



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrotechnologie

Vehicle-to-Grid

diplomová práce/master thesis

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Autor: Bc. Dan Štajner

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štajner Jméno: Dan Osobní číslo: 456111
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávající katedra/ústav: Katedra elektroenergetiky
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Specializace: Elektroenergetika

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vehicle 2 Grid

Název diplomové práce anglicky:

Vehicle 2 Grid

Pokyny pro vypracování:

- 1) Stručně popište základní koncept V2G a definujte jeho ekonomické parametry.
- 2) Definujte koncové uživatele V2G a popište jejich pravděpodobné preference při využívání této technologie.
- 3) Navrhněte jednotlivé scénáře využití V2G a na základě současných znalostí predikujte budoucí vývoj. Lze uvést i případové studie.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Noel, Lance, et al. Vehicle-to-Grid : A Sociotechnical Transition beyond Electric Mobility. Cham, Switzerland, Palgrave Macmillan, 2019..
- [2] „Publications Office of the European Union. “Effect of Electromobility on the Power System and the Integration of RES : Study S13.” Op.Europa.Eu, 2 May 2019.,“ [Online].

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 01.02.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 21.05.2021

Platnost zadání diplomové práce: 30.09.2022

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne.....

Dan Štajner

Poděkování

Touto formou bych rád srdečně poděkoval svému vedoucímu, panu Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D. za nasměrování při volbě tématu, odborné vedení provázané přátelskou atmosférou a ochotu se mi aktivně věnovat po celou dobu vzniku práce.

Abstrakt

Práce seznamuje čtenáře se široce diskutovaným konceptem Vehicle-to-Grid (V2G), jenž si klade za cíl implementovat elektromobilitu do sítí Smart grid. Obsahově se zaměřuje na historický vývoj od vzniku pojmu v devadesátých letech až po současné rozsáhlé pilotní programy a shrnuje příslušnou legislativu a standardizaci. Zevrubně popisuje technickou stránku věci od používaných baterií přes nabíječky až po nástin potřebné infrastruktury, entit a procesů. Po teoretickém úvodu navazuje analytická část, která usiluje o důkladné probádání silných a slabých stránek konceptu s využitím několika analytických nástrojů, jako jsou PESTEL a SWOT analýza. S využitím čisté současné hodnoty je vyhodnocena případová studie zaměřující se na ekonomický přínos elektrifikace vozového parku rozvážkové služby participující na V2G. Práce je zakončena vyhodnocením současné situace v ČR a prognózou budoucího vývoje.

Klíčová slova

agregátor, degradace baterie, cenové tarify, Česká republika, elektromobilita, Evropská unie, legislativa, Li-iontové baterie, nabíjecí stanice, PESTEL, pilotní projekty, podpůrné služby, rozvážkové společnosti, standardizace, SWOT, Vehicle-to-Grid, vozový park ČR

Abstract

The basis of this thesis is to inform the reader about the widely discussed concept Vehicle-to-Grid (V2G) which targets on implementation of electromobility into Smart grid. It describes historical development from the term definition in nineties up to vast pilot programs while summarizing related legislation and standardization. The paper briefly explores the technical point of view, be it utilized batteries, chargers or required reconstruction of infrastructure, entities and processes. After the theoretical opening the analytical part is introduced which aims to thoroughly investigate strengths and weaknesses of the concept while utilizing several analytical tools such as PESTEL or SWOT analysis. A case study based on net present value is carried out. It breaks down the economical contribution of delivery business car fleet electrification combined with V2G participation. The thesis is concluded with evaluation of the current state in the Czech Republic and projection of future development.

Keywords

aggregator, ancillary services, battery degradation, car fleet of the Czech republic, charging station, Czech Republic, delivery businesses, electromobility, European union, legislation, Li-ion battery, PESTEL, pilot projects, price tariffs, standardization, SWOT, Vehicle-to-Grid

Obsah

1	Časový vývoj V2G.....	17
1.1	Definice.....	17
1.2	Historický vývoj.....	17
1.2.1	Věda.....	17
1.2.2	Průmysl.....	18
1.2.3	Pilotní projekty	18
1.3	Legislativa a standardy.....	21
1.3.1	Standardy.....	21
1.3.2	Legislativa	22
2	Technická stránka V2G.....	24
2.1	Typy řízeného nabíjení.....	24
2.1.1	V1G	24
2.1.2	V2G	24
2.2	Technické prvky V2G	25
2.2.1	Baterie	25
2.2.2	Nabíječky.....	29
2.2.3	Entity ve V2G.....	32
2.2.4	Strategie nabíjení EVs	34
2.3	Optimalizace V2G, řídicí algoritmy	35
3	Podpůrné služby.....	36
3.1	Vliv jednotlivých PpS na degradaci baterie	36
4	PESTEL analýza V2G.....	38
5	Identifikace koncových uživatelů.....	47
5.1	Privátní uživatelé.....	47
5.1.1	Zúžení analyzované skupiny privátních uživatelů	47
5.2	Komerční a veřejní uživatelé.....	49
5.2.1	Zúžení analyzované skupiny komerčních a veřejných uživatelů	49
5.3	Analýza silných a slabých stránek privátních uživatelů ve smyslu V2G	51

5.4	Analýza silných a slabých stránek komerčních a veřejných uživatelů ve smyslu V2G	53
5.5	Výsledky srovnání privátního a komerčního/veřejného sektoru ve smyslu V2G.....	55
5.6	Technicko-ekonomický rozbor vhodnosti V2G pro vozidla rozvážkové služby.....	57
5.6.1	Volba EV	57
5.6.2	Volba EVSE	58
5.6.3	Volba PpS s ohledem na degradaci baterie.....	58
5.6.4	Ekonomické vyhodnocení participace EV na primární regulaci frekvence	61
5.6.5	Srovnání výsledků ekonomického vyhodnocení s literaturou	64
5.7	Vyhodnocení současné situace s výhledem do budoucna	65
5.7.1	Energetický mix ČR	65
5.7.2	Podíl EVs ve vozovém parku ČR	66
5.7.3	Potenciál jednotlivých sektorů dopravy.....	66
5.7.4	Prognóza budoucího vývoje V2G v ČR	67
6	Závěr	69
7	Reference	70

Seznam obrázků a grafů

Obr. 1. Časový vývoj V2G	20
Obr. 2. Srovnání výkonových a energetických hustot různých technologií baterií.....	26
Obr. 3. Příklady AC/DC měničů umožňujících obousměrný tok energie.....	31
Obr. 4. Příklady DC/DC měničů umožňujících obousměrný tok energie.....	32
Obr. 5. Schéma vztahů entit ve V2G včetně vysvětlení konceptu V2X.....	33
Obr. 6. Srovnání závislosti spotřeby energie EV a vozu s ICE.....	48
Obr. 7. Paprskový graf srovnávající komerční a privátní sektor ve smyslu V2G.....	56
Obr. 8. StreetScooter Work Box	57
Obr. 9. Cyklická životnost v závislosti na DOD.....	59

Seznam tabulek

Tab. 1. Shrnutí predikovaných hodnot dle scénářů REF16, EUCO30 (2030) a EUCO30 (2050).	14
Tab. 2. Příklady standardů	21
Tab. 3. Používané sockety pro nabíjení EVs.....	30
Tab. 4. Shrnutí služeb a omezujících podmínek pro řízení V2G.	35
Tab. 5. PESTEL analýza, přínosy.....	38
Tab. 6. PESTEL analýza, výzvy.....	40
Tab. 7. SWOT analýza privátního sektoru.....	52
Tab. 8. SWOT analýza komerčního/veřejného sektoru.....	55
Tab. 9. Parametry každodenní jízdy.....	60
Tab. 10. Utilizace EV.....	60
Tab. 11. Parametry nabíjení.....	60
Tab. 12. Ztráta C_{nom} cyklováním pro účely V2G.....	61
Tab. 13. Vývoj průměrných cen regulačních záloh v Kč/MWh.....	62
Tab. 14. Vstupní ekonomické parametry.....	62
Tab. 15. Čisté současné hodnoty tří uvažovaných scénářů.....	63
Tab. 16. Srovnání výsledků ekonomického vyhodnocení s literaturou.....	64
Tab. 17. Potenciální přínos jednotlivých kategorií vozidel.....	67

Seznam příloh

Výpočetní Excel.xlsx

Použité zkratky

AC	střídavý proud	PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
DC	stejnoseměrný proud	PpS	podpůrné služby ES
DER	distribučované zdroje	PR	primární regulace frekvence
DOD	hloubka cyklu baterie	RES	obnovitelné zdroje energie
DSO	operátor distribuční soustavy	SG	Smart grid
C_{rate}	rychlost nabíjení/vybíjení	SOC	stav nabití baterie
ČR	Česká republika	SR	sekundární regulace výkonu
ES	elektrizační soustava	TSO	operátor přenosové soustavy
EU	Evropská unie	V1G	koordinované („chytré“) nabíjení
EV(s)	elektromobil(y)	V2B	Vehicle-to-Building
EVSE	soustava zařízení sloužící k nabíjení EV	V2C	Vehicle-to-Community
FCEV	Fuel-cell Electric Vehicle	V2G	Vehicle-to-Grid
IT	informační technologie	V2H	Vehicle-to-Home
Li-ion	lithium-iontová baterie	V2L	Vehicle-to-Load
MZ5/15	minutová záloha (5/15minutová; +/-)	V2V	Vehicle-to-Vehicle
NPV	čistá současná hodnota	V2X	Vehicle-to-Anything
PFC	aktivní korekce účinníku	VPP	Virtual Power Plant

Použité veličiny s jednotkami

čas [t]		napětí (elektrické) [U]	
h	hodina	V	volt
kapacita baterie [C_{Ah}/C_{Wh}]		objem [V]	
Ah	ampérhodina	l	litr
Wh	watthodina		
energie [E]		proud (elektrický) [I]	
kWh	kilowatthodina	A	ampér
TWh	terawatthodina		
hmotnost [m]		rychlost nabíjení/vybíjení [C_{rate}]	
kg	kilogram	h^{-1}	hodina ⁻¹
t	tuna	výkon (elektrický (činný)/mechanický) [P]	
Mt	megatuna	kW	kilowatt
		MW	megawatt
jalový výkon [Q]			
VAr	voltampér reaktanční		

Úvod a motivace

Zatímco po tisíciletí byl vývoj v dopravě lidí a materiálu téměř zanedbatelný a hnací silou zůstávaly lidské a zvířecí svaly, případně vítr na moři, v posledních 150 letech se dynamika pokroku zásadně změnila. I neefektivní parní stroj byl schopen dosahovat řádově vyšších výkonů než nejsilnější tažný kůň. Ten byl zase v první polovině 20. století postupně zcela nahrazen vynálezem spalovacího motoru, který ovládl pozemní i vodní dopravu. Pohonnou látku zde již nebylo uhlí, ale tekuté frakce ropy, které na první pohled poskytovaly geniální řešení díky snadnému transportu a bezkonkurenční energetické hustotě. Postupem času se však začaly vynořovat problémy.

Naprostá většina ropných ložisek se nachází jen na omezeném území, což vede k energetické závislosti celé zeměkoule na importu z těchto často politicky nestabilních států. Navíc tato, ač obří ložiska, mají jen omezené zásoby a v budoucnosti nevyhnutelně dospějeme k situaci, že těžba se stane neekonomickou.

Spalováním fosilních paliv ke všemu vzniká celé množství produktů, z nichž velká část je zdraví škodlivá. Emisní plyny navíc spadají mezi tzv. skleníkové, které významně mění albedo zemské atmosféry a vedou ke globální změně klimatu.

Z těchto a dalších důvodů se začaly hledat alternativní ‚čisté‘ pohony vozidel, převážně nahrazující spalovací motor elektromotorem.

Kupříkladu Velká Británie plánuje zakázat prodej nových osobních aut a dodávek se spalovacím motorem do roku 2030. Konkrétní plány na ukončení prodeje benzinových a naftových vozidel má mimo jiné i Dánsko, Norsko, Irsko, Singapur, Itálie a americké státy Havaj, Washington či Kalifornie [1].

Zdrojem napětí může být buď palivový článek s vodíkem, nebo chemický článek-baterie. Ačkoliv obě technologie mají své zastánce a odpůrce, momentálně se jeví jako perspektivnější, minimálně dle vládních programů a vyráběného počtu kusů, elektromobily (EVs) ukládající energii do baterie.

V energetickém sektoru působí stejné tlaky jako v dopravě, což vede k odklonu od fosilních k obnovitelným zdrojům. Ty jsou převážně ze své podstaty intermitentní a pro spolehlivou dodávku elektřiny musí kooperovat s úložišti elektrické energie. V současnosti je ovšem jediným zařízením, které by bylo schopno uchovávat dostatečné množství energie, přečerpávací vodní

elektrárna. Ta ale vyžaduje velkou investici, představuje velký zásah do krajiny a nelze ji postavit všude.

A tím se dostáváme k tématu této práce – Vehicle to Grid (V2G), konceptu, který chce chybějící úložné kapacity znásobit tím, že poskytne síti kapacitu baterií EVs.

Studie Evropské komise [2] predikuje nárůst EVs, ze současného 1 milionu v rámci EU, na 35 milionů do roku 2030 a 190 milionů do roku 2050. Tím by roku 2050 bylo 34 % energetické spotřeby osobních vozidel kryto elektrickým pohonem, což by vedlo k nárůstu celkové spotřeby elektřiny EU o 10 %, jak ukazuje tabulka níže.

Tab. 1. Shrnutí predikovaných hodnot dle scénářů REF16, EUCO30 (2030) a EUCO30 (2050).¹

	Nárůst spotřeby el. energie kvůli EVs	Podíl el. energie na celkové spotřebě v sektoru osobních aut	Počet EVs v EU28+6 zemích	Emise CO2 vzniklé výrobou el. energie	Podíl RES v celkové výrobě
REF16 2030	25 TWh 0,8 %	1,4 %	15 mil.	677 Mt	42,6 %
EUCO30 2030	61 TWh 2,1 %	3,9 %	36 mil.	627 Mt	49,5 %
EUCO30 2050	356 TWh 10,4 %	34,3 %	190 mil.	203 Mt	64,4 %

Princip V2G je snadný, ale samotná implementace naráží na obrovské množství problémů, z nichž nevyřešení kteréhokoliv z nich může celou myšlenku pohřbít. Přesto si koncept získal velkou pozornost na akademické půdě i v průmyslu a já se pokusím na následujících stránkách shrnout mimo jiné ideu V2G, technický i legislativní vývoj či popis technických prvků systému zakončený technicko-ekonomickou analýzou a následnou prognózou budoucího vývoje.

¹ Převzato z [2].

1 Časový vývoj V2G

Než se dostanu k samotné technické stránce V2G, musíme si pojem jednoznačně definovat, uvést do historického, standardizačního a legislativního kontextu a popsat současný stav, jenž je charakterizován provedenými pilotními projekty.

1.1 Definice

Koncept V2G nemá jasně dané hranice, co se definice týče, a záleží na konkrétním autorovi, jak pojem uchopí. Například Tan et al. [3] zkratkou V2G označuje všechny řízené způsoby nabíjení EV, a tedy i ty, kde nedochází k obousměrnému toku energie. Větší část zdrojů nicméně termínem V2G rozumí komplexní soubor technologií, které umožňují řízené nabíjení a vybíjení EV do elektrizační soustavy [4], [5], [6]. Tato práce bude pro své účely vycházet z druhé definice. Jak si později ukážeme v sekci *Typy řízeného nabíjení*, obousměrný tok elektrické energie lze použít pro mnohem více aplikací, než zahrnuje hlavní myšlenka.

1.2 Historický vývoj

V sekci Historický vývoj popisují přerod prvotní myšlenky amerického vědce v pilotní projekty po celém světě.

1.2.1 Věda

Obecně se považují za zakladatele myšlenky V2G výzkumníci Kempton a Letendre, kteří princip poprvé popsali roku 1996 v [7]. V tomto článku uvádějí, že V2G se mohou zúčastnit všechny tři typy EVs, tedy PHEV, EV i FCEV². Zatímco dnes se vidí hlavní přínos V2G v regulaci frekvence, pokrytí špiček a dobíjení z RES³, v této práci autoři zmiňují, že by palivové články v autech mohly pokrýt základní zatížení tradičně zajištěné centrálními tepelnými elektrárnami, od čehož však v dalších pracích sami brzy upouští (např. v [8]). University of Delaware, ze které autoři pocházejí, patřila mezi hlavní průkopníky oboru, a i v dalších letech vyprodukovala velké množství studií.⁴ Milníkem je založení startupu Nuvve v roce 2010 právě mimo jiné Kemptonem [9]. Skupina spolupracuje s mnoha průmyslovými hráči a zasloužila se o pilotní projekty po celém světě.⁵

2 PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), EV (Electric Vehicle), FCEV (Fuel-cell Electric Vehicle)

3 Z angl. Renewable Energy Sources (obnovitelné zdroje energie)

4 <http://www1.udel.edu/V2G/ArticlesandPapers.html>

5 <https://nuvve.com/projects/>

Systematickému výzkumu V2G se věnuje také TU Delft v Nizozemí. Skupina vědců z této univerzity kupříkladu upravila model Hyundai ix35 s palivovým článkem tak, že spolu se střešní fotovoltaickou elektrárnou zásoboval lokální microgrid, a tím zvyšoval jeho soběstačnost [10].

Lawrence Berkeley National Laboratory zase přišlo s nástrojem, který slouží k modelování chování vlastníků PHEV a následné simulaci vlivů na síť [11].

Kemptonova prvotní myšlenka vyústila v obrovské množství studií, kdy například jen mezi lety 2015 a 2017 Sovacool et al. [12] napočítali 197 vydaných článků na téma V2G. Výše uvedené případy tedy slouží jen jako nastínění probíhajícího teoretického i praktického výzkumu, který v současné době výrazně převyšuje praktickou aplikaci, o které hovoří následující část.

1.2.2 Průmysl

Faktem zůstává, že do této chvíle V2G nenalezl širší uplatnění v průmyslové sféře. Přesto došlo k relativně velkému množství pilotních programů, které zpořádání odborníci z oboru vyhodnotili jako druhý nejdůležitější bod vedoucí k úspěšné tržní implementaci V2G hned po restrukturalizaci trhů s elektřinou [13]. Proto níže uvádím příklady pilotů jako ukázkou toho, kam reálná aplikace zatím došla.

1.2.3 Pilotní projekty

Jako vůbec první komerční pilot vznikl z kooperace výrobce automobilů Nissan a energetické společnosti Enel za podpory Nuvve, kteří se roku 2015 dohodli na spolupráci v Dánsku s plánem následně expandovat do Německa a Holandska [14]. Následující rok došlo k instalaci, kam Nissan dodal elektromobily (konkrétně dodávky e-NV200), Enel nabíjecí doky a Nuvve platformu, která optimalizuje toky energie v čase v závislosti na potřebách sítě a řidiče [15].

Ve stejném roce, tedy 2016, skupina potvrdila expanzi do Velké Británie, kam plánovala dodat v první vlně 100 V2G nabíječek [16]. V lednu roku 2018 se britské konsorcium domluvilo na instalaci 135 V2G nabíječek firmou Octopus Energy, kde téměř polovina celkové sumy byla kryta grantem uděleným vládou [17]. Ve stejném měsíci získal podporu 10 milionů liber jiný projekt s Nissanem, který měl ve spolupráci s místní utilitou Ovo a Nuvve během následujících tří let zprovoznit 1.000 V2G nabíjecích stanic. Nissan také spojil síly s EONem a v srpnu 2020 nainstalovali dalších 20 nabíječek v Cranfieldu [18].

Americká armáda, jako organizace s nejvyšší spotřebou energie na světě, roku 2017 zakoupila 42 Nissanů Leaf a ve spolupráci s firmou Kisensum zahájila V2G projekt na letecké základně v Los Angeles s cílem snížit svou uhlíkovou stopu [19]. O rok později pokračoval Nissan s implementací ve Franklinu a San Diegu [20].

Nissan později rozšířil své V2G aktivity i do dalších zemí, jako je Německo [21], Chile [22], Austrálie [23] nebo Japonsko [20].

Roku 2020 došlo ve Virginii k nákupu 50 elektrických školních autobusů, jež mají posloužit V2G. Plán je do roku 2025 toto číslo navýšit na 1.000 a roku 2030 dosáhnout stoprocentní náhrady za dieselové autobusy [24].

Skupina Renault-Nissan-Mitsubishi, do které Nissan patří, není jediná, kdo je v oblasti V2G aktivní. Britský distributor UK Power Networks ve spolupráci s Innovate UK roku 2018 vydal studii zaměřenou na konsolidaci dat z dosud 50 proběhlých pilotů po celém světě a došli k závěru, že ačkoliv se do V2G projektů zapojilo celkem 12 výrobců automobilů, tak právě skupina kolem Nissanu byla zodpovědná za více než polovinu z nich [25]. Z těchto 50 projektů se polovina realizovala v Evropě a více než třetina v severní Americe. Asijské projekty byly v menšině a zaměřovaly se spíše na V2H. Tento průzkum napříč piloty také zaregistroval jasný trend, a to, že přes 90 % zařízení EVSE⁶ bylo formou DC nabíječek.

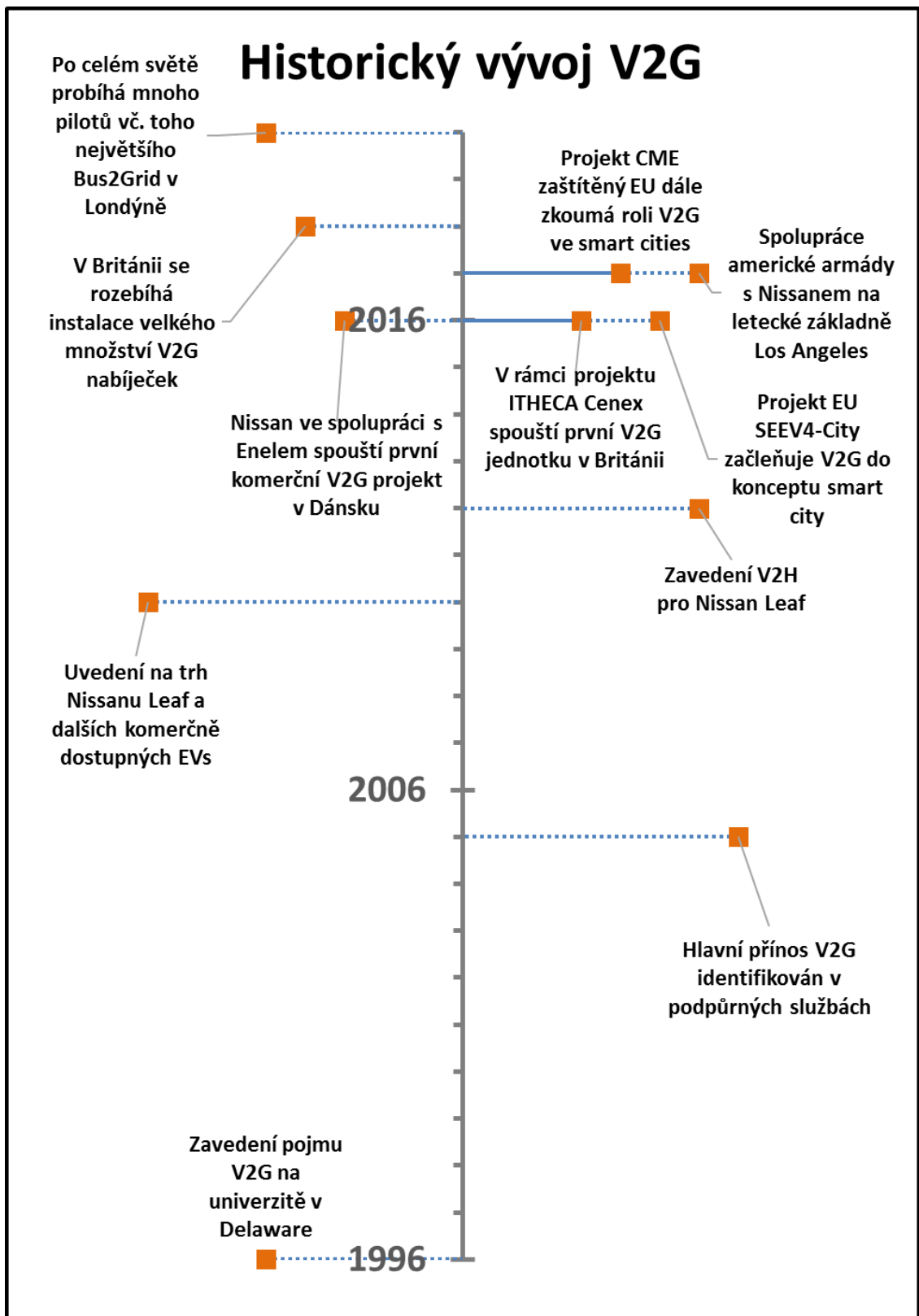
Dosud největším pilotním projektem bylo zprovoznění téměř 100 dvouposchodových elektrických londýnských autobusů, z nichž 28 je schopno V2G. Při parkování v garáži nabízejí kumulovaný výkon 1,1 MW,⁷ kde každý autobus je vybaven 382 kWh baterií [26].

Pilotní projekty se také snaží sledovat web V2G-hub,⁸ který v době psaní této práce registroval 80 projektů ve 22 zemích světa s více než 6.700 instalovanými nabíječkami.

6 Z angl. Electric Vehicle Supply Equipment, většinou ve formě nabíjecí stanice

7 Zvláštností je zde i použití AC EVSE.

8 <https://www.v2g-hub.com/insights>



Obr. 1. Časový vývoj V2G⁹

⁹ Částečně převzato z [79].

1.3 Legislativa a standardy

Následující část pojednává o standardizaci V2G a prvních legislativních krůčcích, které tvoří základní kámen zdárného uvedení do provozu.

1.3.1 Standardy

Pro úspěšnou implementaci V2G je bezpodmínečně nutné v první řadě celý koncept zestandardizovat, a to jak na silové, tak komunikační úrovni. Kdyby každý výrobce vyvíjel vlastní standard od nuly, vývoj by se značně prodražil a ve výsledku bychom dostali složitou sérii vzájemně nekompatibilních produktů a protokolů. Z těchto důvodů je v zájmu většiny ve standardizaci spolupracovat a zúžit množství unikátních systémů na minimum. Následující tabulka ukazuje příklady standardů, které jsou relevantní ve vztahu k V2G.

Tab. 2. Příklady standardů¹⁰

Označení standardu	Popis
SAE J1772	-popisuje EVSE s galvanickým spojením (conductive charging) -předepisuje, že Úroveň 1 a 2 má využívat on-board, zatímco Úroveň 3 off-board řešení -spadá sem CCS
SAE J1773	-jako SAE J1772 ale pro indukční nabíjení (inductive charging)
SAE J2847	-určuje technické požadavky a komunikační protokoly mezi EV a EVSE u řízeného nabíjení a V2G -pro AC i DC -používán převážně v USA
ISO 15118	-určuje technické požadavky a komunikační protokoly mezi EV a EVSE u řízeného nabíjení a V2G -pro AC i DC -zahrnuje: obecné informace, požadavky na síťové a aplikační protokoly, požadavky na fyzickou a datovou vrstvu (ISO/OSI), posouzení shody (conformance testing) fyzické a datové vrstvy, bezdrátovou komunikaci -navržen pro celý svět, ale hlavní uplatnění nachází v EU
DIN SPEC 70121	-obdoba SAE J2847 a ISO 15118 v Německu
CHAdeMO	-určuje technické požadavky a komunikační protokoly mezi EV a EVSE u řízeného nabíjení a V2G -jen pro DC EVSE vysokých výkonů -stojí mimo státní standardizační orgány -kompatibilní jen s vlastní EVSE a EV -vyvinut v Japonsku

¹⁰ Vytvořeno na základě [5], [13], [41].

Výčet v tabulce samozřejmě není kompletní. Kupříkladu ISO 61850 a OCPP (Open Charge Point Protocol) standardizují přenos mezi EVSE a agregátorem. IEEE 1547 se zase zaměřuje na propojení elektrických systémů a distribuovaných energetických zdrojů, nebo SAE J2293 určuje požadavky na EV a EVSE pro přenos energie z distribuční sítě do EV. Velká část standardů má navíc četné překryvy, viz SAE J2847 a ISO 15118, u kterých se do budoucna počítá se sjednocením.

1.3.2 Legislativa

Jako většina nových technologií naráží i V2G na chybějící legislativu, která je téměř vždy o krok pozadu za neaktuálnějšími výdobytky vědy a průmyslu. V současné době zákony a předpisy stanovující podmínky pro optimalizovaný provoz V2G chybí, a to jak na české, tak evropské úrovni.

Samotnému V2G nicméně předchází několik stupňů jako neřízené nabíjení, několik úrovní tarifů (s rostoucí sofistikovaností schopné rychleji reagovat na požadavky sítě) či vývoj komunikační infrastruktury a standardů. Až poté přichází ke slovu V2G. Z tohoto důvodu se zde zaměřím spíše na aktuální legislativní překážky, kterým V2G čelí a popíšu strategické cíle EU, jež v budoucnu vydláždí cestu konkrétním zákonům.

Historicky byl účastník v elektrizační soustavě klasifikován buď jako výrobce, nebo spotřebitel. V2G ale kombinuje obojí. Spadá tak do stejné kategorie jako statické bateriové úložiště, které v jednu chvíli energii spotřebovává a v jiné zas „vyrábí.“ Například v Německu je majitel EV, který chce poskytnout své služby síti, považován za elektrárnu a podléhá stejným pravidlům a musí absolvovat stejný povoloovací proces jako elektrárna [27].

Američtí a britští regulátoři situaci vyřešili tak, že energetické úložiště nazvali modifikovanou formou generace. Ozvaly se ale hlasy z akademické sféry a průmyslu, jež požadovaly unikátní postavení úložišť v právním rámci z důvodu své specifčnosti. Touto cestou se proto vydala Evropská komise, která se rozhodla stanovit nová pravidla právě pro energetická úložiště [13].

Půdu připravuje návrh Směrnice Evropského parlamentu a Evropské rady o vnitřním trhu s elektřinou vydaný Evropskou komisí roku 2017 [28]. Ta umožňuje spotřebitelům přímou participaci na trhu s elektřinou prostřednictvím dynamických tarifů. V Článku 17 vyzývá ke vzniku nových entit, jako je agregátor, který bude slučovat jednotlivé zákazníky do větších jednotek, jak je popsáno v sekci *Entity ve V2G*. Články 19 a 20 volají po implementaci komunikačních technologií a smart meteringu a zároveň definují jejich funkci. Velký důraz je kladen na bezpečnost, soukromí a odolnost proti kybernetickým útokům na přenos mnohdy citlivých dat. Direktiva poukazuje, že pouhá cenová stimulace nemusí stačit a bude muset jít ruku

v ruce s posilováním síťových prvků. Konkrétní kombinace opatření a postupů však záleží na rozhodnutí individuálních členských států [2].

Návrh Nařízení Evropského parlamentu a Evropské rady o vnitřním trhu s elektřinou vydaný Evropskou komisí roku 2017 [29] se již přímo vyjadřuje k V2G, když vyzývá k investicím do infrastruktury a příslušných IT technologií nutných pro zavedení DER¹¹, jako je právě V2G. Naráží i na nutnost cenové stimulace účastníků tak, aby byl dosažen žádaný efekt.

Pozitivní krok kupředu udělal i český operátor sítě ČEPS, jenž podpořil změnu Kodexu ES, umožňující samostatnou participaci bateriových systémů na podpůrných službách (PpS) [30]. Ty doposud mohly poskytovat PpS jen jako součást tzv. fiktivního bloku u tepelných elektráren. Navrhovaná změna zahrnuje snížení minimálního výkonu účastníka a rozšíření pravomocí agregátora.

Co se týče překážek, které stojí V2G v cestě, rád bych zde popsal pár příkladů, kde každý z nich působí v odlišné oblasti.

V současné době se u podpůrných služeb cení více dostupnost služby než její reakční doba. V2G ale nese výhodu právě v téměř okamžité odezvě. Navíc s tím, jak bude flotila EVs růst, bude V2G schopen dodat celý balík služeb. Současné trhy ovšem těmto kombinovaným službám příliš nenahrávají [13]. Často citovaným problémem je spodní výkonová hranice, od které může zdroj participovat na trhu. Tuto záležitost má vyřešit vznik nové entity – agregátora, jehož role musí být jednoznačně legislativně definována.

Naprosto zásadním bodem, který pokud se nevyřeší, ztrácí V2G ekonomicky smysl, je dvojitě zdanění a poplatky [31]. V některých členských zemích, jako je Dánsko nebo Španělsko, účastník platí jak za odebranou energii při nabíjení, tak za dodanou při vybíjení. V extrémním případě mohou daně a poplatky tvořit přes 75 % objemu peněz jako v případě Dánska a naprosto zlikvidovat rentabilitu projektu [32]. Situace se dá řešit kupříkladu tzv. net meteringem, kde zdanění podléhá pouze rozdíl dodané a spotřebované elektřiny.

V neposlední řadě je nutné si ujasnit, kdo je zodpovědný za degradaci baterie způsobenou využíváním EV pro V2G. V současnosti u většiny výrobců EVs se totiž záruka na baterii nevztahuje na služby V2G.

¹¹ Z angl. Distributed Energy Resources (distribuované zdroje energie)

2 Technická stránka V2G

Po představení legislativních překážek, kterým musí V2G čelit, nyní nadešel čas se blíže podívat na základní rozdělení řízeného nabíjení, specifikaci hardwaru či definici zainteresovaných entit.

2.1 Typy řízeného nabíjení

Hlavní dělicím bodem u kontrolovaného nabíjení EVs je schopnost či neschopnost obousměrného toku energie. Většina současných modelů EVs a EVSE je navržena pouze pro jednosměrné nabíjení, ale literatura a koneckonců i tato práce se intenzivně věnují V2G. Proto jsou níže popsány hlavní charakteristiky obou skupin.

2.1.1 V1G

Pro V1G se používají různé názvy, ať už *řízené nabíjení* (managed charging), *chytré nabíjení* (smart charging) nebo například Tan et al. [3] využívají pojem *unidirectional V2G*. Význam ale zůstává zachován. Smyslem V1G je pomocí algoritmizace a signálů od operátora sítě/agregátora minimalizovat negativní dopady nabíjení EVs na síť. Výhodou je, že na rozdíl od V2G je implementace výrazně snadnější, rychlejší a levnější. Dosáhne se toho prostým přidáním řídicí jednotky do EVSE, která upravuje nabíjecí proud. Vzhledem k predikované masivní proliferaci EVs v dopravním sektoru by neřízené hromadné nabíjení mělo neblahý vliv na elektrizační soustavu a mohlo by dojít k jejímu přetížení. Evropská komise proto v roce 2018 vydala rozsáhlou zprávu zabývající se právě analýzou a modelováním dopadů na síť včetně možných postupů, jak situaci řešit [33].

2.1.2 V2G

Primárním významem skrytým pod zkratkou V2G je výměna energie mezi EV a distribuční sítí. Nicméně schopnost obousměrného toku otevírá dveře dalším konceptům, které se souhrnně označují V2X [13]. Noel et al. [13] dal dohromady následující příklady V2X:

- V2H (Vehicle-to-Home). Uživatel připojí EV doma do EVSE (wall-boxu) a může si dobíjet baterii například ze solárních panelů umístěných na střeše místo toho, aby prodával přebytek energie za nevýhodný tarif do sítě. Ve chvíli, kdy slunce zapadne, může pokrývat spotřebu domácnosti.
- V2B (Vehicle-to-Building). V2B je nadřazený V2H a používá se pro větší objekty, jako jsou firmy nebo nemocnice, kde EV může sloužit i jako záložní zdroj při výpadku proudu.
- V2L (Vehicle-to-Load). Pod tímto termínem si můžeme představit napájení libovolného zařízení z baterie EV a de facto suplování diesellového agregátu tam, kde není k dispozici

elektrická přípojka. Ať už je to pohánění elektrického nářadí (řetězová pila, vrtačka, sekačka atp.), napájení spotřebičů při kempování nebo provoz prodejních stánků.

- V2V (Vehicle-to-Vehicle). Zde dochází k balancování mezi jednotlivými EVs. Lze tak např. dobít vozidlo, které je v danou chvíli nutné k provozu z jiného EV, jenž zrovna nemá využití.
- V2C (Vehicle-to-Community). Může sloužit k napájení microgridů izolovaných od elektrizační soustavy.

Z výše uvedeného je vidět, že fantazii se meze nekladou a je pravděpodobné, že literatura, případně později trh přijdou i s dalšími aplikacemi technologie V2G. Je nutné dodat, že zatímco původní smysl V2G má sloužit k obecnému prospěchu (možná vyšší utilizace RES, hospodárnější provoz soustavy, snížení emisí atd.) a má silný ekonomický podtext, V2X přináší osobní výhody konkrétním skupinám, kde zisk není na prvním místě.

Charging Interface Initiative e.V. poskládalo jednotlivé subkoncepty na časovou osu a předpokládá chronologicky tento vývoj [34]:

- 1) *Grid compliant charging*. Penetrace EVs je tak nízká, že nevyžaduje sofistikovanější způsoby řízení.
- 2) *Controlled charging V1G*. Odpovídá nejjednodušší formě V1G a zahrnuje prostý posun nabíjení v čase na základě signálů např. od distributora/agregátora.
- 3) *Cooperative charging V1G/H*. Komplexnější obdoba předchozího. Zavádějí se složitější tarifové strategie, vznikají další entity.
- 4) *Bidirectional charging V2H*. Dle CharIn bude V2H předcházet V2G.
- 5) *Aggregated (bidirectional) charging V2G*. V2G v plném rozsahu. Poskytování služeb elektrizační soustavě.

2.2 Technické prvky V2G

V této sekci blíže popíšu základní technické aspekty V2G.

2.2.1 Baterie

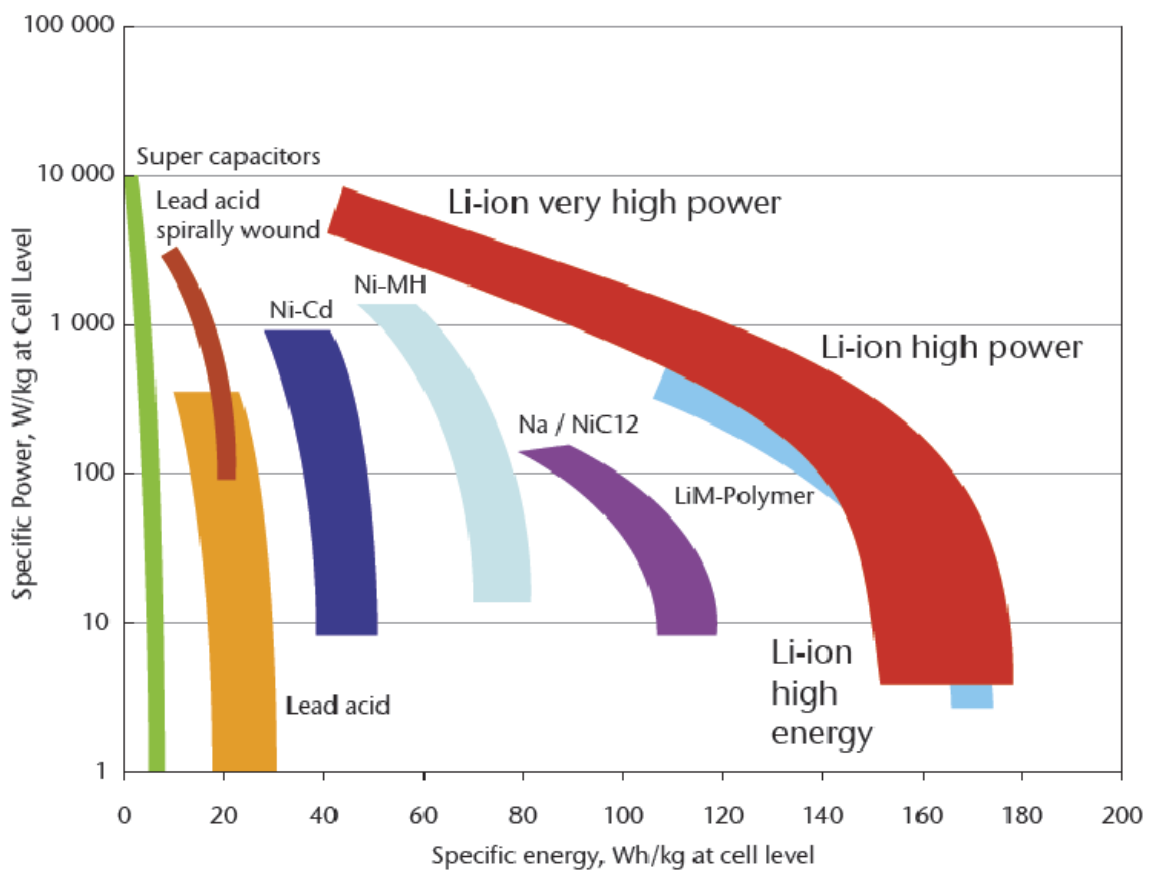
První EV spatřilo světlo světa už v druhé půlce 19. století, ale následný vynález a zefektivnění spalovacího motoru na dlouhou dobu rozvoj elektromobility zastavil [4]. Tehdejší EVs totiž využívaly těžké olověné akumulátory s nízkou energetickou hustotou, které značně omezovaly využitelný dojezd. Olověné akumulátory však našly následně uplatnění jako startovací baterie právě pro spalovací motory, jež absolutně ovládly 20. století.

Moderní rozvoj elektromobility je možný až díky vynálezu, vývoji a exponenciálnímu poklesu ceny lithium-iontových (Li-ion) článků, jejichž principiální funkce zde nebude z důvodu omezeného rozsahu práce podrobně rozebrána. Podrobnější popis Li-ion baterií používaných v EVs popisuje např. [35].

2.2.1.1 Důvody použití Li-ion baterií v EV

Li-ion baterie v elektromobilitě naprosto dominují, protože ve srovnání například s olověnými (lead acid), nikl-kadmiovými (Ni-Cd) či nikl-metal-hydridovými (Ni-MH) články mají následující výhody:

- Vysoká energetická a výkonová hustota. Srovnání jednotlivých technologií zachycuje obrázek níže. Nicméně je nutné poznamenat, že graf slouží pro ilustrativní účely pro pochopení řádu. Dnešní Tesly totiž dosahují hodnot téměř 250 kWh/kg na úrovni článku [35].



Obr. 2. Srovnání výkonových a energetických hustot různých technologií baterií¹².

¹² Převzato z [73].

- Vysoká účinnost (Coulombova i energetická). Coulombova účinnost (poměr náboje získaného vybíjením a dodaného nabíjením) se blíží ke 100 %, energetická účinnost (poměr energie získané vybíjením a dodané nabíjením) přesahuje 90 %. Ni-MH dosahují typicky energetické účinnosti v rozpětí 65-75 %, olověné baterie 80-90 %. Coulombova účinnost se pak pohybuje kolem 90 % [36], [37].
- Vysoká cyklická životnost. Současná technologie Li-ion dovoluje dosáhnout několika tisíc cyklů (80 % DOD), zatímco konkurenční technologie jen typicky několik stovek [37].
- Schopnost dodávat i přijímat vysoké proudy [38].
- Nízká hodnota samovybíjení [38].

Mimo výše uvedené výhody mají Li-ion akumulátory samozřejmě i nevýhody. Mezi hlavní patří vysoká cena a relativně nízká bezpečnost. Při přebití nebo mechanickém poškození totiž může dojít k razantní exotermické reakci.

2.2.1.2 Základní bateriové veličiny

Pro popis baterií je nutné se seznámit s několika fundamentálními veličinami, které jsou v práci použity.

C_{Ah} (charge capacity) [Ah]. Tato kapacita udává množství náboje, který lze získat úplným vybitím baterie:

$$C_{Ah} = \int_{plná}^{prázdná} |I_{bat}| dt$$

kde I_{bat} značí proud baterie.

C_{Wh} (energy capacity) [Wh]. Energetická kapacita ukazuje množství energie, které lze uložit do baterie. Její hodnotu vypočítáme následovně:

$$C_{Wh} = \int_{plná}^{prázdná} |U_{bat}| * |I_{bat}| dt$$

kde U_{bat} je napětí na svorkách baterie.

P (výkon) [W]. Výkon baterie se vypočte ve stejnosměrném obvodu jednoduše dle:

$$P = U_{bat} * I_{bat}$$

Výše uvedené veličiny pak můžeme vztáhnout k hmotnosti (gravimetrická hustota) nebo objemu (volumetrická hustota). Získáme tak energetickou hustotu [Wh/kg; Wh/l] a výkonovou hustotu [W/kg; W/l].

C_{rate} (rychlost nabíjení/vybíjení) [h^{-1}]. Tato veličina dává do poměru nabíjecí/vybíjecí výkon a energetickou kapacitu baterie dle vzorce:

$$C_{rate} = \frac{P_{nab}}{C_{Wh}}$$

kde P_{nab} je nabíjecí výkon dodávaný nabíječkou. Z tohoto vztahu vyplývá, že na dvojnásobnou baterii můžeme aplikovat dvojnásobný vybíjecí proud při zachování stejné velikosti C_{rate} . Proudem 1C tedy vybijeme baterii za 1 hodinu, 2C za půl hodiny, 0.5C za 2 hodiny atd.

SOC (State of Charge) [-]. Bezrozměrná veličina typicky uváděná v %, která popisuje míru nabití baterie ve vztahu k nominální kapacitě. 100 % znamená plně nabito, 0 % naopak plně vybito. Je nutné poznamenat, že prakticky lze dosáhnout i hodnot mimo toto rozmezí, ale došlo by k ireverzibilním změnám v článku. Nejpoužívanější matematická definice je tzv. Coulombova, která je určena ampérhodinovou rovnováhou [39]:

$$SOC(t) = SOC(t = 0) + \frac{1}{C_{Ah\ nom}} \int_{t=0}^t (I_{bat} - I_{loss}) dt$$

kde $C_{Ah\ nom}$ je nominální kapacita a I_{loss} proud spotřebovaný ztrátovými reakcemi.

DOD (Depth of Discharge) [-]. Jedná se o veličinu, opět uváděnou v %, která popisuje míru vybití baterie. Slouží tak jako komplement k SOC. Vypočítat ji lze po zanedbání účinnosti a stárnutí pomocí rovnice [39]:

$$DOD(t) = 100\% - SOC(t)$$

Baterie podléhají dvěma typům stárnutí charakterizované kalendářní a cyklickou životností [40].

Kalendářní životnost. Není závislá na cyklování baterie, ale na čase. Ovlivňují ji i další podmínky jako teplota a SOC. Zatímco oloveným akumulátorům vyhovuje skladování při vysokých SOC, Li-ion to mají přesně naopak, kdy skladování plně nabitého akumulátoru vyústí až v několikanásobné zkrácení životnosti.

Cyklická životnost. Akumulátor dále stárne tzv. cyklováním, tedy nabíjením a vybíjením baterie. Velký vliv má DOD, kdy při hlubokém cyklování články většinou stárnou rychleji než při mělkém. Rozdílných výsledků také dosáhneme při použití odlišných proudů.

V reálné aplikaci působí oba jevy dohromady a je obtížné je od sebe oddělit. Vzhledem k tomu, že EV většinu času stojí, tak hlavní vliv má kalendářní stárnutí. Implementací V2G by se to ale mohlo změnit. Za konec života baterie se obecně považuje pokles kapacity na 80 % jmenovité hodnoty.

2.2.2 Nabíječky

Pro zprostředkování V2G musí mezi sítí a EV vzniknout dva základní typy propojení, a to silové, umožňující výměnu elektrické energie a slaboproudé, přes které se bude systém řídit. Tato část pojednává o prvním jmenovaném.

Literatura [5], [13], [41] člení EVSE do tří základních úrovní:













- Úroveň 1 (Level 1/Slow charging). Poskytuje nejnižší výkon, je napájen jednofázově z tradiční 230 V zásuvky. Tento typ se využívá převážně v domácnostech.
- Úroveň 2 (Level 2/Fast charging). Výkonově střední řešení použité jak v domácnostech, tak u veřejných nabíječek. Na rozdíl od Úrovně 1 již vyžaduje dedikovanou přípojku například v podobě tzv. wallboxu, ke které se uživatel připojí vlastním kabelem. Předpokládá se, že v první fázi implementace V2G bude právě Úroveň 2 nejrozšířenější, protože nabízí slušný výkon za přijatelnou cenu.
- Úroveň 3 (Level 3/Rapid charging). Druh nabíječky poskytující na výstupu buď třífázový AC, nebo u nejvýkonnějších zařízení DC výkon. Tento typ EVSE nalezneme na veřejných dobíjecích stanicích, případně ve firmách k napájení služebních vozidel. Od určitého výkonu má externí statická část EVSE vlastní kabel s konektorem kvůli velkému průřezu přívodních vodičů.

EVSE dále dělíme na on-board a off-board řešení. On-board nabíječky jsou přímo součástí EV a můžeme tak vůz dobít z libovolného zdroje, jako je domácí zásuvka. On-board řešení je však značně výkonově omezeno kvůli hmotnosti, prostoru, zhoršenému chlazení a ceně. Off-board nabíječka se naopak nachází mimo EV a lze tak dosáhnout výrazně vyšších výkonů. Z těchto důvodů se on-board nabíječka hodí pro Úroveň 1 a off-board pro Úroveň 3. Úroveň 2 pracuje s oběma typy. On-board i off-board varianta může podporovat buď jednosměrný, nebo obousměrný tok energie.

2.2.2.1 Používané sockety

Na trhu je dispozici několik druhů konektorů, které závisí na značce EV, výkonové úrovni a charakteristice proudu (AC/DC). V Evropě nejčastěji používané typy shrnuje následující tabulka.

Tab. 3. Používané sockety pro nabíjení EVs.

Název	Výkonová úroveň, typ sítě, umístění [42], [43], [44], [45]	Příklad modelu EV	Komentář [43], [45], [44]	Obrázek [43], [42], [46]
Domácí jednofázová zásuvka	Úroveň 1 1f <3.7 kW (230 V, 16 A) Strana nabíječky	Všechny modely	Tradiční domácí zásuvka, kde výkon je omezen použitým jištěním. Nízký výkon má za následek dlouhou dobu nabíjení a nehodí se proto příliš pro každodenní použití.	 
	Úroveň 1, 2 1f <3.7 kW (230 V, 16 A) 3f <22 kW (400 V, 32 A) Strana nabíječky	Všechny modely	Standard pro třífázovou přípojku, kterou lze často najít i v domácnostech. Díky třem fázím lze takto dosáhnout již vyšších výkonů.	 
Type 2	Úroveň 1, 2, 3 1f <7.4 kW (230 V, 32 A) 3f 22-43 kW (Renault Zoe) DC 150 kW (brzy až 250 kW)-pouze Tesla Obě strany	Nissan Leaf Renault Zoe Hyundai IONIQ VW Golf Škoda Superb iV Tesla Model S Tesla Model X	Oficiální AC konektor pro EU vybraný Evropskou komisí. Tím pádem nejrozšířenější socket u veřejných stanic umožňující solidní výkon. Tesla jej modifikovala a používá ho i na DC nabíjení.	   
	Úroveň 3 DC 50 kW (výhledově více než 500 kW) Obě strany, avšak na této úrovni je už většinou kabel pevnou součástí nabíječky, a tak konektor vidíme jen na straně EV.	Nissan Leaf Mitsubishi Outlander PHEV Citroën C-Zero Kia Soul EV Peugeot iOn	Původem japonský DC systém umožňující obousměrný tok velkých výkonů. EVs, které jsou jím vybaveny, zároveň mají i samostatný port Type 2, aby mohla být nabíjena z AC nabíječek.	 
CCS (Combined Charging System)	Úroveň 3 AC viz Type 2 DC 50-350 kW Obě strany u AC. Pro DC nabíjení je už většinou kabel pevnou součástí nabíječky, a tak konektor vidíme jen na straně EV.	Hyundai Kona BMW i3 Kia e-Niro Jaguar I-Pace Audi e-Tron Mini Electric Tesla Model 3	Jedná se o port Type 2 ¹³ rozšířený o dva piny umožňující DC nabíjení, čímž řeší nevýhodu dvou samostatných konektorů při použití CHAdeMO. Momentálně vypadá více perspektivně než právě CHAdeMO.	 

2.2.2.2 Schéma zapojení výkonové elektroniky

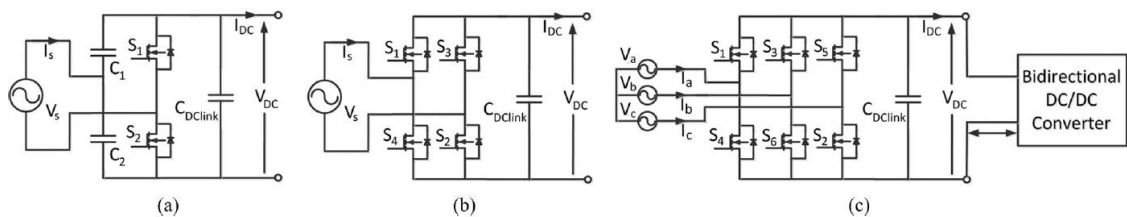
Co se schéma zapojení výkonové elektroniky týče, k dispozici je celá řada variant. Základem je spínaný měnič (boost converter) pro aktivní korekci účinnosti (PFC), kterému předchází usměrňovací můstek a EMI (electromagnetic interference) filtr. Díky PFC lze dosáhnout účinnosti

¹³ V Americe se místo Type 2 používá Type 1, který podrobněji nerozebírám, jelikož v EU není rozšířen.

až 0,99 a splnit tak přísné požadavky na kvalitu elektrické energie. Cílem je zmenšit velikost induktorů a kapacitorů, a tím snížit hmotnost a cenu zařízení. Po PFC obvodu následuje DC/DC měnič, který dále napájí obvody v EV [46].

Typ zapojení závisí na výkonové úrovni, pro kterou je EVSE navržen a dalších požadavcích, jako je možnost obousměrného toku energie. Pro Úroveň 1, kde se výkon pohybuje kolem jednotek kilowattů a řešení je ve verzi on-board, Lee et al. [46] navrhuje pro vstupní AC/DC měnič použít jednoduchý jednofázový diodový můstek a pro DC/DC měnič rezonanční PSFB můstek (resonant-type phase shift full-bridge). Diodový můstek ale neumožňuje zpětný tok do sítě, proto pro V2G aplikaci je zapotřebí jiné zapojení usměrňovače, jehož příklady zachycuje Obr. 3.

V obrázku varianta (a) sází na poloviční můstek (half-bridge), který je charakterizován sice nižšími náklady, ale více namáhá tranzistory. Varianta (b) má naopak plný můstek (full-bridge). Varianta (c) se hodí pro Úroveň 3, jelikož díky třífázovému napájení dovozuje napájet nejvyššími výkony.

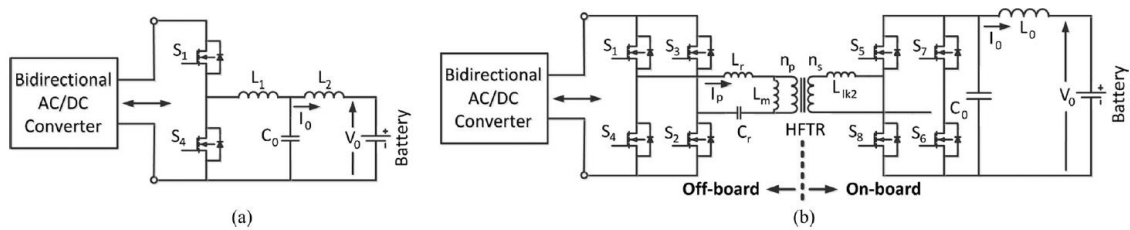


Obr. 3. Příklady AC/DC měničů umožňujících obousměrný tok energie¹⁴.

Výkonnější EVSE spoléhají na víceúrovňové měniče (multilevel converters), které umožňují mimo jiné nižší spínací frekvenci, menší namáhání součástek, nižší THD (Total Harmonic Distortion), lepší účinník a kompaktnější filtr. Vykoupeny jsou větším množstvím součástek a komplexnějším řízením [41].

Zatímco vstupní usměrňovač má na starosti korekci účinníku, DC/DC měnič reguluje proud napájecí baterii. Obr. 4 zobrazuje dvě řešení DC/DC měničů. Verze (a) (nonisolated bidirectional two-quadrant charger), která má sice jednodušší topologii a řízení, ale vyžaduje dvě objemné a nákladné cívky. Verze (b) (isolated bidirectional dual active bridge charger) nabízí rychlé řízení a možnost vyšších výkonů, je však vykoupena větším množstvím součástek [41].

¹⁴ Převzato z [41].



Obr. 4. Příklady DC/DC měničů umožňujících obousměrný tok energie¹⁵.

Všechna výše uvedená řešení předpokládala galvanické spojení mezi sítí a EV (conductive charging). Existuje však ještě druhá možnost, že EV je nabíjen elektromagnetickou indukcí (inductive charging). To je uživatelsky pohodlnější, jelikož řidič nemusí při nabíjení manipulovat s kabelem. Lze takto nabíjet stacionárně na parkovišti, ale také za jízdy, kde by existoval dedikovaný pruh pro EVs s nabíjecím mechanismem ukrytým ve vozovce. Nevýhodou je nižší účinnost, vysoká komplexita, s tím spojené náklady a v neposlední řadě elektromagnetická kompatibilita (EMC). Vzhledem k tomu, že současné komerčně dostupné modely využívají nabíjení přes kabel, nebudu se induktivním nabíjením dále zabývat.

2.2.3 Entity ve V2G

V případě implementace V2G se procesu zúčastní celá řada entit, mezi nimiž vznikají různorodé vazby. Noel et al. [13] rozlišují následující účastníky:

Vlastníci EVs, koncoví zákazníci. Skupina, pod kterou spadají jak jednotlivé soukromé osoby, tak společnosti operující s vlastní flotilou EVs. Tou mohou být osobní vozidla ve formě služebních aut, společnosti hromadné dopravy, rozvážkové a poštovní firmy, taxi služby atp. To, zda dojde k úspěchu či neúspěchu V2G největší mírou záleží právě na této skupině, zda bude ochotna svá vozidla konceptu poskytnout.

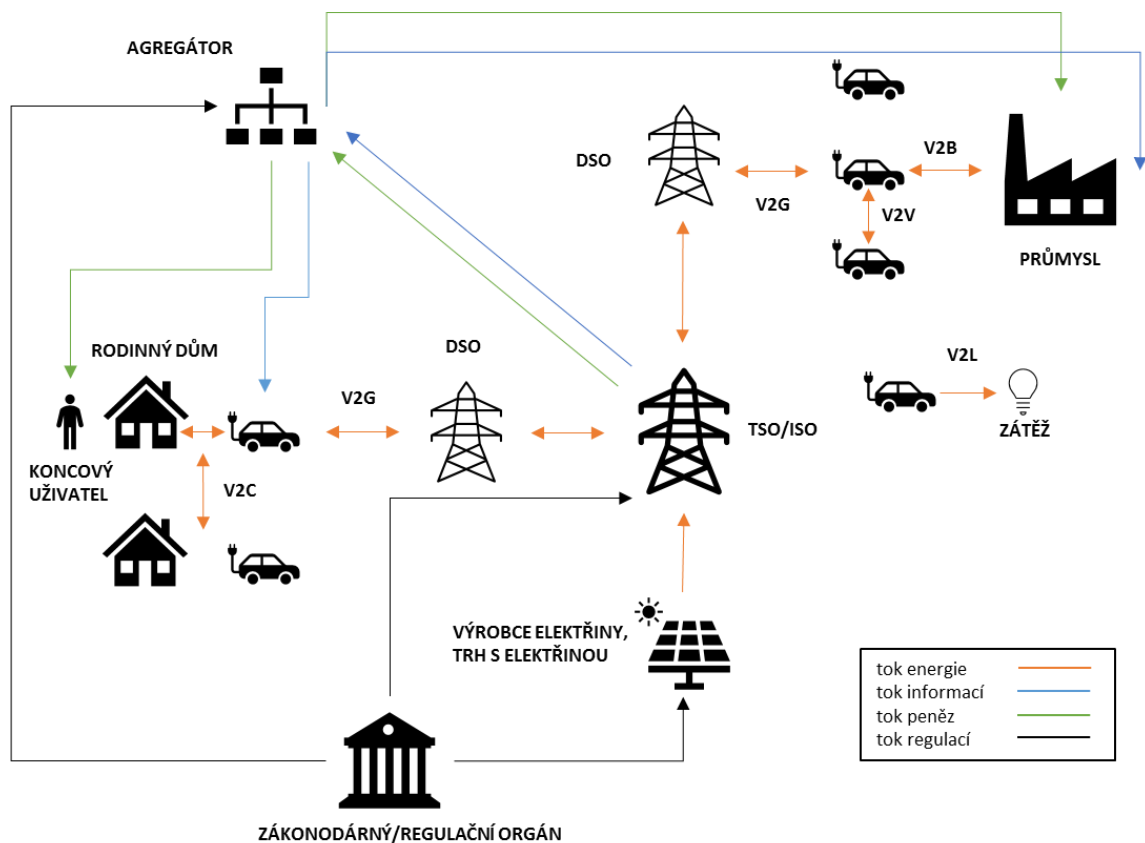
Agregátor. Entita, jejíž existence není teoreticky přímo vyžadována za předpokladu, že by koncoví vlastníci komunikovali přímo s operátorem elektrické sítě. Nicméně současná literatura i piloty na ni spoléhají. Funkcí agregátora je konsolidovat jednotlivé konečné uživatele do větší jednotky. Agregátor obdrží hlavní signál od operátora a následně vydá příkaz k vozidlům pod svou správou. Hlavním důvodem pro vznik této entity je fakt, že některé služby vyžadují minimální výkon, aby se trhu s elektřinou mohly zúčastnit. Kupříkladu u regulace frekvence je to 100 kW-jednotky MW v závislosti na trhu (v ČR minimální velikost regulační zálohy od jednoho bloku 3 MW). Dalším důvodem může být utilizace nejrůznějších algoritmů, které v závislosti na aktuálních potřebách budou řídit toky elektřiny v síti a mezi jednotlivými EVs. Agregátorem

¹⁵ Převzato z [41]

může být nová firma, ale stejně tak jeho funkci může převzít některá z již existujících entit, jako je operátor sítě.

Operátor sítě. Pod tímto pojmem si lze představit operátora distribuční soustavy (DSO), přenosové soustavy (TSO), nebo v anglosaském světě jinou nadřazenou entitu jako je ISO (Independent Service Operator). TSO/ISO figurují v žebříčku nejvýše a mají na starosti přenos energie na dlouhé vzdálenosti a balancování spotřeby s výrobou. Agregátor dostává signály právě od nich. Níže stojí DSO, který distribuuje elektřinu ke koncovým bodům spotřeby (EVs). Ačkoliv podpůrné služby se řeší na vyšší úrovni, EVs jsou připojeny právě do distribuční sítě, kterou má DSO na starosti.

Vláda a regulátor trhu s elektřinou. Ačkoliv přímo neparticipují na V2G, jsou to právě oni, kdo vydávají a upravují zákonná opatření, která vytvářejí prostředí, ve kterém má V2G fungovat. Dále mohou podporovat změny v politikách TSO a DSO nebo zasazovat se o větší podporu RES, které s V2G přímo i nepřímou souvisí.



Obr. 5. Schéma vztahů entit ve V2G včetně vysvětlení konceptu V2X.

Průmysl. Další nepřímý účastník, do kterého spadají jak výrobci EVs, tak EVSE. V současné době na trhu není mnoho modelů, které by obousměrné nabíjení umožňovaly, proto průmyslový vývoj a výroba V2G technologií je další z důležitých elementů úspěšné implementace. Důležitá je spolupráce a standardizace napříč odvětvím.

Výrobci a obchodníci s elektřinou. Účastníci trhu s elektřinou, kteří poskytují kromě vyrobené energie i systémové a podpůrné služby. Důležitá je právě kooperace s úložišti především v případě, že vyprodukovaná elektřina pochází z RES.

Ostatní. Do této skupiny můžeme zahrnout například nadnárodní normalizační orgány, které definují V2G standardy.

2.2.4 Strategie nabíjení EVs

S rostoucím podílem EVs v dopravě se bude muset aktivně upravovat ES a trh s elektřinou. Nárůst poptávky po elektřině způsobené EVs by šel řešit posílením prvků sítě a generace. To by ovšem vyžadovalo vysoké náklady. Zároveň nabíjení EVs sleduje určitý vzorec v diagramu denního zatížení a soustava by musela být dimenzována na vrcholy tohoto průběhu, zatímco většinu času by zůstávala nevyužita. Proto se preferuje snaha řídit časy nabíjení tak, aby se dosáhlo rovnoměrného rozprostření poptávky v čase, a tím snížily nároky na soustavu a emise. K tomu má sloužit série nabíjecích strategií, které se budou s rostoucím podílem EVs a RES vyvíjet.

Studie Evropské komise [2] dělí strategie nabíjení do následujících kategorií:

Immediate charging. Tato strategie neuvažuje žádné aktivní řízení a předpokládá, že EVs jsou nabíjeny ihned po příjezdu, ať už ráno do práce, či večer domů. Je vhodná jen pro nízký podíl EVs.

Time-of-use-based charging. Vlastníci EV jsou motivováni k posunu nabíjení pomocí tarifů, které se liší v průběhu dne, ale každý den se staticky opakují. Energie je v době odběrových špiček dražší než v čase odběrových minim. Strategie zahrnuje cenové a kontrolní signály, které jsou vysílány jednosměrnou komunikací směrem k vozidlu.

Real-time-pricing-based charging. Smyslem této strategie je časově sjednotit výrobu RES a nabíjení EVs. Toho lze dosáhnout dynamickými vnitrodenními trhy s elektřinou, které v době nadprodukce RES sníží cenu energie a motivují vlastníky EV k nabíjení.

V2G. Jedná se o nejsložitější úroveň nabíjení vyžadující obousměrnou komunikaci.

2.3 Optimalizace V2G, řídicí algoritmy

K optimalizaci V2G má sloužit řídicí algoritmus, který musí vyhodnotit velké množství často nelineárních jevů, proměnných a podmínek tak, aby systém fungoval co nejlépe. Služby, které má V2G zaopatřit spolu s podmínkami shrnuje následující tabulka. Ta ukazuje i příklady optimalizačních technik, z nichž nejvhodnější pro V2G se jeví Genetic algorithm a Particle swarm optimization [3]. Genetic algorithm je iterační metoda, která hledá optimální řešení v časovém limitu, zatímco Particle swarm optimization je paměťový výpočetní algoritmus, který hledá optimální globální řešení mezi náhodnými řešeními. Druhý jmenovaný má výhodu v rychlosti a nevyžaduje tolik paměti.

Tab. 4. Shrnutí služeb a omezujících podmínek pro řízení V2G¹⁶.

	Služba	Předmět optimalizace	Omezující podmínky		Optimalizační algoritmus
			ES	EV	
V1G	-regulace napětí -regulace výkonu -točivá rezerva -posun zátěže (load shifting) -regulace frekvence	-minimalizovat ztráty -maximalizovat zisk -minimalizovat provozní náklady -minimalizovat emise	-úroveň napětí -velikost výroby -tepelné omezení vodičů	-výkonové omezení baterie -SOC -kapacita baterie -dostupnost EVs -cena energie	-Genetic algorithm -Convex optimization -Linear programming
V2G	-reakce na poptávku (Demand Response) -posun zátěže -vyrovnávání zátěže (load levelling) -ořezávání odběrových špiček (load peak shifting) -zlepšení spolehlivosti sítě -regulace napětí -regulace výkonu -ostrovní provoz -start ze tmy	-minimalizovat ztráty -maximalizovat zisk -minimalizovat provozní náklady -minimalizovat emise -maximalizovat využití RES -minimalizovat odchylku skutečné a cílové zátěžové křivky	-úroveň napětí -velikost výroby -tepelné omezení vodičů -výkonová rovnováha -předpověď spotřeby -maximální dodávka energie	-výkonové omezení baterie -SOC -kapacita baterie -dostupnost EVs -cena energie -účinnost	-Particle swarm optimization -Genetic algorithm -Linear programming -Quadratic programming -Ant colony optimization

¹⁶ Vytvořeno s využitím [3].

3 Podpůrné služby

Provozovatel přenosové soustavy (v ČR společnost ČEPS, a.s.) je dle Kodexu přenosové soustavy povinen udržovat elektrizační soustavě žádanou kvalitu dodávky elektrické energie. Základním pravidlem je neustále dodržovat rovnost výroby a spotřeby elektřiny. Nerovnováha obou stran rovnice se projeví změnami frekvence a napětí, a proto se ČEPS snaží udržet zmíněné veličiny na definované nominální hladině s využitím tzv. podpůrných služeb (PpS). Jelikož ČEPS má zákonem zakázáno vlastnit energetické zdroje, musí si příslušný regulační výkon zajistit u provozovatelů energetických zařízení.

Kodex přenosové soustavy zabývající se PpS [47] rozděluje PpS následovně:

1. Služby výkonové rovnováhy:
 - Primární regulace frekvence
 - Sekundární regulace frekvence
 - Minutová záloha
 - Snížení výkonu

Zajištění služeb výkonové rovnováhy probíhá na tržních principech za předpokladu, že zájemci splňují technické požadavky. Služby z první kategorie lze obchodovat formou výběrového řízení na dobu až 3 let a odchylky od predikovaných hodnot kompenzovat na denním trhu. Cena je stanovena kombinací pohotového výkonu v MW a poskytnuté energie v Kč/MWh.

2. Ostatní podpůrné služby:
 - Sekundární regulace napětí a jalových výkonů
 - Schopnost ostrovního provozu
 - Schopnost startu ze tmy

Ostatní podpůrné služby se kontrahují napřímo. Cena se odvíjí pro každý blok za časovou jednotku poskytnutí služby. U sekundární regulace U/Q do výpočtu ještě vstupuje počet MVar smlouveného regulačního rozsahu.

3.1 Vliv jednotlivých PpS na degradaci baterie

Vzhledem k unikátní charakteristice baterie, která kombinuje vlastnosti zátěže a zdroje, lze s její pomocí pokrýt v podstatě celou škálu podpůrných služeb. Rozhodujícím faktorem je zde ale vliv konkrétní služby na degradaci článků.

Ačkoliv Li-ion baterie, EVs a obzvláště V2G nejsou na světě tak dlouho, abychom opravdu detailně rozuměli jejich chování, lze obecně říci následující: udržování baterií na vysokém SOC a hluboké cyklování (DOD) vedou k akceleraci stárnutí článků, přičemž jev je značně nelineární, kdy opakování např. 9 cyklů s DOD 10 % způsobí výrazně menší škody na článku ve srovnání s 1 cyklem o DOD 90 %, i když je celková vyměněná energie stejná. Zrychlení procesu stárnutí způsobí i vyšší C_{rate} .

Práci na téma vlivu V2G na degradaci baterie vznikla celá řada se značným rozptylem výsledků, od téměř zanedbatelného vlivu až po nutnou výměnu baterie několikrát za dobu životnosti EV. Vysokou míru diskrepance mezi závěry lze však primárně přičíst podstoupení EV rozdílným službám.

Peterson et al. [48] nasimulovali jízdní návyky průměrného Američana, který denně urazil svým EV celkem 29 km. Sledované období simulovalo téměř 7 let provozu. Z analýzy vyplývá, že vyšší DOD sice vede k výraznější degradaci baterie (ztráta kapacity na konci simulovaného období cca 4,5 % u DOD 35 % vs. 6,5 % u DOD 73 %), ale efekt je poměrně omezený. Větší vliv naopak měl C_{rate} , kdy vyšší hodnoty vedly k rychlejšímu opotřebení. Autoři došli k závěru, že V2G způsobuje přibližně poloviční škody na baterii na přenesenou Wh oproti jízdě, která obsahuje mnoho odběrových špiček při zrychlování.

Hlavním degradačním faktorem je podle Bishop et al. [49] celková vyměněná energie za dobu životnosti. Dle Zhao et al. [50] je dopad V2G na baterii minimální, pokud dochází k cyklování s nízkým DOD kolem optimálního SOC, což de facto odpovídá primární regulaci.

Lunz et al. [51] dokonce došli k názoru, že V2G ve výsledku zpomaluje degradační procesy, protože při nekoordinovaném nabíjení EV stráví velkou část času plně nabit, zatímco s V2G je průměrné SOC výrazně níže.

Prodloužení životnosti by šlo potenciálně dosáhnout volbou větší baterie díky nižšímu DOD, ale za cenu vyšší investice. Navíc dvě třetiny signálů ze sítě jsou o dobíjení, a ne o posílání energie zpět do sítě [52], takže více vybitá baterie po dokončení denní trasy může generovat vyšší výnosy.

Snahou tedy je najít takový druh podpůrné služby, který přinese vlastníkovu EV co největší výnosy za současně co nejmenší opotřebením baterie. Tuto podmínku splňují služby nevyžadující velké toky energie, tedy např. točivá rezerva, reakce na poptávku (Demand Response), korekce U/Q a hlavně primární regulace frekvence. Jako nevhodné se naopak jeví energetická arbitráž či terciární regulace.

4 PESTEL analýza V2G

Tato sekce si klade za cíl kvalitativně posoudit přínosy a výzvy spojené s implementací V2G formou analytického nástroje zvaného PESTEL analýza. Za každým písmenem akronymu se skrývá jedna ze šesti sledovaných oblastí, přičemž tabulka pro každou položku přiřazuje, jakých faktorů se týká. Význam písmen je následující: P – politické, E/€ - ekonomické, S – sociální/společenské, T - technologické, E - environmentální/ekologické a L - legislativní. Pokladem pro analýzu byla kombinace vlastních postřehů a konsolidace dat z referencí uvedených na konci práce.

Tab. 5. PESTEL analýza, přínosy.

Přínosy							Poznámka/Řešení
Popis	P	€	S	T	E	L	
V2G pomáhá řešit intermitenci a implementaci RES				✓	✓		P: výroba z RES je těžko říditelná a předvídatelná, proto je nutné energii ukládat; jediným současným velkokapacitním úložištěm jsou přečerpávací elektrárny zatížené velkou iniciální investicí a dopadem na životní prostředí, navíc se nedají stavět všude
V2G zlepšuje parametry ES a výkonovou rovnováhu				✓			P: V2G je schopen poskytovat celou řadu podpůrných služeb od primární regulace frekvence přes řízení napěťové hladiny až po fázový posun proudu řízením výkonové elektroniky, a s tím spojené řízení jalového výkonu a účinníku
V2G zlepšuje bezpečnost a stabilitu ES				✓			P: zajištění ostrovního režimu, startu ze tmy...
nedochází k ořezávání nadprodukce RES		✓			✓		P: v době, kdy výroba RES převyšuje spotřebu v ES, může vyprodukovaná energie sloužit k dobíjení EVs a nemusí tak docházet k nucenému snižování generace
během špiček nemusí startovat drahé fosilní zdroje		✓			✓		P: v současném systému se pro krytí odběrových špiček používají většinou drahé plynové elektrárny, V2G by jejich utilizaci mohl částečně snížit
zlevnění podpůrných služeb		✓					P: díky začlenění dalšího poskytovatele se dá očekávat další zlevnění podpůrných služeb zvláště, pokud se V2G rozšíří i mezi soukromé uživatele
přidaná hodnota EV		✓	✓		✓		P: příjmy z V2G mohou vykompenzovat vysokou investici do EV a ztraktivnit jeho pořízení

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
rostoucí podíl EVs snižuje cenu a zvyšuje potenciál V2G	✓	✓	✓	✓	✓		P: s rostoucím podílem EVs na trhu lze očekávat pokles cen díky zefektivnění procesů, vývoji technologie a úsporám z masové výroby; tím se zároveň zvýší rentabilita a potenciál V2G jako takového i technologií s ním spojených
realizace pilotních projektů	✓		✓	✓			P: díky pilotům se může teorie přetavit v praxi a odladit tak koncept před komerčním nasazením
rychlá odezva				✓			P: tradiční zdroje mají odezvu v řádu minut, baterie v řádu sekund
vysoká dostupnost (EV většinu času stojí)				✓			P: průměrné osobní auto stojí 95 % času
V2G zahrnuje chytré řízení, které na rozdíl od současného stavu může zplošťovat odběrovou křivku (reakce na poptávku)		✓		✓			P: inteligentním řízením založeným na cenových tarifech lze posouvat dobu nabíjení v čase a redukovat tak odběrové špičky, které by jinak vznikly nekoordinovaným nabíjením
nižší emise vedou ke zlepšení lidského zdraví		✓	✓		✓		P: ICE produkují CO ₂ , karcinogenní mikročástice, oxidy síry a dusíku, ozon, těžké kovy atd.
omezení závislosti na dovozu fosilních zdrojů	✓						P: ložiska fosilních paliv (převážně ropa a zemní plyn) jsou často situovány v politicky nestabilních oblastech a během konfliktů mohou značně zkomplikovat chod státu
částečně řeší omezenost fosilních paliv	✓			✓	✓		P: v budoucnu nastane bod, kdy se těžba fosilních zdrojů stane neekonomickou a lidstvo bude odkázáno na některou z okamžitých forem energie pocházejících ze Slunce
proliferace EVs vede ke snížení hluku			✓				P: elektromotor má výrazně tišší provoz než ICE, což povede ke snížení hlukového smogu hlavně ve městech
možné využití EV jako zdroje elektřiny (V2X)			✓	✓			P: EV lze použít jako zdroj napájení prakticky pro jakýkoliv spotřebič tam, kde chybí přístup k elektřině
možné využití EV jako záskokového zdroje místo UPS/diesel agregátů		✓	✓	✓			P: některé provozny vyžadují 100 % odolnost proti výpadkům elektřiny (armáda, nemocnice, servery)
koordinované nabíjení výrazně snižuje výši investice do posílení prvků ES		✓		✓			P: při velkém podílu EVs v dopravě by nekoordinované nabíjení vedlo k přetěžování a bylo by nutné značné posílení všech prvků ES (vedení, transformátory, přípojnice, ochrany...); některá z forem V2G tuto investici dokáže podstatně snížit

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
koordinované nabíjení vede k nižšímu přetěžování komponent		✓		✓			P: dlouhodobé tepelné namáhání vede často i k několikanásobnému zkrácení životnosti komponent, jako jsou transformátory, z důvodu degradace izolace
V2G patří mezi DER ¹⁷		✓	✓	✓	✓		P: RES a V2G se řadí mezi DER, u kterých se očekává, že v budoucnu do značné míry nahradí centralizovanou generaci
urychlení vývoje baterií		✓		✓			P: díky další aplikaci může dojít ke zrychlení vývoje technologie baterií

Tab. 6. PESTEL analýza, výzvy.

Výzvy							
Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
chybějící infrastruktura vhodných nabíječek		✓		✓			P: v současnosti je nedostatečná síť EVSE považována za jeden z hlavních faktorů zpomalujících proliferaci EVs; Ř: vývoj zlevňující technologii, EVs vybavit systémem zobrazující nejbližší nabíječky, větší finanční a legislativní zvýhodnění EV, zjednodušit povolovací proces atd.
nedostatečně dimenzovaná síť (obecně kvůli EVs)		✓		✓			P: očekává se, že v roce 2050 EVs zvýší celkovou spotřebu elektřiny v EU o 10 % (viz Úvod), na což v současné době není ES dimenzována; Ř: chytré koordinované nabíjení
chybějící entity (agregátor) a procesy pro řízení		✓		✓		✓	P: jeden EV je moc drobný účastník, aby se mohl zapojit do trhu s podpůrnými službami; proto se plánuje vznik nové entity agregující větší množství EVs; stejně tak chybí zavedené procesy a algoritmy pro efektivní správu; Ř: teoretická komerční a akademická příprava následně odladěná v pilotních programech
potřebná změna trhu s energiemi		✓				✓	P: dnes není trh s elektřinou vybaven na implementaci V2G, chybí potřebné procesy a finanční nástroje; Ř: žádané změny se musí pojmenovat a předložit příslušným úřadům k zavedení
chybějící komunikační infrastruktura		✓		✓			P: současný stav komunikace (HDO) absolutně nespĺňuje nároky kladené technologií V2G; Ř: celý koncept Smart grid (SG) a smart meteringu vyžadují zavedení komunikačního kanálu s potřebnými parametry až ke konečnému spotřebiteli ¹⁸ ; V2G tak je jen další z aplikací; v současnosti se pro last-mile komunikaci jeví nejvhodnější některé z PLC/IoT technologií

¹⁷ Distributed Energy Resources

¹⁸ Viz má bakalářská práce na téma *Analýza a výběr komunikačních technologií pro Smart grid*

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
neznámý dopad na baterii		✓	✓	✓	✓		P+Ř: viz <i>Vliv jednotlivých PpS na degradaci baterie a Volba PpS s ohledem na degradaci baterie</i>
omezené zastoupení EV mezi vozidly	✓		✓	✓	✓		P: v ČR jen 0,05 % vozů jsou EVs (viz <i>Podíl EVs ve vozovém parku ČR</i>); Ř: státní a unijní podpora, zlevnění technologie vývojem a masovou výrobou, lepší informovanost, výstavba nabíjecí infrastruktury atd.
omezený počet V2G schopných EVs				✓			P: v dnešní době většina EVs a EVSE není konstruována na V2G; Ř: vytvoření prostředí, ve kterém bude V2G pro koncové uživatele zajímavý a vytvoří se po něm poptávka následně stimulující nabídku výrobců
chybějící legislativa						✓	P: současná legislativa neumožňuje rentabilní provoz V2G; Ř: V2G je součástí SG, ke kterému už legislativa vzniká; usnadnění nástupu SG proto povede k snazší implementaci V2G
složitě řízení kvůli více aktivním prvkům v síti, obousměrnému toku energie a komunikaci				✓			P: zatímco historicky byl tok energie jednosměrný od centrální výroby ke koncovým konzumentům, SG tento status quo zásadně mění; Ř: simultánní vývoj technologií, algoritmů řízení a procesů
neochota uživatelů se připojit k EVSE, kdykoliv zaparkují			✓				P: pokud řidič absolvuje jen krátkou jízdu, která nevyžaduje neprodlené dobíjení EV, ztrácí motivaci vytažovat nabíjecí přípojku a zapojovat ji do sítě; Ř: dostatečnou atraktivitou V2G (sociální i finanční) změnit návyky uživatelů
neochota uživatelů investovat do dražšího EVSE		✓	✓				P: investice do obecně dražšího EV je dále zatížena koupí EVSE (např. wall-boxu); EVSE umožňující V2G tuto investici ještě zvyšuje; Ř: dostatečně finančně atraktivní V2G, aby se tato další investice vyplatila
chybějící snaha politiků prosazovat a zvýhodňovat RES	✓						P: vlivem lobby finančně zainteresovaných osob do tepelných elektráren, špatné informovanosti a neochotě měnit zavedené pořádky ČR nesplňuje cíle EU pro RES; Ř: medializovat potřebu k energetické změně, vyzdvihovat problémy způsobené změnou klimatu, volit strany s volebním programem založeným na ekologii
dvojitý zdanění						✓	P: při současné legislativě prvek v ES energii buď vyrábí, nebo spotřebovává, čímž vzniká problém u baterie se zdaněním obou směrů toků; Ř: zdanit pouze část energie určenou pro jízdu
obecná skepse vůči EVs	✓	✓	✓	✓			P: drahé, krátký dojezd, pomalé nabíjení, nižší flexibilita, nutnost plánovat atd.; Ř: řešit problémy jednotlivě (zlevněním a zlepšením technologie, zahuštěním systému dobíjecích stanic, lepší informovaností, změnou návyků atd.)

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
chybějící business model		✓					P: v současnosti chybí detailní popis participujících entit a kdo komu kolik platí; Ř: teoretická příprava později aplikovatelná během pilotů
minimální velikost účastníka na trhu						✓	P: v závislosti na trhu je stanoven minimální výkon připojené jednotky (v ČR: 3 MW ¹⁹ ; ve světě: 100 kW-jednotky MW), Ř: agregátor, změna legislativy
nutnost uživatelů plánovat své jízdy kvůli V2G			✓				P: v zájmu agregátora je, aby přesně věděl, kdy jaký EV bude k dispozici, což se přeneso i na koncového uživatele; Ř: vytvořit takový model, který bude empiricky predikovat dostupnost EVs pro účely služby; penalizace za porušení nejsou žádoucí, protože odradí uživatele od zapojení se do konceptu
v plánování dostupné kapacity velká míra nejistoty pro agregátora				✓			P: pokud se koncový uživatel smluvně nezaváže v dané časy zaparkovat EV pro účely V2G, tak vzniká pro agregátora nejistota při plánování; Ř: využívat empirická data a primárně se zaměřovat na zákazníky, kteří mají stabilní plán jízd (popeláři, hromadná doprava, rozvážkové služby atp.)
operátor musí zajistit, že EV je plně připraven k jízdě v dohodnutý čas				✓			P: při využívání EV pro podpůrné služby musí být přidána podmínka, že ve stanovený čas je EV nabit na smluvené SOC; Ř: do řídicího algoritmu přidat tuto omezující podmínku
v současnosti dodavatelé baterií většinou nevztahují záruku na V2G		✓		✓			P: vzhledem k tomu, že V2G způsobuje přídavné cyklování baterie, nevztahují dodavatelé baterií záruku i na tyto služby, jelikož baterie je primárně určena a navržena k jízdě (s výjimkami u EVs, které jsou na V2G vybaveny jako např. Nissan Leaf); Ř: ztraktivnit V2G natolik, aby se automobilový průmysl začal otázkou V2G zabývat a dodával EVs vybavené i pro tyto účely
obousměrný tok energie zvyšuje ztráty		✓		✓			P: nabíjení i vybíjení způsobují ztráty v EVSE a přípojných vodičích, jejichž velikost značně závisí na zatížení EVSE; Ř: zvýšení účinnosti prvků, větší průřez vodičů, optimalizace pracovního bodu
chybějící standardizace V2G				✓		✓	P: v současnosti chybí standardizace prvků V2G, která může vést k vzájemně nekompatibilním elementům; Ř: podpora mezinárodních standardizačních orgánů za participace vědy i průmyslu, které zavedou jednotné standardy, podle kterých se systém bude navrhovat

¹⁹ Změna podmínek je již na cestě, viz *Legislativa*.

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
už operující EVs a EVSE nemohou být použity pro V2G		✓		✓			P: většina již prodaných a využívaných EVs a EVSE není pro V2G hardwarově a softwarově vybavena; Ř: představit řešení, které stávající zařízení upraví tak, aby se V2G mohlo zúčastnit; vyvíjet a implementovat jen EVs/EVSE s funkcí V2G
sběr dat o EVs může být zneužit hackery/zloději		✓	✓	✓		✓	P: proniknutí hackerů do systému může vést k ohrožení provozu ES, případně k vysledování, kde se majitelé EVs právě nacházejí; Ř: kvalitně zajištěná kybernetická bezpečnost
neochota automotive sektoru a jeho lobby podílet se na EVs/V2G	✓	✓					P: v ČR velká část průmyslu navázána na automotive, kde v minulosti proběhly velké investice do technologií spoléhajících na ICE; přechod k EVs by tyto investice zmařil; Ř: státní a unijní podpora ekologických opatření, restriktivní vyhlášky a zákony omezující výrobu vozidel s ICE
investiční dotace mohou vést k pořízení druhého auta, které není nutně potřeba		✓	✓				P: kvůli utilizaci pak budou majitelé jezdit EVs i tam, kam by dřív cestovali jiným způsobem (kolo, pěšky, městská doprava atp.); Ř: toto je bohužel postranní negativní efekt investičních dotací
nevyspělá technologie				✓			P: V2G si zasloužilo velkou pozornost ze strany různých akademických analýz a článků, ale reálná aplikace mimo pilotní projekty zatím chybí; Ř: odladění technologií a procesů na pilotních projektech
vysoké investiční a provozní náklady smart meteringu		✓					P: ze začátku se nemusí jednat o velký problém, kdy uživatelé jsou komerční vozové flotily sdílející jeden smart meter; problém ale může nastat při implementaci V2G na úrovni soukromých osob; Ř: domluvit se s distributory, zda bude možné použít menší smart metery obsažené v jednotlivých zařízeních pro účely fakturace
nedostatečně vyvinutý systém cenových tarifů		✓				✓	P: v současné době existuje de facto jen časové rozdělení na vysoký a nízký tarif; Ř: pro správnou funkci V2G je nutné zavést dynamické tarify, které budou reflektovat aktuální stav na trhu s energiemi značně ovlivněném RES
jedná se o vyčerpatelný zdroj				✓			P: dokáže jen energii skladovat, ne ji vyrábět; nelze tento zdroj tedy používat pro dlouhodobé velké odchylky od jmen. frekv.; Ř: nutné stanovit rozmezí regulace a období na obnovení
nízká účinnost provozu při malém zatížení EVSE		✓		✓			P: EVSE dosahuje nejvyšší účinnosti kolem jmenovitého výkonu; Ř: zvýšení účinnosti prvků, optimalizace pracovního bodu

Popis	P	€	S	T	E	L	Poznámka/Řešení
asymetrické rozdělení kolem jmen. frekv.				✓			P: při dostatečně velkém časovém rozpětí je frekvence Gaussovsky rozdělena kolem 50 Hz, při zkrácení časového rozmezí však může převažovat jedna strana (vybíjení/nabíjení); z tohoto důvodu agregátor musí respektovat limity SOC dané baterie a nemůže využít její plný potenciál po 100 % času; Ř: používat historická data pro predikci, kdy daná situace typicky nastává, před nastáním tohoto stavu uvést baterii do vhodného pracovního bodu
EVs/EVSE pod jedním agregátorem nebudou stejného typu				✓			P: už nyní je na trhu relativně velké množství různých typů EVs/EVSE s různými konektory atp; Ř: standardizace
výkonová elektronika/komunikační prvky mohou být umístěny jak v EV tak v EVSE v závislosti na místě připojení				✓			P: výzva pro agregátora; Ř: standardizace
EVs se budou připojovat na několika místech				✓			P: výzva pro agregátora; Ř: zavedení takového systému, který rozpozná připojený EV podle unikátního identifikačního kódu; využití empirických průměrných dat
škálovatelnost V2G				✓			P: výzva pro agregátora jak uchopit rostoucí počet uživatelů Ř: připravit whitelist povolených typů
rebound-effect			✓		✓		P: zefektivnění a zlevnění provozu má za sekundární následek častější jízdu autem a výsledné zvýšení spotřeby paliva a emisí; Ř: jedná se bohužel o známý jev pozorovatelný napříč všemi odvětvími
ekologie se odvíjí od energetického mixu ES					✓		P: pokud ve výrobě elektřiny převažují fosilní zdroje, pak EVs mohou mít větší uhlíkovou stopu než vozy s ICE; Ř: zvýšit podíl RES
zvýšení cen vstupních surovin na výrobu baterií snižuje rentabilitu V2G		✓					P: Li-ion baterie obsahují relativně velké množství vzácných kovů; ty, pokud zdraží, promítne se toto zvýšení i do cen baterií; Ř: svědomitá recyklace, technologický vývoj
levné fosilní zdroje		✓					P: nízké ceny ropy snižují atraktivitu EVs; Ř: emisní limity, zvýšené daně na fosilní paliva
podmínky při těžbě vstupních surovin			✓		✓		P: doly, kde se těží vstupní suroviny jako např. kobalt, se nacházejí ve státech, kde není výjimkou dětská práce, nehumánní a život ohrožující podmínky, neekologické metody těžby; Ř: důsledně kontrolovat, kde a za jakých podmínek se suroviny těží
jiná technologie se ukáže jako více perspektivní	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P: některé automobilky a vědci vidí budoucnost spíše ve vodíku, což pokud se potvrdí, tak EVs a V2G skončí nezdarem; Ř: -

Na první pohled lze zaznamenat, že výzev jsem identifikoval podstatně více než přínosů (v konkrétních číslech 22 vs. 43, tedy téměř dvojnásobek). Nejedná se o nic překvapivého, jelikož téměř každá nová technologie, která se snaží vyřešit nějaký problém, naráží na množství překážek. Tento jev zde ještě umocňuje komplexita, a hlavně objem zásahu, ať už vyjádřen počtem lidí či množstvím peněz.

Problémy, které si V2G klade za cíl řešit, jsou ale natolik zásadní, že není možné se jich zbavit jednoduchými postupy a opatřeními.

Kvantifikovat, která ze sledovaných 6 oblastí si zaslouhuje největší pozornost, je obtížné, přesto se pokusím tuto otázku částečně zodpovědět.

Začnu z mého pohledu těmi nejsnáze uchopitelnými, které spolu zároveň úzce souvisejí, a to politickými a legislativními faktory. Legislativa nedokáže předvídat budoucnost, a proto stanovuje podmínky pro již existující technologie. Pokud se V2G ukáže jako dostatečně perspektivní, dojde k potřebným úpravám. Podstatné je vyvarovat se dvojího zdanění, vytvořit fungující strukturu entit a jejich vztahů a řádně technologii zestandardizovat.

Co žádané změny může zbrzdit, jsou politici legislativu navrhující a schvalující. Každý jedinec a strana má své vlastní postoje, často do značné míry ovlivněné lobby na pozadí. To například můžeme vidět na situaci s fotovoltaickými elektrárnami (a RES obecně), kdy před 10 lety ČR patřila mezi unijní premianty, ale následkem počátečních přešlapů s výší státní podpory, došlo k razantnímu odklonu od RES, což nyní staví ČR naopak do role opozdilce v dekarbonizaci. Cestou ven je volba takových zástupců, kteří budou RES podporovat, a ne je veřejně odsuzovat a blokovat.

Na politiku logicky navazují sociální faktory, protože politici do značné míry reflektují názory společnosti. Jako zásadní zde vidím podporu současné image elektromobility jako módního produktu, čímž majitel dává najevo svou snahu chránit životní prostředí. Podobnou společenskou nálepkou lze opatřit i V2G. Důležitá je však řádná informovanost i o čistě racionálních důvodech pro koupi, jako jsou nižší provozní náklady či dodatečné výnosy, a zároveň vyvracející přehnané obavy z opotřebení akumulátoru. Produkt se svými procesy musí být nastaven tak, aby pro uživatele byl co nejméně omezující. Lze také očekávat, že k širší proliferaci dojde až po dostatečném poklesu vstupní investice.

Co se týče environmentálního dopadu, tak elektromobilita a V2G vznikají právě jako reakce na potřebu chránit životní prostředí, proto v této kategorii nalezneme více přínosů než výzev. Za

ekologicky i společensky problematické je ovšem považována těžba vstupních surovin v zemích třetího světa či konečná recyklace baterií.

Aby V2G našel širší uplatnění, musí se ekonomicky vyplatit. Počáteční státní a unijní podpora pro překonání „porodních bolestí“ je žádoucí, nicméně koncept musí být co nejdříve životaschopný na tržních principech, jinak skončí nezdarem. Dnes si opatřují EVs převážně bohatší vrstvy, které mají prostředky pro nákup vozu, jenž je typicky dvakrát dražší než auto s ICE. I když by hůře zaopatření občané EV ocenili pro nižší provozní náklady, nejsou schopni nashromáždit dostatečnou sumu pro pořízení nového vozu. Koupě ojetého EV je komplikovanější, ať už z důvodu většího rizika (neznámého stavu baterie) tak řádově menšího výběru v autobazarech.

Posledním sledovaným okruhem je technologické hledisko, které se ze všech šesti sledovaných kategorií týkalo nejvíce položek. V2G má potenciál zlepšit parametry ES a usnadnit implementaci RES. Jedná se ovšem o nesmírně komplexní systém narážející na celou řadu technických překážek, z nichž pravděpodobně žádný není tak omílaný jako degradace baterie. To, zda se jedná o opodstatněnou obavu, ukáže až čas při využití V2G k různým PpS. Velká část bodů také naráží na vysoké kapitálové investice, jež proces významně zpomalují. Mluvím zde kupříkladu o chybějící infrastruktuře nabíjecích stanic a komunikační sítě. Většina problémů, jako je například špatná předvídatelnost chování řidičů, je ale dle mého názoru řešitelná vývojem odladěných technologií, procesů a algoritmů.

5 Identifikace koncových uživatelů

Pro účely této práce rozdělím koncové uživatele, tedy řidiče, na dvě hlavní kategorie: na osoby užívající EV k soukromým účelům a na komerční/státní uživatele. V následující sekci identifikuji jejich charakteristiky a posoudím vhodnost těchto vzorců chování pro účely V2G.

5.1 Privátní uživatelé

Touto kategorií rozumím privátně vlastněná a užívaná vozidla, které řidiči používají pro své soukromé potřeby, jako je každodenní jízda do práce nebo na nákup, volnočasové aktivity atp.

Pro objektivní popis chování typického zástupce zde vycházím ze studie Paffumi et al. [53], která se svými kolegy zkonsolidovala data statistických orgánů napříč Evropou s cílem kvantifikovat jízdny návyky evropských řidičů. Dle této práce průměrný soukromý řidič denně najede něco mezi 30-55 km poskládaných z 2-8 cest. To je velký nepoměr oproti USA, kde je denní nájezd až dvojnásobný. V závislosti na oblasti je více než 75 % denních nájezdů kratších než 100 km a kolem 60 % kratších než 50 km. Trasy převyšující 150 km se vyskytují jen v jednotkách procent dnů v roce.

Průměrná rychlost se v závislosti na regionu silně liší (jízda ve městě vs. po dálnicích/okresních silnicích), ale obecně lze po ořezání krajních hodnot říci, že se pohybuje mezi 30-55 km/h.

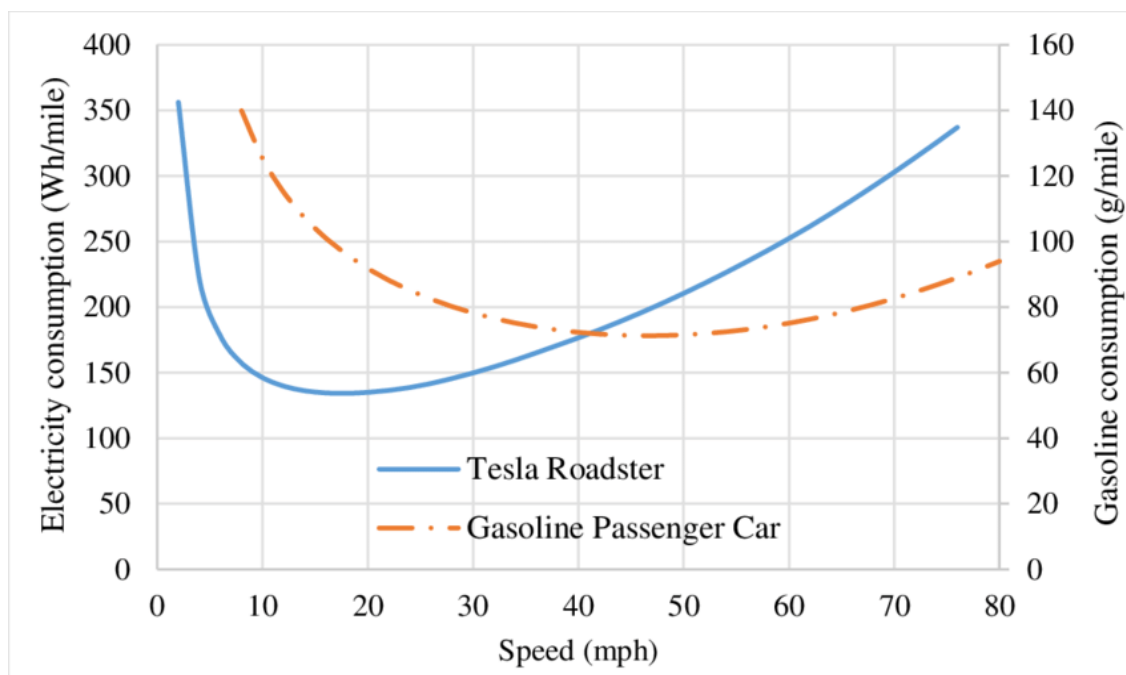
Během pracovních dnů se dopravní špičky vyskytují ráno (kolem 7:30) a navečer (kolem 18:30). Víkendové křivky ukazují špičky kolem 12. a 19. hodiny, zatímco mezi 1. a 5. hodinou stojí 99 % vozidel. Zaparkováno je průměrně kolem 95 % aut s tím, že toto procento neklesá pod 90 % (v Bruselu pod 98 %).

5.1.1 Zúžení analyzované skupiny privátních uživatelů

Z výše uvedených dat lze jasně vyčíst, že soukromě vlastněné vozidlo většinu času stojí zaparkováno. Charakter jízdy, vyjádřený uraženou vzdáleností a průměrnou rychlostí, silně závisí na místě bydliště vlastníka. Diametrálně odlišná čísla dostaneme u jedince, který denně dojíždí do práce 100 km po dálnici a u člověka, jenž se pohybuje v rámci městské zástavby.

Než se přesuneme k rozboru vhodnosti těchto jízdnych návyků pro účely V2G, je nutné identifikovat, pro jaký typ jízdy se EV hodí nejvíce. Lze totiž dedukovat, že potenciální kupec bude za svoji primární motivaci pro koupi EV považovat smysluplnost EV pro svoji hlavní funkci, tedy jízdu a V2G mu jen poslouží jako další argument pro pořízení.

Závislost spotřeby energie na rychlosti pohybu znázorňuje graf níže (Obr. 6), jenž srovnává účinnost EV a tradičního vozidla s ICE. Zatímco EV dosahuje maximální účinnosti kolem 30 km/h, u vozu s ICE je to při mnohem vyšších rychlostech (zde přibližně 75 km/h).



Obr. 6. Srovnání závislosti spotřeby energie EV a vozu s ICE²⁰.

Dále platí, že degradace baterie je silně urychlena s rostoucím DOD (viz Obr. 9). Průměrně kratší jízdy s častější možností dobít EV tedy budou mít pozitivní impakt na životnost baterie.

EV také přinášejí výhodu rekuperace během brzdění, kde EV vrátí část kinetické energie do baterie, zatímco u vozidla s ICE je celá tato pohybová energie nenávratně přeměněna v teplo. Nutné je i dodat, že rekuperace značně zpomaluje opotřebování brzdových destiček.

Po zastavení na křižovatce či v koloně musí ICE běžet na volnoběh, kdy vozidlo má teoreticky nekonečnou spotřebu na 100 km, což novější auta řeší funkcí STOP-START. U EV tento problém odpadá.

Města také zavádějí poplatky pro vjezd vozidel s ICE, či to přímo u některých čtvrtí zakazují z důvodu zplodin a hluku. Majitelé EV navíc mohou čerpat z mnohých výhod, jako je bezplatné parkování či vyhrazené jízdní pruhy.

Na základě těchto faktů lze vyvodit stanovisko, že pořízení EV se podstatně více vyplatí lidem ve městech, kteří cestují krátké vzdálenosti s častým stavěním na křižovatkách a semaforech, tráví

²⁰ Převzato z [74].

hodně času v dopravních zácpách a jejich průměrná rychlost zřídka přesahuje 50 km/h. Vzhledem ke kratším vzdálenostem jim také postačí levnější model EV s menší baterií.

Naopak osoby žijící v regionech či cestující větší vzdálenosti vysokými rychlostmi pravděpodobně budou v prvních fázích elektrifikace vozidlové flotily řídčeji zastoupeni. Jeden z mála argumentů pro pořízení EV, který platí méně u městských a příměstských obyvatelů, je průměrně vyšší najetá vzdálenost. A vzhledem k faktu, že EV mají významně nižší jízdní náklady než auta s ICE, může tato úspora přesvědčit ke koupi i tuto skupinu řidičů. Je však nutné mít na paměti, že tato úspora bude částečně smazána horší efektivitou EV při vysokých rychlostech.

5.2 Komerční a veřejní uživatelé

Pojmem komerční a veřejní uživatelé se zde rozumí množina zahrnující obchodní společnosti a státní organizace využívající pro svou funkci silniční vozidla.

Zatímco u soukromých osob lze poměrně snadno generalizovat jízdní vzorce, u komerčních subjektů je zobecnění poněkud obtížnější vzhledem k širokému spektru aplikací. Přesto Paffumi et al. nabízí data i pro tuto skupinu. Na první pohled je vidět, že rozsah průměrné denní kilometráže je značně vyšší (od 35 km u Bratislavy až po 179 km u bulharské Sofie), stejně jako počet jízd za den (1,5-13,8). Co se týče procentuálního zastoupení dlouhých jízd, tak zatímco u privátních řidičů jen nepatrné procento jízd přesahovalo 150 km, u komerčního sektoru je to často více než 40 %.

Překryv nastává u průměrné rychlosti. Tam se i tato kategorie pohybuje v přibližně stejném rozpětí.

Komerční vozidla jsou také charakterizována vyšší utilizací. Průměrně se pohybují bez delších přestávek mezi 5.-7. a 14.-18. hodinou, kdy podíl zaparkovaných vozidel je cca o 5 % nižší než u privátního sektoru (90 % průměr, 85 % minimum pro Lisabon, 98 % pro Bratislavu). O víkendu, a to hlavně v neděli, pozorujeme téměř úplný útlum provozu.

5.2.1 Zúžení analyzované skupiny komerčních a veřejných uživatelů

Zatímco u soukromě vlastněných vozů jsme si vystačili s dvěma základními skupinami řidičů, u komerčního sektoru je rozptýl jízdního chování výrazně větší, a proto je třeba pro detailnější prozkoumání si vyjmenovat hlavní typy činností a zamyslet se nad výhodností EV pro jejich předmět podnikání. Nejdříve ale popíšu obecné argumenty pro pořízení EV.

Noel et al. [54] odhaduje roční náklady na palivo u dieselového autobusu na 6000 USD, zatímco u elektrického pouze na 700 USD. Motivací pro pořizovatele jsou ale kromě nižších nákladů za

palivo i nižší účty za údržbu. Elektromotor je výrazně jednodušší než ICE a nevyžaduje téměř žádný servis. Nevznikají vysoké teploty, vibrace jsou menší, nemusí se neustále kontrolovat stav oleje, brzdové destičky se díky rekuperaci méně opotřebovávají atd.

Zhao et al. [50] uvádí náklady na údržbu vozidla s ICE 0,07-0,1 USD/km a 0,03 USD/km pro EV. Noel et al. [54] vidí nepoměr ještě vyšší a počítá s ročními náklady u dieselového autobusu 8850 USD/rok a 1770 USD/rok u elektrického.

Ve chvíli, kdy je EV už morálně zastaralý nebo kapacita baterie nestačí pro svou aplikaci, lze baterii z vozidla vyjmout a použít ji po repasi pro stacionární účely, jako je další poskytování podpůrných služeb, doplnění fotovoltaické elektrárny ve vlastnictví firmy či ji prodat jinému subjektu. Takto lze generovat výnosy i po skončení životnosti vozidla. Obnova vozového parku s využitím prodeje starého vozu na protiúčet je ovšem u EV ve srovnání s vozy s ICE značně nevýhodná vzhledem k rychlému posunu technologie a opotřebované baterii. EVs tak ztrácejí hodnotu podstatně rychleji a po několika letech provozu mohou dosáhnout i záporné hodnoty, kdy nutná obnova baterie pro další užívání stojí více, než za kolik se vůz poté prodá.²¹

Rozdělení činností s přiřazením typického vozidla:

- Rozvážkové a poštovní služby (osobní vozy, dodávky, menší nákladní vozy)
- Městské a příměstské linkové autobusy
- Svoz odpadu a údržba města (popelářský vůz, lehké nákladní vozy s korbou)
- Záchrané a ochranné sbory (policejní vůz, hasičský vůz, ambulance, vůz celní správy...)
- Meziměstská a zahraniční přeprava osob (dálkové autobusy)
- Taxislužby (osobní vozy, dodávky, minibusy)
- Dálková logistická doprava (kamion)
- Stavební stroje (nákladní vůz, bagr, válec, teleskopický nakladač, smykový nakladač, vysokozdvizný vozík, ještěrka, jeřáb...)
- Zemědělské stroje (traktor, kombajn...)

Aplikací stejného myšlenkového procesu jako u privátního sektoru v první vlně očekávám proliferaci EV v takové množině služeb, která se typicky provozuje v zastavěném území. Sem spadají rozvážkové a poštovní služby, autobusy městské hromadné dopravy, vozidla svozu odpadu a údržby a taxislužby.

²¹ Více na: <https://www.autoforum.cz/zivot-ridice/smutne-konce-ojetych-elektromobilu-auta-maji-uz-po-6-letech-zapornou-hodnotu/>

Trochu stranou stojí státní služby tísňové linky, jejichž vozidla velkou část času prostojí vyčkáváním na krizový okamžik. Pravděpodobně nejvíce mobilní je flotila policejních vozů, u níž očekávám nejdřívější přechod k EV (už v současné době je část vozového parku elektrická). Naopak hasičské vozy většinu roku parkují v garáži, což silně potlačuje výhody pořízení EV pro účely jízdy. Nehledě na to, že elektrifikace těžkého hasičského vozu vyjde dost drahé. Na druhou stranu pro V2G se jedná o ideálního kandidáta.

Třetí podskupinu tvoří dálková doprava. Zde se vozidla pohybují většinu času po dálnicích vyššími rychlostmi s malým množstvím nutných zastávek pro odpočinek řidiče a cestujících. Kamiony urazí i několika tisíci kilometrové vzdálenosti, kde se trasa liší podle aktuálního zákazníka a často vede i do zahraničí. Po příjezdu do cílové destinace dojde k neprodlenému vyložení nákladu (či cestujících) a téměř okamžité cestě zpět.

Kamiony a dálkové autobusy budou muset být vybaveny obřími bateriemi, aby cestu mohly absolvovat a nezbytně nutné je vybudování sítě výkonných nabíjecích stanic podél hlavních mezinárodních tahů. To vše bude zatíženo velkými investicemi. Navíc je důležité si uvědomit, že výkonné nabíječky na dálnicích těžko budou instalovány jako obousměrné, protože v zájmu řidiče je vozidlo co nejrychleji dobít a opustit stanoviště. Dobíjecí pruhy založené na elektromagnetické indukci či napájení z troleje jsou zatím hudbou budoucnosti.

Z výše uvedených důvodů dle mého názoru elektrifikace tohoto sektoru zabere podstatně déle a do V2G zasáhne jako jeden z posledních, pokud vůbec.

Stavební a zemědělská technika je v dnešní době založena na vznětových motorech vysokých výkonů vyhovující náročným provozním podmínkám za přijatelné investiční a provozní náklady. Práce, kterou vykonávají, je velmi energeticky náročná. Stroje navíc často musí pracovat téměř nepřetržitě celou směnu v oblastech, kde jen stěží lze očekávat přítomnost výkonné nabíječky. Elektrifikace těchto vozidel je dle mého názoru při současné technologii v podstatě nemožná. Jednou z mála výjimek jsou různé vysokozdvíhací vozíky a manipulátory, kde už v současnosti je velká část z nich elektrická, protože se pohybují i v uzavřených prostorech.

5.3 Analýza silných a slabých stránek privátních uživatelů ve smyslu V2G

Pro vyhodnocení silných a slabých stránek privátního sektoru pro účely V2G jsem vypracoval SWOT analýzu, jejímž účelem není znovu vyjmenovávat všechny přínosy a výzvy spojené s implementací V2G, k čemuž již posloužila PESTEL analýza, ale postavit soukromě vlastněná vozidla do kontrastu s komerčními.

Tab. 7. SWOT analýza privátního sektoru.

STRENGTHS (+)		WEAKNESSES (-)	
1	vysoký počet cílových zákazníků	1	drahý jednotkový smart metering
2		2	hůře predikovatelné chování uživatelů
3		3	rozdobenost
4		4	nízký výkon EVSE (většinou jednofázový)
5		5	nízká kapacita baterie
6		6	lenost, pohodlnost
7		7	aplikace iracionálně vysokého diskontu
8		8	nedostatečné silové a komunikační připojení
9		9	neochota plánovat jízdy dopředu
OPPORTUNITIES (+)		THREATS (-)	
1	úspory z rozsahu	1	přehnaný strach uživatelů z degradace baterie
2	early adopters	2	obecná skepse a nezájem o technologii
3	touha po ekologickém a trendy produktu	3	
4	privilegované parkovací zóny, dedikované jízdní pruhy, vjezd do bezemisních zón, bezplatné nabíjení při poskytování V2G	4	

Hlavní silnou stránkou osobních aut je jejich velké množství, a tedy vysoký potenciál pro V2G. S tím souvisí možnost nechat působit úspory z rozsahu, které budou tlačit ceny technologie dolů. Také je třeba vzít v potaz, že lidé se často rozhodují ne zcela racionálně a jsou ochotni si připlatit za módní zboží. Klasickým příkladem jsou majitelé EV značky Tesla, které si nepořizují primárně za účelem nižších provozních nákladů, ale spíše ve snaze vylepšit svou společenskou image. Motivací pro koupi budiž i celá škála privilegií při pobytu ve městech.

Negativních charakteristik je bohužel ve srovnání s komerčním sektorem více. Koncoví zákazníci jsou zde z pohledu agregátora podstatně více roztroušeni, průměrná kapacita baterie a výkon EVSE je menší a silová i slaboproudá síť je hůře dimenzovaná. Rozdobenost souvisí s vyššími náklady na smart metering. Nelze ani opomenout obtížnější predikci chování, která způsobuje potíže na obou stranách. Agregátor chce mít jasně daný harmonogram dostupnosti služby, zatímco koncový uživatel nechce být omezován ve svém řízení a plánovat jízdy dopředu.

Výše uvedená výhoda spojená s větší emotivností soukromých osob při rozhodování však může být i nevýhodou, pokud uživatel V2G bez hlubších úvah zavrhne například ze strachu z degradace baterie. Noel et al. [13] dále upozorňuje, že lidé při svých ekonomických zhodnoceních používají přemrštěné diskonty až v řádu desítek procent.

Soukromé osoby také mohou shledat povinnost zapojit kabel při každém zastavení za otravnou a omezující.

5.4 Analýza silných a slabých stránek komerčních a veřejných uživatelů ve smyslu V2G

Po předchozí selekci zde dále nebudu uvažovat služby, u kterých dle mého mínění je v současné době elektrifikace nevýhodná, a proto ani v blízké budoucnosti nezasáhnou do V2G. Jedná se především o vozidla dálkové dopravy, stavební a zemědělské stroje a hasiče.

Naopak jako vysoce perspektivní vnímám skupinu vozidel vykonávající pravidelné kratší cesty v urbanizovaném prostředí. Spadají sem mimo jiné rozvážkové a poštovní služby, svozy odpadu, školní autobusy, policie, vozidla údržby města (čištění ulic, údržba zeleně...), taxislužby či vozidla městské hromadné dopravy.

Tato vozidla po skončení směny či v době dispečerské pohotovosti stojí na centrálních parkovištích (depech). To je z hlediska V2G velmi výhodné. Agregátor/operátor se může soustředit na monitoring a řízení mnohem méně lokací, než je tomu u soukromých aut. Dále tato depa bývají dimenzována na vyšší výkony a pokud je nutné posílení přípojky (transformátoru, ochran, kabeláže), tak je realizace snazší a efektivnější než u každého rodinného domu.

Firmy se chovají podstatně více racionálně než soukromé subjekty a alokují své zdroje tam, kde jim to přinese největší užitek. Pro toto vyhodnocení zaměstnávají celou řadu specialistů a neváhají si zaplatit externí poradenství.

Průměrná velikost různých dodávek a autobusů je také významně větší, což znamená výkonnější EVSE a větší baterii. Pokud je flotila dostatečně rozsáhlá, může překonat limitní výkonovou hranici pro participaci na PpS a vynechat tak roli agregátora, který normálně pohltí značnou část výnosů.

Díky veskrze stabilním trasám je sníženo riziko neplánovaného vybití baterie.

Kromě generování zisku i v době, kdy vozidla neslouží ke svému hlavnímu účelu, tak v případě, že se zavedou emisní limity či uhlíkové daně na firmy, může elektrifikace flotily v synergii s V2G tento problém snadno řešit. Danou skutečnost lze samozřejmě použít i pro marketingové účely a profilovat se jako zelená firma.

Ekologičnost provozu ale silně závisí na energetickém mixu lokality. Dle [50] ušetří dodávka rozvážkové služby za svou 15-letou životnost 200 - 500 t CO₂, přičemž participací na V2G se může stát uhlíkově negativní, přestože vždy alespoň malá část elektřiny pochází z fosilních zdrojů a běžně provozované EV v konečném důsledku nikdy nemá nulové emise.

Ve chvíli, kdy EV morálně zestárne, nebo snížená kapacita už nepostačí k absolvování trasy, staré baterie lze využít jako stacionární úložiště k instalované fotovoltaické elektrárně, pro účely zálohy, či je prodat. Uvádím to jako příležitost komerčních subjektů, jelikož soukromé osoby pravděpodobně nedosáhnou na takové možnosti. Stejně tak firmy spíše dosáhnou lepších podmínek u agregátora.

Mezi negativa patří fakt, že zaběhlé businessy už mají funkční řešení s odladěnými procesy, do kterého v minulosti investovaly velkou část kapitálu. Tím pádem kompletní transformace k novému druhu vozidel bude spojena s nemalou investicí a rizikem, což celou řadu subjektů může odradit.

Může také nastat situace, kdy elektrifikace flotily s funkcí V2G vyjde z dlouhodobého hlediska rentabilní s kladným NPV, ale firma nebude mít prostředky na vysokou iniciační investici, což ji donutí zvolit dlouhodobě horší variantu s nižší vstupní investicí. Zde může do hry vstoupit buď úvěr, nebo i finanční podpora třetí strany, která příležitost využije k investici. Firma tak kupříkladu získá část peněz na pořízení nových vozidel za podmínky, že zisky z V2G potečou investorovi.

Racionální zhodnocení investiční příležitosti také může vést k závěru, že firma identifikuje lepší investici než EV či V2G bez ohledu na environmentální přesah. Je důležité totiž zmínit, že elektrifikace vozového parku a V2G jsou spojeny s řadou externalit, tedy vlivů, které mají dopad na celou společnost, z nichž ale část nenese přímé výhody firmě, která investici provedla.

Stejně jako u privátních vozů jsem silné a slabé stránky zasadil do SWOT tabulky. Na první pohled je vidět, že zastoupení kladných charakteristik je zde větší než záporných.

Tab. 8. SWOT analýza komerčního/veřejného sektoru.

STRENGTHS (+)		WEAKNESSES (-)	
1	větší citlivost na peníze	1	není vhodné pro všechny aplikace
2	větší investiční prostředky	2	už proběhlé rozsáhlé investice do funkčních řešení
3	racionální vyhodnocení možných přínosů	3	pomalejší změny
4	stabilní časové harmonogramy provozu	4	fluktuační managementu
5	nižší riziko neočekávaného vybití baterie	5	
6	lepší informovanost díky zapojení specialistů	6	
7	vyšší výkon EVSE (typicky třífázový)	7	
8	vyšší kapacita baterie	8	
9	typicky výkonnější elektrická přípojka depa	9	
10	jednodušší navýšení výkonu přípojného bodu	10	
11	snazší správa, řízení a monitoring ze strany agregátora	11	
12	nižší jednotkové náklady na smart metering a komunikaci	12	
13	výhodnější podmínky u agregátora	13	
OPPORTUNITIES (+)		THREATS (-)	
1	vyhovění emisním limitům/úspora na uhlíkové dani	1	neatraktivní rentabilita povede k nepřijetí EV/V2G
2	další využití baterie na konci životnosti	2	příliš vysoká vstupní investice
3	možnost účastnit se trhu PpS napřímo	3	nesouhlas leasingových společností

Na pomezí privátního a komerčního sektoru stojí firemní vozy, které společnost poskytuje svým zaměstnancům jako formu benefitu a zaměstnanci je používají i k soukromým účelům. Kombinuje se zde stav rozdrobenosti, kdy zaměstnanci parkují u sebe doma přes noc a o víkendech a pracovní doby, kdy stojí pospolité na firemním parkovišti. Domnívám se však, že tato kategorie má blíže ke komerčnímu sektoru, jelikož investiční vyhodnocení provádí firma a ne zaměstnanci. Zároveň zde platí zásadní společný jmenovatel, a to sdružené parkování v jasně daných časech na jasně daném místě.

Je třeba vzít v úvahu, že do poskytnutí služeb V2G u tzv. ‚fleetových‘ vozů dále může promluvit i další entita v závislosti na způsobu financování. Pokud firma automobily hradí v hotovosti nebo podnikatelským úvěrem, pak je vozidlo plně v jejím vlastnictví a de facto si s ním může dělat, co chce. Velká část firem však pro pořízení volí jiné varianty: finanční a operativní leasing. Zde minimálně po část doby provozu vůz vlastní leasingová společnost, u operativního leasingu se auto k předepsanému datu dokonce vrací pronajímateli. Lze tedy dle mého názoru očekávat, že pokud se firma rozhodne participovat na V2G, bude tomuto rozhodnutí muset předcházet i souhlas leasingové společnosti a pravděpodobně i zavedené vyšší měsíční platby. Operativní leasing totiž obsahuje jisté nájezdové limity, které reflektují opotřebení vozu, ale nyní je třeba kompenzovat také cyklování baterie v době, kdy vozidlo parkuje.

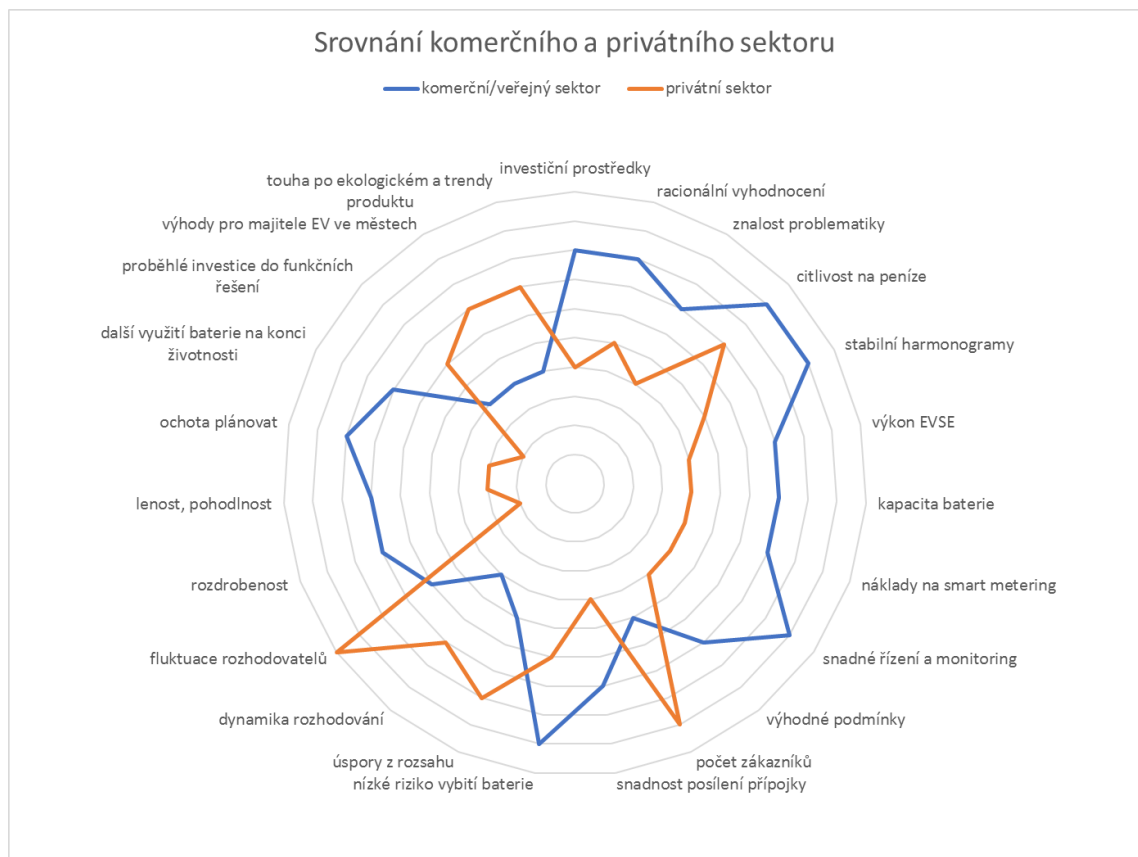
5.5 Výsledky srovnání privátního a komerčního/veřejného sektoru ve smyslu V2G

Z výše uvedeného kvalitativního porovnání lze vyčíst, že komerční/státní sektor má potenciál do V2G zasáhnout ve větší míře jako první. Ve svých rukou drží výhody jako centralizované

nabíjení, fixně dané harmonogramy, větší citlivost na peníze či průměrně větší vozy. Jedinou velkou výhodou soukromých uživatelů zůstává ve výsledku jejich vysoký počet.

Pro finální přehledné srovnání jsem hlavní hodnotící faktory zanesl do paprskového grafu níže. Jedná se o metodiku s několika na první pohled patrnými nedokonalostmi. Kvantifikuje ukazatele (pohodlnost uživatelů, ochota plánovat či znalost problematiky), které ze své podstaty lze jen těžko opatřit konkrétní hodnotou. Tato hodnota je tak silně subjektivní. Zároveň každý ukazatel má zcela jinou váhu důležitosti, kterou graf také nezohledňuje. Přiřazení váhy by totiž stejně problém jen přesunulo o úroveň výš, jelikož přiřazení váhy je rovněž subjektivní.

Přes všechna zmíněná zkrácení, lze z grafického znázornění vyzorovat, že obrazec příslušící ke komerčnímu/veřejnému sektoru pokrývá větší plochu, a tedy vychází jako perspektivnější aspirant pro službu V2G.



Obr. 7. Paprskový graf srovnávající komerční a privátní sektor ve smyslu V2G.

V navazující sekci se pokusím posoudit ekonomický dopad zpřístupnění elektrické dodávky rozvážkové firmy službám V2G.

5.6 Technicko-ekonomický rozbor vhodnosti V2G pro vozidla rozvážkové služby

Velká část akademické obce ve svých člancích staví do kontrastu provoz vozidla s ICE a EV participujícím na V2G. Já jsem však zvolil postup odlišný. Vycházím totiž z předpokladu, že elektrifikace vozového parku rozvážkových společností je sama o sobě takřka nevyhnutelná, a to ať už z důvodu unijních a státních nařízení, tak díky provozním výhodám, jež jsem nastínil v předešlém textu. V následující pasáži se tedy pokusím číselně podložit, zda a do jaké míry se vyplatí elektrifikovaný vozový park rozvážkové společnosti zapojit do konceptu V2G.

5.6.1 Volba EV

Předmětem zkoumání bude malý nákladní automobil s hmotností do 3,5 t, který dle zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, spadá do kategorie N1. Tato kategorie je totiž nejčastěji využívána rozvážkovými společnostmi, jako jsou v ČR Česká pošta, PPL, DHL či Geis. Spadají sem jak klasické dodávky, tak menší nákladní vozy s korbou.

Já pro účely této práce použiji EV, který byl na míru navržen pro Deutsche Post cášskou společností StreetScooter ve spolupráci s tamní univerzitou RWTH Aachen. Jedná se o dvoumístný vůz s plošinou, na jejíž místo se může umístit korba nebo velký box. Tamní pošta využívá právě variantu s boxem.



Obr. 8. StreetScooter Work Box²²

²² Převzato z [55]

Po volbě modelu EV je v dalším kroku nutné zvolit kapacitu baterie dle [52]:

$$C_{bat} = 1,2 * \frac{VZDAL * SPOTR}{[1 - SoC_{min} - (1 - UCIN)] * (1 + REGEN)}$$

Kde VZDAL značí průměrnou denní uraženou vzdálenost (95 km²³), SPOTR průměrnou spotřebu (28,1 kWh/100 km [55]), SOC_{min} žádaný stav nabití baterie po absolvování trasy (20 %), UCIN energetickou účinnost baterie (90 % [52]) a REGEN podíl energie vrácený regenerativním brzděním (14 % [52]). Koeficient 1,2 přidává 20 % pro snížení rizika neočekávaného vybití z důvodu neplánované jízdy. Tím, jak se bude využitelná C_{bat} časem snižovat, dojde k využití rezervní kapacity, která byla původně přidána za účelem ponechání části energie v baterii kvůli V2G a riziku vyššího než plánovaného nájezdu.

Po dosazení výše uvedených hodnot dostáváme žádanou kapacitu baterie 40,1 kWh. Po nahlédnutí do produktového listu StreetScooter [55] lze vidět, že firma prodává model StreetScooter Work s 40 kWh baterií, který odpovídá žádané hodnotě, za 40.950 EUR²⁴.

5.6.2 Volba EVSE

Dalším bodem je dimenzování EVSE, které musí být schopné V2G. Noel et al. [13] uvádí, že náklady na rozšíření EV přijdou zájemce na 500 USD. Rozšíření externí statické části EVSE Zhao et al. [50] odhadují na 2000 USD u stávajícího zařízení neschopného V2G a 5000 USD pro kompletně nové EVSE.

U PpS se platí za připojený výkon, který je vždy omezen výkonovou elektronikou na palubě EV. V případě StreetScooteru se jedná o 11 kW²⁵, proto budu dále uvažovat tento výkon EVSE.

5.6.3 Volba PpS s ohledem na degradaci baterie

V teoretické části jsem nastínil, že literatura obecně považuje pro V2G výhodnější takové PpS, u kterých nedochází k velkým přenosům energie. Abych tato tvrzení ověřil, rozhodl jsem se nasimulovat participaci zvoleného EV na V2G v několika scénářích a následně vyhodnotit, jaké mají tyto scénáře dopady na degradaci baterie.

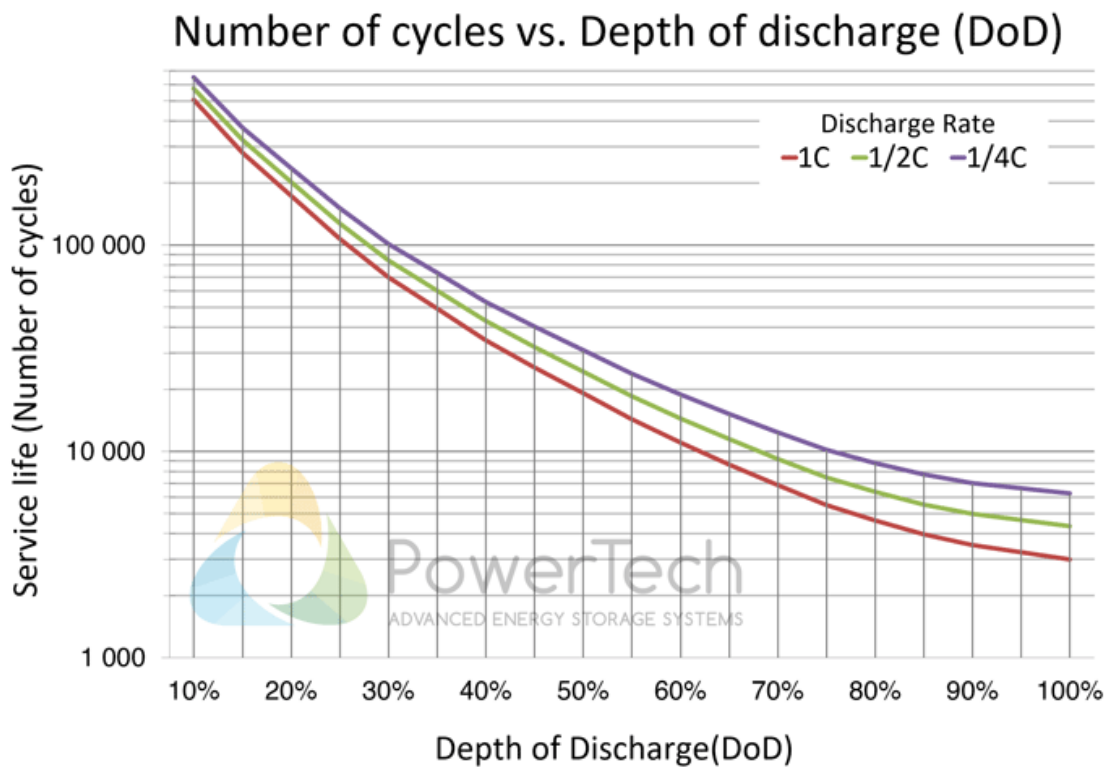
23 Vozidlo České Pošty měsíčně najede přibližně 2000 km [75], což při 21 všedních dnech v měsíci odpovídá dennímu nájezdu 95 km. Americká NREL provedla studii a došla k závěru, že místní rozvázkové služby denně najezdí v průměru méně než 65 km, protože naprostou většinu času stráví obsluhou zákazníků. Samotná jízda tak zabrala denně jen kolem 1.5 h. Konečná spotřeba energie ve srovnání s ICE byla méně než třetinová při poloviční uhlíkové stopě [78].

24 Převzato z: https://www.streetscooter.com/wp-content/uploads/2019/03/StreetScooter-Broschuere_Web_EN.pdf

25 3 fáze, 400 V, 16 A, Type 2

Pro vyhodnocení degradace jsem vycházel z grafického nástroje společnosti PowerTech (Obr. 9) pro LiFePO₄ články ukazující závislost cyklické životnosti na DOD pro tři různé úrovně C_{rate}. Zde je nutné poznamenat, že tato metodika je velmi nepřesná a neschopná zachytit všechny faktory, které životnost baterie ovlivňují. Kupříkladu jiný zdroj [56] zachovává míru zkrácení životnosti při užití různých DOD, ale počet cyklů pro stejné podmínky je vždy 3–4 menší než u grafu firmy PowerTech.

Konkrétně StreetScooter sice používá bateriové moduly od BMW založené na jiné technologii (NMC/LiNiMnCoO₂) [57], [58], ale například dříve zmíněný projekt Bus2Grid staví na LiFePO₄ bateriích. Proto se domnívám, že pro účely obecného zachycení poměrné míry zrychlení degradace hlubokým cyklováním tato grafika poslouží dobře.



Obr. 9. Cyklická životnost v závislosti na DOD²⁶.

V první řadě jsem na základě parametrů denní trasy stanovil SOC na konci dne, jak shrnuje následující tabulka (Tab. 9).

²⁶ Převzato z [76].

Tab. 9. Parametry každodenní jízdy.

Denní uražená vzdálenost [km]	95,00
Průměrná rychlost pohybu [km/h]	36,00
Čas strávený aktivní jízdou [h]	2,64
Průměrný výkon [kW]	10,12
Průměrný C_{rate} [h^{-1}]	0,25
Spotřeba energie jízdou za jeden den [kWh]	26,70 (~ 66,7 % DOD)

Pro další výpočty jsem uvažoval následující utilizaci.

Tab. 10. Utilizace EV.

Počet pracovních dnů/rok	251
Počet volných dnů/rok	114
Délka směny [h]	12
Životnost [roky]	12

Při výpočtu doby nabití z SOC na konci dne do žádané plně nabité baterie na začátku směny nelze použít žádný jednoduchý vztah, jelikož rychlost nabíjení s rostoucím SOC významně klesá²⁷. Pro stanovení této hodnoty jsem využil produktový list výrobce s empirickými hodnotami [55], které jsem poté ověřil několika internetovými kalkulačkami.

Tab. 11. Parametry nabíjení.

Výkon EVSE [kW]	11
Doba nabití 33-100 % [h]	3
Průměrný C_{rate} [h^{-1}]	0,22

Pokud navážu na předpoklad 12 h doby stání, po odečtení 3 h potřebných pro plné nabití, zbývá 9 h, kdy baterie může být cyklována pro potřeby V2G. Maximální C_{rate} daný výkonem EVSE je 0,275.

Degradaci způsobenou cyklováním baterie za dobu životnosti pro různé kombinace C_{rate} , DOD a počtu cyklů za dobu stání (za noc) jsem vynesl do tabulky níže (Tab. 12). Hodnoty se zakládají na výše uvedeném grafickém nástroji.

Ačkoliv je C_{rate} o velikosti 0,5 pro můj případ irelevantní z důvodu výkonového omezení EVSE, uvedl jsem jej po demonstraci vlivu jednotlivých veličin. Prostým srovnáním dvou degračních

²⁷ Platí přibližné pravidlo, že dobítí z 0 % na 80 % SOC trvá stejně dlouho jako dobítí zbývajících 20 %.

hodnot pro stejný počet cyklů a stejné DOD vidíme, že zdvojnásobení C_{rate} vedlo pouze k přibližně o 15% vyšší degradaci.

Naopak naprosto zásadní vliv má DOD. Zeleně jsou zvýrazněny situace, u kterých dojde ke stejné vyměněné energii, ale v jiném počtu cyklů. Aplikování jednoho cyklu s DOD 40 % má cca 3,5krát horší dopad na životnost článku než 4 cykly s DOD 10 %. S hloubkou cyklování se jev ještě umocňuje; cyklus s DOD 60 % energeticky ekvivalentní 6 cyklům s DOD 10 % vede k 6krát většímu snížení kapacity.

Tab. 12. Ztráta C_{nom} cyklováním pro účely V2G.

$C_{rate} [h^{-1}]$	Počet cyklů za noc	0,25				0,5			
		1	2	4	8	1	2	4	8
DOD	10 %	-0,16 %	-0,33 %	-0,66 %	-1,31 %	-0,19 %	-0,38 %	-0,77 %	-1,53 %
DOD	20 %	-0,50 %	-1,00 %	-2,00 %		-0,57 %	-1,15 %	-2,30 %	
DOD	40 %	-2,30 %	-4,60 %			-2,61 %	-5,23 %		
DOD	60 %	-5,90 %				-7,66 %	-15,33 %		

Pro srovnání, cyklování jízdou s odkazem na stejný diagram a výše uvedené jízdní parametry povede ke ztrátě 3,9 % C_{nom} , kde vyměněná energie za dobu životnosti řádově odpovídá variantě 4 cyklů s DOD 10 %. V2G tedy způsobí téměř 6krát menší škodu než jízda. Navíc se dá očekávat, že degradace způsobená jízdou bude v reálném světě ještě horší z důvodu vyšších proudových špiček při akceleraci²⁸.

Pokud půjdeme ještě dál a budeme předpokládat ještě nižší hodnoty DOD, lze dosáhnout situace, kdy V2G baterii opotřebovává téměř zanedbatelně. Cílem tedy je najít takový druh PpS, který odpovídá tomuto požadavku. A touto službou je například primární regulace frekvence.

5.6.4 Ekonomické vyhodnocení participace EV na primární regulaci frekvence

Výhod využití V2G pro primární regulaci je hned několik:

- Vysoká přidaná hodnota.
- Rychlá odezva.
- Většina výnosů generována dostupností výkonu v čase, a ne samotnou vyměněnou energií.

²⁸ Je nutné si uvědomit, že bez ohledu na způsob cyklování baterie na pozadí neustále působí kalendářní degradace, jež má u EVs, trávících většinu času stáním, dominantní vliv. Výsledná míra opotřebování bude tedy v realitě součtem vypočtené cyklické a té kalendářní, závisající převážně na skladovací teplotě a SOC.

- Nízká degradace baterie.
- Vysoká dostupnost EVs.

Z přiložené tabulky (Tab. 13) je vidět, že primární regulace frekvence patří mezi služby s relativně vyšší přidanou hodnotou.

Tab. 13. Vývoj průměrných cen regulačních záloh v Kč/MWh.²⁹

SLUŽBA ³⁰	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PR	822	732	633	652	674	673	514	514	518
SR	793	703	633	674	688	683	550	546	554
MZ5	N/A	N/A	519	500	501	500	489	486	486
MZ15+	386	354	225	207	199	197	177	175	176
MZ15-	353	295	278	218	213	203	140	138	141

Pro ekonomické zhodnocení participace vozidla rozvážkové služby na primární regulaci jsem zvolil metodiku čisté současné hodnoty (NPV), jejíž vstupní parametry sumarizuje následující tabulka.

Tab. 14. Vstupní ekonomické parametry.

Cena StreetScooter Work Box 40 kWh [Kč]	1.072.388 Kč ³¹
Cena rozšíření EVSE [Kč]	43.918 Kč [13]
Cena rozšíření EV [Kč]	10.977 Kč [13]
Cena baterie v dnešních cenách [Kč]	149.200 Kč ³²
Cena za PR v nultém roce [Kč/MWh]	518 Kč
Vývoj ceny PR/rok [%]	-3 %
Diskont [%]	5 %
Průměrný roční pokles cen baterií [%]	-10 %
Uvažovaná doba životnosti [roky]	12
Dostupnost služby ročně [h]	5.748
Hypotetický výnos v nultém roce [Kč]	32.752 Kč
Platba agregátorovi	40 %
Výsledný hypotetický výnos v nultém roce [Kč]	19.651 Kč

²⁹ Převzato z [77].

³⁰ Význam zkratk: PR (primární regulace), SR (sekundární regulace), MZ5 (pětiminutová záloha), MZ15+/- (patnáctiminutová záloha kladná/záporná).

³¹ Převzato z: https://www.streetscooter.com/wp-content/uploads/2019/03/StreetScooter-Broschuere_Web_EN.pdf; (konverzní kurz z 15.3.2021)

³² Převzato z: <https://insideevs.com/news/428315/ev-rides-nissan-leaf-new-battery/>; (konverzní kurz z 15.3.2021)

Zhao et al. [50] očekává v budoucnosti lineární pokles cen baterií, na čemž je založena i má kalkulace. Stanovení míry poklesu je ovšem velice obtížné, jelikož dodnes měl exponenciální charakter, kdy jen za poslední dekádu cena Li-iontových baterií klesla o téměř 90 % a průměrný roční pokles činil 19 % [59]. Já konzervativně uvažuji 10 %.

Ačkoliv cena PR od roku 2013 klesala průměrně o téměř 5 % za rok, tak já v kalkulaci používám 3% míru, přestože lze předpokládat, že zapojením bateriových úložišť a V2G do PpS se zvýší konkurence, a tedy tlak na cenu. Na druhou stranu ceny energií dlouhodobě rostou, což dle mého názoru zpomalí propad cen.

Pokud nebude vozový park entity dostatečně velký, aby mohl na trhu s PpS participovat napřímo, bude muset využít služeb agregátora, který ukrojí podstatnou část výnosů. Noel et al. [13] uvádí 33 %, Bhandari et al. [60] dokonce 50 %. Kalkulace proto volí 40 % jako střední cestu.

Započítání opotřebenosti baterie do výpočtu řeší např. Zhao et al. [50] anuitním rozpočítáním celkové škody do jednotlivých let, což dle mého mínění není správný postup, jelikož metodika NPV kalkuluje jen s reálnými peněžními toky a degradace baterie žádné pohyby hotovosti nezpůsobuje. Pokud by degradace byla natolik významná, že by se v průběhu životnosti musela baterie několikrát měnit, pak by se toto nabízelo jako řešení problému. Jelikož ale v mém modelu cyklování nevedlo k zásadnímu snížení užité kapacity, musí být použit jiný postup.

Já zvolil metodiku zůstatkové hodnoty, kdy předpokládám, že na konci života EV dojde k prodeji baterie za cenu reflektující aktuální cenovou úroveň baterií. Samozřejmě musí také dojít k ponížení této částky příslušným diskontováním. Pro účely práce jsem použil konzervativní diskont 5 %.

Po dosazení příslušných hodnot vychází NPV pro jeden EV na 89.150 Kč. Vzhledem k rozhodovacímu kritériu, které říká, že by měla být realizována investice s NPV větším než 0, tak doporučení zní realizovat investici do potřebného vybavení a zapojit se do služeb V2G.

Tab. 15. Čisté současné hodnoty tří uvažovaných scénářů.

NPV _{pesimistický scénář} (PR -10 %; DIS 10 %; CENY BAT -5 %; DEGR BAT -10 %)	19.922 Kč
NPV_{realistický scénář} (PR -3 %; DIS 5 %; CENY BAT -10 %; DEGR BAT -0,66 %)	89.150 Kč
NPV _{optimistický scénář} (PR 10 %; DIS 3 %; CENY BAT -20 %; DEGR BAT -0,66 %)	313.585 Kč

Samozřejmě výsledná částka závisí na mých subjektivních předpokladech. Proto jsem do tabulky uvedl další dva krajní scénáře, jak se potenciálně může NPV lišit od mého základního případu. Dobrou zprávou je, že i pro značně pesimistický scénář uvažující každoroční pokles cen PR

o 10 %, agresivní diskont 10 %, nízký pokles cen baterií jen o 5 % ročně a masivní snížení užitné kapacity cyklováním o 10 %, vychází NPV stále kladně.

Zajímavým postřehem také je, že roční výnosy ze služeb V2G v prvních letech provozu lehce převyšují náklady na proježděnou elektřinu. Participací na PR si tak EV pokryje náklady na palivo, které vycházejí méně než čtvrtinové oproti provozu vozidla s ICE. Tento efekt ještě umocní výrazně nižší náklady na servis a údržbu.

5.6.5 Srovnání výsledků ekonomického vyhodnocení s literaturou

Nyní se pokusím srovnat své závěry s poznatky, ke kterým došli v minulosti jiní autoři, což shrnuje následující tabulka.

Tab. 16. Srovnání výsledků ekonomického vyhodnocení s literaturou.

Zdroj	Závěr ³³	Poznámka
De Los Ríos et al. [52]	-výnosy: 15.400-19.800 Kč/EV/rok pro V1G -výnosy: 27.400-30.700 Kč/EV/rok pro V2G	-komerční sektor, rozvážková služba -větší vliv na výnosy měl výkon EVSE než C_{nom} , EVSE úrovně 3 je ale příliš drahé, proto nejlepší poměr cena/výkon nabízí úroveň 2 (19,2 kW)
Noel et al. [54]	-výnosy: 329.100 Kč/EV/rok	-srovnání elektrického autobusu a verze s ICE -roční náklady na palivo autobusu s ICE uvádí autoři ve výši 131.600 Kč a u EV 15.400 Kč -největší vliv na rentabilitu měl výkon EVSE a cena PpS; o řád nižší vliv zaznamenali u degradace baterie a růstu cen pohonných hmot/elektřiny; o dva řády níže ležel dopad na lidské zdraví, který se obecně podhodnocuje
Yilmaz et al. [61]	-výnosy: 2000-87.800 Kč/EV/rok	-konsolidace dat z mnoha zdrojů
Park et al. [62]	-úspora školní autobus: 175.600 Kč/EV/rok -úspora popelářský vůz: 285.300 Kč/EV/rok -úspora městský autobus: 482.800 Kč/EV/rok	-úspora provozu tří typů EV participujících na V2G ve srovnání s vozidlem s ICE

33 Pro lepší přehlednost byly všechny údaje v cizích měnách přepočítány na CZK. Použit měnový kurz 22.3.2021.

Bhandari et al. [60] uvádí, že většina výzkumníků považuje V2G za rentabilní. Bhandari et al. ovšem došel na základě svého modelu k výsledku, že V2G jako takový je vždy výhodný pro VPP³⁴, ale za stávajících podmínek (rok 2017) panujících v USA nerentabilní pro koncové vlastníky EV. Participace by se pro ně stala výhodná až v případě poklesu cen baterií, zvýšení cen podpůrných služeb či účasti jen po splnění omezujících podmínek (minimální výše kompenzace).

Cui et al. [63] srovnali životaschopnost V2G v Číně a ve Velké Británii s tím, že se zaměřili spíše na energeticky náročné služby. Čína charakteristická svými nízkými cenami energií a služeb se za stávajících podmínek ukázala jako nevhodná země pro implementaci. Velká Británie s výrazně dražším oceněním PpS naopak jako vhodná. Pro to, aby se služba i v Číně stala výnosnou, musí nejprve klesnout ceny baterií a/nebo vzrůst valuace PpS.

Při pohledu na můj kalkulovaný roční výnos kolem 20.000 Kč vidíme, že moje hodnota patří mezi konzervativnější odhady. Navíc na rozdíl od velké části autorů jsem se zaměřil izolovaně na ekonomický přínos V2G, předpokládaje, že k elektrifikaci jistých segmentů dojde tak jako tak. Pokud bych však srovnával krajní scénáře: provoz vozu s ICE a provoz EV participujícím na V2G, dosáhly by výhody podstatně většího měřítka.

5.7 Vyhodnocení současné situace s výhledem do budoucna

5.7.1 Energetický mix ČR

Dříve, než se finálně zhodnotím potenciál V2G v ČR, je důležité se zamyslet nad smysluplností provozu EV v českých podmínkách. I přes všechny výše popsané výhody a obecné percepce EV jako ekologického dopravního prostředku, ekologičnost provozu dramaticky závisí na skladbě energetického mixu regionu, ve kterém se EV provozuje. Podíl RES v ČR v roce 2019 činil dle Eurostatu 16,2 %, což je pod unijním průměrem a hluboko za skandinávskými zeměmi či Rakouskem, které dosahují podílu více než 65 % (Norsko téměř 100 %) [64]. K tomu je třeba připočítat fakt, že výroba EV je významně energeticky náročnější, než je tomu u vozu s ICE, dle [65] až o 70 %.

Elektrifikace vozového parku tedy musí jít bezpodmínečně nutně ruku v ruce s odstavováním uhlíkově intenzivních fosilních zdrojů a jejich náhradou za RES, jejichž intermitenci napomáhá řešit právě V2G.

34 Z angl. Virtual Power Plant. Centrálně algoritmičsky řízený systém nezávislých distribuovaných převážně obnovitelných zdrojů energie, úložišť a flexibilních spotřebitelů. Příkladem VPP může být agregátor.

5.7.2 Podíl EVs ve vozovém parku ČR

Obecně se ČR profiluje jako stát s reluktantním postojem k alternativním vozidlům jak v privátní, tak v komerční sféře. V roce 2020 po českých silnicích jezdilo jen něco přes 4000 EVs, což tvoří necelých 0,05 % ze všech registrovaných vozidel [66]. Pozitivní zprávou je ovšem progresivní roční nárůst nově prodaných EVs, kdy rok 2020 trojnásobně překonal rok předchozí. Vyjádřeno procenty to znamená 1,2 % ze všech prodaných vozidel. Do roku 2030 ČEZ odhaduje nárůst počtu EVs na půl milionu, tvořících téměř desetinu vozového parku. Stále ale ČR silně zaostává za evropskými premianty, jako je Norsko, které dosáhlo podílu EVs na prodejkách ve výši 54,3 % [67].

Podíváme-li se na čistě komerční sektor, tak v Evropě má ve své flotile alespoň jeden EV 12 % firem, zatímco v ČR je to pouze 2 %. Mluvíme-li o vozu s alternativním pohonem obecně, pak jsou procentuální zastoupení ve výši 21 % resp. 4 %. Premiantem v EU je Nizozemsko s 44 %, následované Velkou Británií (34 %) a Francií (28 %) [68].

Výhledově ČR opět zaostává, jelikož u firem, které doposud žádné alternativní vozidlo neprovozují, uvažují manažeři o pořízení jen 6 % společností. Evropský průměr je přitom 19 % [68].

5.7.3 Potenciál jednotlivých sektorů dopravy

Co se týče proniknutí V2G do jednotlivých oblastí silniční dopravy, je dobré si řádově ukázat, jaký je potenciál jednotlivých kategorií.

Celkové množství i měsíční přírůstky několika základních kategorií motorových vozidel uvádí na svých stránkách Svaz dovozců automobilů³⁵. Zjistit, jaká část spadá do jakého sektoru (privátní/komerční/veřejný), je ovšem obtížné.

Dle [69] jsou tři čtvrtiny nově registrovaných vozidel firemní. Zároveň ale platí, že firmy obnovují vozový park častěji než soukromí řidiči, proto nelze říct, že tři čtvrtiny provozovaných vozidel jsou firemního původu. K dispozici jsou také průzkumy [70], jež uvádějí vlastníky s největším počtem vozidel. Zde ovšem dochází k situaci, kdy velká část firem využívá určitou formu leasingu a automobily tak spadají do vlastnictví leasingových společností, které tak obsazují první místa v žebříčku, i když samy auta nepoužívají.

Proto budu uvažovat pouze potenciál jednotlivých typů vozidel bez bližšího rozlišení způsobu využití. Kupříkladu u autobusů lze očekávat, že převážná část z uváděného počtu bude sloužit

35 Dostupné na: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#str=vpp>

v městské a příměstské dopravě. U osobních automobilů zase předpokládám, že většina z nich bude provozována způsobem, který odpovídá chování soukromého vlastníka. Tedy že své vozidlo bude parkovat přes den na firemním parkovišti a v noci u sebe doma bez ohledu na skutečné vlastnictví.

Prostým srovnáním řádů v tabulce lze vyzorovat, že ačkoliv EVSE autobusu má o řád vyšší výkon, než je tomu u osobního automobilu, potenciál této skupiny je poměrně omezený. Naopak osobní vozy doženou své nevýhody jako nízký výkon EVSE, rozdrobenost nebo hůře predikovatelné chování, svým vysokým počtem.

Tab. 17. Potenciální přínos jednotlivých kategorií vozidel.

Kategorie	Počet ³⁶	Dostupnost	Jednotkový výkon EVSE [kW]	Max. hypotetický výkon [MW]
osobní vozidla	6.129.874	95 %	3,7 ³⁷	21.547
lehká užitková vozidla	596.481	90 %	11 ³⁸	5.905
nákladní vozidla	185.602	90 %	40	6.682
autobusy	19.661	80 %	40 ³⁹	629

5.7.4 Prognóza budoucího vývoje V2G v ČR

Na základě informací a postřehů v této práci se domnívám, že k masivní proliferaci V2G dojde prvně v komerčním a veřejném sektoru, a to konkrétně v rozvázkových byznysech a u městské hromadné dopravy.

Ačkoliv je potenciál této skupiny relativně omezený ve srovnání s výkonem, který by mohlo poskytnout masové rozšíření V2G v sektoru osobních vozidel, bude role těchto prvních pionýrů nesmírně důležitá, protože poslouží jako schůdek k plošnému rozšíření do dalších oblastí.

Další otázka k zodpovězení je, do jaké míry budou V2G předcházet formy chytrého nabíjení V1G. Oba koncepty vyžadují aktualizaci legislativy a standardů, implementaci smart meteringu, vývoj dynamických tarifů či instalaci řídicích jednotek. Požadavky na hardware i software kladou ale jiné (nižší u V1G), a je proto diskutabilní, zda by se nevyplatilo fázi V1G celou přeskočit a rovnou implementovat do EV a EVSE V2G komponenty. To, do jaké míry je to možné, ale pravděpodobně ukáže až odladění technologie a procesů po pár letech reálného provozu v komerčním sektoru.

36 Data z prosince 2020 dle Svazu dovozců automobilů.

37 Typický výkon on-board EVSE dle https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-time-summary

38 Použit výkon EVSE vozidla StreetScooter.

39 Použit výkon on-board EVSE autobusů zapojených do Bus2Grid.

Dále se dá predikovat, že s tím, jak budou ceny baterií časem klesat, se zmírní strach uživatelů z degradace, což povede k urychlení nástupu V2G, který ale nesmí vlastníky EV příliš omezovat. V praxi jsou lidé ochotni se chovat ekologicky (viz např. vysoký podíl tříděného odpadu), ale daná činnost nesmí zásadně ovlivňovat jejich pohodlí a být příliš nákladná.

6 Závěr

Smyslem tohoto textu bylo seznámit čtenáře s konceptem V2G, který má potenciál značně ulehčit přechod od fosilních k obnovitelným zdrojům. Proces to ale nebude bezbolestný, a ačkoliv v současnosti probíhá mnoho pilotních projektů, komerčně a legislativně etablovaná technologie zatím na trhu není. V této práci jsem shrnul uvedení do V2G, zasadil ho do legislativních a standardizačních rámců a popsal základní technické prvky a aspekty, které je nutné znát k porozumění problematice.

V praktické části jsem se nejprve pokusil s využitím PESTEL analýzy identifikovat přínosy a výzvy V2G, jelikož komplexita konceptu s hustou sítí různých vazeb a dopadů vyžaduje metodický postup s rozdělením problému na podproblémy. Z tohoto důvodu jsem u každého bodu zachytil, jakých z šesti sledovaných oblastí se položka týká a pokusil se nastínit možné řešení. Žádnou ze zaznamenaných výzev jsem nevyhodnotil jako nepřekonatelnou, rozhodně ale přístup k nim nelze brát na lehkou váhu. Nejvíce pozornosti si dle mého názoru zasluhují degradace baterie, ceny podpůrných služeb, investice do silové a komunikační infrastruktury či vytvoření životaschopného business modelu, ve kterém je zisk spravedlivě rozdělen mezi jednotlivé aktéry.

V navazující sekci jsem dopodrobna rozebral možné účastníky V2G, a to jak v soukromém, tak komerčním sektoru. S pomocí SWOT analýzy, paprskových grafů či analýzy řídičských návyků jsem vyvodil závěr, že k první proliferaci V2G dojde v komerčním/veřejném sektoru, a to konkrétně u rozvážkových služeb a městské hromadné dopravy. Tyto aktéři mají na své straně výhody jako jízdy podle harmonogramu, průměrně výkonnější baterie a nabíječky či hromadné parkování v depu. De facto jedinou silnou kartou osobních vozidel pro účely V2G je jejich velký počet. To znamená, že dle mé predikce, budou privátní uživatelé v prvních etapách zaostávat, ale v pozdější fázi se stanou hlavním pilířem služby.

Pro úplnost a vlastní ověření, že V2G může dávat ekonomicky smysl, jsem vytvořil případovou studii založenou na zapojení elektrické dodávky rozvážkové služby do primární regulace frekvence. Primární regulaci jsem zvolil z toho důvodu, že finanční kompenzace se zakládá převážně na dostupném výkonu, a ne na vyměněné energii, což dle mé jednoduché kalkulace vede k téměř zanedbatelnému opotřebení baterie. Čistá současná hodnota pro jeden EV vyšla kladně pro všechny sledované scénáře od nižších desítek až po stovky tisíc korun po sledovanou dobu životnosti 12 let.

V2G tak hodnotím jako perspektivní produkt, který dle mého názoru značně usnadní transformaci energetiky směrem k RES. K jeho proliferaci však dojde dříve v „zelenějších“ zemích EU, než je ČR, která stále ve velké míře sází na konvenční tepelné elektrárny.

7 Reference

- [1] F. Dvořák a P. Jankov, „Británie nařídí elektroauta od roku 2030. Kalifornie je nemá jak nabít,“ idnes.cz, listopad 2020. [Online]. Available: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/britanie-johnson-konec-spalovaci-motor-elektromobil-hybrid-kalifornie-2030-2035.A201004_212700_automoto_mom.
- [2] A. Moser a A. Klettke, „European Commission. Effect of electromobility on the power system and the integration of RES S13 Report,“ June 2018. [Online].
- [3] „Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V. K., & Yong, J. Y. (2016). Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 720–732.“.
- [4] „Tu, Yi Yun, et al. “Electric Vehicles and the Vehicle-to-Grid Technology.” *Advanced Materials Research*, vol. 433-440, 2012, pp. 4361–4365.“.
- [5] „Habib, Salman, et al. “Impact Analysis of Vehicle-to-Grid Technology and Charging Strategies of Electric Vehicles on Distribution Networks – A Review.” *Journal of Power Sources*, vol. 277, Mar. 2015, pp. 205–214,“.
- [6] „Valsera Naranjo, Eduardo, et al. “Deterministic and Probabilistic Assessment of the Impact of the Electrical Vehicles on the Power Grid.” *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol. 1, no. 08, Apr. 2010, pp. 1505–1509“.
- [7] „Kempton, Willett, and Steven E. Letendre. “Electric Vehicles as a New Power Source for Electric Utilities.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, no. 3, Sept. 1997, pp. 157–175,“.
- [8] „Kempton, Willett, and Jasna Tomić. “Vehicle-to-Grid Power Fundamentals: Calculating Capacity and Net Revenue.” *Journal of Power Sources*, vol. 144, no. 1, June 2005, pp. 268–279,“.
- [9] „“Xconomy: Startup Pioneers EV-to-Grid Technology in Pilot at UC San Diego.” Xconomy, 16 June 2017, xconomy.com/san-diego/2017/06/16/startup-pioneers-ev-to-grid-technology-in-pilot-at-uc-san-diego/,“ [Online].
- [10] „Robledo, Carla B., et al. “Integrating a Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle with Vehicle-to-Grid Technology, Photovoltaic Power and a Residential Building.” *Applied Energy*, vol. 215, Apr. 2018, pp. 615–629“.
- [11] „Saxena, Samveg. “V2G-Sim.” V2gsim.Lbl.Gov, 2015, v2gsim.lbl.gov/home,“ [Online].
- [12] „Sovacool, Benjamin K, et al. “The Neglected Social Dimensions to a Vehicle-to-Grid (V2G) Transition: A Critical and Systematic Review.” *Environmental Research Letters*, vol. 13, no. 1, 1 Jan. 2018“.
- [13] Noel, Lance, et al. *Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition beyond Electric Mobility*. Cham, Switzerland, Palgrave Macmillan, 2019..
- [14] „Pentland, William. Nissan Pilots Vehicle-To-Grid Technology In Denmark. 8 Dec. 2005, www.forbes.com/sites/williampentland/2015/12/08/nissan-pilots-vehicle-to-grid-technology-in-denmark/#2a64729d25ab,“ [Online].
- [15] N. M. Corporation, „Nissan, Enel and Nuvve operate world’s first fully commercial vehicle-to-grid hub in Denmark,“ 2016. [Online]. Available: <https://europe.nissannews.com/en-GB/releases/release-149186-nissan-enel-and-nuvve-operate-world-s-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark>.

- [16] J. Shepard, „Nissan and Enel launch V2G Project in the UK,“ 2016. [Online]. Available: <https://eepower.com/news/nissan-and-enel-launch-v2g-project-in-the-uk/#>.
- [17] C. Werwitzke, „British consortium kicks off Octopus V2G project,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.electrive.com/2018/01/26/british-consortium-kicks-off-octopus-v2g-project/>.
- [18] M. d. Prez, „EON and Nissan begin fleet V2G trial,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.fleetnews.co.uk/news/latest-fleet-news/electric-fleet-news/2020/08/07/eon-and-nissan-begin-fleet-v2g-trial>.
- [19] J. Vernon, „US Military going green with Kisensum V2G project,“ 2017. [Online]. Available: <https://rethinkresearch.biz/articles/us-military-going-green-kisensum-v2g-project/>.
- [20] G. C. Congress, „Nissan LEAF helps power company’s NA facilities with V2G; Nissan Energy,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.greencarcongress.com/2018/11/20181128-nissan.html>.
- [21] N. Manthey, „DE: Nissan & partners complete V2G pilot for renewables,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.electrive.com/2020/03/19/de-nissan-partners-complete-v2g-pilot-for-renewables/>.
- [22] M. Kane, „Nissan Demonstrates LEAF Vehicle-to-Grid (V2G) In Chile,“ 2019. [Online]. Available: <https://insideevs.com/news/360948/nissan-demonstrates-vehicle-to-grid-v2g-chile/>.
- [23] Nissan, „Nissan LEAF to light up Australia: Industry-first vehicle-to-grid charging technology launched at Realising Electric Vehicles Services (REVS) in ACT,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.nissan.com.au/about-nissan/news-and-events/news/2020/July/nissan-leaf-to-light-up-australia.html>.
- [24] D. Energy, „Dominion Energy Moves Forward with Electric School Bus Program,“ Dominion Energy, January 2020. [Online]. Available: <https://news.dominionenergy.com/2020-01-16-Dominion-Energy-Moves-Forward-with-Electric-School-Bus-Program>.
- [25] E. & EVConsult, „V2G GLOBAL ROADTRIP: AROUND THE WORLD IN 50 PROJECTS,“ October 2018. [Online]. Available: <https://innovation.ukpowernetworks.co.uk/wp-content/uploads/2018/12/V2G-Global-Roadtrip-Around-the-World-in-50-Projects.pdf>.
- [26] M. Lempriere, „World's largest V2G project dubbed Bus2Grid launched in London,“ August 2020. [Online]. Available: <https://www.current-news.co.uk/news/worlds-largest-v2g-project-dubbed-bus2grid-launched-in-london>.
- [27] G. I. A. V. Georgiadou, „Removing the last hurdle to EV’s integration: policies and regulations overdue make-over,“ Amsterdam, 2017.
- [28] „European Commission,“ v *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on common rules for the internal market in electricity. COM(2016) 864 final/2 ,Brussels 2017..*
- [29] „European Commission: Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the internal market for electricity. COM(2016) 861 final/2, Brussels 2017.,“ [Online].
- [30] J. Budín, „ČEPS vyslyšela volání trhu a zavádí pro baterie možnost samostatného poskytování podpůrných služeb,“ O Energetice, August 2020. [Online]. Available: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/ceps-vyslyšela-volani-trhu-zavadi-baterie-moznost-samostatneho-poskytovani-podpurnych-sluzeb>.
- [31] Eurobat, „Battery energy storage in the EU: barriers, opportunities, services and benefits,“ 2016. [Online]. Available: http://www.eurobat.org/images/news/publications/eurobat_batteryenergystorage_web.pdf.
- [32] „Christensen B, Trahand M, Andersen PB, Olesen OJ, Thingvad A. Integration of new technology in the ancillary service markets,“ 2018. [Online]. Available: <https://parker-project.com/wp->

content/uploads/2018/04/Report-Pilot-project-Integration-of-new-technology-in-Ancillary-service-markets.pdf.

- [33] „Publications Office of the European Union. “Effect of Electromobility on the Power System and the Integration of RES : Study S13.” Op.Europa.Eu, 2 May 2019,“ [Online].
- [34] „Coordination Office CharIN c/o innos, GmbH,“ Grid Integration Levels 2020-02-18 Version 5.1, [Online]. Available:
https://www.charinev.org/fileadmin/Downloads/Papers_and_Regulations/CharIN_Levels_Grid_Integration_v5.1.pdf.
- [35] B. University, „BU-1003: Electric Vehicle (EV),“ 2020. [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev.
- [36] J. Svarc, „Lead-acid Vs lithium-ion batteries,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/simplifi-pylontech-narada-bae-lead-acid-battery>.
- [37] B. University, „BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries,“ [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries.
- [38] „Chen, Xiaopeng, et al. “An Overview of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles.” 2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC), 2012,“.
- [39] „Murnane, Martin, and Adel Ghazel. A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries.“.
- [40] P. Hrzina, „Cykly a životnost baterie,“ 2020. [Online]. Available: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>.
- [41] „Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2013). Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. IEEE Transactions on Power Electronics, 28(5), 2151–2169.“.
- [42] T. M. house, „Charging cable and plug types,“ [Online]. Available: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-cable-and-plug-types.
- [43] C. Lilly, „EV connector types,“ April 2020. [Online]. Available: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>.
- [44] „EV charging connector types and speeds,“ Pod point, [Online]. Available: <https://pod-point.com/guides/driver/ev-connector-types-speed>.
- [45] „Charging point connector types – Explained,“ Electric Car Home, [Online]. Available: <https://electriccarhome.co.uk/charging-points/charging-point-connector-types/>.
- [46] „Lee, Chan-Song, et al. “A Study on Development of 1.5 [KW] Low-Cost Battery Charger for NEVs(Neighborhood Electric Vehicles).” The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 61, no. 4, 1 Apr. 2012, pp. 574–579“.
- [47] a. ČEPS, „Pravidla provozování přenosové soustavy.KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY Část II.Podpůrné služby (PpS),“ leden 2021. [Online]. Available: <https://www.ceps.cz>.
- [48] „Peterson, Scott B., et al. “Lithium-Ion Battery Cell Degradation Resulting from Realistic Vehicle and Vehicle-to-Grid Utilization.” Journal of Power Sources, vol. 195, no. 8, 2010, pp. 2385–2392., doi:10.1016/j.jpowsour.2009.10.010.“.

- [49] „Bishop, J. D., Axon, C. J., Bonilla, D., Tran, M., Banister, D., & McCulloch, M. D. (2013). Evaluating the impact of v2g services on the degradation of batteries in phev and ev. *Applied Energy*, 111, 206-218. doi:10.1016/j.apenergy.2013.04.094“.
- [50] „Zhao, Y., Noori, M., & Tatari, O. (2016). Vehicle to Grid regulation services of electric delivery trucks: Economic and environmental benefit analysis. *Applied Energy*, 170, 161-175. doi:10.1016/j.apenergy.2016.02.097“.
- [51] „Lunz, B., Walz, H., & Sauer, D. U. (2011). Optimizing vehicle-to-grid charging strategies using genetic algorithms under the consideration of battery aging. 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. doi:10.1109/vppc.2011.6043021“.
- [52] „De Los Rios, A., Goentzel, J., Nordstrom, K. E., & Siegert, C. W. (2012). Economic analysis of vehicle-to-grid (V2G)-ENABLED Fleets participating in the regulation service market. 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). doi:10.1109/is“.
- [53] „Paffumi, Elena, et al. “European-Wide Study on Big Data for Supporting Road Transport Policy.” *Case Studies on Transport Policy*, vol. 6, no. 4, 2018, pp. 785–802., doi:10.1016/j.cstp.2018.10.001“.
- [54] „Noel, L., & McCormack, R. (2014). A cost benefit analysis of a V2G-capable electric school bus compared to a traditional diesel school bus. *Applied Energy*, 126, 246-255. doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.009“.
- [55] StreetScooter, „StreetScooter-WORK-MY19-Preise-und-technische-Date,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.streetscooter.com/wp-content/uploads/2019/12/StreetScooter-WORK-MY19-Preise-und-technische-Daten.pdf>.
- [56] GWL, „LiFePO4 cycle-life based on DOD,“ 2015. [Online]. Available: <https://shop.gwl.eu/blog/LiFePO4/FAQ-LiFePO4-cycle-life-based-on-DOD.html>.
- [57] J. Horčík, „BMW dodává baterie pro poštovní elektromobily DHL StreetScooter,“ 2018. [Online]. Available: <http://www.hybrid.cz/bmw-dodava-baterie-pro-postovni-elektromobily-dhl-streetscooter>.
- [58] J. Crosse, „Under the skin: The quest for perfection in EV battery tech,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.autocar.co.uk/car-news/technology/under-skin-quest-perfection-ev-battery-tech>.
- [59] T. B. Lee, „Battery prices have fallen 88 percent over the last decade,“ *Arstechnica*, December 2020. [Online]. Available: <https://arstechnica.com/science/2020/12/battery-prices-have-fallen-88-percent-over-the-last-decade/>.
- [60] „Bhandari, V., Sun, K., & Homans, F. (2018). The profitability of vehicle to grid for system participants - a case study from the Electricity Reliability Council of Texas. *Energy*, 153, 278-286. doi:10.1016/j.energy.2018.04.038“.
- [61] „Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology. 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). doi:10.1109/ecce.2012.6342356“.
- [62] „Daehan Park, Seungwook Yoon, & Euseok Hwang. (2016). Cost benefit analysis of public service electric vehicles with vehicle-to-grid (v2g) capability. 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). doi:“.
- [63] „Cui, Q., Bai, X., Zhu, S., & Huang, B. (2016). Cost-benefit calculation and analysis of v2g system. 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED). doi:10.1109/ciced.2016.7576284“.
- [64] EUROSTAT, „Wind and water provide most renewable electricity,“ January 2021. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210108-1>.

- [65] M. Švarc, „Je běžný automobil ekologičtější než elektromobil?“, Energy Globe, [Online]. Available: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/je-bezny-automobil-ekologictesi-nez-elektromobil>.
- [66] ČTK, „Počet elektromobilů ve světě roste, v ČR jich je přes 4000“, Auto, August 2020. [Online]. Available: <https://www.auto.cz/pocet-elektromobilu-ve-svete-roste-v-cr-jich-je-pres-4000-135804>.
- [67] ČTK, „Norsko je první zemí na světě, kde se prodalo víc elektromobilů než ostatních aut“, Lidovky, January 2021. [Online]. Available: https://www.lidovky.cz/byznys/auto/norsko-je-prvni-zemi-na-svete-kde-se-prodalo-vic-elektromobilu-nez-ostatnich-aut.A210105_122836_In-auto_cek.
- [68] ARVAL, „Průzkum - Arval Mobility Observatory“, ARVAL, September 2019. [Online]. Available: <https://www.arval.cz/cs/pruzkum-arval-mobility-observatory>.
- [69] D. Žák, „Firemní vs. soukromí zákazníci: jak byl rozdělen český trh v roce 2015“, Autorevue, January 2016. [Online]. Available: <https://www.autorevue.cz/firemni-vs-soukromi-zakaznici-jak-byl-rozdelen-cesky-trh-v-roce-2015>.
- [70] Autoweb, „Statistika firemních prodejů aut: Nejvíce se kupují na leasing, uhodnete ale nejoblíbenější značku?“, June 2019. [Online]. Available: <https://www.autoweb.cz/statistika-firemnych-prodeju-aut-nejvice-se-kupuji-leasing-uhodnete-nejjoblibenejsi-znacku/>.
- [71] „Giorgetti, Marco, and Lorenzo Stievano. “X-Ray Absorption Spectroscopy Study of Battery Materials.” X-Ray Characterization of Nanostructured Energy Materials by Synchrotron Radiation, 22 Mar. 2017, 10.5772/66868.“.
- [72] „Deng, Da. “Li-Ion Batteries: Basics, Progress, and Challenges.” Energy Science & Engineering, vol. 3, no. 5, Sept. 2015, pp. 385–418,“.
- [73] „Ziemann, S., et al. “The Future of Mobility and Its Critical Raw Materials.” Revue de Métallurgie, vol. 110, no. 1, 2013, pp. 47–54“.
- [74] „He, X. and Wu, X., 2018. Eco-driving advisory strategies for a platoon of mixed gasoline and electric vehicles in a connected vehicle system. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 63, pp.907-922.“.
- [75] M. Vítík, „ČP Security bude díky novým elektromobilům jezdit „Bezpečně a bez emisí““, [Online]. Available: <https://www.ceskaposta.cz/en/-/cp-security-bude-diky-novym-elektromobilum-jezdit-bezpecne-a-bez-emisi->.
- [76] PowerTech, „Life-cycle of Lithium Iron Phosphate technology (LiFePO4)“, [Online]. Available: <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-iron-phosphate-lifepo4/>. [Přístup získán 2021].
- [77] J. Budín, „ČEPS v novém návrhu pravidel otevírá bateriím celý trh s podpůrnými službami“, O energetice, April 2018. [Online]. Available: <https://oenergetice.cz/prenos-elekriny/ceps-novem-navrhu-pravidel-otevira-bateriim-cely-trh-podpurnymi-sluzbami>.
- [78] R. Prohaska, M. Simpson, A. Ragatz, K. Kenneth, K. Smith a K. Walkowicz, „Field Evaluation of Medium-Duty Plug-in Electric Delivery Trucks“, NREL, December 2016. [Online]. Available: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/field_evaluation_md_elec_delivery_trucks.pdf.
- [79] V2G-EVSE, „V2G-EVSE“, 13 August 2020. [Online]. Available: <https://www.v2g-evse.com/blog/>.