu	196
Tab. 8.38. Wartości rocznych wydatków V2Xsp w podziale na kategorie kosztów – <i>Wariant UH</i> , Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu.....	197
Tab. 8.39. Wartości rocznych wydatków V2Xsp w podziale na kategorie kosztów – <i>Wariant UI</i> , Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	197
Tab. 8.40. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu.....	198
Tab. 8.41. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu	198
Tab. 8.42. Wartości rocznych wydatków V2Xsp z tytułu realizacji usług V2X UH-RZOK lub UI-RZOK – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu.....	198
Tab. 8.43. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu.....	199
Tab. 8.44. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu	199
Tab. 8.45. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom I liczebności EndUs, Poziom A elektryfikacji transportu.....	200
Tab. 8.46. Wartości wskaźnika EBITDA dla V2Xsp – Poziom VIII liczebności EndUs, Poziom F elektryfikacji transportu.....	200
Tab. 8.47. Wartości ograniczeń zastosowanych w analizowanym zadaniu optymalizacyjnym	203
Tab. 8.48. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną kda, UH – RZOK oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – <i>Wariant UH</i> , Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	204
Tab. 8.49. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną kda, UI – RZOK oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – <i>Wariant UI</i> , Poziom IV liczebności EndUs, Poziom C elektryfikacji transportu	204

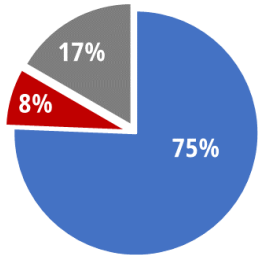
Tab. 8.50. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną kda, UH – RZOK oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – <i>Wariant UH</i> , Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu	204
Tab. 8.51. Wartości stawek za udostępnianą energię elektryczną kda, UI – RZOK oraz wskaźnika EBITDA dla V2Xsp po optymalizacji – <i>Wariant UI</i> , Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu	205
Tab. 13.1. Odpowiedzi na pytanie 1) w przeprowadzanej ankiecie.....	230
Tab. 13.2. Odpowiedzi na pytanie 2) w przeprowadzanej ankiecie.....	230
Tab. 13.3. Odpowiedzi na pytanie 3) w przeprowadzanej ankiecie.....	231
Tab. 13.4. Odpowiedzi na pytania 8) i 9) w przeprowadzanej ankiecie	231
Tab. 13.5. Odpowiedzi na pytanie 20) w przeprowadzanej ankiecie.....	232
Tab. 13.6. Odpowiedzi na pytanie 22) w przeprowadzanej ankiecie.....	234
Tab. 13.7. Odpowiedzi na pytanie 23) w przeprowadzanej ankiecie.....	234
Tab. 13.8. Wyniki testu poprawności planowania poziomu SOC	248
Tab. 13.9. Wyniki testu poprawności planowania wartości dobowych przebiegów	248
Tab. 13.10. Całkowite wyniki testu poprawności planowania V2Xus w odniesieniu do danego uEV.....	249
Tab. 13.11. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom A elektryfikacji transportu	270
Tab. 13.12. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom A elektryfikacji transportu.....	271
Tab. 13.13. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom B elektryfikacji transportu	271
Tab. 13.14. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom B elektryfikacji transportu.....	271
Tab. 13.15. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom C elektryfikacji transportu	272
Tab. 13.16. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom C elektryfikacji transportu.....	272
Tab. 13.17. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom D elektryfikacji transportu	272
Tab. 13.18. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom D elektryfikacji transportu.....	273
Tab. 13.19. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom E elektryfikacji transportu	273
Tab. 13.20. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom E elektryfikacji transportu.....	273
Tab. 13.21. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UH</i> , Poziom F elektryfikacji transportu	274
Tab. 13.22. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – <i>Wariant UI</i> , Poziom F elektryfikacji transportu	274

13. Załączniki

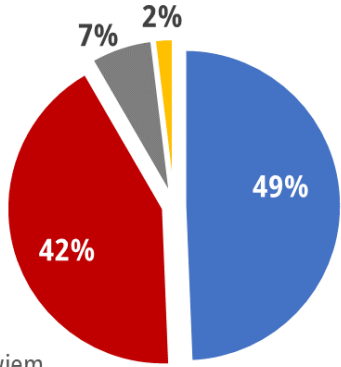
13.1. Załącznik 1 – Wyniki badania ankietowego

W niniejszym załączniku w Tab. 13.1 – Tab. 13.7 oraz na Rys. 13.1 – Rys. 13.10 przedstawiono odpowiedzi na pozostałe, nieomówione wcześniej, pytania zadane podczas badania ankietowego.

Tab. 13.1. Odpowiedzi na pytanie 1) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	<i>1. Czy Pani/Pan interesuje się elektromobilnością i technologiami powiązanymi z nimi?</i>	
Tak	118	 ■ Tak ■ Nie ■ Mam częściową wiedzę/Trudno Powiedzieć Rys. 13.1. Odpowiedzi na pytanie 1)
Nie	12	
Mam częściową wiedzę/Trudno powiedzieć	26	
Łączna liczba respondentów	156	

Tab. 13.2. Odpowiedzi na pytanie 2) w przeprowadzanej ankiecie

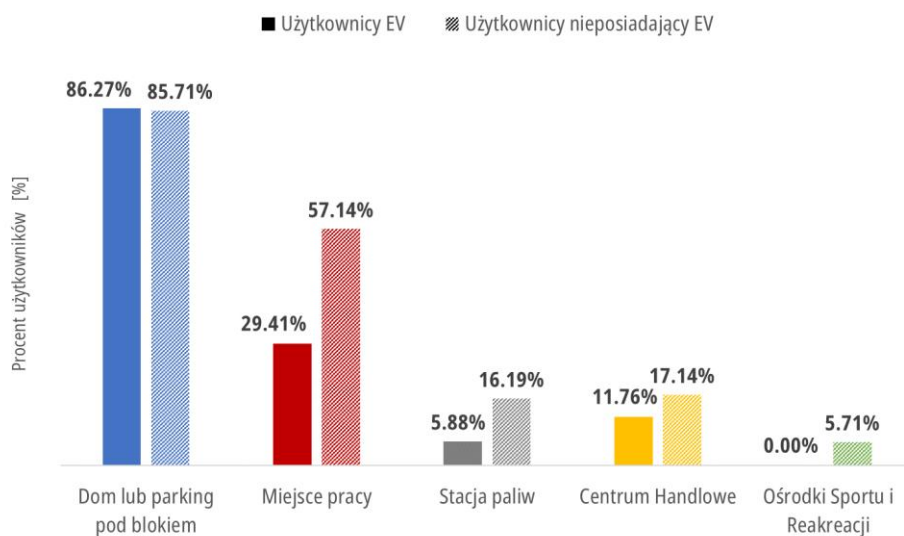
Pytanie	<i>2. Czy w Pani/Pana miejscu zamieszkania istnieje możliwość ładowania pojazdu elektrycznego?</i>	
Tak	77	 ■ Tak ■ Nie ■ Nie wiem ■ Jest planowane pobudowanie stacji Rys. 13.2. Odpowiedzi na pytanie 2)
Nie	66	
Nie wiem	10	
Jest planowane pobudowanie stacji	3	
Łączna liczba respondentów	156	

Tab. 13.3.Odpowiedzi na pytanie 3) w przeprowadzanej ankiecie

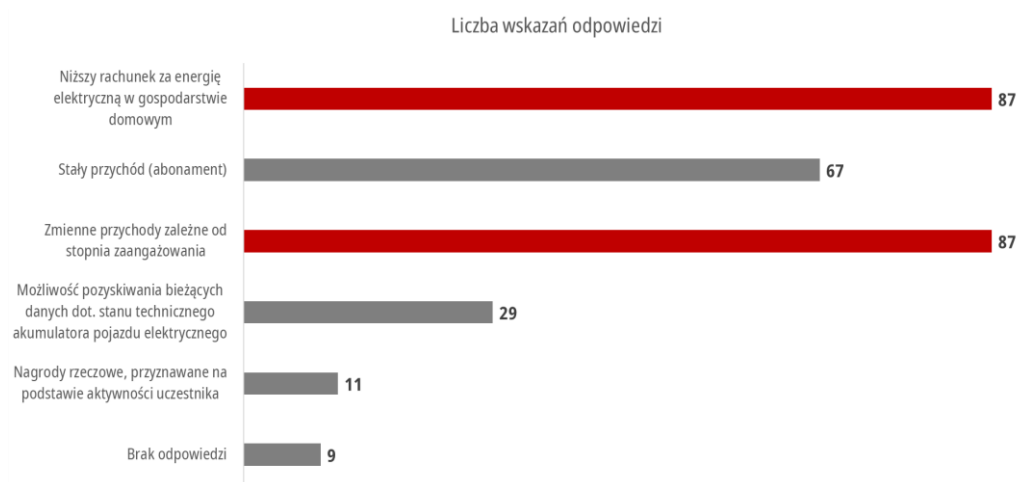
Pytanie	3. Czy w Pani/Pana miejscu pracy istnieje możliwość ładowania pojazdu elektrycznego?	Rys. 13.3. Odpowiedzi na pytanie 3)
Tak	67	
Nie	63	
Nie wiem	21	
Jest planowane pobudowanie stacji	5	
Łączna liczba respondentów	156	

Tab. 13.4.Odpowiedzi na pytania 8) i 9) w przeprowadzanej ankiecie

Pytanie	8. Jeżeli Pani/Pan posiadał(a)by pojazd elektryczny, proszę wskazać miejsce ładowania, w którym najchętniej by Pani/Pan je wykonywał(a):	9. Proszę wskazać miejsce ładowania, w którym najchętniej Pani/Pan je wykonuje:
Dom lub parking pod blokiem	90	44
Miejsce pracy	60	15
Stacja paliw	17	3
Centrum Handlowe	18	6
Ośrodki Sportu i Rekreacji	6	0
Łączna liczba respondentów	106	51



Rys. 13.4. Porównanie oczekiwań i faktycznych miejsc ładowania pojazdów elektrycznych



Rys. 13.5. Odpowiedzi na pytanie 16) dotyczące rodzaju korzyści, które stanowiłyby główną zachętę do przystąpienia do Programu V2G/V2X

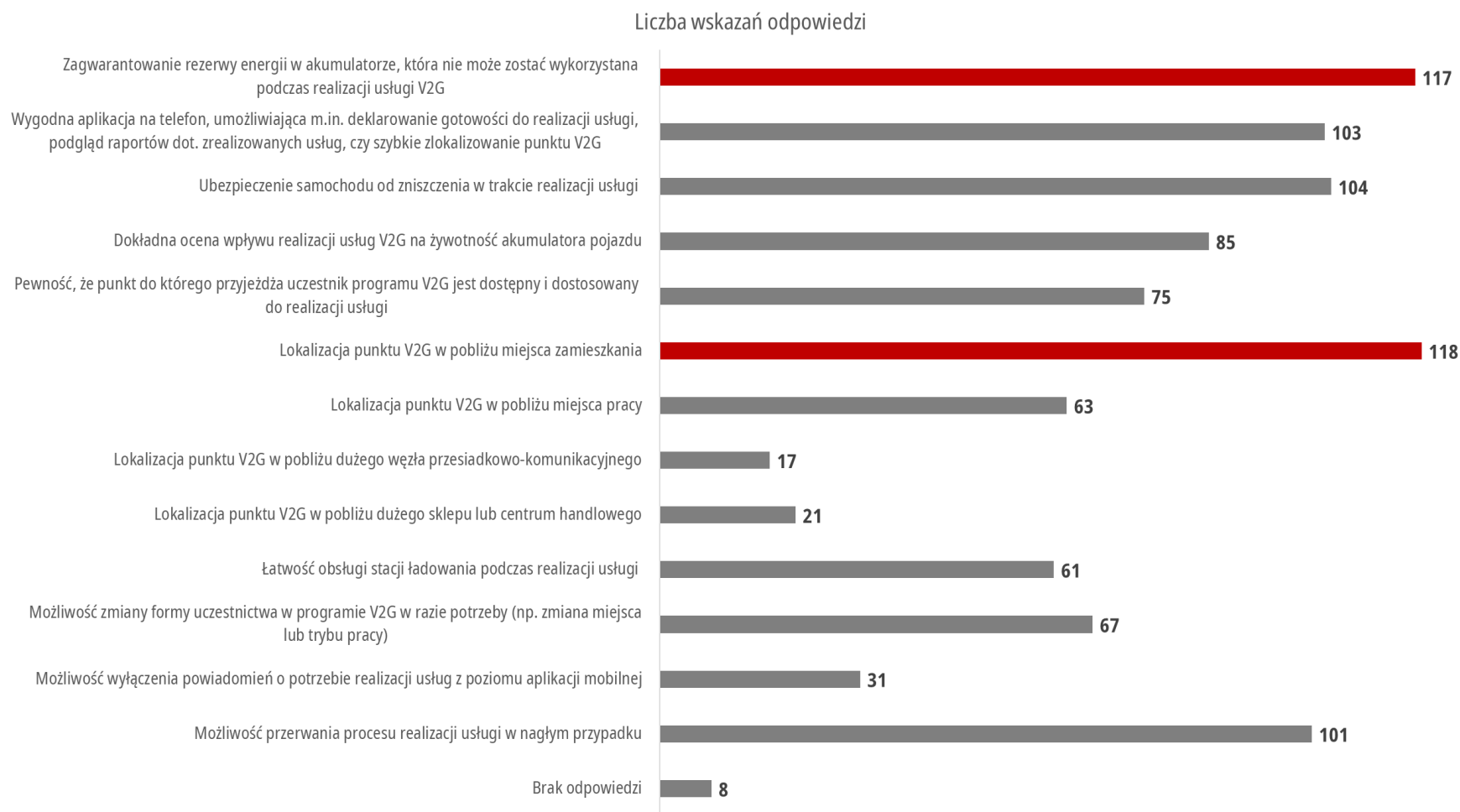


Rys. 13.6. Odpowiedzi na pytanie 19) dotyczące wyboru impulsu ekonomicznego, który skłoniłby respondenta do uczestnictwa w Programie V2G/V2X

Tab. 13.5. Odpowiedzi na pytanie 20) w przeprowadzanej ankiecie

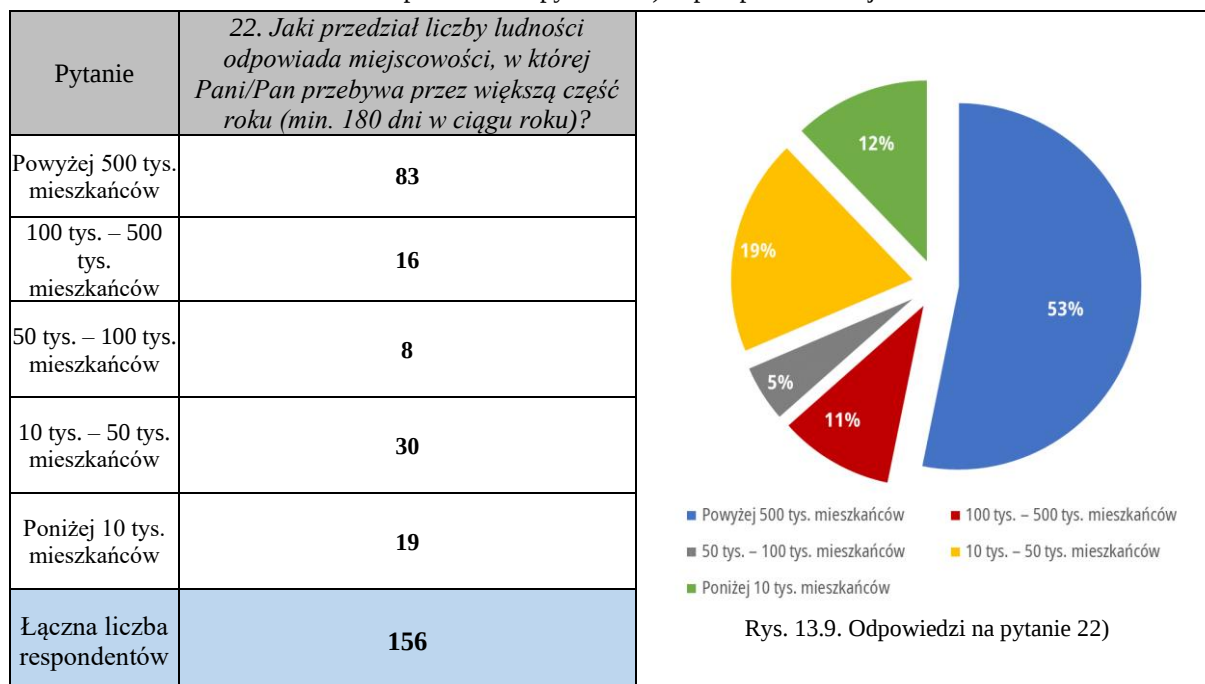
Pytanie		
	20. Czy w sytuacji krytycznej dla funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego tj. ryzyka wystąpienia dużej awarii systemowej był(a)by Pani/Pan gotowa/y do wykonania czynności, polegających na przyjechaniu w ustalone miejsce oraz udostępnieniu dostępnej energii zgromadzonej w akumulatorze do ratowania systemu elektroenergetycznego?	
Tak	87	
Nie	31	
Nie wiem	38	
Łączna liczba respondentów	156	

Rys. 13.7. Odpowiedzi na pytanie 20)

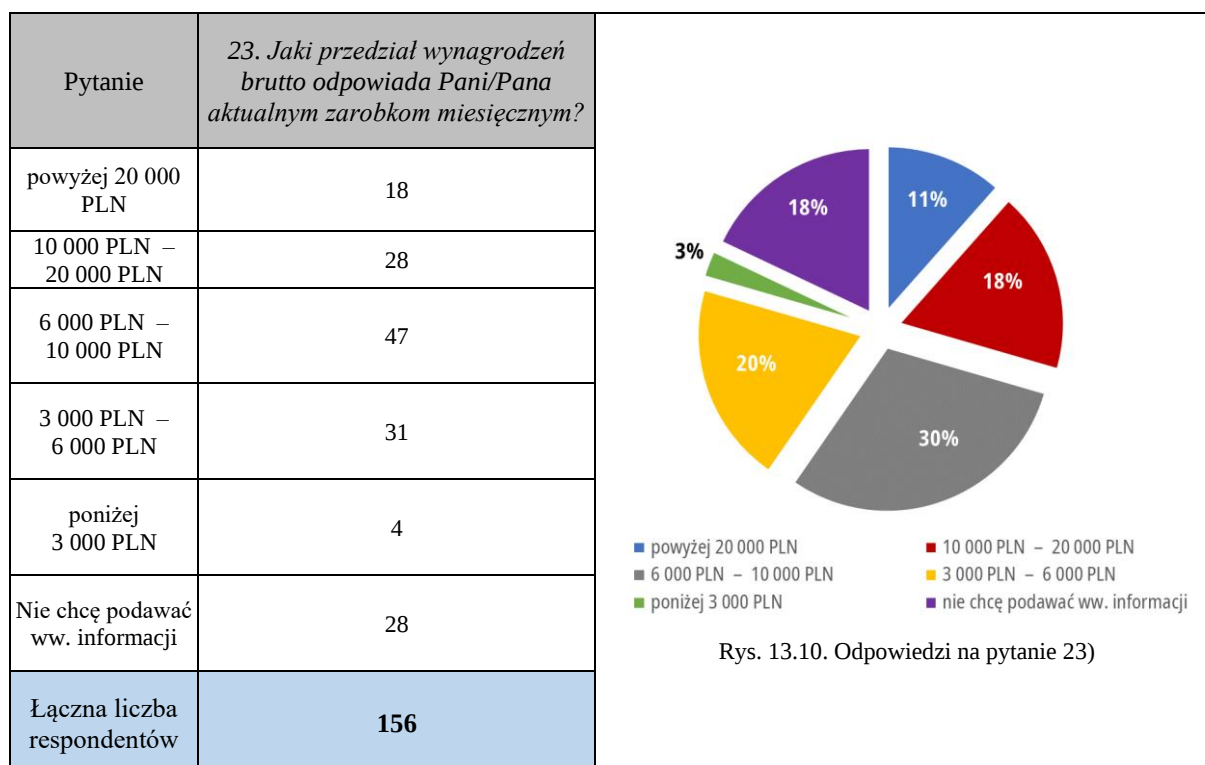


Rys. 13.8. Odpowiedzi na pytanie 21) dotyczące wymagań niezbędnych do spełnienia, które pozwolą na uczestnictwo w Programie V2G/V2X

Tab. 13.6. Odpowiedzi na pytanie 22) w przeprowadzanej ankiecie



Tab. 13.7. Odpowiedzi na pytanie 23) w przeprowadzanej ankiecie



13.2. Załącznik 2 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie *early-bid*

13.2.1. Wprowadzenie

W niniejszym załączniku przedstawiono szczegółowy proces kontraktowania usług V2X w ramach mechanizmu ofertowania wstępnego *early-bid*. Opisano kolejne kroki postępowania od momentu zgłoszenia V2Xus w odniesieniu do ich uEV, aż do ostatecznego zbioru pojazdów elektrycznych wybranych do realizacji tej usługi V2X.

13.2.2. Metoda „Planowania Przebiegów”

W Metodzie „Planowania Przebiegów” V2Xus będzie miał możliwość konfiguracji oferty, w odniesieniu do danego uEV, podając parametry takie jak SOC_{akt}^{E-B} i $DIST_{E-B}$, które będą obowiązywać od momentu zakwalifikowania oferty jako wygranej, po uprzednim potwierdzeniu wykonania usługi t_{acpt}^{E-B} . W czasie okna składania ofert, w dedykowanej aplikacji każdy z V2Xus otrzyma propozycję produktu, taką jak określono w równaniu (4.11) oraz zostanie przedstawiona oś czasu, na której wskazany zostanie moment t_{acpt}^{E-B} . Uczestnik będzie mógł dzięki temu spersonalizować ofertę w momencie jej składania, tj. w momencie t_{ofFIN}^{E-B} , która w przypadku pozytywnego przejścia pierwszego etapu selekcji oraz potwierdzeniu przez V2Xus, następnie zostanie ponownie poddana procesowi selekcji przez V2Xsp, z uwzględnieniem aktualnych parametrów elektrycznych pojazdów. W tym miejscu należy odwołać się do uprzednio umieszczonych informacji dot. ustalania wiarygodności uczestnika Programu V2X. Zgodnie z definicjami i podstawowymi założeniami Programu V2X, rolą V2Xsp jest zakontraktowanie odpowiedniego wolumenu energii elektrycznej z pojazdów elektrycznych, aby mógł on świadczyć usługi dla odbiorcy końcowego lub OSD. W związku z tym błędne zakontraktowanie, tj. niedokontraktowanie może skutkować brakiem możliwości zrealizowania usługi, co spowodowałoby konsekwencje finansowe dla V2Xsp. Aby zapobiec takim działaniom należy wprowadzić dodatkowe mechanizmy weryfikacji V2Xus, który będzie korzystać z Metody „Planowania Przebiegów”. Zatem proponuje się, aby uczestnik w odniesieniu do danego uEV mógł uzyskać status tzw. Wiarygodnego Uczestnika ($V2Xus^{CRD}$) w momencie gdy wykona odpowiedni *Test poprawności planowania* – opisany w Załączniku 3. W przypadku, gdy uzyska on taki status, będzie uprawniony do składania oferty, w której parametrami będą $SOC_{akt}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B})$ oraz $DIST_{E-B}$. Pierwszy z tych parametrów należy rozumieć następująco:

$$SOC_{akt}^{E-B}(t_{ofFIN}^{E-B}) = SOC_{akt}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B}) \quad (13.1)$$

Oznacza to, że w chwili składania oferty należy podać prognozowany SOC pojazdu elektrycznego V2X w chwili jej potwierdzenia. Po złożeniu oferty V2Xsp może zakwalifikować ją do dalszego etapu selekcji i wówczas V2Xus może potwierdzić chęć dalszego udziału w procesie kontraktowania. Następnie, w chwili potwierdzenia usługi V2X w mechanizmie *early-bid*, V2Xsp zweryfikuje czy podany uprzednio na etapie składania oferty poziom $SOC_{akt}^{E-B}(t_{ofFIN}^{E-B})$ jest zgodny ze stanem faktycznym $SOC'_{akt}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B})$ poprzez zdalny odczyt z systemu rejestrującego parametry pojazdu. Jeśli odczytana wartość będzie odbiegała od zadeklarowanej i nie spełni warunków określonych równaniem (13.1), to V2Xus utraci status Wiarygodnego Uczestnika i będzie musiał przejść ponownie *Test poprawności planowania*. Niezależnie od powyższego końcowa oferta będzie kalkulowana względem poziomu SOC w momencie t_{acpt}^{E-B} .

$$SOC_{akt}^{E-B}(t_{ofFIN}^{E-B}) \in < 0,9 \cdot SOC'_{akt}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B}); 1,1 \cdot SOC'_{akt}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B}) > \quad (13.2)$$

Drugi z parametrów, który będzie podawać V2Xus to $DIST_{E-B,n}$. Jest to odległość, jaką pokona n -ty uEV od momentu potwierdzenia usługi do jej realizacji. Podobnie jak w przypadku prognozowanego poziomu SOC, jeśli V2Xus niedokładnie oszacuje przebieg uEV może utracić status Wiarygodnego Uczestnika. Sposób wyliczania oferowanego wolumenu energii elektrycznej w Metodzie „Planowania Przebiegów”, na podstawie poziomu SOC i prognozowanej odległości został określony równaniami³²:

$$C_{ofPL,n}^{E-B} = C_n \cdot \left(\left(SOC_{akt,n}^{E-B}(t_{ofFIN}^{E-B}) - \frac{u_{SEV,n} \cdot DIST_{E-B,n}}{C_n} \right) - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n)) \right) \cdot \eta_d \quad (13.3)$$

$$C_{ofPL,n}^{E-B} = C_n \cdot \left(\left(SOC'_{akt,n}^{E-B}(t_{acpt}^{E-B}) - \frac{u_{SEV,n} \cdot DIST_{E-B,n}}{C_n} \right) - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n)) \right) \cdot \eta_d \quad (13.4)$$

gdzie: $C_{ofPL,n}^{E-B}$ – oferowany, prognozowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili złożenia oferty w mechanizmie *early-bid*, uwzględniający prognozowany poziom SOC w momencie potwierdzania usługi, obliczany dla V2Xus korzystającego z Metody „Planowania Przebiegów”, wyrażony w kWh; $C_{ofPL,n}^{E-B}$ – oferowany, prognozowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili potwierdzenia oferty w mechanizmie *early-bid*, uwzględniający weryfikację poziomu SOC z rejestratora parametrów jezdnych uEV,

³² Parametry takie jak: C_n , $SOC_{f,n}$, REZ_n oraz η_d są zdefiniowane na etapie tworzenia profilu uczestnika Programu V2X i powinny być dostępne w aplikacji uczestnika oraz systemie teleinformatycznym.

obliczany dla V2Xus korzystającego z Metody „Planowania Przebiegów”, wyrażony w kWh; $us_{EV,n}$ – uśrednione zużycie energii elektrycznej n -tego uEV, zebrane z ostatnich 30 dni kalendarzowych, wyrażone w kWh/km.

Należy podkreślić, że zgodnie z poprzednimi założeniami uczestnicy z pojazdami w trybie opcjonalnym uEV_{op} mogą otrzymać możliwość złożenia korekty oferty w pewnym oknie czasowym, zaś pojazdy w trybie obowiązkowym uEV_{man} nie mogą już aktualizować swojej oferty. Jednakże dla obu trybów świadczenia usługi, jeśli oferta zostanie potwierdzona przez V2Xus, zweryfikowana, a następnie zostanie zakwalifikowana do realizacji przez V2Xsp (w przypadku uEV_{op} po oknie korekty), podlega ona obowiązkowi wykonania pod rygorem nałożenia kar. Proces selekcji ofert zostanie opisany w dalszej części tego załącznika.

13.2.3. Metoda „Przebiegów Historycznych”

W przypadku gdy V2Xus w odniesieniu do danego uEV nie uzyskał statusu Wiarygodnego Uczestnika tzn. nie wykonywał lub uzyskał wynik negatywny *Testu poprawności planowania*, będzie składał ofertę w mechanizmie *early-bid* na podstawie predefiniowanej, maksymalnej pojemności baterii, która może zostać wykorzystana $C_{OFHIST,n}^{E-B}$. Ze względu na brak zdolności prognozowania V2Xus w tej metodzie należy bazować wyłącznie na danych pozyskanych z systemu teleinformatycznego i urządzenia rejestrującego parametry jezdne. W momencie składania oferty, tj. do czasu t_{ofFIN}^{E-B} , z urządzenia rejestrującego parametry zainstalowanego w n -tym uEV wysyłana jest informacja o aktualnym SOC pojazdu. Niech $SOC_{akt,n}^{E-Bh}(t_{ofFIN}^{E-B})$ oznacza ten poziom. Następnie aplikacja uczestnika Programu V2X oblicza maksymalną ofertę jaką w tym momencie może zaoferować V2Xus w mechanizmie *early-bid*, korzystając z Metody Historycznych Przebiegów. Jest to możliwe, gdyż wyznacza się prognozowaną odległość, która zostanie przebyta od momentu złożenia oferty, na podstawie średniej arytmetycznej z historycznych dobowych przebiegów uEV pozyskanych z dedykowanego systemu teleinformatycznego V2Xsp. Proponuje się, aby okres uwzględniania danych historycznych wynosił 30 ostatnich dni kalendarzowych, z wyłączeniem pierwszego miesiąca funkcjonowania Programu V2X. Wówczas proponuje się okres zbierania danych w czasie tzw. 14 dniowego pilotażu oraz uwzględnienia wyników ankiety opisanej w Rozdziale 3. Zatem prognozowaną odległość można wyznaczyć w następujący sposób:

$$DIST_{E-B}^{HIST} = \frac{1}{30} \sum_{d=1}^{30} DIST_d^h \quad (13.5)$$

gdzie: $DIST_{E-B}^{HIST}$ – prognozowany przebieg uEV, wyznaczony jako średnia arytmetyczna z ostatnich 30-tu dobowych przebiegów pojazdu, wyrażony w km; $DIST_d^h$ – przebieg uEV w dobie d , w okresie kwalifikacji, wyrażony w km.

Na podstawie pozyskanych historycznych danych co do uśrednionego zużycia energii $us_{EV,n}$ oraz obliczonej prognozowanej wartości przebiegu uEV, oblicza się maksymalną możliwą do zaoferowania pojemność baterii uEV w ramach usługi V2X, biorąc pod uwagę ograniczenia związane z minimalnym poziomem SOC. Określono tę wartość za pomocą równania:

$$C_{ofHIST,n}^{E-B} = C_n \cdot \left(\left(SOC_{akt,n}^{E-Bh} (t_{ofFIN}^{E-B}) - \frac{us_{EV,n} \cdot DIST_{E-B,n}^{HIST}}{C_n} \right) - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n)) \right) \cdot \eta_d \quad (13.6)$$

gdzie: $C_{ofHIST,n}^{E-B}$ – oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili złożenia oferty w mechanizmie *early-bid*, obliczany dla V2Xus korzystającego z Metody „Przebiegów Historycznych”, wyrażony w kWh.

Obliczono zatem maksymalną pojemność jaką może zaoferować V2Xus dla n -tego uEV w momencie składania oferty w mechanizmie *early-bid*. Następnie w oknie czasowym służącym do potwierdzenia oferty, dokonuje się ponownej weryfikacji SOC pojazdu. Jest to związane z faktem, że V2Xus mógł podjąć decyzję o doładowaniu swojego uEV, tak aby zwiększyć pojemność oferowaną w ramach mechanizmu *early-bid*. Zatem, w momencie potwierdzenia oferty t_{acpt}^{E-B} oferowana pojemność jest określona w następujący sposób:

$$C_{ofHIST',n}^{E-B} = C_n \cdot \left(\left(SOC_{akt,n}^{E-Bh} (t_{acpt}^{E-B}) - \frac{us_{EV,n} \cdot DIST_{E-B,n}^{HIST}}{C_n} \right) - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n)) \right) \cdot \eta_d \quad (13.7)$$

gdzie: $C_{ofHIST',n}^{E-B}$ – oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili potwierdzenia oferty w mechanizmie *early-bid*, obliczany dla V2Xus korzystającego z Metody „Przebiegów Historycznych”, wyrażony w kWh.

W oknie korekty oferty dla uEV_{op} istnieje możliwość dodania dodatkowego przebiegu pojazdu, co spowoduje pomniejszenie wolumenu udostępnianej z uEV energii elektrycznej. Może jednak wiązać to się z niezakwalifikowaniem do realizacji, ze względu na zbyt mały wolumen energii dostępny dla V2Xsp. Należy pamiętać, że podobnie jak w przypadku „Metody planowania przebiegów” potwierdzenie oferty zweryfikowanej przez V2Xsp wiąże się z obowiązkiem jej wykonania pod rygorem zapłaty kar umownych.

13.2.4. Proces selekcji ofert

Proces selekcji ofert rozpoczyna się od zebrania wszystkich skutecznie złożonych ofert przez V2Xus, zarówno tych korzystających z Metody „Planowania Przebiegów”, jak i Metody „Przebiegów Historycznych”. Następnie V2Xsp analizuje złożone oferty i wybiera te, dla których warunki konieczne związane z parametrami produktu spełniają następującą zależność:

$$t_{s,n}^{uEV} \geq t'_s \quad (13.8)$$

Zatem można utworzyć zbiór ofert złożonych w mechanizmie *early-bid*. Niech N_{uEV}^{E-Bof} oznacza zbiór ofert na świadczenie usługi V2X, złożonych przez V2Xus w odniesieniu do danych uEV, znajdujących się w momencie uruchomienia mechanizmu *early-bid* w obszarze działania V2Xsp. Każda oferta może być opisana zgodnie ze wzorem (5.9). Należy jednak podkreślić, że w zależności od metody składania ofert niektóre składowe wektora $uEV_{E-B,n}^{of}$ mogą pozostać puste. Odpowiednio dla Metody „Planowania Przebiegów”, wektor ten będzie przyjmował postać:

$$uEV_{E-B,n}^{ofPL} = [ID_n, M_n, SOC_{akt,n}^{E-B}(t_{ofFIN}^{E-B}), DIST_{E-B,n}, -, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (13.9)$$

zaś dla Metody „Przebiegów Historycznych”:

$$uEV_{E-B,n}^{ofHIST} = [ID_n, M_n, -, -, C_{ofHIST,n}^{E-B}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (13.10)$$

Na podstawie równań (13.9) i (13.10) można utworzyć macierz określającą zbiór N_{uEV}^{E-Bof} :

$$N_{uEV}^{E-Bof} = \begin{bmatrix} ID_1 & M_1 & SOC_{akt,1}^{E-B} & DIST_{E-B,1} & - & t_{s,1}^{uEV} & P_{uEV,1}^{MAX} \\ ID_2 & M_2 & - & - & C_{ofHIST,2}^{E-B} & t_{s,2}^{uEV} & P_{uEV,2}^{MAX} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_n & M_n & SOC_{akt,n}^{E-B} & DIST_{E-B,n} & - & t_{s,n}^{uEV} & P_{uEV,n}^{MAX} \end{bmatrix} \quad (13.11)$$

Na podstawie ww. zbioru, V2Xsp tworzy ranking ofert N_{uEV}^{E-BR1} . Każdy rekord tego rankingu jest opisany za pomocą wektora $uEV_{E-B,n}^{R1}$. Należy podkreślić, że opis danej oferty w rankingu nie jest tożsamy z parametrami oferty składanymi przez V2Xus. Jest to związane z faktem, że V2Xsp na tym etapie oblicza prognozowany wolumen energii dla tych uEV, których V2Xus korzystają z Metody „Planowania Przebiegów”. Ww. wektor oraz ranking ofert określono równaniami:

$$uEV_{E-B,n}^{R1} = [ID_n, M_n, C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (13.12)$$

gdzie: $C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}$ – oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili złożenia oferty w mechanizmie *early-bid*, wyrażony w kWh, dla następujących przypadków:

- Metody „Planowania Przebiegów” jest to prognozowana wartość wolumenu energii elektrycznej oszacowana na podstawie podanych przez V2Xus parametrów, zgodnie z równaniem (13.3);
- Metody „Przebiegów Historycznych” jest to maksymalny oferowany wolumen energii elektrycznej, obliczony zgodnie z równaniem (13.6).

$$N_{uEV}^{E-BR1} = \begin{bmatrix} ID_1 & M_1 & C_{ofPL/HIST,1}^{E-B} & t_{s,1}^{uEV} & P_{uEV,1}^{MAX} \\ ID_2 & M_2 & C_{ofPL/HIST,2}^{E-B} & t_{s,2}^{uEV} & P_{uEV,2}^{MAX} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_n & M_n & C_{ofPL/HIST,n}^{E-B} & t_{s,n}^{uEV} & P_{uEV,n}^{MAX} \end{bmatrix} \quad (13.13)$$

Następnym krokiem jest posortowanie rekordów należących do zbioru N_{uEV}^{E-BR1} . Do tego celu należy określić kryteria sortowania. Aby ułatwić proces sortowania zmiennej M_n przypisuje się wartości: **1 – tryb opcjonalny**; **2 – tryb obowiązkowy**. Zasady oraz priorytety sortowania rekordów są następujące:

- 1) $C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}$: max $\rightarrow$ min;
- 2) $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;
- 3) M_n : max $\rightarrow$ min;
- 4) $t_{s,n}^{uEV}$: max $\rightarrow$ min.

Należy podkreślić, że powyższe zasady są ogólnymi, natomiast w szczególnych przypadkach V2Xsp powinien mieć możliwość ich modyfikacji, np. w przypadku profilowania nowej usługi. Niech N_{of1}^{E-B} oznacza liczbę wybranych ofert do dalszego procedowania w ramach mechanizmu *early-bid*. W przypadku gdy liczba ofert jest większa niż liczba pojazdów potrzebnych do realizacji usługi, V2Xsp wybiera najlepsze oferty z rankingu, a następnie sprawdza warunek dostępności energii z pojazdów elektrycznych V2X. Natomiast jeśli liczba ofert jest mniejsza bądź równa liczbie pojazdów N_{uEV}^{REQ} , wówczas V2Xsp automatycznie kwalifikuje wszystkie oferty do sprawdzenia warunku dostępnej pojemności w bateriach pojazdów elektrycznych V2X. Należy przyjąć, że usługobiorca posiada określoną liczbę punktów ładowania V2X, a zatem rolą dostawcy usług jest zakontraktowanie takiej ilości energii elektrycznej, aby w przypadku uruchomienia drugiego mechanizmu kontraktowania, tj. algorytmu strefowego, zamówiona usługa była dalej możliwa do realizacji. Oznacza to, że zakontraktowanie w mechanizmie *early-bid* zbyt dużej liczby uEV o dostępnej pojemności

baterii mniejszej niż wartość średnia energii elektrycznej dostępnej w pojazdach elektrycznych V2X w wybranej godzinie t , tj. $E_{avg,t}^{uEV_G}$, może uniemożliwić znalezienie brakującego wolumenu energii elektrycznej w ramach algorytmu strefowego E_d'' . Zatem można określić następujące zależności:

$$N_{of1}^{E-B} = \begin{cases} |N_{uEV}^{E-B_{R1}}|, & \text{jeśli } |N_{uEV}^{E-B_{R1}}| \leq N_{uEV}^{REQ'} \\ N_{uEV}^{REQ'} - |N_{uEV}^{E-B_{R1}}|, & \text{jeśli } |N_{uEV}^{E-B_{R1}}| > N_{uEV}^{REQ'} \end{cases} \quad (13.14)$$

$$\frac{E_d' - \sum_{n=1}^{N_{of1}^{E-B}} C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of1}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV_G} \quad (13.15)$$

Jeśli warunek określony równaniem (13.15) nie jest spełniony, wówczas V2Xsp zmniejsza o 1 liczbę wygranych ofert N_{of1}^{E-B} , a następnie powtarza sprawdzenie tego warunku. Rezultatem działania powyższego sprawdzenia jest otrzymanie liczby ofert wygranych i zakwalifikowanych do drugiego etapu selekcji N_{of2}^{E-B} , tj. do wysłania potwierdzenia realizacji usługi do V2Xus. Opisane działania można zapisać za pomocą następującego pseudokodu:

$$\begin{aligned} &\textbf{Sprawdź:} \frac{E_d' - \sum_{n=1}^{N_{of1}^{E-B}} C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of1}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV_G} \text{ dla } N_{of1}^{E-B} \geq 1 \\ &\quad \textbf{Jeśli TAK:} \text{ przypisz } N_{of2}^{E-B} = N_{of1}^{E-B} \\ &\quad \textbf{Jeśli NIE:} \text{ zmniejsz liczbę ofert } N_{of1}^{E-B} \text{ o 1 dla } N_{of1}^{E-B} \geq 1 \\ &\quad \textbf{Powtórz aż:} \frac{E_d' - \sum_{n=1}^{N_{of1}^{E-B}} C_{ofPL/HIST,n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of1}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV_G} \\ &\quad \textbf{Jeśli:} N_{of1}^{E-B} = 0 \text{ zakończ kontraktowanie w } early\text{-}bid, \text{ przejdź do } algorytmu \text{ strefowego} \end{aligned} \quad (13.16)$$

Otrzymaną liczbę N_{of2}^{E-B} traktujemy jako liczbę ofert zakwalifikowanych do drugiego etapu selekcji, który rozpoczyna się od wysłania przez V2Xsp potwierdzenia realizacji usługi do V2Xus. Jeśli V2Xus w odniesieniu do n -tego uEV potwierdzi realizację usługi V2X, następuje proces weryfikacji jego $SOC_{akt,n}'^{E-B}(t_{acpt}^{E-B})$ lub $C_{ofHIST,n}^{E-B}$ w zależności od metody składania ofert (Planowania Przebiegów lub Historycznych Przebiegów). Należy przypomnieć, że w przypadku uEV zakontraktowanych w trybie obowiązkowym, tj. uEV_{man}, potwierdzenie realizacji usługi wiąże się z deklaracją jej realizacji w przypadku zakwalifikowania oferty a to oznacza potencjalne nałożenie kar, jeśli V2Xus w odniesieniu do tego uEV nie udostępni pojemności baterii dla usługobiorcy. Zatem można określić za pomocą wektora $uEV_{E-B,n}^{R2}$

potwierdzoną ofertę realizacji usługi V2X w mechanizmie *early-bid*. Ww. wektor określono równaniem:

$$\mathbf{uEV}_{E-B,n}^{R2} = [ID_n, M_n, C_{ofPL'/HIST',n}^{E-B}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \quad (13.17)$$

gdzie: $C_{ofPL'/HIST',n}^{E-B}$ – oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, w chwili potwierdzenia oferty w mechanizmie *early-bid*, wyrażony w kWh.

Następnie można utworzyć ranking potwierdzonych ofert, budując macierz $\mathbf{N}_{uEV}^{E-BR2}$:

$$\mathbf{N}_{uEV}^{E-BR2} = \begin{bmatrix} ID_1 & M_1 & C_{ofPL'/HIST',1}^{E-B} & t_{s,1}^{uEV} & P_{uEV,1}^{MAX} \\ ID_2 & M_2 & C_{ofPL'/HIST',2}^{E-B} & t_{s,2}^{uEV} & P_{uEV,2}^{MAX} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_n & M_n & C_{ofPL'/HIST',n}^{E-B} & t_{s,n}^{uEV} & P_{uEV,n}^{MAX} \end{bmatrix} \quad (13.18)$$

Następnie należy posortować rekordy macierzy $\mathbf{N}_{uEV}^{E-BR2}$, zgodnie z przyjętymi zasadami. Są one identyczne jak w przypadku pierwszego etapu selekcji, jednak dla przypomnienia zostały one umieszczone poniżej:

- 1) $C_{ofPL'/HIST',n}^{E-B}$: max $\rightarrow$ min;
- 2) $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;
- 3) M_n : max $\rightarrow$ min;
- 4) $t_{s,n}^{uEV}$: max $\rightarrow$ min.

Niech N_{of3}^{E-B} oznacza liczbę wybranych ofert do dalszego procedowania w ramach mechanizmu *early-bid*. Kolejnym krokiem jest ponowne sprawdzenie warunku dostępności energii elektrycznej w pojazdach elektrycznych V2X, określonego równaniem (13.15), którego niespełnienie może wpłynąć negatywnie na realizację usługi. Jedyną modyfikacją ww. warunku jest zmiana wolumenu energii, który dotyczy obecnie wartości po potwierdzeniu usługi przez V2Xus i weryfikacji SOC w uEV. Zależności pozwalające na wykonanie powyższych działań zostały opisane równaniami:

$$N_{of3}^{E-B} = \begin{cases} |N_{uEV}^{E-BR2}|, & \text{jeśli } |N_{uEV}^{E-BR2}| \leq N_{uEV}^{REQ} \\ N_{uEV}^{REQ} \text{ z } |N_{uEV}^{E-BR2}|, & \text{jeśli } |N_{uEV}^{E-BR2}| > N_{uEV}^{REQ} \end{cases} \quad (13.19)$$

$$\frac{E'_d - \sum_{n=1}^{N_{of3}^{E-B}} C_{ofPL'/HIST',n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of3}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV} \quad (13.20)$$

Podobnie jak w przypadku pierwszego etapu selekcji ofert, jeśli warunek określony równaniem (13.20) nie jest spełniony, wówczas V2Xsp zmniejsza o 1 liczbę wygranych ofert

N_{of3}^{E-B} , a następnie powtarza sprawdzenie tego warunku. Tym razem rezultatem działania powyższego sprawdzenia jest otrzymanie liczby ofert wygranych i zakwalifikowanych do etapu realizacji lub korekty N_{ofR}^{E-B} , tj. dla ofert dotyczących uEV_{man} oznacza to konieczność realizacji usługi w postaci udostępnienia pojemności baterii EV, zaś dla uEV_{op} liczbę ofert, które można zmienić w toku okna korekty. Opisane działania można zapisać za pomocą następującego pseudokodu:

$$\begin{aligned}
&\textbf{Sprawdź: } \frac{E'_d - \sum_{n=1}^{N_{of3}^{E-B}} C_{ofPLI/HIST,n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of3}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV_G} \text{ dla } N_{of3}^{E-B} \geq 1 \\
&\quad \textbf{Jeśli TAK:} \text{ przypisz } N_{ofR}^{E-B} = N_{of3}^{E-B} \\
&\quad \textbf{Jeśli NIE:} \text{ zmniejsz liczbę ofert } N_{of3}^{E-B} \text{ o } 1 \text{ dla } N_{of3}^{E-B} \geq 1 \\
&\quad \textbf{Powtórz aż: } \frac{E'_d - \sum_{n=1}^{N_{of3}^{E-B}} C_{ofPLI/HIST,n}^{E-B}}{n_{cs} - N_{of3}^{E-B}} \leq E_{avg,t}^{uEV_G} \\
&\quad \textbf{Jeśli: } N_{of3}^{E-B} = 0 \text{ zakończ kontraktowanie w } \textit{early-bid}, \text{ przejdź do algorytmu} \\
&\quad \text{strefowego}
\end{aligned} \tag{13.21}$$

Zgodnie z założeniami mechanizmu *early-bid*, potwierdzone oferty od uEV_{op} mogą być poddane korekcie. Założono, że zmiana będzie ograniczać się wyłącznie do zmniejszenia udostępnianej pojemności baterii. W związku z tym należy z liczby ofert N_{ofR}^{E-B} wyznaczyć liczbę pojazdów w trybie obowiązkowym N_{uEVman}^{E-B} i opcjonalnym N_{uEVop}^{E-B} . Niech $C_{uEVman,m}^{E-B}$ oznacza oferowaną pojemność przez m -ty pojazd elektryczny V2X w trybie obowiązkowym w mechanizmie *early-bid*, zaś $C_{uEVop,o}^{E-B}$ oznacza oferowaną pojemność baterii przez o -ty pojazd elektryczny V2X zakontraktowany w trybie opcjonalnym w mechanizmie *early-bid*. Zatem można obliczyć sumaryczny wolumen energii oferowany przez oba rodzaje pojazdów:

$$E_{uEVman}^{E-B} = \sum_{m=1}^{N_{uEVman}^{E-B}} C_{uEVman,m}^{E-B} \tag{13.22}$$

$$E_{uEVop}^{E-B} = \sum_{o=1}^{N_{uEVop}^{E-B}} C_{uEVop,o}^{E-B} \tag{13.23}$$

gdzie: E_{uEVman}^{E-B} – sumaryczny oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV , zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid* w trybie obowiązkowym, wyrażony w kWh;

E_{uEVop}^{E-B} – sumaryczny oferowany wolumen energii elektrycznej udostępniany z uEV, zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid* w trybie opcjonalnym, wyrażony w kWh.

Niech ΔE_{uEVop}^{E-B} oznacza korektę wolumenu energii elektrycznej oferowanego przez pojazdy w trybie opcjonalnym, wynikającego ze zmiany parametrów oferty. Tak jak wspomniano, korekta może wynikać wyłącznie ze zmniejszenia udostępnianej pojemności baterii. Należy zatem wyznaczyć liczbę uEV_{op} w odniesieniu, do której zostały złożone propozycje korekty „w dół” w stosunku do wszystkich uEV_{op}. Tę zależność określono za pomocą równania:

$$N_{uEVop}^{E-B} = N_{uEVop-}^{E-B} + N_{uEVop0}^{E-B} \quad (13.24)$$

gdzie: N_{uEVop-}^{E-B} – liczba pojazdów elektrycznych V2X w trybie opcjonalnym, która złożyła chęć zmniejszenia pojemności; N_{uEVop0}^{E-B} – liczba pojazdów elektrycznych V2X w trybie opcjonalnym, która nie złożyła chęci korekty oferty;

Wolumen energii elektrycznej oferowany przed korektą przez uEV_{op}, którzy później złożyli ofertę zmniejszenia udostępnianej pojemności wynosi:

$$E_{uEVop-}^{E-B} = \sum_{a=1}^{N_{uEVop-}^{E-B}} C_{uEVop,a}^{E-B} \quad (13.25)$$

gdzie: E_{uEVop-}^{E-B} – sumaryczny, oferowany przed korektą wolumen energii elektrycznej udostępniany z a -tych uEV, zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid* w trybie opcjonalnym, którzy złożyli oferty zmniejszenia udostępnianej pojemności, wyrażony w kWh.

Analogicznie wyznaczono wolumen energii dla uEV_{op}, którzy w późniejszym etapie nie złożyli ofert zmniejszenia pojemności:

$$E_{uEVop0}^{E-B} = \sum_{b=1}^{N_{uEVop0}^{E-B}} C_{uEVop,b}^{E-B} \quad (13.26)$$

gdzie: E_{uEVop0}^{E-B} – sumaryczny, oferowany przed korektą wolumen energii elektrycznej udostępniany z b -tych uEV, zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid* w trybie opcjonalnym, którzy nie złożyli oferty zmniejszenia udostępnianej pojemności, wyrażony w kWh.

Następnie należy obliczyć minimalny wolumen energii elektrycznej potrzebny do zakontraktowania w mechanizmie *early-bid* dla pojazdów elektrycznych V2X w trybie opcjonalnym, tak aby usługa była możliwa do zrealizowania przy uwzględnieniu działania

algorytmu strefowego. Na jej podstawie wyliczona zostanie maksymalna wysokość korekty $E_{uEVopMIN}^{E-B}$. Ww. ilość energii określono równaniem:

$$E_{uEVopMIN}^{E-B} = E'_d - \left((n_{cs} - N_{of2}^{E-B}) \cdot E_{avg,t}^{uEV_G} + E_{uEVman}^{E-B} \right) \quad (13.27)$$

gdzie: $E_{uEVopMIN}^{E-B}$ – minimalny wolumen energii elektrycznej potrzebny do zakontraktowania w mechanizmie *early-bid* dla pojazdów elektrycznych V2X w trybie opcjonalnym, tak aby usługa była możliwa do zrealizowania przy uwzględnieniu działania algorytmu strefowego, wyrażony w kWh; E'_d – zweryfikowany przez V2Xsp wolumen energii elektrycznej wymagany przez usługobiorcę, wyrażony w kWh.

Na podstawie równania (13.27) można obliczyć maksymalną sumaryczną wartość korekt wszystkich uEV_{op} ΔE_{uEVop}^{E-B} , zgodnie z równaniem:

$$\Delta E_{uEVop}^{E-B} = E_{uEVop}^{E-B} - E_{uEVopMIN}^{E-B} \quad (13.28)$$

jeżeli:

$$E_{uEVop}^{E-B} \geq E_{uEVopMIN}^{E-B} \quad (13.29)$$

Jeżeli równanie (13.29) nie jest spełnione, nie możliwe jest wyznaczenie korekty. Proces składania korekt jest zatem niemożliwy do zrealizowania. W przypadku gdy równanie (13.29) jest spełnione, należy wyznaczyć maksymalną możliwą zmianę oferowaną przez pojedynczego uEV_{op}. Założono, że będzie ona rozłożona po równo dla każdego uEV. Jeśli dany uEV_{op} nie wykorzysta możliwości złożenia korekty, to jej ilość przepada i nie może być wykorzystana przez innych V2Xus w odniesieniu do zakontraktowanych uEV_{op}. Powyższe zależności określono za pomocą równania:

$$E_{uEVop}^{MAXk} = \frac{\Delta E_{uEVop}^{E-B}}{N_{uEVop}^{E-B}} \quad (13.30)$$

gdzie: E_{uEVop}^{MAXk} – maksymalna korekta wolumenu energii elektrycznej dla pojedynczego uEV_{op}, w mechanizmie *early-bid*, wyrażona w kWh.

Jednak, należy pamiętać, że nie każdy uEV_{op} musi zredukować swoją ofertę o maksymalną wartość. Oznacza to, że musi być spełniona zależność:

$$E''_{uEVop,a}^{E-B} \leq E_{uEVop}^{MAXk} \quad (13.31)$$

gdzie: $E''_{uEVop,a}^{E-B}$ – korekta wolumenu energii elektrycznej w mechanizmie *early-bid* dla *a*-tego uEV_{op}, wyrażona w kWh.

Zatem wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w mechanizmie *early-bid* w odniesieniu do tych uEV_{op} , którzy złożyli korektę oferty wynosi:

$$E_{uEVop}^{E-Bk-} = \sum_{a=1}^{N_{uEVop}^{E-B-}} (C_{uEVop,a}^{E-B} - E_{uEVop,a}^{'E-B}) \quad (13.32)$$

gdzie: E_{uEVop}^{E-Bk-} – sumaryczny wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w odniesieniu do uEV_{op} , dla których złożono korekty w mechanizmie *early-bid*, wyrażony w kWh.

Następnie wyliczono sumaryczny wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w odniesieniu do uEV_{op} , po uwzględnieniu skorygowanych ofert, jak również tych, dla których V2Xus nie dokonali zmian:

$$E_{uEVop}^{E-Bk} = E_{uEVop}^{E-Bk-} + E_{uEVop0}^{E-B} \quad (13.33)$$

gdzie: E_{uEVop}^{E-Bk} – sumaryczny skorygowany wolumen energii elektrycznej zakontraktowany w odniesieniu do uEV_{op} w mechanizmie *early-bid*, wyrażony w kWh.

Mając dane dotyczące wolumenu energii elektrycznej zakontraktowanego w odniesieniu do uEV_{op} oraz uprzednio obliczony wolumen energii zakontraktowany w odniesieniu do uEV_{man} , można obliczyć sumaryczny wolumen energii elektrycznej zakontraktowany dla danej usługi V2X po zakończeniu działania mechanizmu *early-bid*:

$$E_{E-B} = E_{uEVop}^{E-Bk} + E_{uEVman}^{E-B} \quad (13.34)$$

gdzie: E_{E-B} – sumaryczny wolumen energii elektrycznej zakontraktowany dla danej usługi V2X po zakończeniu działania mechanizmu *early-bid*, wyrażony w kWh.

Proces kontraktowania V2Xus w odniesieniu do zgłoszonych uEV w mechanizmie *early-bid* można zakończyć wyrażając wartość wolumenu energii elektrycznej, który musi zostać zakontraktowany w ramach algorytmu strefowego E_d'' , zgodnie z równaniem (4.22), oraz zbiór pojazdów, który będzie realizować usługę harmonogramowaną w ramach mechanizmu *early-bid* N_{ofR}^{E-B} , którego moc wyraża liczbę pojazdów realizujących ww. usługę N_{ofR}^{E-B} .

13.3. Załącznik 3 – Test poprawności planowania

Jak wspomniano w Załączniku 2, aby V2Xus w odniesieniu do danego uEV mógł uzyskać poprawność planowania, tj. korzystać z „Metody Planowania Przebiegów”, musi wykonać *Test poprawności planowania*. Polegałby on na sprawdzeniu przez V2Xsp możliwości przewidywania dziennych przebiegów, które pokonuje V2Xus w swoim uEV . Rozwiązanie to jest inspirowane metodą wyznaczania poprawności planowania w Rynku

Mocy, opisaną w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 18 lipca 2018 r. w sprawie wykonania obowiązku mocowego, jego rozliczania i demonstrowania oraz zawierania transakcji na rynku wtórnym [90]. Przystąpienie do testu byłoby dobrowolne, a sam test trwałby 7 dni kalendarzowych. Ponadto, test ważny byłby 3 miesiące, co oznacza że po upływie tego okresu V2Xus, aby utrzymać status wiarygodności musiałby poddać się kolejnej próbie. W czasie zaplanowanego testu V2Xsp przez 7 dni będzie monitorować ruch V2Xus w danym uEV i porównywać wartości zarejestrowane przez urządzenie rejestrujące parametry jezdne z wartościami podawanymi przez V2Xus. Należy podkreślić, że test pozwala uzyskać status wiarygodnego uczestnika w odniesieniu do danego uEV, co oznacza że w przypadku uczestników flotowych należy wykonać test dla każdego uEV.

Realizacja testu powinna odbywać się z zachowaniem następującej kolejności zdarzeń:

- 1) W dobie $D-1$ V2Xus podaje:
 - a. Aktualny stan SOC baterii uEV, którego dotyczy test;
 - b. Prognozowany czas ładowania (wraz z godziną zakończenia) oraz SOC baterii po zakończeniu ładowania, jeśli dany uEV jest podłączony do EVSE;
 - c. Prognozowaną odległość (dobowy przebieg), którą V2Xus pokona w danym uEV w dobie D .
- 2) W dobie D V2Xsp weryfikuje:
 - a. Godzinę zakończenia procesu ładowania (jeśli dotyczy);
 - b. Stan SOC baterii w momencie rozpoczęcia przez V2Xus normalnej eksploatacji uEV;
 - c. Długości przejazdów wykonywanych przez V2Xus w danym uEV za pomocą urządzenia rejestrującego parametry jezdne.
- 3) Po okresie testu V2Xsp:
 - a. Oblicza średnie względne odchylenie między podawanymi przez V2Xus wartościami SOC a zarejestrowanymi przez urządzenie, zgodnie ze wzorem:

$$\Delta SOC_{TEST} = \frac{\sum_{D=1}^7 \left| \frac{SOC_D^R - SOC_D^P}{SOC_D^R} \right|}{7} \quad (13.35)$$

gdzie: SOC_D^R – rzeczywisty poziom SOC, zmierzony przez urządzenie rejestrujące parametry uEV, w momencie rozpoczęcia normalnej eksploatacji uEV, w dobie D , wyrażony w %;

SOC_D^P – planowany przez V2Xus poziom SOC, wprowadzony w dobie $D-1$ do aplikacji z modułem testu poprawności planowania, odnoszący się do doby D , wyrażony w %;

ΔSOC_{TEST} – średnie względne odchylenie poziomów SOC, wyrażone jako średnia arytmetyczna z okresu testu poprawności planowania uwzględniająca różnicę między wartościami prognozowanymi przez V2Xus, a wartościami zmierzonymi przez urządzenie rejestrujące parametry jezdne uEV.

- b. Sprawdza zdolność prognozowania poziomu SOC przez V2Xus, na podstawie kryteriów zamieszczonych w Tab. 13.8:

Tab. 13.8. Wyniki testu poprawności planowania poziomu SOC

Obliczona wartość ΔSOC_{TEST}	Wynik testu
$\Delta SOC_{TEST} \leq 10\%$	Pozytywny
$\Delta SOC_{TEST} > 15\%$	Negatywny
$10\% < \Delta SOC_{TEST} \leq 15\%$	Pozytywny warunkowy

- c. Oblicza średnie względne odchylenie między podawaną przez V2Xus wartością dobowego przebiegu pojazdu a zarejestrowaną przez urządzenie, zgodnie ze wzorem:

$$\Delta DIST_{TEST} = \frac{\sum_{D=1}^7 \left| \frac{DIST_D^R - DIST_D^P}{DIST_D^R} \right|}{7} \cdot 100\% \quad (13.36)$$

gdzie: $DIST_D^R$ – rzeczywisty dobowy przebieg uEV, zmierzony przez urządzenie rejestrujące parametry uEV, w dobie d , wyrażony w km; $DIST_D^P$ – planowany przez V2Xus dobowy przebieg pojazdu, wprowadzony w dobie $D-1$ do aplikacji z modułem testu poprawności planowania, odnoszący się do doby D , wyrażony w km; $\Delta DIST_{TEST}$ – średnie względne odchylenie dobowych przebiegów uEV, wyrażone jako średnia arytmetyczna z okresu testu poprawności planowania uwzględniająca różnicę między wartościami prognozowanymi przez V2Xus, a wartościami zmierzonymi przez urządzenie rejestrujące parametry jezdne uEV.

- d. Sprawdza zdolność prognozowania wartości dobowych przebiegów przez V2Xus, na podstawie kryteriów zamieszczonych w Tab. 13.9:

Tab. 13.9. Wyniki testu poprawności planowania wartości dobowych przebiegów

Obliczona wartość $\Delta DIST_{TEST}$	Wynik testu
$\Delta DIST_{TEST} \leq 10\%$	Pozytywny
$\Delta DIST_{TEST} > 15\%$	Negatywny
$10\% < \Delta DIST_{TEST} \leq 15\%$	Pozytywny warunkowy

- e. Określa całkowity wynik testu poprawności planowania V2Xus dla danego uEV, na podstawie kryteriów zamieszczonych w Tab. 13.10:

Tab. 13.10. Całkowite wyniki testu poprawności planowania V2Xus w odniesieniu do danego uEV

Wynik testu poprawności planowania SOC	Wynik testu poprawności planowania dobowych przebiegów	Całkowity wynik testu poprawności planowania	Uwagi
Pozytywny	Pozytywny	Pozytywny	
Pozytywny	Pozytywny warunkowy	Pozytywny	
Pozytywny	Negatywny	Negatywny	
Pozytywny warunkowy	Pozytywny	Pozytywny	
Pozytywny warunkowy	Pozytywny warunkowy	Pozytywny	Ważność testu skrócona z 3 miesięcy do 1 miesiąca
Pozytywny warunkowy	Negatywny	Negatywny	
Negatywny	Pozytywny	Negatywny	
Negatywny	Pozytywny warunkowy	Negatywny	
Negatywny	Negatywny	Negatywny	

- f. Wystawia certyfikat wiarygodności dla V2Xus w odniesieniu do danego uEV, nadając mu status Wiarygodnego Uczestnika (V2Xus^{CRD}).

13.4. Załącznik 4 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie ofertowania strefowego

13.4.1. Wyznaczanie stref poszukiwań

Ze względu na potrzebę przywołania pojazdów znajdujących się najbliżej punktu świadczenia usługi V2X, konieczne jest wykonanie operacji w Obszarze działania V2Xsp, który został wcześniej zdefiniowany w podrozdziale 5.1. Wiedząc, że V2Xsp dysponuje obszarem działania wyrażonym za pomocą siatki o liczbie kwadratów równej N_G , opisanej zgodnie z równaniami (5.2) – (5.4), oraz w obszarze G znajduje się także punkt świadczenia usługi $L_{i,v}(x_{L_{i,v}}, y_{L_{i,v}})$, można wyznaczyć strefy poszukiwania uEV, rozmieszczone względem tego punktu. Niech $Z_{z,i,v}$ oznacza obszar z -tej strefy wyznaczanej dla i -tego usługobiorcy, w v -tym punkcie świadczenia usługi. Pierwsza strefa, tj. gdy $z = 1$, zawiera w swoim obszarze punkt $L_{i,v}$. Kolejne strefy dla $z = 2, \dots, Z$ będą tworzone poprzez uwzględnienie kolejnych kwadratów siatki, przesuwając się o jeden kwadrat w każdą ze stron. Zatem na podstawie równania (5.2) można wyznaczyć obszar pierwszej strefy ($z = 1$):

$$Z_{1,i,v} = [(x_{1,i,v}, y_{1,i,v}); (x_{1,i,v}, y_{1,i,v}'); (x_{1,i,v'}, y_{1,i,v}); (x_{1,i,v'}, y_{1,i,v}')] \quad (13.37)$$

$$(x_{L_{i,v}}, y_{L_{i,v}}) \in Z_{1,i,v} \quad (13.38)$$

Następnie można wyznaczyć granice kolejnych stref $z = 2, 3, \dots, Z$ zgodnie z równaniem:

$$\begin{aligned}
x_{z,i,v} &= x_{1,i,v} - (z - 1); \\
x_{z,i,v'} &= x_{1,i,v'} + (z - 1); \\
y_{z,i,v} &= y_{1,i,v} - (z - 1); \\
y_{z,i,v'} &= y_{1,i,v'} + (z - 1);
\end{aligned} \tag{13.39}$$

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie strefy pomocniczej $ZP_{z,i,v}$, tj. takiej, której obszar ograniczony jest punktami opisanymi w równaniu (13.40) lub w szczególnym przypadku $z=1$ równaniem (13.37). Jednakże, taka strefa pomocnicza zawiera w sobie również obszar poprzedniej strefy, w związku z tym należy wykonać następujące działania, aby wyznaczyć kolejne strefy $Z_{z,i,v}$:

$$\bigwedge_{x_{z,i,v}, y_{z,i,v} \in G} ZP_{z,i} = [(x_{z,i,v}, y_{z,i,v}); (x_{z,i,v}, y_{z,i,v'}); (x_{z,i,v'}, y_{z,i,v}); (x_{z,i,v'}, y_{z,i,v'})] \tag{13.40}$$

$$\bigwedge_{x_{z,i,v}, y_{z,i,v} \in G} Z_{z,i,v} = ZP_{z,i,v} \setminus ZP_{z-1,i,v} \tag{13.41}$$

Następnie należy obliczyć liczbę kwadratów siatki w danej strefie. Niech NG_z oznacza tę liczbę. Określono ją następującą zależnością:

$$NG_z = \begin{cases} 1, & \text{dla } z = 1 \\ \bigwedge_{z > 1} (2z - 1)^2 - (2(z - 1) - 1)^2 = 8(z - 1) \end{cases} \tag{13.42}$$

Obszar G będzie składać się z łącznej liczby N_G kwadratów, wyznaczonej w następujący sposób:

$$N_G = \sqrt{(x_{g_{max}} - x_{g_{min}})^2} \cdot \sqrt{(y_{g_{max}} - y_{g_{min}})^2} \tag{13.43}$$

Wyznaczenie stref poszukiwania uEV jest niezbędnym krokiem, aby kontynuować działanie algorytmu strefowego. W kolejnych krokach V2Xsp powinien operować już wyłącznie na liczbie pojazdów znajdujących się w danych strefach i ich parametrach elektrycznych. Zgodnie z informacjami z podrozdziału 5.1 zbiór wszystkich uEV w obszarze działania V2Xsp jest oznaczony przez N_{uEV}^{V2Xsp} . Ze względu na fakt, że V2Xus mogą poruszać się i w danej chwili czasu nie muszą znaleźć się w obszarze działania V2Xsp, należy wyznaczyć

zbiory uEV znajdujących się w tym obszarze w chwili uruchomienia algorytmu strefowego, tj. w czasie t_{ofST}^{str} dla usługi harmonogramowanej lub t_{ofST}^{INT} dla usługi interwencyjnej. Niech $N_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{str})$ oraz $N_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{INT})$ oznaczają te zbiory uEV. Następnie należy przypisać liczbę pojazdów elektrycznych V2X do każdego kwadratu siatki w chwili t_{ofST}^{str} lub t_{ofST}^{INT} . Zatem, niech $N_{uEV}^{Gng}(t_{ofST}^{str})$ oznacza liczbę uEV przypisanych do danego kwadratu siatki kwadratowej obszaru G , w czasie uruchomienia algorytmu strefowego dla usługi harmonogramowanej, a $N_{uEV}^{Gng}(t_{ofST}^{INT})$ w chwili uruchomienia usługi interwencyjnej. Zatem:

$$\begin{cases} Nsum_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{str}) = |N_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{str})| = \sum_{ng=1}^{N_G} N_{uEV}^{Gng}(t_{ofST}^{str}) \\ Nsum_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{INT}) = |N_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{INT})| = \sum_{ng=1}^{N_G} N_{uEV}^{Gng}(t_{ofST}^{INT}) \end{cases} \quad (13.44)$$

gdzie: $Nsum_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{str})$ – sumaryczna liczba uEV w obszarze działania V2Xsp, w chwili uruchomienia algorytmu strefowego dla usługi harmonogramowanej; $Nsum_{uEV}^{V2Xsp}(t_{ofST}^{INT})$ – sumaryczna liczba uEV w obszarze działania V2Xsp, w chwili uruchomienia algorytmu strefowego dla usługi interwencyjnej.

Mając informację o liczbie uEV w danym kwadracie w chwili rozpoczęcia działania algorytmu strefowego można przystąpić do obliczenia, ile pojazdów należy przywołać do wykonania usługi V2X. Należy podkreślić, że od tego momentu działanie algorytmu jest analogiczne dla usługi interwencyjnej i harmonogramowanej. W związku z tym, w kolejnych rozważaniach stosuje się uproszczenie, polegające na nierozróżnianiu usługi harmonogramowej od interwencyjnej. Oznacza to, że zbiór pojazdów elektrycznych V2X rozpatrywany w momencie uruchomienia algorytmu strefowego jest określony przez $N_{uEV}^{V2Xsp''}$ oraz czas świadczenia usługi wymagany przez usługobiorcę i zweryfikowany przez V2Xsp (t_s' lub $t_s^{INT'}$) określono jako t_s'' . Należy także podkreślić, że w procesach świadczenia usługi według algorytmu strefowego nie mogą brać udziału pojazdy uprzednio zakontraktowane w mechanizmie *early-bid* w odniesieniu do tej samej usługi V2X. Zatem zbiór pojazdów potencjalnie mogący świadczyć usługi w ramach algorytmu strefowego $N_{uEV_{str}}^{V2Xsp}$, w momencie jego uruchomienia musi spełniać następującą zależność:

$$N_{uEV_{str}}^{V2Xsp} = N_{uEV}^{V2Xsp''} \setminus N_{ofR'}^{E-B} \quad (13.45)$$

Pierwszym krokiem jest wyliczenie zmiennej $N_{uEV}^{EST''}$, tj. liczby pojazdów elektrycznych V2X potrzebnych do przywołania w ramach algorytmu strefowego, aby uwzględnić prawdopodobieństwo realizacji usługi $P_{uEV}(AE)$. Ogólną metodę wyznaczania tej wartości przywołano w równaniu (4.9), niemniej jednak na potrzeby dostosowania notacji zmiennych w algorytmie strefowym przedstawiono ją w następujący sposób:

$$N_{uEV}^{EST''} = \frac{N_{uEV}^{REQ''}}{P_{uEV}(AE)} \quad (13.46)$$

gdzie: $N_{uEV}^{EST''}$ – liczba pojazdów elektrycznych V2X, do której należy wysłać zapytania lub żądania w ramach ofertowania strefowego, uwzględniająca prawdopodobieństwo wykonania usługi $P_{uEV}(AE)$.

Należy podkreślić, że prawdopodobieństwo wykonania usługi $P_{uEV}(AE)$ będzie inaczej scharakteryzowane dla różnych usług V2X. Przykładowy sposób wyznaczania takiego prawdopodobieństwa został przedstawiony w rozdziale 7.

Wiedząc o liczbie uEV potrzebnych do przywołania ($N_{uEV}^{EST''}$), należy następnie rozpocząć ich poszukiwania w strefach. Założono, że w chwili t_{ofST}^{str} dla usługi harmonogramowanej lub t_{ofST}^{INT} dla usługi interwencyjnej dokonuje się sprawdzenia, podczas którego lokalizuje się n -tego uEV w obszarze działania V2Xsp. Oznacza to, że można przypisać liczbę uEV w poszczególnych kwadratach siatki N_{uEV}^{Gng} do stref wyznaczonych dla v -tego punktu świadczenia usługi V2X i -tego usługobiorcy. Niech $N_{uEV}^{Zz,i,v}$ oznacza liczbę pojazdów w z -tej strefie wyznaczonej dla ww. punktu. Należy także dodać, że istnieją warunki konieczne, aby V2Xsp uwzględnił w swoich obliczeniach danego uEV. Warunki te dotyczą czasu świadczenia usługi przez uEV, który musi być co najmniej równy czasowi wymaganemu przez usługobiorcę oraz potencjalnie dostępna w nim energia elektryczna równa przepływowi energii elektrycznej z n -tego pojazdu elektrycznego do sieci elektroenergetycznej musi być większa od 0, tj. istnieje możliwość wykorzystania takiego uEV w procesie świadczenia usług V2X. Oznacza to także, że liczba uEV w danym kwadracie siatki, która spełnia powyższy warunek konieczny ($N_{uEV}^{Gng''}$) jest co najwyżej równa przypisanej do danego kwadratu liczby uEV. Powyższe zależności można określić za pomocą równań:

$$\bigwedge_{uEV_n \in N_{uEVstr}^{V2Xsp}} \bigwedge_{e_{V2G+,n} > 0} \bigwedge_{t_{s,n}^{uEV} \geq t_s''} N_{uEV}^{Gng''} \leq N_{uEV}^{Gng} \quad (13.47)$$

$$\bigwedge_{z \geq 1} N_{uEV}^{Z,i,v} = \sum_{ng=1}^{NG_z} N_{uEV}^{G_{ng}''} \quad (13.48)$$

Następnie V2Xsp musi sprawdzić dwie zależności opisujące stan w pierwszej strefie poszukiwań, tj. $z = 1$. Pierwszy warunek dotyczy liczebności uEV znajdujących się w niej, tzn. czy jest większa niż wymagana do przywołania. Druga zależność dotyczy sprawdzenia, czy potencjalnie dostępna energia we wszystkich uEV jest większa niż wymagana tj. E_d'' . Powyższe warunki można zapisać za pomocą zależności:

$$N_{uEV}^{Z,i,v} \geq N_{uEV}^{EST''} \wedge \sum_{n=1}^{N_{uEV}^{Z,i,v}} e_{V2G+,n} \geq E_d'' \quad (13.49)$$

Jeśli zależności opisane równaniem (13.49) są spełnione, to V2Xsp rozpoczyna proces wzywania uEV z pierwszej strefy poszukiwań. Natomiast jeśli te zależności nie są spełnione, wówczas V2Xsp musi rozszerzyć obszar poszukiwań o następną strefę. Niech N_{uEV1}^{str} oznacza sumaryczną liczbę pojazdów elektrycznych V2X w z -tych strefach poszukiwań. Zatem, za pomocą tej liczby można wyznaczyć liczbę stref potrzebną do realizacji usługi, według następujących zależności:

$$N_{uEV1}^{str}(zs) = \sum_{z \geq 1}^Z N_{uEV}^{Z,i,v} \quad (13.50)$$

$$E_{uEV1}^{str} = \sum_{n=1}^{N_{uEV1}^{str}} e_{V2G+,n} \quad (13.51)$$

$$\bigvee_{zs \in Z} N_{uEV1}^{str}(zs) \geq N_{uEV}^{EST''} \wedge E_{uEV1}^{str} \geq E_d'' \quad (13.52)$$

gdzie: Z – maksymalna liczba stref, w których należy poszukiwać uEV, mieszczących się w granicach obszaru G ; zs – liczba stref, w których należy poszukiwać uEV, tak aby spełnić określone warunki konieczne; E_{uEV1}^{str} – sumaryczny wolumen energii możliwy do udostępnienia z N_{uEV1}^{str} pojazdów elektrycznych V2X, wyrażony w kWh.

Powyżej opisane działania można zapisać za pomocą następującego pseudokodu:

$$\begin{aligned}
& \textbf{Sprawdź: } N_{uEV1}^{str}(zs) \geq N_{uEV}^{EST''} \wedge E_{uEV1}^{str} \geq E_d'' \text{ dla } z \geq 1 \\
& \textbf{Jeśli TAK:} \text{ przypisz } N_{uEV1}^{str} = N_{uEV1}^{str}(zs) \\
& \textbf{Jeśli NIE:} \text{ zwiększ obszar poszukiwań o następną strefę } z = z + 1 \\
& \textbf{Powtórz aż: } N_{uEV1}^{str}(zs) \geq N_{uEV}^{EST''} \wedge E_{uEV1}^{str} \geq E_d'' \\
& \textbf{Jeśli: } zs \notin Z, \text{ zakończ działanie algorytmu strefowego – brak możliwości} \\
& \text{realizacji usługi V2X}
\end{aligned} \tag{13.53}$$

13.4.2. Proces selekcji ofert

Można zatem stwierdzić, że po pierwszym etapie działania algorytmu strefowego (wyborze odpowiedniej liczby stref do analizy) istnieje możliwość stworzenia zbioru pojazdów, które znajdują się w z wybranych strefach. Niech N_{uEV}^{str1} oznacza taki zbiór pojazdów. W związku z tym:

$$N_{uEV1}^{str} = |N_{uEV}^{str1}| \tag{13.54}$$

Następnie należy zdefiniować macierz N_{uEV}^{str1} , mając na uwadze że będzie ona składać się z N_{uEV1}^{str} wektorów opisujących każdego uEV (uEV_n). Dla ułatwienia zapisu przyjmuje się, że liczba N_{uEV1}^{str} w zapisie macierzowym jest oznaczana przez n_1 . Zatem:

$$N_{uEV}^{str1} = \begin{bmatrix} ID_1 & x_1 & y_1 & SOC_{akt,1} & SOC_{f,1} & C_1 & P_{uEV,1}^{MAX} & TV_1 & CS_1 & t_{s,1}^{uEV} & M_1 \\ ID_2 & x_2 & y_2 & SOC_{akt,2} & SOC_{f,2} & C_2 & P_{uEV,2}^{MAX} & TV_2 & CS_2 & t_{s,2}^{uEV} & M_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_{n_1} & x_{n_1} & y_{n_1} & SOC_{akt,n_1} & SOC_{f,n_1} & C_{n_1} & P_{uEV,n_1}^{MAX} & TV_{n_1} & CS_{n_1} & t_{s,n_1}^{uEV} & M_{n_1} \end{bmatrix} \tag{13.55}$$

Następnym krokiem jest utworzenie rankingu pojazdów, które muszą lub potencjalnie mogą świadczyć usługi V2X. W związku z tym należy utworzyć macierz N_{uEV}^{strR} , która jest reprezentacją matematyczną ww. rankingu, składająca się z n_1 wektorów uEV_n^R . Ten wektor określono równaniem (13.56), zaś jego składowe, które muszą zostać zdefiniowane za pomocą zależności matematycznych przedstawiono w równaniach (13.57) – (13.59).

$$uEV_n^R = [ID_n, M_{nR}, DIST_n^{str}, C_{OF,n}, t_{s,n}^{uEV}, P_{uEV,n}^{MAX}] \tag{13.56}$$

$$M_{nR} = \begin{cases} 2, & \text{jeśli } M_n = "OB" \\ 1, & \text{jeśli } M_n = "OP" \end{cases} \tag{13.57}$$

$$DIST_n^{str} = \sqrt{(x_n - x_{L_{i,v}})^2 + (y_n - y_{L_{i,v}})^2} \quad (13.58)$$

$$C_{OF,n} = C_n \cdot \left(\left(SOC_{akt,n} - \frac{u_{SEV,n} \cdot DIST_n^{str}}{C_n} \right) - (SOC_{f,n}(1 + REZ_n)) \right) \cdot \eta_d \quad (13.59)$$

gdzie: M_{nR} – tryb świadczenia usługi (obowiązkowy – „OB” lub opcjonalny „OP”, określony zgodnie ze wzorem (13.57); $DIST_n^{str}$ – odległość pomiędzy n -tym uEV a punktem świadczenia usługobiorcy, wyrażona w km, określona zgodnie ze wzorem (13.58); $C_{OF,n}$ – pojemność oferowana przez n -ty uEV w ramach działania ofertowania strefowego, wyrażona w kWh, określona zgodnie ze wzorem (13.59).

Zatem macierz N_{uEV}^{strR} przybiera postać:

$$N_{uEV}^{strR} = \begin{bmatrix} ID_1 & M_{1R} & DIST_1^{str} & C_{OF,1} & t_{s,1}^{uEV} & P_{uEV,1}^{MAX} \\ ID_2 & M_{2R} & DIST_2^{str} & C_{OF,2} & t_{s,2}^{uEV} & P_{uEV,2}^{MAX} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ ID_{n_1} & M_{n_1R} & DIST_{n_1}^{str} & C_{OF,n_1} & t_{s,n_1}^{uEV} & P_{uEV,n_1}^{MAX} \end{bmatrix} \quad (13.60)$$

Następnie należy posortować rekordy, w taki sposób że najlepsze pojazdy znalazłyby się w pierwszych wierszach macierzy N_{uEV}^{strR} . Podobnie jak w przypadku mechanizmu *early-bid*, należy ustawić kryteria sortowania. W poniższych punktach przedstawiono kolejność sortowania według ustalonych kryteriów:

- 1) M_n : max $\rightarrow$ min;
- 2) $DIST_n^{str}$: min $\rightarrow$ max;
- 3) $C_{OF,n}$: max $\rightarrow$ min;
- 4) $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;
- 5) $t_{s,n}^{uEV}$: max $\rightarrow$ min.

Po wykonaniu sortowania ofert, V2Xsp wysyła wezwania (call) do wykonania usługi V2X dla uczestników Programu V2X, których uEV świadczący usługi w trybie obowiązkowym (uEV_{man}) znajdują się w obszarze poszukiwań. Przez wezwanie należy rozumieć proces, w którym V2Xsp, w odniesieniu do danego uEV, za pomocą systemu teleinformatycznego przedstawia parametry usługi, które należy wykonać. Uczestnik nie ma możliwości odrzucić oferty, zaś nie podjęcie jej do realizacji lub brak przyjazdu do miejsca świadczenia usługi będzie skutkował nałożeniem kar finansowych. W przypadku pojazdów elektrycznych V2X, które świadczą usługi w trybie opcjonalnym (uEV_{op}), wysyłana jest prośba (request). V2Xus

w odniesieniu do swojego uEV_{op} może odrzucić taką prośbę lub ją zaakceptować. Do momentu, gdy realizacja usługi nie zostanie potwierdzona, $V2Xus$ w odniesieniu do uEV_{op} może wycofać swoją ofertę, jednakże po jej akceptacji skutki finansowe są analogiczne jak w przypadku braku realizacji usługi przez uEV_{man} . Z punktu widzenia $V2Xsp$ krytycznym punktem jest wysłanie tyłu wezwań i zapytań, aby zapewnić możliwość wykonania usługi. Wiedząc, że ranking jest zbudowany z uEV o liczebności co najmniej równej liczbie uEV potrzebnych do przywołania, tj. $N_{uEV1}^{str} \geq N_{uEV}^{EST''}$, istnieje zawsze możliwość wysłania wezwań i próśb z uwzględnieniem prawdopodobieństwa wykonania usługi. W tym miejscu należy rozpatrzyć dwa zasadnicze przypadki. Pierwszy z nich dotyczy sytuacji, w której liczba uEV_{man} (N_{uEVman}^{str}) jest nie mniejsza niż wymagana liczba $N_{uEV}^{REQ''}$. Wówczas bez względu na rodzaj usługi należy wybrać najlepsze uEV_{man} z rankingu N_{uEV}^{strR} . Oznacza to, że $V2Xsp$ wysyła liczbę wezwań do wykonania usługi równą liczbie $N_{uEV}^{REQ''}$, ponieważ $V2Xus$ w odniesieniu do swoich uEV w trybie obowiązkowym mają zrealizować zadaną usługę pod rygorem poniesienia kar finansowych. Drugi przypadek dotyczy sytuacji, w której liczba uEV_{man} (N_{uEVman}^{str}) jest mniejsza niż wymagana liczba pojazdów $N_{uEV}^{REQ''}$. Wówczas wymagane jest wysłanie próśb do $V2Xus$ posiadających uEV_{op} . Sumaryczna liczba wysłanych wezwań i próśb powinna być równa liczbie $N_{uEV}^{EST''}$. Po wysłaniu wezwań i próśb do $N_{uEV}^{EST''}$ najlepszych uEV w rankingu, $V2Xsp$ oczekuje na odpowiedź od $V2Xus$. W momencie t_{offIN}^{str} $V2Xsp$ musi posiadać pełną listę znalezionych uEV_{man} oraz oferty od uEV_{op} . Niech N_{uEV2}^{strR} oznacza zbiór pojazdów elektrycznych, w odniesieniu do których poszczególni $V2Xus$ są zobowiązani zrealizować usługę $V2X$, a N_{uEV2}^{str} oznacza moc zbioru N_{uEV2}^{strR} tj. liczbę tych pojazdów. Zatem:

$$\begin{cases} N_{uEV2}^{str} = N_{uEV}^{REQ''}, & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ N_{uEV2}^{str} = N_{uEV}^{REQ''}, & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (13.61)$$

Mając na uwadze, że realizacja usługi $V2X$ wymaga również spełnienia warunku dostępnej energii w wybranych pojazdach, należy sprawdzić czy jest ona większa niż wymagany do zakontraktowania wolumen E_d'' . Powyższą zależność, dla analizowanego wcześniej przypadku przedstawiono za pomocą równania:

$$\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d'' \quad (13.62)$$

Jeżeli, któryś z warunków (13.61) lub (13.62) nie jest spełniony, wówczas V2Xsp musi powtórzyć działanie poszukiwania pojazdów za pomocą algorytmu strefowego.

Jeżeli niespełnione są warunki opisane równaniem (13.61), w zależności od rodzaju usługi oraz liczby uEV_{man} sprawdza się, czy liczba zaakceptowanych próśb i wezwań N_{uEV2}^{str} jest większa lub mniejsza od liczby wymaganej, tj. $N_{uEV}^{REQ''}$. Dla usług harmonogramowanych, jak i interwencyjnych, w przypadku gdy $N_{uEVman}^{str} < N_{uEV}^{REQ''}$, liczba N_{uEV2}^{str} musi być równa liczbie wymaganych pojazdów, dlatego że wynika ona ze wcześniejszych procesów dot. obliczania dostępnych miejsc do rozładowania pojazdów. Zatem w obu przypadkach gdy liczba zaakceptowanych wezwań i próśb jest mniejsza niż wymagana do realizacji usługi, V2Xsp powtarza proces wysyłania ofert eliminując z rankingu te uEV_{op} , w odniesieniu do których uprzednio odrzucono oferty. Oznacza to, że poszukiwanie pojazdów będzie dotyczyć tylko tych, w odniesieniu do których V2Xus wybrali tryb opcjonalny. Następnie V2Xsp tworzy nowy ranking N_{uEV}^{strR} , w którym nie uwzględnia już tych, którzy oferty odrzucili i ponawia wysłanie próśb do kolejnych uEV_{op} oraz ponownie sprawdza warunki (13.61) – (13.62). Inna możliwość występuje, gdy dla obu rodzajów usług liczba odpowiedzi Uczestników Programu V2X na próśby i wezwania w odniesieniu do swoich uEV_{op} oraz uEV_{man} była większa niż wymagana $N_{uEV}^{REQ''}$. Wówczas V2Xsp musi wybrać tylko najlepsze oferty spośród uEV_{op} , tak aby spełnić zależność (13.61). W takiej sytuacji ustala się nowe kryteria sortowania dla uEV_{op} :

- 1) $C_{OF,n}$: max $\rightarrow$ min;
- 2) $DIST_n^{str}$: min $\rightarrow$ max;
- 3) $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;
- 4) $t_{s,n}^{uEV}$: max $\rightarrow$ min.

W przypadku gdy niespełniony jest warunek (13.62), V2Xsp tworzy nowy ranking pojazdów znajdujących się w odpowiednich strefach, z uwzględnieniem wszystkich pojazdów uEV_{man} i uEV_{op} . Ze względu na zbyt małą pojemność oferowaną przez pojazdy, należy ponowić ich poszukiwania biorąc pod uwagę większe oferowane pojemności. Oznacza to, że zmieniają się kryteria sortowania rankingu na następujące:

- 1) M_n : max $\rightarrow$ min;
- 2) $C_{OF,n}$: max $\rightarrow$ min;
- 3) $DIST_n^{str}$: min $\rightarrow$ max;
- 4) $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;

$$5) \ t_{s,n}^{uEV} : \max \rightarrow \min.$$

Efektem selekcji pojazdów w tym etapie jest zbiór pojazdów elektrycznych V2X, wybranych w ofertowaniu strefowym, mających świadczyć daną usługę V2X N_{uEV3}^{strR} oraz ich liczba N_{uEV3}^{str} , która wyraża moc tego zbioru. Macierz N_{uEV3}^{strR} posiada analogiczne elementy wektorów jak ta opisana równaniem (13.60), zmienna jest wyłącznie liczba wierszy, wynikająca z zakontraktowanych pojazdów elektrycznych V2X.

Sprawdzenie warunku (13.62) może dać także rezultat, w którym pojemność oferowana przez wybrane pojazdy elektryczne jest znacznie większa niż wymagana przez V2Xsp. W takiej sytuacji V2Xsp musi mieć możliwość ograniczenia zakontraktowanego wolumenu do pewnej ustalonej wartości. W niniejszej rozprawie zakłada się wprowadzenie tzw. „limitu kontraktowego”, równego 110% wolumenu E_d'' . Występowanie „limitu kontraktowego” jest także związane z możliwością uruchomienia mechanizmu składania korekty ofert przez V2Xus, w ramach usług harmonogramowanych. Jeśli pojemność dostępna w wybranych pojazdach elektrycznych jest większa od założonego limitu kontraktowego możliwe jest składanie korekty ofert przez V2Xus. W przeciwnym razie, tj. gdy $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$ możliwość składania korekt przez uczestników jest zablokowana. Należy także przypomnieć, że dla usług interwencyjnych nie ma możliwość składania korekt ofert przez uczestników, jedynie V2Xsp ma prawo dokonać redukcji wartości oferty. Za pomocą następujących pseudokodów opisano powyższe działania w zakresie wyboru pojazdów elektrycznych do realizacji usług V2X:

Dla usług harmonogramowanych:

(1) Sprawdź: $N_{uEVman}^{str} \geq N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: wybierz $N_{uEV}^{REQ''}$ najlepszych uEV_{man} , przypisz tę liczbę równą N_{uEV2}^{str} .

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$.

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: przejdź do kroku (2).

(2) Sprawdź: $N_{uEV2}^{str} = N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: przejdź do sprawdzenia warunku dostępnej energii

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

(13.63)

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp i V2Xus

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: sprawdź czy $N_{uEV2}^{str} < N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: zaktualizuj ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} bez uwzględniania uEV_{op} , wobec których odrzucono oferty. Wyślij nowe zapytania dot. wykonania usługi. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: wybierz wszystkie uEV_{man} i najlepsze uEV_{op} , tak aby ich suma $= N_{uEV}^{REQ''}$. Zmień kryteria sortowania dla uEV_{op} .

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$.

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp i V2Xus.

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań.

Przejdź do kroku (1).

Dla usług interwencyjnych:

(1) Sprawdź: $N_{uEVman}^{str} \geq N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: to wybierz $N_{uEV}^{REQ''}$ najlepszych uEV_{man} , przypisz tę liczbę równą N_{uEV2}^{str} .

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$,

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp w celu dostosowania wolumenu do „limitu kontraktowego”.

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: przejdź do kroku (2).

(2) Sprawdź: $N_{uEV2}^{str} = N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: to przejdź do sprawdzenia warunku dostępnej energii

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$,

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp w celu dostosowania wolumenu do „limitu kontraktowego”.

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: sprawdź czy $N_{uEV2}^{str} < N_{uEV}^{REQ''}$

Jeśli TAK: zaktualizuj ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} bez uwzględniania uEV_{op} , wobec których odrzucono oferty. Wyślij nowe zapytania dot. wykonania usługi. Przejdź do kroku (1).

Jeśli NIE: wybierz wszystkie uEV_{man} i najlepsze uEV_{op} , tak aby ich suma $= N_{uEV}^{REQ''}$. Zmień kryteria sortowania dla uEV_{op} .

Sprawdź: $\sum_{n=1}^{N_{uEV2}^{str}} C_{OF,n} \geq E_d''$

Jeśli TAK: Utwórz macierz N_{uEV3}^{strR} i przypisz $N_{uEV3}^{str} = N_{uEV2}^{str}$,

Sprawdź: $\sum C_{OF,n} \in < E_d''; 1,1E_d'' >$

Jeśli TAK: przejdź do monitoringu przyjazdu uEV do punktu L .

Jeśli NIE: Uruchom mechanizm korekty ofert od strony V2Xsp w celu dostosowania wolumenu do „limitu kontraktowego”.

Jeśli NIE: utwórz nowy ranking pojazdów N_{uEV}^{strR} , z uwzględnieniem uEV_{man} i uEV_{op} . Zmień kryteria poszukiwań.

Przejdź do kroku (1).

(13.64)

Po procesie wyboru pojazdów elektrycznych V2X, wyznaczonych do świadczenia usługi V2X, następuje okno czasowe na składanie korekt ofert. W przypadku usług harmonogramowanych wyróżnia się następujące działania:

- 1) Korekty ofert składane przez V2Xus;
- 2) Korekta ofert realizowana przez V2Xsp w celu dostosowania się do „*limitu kontraktowego*”.

W przypadku usług interwencyjnych realizowany jest wyłącznie jedno działanie, tj. korekta ofert realizowana przez V2Xsp w celu dostosowania się do „*limitu kontraktowego*”.

Zgodnie z założeniami przedstawionymi w podrozdziale 4.4.2, w przypadku usług harmonogramowanych istnieje okno czasowe na ewentualną korektę oferty złożoną przez V2Xus w odniesieniu do swoich uEV_{op} . Przez korektę oferty w mechanizmie ofertowania strefowego należy rozumieć możliwość jej zaniechania lub zmianę czasu realizacji usługi, pod warunkiem że jest on większy niż czas wymagany przez V2Xsp i usługobiorcę. W pierwszej kolejności należy wyznaczyć liczbę uEV_{man} i uEV_{op} z liczby N_{uEV3}^{str} . Zatem:

$$N_{uEV3}^{str} = N_{uEVop}^{str3} + N_{uEVman}^{str3} \quad (13.65)$$

gdzie: N_{uEVop}^{str3} – liczba pojazdów elektrycznych V2X w trybie opcjonalnym w odniesieniu, do której V2Xus zaakceptowali ofertę w mechanizmie ofertowania strefowego; N_{uEVman}^{str3} – liczba pojazdów elektrycznych V2X w trybie obowiązkowym w odniesieniu, do której V2Xus otrzymali ofertę w mechanizmie ofertowania strefowego.

Sumaryczny wolumen energii oferowany przez N_{uEV3}^{str} pojazdów można oznaczyć jako E_{uEV3}^{str} , zatem korzystając z relacji (13.65) można wyznaczyć wolumeny energii oferowane przez uEV_{man} i uEV_{op} w mechanizmie ofertowania strefowego:

$$E_{uEV3}^{str} = E_{uEVop}^{str} + E_{uEVman}^{str} \quad (13.66)$$

$$E_{uEV3}^{str} \geq E_d'' \quad (13.67)$$

gdzie: E_{uEVop}^{str} – wolumen energii elektryczny oferowany przez pojazdy elektryczne V2X w trybie opcjonalnym w odniesieniu, do której V2Xus zaakceptowali ofertę w mechanizmie ofertowania strefowego, wyrażony w kWh; E_{uEVman}^{str} – wolumen energii elektryczny oferowany

przez pojazdy elektryczne V2X w trybie obowiązkowym w odniesieniu, do której V2Xus otrzymali ofertę w mechanizmie ofertowania strefowego, wyrażony w kWh.

Dodatkowo, aby można było uruchomić mechanizm składania korekt przez V2Xus lub V2Xsp musi zostać spełniony warunek:

$$E_{uEV3}^{str} > 1,1E_d'' \quad (13.68)$$

W oknie korekty, dla usług harmonogramowanych V2Xus w odniesieniu do swoich uEV_{op} mogą złożyć dwa rodzaje oświadczeń:

- rezygnacja z realizacji usługi,
- zmiana czasu świadczenia usługi.

V2Xsp otrzymuje korekty ofert, które muszą być poddane analizie w zakresie dalszej wykonywalności usługi V2X na rzecz usługobiorcy. W pierwszej kolejności analizuje się oświadczenia rezygnacji z realizacji usługi. Zadaniem V2Xsp jest sprawdzenie, czy pomniejszony wolumen energii dostępny z innych pojazdów uEV_{op} będzie wystarczający, aby pokryć wolumen E_d'' . Niech zatem N_{uEVop}^{strK} oznacza liczbę uEV po rezygnacji wybranych uEV_{op}, a wolumen energii, który oferują oznacza się przez E_{uEVop}^{strK} . V2Xsp sprawdza warunek dostępności energii z uEV, według następujących zależności:

$$E_{uEVop}^{strK} = \sum_{n=1}^{N_{uEVop}^{strK}} C_{OF,n} \quad (13.69)$$

$$E_{uEVop}^{strK} + E_{uEVman}^{str} = E_{uEV3}^{strK} \quad (13.70)$$

$$E_{uEV3}^{strK} \geq E_d'' \quad (13.71)$$

Jeśli warunek opisany równaniem (13.71) będzie spełniony, wówczas V2Xsp akceptuje ofertę rezygnacji wybranych uEV_{op}. Natomiast jeśli warunek (13.71) nie jest spełniony, V2Xsp odrzuca przedłożone korekty ofert polegające na rezygnacji z realizacji usługi i przechodzi do kolejnego kroku. Po rozpatrzeniu oświadczeń rezygnacji, V2Xsp sprawdza liczbę oświadczeń o zmianie czasu świadczenia usługi. Niech $t_{sK,n}^{uEV}$ oznacza czas świadczenia usługi przez n -ty uEV_{op} po korekcie w tzw. bloku akceptacji. Na podstawie złożonych oświadczeń o zmianie

czasu świadczenia usługi, V2Xsp układa nowy ranking pojazdów dla mechanizmu ofertowania strefowego N_{uEV3K}^{strR} , w którym ustala się następujące zasady:

- 1) Pojazdy świadczące usługi w trybie obowiązkowym i zakontraktowane w mechanizmie ofertowania strefowego mają najwyższy priorytet wykonania usługi $N_{uEV3man}^{strR}$;
- 2) Pojazdy świadczące usługi w trybie opcjonalnym, zakontraktowane w mechanizmie ofertowania strefowego, które nie złożyły korekty oferty mają drugi w kolejności priorytet realizacji usługi N_{uEV3op}^{strR} ;
- 3) Pojazdy świadczące usługi w trybie opcjonalnym, zakontraktowane w mechanizmie ofertowania strefowego, które złożyły korekty oferty $N_{uEV3opK}^{strR}$ są sortowane według następujących kryteriów:
 - a. $C_{OF,n}$: max $\rightarrow$ min;
 - b. $DIST_n^{str}$: min $\rightarrow$ max;
 - c. $t_{SK,n}^{uEV}$: max $\rightarrow$ min.
 - d. $P_{uEV,n}^{MAX}$: max $\rightarrow$ min;
- 4) Do świadczenia usługi wybiera się pierwsze $N_{uEV}^{REQ''}$ pojazdów w rankingu.

V2Xsp tworząc zaktualizowany ranking pojazdów uwzględnia zależności:

$$(N_{uEV3man}^{strR} \cup N_{uEV3op}^{strR} \cup N_{uEV3opK}^{strR}) \subset N_{uEV3K}^{strR} \quad (13.72)$$

$$N_{uEV3K}^{strR''} = |N_{uEV3K}^{strR}| \quad (13.73)$$

Zatem wolumen energii zakontraktowany w mechanizmie ofertowania strefowego, po uwzględnieniu ewentualnych korekt ofert składanych przez V2Xus jest równy:

$$E_{uEVKus}^{str} = \sum_{n=1}^{N_{uEV3K}^{strR''}} C_{OF,n} \quad (13.74)$$

gdzie: E_{uEVKus}^{str} – wolumen energii elektrycznej zakontraktowany z $N_{uEV3K}^{strR''}$ pojazdów elektrycznych V2X w ramach mechanizmu ofertowania strefowego dla usług harmonogramowanych, po uwzględnieniu korekt ofert od strony V2Xus, wyrażony w kWh;

Wolumen energii elektrycznej wyznaczony za pomocą równania (13.74) musi spełniać następującą zależność:

$$E_{uEVKus}^{str} \geq E_d'' \quad (13.75)$$

Jeśli zależność (13.75) nie jest spełniona, V2Xsp odrzuca wszystkie korekty ofert oraz powraca do stanu sprzed ich złożenia. Natomiast jeśli ww. zależność jest prawdziwa V2Xsp kontynuuje proces składania korekt ofert.

Ze względu na dwustopniowy mechanizm składania korekt ofert dla usług harmonogramowanych, po ustaleniu zakontraktowanego wolumenu energii elektrycznej z uwzględnieniem korekt od strony V2Xus, należy sprawdzić czy istnieją przesłanki do interwencji V2Xsp w proces dopasowania oferty do potrzeb usługobiorcy. Zatem konieczne jest porównanie wartości E_{uEVKus}^{str} w stosunku do „limitu kontraktowego”, zgodnie z zależnością:

$$E_{uEVKus}^{str} > 1,1 E_d'' \quad (13.76)$$

Jeżeli zależność opisana równaniem (13.76) jest prawdziwa, wówczas V2Xsp uruchamia wewnętrzny proces korekty ofert dla uprzednio wybranych V2Xus i ich pojazdów (uEV). Jeśli natomiast nie jest ona prawdziwa, wówczas V2Xsp kończy działanie mechanizmu składania korekt ofert i przechodzi do ustalenia ostatecznej liczby pojazdów oraz wolumenu energii elektrycznej zgodnie z równaniami (13.80) – (13.82). Dla usług interwencyjnych, w których nie ma możliwości składania korekt ofert przez V2Xus zależność aktywująca mechanizm korekty realizowanej przez V2Xsp będzie analogiczna jak opisana równaniem (13.68). Proces dostosowania ofert przez V2Xsp zaczyna się od wyznaczenia różnicy pomiędzy zakontraktowaną pojemnością baterii dostępną w pojazdach elektrycznych E_{uEVKus}^{str} lub E_{uEV3}^{str} w zależności od rodzaju usługi, a „limitem kontraktowym”.

$$\bigwedge_{E_{uEVKus}^{str} > 1,1 E_d'' \vee E_{uEV3}^{str} > 1,1 E_d''} \Delta K_{V2Xsp} = \begin{cases} E_{uEVKus}^{str} - 1,1 E_d'' \\ E_{uEV3}^{str} - 1,1 E_d'' \end{cases} \quad (13.77)$$

gdzie: ΔK_{V2Xsp} – różnica między zakontraktowanym wolumenem energii elektrycznej w mechanizmie ofertowania strefowego a wyznaczonym „limitem kontraktowym”, wyrażona w kWh.

Następnym krokiem jest wyznaczenie jaki procent zakontraktowanej energii elektrycznej stanowi obliczona różnica ΔK_{V2Xsp} . Zatem:

$$\bigwedge_{E_{uEVkus}^{str} > 1,1 E_d'' \vee E_{uEV3}^{str} > 1,1 E_d''} \Delta K_{V2Xsp}^{\%} = \begin{cases} \frac{\Delta K_{V2Xsp}}{E_{uEVkus}^{str}} \\ \frac{\Delta K_{V2Xsp}}{E_{uEV3}^{str}} \end{cases} \quad (13.78)$$

gdzie: $\Delta K_{V2Xsp}^{\%}$ – procent pierwotnie zakontraktowanego wolumenu energii elektrycznej w mechanizmie ofertowania strefowego.

Następnie oferowana pojemność baterii przez n -tego uEV jest pomniejszana o obliczony na podstawie równania (13.78) procent pierwotnie zakontraktowanego wolumenu. Przedstawiono to za pomocą równania:

$$C_{OF,n}^K = C_{OF,n} \cdot (1 - \Delta K_{V2Xsp}^{\%}) \quad (13.79)$$

gdzie: $C_{OF,n}^K$ – skorygowana przez V2Xsp pojemność oferowana przez n -ty uEV w ramach działania ofertowania strefowego, wyrażona w kWh.

Sumaryczny wolumen zakontraktowanej energii elektrycznej E_{uEVC}^{str} w mechanizmie ofertowania strefowego będzie co najwyżej równy wartości limitu kontraktowego, lecz zawsze niemniejszy od wymaganego wolumenu E_d'' . Liczba zakontraktowanych pojazdów w mechanizmie ofertowania strefowego N_{uEV3K}^{strRS} może być równa N_{uEV3}^{str} dla przypadków, w których nie ma zastosowania mechanizm składania korekt ofert lub dla realizacji usług interwencyjnych, ponieważ zmienia się jedynie wielkość ofert. W przypadku usług harmonogramowanych liczba zakontraktowanych pojazdów może wynosić N_{uEV3}^{str} w sytuacji, w której porzucono proces składania korekt ofert lub $N_{uEV3K}^{strR''}$ w sytuacji, w której przeprowadzono wszystkie etapy mechanizmu składania korekty ofert. Powyższe zależności przedstawiono za pomocą równań:

$$E_{uEV3}^{str} = \begin{cases} E_{uEV3}^{str}, & \text{bez uwzględnienia mechanizmu korekty} \\ \sum_{n=1}^{N_{uEV3K}^{strR''}} C_{OF,n}, & \text{z uwzględnieniem mechanizmu korekty V2Xus} \\ \sum_{n=1}^{N_{uEV3K}^{strR''}} C_{OF,n}^K, & \text{z uwzględnieniem mechanizmu korekty V2Xus i V2Xsp} \\ \sum_{n=1}^{N_{uEV3}^{str}} C_{OF,n}^K, & \text{z uwzględnieniem mechanizmu korekty V2Xsp} \end{cases} \quad (13.80)$$

$$N_{uEV3K}^{strRS} = \begin{cases} N_{uEV3}^{str}, & \text{bez uwzględnienia mechanizmu korekty} \\ N_{uEV3K}^{strR''}, & \text{z uwzględnieniem mechanizmu korekty V2Xus lub V2Xus i V2Xsp} \\ N_{uEV3}^{str}, & \text{z uwzględnieniem mechanizmu korekty V2Xsp} \end{cases} \quad (13.81)$$

$$E_d'' \leq E_{uEV3}^{str} \leq 1,1 E_d'' \quad (13.82)$$

Ewentualne przekontraktowanie wartości zakontraktowanej energii jest określone równaniem:

$$\bigwedge_{E_{N-B} \leq E_d'' \cdot 0,1} E_{N-B} = E_{uEV3}^{str} - E_d'' \quad (13.83)$$

13.5. Załącznik 5 – Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie Uzupełniającego Ofertowania Strefowego

Na podstawie obliczeń przedstawionych w załączniku 4 i 5 można zapisać, że liczba pojazdów które mają świadczyć usługę jest równa:

$$\begin{cases} N_{uEV3K}^{strRS} + N_{ofR}^{E-B} = N_{uEV}^{REQ'}, & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ N_{uEV3K}^{strRS} = N_{uEV}^{REQ'}, & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (13.84)$$

gdzie: N_{uEV3K}^{strRS} – liczba pojazdów elektrycznych V2X zakontraktowanych w mechanizmie ofertowania strefowego, po uwzględnieniu dwustopniowego mechanizmu korekt ofert dla usług harmonogramowych; N_{ofR}^{E-B} – liczba pojazdów elektrycznych V2X zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid* dla usług harmonogramowanych; $N_{uEV}^{REQ'}$ – liczba pojazdów elektrycznych V2X wymagana do zakontraktowania, aby usługa V2X została zrealizowana.

Na podstawie równania (13.84) należy wyznaczyć liczbę uEV, która nie dotarła do punktu świadczenia usługi. Niech N_{NRman}^{E-B} oznacza liczbę pojazdów zakontraktowanych

w mechanizmie *early-bid*, świadczących usługi w trybie obowiązkowym, które nie dotarły do punktu świadczenia usługi. Ponadto, niech N_{NRop}^{E-B} oznacza liczbę pojazdów zakontraktowanych w mechanizmie *early-bid*, świadczących usługi w trybie opcjonalnym, które nie dotarły do punktu świadczenia usługi. W przypadku pojazdów elektrycznych zakontraktowanych w ofertowaniu strefowym, niech $N_{NuEVman}^{str}$ i N_{NuEVop}^{str} oznaczają liczbę pojazdów, które nie dotarły do punktu świadczenia usługi, świadczących w trybie obowiązkowym i opcjonalnym. Każda z ww. grup pojazdów dysponuje także określonym wolumenem energii elektrycznej, który nie został dostarczony, odpowiednio: E_{NRman}^{E-B} , E_{NRop}^{E-B} , $E_{NuEVman}^{str}$ oraz E_{NuEVop}^{str} . Na podstawie równania (4.22) można stwierdzić, że dostarczona energia elektryczna powinna być równa sumie energii elektrycznej zakontraktowanej w mechanizmie *early-bid* oraz mechanizmie ofertowania strefowego, z uwzględnieniem ewentualnej nadwyżki wynikającej z zaokrąglenia do góry wymaganej liczby uEV. Zatem mając na uwadze monitoring przyjazdu uEV do punktu świadczenia usługi można wyznaczyć rzeczywistą wartość wolumenu energii planowaną do udostępnienia przez uEV. Określono ją wzorem:

$$E_{uEV}^{DEL} = \begin{cases} (E_{uEVC}^{str} - E_{NuEVop}^{str} - E_{NuEVman}^{str}) + (E_{E-B} - E_{NRman}^{E-B} - E_{NRop}^{E-B}), & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ (E_{uEVC}^{str} - E_{NuEVop}^{str} - E_{NuEVman}^{str}), & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (13.85)$$

gdzie: E_{uEV}^{DEL} – wolumen energii elektrycznej planowany do dostarczenia przez pojazdy elektryczne V2X, które dotarły do punktu świadczenia usługi, wyrażony w kWh.

Następnie należy sprawdzić zależności opisujące wolumen energii elektrycznej, który nie będzie dostarczony E_{uEV}^{NDEL} :

$$E_{uEV}^{NDEL} = \begin{cases} E_{NuEVop}^{str} + E_{NuEVman}^{str} + E_{NRman}^{E-B} + E_{NRop}^{E-B}, & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ E_{NuEVop}^{str} + E_{NuEVman}^{str}, & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (13.86)$$

$$E_{uEV}^{NDEL} \leq E_{N-B} \quad (13.87)$$

$$E_{uEV}^{NDEL} > E_{N-B} \quad (13.88)$$

Jeśli spełniona jest zależność opisana równaniem (13.87) wówczas V2Xsp nie musi podejmować środków zaradczych, ponieważ posiadał nadwyżkę zakontraktowanego wolumenu energii, przez zaokrąglenie „do góry” liczby uEV i ich pojemności w mechanizmie ofertowania strefowego. W przypadku, gdy spełniona jest zależność (13.88), V2Xsp musi uruchomić mechanizm „Uzupełniającego Ofertowania Strefowego” (UOS). Różnicę między wolumenem energii elektrycznej poddanemu do realizacji w ramach mechanizmów *early-bid*

i ofertowania strefowego, a planowanym do dostarczenia, które przybyły do miejsca świadczenia usługi określono równaniem:

$$\Delta E_{uEV}^{DEL} = E_d^R - E_{uEV}^{DEL} \quad (13.89)$$

Następnie należy sprawdzić liczbę dostępnych miejsc do rozładowania/ladowania uEV, w następujący sposób:

$$\Delta n_{cs} = \begin{cases} (n_{cs} - N_{uEV}^{REQ'}) + (N_{NR_{man}}^{E-B} + N_{NR_{op}}^{E-B} + N_{NuEV_{man}}^{str} + N_{NuEV_{op}}^{str}), & \text{dla usług harmonogramowanych} \\ (n_{cs} - N_{uEV}^{REQ'}) + (N_{NuEV_{man}}^{str} + N_{NuEV_{op}}^{str}), & \text{dla usług interwencyjnych} \end{cases} \quad (13.90)$$

gdzie: Δn_{cs} – liczba dostępnych punktów ładowania V2X do rozładowania/ladowania uEV, które można wykorzystać do realizacji mechanizmu uzupełniającego ofertowania strefowego.

Zatem w momencie rozpoczęcia świadczenia usługi V2X ($data_{ST}$), V2Xsp powinien dokonać analogicznej analizy jak w przypadku mechanizmu ofertowania strefowego, tj. wyznaczyć strefy dla punktu L , przypisać liczbę uEV do stref, a następnie wysłać prośby i wezwania do realizacji usługi. Należy pamiętać, że dla tego mechanizmu czas podjęcia działań przez V2Xsp i V2Xus jest krytyczny. W związku z tym proces poszukiwania, wyboru oraz dojazdu nie powinien zająć dłużej niż 30 min. Oznacza to, że czas świadczenia usługi jest mniejszy o maksymalnie 30 minut. Zatem V2Xsp musi obliczyć, czy możliwe jest wykonanie usługi V2X polegającej na dostarczeniu pewnego wolumenu energii, przy jednoczesnym utrzymaniu poziomu zapotrzebowania na moc. Brakujący poziom zapotrzebowania na moc ΔP_{UOS} jest określony równaniem:

$$\Delta P_{UOS} = P'_d - \min \left\{ \sum_{cs=1}^{n_{cs}-\Delta n_{cs}} P_{avg,t,cs}^{uEV_G}; \sum_{cs=1}^{n_{cs}-\Delta n_{cs}} P_{MAX,cs}^{EVSE} \right\} \quad (13.91)$$

gdzie: P'_d – zweryfikowane przez V2Xsp maksymalne zapotrzebowanie na moc do pokrycia w usłudze V2X, wyrażone w kW; n_{cs} – liczba punktów ładowania V2X zainstalowana u usługobiorcy; $P_{avg,t}^{uEV_G}$ – wartość średnia maksymalnych mocy rozładowania pojazdów elektrycznych V2X w godzinie t , znajdująca się na obszarze działania Dostawcy Usług V2X.

Aby usługa V2X mogła zostać w pełni zrealizowana musi być spełniona zależność dotycząca poziomu zapotrzebowania na moc:

$$\Delta P_{UOS} \leq \min \left\{ \sum_{cs=1}^{\Delta n_{cs}} P_{avg,t,cs}^{uEV_G}; \sum_{cs=1}^{\Delta n_{cs}} P_{MAX,cs}^{EVSE} \right\} \quad (13.92)$$

Następnie można wyliczyć maksymalną ilość energii elektrycznej w jaką można zaopatrzyć usługobiorcę w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego E_{UOS}^{max} . Określono ją wzorem:

$$E_{UOS}^{max} = \Delta P_{UOS} \cdot (t_s'' - 0,5 h) \quad (13.93)$$

Zatem należy porównać, czy maksymalna wartość energii, jaką usługobiorca może pozyskać w ramach mechanizmu uzupełniającego ofertowania strefowego jest większa niż różnica między wolumenem energii oczekiwanym, a faktycznie dostarczoną przez uEV:

$$E_{UOS}^{max} \geq \Delta E_{uEV}^{DEL} \quad (13.94)$$

Jeśli zależność opisana równaniem (13.94) jest spełniona, to V2Xsp może przystąpić do poszukiwania pojazdów w ramach mechanizmu uzupełniającego ofertowania strefowego. Natomiast jeśli zależność (13.94) nie jest spełniona wówczas nie ma możliwości w pełni zrealizować usługi V2X, co stanowi problem dla V2Xsp. Podobna sytuacja może mieć miejsce, w przypadku gdy liczba znalezionych pojazdów w ramach mechanizmu uzupełniającego ofertowania strefowego i ich oferowana pojemność będzie niewystarczająca, aby pokryć wolumen ΔE_{uEV}^{DEL} . Wówczas V2Xsp wypłaci rekompensatę dla usługobiorcy równą dwukrotności³³ stawki za dostarczenie brakującego wolumenu energii. Zatem wolumen energii elektrycznej, który zostanie uzupełniony w ramach mechanizmu UOS E_{UOS}^{DEL} spełnia zależność:

$$E_{UOS}^{DEL} \leq E_{UOS}^{max} \quad (13.95)$$

Procesy związane z poszukiwaniem pojazdów, tworzeniem ich rankingów oraz wyborem najlepszych ofert zostały opisane już w części poświęconej algorytmowi strefowemu, w związku z tym pominięto je w tym załączniku.

³³ Autorska propozycja.

13.6. Załącznik 6 – Tabele realizowalności i opłacalności usług V2X w przeprowadzonych symulacjach ekonomicznych

W niniejszym załączniku przedstawiono tabele, o których mowa w podrozdziale 8.2.5.

Legenda:

- Warianty realizowalne dla uEV/EndUs i opłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: **R+O**);
- Warianty realizowalne dla uEV/EndUs, lecz nieopłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: **R+NO**);
- Warianty nierealizowalne dla uEV/EndUs, lecz opłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: **NR+O**);
- Warianty nierealizowalne dla uEV/EndUs i nieopłacalne z punktu widzenia V2Xsp (oznaczenie w tabelach: **NR+NO**).

Poziom liczebności odbiorców EndUs

Poziom I – 100;
 Poziom II – 500;
 Poziom III – 1000;
 Poziom IV – 5000;
 Poziom V – 10 000;
 Poziom VI – 50 000;
 Poziom VII – 100 000;
 Poziom VIII – 500 000.

Poziom elektryfikacji transportu

Poziom A – 0,1%
 Poziom B – 1%
 Poziom C – 5%
 Poziom D – 20%
 Poziom E – 50%
 Poziom F – 80%.

Tab. 13.11. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – Wariant UH, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+NO	NR+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+NO	NR+NO
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+NO
	50%	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O
	90%	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.12. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UI, Poziom A elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO	NR+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	NR+NO	NR+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+NO	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+NO
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O
	50%	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O
	90%	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.13. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UH, Poziom B elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.14. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UI, Poziom B elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.15. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UH, Poziom C elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.16. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UI, Poziom C elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O	NR+O	NR+O

Tab. 13.17. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UH, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O

Tab. 13.18. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UI, Poziom D elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+NO
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O

Tab. 13.19. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UH, Poziom E elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O

Tab. 13.20. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych
V2X – Wariant UI, Poziom E elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O

Tab. 13.21. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – Wariant UH, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O

Tab. 13.22. Realizowalność i opłacalność usług V2X w funkcji poziomów liczebności odbiorców końcowych V2X – Wariant UI, Poziom F elektryfikacji transportu

Przypadek symulacji	Stopień wykorzystania usługi V2X	Poziomy liczebności EndUs							
		Poziom I	Poziom II	Poziom III	Poziom IV	Poziom V	Poziom VI	Poziom VII	Poziom VIII
V2X_LOLE_10h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_30h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_103h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
V2X_LOLE_2294h	20%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	50%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O
	90%	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	R+O	NR+O