

POJAZDY ELEKTRYCZNE JAKO MOBILNE MAGAZYNY ENERGII - PROPOZYCJA NOWYCH USŁUG ENERGETYCZNYCH*

mgr inż. Krzysztof Zagrajek

**Politechnika Warszawska
Instytut Elektroenergetyki
Zakład Trakcji i Gospodarki Elektroenergetycznej**

** W prezentacji znajdują się niepublikowane materiały, które zostaną wykorzystane w przygotowywanej rozprawie doktorskiej.*



Instytut Elektroenergetyki
Politechnika Warszawska

Szkoła Energii SGH, Warszawa 19.05.2022



Plan prezentacji

Plan prezentacji

Elektromobilność
w Polsce – podstawowe
informacje



Pojazd elektryczny (EV)
jako element
nowoczesnych
systemów
elektroenergetycznych

Aspekty formalno-
prawne wykorzystania
EV w procesach na
rynku energii



Koncepcja usług
energetycznych
wykorzystujących EV

Wstępne wyniki badań
symulacyjnych





Elektromobilność w Polsce – podstawowe informacje



- ***EV (ang. electric vehicle)*** – pojazd elektryczny;
- ***BEV (ang. battery electric vehicle)*** – bateryjny pojazd elektryczny, wykorzystujący do poruszania się energię zgromadzoną w akumulatorach ;
- ***PHEV (ang. plug-in hybrid electric vehicle)*** – hybrydowy pojazd elektryczny z możliwością ładowania akumulatorów;
- ***EVSE (ang. electric vehicle supply equipment)*** – infrastruktura do ładowania pojazdów (najczęściej rozumiana jako stacje ładowania);
- ***V2X (ang. Vehicle-to-everything)*** – technologia przesyłu informacji lub energii z pojazdu elektrycznego do wielu rodzajów odbiorników;
- ***V2G (ang. Vehicle-to-grid)*** – technologia przesyłu energii elektrycznej zgromadzonej w baterii EV do sieci elektroenergetycznej;
- ***DC (ang. direct current)*** – prąd stały;
- ***AC (ang. alternating current)*** – prąd przemienny;
- ***SEE*** – system elektroenergetyczny



Elektromobilność w Polsce - historia

Uruchomienie Licznika Elektromobilności

Statystyki dot. liczby pojazdów elektrycznych sprzed wprowadzenia Licznika Elektromobilności są bardzo ogólne. Były prowadzone przez GUS – brak rozróżnienia BEV i hybryd

Ogłoszenie planów elektryfikacji transportu

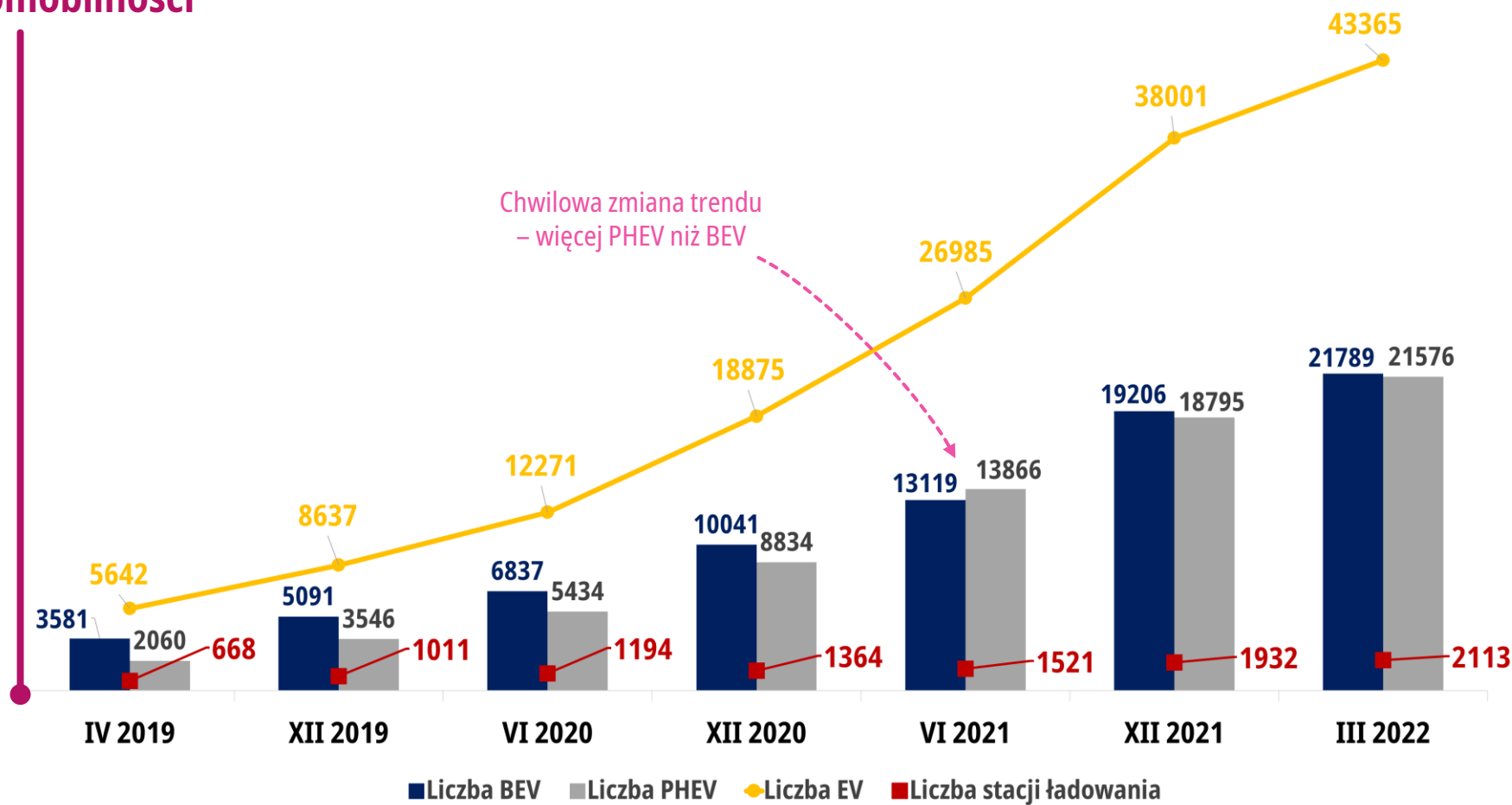


2016

Uchwalenie Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych



Q1 2018





Pojazd elektryczny (EV) jako element nowoczesnych systemów elektroenergetycznych

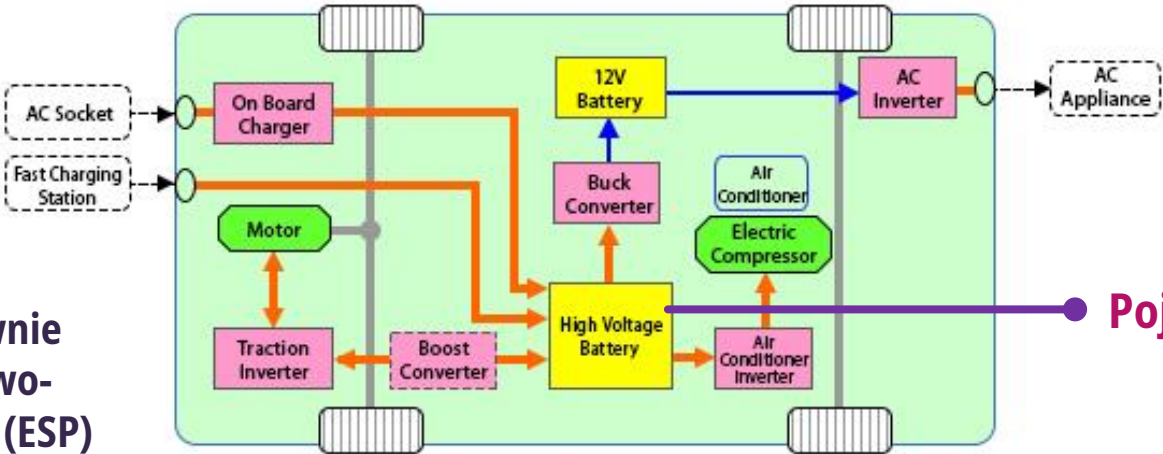


Pojazd elektryczny – element SEE

Pojazd elektryczny

Pojazd silnikowy wyposażony w zespół napędowy zawierający co najmniej jedno nieperyferyjne urządzenie elektryczne jako przetwornik energii z **elektrycznym ładowalnym układem magazynowania energii**, który można ładować z zewnątrz (*Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych*)

https://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/application/automobile/images/img_01.jpg



Akumulatory,
baterie

Elektrownie
szczytowo-
pompowe (ESP)

Koła
zamachowe

CAES

Superkondensatory, cewki

Magazyn Energii
Elektrycznej

Ładowanie: zwiększenie zapotrzebowania, spadek
częstotliwości i napięć

$E_{\text{ładowania}}$

$E_{\text{rozładowania}}$

Rozładowanie: zwiększenie generacji, wzrost
częstotliwości i napięcia

System elektroenergetyczny
(SEE)

Pojazd elektryczny = Mobilny magazyn energii



Stacja ładowania – element SEE

Punkt ładowania

(Ustawa o Elektromobilności i Paliwach Alternatywnych)

Urządzenie umożliwiające ładowanie pojedynczego pojazdu elektrycznego, pojazdu hybrydowego i autobusu zeroemisyjnego oraz miejsce, w którym wymienia się lub ładuje akumulator służący do napędu tego pojazdu

Punkt ładowania o normalnej mocy

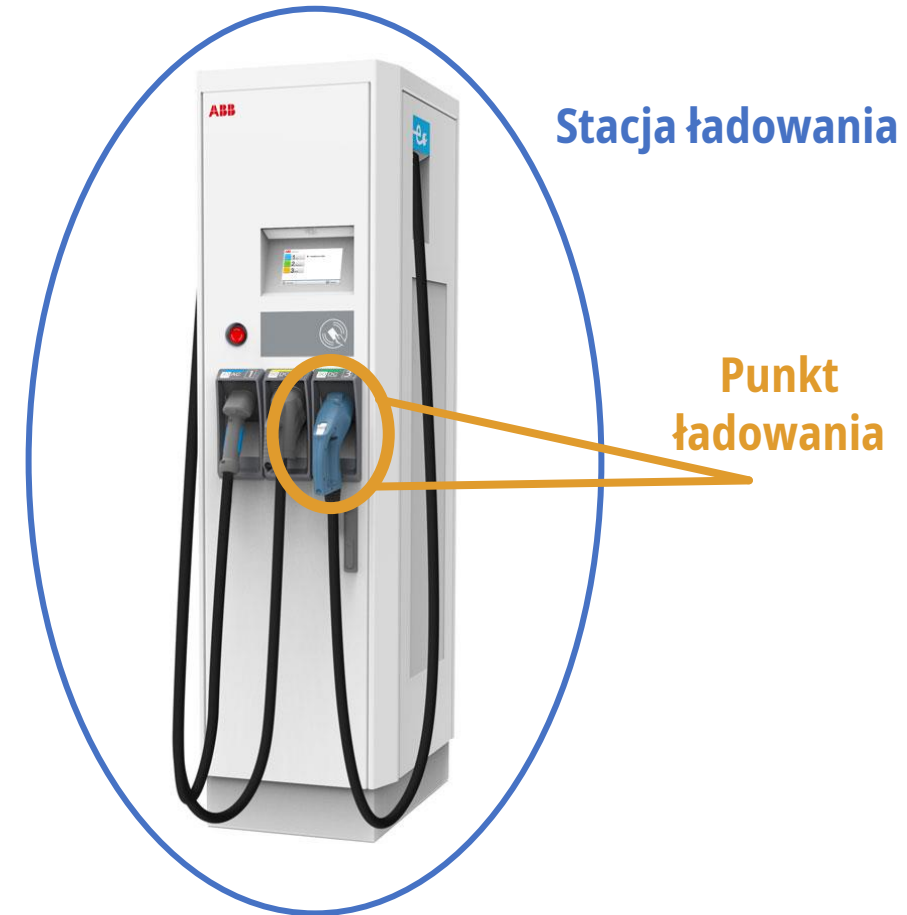
Punkt ładowania o mocy mniejszej lub równej 22 kW, z wyłączeniem urządzeń o mocy mniejszej lub równej 3,7 kW, które są zainstalowane w prywatnych gospodarstwach domowych lub których zasadniczym celem nie jest ładowanie pojazdów elektrycznych, i które nie są dostępne publicznie

Punkt ładowania o dużej mocy

Punkt ładowania o mocy większej niż 22 kW

Stacja ładowania

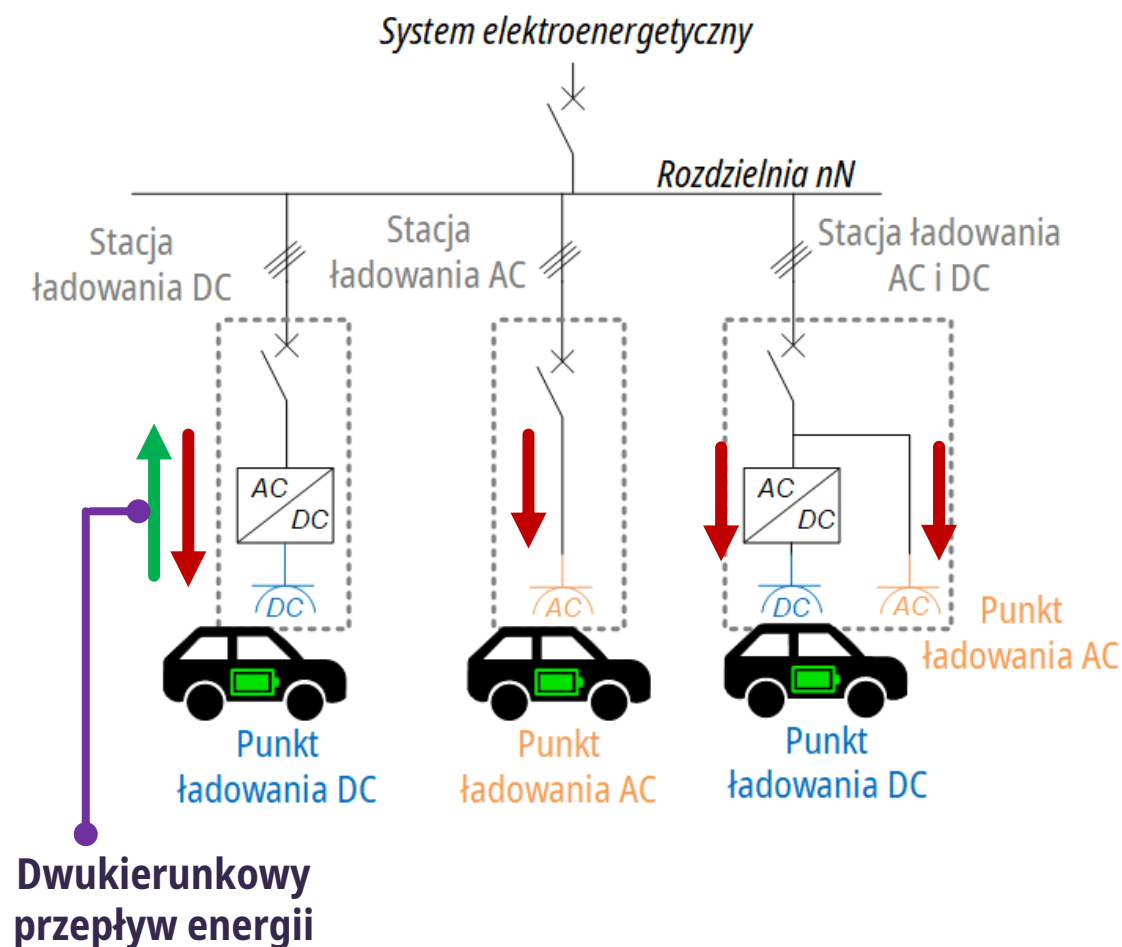
- a) urządzenie budowlane obejmujące punkt ładowania o normalnej mocy lub punkt ładowania o dużej mocy, związane z obiektem budowlanym, lub
 - b) wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania o normalnej mocy lub punktem ładowania o dużej mocy
- wyposażone w oprogramowanie umożliwiające świadczenie usług ładowania, wraz ze stanowiskiem postojowym oraz instalacją prowadzącą od punktu ładowania do przyłącza elektroenergetycznego





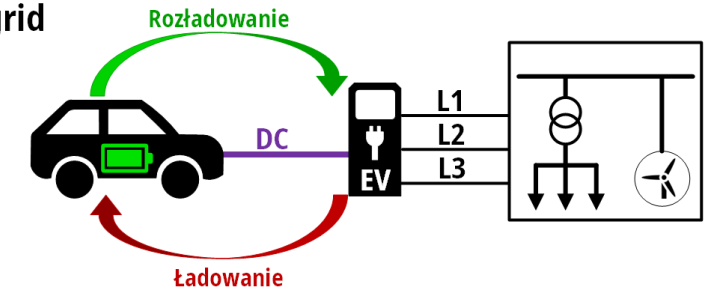
Stacja ładowania – element SEE

- Jednokierunkowe stacje ładowania pojazdów EV są niczym innym jak odbiorem energii elektrycznej (przepływ energii do EV);
- Kluczowe rozróżnienie pojęć: **punkt ładowania** i **stacja ładowania**;
- Określenie mocy przyłączeniowej obiektu z „ładowarkami” powinno odbywać się przy użyciu mocy znamionowej stacji ładowania;
- Niektóre stacje ładowania mogą wykorzystywać jednocześnie złącze AC (do 22 kW) i DC (najczęściej 50 - 100 kW);
- Przy instalacji stacji ładowania w budynkach wielorodzinnych należy pamiętać o prognozowanej liczbie pojazdów elektrycznych – docelowo znaczna część miejsc garażowych powinna być wyposażona w stacje ładowania;
- Układy energoelektroniczne instalowane w stacjach ładowania DC pozwalają na dwukierunkowy przepływ energii (sieć-pojazd lub pojazd-sieć)

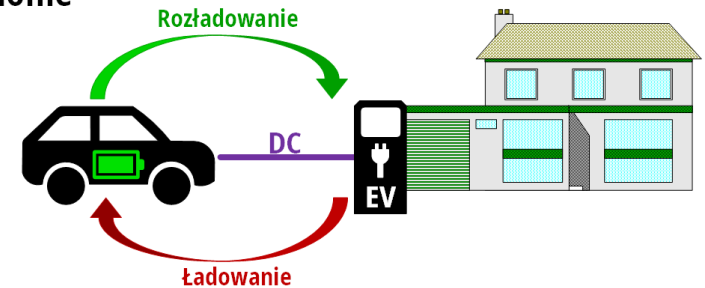


- Pojazd elektryczny jako mobilny magazyn energii – to znaczy, że bateria pojazdu może służyć jako **dodatkowe źródło energii lub dodatkowy odbiór energii**;
- Technologia wykorzystania energii z EV do integracji instalacji odbiorców końcowych/sieci dystrybucyjnej z EV – tzw. technologia Vehicle-to-everything (**V2X**);
- Najbardziej popularną technologią jest Vehicle-to-grid (**V2G**);
- Coraz częściej pojawiają się koncepcje technologii Vehicle-to-home (**V2H**) lub Vehicle-to-building (**V2B**). W przypadku tej pierwszej bardziej dotyczy domów jednorodzinnych, tej drugiej – budynków wielorodzinnych i biurowych (ang. non-residential). Można też mówić o technologii Vehicle-to-load (**V2L**), która dotyczy wspierania dowolnego odbioru.

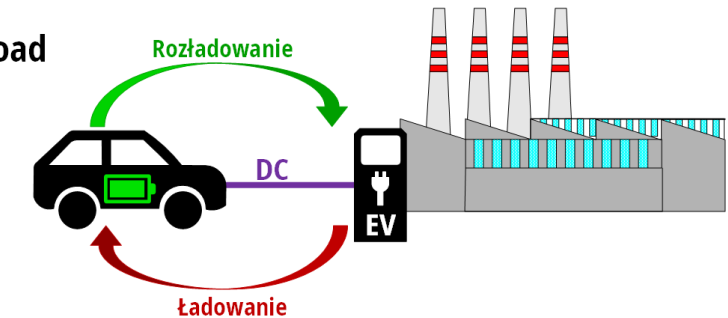
a) V2G – Vehicle-to-grid



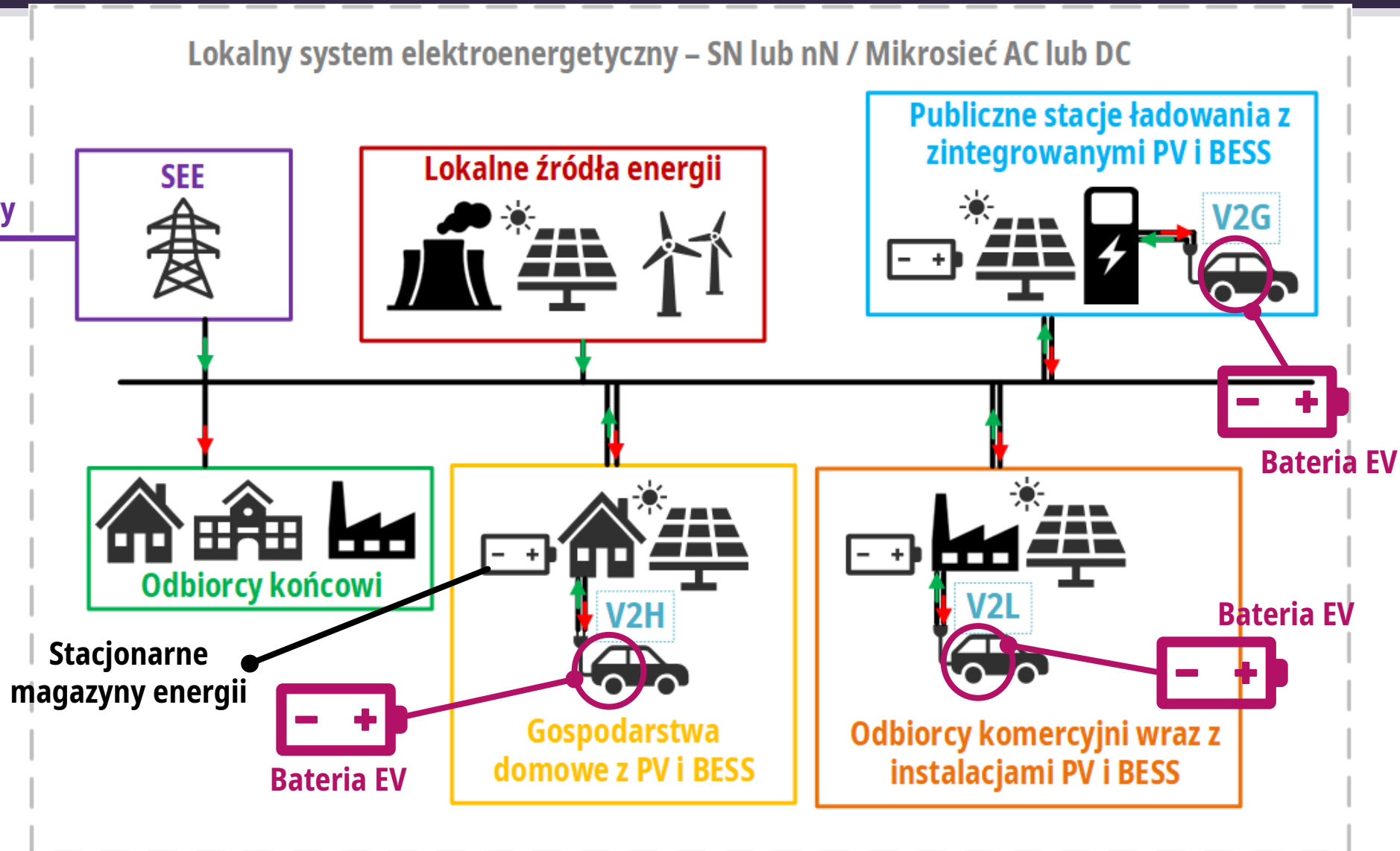
b) V2H – Vehicle-to-home



c) V2L – Vehicle-to-load



Integracja EV z SEE





Elastyczność sieci

Usługi Elastyczności (Flexibility)

**Art. 32 ust. 3 Dyrektywy PE
944/2019 ws. wspólnych
zasad rynku wewnętrznego
energii elektrycznej**

„Zdolność systemu elektroenergetycznego do reagowania na zmiany zapotrzebowania i zdolności wytwarzania energii elektrycznej”¹

„Stopień, w jakim system elektroenergetyczny może dostosować zapotrzebowanie na energię elektryczną lub jej wytwarzanie w reakcji na przewidywaną i nieprzewidzianą zmienność”²

„Plan rozwoju sieci zapewnia przejrzystość w odniesieniu do zapotrzebowania na usługi elastyczności w perspektywie średnio- i długoterminowej oraz określa inwestycje planowane na następne pięć do dziesięciu lat, ze szczególnym naciskiem na główną infrastrukturę dystrybucyjną [...] i nowych obciążeń, w tym punktów ładowania pojazdów elektrycznych. Plan rozwoju sieci obejmuje również wykorzystanie odpowiedzi odbioru, efektywności energetycznej, **instalacji magazynowania energii lub innych zasobów**, które operator systemu dystrybucyjnego ma wykorzystać jako rozwiązanie alternatywne dla rozbudowy systemu”.

Mimo, że nie ma jednej definicji prawnej elastyczności (np. w dyrektywach PE), to te znalezione w literaturze są ze sobą spójne.

¹ Mataczyńska E., Sikora M., Lewandowski W., Wykorzystanie usług elastyczności przez operatora systemu dystrybucyjnego, XXV Konferencja Naukowo -Techniczna "Rynek Energii Elektrycznej" REE 2019

² Babatunde O.M.; Munda J.L.; Haman Y. Power system flexibility: A review, Energy Reports 6 (2020), 101–106.

Usługi Elastyczności (Flexibility)

Babatunde O.M.; Munda J.L.; Haman Y. Power system flexibility: A review, Energy Reports 6 (2020), 101–106.

„In recent times, more research efforts has been directed towards the implementation of large-scale energy storage facilities on the transmission network and medium and **small-scale energy storage facilities on the distribution network**. The combined effect of these facilities increases the flexibility on the power system network. (...) On a decentralized scale, super-capacitors, **batteries**, electrolysis, flywheels and fuel cell are some of the available energy storage”.

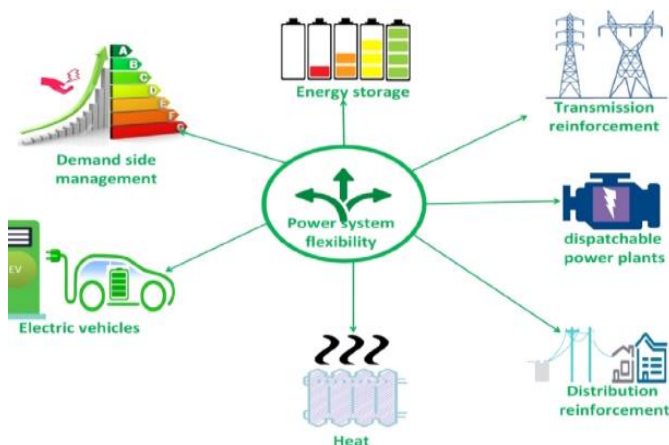
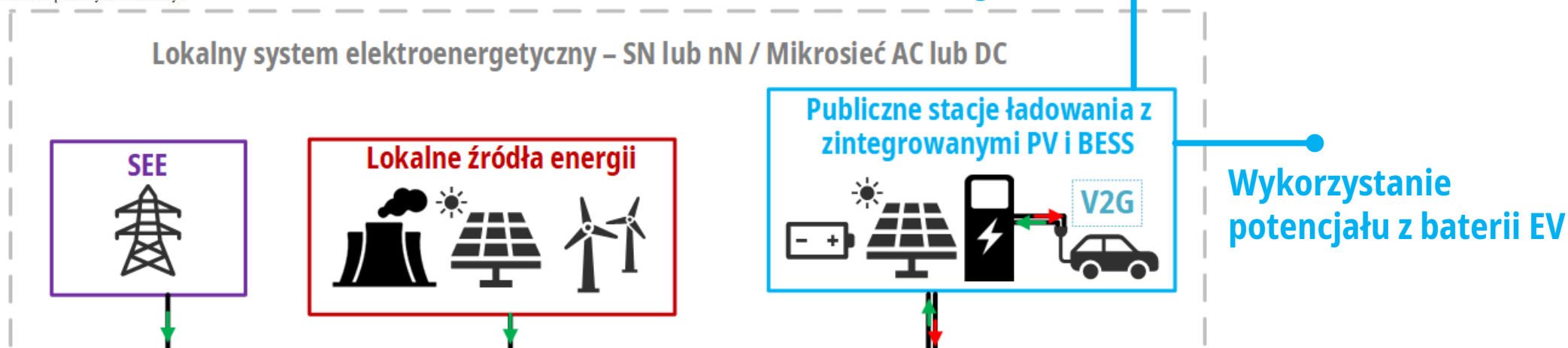


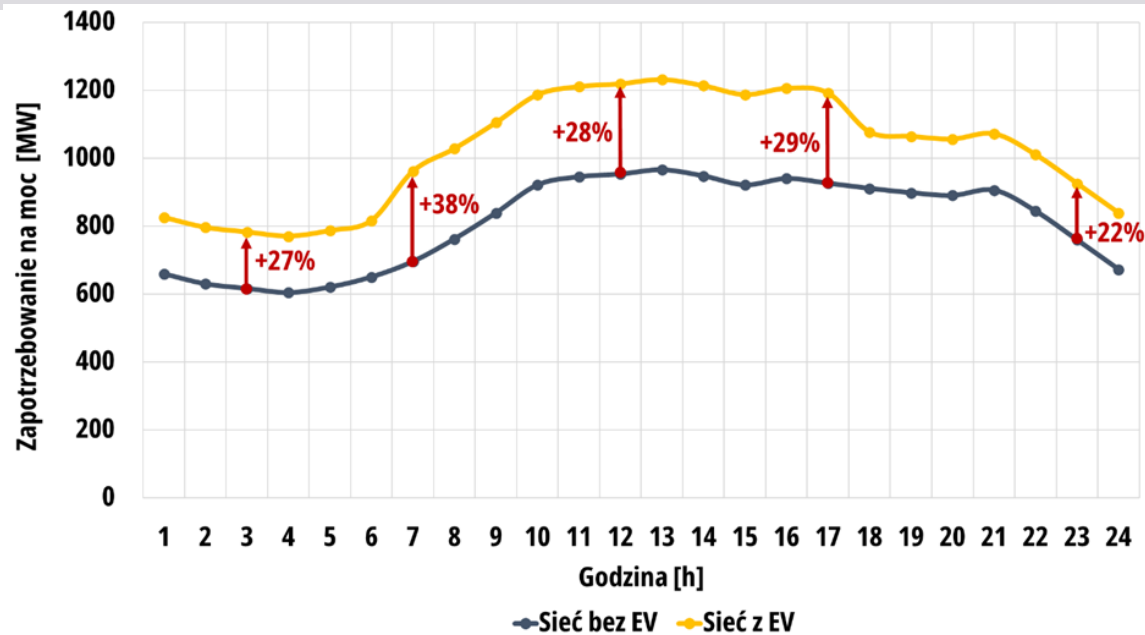
Fig. 1. Sources of power system flexibility.

**Ładowanie pojazdu w sposób inteligentny
– np. przesuwanie obciążenia tj. działania
w ramach Demand Side Management**





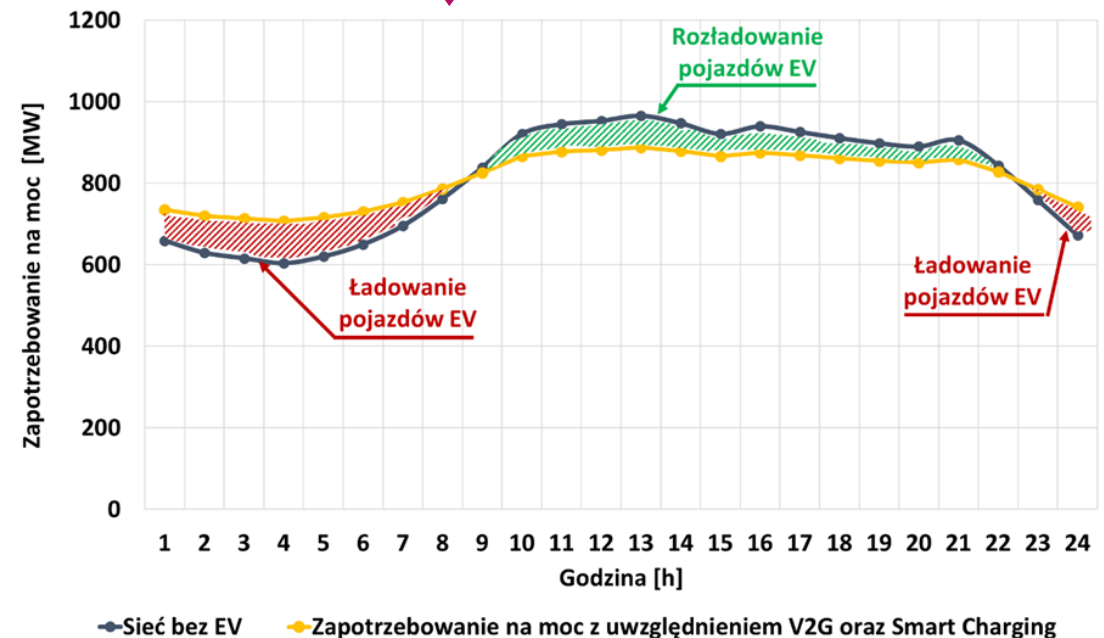
Wpływ V2X na system elektroenergetyczny



Zmiana zapotrzebowania na moc w Warszawie zakładając, że po Warszawie będzie poruszać się 66 500 pojazdów EV.

- Dodatkowe roczne zużycie energii: **+133 GWh**
- Założono, że 50% pojazdów EV będzie ładować się w godzinach 00:00 ÷ 06:00 i 18:00 ÷ 24:00 ze średnią mocą godzinową 5 kW (ładowanie w domach) oraz 20% pojazdów będzie ładować się w pozostałych godzinach doby ze średnią mocą godzinową 20 kW.

Spłaszczanie
krzywej

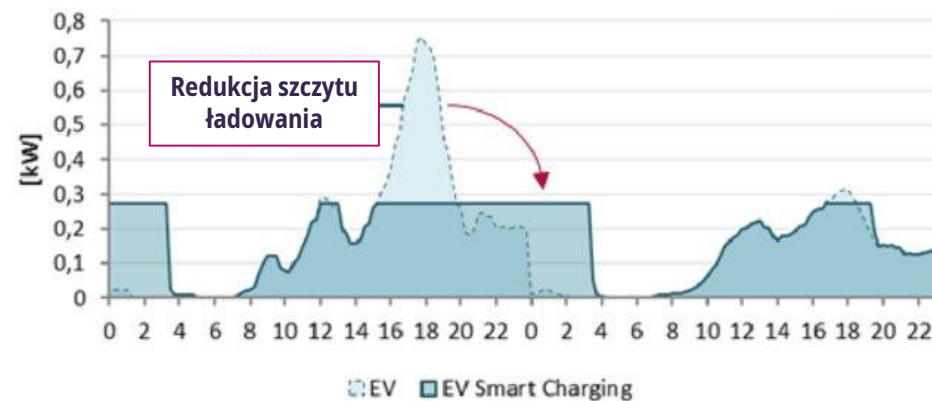




Smart Charging

- Wpływ użytkowania pojazdów elektrycznych na funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego można ograniczać za pomocą technologii V2X lub technologii inteligentnego ładowania (ang. Smart Charging)
- Smart Charging polega na monitorowaniu procesów ładowania w danym obiekcie/obszarze, zarządzaniu tymi procesami (ustalenie priorytetów), a nawet ograniczeniu poboru mocy w celu optymalizacji zapotrzebowania na moc i energię odbiorcy energii/OSD
- Czasem określane przez V1G
- Technologia Smart Charging jest ściśle powiązana z V2G

Średni profil ładowania pojazdu elektrycznego (piątek i sobota)



Średni profil zapotrzebowania gospodarstwa domowego wraz z EV (piątek i sobota)



Źródło: Sijm J., Gockel P., et al., The supply of flexibility for the power system in the Netherlands, 2015-2050 Report of phase 2 of the FLEXNET project, 2017



Projekty komercyjne i pilotażowe V2G

Nazwa projektu	Termin	Lokalizacja	Cel
Parker	2016-2019	Dania	- Regulacja częstotliwości – usługi systemowe - Sprawdzenie degradacji akumulatorów EV
Redispatch V2G	2018-2021	Niemcy	Analiza możliwości odciążenia sieci przesyłowej
City-Zen	2014-2019	Holandia	Integracja różnych grup klientów w ramach V2G
Smart Solar Charging	2014-2019	Holandia, Utrecht, Lombok	Utworzenie możliwości realizacji V2G na prądzie przemiennym
Grid Motion	2017-2019	Francja	Regulacja częstotliwości przy pomocy mechanizmów SC i V2G
Korean V2G	2015-2017	Korea Południowa	Badania dot. optymalizacji poziomu rozładowania zasobników
M-Tech Labo	2010-2013	Japonia, Nagoya, budynek Mitsubishi Motors Corp.	Redukcja maksymalnego zapotrzebowania na moc
JumpSmartMaui	2012-2016	USA, Hawaje, Maui	Zarządzanie obciążeniem w lokalnym SEE - Regulacja częstotliwości
Invent	2017-2020	USA, San Diego, UCSD	Integracja mobilnych zasobników z zasobnikami stacjonarnymi i generacją rozproszoną.
Network Impact of Grid-integrated Vehicles	2017-2020	Wielka Brytania	Analiza wpływu V2G na sieć niskiego napięcia

Źródło: Cenex, V2G Market Study, UK, Lipiec 2018



Aspekty formalno-prawne wykorzystania EV w procesach na rynku energii





Ramy prawne dla V2G (1)

Europejskie Akty prawne

Dyrektywa Parlamentu UE z 22.10.2014 w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE z 05.06.2019 w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej



Krajowe Akty prawne

Ustawa z dnia 11.01.2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych wraz z rozporządzeniami

Ustawa z dnia 10.04.1997 r. Prawo Energetyczne wraz z nowelizacjami i projektami zmian



Ramy prawne dla V2G (2)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

- Definicje pojęć z zakresu elektromobilności:**

Pojazd elektryczny

Pojazd silnikowy wyposażony w zespół napędowy zawierający co najmniej jedno nieperyferyjne urządzenie elektryczne jako przetwornik energii z elektrycznym ładowalnym układem magazynowania energii, który można ładować z zewnątrz

Punkt ładowania

Urządzenie, które umożliwia ładowanie pojedynczego pojazdu elektrycznego lub wymianę akumulatora pojedynczego pojazdu elektrycznego

Publicznie dostępny punkt ładowania

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

Punkt ładowania o normalnej mocy



Punkt ładowania o mocy mniejszej lub równej 22 kW, 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



Punkt ładowania o mocy większej niż 22 kW



Brak definicji pojęć związanych z technologią V2X



Ramy prawne dla V2G (3)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

• Przepisy w zakresie magazynowania energii

Magazynowanie energii

Odroczenie w systemie elektroenergetycznym, 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

Instalacja magazynowania energii

W systemie elektroenergetycznym instalacja, w której ma miejsce magazynowanie energii

☐ OSP i OSD nie mogą posiadać, eksploatować magazynów energii. Można uzyskać derogacje, gdy:

- instalacje magazynowe muszą być w pełni zintegrowane z siecią elektroenergetyczną;
- krajowy organ regulacyjny wyraził zgodę na takie działania;
- inne podmioty uczestniczące w rynku nie uzyskały pozwolenia na budowę lub eksploatację instalacji magazynowych energii;
- instalacje magazynowe energii są niezbędne do wypełniania przez OSD ich obowiązków i regulacji zgodnie z Dyrektywą 2019/944 w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji systemu elektroenergetycznego;
- instalacje magazynowe nie mogą być przedmiotem gry rynkowej i dodatkowych przychodów dla OSD.



Ramy prawne dla V2G (4)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

- Rola OSD w procesie integracji pojazdów elektrycznych z siecią**

- ☐ Istotne przepisy zawarte w art. 33 Dyrektywy
- ☐ OSD nie mogą być operatorami publicznie dostępnych stacji/punktów ładowania
- ☐ **OSD nie mogą być właścicielami infrastruktury do ładowania pojazdów (rynkowej), z wyłączeniem tych które będą wykorzystywane do ich własnych potrzeb**



Krytyczny zapis w zakresie funkcjonowania technologii V2G

Kto powinien być operatorem programu V2G?

OSD musi regulować pracę SEE z EV

OSD nie może być właścicielem EVSE



- Brak określonej roli OSD w procesach V2G**
- Brak przepisów jak ma wyglądać taki program V2G, pomimo zachęcania użytkowników przez PE**
- Brak określonych relacji między OSD a operatorem takiego programu**



Ramy prawne dla V2G (5)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

**Ustawa
o elektromobilności**

Ustawa Prawo Energetyczne

- **Punkt ładowania a stacja ładowania**
- **Ogólnodostępna stacja ładowania i dostawcy usług ładowania**



Brak definicji dwukierunkowego punktu ładowania

Ogólnodostępna stacja ładowania

Stacja ładowania dostępna na zasadach równoprawnego traktowania dla każdego użytkownika pojazdu elektrycznego, pojazdu hybrydowego i pojazdu silnikowego niebędącego pojazdem elektrycznym w rozumieniu ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym

Operator ogólnodostępnej stacji ładowania

Art.3 ust. 1 pkt 10)

zapewnia dostawcom usług ładowania, **na zasadach równoprawnego traktowania**, dostęp do ogólnodostępnej stacji ładowania;

Dostawca usług ładowania

Świadczy usługę ładowania obejmującą ładowanie oraz zapewnienie możliwości korzystania z infrastruktury stacji ładowania, na potrzeby ładowania



Realizacja usług V2X wymagałaby nadania priorytetu – przyjazd a brak możliwości rozładowania

Art.7

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.**



Ramy prawne dla V2G (6)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

- Niespójne definicje magazynowania energii do czerwca 2021 r.**

Ustawa Prawo Energetyczne

Magazyn energii – instalacja służąca do przechowywania energii, przyłączona do sieci, mająca zdolność do dostawy energii elektrycznej do sieci;



Ustawa o OZE

Magazyn energii – wyodrębnione urządzenie lub zespół urządzeń służących do przechowywania energii w dowolnej postaci, **niewprowadzających emisji będących obciążeniem dla środowiska**, w sposób pozwalający co najmniej na jej częściowe odzyskanie;

- Obecnie:**

Magazyn energii

w art. 3 pkt 10k) Ustawy Prawo Energetycznej wprowadza się następującą definicję: „magazyn energii elektrycznej – instalacja umożliwiająca magazynowanie energii elektrycznej i wprowadzenie jej do sieci elektroenergetycznej”.

Magazynowanie energii

w art. 3 pkt 59) Ustawy Prawo energetycznej wprowadza się następującą definicję: „magazynowanie energii elektrycznej – 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”



Ramy prawne dla V2G (7)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

- **Przyłączanie magazynu do sieci (art. 7) Ustawy PE**

- ☐ **Ust. 2b:** W umowie o przyłączenie poza podstawowymi informacjami należy także określić parametry elektryczne magazynu energii elektrycznej, w szczególności łączną moc zainstalowaną elektryczną wyrażoną w kW, pojemność nominalna wyrażoną w kWh i sprawność magazynu energii elektrycznej
- ☐ **Ust. 8a:** Zaliczka na poczet wykonania przyłącza nie dotyczy tylko jednostek wytwórczych przyłączanych do sieci o napięciu > 1 kV, ale także magazynów energii (30 zł/ kW mocy przyłączeniowej).
- ☐ Konieczność wykonania ekspertyz przyłączeniowych (> 2 MW), podobnie jak w przypadku źródeł > 2 MW lub DSR > 5 MW
- ☐ Wydłużony termin wydania warunków przyłączenia do sieci SN dotyczy źródeł i magazynów energii

- **Koncesjonowanie**

- ☐ Prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie magazynowania energii elektrycznej wymaga uzyskania koncesji w przypadkach instalacji magazynów o łącznej mocy zainstalowanej większej niż 10 MW.

- **Prowadzenie przez OSD rejestru magazynów energii o mocy > 50 kW → pytanie czy EV o mocy rozładowania powinien podlegać wpisowi do rejestru?**

- **Aspekty dot. rozliczania i taryfowania magazynów energii**



Ramy prawne dla V2G (8)

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej

Ustawa o elektromobilności

Ustawa Prawo Energetyczne

- **Nowelizacja ustawy Prawo Energetyczne – zmiana ustawy o elektromobilności**

☐ W styczniu 2020 r. w propozycji nowelizacji była umieszczona definicja dwukierunkowego punktu ładowania

Dwukierunkowy punkt ładowania

Punkt ładowania umożliwiający pobór energii elektrycznej z pojazdu elektrycznego bądź pojazdu hybrydowego

☐ Obecnie ten zapis zniknął

Pytanie:

Czy ta zmiana zamyka całkowicie drzwi do implementacji technologii V2G?

Wniosek:

Zasadniczo na dzień dzisiejszy nie ma możliwości rozwoju technologii V2G w Polsce



Ramy prawne dla V2G (9)

Brakujący aspekt prawny	Propozycja	Priorytet wejścia w życie
Brak uwzględnienia mobilnego magazynowania energii w definicji instalacji magazynowania energii	Włączenie i uznanie pojazdu elektrycznego za instalację magazynowania energii	Krytyczny
Brak definicji dwukierunkowego punktu ładowania	Nowelizacja prawa energetycznego najszybciej jak jest to możliwe	Krytyczny
Brak rynku dla usług V2X lub usług magazynowania energii	Ustanowienie ram prawnych dla powstania rynku usług V2X i magazynowania energii	Krytyczny
OSP jest wyłącznie odpowiedzialne za zakup usług systemowych	Zarówno OSP i OSD powinni mieć możliwość zakupu usług systemowych we własnym zakresie – wprowadzenie usług elastyczności	Krytyczny
Brak regulacji dla użytkowników EV chcących korzystać z V2X	Ustanowienie ram prawnych dla efektywnego rozładowywania pojazdów elektrycznych, np. priorytetowy dostęp do wybranych dwukierunkowych punktów ładowania.	Wysoki
Brak podziału ról pomiędzy OSD i Operatorem Systemu Ładowania	Wprowadzenie ról i obowiązków dla podmiotów	Średni
Brak przepisów dotyczących udziału Urzędu Regulacji Energetyki (URE) w tworzeniu Programu V2X	Aktywna współpraca między rządem, URE i odpowiednimi podmiotami	Niski



Koncepcja usług energetycznych wykorzystujących EV





Propozycja programu usług V2X

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

Usługa V2X

Zdefiniowane działanie, podejmowane przez Uczestnika Programu V2X za pomocą Pojazdu Elektrycznego V2X, mające na celu poprawę parametrów pracy systemu elektroenergetycznego lub zapewnienie funkcjonalności mobilnego magazynu energii elektrycznej odbiorcy końcowemu

Harmonogramowana

Interwencyjna

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

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, będącego aktywnym podmiotem Programu V2X

Tryb obowiązkowy

Tryb opcjonalny

Propozycja programu usług V2X

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

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

Przepływ energii z pojazdu do sieci

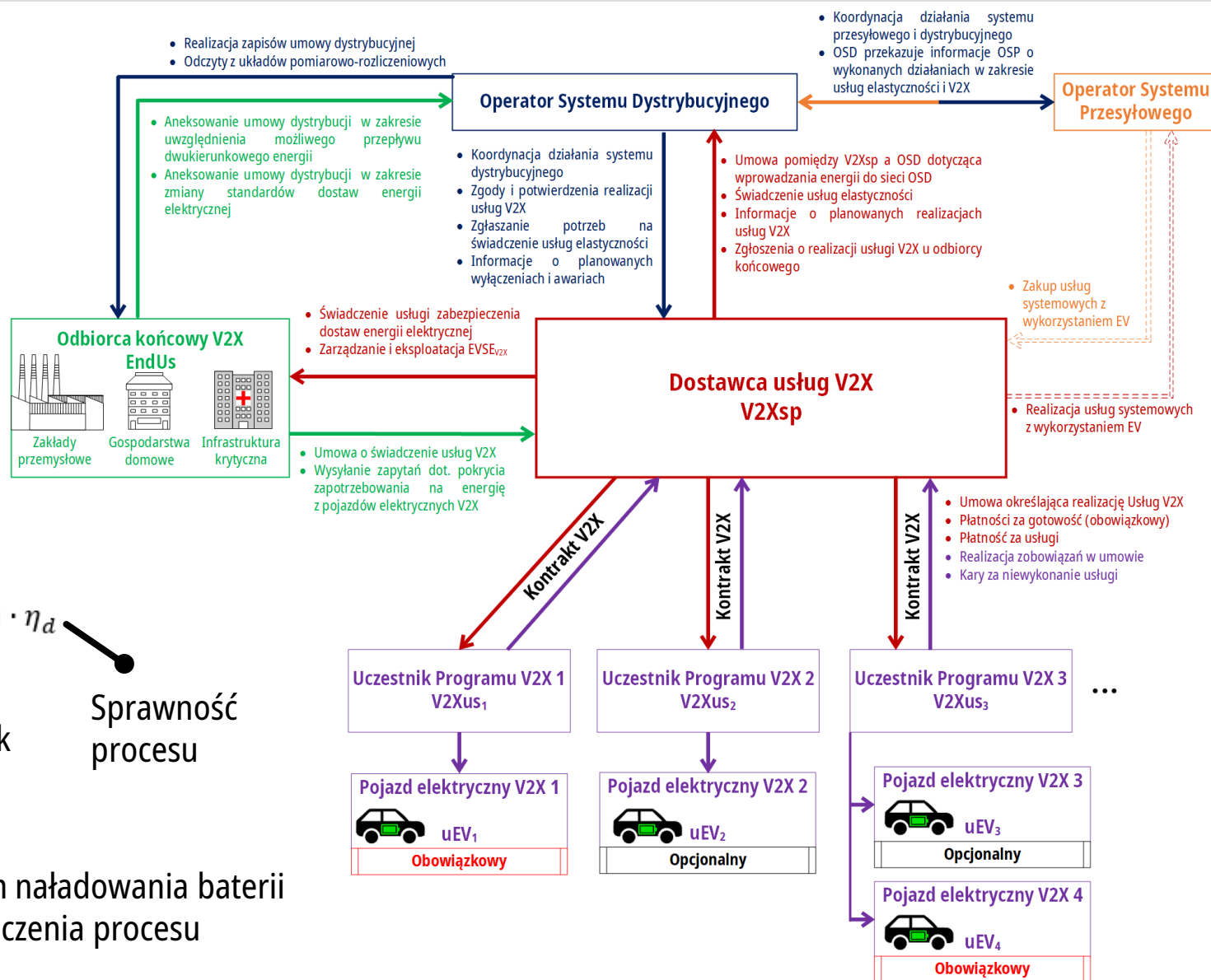
Pojemność baterii

Współczynnik „rezerwy”

Sprawność procesu

Poziom naładowania baterii w momencie rozpoczęcia procesu rozładowania

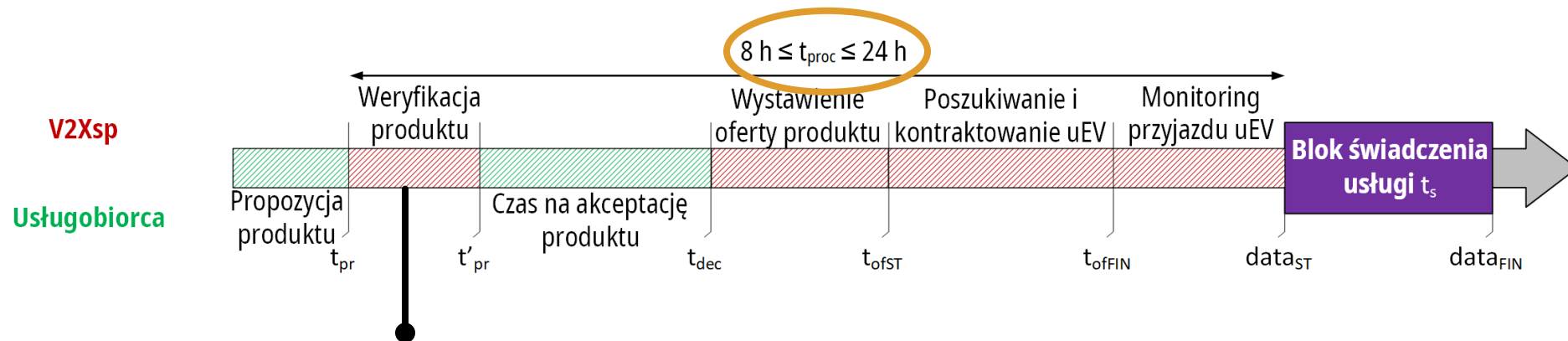
Oczekiwany poziom naładowania baterii w momencie zakończenia procesu rozładowania





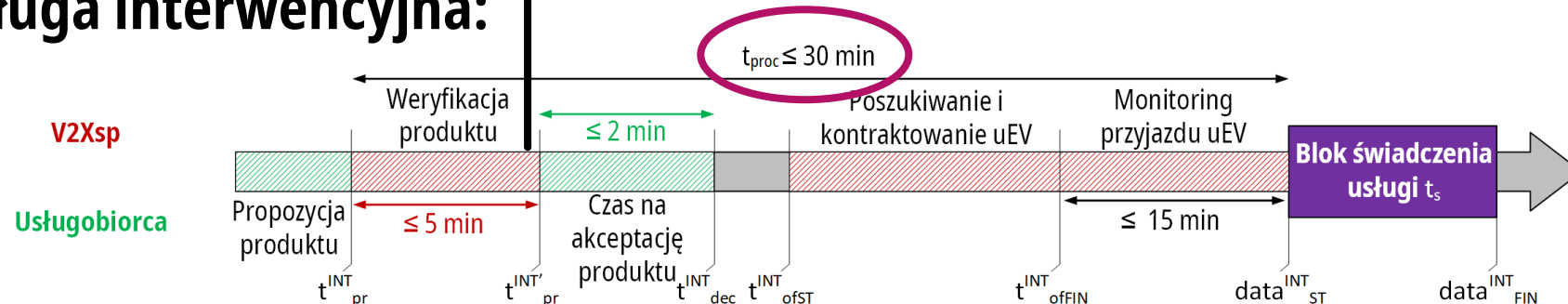
Kontraktowanie usług z punktu widzenia V2Xsp

Usługa harmonogramowana:

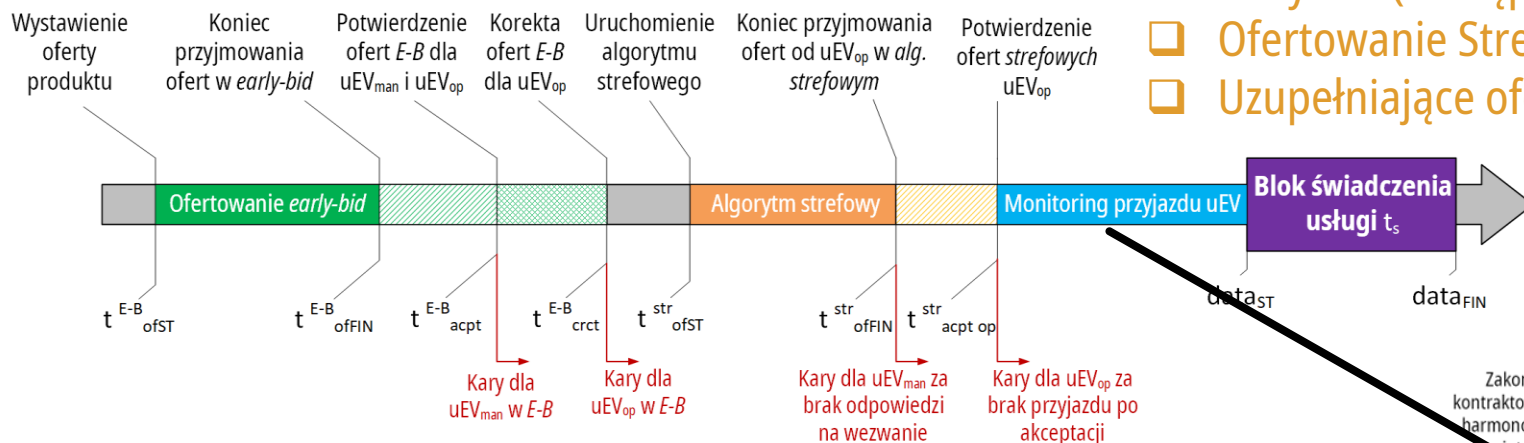


Produkt jest opisany przez szereg zmiennych np. wolumen energii, moc, czas realizacji usługi. Dostawca Usług V2X (V2Xsp) weryfikuje, czy istnieje możliwość realizacji takiej usługi. Jeśli nie, to składa korektę – od usługobiorcy zależy czy zgodzi się na tę ofertę.

Usługa interwencyjna:



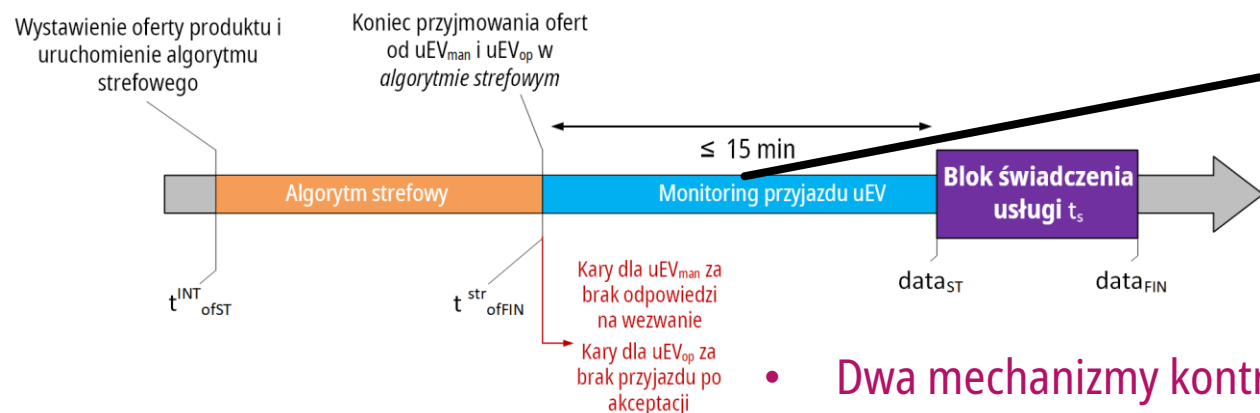
Usługa harmonogramowana:



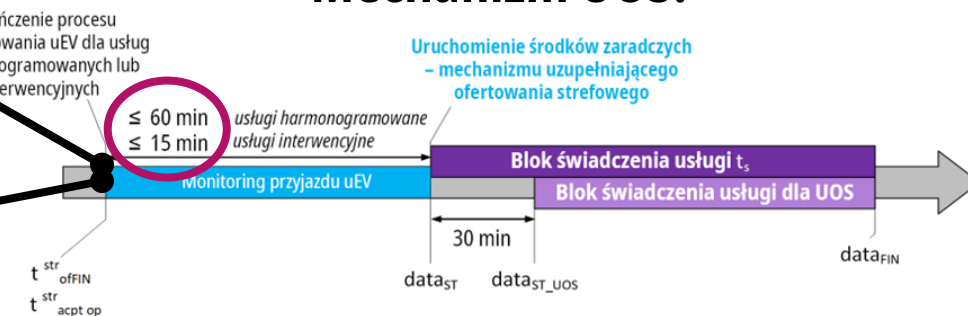
- Trzy rodzaje mechanizmy kontraktowania:

- ❑ Early-bid (dostępne dla całego obszaru)
- ❑ Ofertowanie Strefowe (tylko dla najbliższych względem lokalizacji)
- ❑ Uzupełniające ofertowanie strefowe (UOS)

Usługa interwencyjna:



Mechanizm UOS:



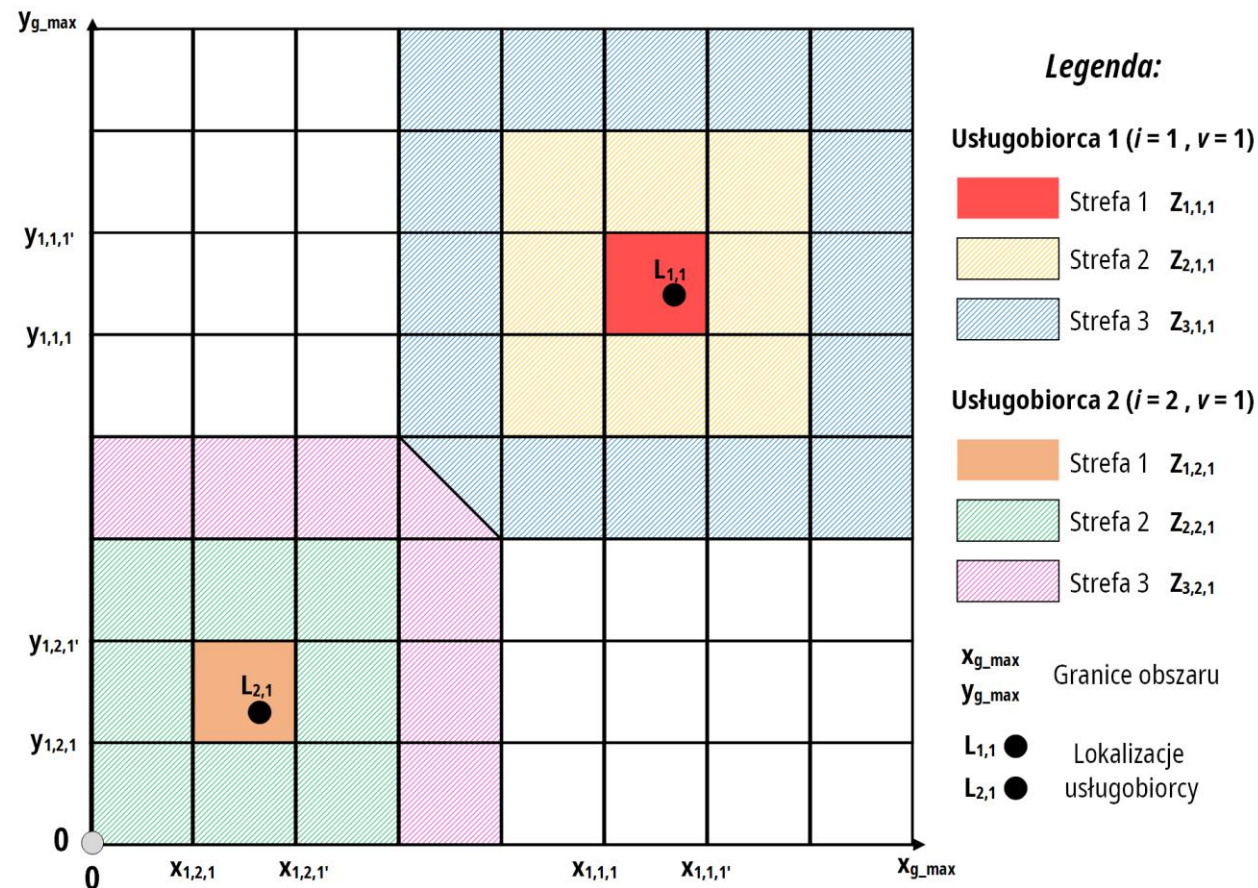
- Dwa mechanizmy kontraktowania:

- ❑ Ofertowanie Strefowe (tylko dla najbliższych względem lokalizacji)
- ❑ Uzupełniające ofertowanie strefowe (UOS)



Obszar działania Dostawcy Usług V2X (V2Xsp)

- Obszar działania wyznaczony za pomocą siatki kwadratowej;
- W przypadku usług harmonogramowanych istnieje ofertowanie wstępne tzw. mechanizm **early-bid** – dotyczy całego obszaru. Celem tego rozwiązania jest zachęcenie wszystkich uczestników do partycypacji;
- Po ofertowaniu wstępnym (dla usług harmonogramowanych) lub po wystawieniu produktu (usługi interwencyjne) następuje **ofertowanie strefowe**;
- Celem ofertowania strefowego jest przywołanie pojazdów z najbliższych okolic miejsca, w których ma być świadczona usługa V2X.





Propozycja programu usług V2X

Usługi V2X

Usługi V2X świadczone dla odbiorcy końcowego

Usługi harmonogramowane

- Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego
- Rezerwowe zasilanie odbiorcy krytycznego
- Nadmiarowe ładowanie pojazdu elektrycznego
- Smart Charging
- Praca na rzecz jednostek badawczych
- Zasilanie potrzeb własnych jednostek wytwórczych
- Realizacja obowiązku mocowego
- Wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego

Usługi interwencyjne

- Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego
- Interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy krytycznego
- Interwencyjne zasilanie potrzeb własnych jednostek wytwórczych
- Interwencyjne wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego: regulacja napięcia
- Interwencyjne wsparcie pracy wydzielonego mikrosystemu elektroenergetycznego: regulacja częstotliwości
- Interwencyjne nadmiarowe ładowanie pojazdu elektrycznego

Usługi V2X świadczone dla Operatora Systemu Dystrybucyjnego

Usługi harmonogramowane

- Rezerwowe zasilanie stacji elektroenergetycznej SN/nN
- Smart Charging w Ogólnodostępnych Stacjach Ładowania EV
- Testowe uruchamianie sieci elektroenergetycznej

Usługi interwencyjne

- Interwencyjne rezerwowe zasilanie stacji elektroenergetycznej SN/nN
- Poprawa parametrów pracy systemu elektroenergetycznego: regulacja napięcia
- Poprawa parametrów pracy systemu elektroenergetycznego: regulacja częstotliwości
- Interwencyjne zwiększenie zapotrzebowania

- Usługi V2X mogłyby być świadczone dla odbiorców końcowych lub dla Operatorów Systemów Dystrybucyjnych/Przesyłowych;
- Usługi świadczone dla odbiorców końcowych stanowią niezależny element zabezpieczenia ich systemów zasilania lub realizują inne usługi energetyczne (praca na wydzielone obszary)
- Usługi świadczone dla OSD spełniają założenia usług elastyczności. W prowadzonych badaniach przedstawiono tylko propozycje – ostatecznie to Dostawca Usług V2X będzie musiał porozumieć się z lokalnym OSD ws. katalogu usług elastyczności, które mógłby świadczyć.



Wycena usług V2X

- W czasie analiz literatury naukowej oraz innych opracowań stwierdzono, że odpowiednia wycena usługi V2X jest kluczowa. Często zastosowane współczynniki lub sposoby rozliczania są nieadekwatne i nie można ich porównać (np. stawka za energię elektryczną).
- Proponuje się, aby usługi w zakresie **rezerwowego zasilania odbiorcy końcowego** były odnoszone do wskaźnika VOLL (ang. Value of Lost Load) lub VOLA (VOLL z jednodniowym wyprzedzeniem). Inaczej mówiąc stawki jakie musi płacić odbiorca końcowy nie powinny przekraczać wartości VOLL/VOLA.
- **Należy podkreślić, że każda usługa V2X wymaga indywidualnego podejścia do wyceny.**
- W toku badań podjęto próbę optymalizowania stawek dla odbiorcy końcowego, tak aby działalność operacyjna Dostawcy Usług V2X przynosiła zyski – wykorzystano wskaźnik EBITDA > 0 ;
- Usługodawca tj. użytkownik pojazdu elektrycznego otrzymywałby wynagrodzenie za gotowość i realizację usługi (jeśli świadczy usługi w trybie obowiązkowym) lub za faktyczną realizację usługi (tryb opcjonalny). Podstawą obliczenia stawki wynagrodzenia byłaby cena rozładowania pojazdu w Ogólnodostępnych stacjach ładowania pojazdów elektrycznych funkcjonujących w obszarze działania V2Xsp. Pozwoli to na zróżnicowanie cen między regionami, ale także umożliwi przejrzystość w kalkulowaniu stawek.



Wycena usług V2X

Rozliczanie odbiorcy końcowego:

Opłata za korzystanie z Programu V2X:

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

Składnik stały Fee:

$$SF_{i,v,s} = OG_{i,v,s} + OPZ_{i,v,s}$$

Składnik zmienny Fee:

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

Stawka za pobranie 1 kWh
dla danej usługi V2X -
optymalizowana

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

Rozliczanie użytkownika EV:

Saldo: rozładowanie - ładowanie

$$S_{uEV,n}^{MAN} = OG_n^{uEV} \cdot N_{RM} + \sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{OSł} \cdot A_{2,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n}$$

Tryb obowiązkowy

Opłata za gotowość

Koszt ładowania w ogólnodostępnej stacji ładowania

Współczynniki A zwiększające stawki będą zależne od prawdopodobieństwa wykorzystania pojazdów w godzinie rozpoczęcia świadczenia usługi V2X

$$S_{uEV,n}^{OP} = \sum_{s=1}^S \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n,s}^{uEV} \cdot K_{OSł} \cdot A_{1,s} - \sum_{ch=1}^{N_{ch}} E_{ch,n}^{uEV} \cdot K_{ch} + \sum_{dis=1}^{N_{dis}} E_{dis,n}^{uEV} \cdot K_{DEG,n} - PEN_{1,n}$$

Tryb opcjonalny

Koszt degradacji baterii

Kary za niewykonanie usług

Rozliczenie operacyjne dostawcy usług V2X:

$$EBITDA_{V2Xsp} = IN_{V2Xsp}^{TOTAL} - CST_{V2Xsp}$$



Wstępne wyniki badań symulacyjnych





Algorytmy poszukiwania pojazdów

V2Xsp - wystawienie oferty

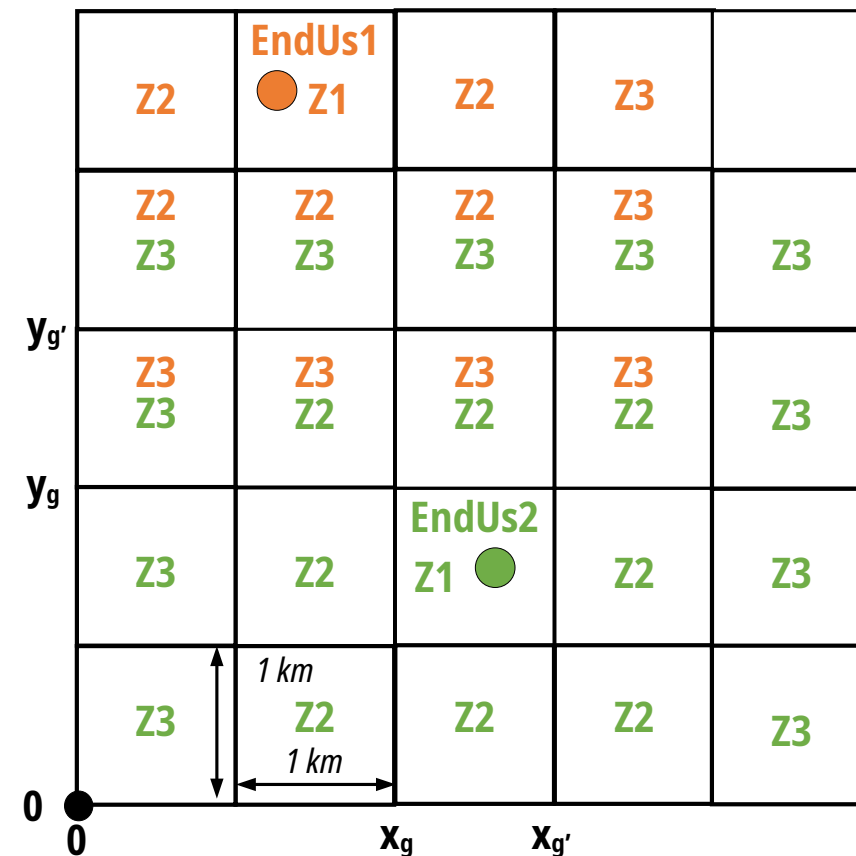
Dla EndUs 1

Ed' [kWh]	150
ts' [h]	3
Pd' [kW]	70
dataST	10:00
dataFIN	13:00
NREQ'	14
Lokalizacja x	1.12
Lokalizacja y	4.87

Dla EndUs 2

Ed' [kWh]	625.6970558
ts' [h]	4
Pd' [kW]	2500
dataST	15:00
dataFIN	19:00
NREQ'	50
Lokalizacja x	2.93
Lokalizacja y	1.75

- Symulacja wykonana dla usługi harmonogramowanej: **Rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego**;
- 2 metody kontraktowania pojazdów: early-bid oraz strefowa;
- 5 wariantów sprawdzenia poprawności algorytmu – różne rozmieszczenie pojazdów na siatce;
- Dwóch usługobiorców (EndUs 1 i EndUs 2);
- Obszar działania V2Xsp: **5 km x 5 km**;
- Stała liczba uEV uczestniczących w Programie: **1120**;
- Założono, że uEV obowiązkowych 77% wszystkich pojazdów, opcjonalnych 23%;



Podział siatki na strefy dla każdego Usługobiorcy

W przypadku Usługobiorcy 2 wstępne parametry realizacji usługi były nie możliwe do spełnienia. **Liczba pojazdów potrzebnych do realizacji > liczba dostępnych miejsc do rozładowania.** Nastąpiła korekta.



Usługa dla odbiorcy końcowego 1:

Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie early-bid	3					
Zakontrakowany wolumen energii w mechanizmie early-bid [kWh]	25.94					
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie ofertowania strefowego	10					
Wymagana liczba uEV wyliczona w momencie wystawienia produktu	14					
Zakontrakowany wolumen energii w mechanizmie ofertowania strefowego [kWh]	136.46					
Sumaryczny wolumen zakontraktowany przez V2Xsp [kWh]	162.41					
Różnica względem Ed' [%]	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	13
Liczba pojazdów w trybie opcjonalnym	0	6	0	0	0	0

Etap I
kontraktowania –
ofertowanie
wstępne

Etap II
kontraktowania –
ofertowanie
strefowe

Zamówiono
150 kWh

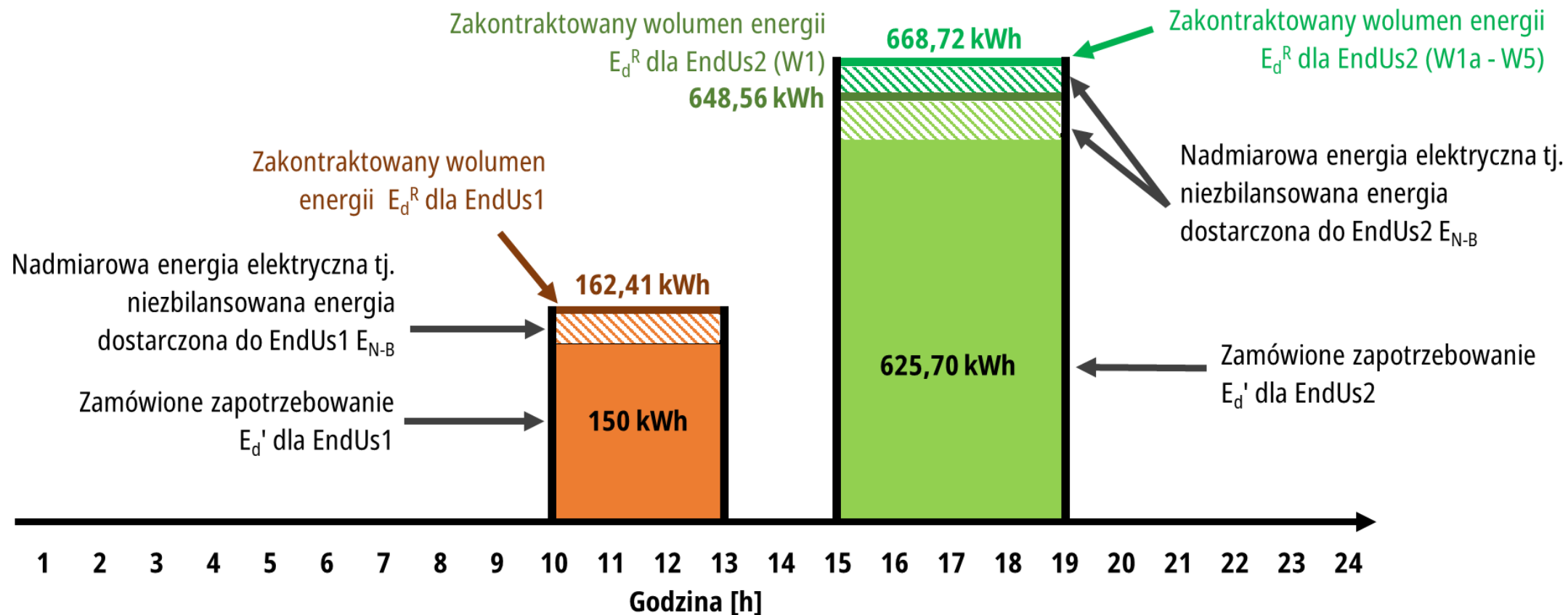
Usługa dla odbiorcy końcowego 2:

Warianty	W1	W1a	W2	W3	W4	W5
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie early-bid	16					
Zakontrakowany wolumen energii w mechanizmie early-bid [kWh]	195.45					
Zakontraktowana liczba uEV w mechanizmie ofertowania strefowego	34					
Wymagana liczba uEV wyliczona w momencie wystawienia produktu	50					
Zakontrakowany wolumen energii w mechanizmie ofertowania strefowego [kWh]	453.10	473.27				
Sumaryczny wolumen zakontraktowany przez V2Xsp [kWh]	648.56	668.72				
Różnica względem Ed' [%]	3.65%	6.88%				
Liczba iteracji	1	1	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

Zamówiono
626 kWh



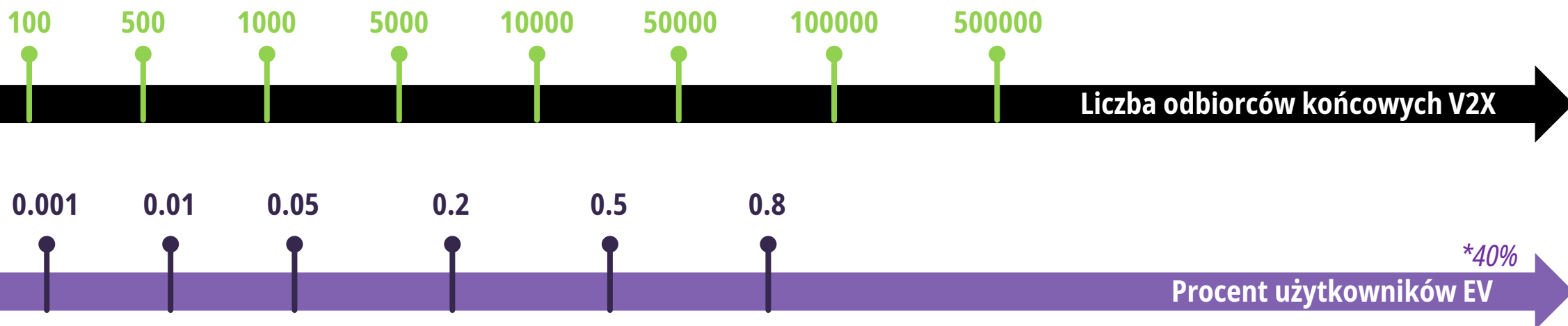
Algorytmy poszukiwania pojazdów





Przykładowe obliczenia ekonomiczne

- Przykładowe obliczenia ekonomiczne będą dotyczyły usługi V2X polegającej na zapewnieniu rezerwowego zasilania odbiorcy końcowemu
- Porównanie stawek z wartościami VOLL/VOLA
- Obliczenia ekonomiczne polegają na symulacji następujących wariantów:
 - **Wariant 1: 100% wolumenu energii kontraktowane w usłudze harmonogramowanej**
 - Wariant 2: 100% wolumenu energii kontraktowane w usłudze interwencyjnej
 - Wariant 3: 50% wolumenu energii kontraktowane w usłudze harmonogramowanej i 50% wolumenu kontraktowane w usłudze interwencyjnej





Przykładowe obliczenia ekonomiczne

Przyjęto uproszczenie, że odbiorcy grupy II są tożsami z odbiorcami w grupach taryfowych A, III - B, IV - C

Rozkład względem liczby odbiorców w systemie

Zakłada się standard bezpieczeństwa LOLE = 3 h. Zatem, wprowadzono założenie że usługa V2X pokrywa zapotrzebowanie przez czas wynikający z różnicy danego przypadku i LOLE = 3 h, np. dla przypadku LOLE 10 h oblicza się 7 h wykorzystania usług V2X

Odbiorcy	Roczne zapotrzebowanie [kWh]	Liczba odbiorców	Maksymalny wolumen energii do uzupełnienia w Programie V2X dla pojedynczego EndUs [kWh]			
			LOLE = 10 h	LOLE = 30 h	LOLE = 103 h	LOLE = 2294 h
Grupa I - Gospodarstwo domowe	3 000	0.932256 * Liczba łączna, lecz ≥ 1	2.40	9.25	34.25	784.59
Grupa II - Zakład przemysłowy przyłączony do WN	28 541 000	0.000007* Liczba łączna, lecz ≥ 1	22806.74	87968.84	325810.50	7464318.61
Grupa III - Obiekt biurowy przyłączony do SN	1 351 650	0.001881* Liczba łączna, lecz ≥ 1	1080.09	4166.04	15429.79	353496.59
Grupa IV - Szkoła	133 590	0.065856* Liczba łączna, lecz ≥ 1	106.75	411.75	1525.00	34937.75

- Przyjęto także trzy stopnie pokrycia „brakującego” wolumenu energii za pomocą usług V2X: 20%, 50%, 90%;
- Liczba pojazdów EV (łączna) w analizowanym obszarze została przyjęta na podstawie skalowania ogólnej liczby pojazdów zarejestrowanych w Warszawie do obszaru o powierzchni 300 km². Następnie mnożona jest przez analizowany odsetek pojazdów (slajd poprzedni), a liczba pojazdów uczestniczących w Programie V2X jest mnożona przez 40% (chęć udziału w takim przedsięwzięciu zadeklarowana przez ankietowanych).

Stawki k_i	VOLL [PLN/kWh]	VOLA [PLN/kWh]
Grupa I	26.192	14.519
Grupa II	18.402	14.519
Grupa III	14.770	9.163
Grupa IV	14.770	9.163



Przykładowe obliczenia ekonomiczne

- Optymalizacja za pomocą dodatku SOLVER;
- Minimalizacja EBITDA dla Dostawcy Usług V2X, przy założeniu że musi być ona niemniejsza niż 0;
- Wprowadzono dodatkowe ograniczenia:
 - ☐ Stawka płacona przez odbiorcę końcowego (PLN/kWh) nie może być mniejsza niż średni koszt 1 kWh dla danej grupy taryfowej);
 - ☐ Roczna wartość składnika zmiennego łącznej opłaty dla odbiorcy końcowego V2X nie może być mniejsza niż wartość kosztu zmiennego w rachunku za energię elektryczną wyliczonego dla liczby godzin wymaganej do pokrycia zapotrzebowania przez usługę V2X (np. dla LOLE = 10 h, będzie to 7 h).

Stawki k_{Gri}	VOLA [PLN/kWh]	(1) EndUs: 1000 uEV: 0.001 LOLE 10 h Wykorzystanie V2X: 50%	(2) EndUs: 1000 uEV: 0.001 LOLE 30 h Wykorzystanie V2X: 50%	(3) EndUs: 10000 uEV: 0.05 LOLE 10 h Wykorzystanie V2X: 50%
Grupa I	14.519	10.307	1.333	2.397
Grupa II	14.519	2.520	2.800	2.520
Grupa III	9.163	2.488	2.765	2.488
Grupa IV	9.163	2.719	3.021	2.719
EBITDA	(1) 169 732.81 zł (2) 705 858.08 zł (3) 561 762.78 zł	0.00 zł	30 249.92 zł	0.00 zł

Podsumowanie



Ramy prawne są istotnym czynnikiem, który umożliwi wprowadzenie technologii V2X w Polsce



Konieczne jest zaangażowanie uczestników z pojazdami elektrycznymi w najbliższym sąsiedztwie miejsc świadczenia usługi



Wycena usług musi uwzględniać wiele czynników wynikających z otoczenia, w którym planuje się implementować Program V2X



Pojazdy elektryczne stanowią ogromny potencjał do zapewnienia bezpieczeństwa zasilania odbiorców i realizacji usług elastyczności

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

mgr inż. Krzysztof Zagrajek

Asystent Badawczo-Dydaktyczny



**Gmach Elektrotechniki kl. C 401
Ul. Koszykowa 75, Warszawa**



krzysztof.zagrajek@pw.edu.pl



+48 665 696 763



Instytut Elektroenergetyki
Politechnika Warszawska