



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# ELEKTROMOBIL JAKO SOUČÁST CHYTRÉ DOMÁCNOSTI

THE ELECTRIC CAR AS PART OF A SMART HOME

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Peichl

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

BRNO 2022



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Ondřej Peichl**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Elektromobil jako součást chytré domácnosti

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis možnosti zapojení moderního elektromobilu do systému chytré domácnosti, případně chytré rozvodné sítě. Spolupráce s řídicím systémem chytré domácnosti. Popis technologií pro nabíjení elektromobilů z elektrické sítě v rodinných domech, možnosti plánování nabíjení. Spolupráce s domácími fotovoltaickými elektrárnami.

### Cíle bakalářské práce:

Do práce má být zahrnuto porovnání možností a rozvoje technologií, které se označují jako "Vehicle to building (V2B)", "Vehicle to home (V2H)" a „Vehicle to grid (V2G)". Jaké jsou možnosti rozvoje těchto technologií v České republice a ve světě. Připravenost výrobních elektromobilů pro tyto technologie. Možnosti využití domácích fotovoltaických elektráren pro nabíjení elektromobilu. Využití baterie elektromobilu jako součásti chytré elektrické sítě. Platba za elektřinu domácnosti a elektromobilu, současný stav a možnosti vývoje.

### Seznam doporučené literatury:

LI Canbing, CAO Yijia, KUANG Yonghong, ZHOU Bin. Influences of Electric Vehicles on Power System and Key Technologies of Vehicle-to-Grid. 1. Beijing: Springer, 2016. ISBN 978-3-662-49362-5.

NOEL, Lance, ZARAZUA DE RUBENS Gerardo, KESTER Johannes, K. SOVACOOOL Benjamin. Vehicle-to-grid: a sociotechnical transition beyond electric mobility. Cham: Palgrave Macmillan, [2019]. Energy, climate and the environment. ISBN 978-3-030-04863-1.

ALAM, Mohammad Saad, KRISHNAMURTHY Mahesh. Electric Vehicle Integration in a Smart Microgrid Environment. 1. Boca Raton: Tazlor&Francis Group, 2021. ISBN 978-3-030-34447-4.

PISTOIA, G. Electric and hybrid vehicles: power sources, models, sustainability, infrastructure and the market. 1. Boston: Elsevier, [2010]. ISBN 978-0-444-53565-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22.

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato práce poskytuje přehled o technologiích, které mohou být součástí elektromobilu. Mezi tyto technologie patří Vehicle to Grid, Vehicle to Building, Vehicle to Home a další. U těchto technologií bude popsána jejich podstata, vlastnosti, možnosti rozvoje a integrace v České republice a ve světě. Druhá část práce se zabývá připojením elektromobilu k chytré domácnosti a jeho spolupráci s ostatními součástmi chytré domácnosti, mezi které patří například domácí fotovoltaická elektrárna, řídicí systém nebo wallbox. V závěru práce je navržen konkrétní chytrý dům, u kterého byla spočítána spotřeba elektřiny za domácnost, za elektromobil a také to, jaké množství z této spotřeby dokáže pokrýt domácí fotovoltaická elektrárna.

## KLÍČOVÁ SLOVA

elektromobil, elektromobilita, chytrá domácnost, vehicle to grid, vehicle to building, vehicle to home, fotovoltaická elektrárna, wallbox, nabíjení

## ABSTRACT

This thesis provides an overview of technologies that can be a part of an electric car. These technologies include Vehicle to Grid, Vehicle to Building, Vehicle to Home, etc. The principle, properties, possibilities of development and integration in the Czech Republic and in the world will be described for these technologies. The second part of the thesis will deal with the connection of an electric car to a smart home and its cooperation with other components of the smart home, such as home photovoltaic power plant, control system or wallbox. At the end of the thesis is designed a specific smart house, which was calculated the consumption of electricity for the household, for the electric car and also how much of this consumption can cover the home photovoltaic power plant.

## KEYWORDS

electric car, electromobility, smart home, vehicle to grid, vehicle to building, vehicle to home, photovoltaic power plant, wallbox, charging

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEICHL, O. *Elektromobil jako součást chytré domácnosti*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Josef Štětina. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140544>.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Josefa Štětiny, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Ondřej Peichl

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce prof. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.



# OBSAH

Úvod.....	11
<b>1 Vehicle to grid (V2G) .....</b>	<b>12</b>
1.1 Co to je V2G .....	12
1.2 Aplikace V2G .....	13
1.3 Výhody V2G.....	14
1.3.1 Ekonomické výhody .....	15
1.3.2 Společenské výhody .....	15
1.4 Technické možnosti a rozvoj V2G .....	15
1.4.1 Degradace baterie .....	16
1.4.2 Agregace a komunikace .....	17
1.4.3 Účinnost nabíječky .....	17
1.5 Ekonomické možnosti a rozvoj V2G.....	17
1.5.1 Náklady a výnosy .....	18
1.5.2 Další rozvoj struktury V2G .....	18
1.6 Integrace EV s V2G .....	19
1.6.1 Integrace společností .....	19
1.6.2 Možná omezení při integraci EV do celého světa .....	19
<b>2 V2B, V2H a další technologie .....</b>	<b>20</b>
2.1 Vehicle to building (V2B) .....	20
2.1.1 V2B v praxi .....	21
2.1.2 Ekonomika systému V2B .....	22
2.1.3 Budoucnost V2B .....	22
2.2 Vehicle to home (V2H).....	22
2.3 Další možnosti připojení EV.....	23
2.3.1 V2L.....	23
2.3.2 V2V .....	23
2.3.3 V2C.....	23
2.3.4 V2X .....	24
2.3.5 Porovnání možností a připravenosti EV pro tyto technologie.....	24
<b>3 Chytrá domácnost.....</b>	<b>25</b>
3.1 Před zapojením EV do chytré domácnosti.....	26
3.1.1 Nabíječky .....	26
3.1.2 Normy .....	26
3.1.3 Úrovně .....	26
3.1.4 Režimy .....	27
3.1.5 Typy.....	27
3.2 Spolupráce EV s chytrou domácností .....	28
3.2.1 Spolupráce s řídicím systémem .....	28
3.2.2 Spolupráce s domácí fotovoltaickou elektrárnou .....	28
3.2.3 Energetické režimy a ekonomická analýza domu .....	28
3.3 Popis technologií pro nabíjení elektromobilů z elektrické sítě v rodinných domech	30
3.3.1 Wallbox .....	30
3.3.2 Průběh nabíjení .....	31
3.3.3 Doporučené wallboxy na trhu .....	31

---

3.3.4	Plánování nabíjení.....	32
3.4	Platba za elektřinu domácnosti a elektromobilu.....	32
<b>4</b>	<b>Popis konkrétního chytrého domu .....</b>	<b>35</b>
4.1	Pořízení EV .....	35
4.2	Pořízení FV elektrárny .....	36
4.3	Energetická zátěž domácnosti .....	37
4.4	Platba za elektřinu konkrétního domu a platba za nabíjení EV .....	38
	<b>Závěr .....</b>	<b>40</b>
	<b>Použité informační zdroje .....</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>48</b>



## ÚVOD

V dnešní době se stává často skloňovaným tématem elektromobilita. Toto téma je důležité nejen z hlediska snížení poškozování životního prostředí klasickými spalovacími motory, ale také z hlediska modernizace elektrických sítí, ve kterých by mohly hrát elektromobily významnou roli, a to jak při uskladňování, tak i v přesouvání elektrické energie. Jelikož roste zájem o výrobu energie z obnovitelných zdrojů, tak roste zájem i o úložiště energie. Odpověď by se mohla najít právě v elektromobilitě.

Hlavním cílem této práce je zvýšit veřejnou povědomost o technologiích, které mohou být součástí elektromobilu, také porovnat jejich možnosti a rozvoj v ČR a ve světě. Tyto technologie se označují jako Vehicle to Grid, Vehicle to Building, Vehicle to Home atd. Pomocí těchto technologií a jejich výhod by se měla integrace elektromobilů do budoucna zrychlit. Mezi další cíle patří objasnění připravenosti vyráběných EV pro tyto technologie.

Druhá polovina práce bude věnována popsání chytré domácnosti a jejích součástí, mezi které bude zařazen i elektromobil a domácí fotovoltaická elektrárna. Nejdříve bude popsáno, jakými způsoby se elektromobil může k chytré domácnosti připojit. Dále bude popsána platba za elektřinu domácnosti a elektromobilu, která také patří mezi cíle práce. A nakonec budou teoreticky nabitě informace použity pro sestavení konkrétního/modelového chytrého domu.

# 1 VEHICLE TO GRID (V2G)

Pojem Vehicle to grid (V2G) znamená, že elektromobil (respektive jeho baterie) poskytuje úložný prostor pro elektrickou síť [1]. Pokud je potřeba přebytečnou obnovitelnou energií uložit, tak se uloží pomocí nabití elektromobilu. A naopak, pokud je spotřeba elektrické energie v síti vysoká, lze použít energii z akumulátoru elektromobilu a tím zlepšit flexibilitu sítě [2]. V2G tedy dokáže efektivně řídit elektrickou síť a bránit využívání fosilních paliv, a tudíž má i pozitivní dopad na životní prostředí.

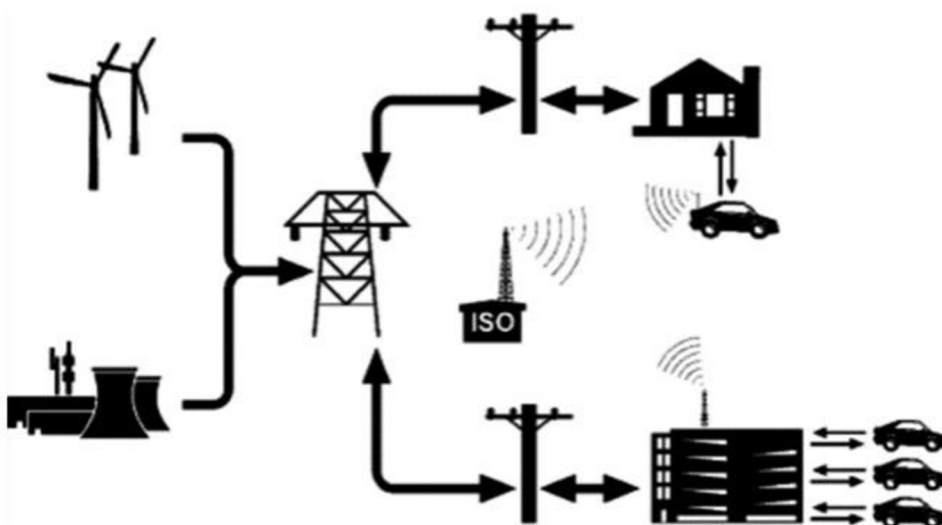
Elektrická vozidla (dále jen EV) se v dnešní době prodávají v poměrně malé míře, ale výhody technologie V2G by tento trend mohly zvrátit.[1] Teoretické výzkumy o technologii V2G jsou poměrně rychlé, ale jejich skutečné využití v praxi je omezeno jen na několik pilotních projektů na celém světě [1]. Nicméně tyto pilotní projekty vstupují do komerčního provozu a na vývoj se investují nemalé peníze. Například v roce 2018 vláda spojeného království investovala 30 milionů liber do projektů zaměřených na V2G [3].

Budoucnost V2G vypadá nadějně, předpovídá se, že V2G bude základní formou úložiště pro elektrickou síť a že se stane dominantní technologií v energetickém systému. Lze si tedy představit, že používání V2G se stane standardem a součástí každodenního života společnosti.

## 1.1 CO TO JE V2G

Tento termín nám poprvé formálně představili pan Kempton a pan Letendre v jejich knize z roku 1997, podle nich V2G slouží k poskytování úložiště pro elektrickou síť. EV jsou ve výchozím nastavení připojena k síti z důvodu nabíjení baterie, ale bez V2G by nemohla vrátit energii zpět do sítě. V2G tedy umožňuje obousměrnou komunikaci a napájení mezi EV a elektrickou sítí [4].

K vybudování V2G jsou potřeba 3 věci: specializovaná nabíječka, komunikační kapacita a obousměrné napájení [1]. Nabíječka má dva důležité parametry, kapacitu a umístění. Buď je umístěna ve vozidle, nebo mimo vozidlo. Velikost kapacity nabíječky je důležitá pro ekonomiku a agregaci EV.

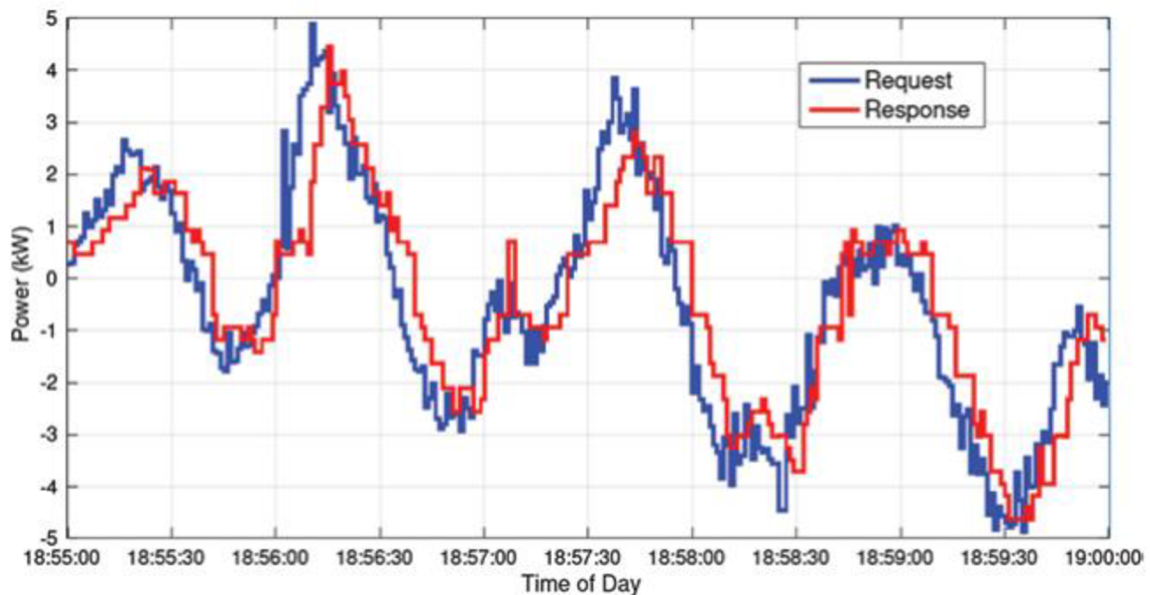


Obr. 1 Schéma systému V2G [5]

Dalším aspektem systému V2G je agregátor, který funguje jako CPU systému, i přesto však není pro technické fungování systému nutný. Systém totiž může obdržet signály přímo od provozovatele elektrické sítě. Dva tyto potenciální způsoby jsou znázorněny na obrázku 1. V pravém horním rohu je znázorněno obdržení elektrických signálů přímo do EV a v pravém dolním rohu je znázorněno obdržení elektrických signálů skrze agregátor třetí strany [5]. V praxi se systémy často spoléhají na spojení individuálních EV do jednoho zdroje a používání jednoho agregátoru, který má přehled o tom, kolik EV je v danou chvíli připojeno a díky této informaci zjistí dostupný výkon, který lze použít pro služby sítě v konkrétních časech [1].

Agregátor má tedy ekonomickou výhodu oproti přímé komunikaci se sítí. Mezi další výhody agregátoru patří flexibilita a stabilita, které jsou způsobeny díky implementaci prediktivních nebo řídicích algoritmů [1]. Tyto algoritmy jsou schopné optimalizovat svou agregovanou kapacitu a kontrolovat vyrovnávání toků energií mezi různými EV a potřebami jejich řidičů.

V2G musí mít měřič s vysokou spolehlivostí, který měří napájení do sítě nebo ze sítě [1]. Toto měření je zachyceno na obrázku 2. Modrá křivka znázorňuje množství, o které si požádal operátor elektrické sítě, a červená křivka znázorňuje energii, kterou EV poskytlo. Grafy jsou částečně posunuty, to je zapříčiněno časovým zpožděním, které nabývá hodnot 1 až 3 sekundy.



Obr. 2 Měření napájení během pětiminutového časového úseku [1]

Power – energie  
Time of day – denní doba  
Request – požadavek  
Response – odpověď

## 1.2 APLIKACE V2G

Systém V2G dokáže rychle reagovat, na druhou stranu má ale omezenou kapacitu výroby energie a pokud ho porovnáme s ostatními účastníky na trhu s elektrickou energií, tak jsou jeho náklady na jednotku energie vyšší. Poptávka po elektrické energii a od ní odvozená cena elektrické energie se během dne poměrně liší, proto se v nejvytíženější době, kdy je cena energie nejvyšší, vyplatí použití energií ze systému V2G. Další možností využití V2G je v době neočekávaných výpadků dodávky elektrické sítě nebo při jiných mimořádných událostech [1].

V dnešní době roste zájem o výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů pomocí větrných a slunečních elektráren. Naneštěstí problémem těchto elektráren je přerušovaná povaha dodávky energie závislá na aktuálním počasí, která způsobuje energetické bilance ve výrobě energie [1]. Právě tento vzrůstající problém by se v budoucnu mohl vyřešit implementací systému V2G mezi větší procento populace. Na druhou stranu úbytek větru nebo slunečního záření může trvat i po dobu několika dnů, a na to zatím není kapacita V2G uzpůsobena.

Jak tedy V2G pro vlastníka EV funguje? Jakmile vlastník připojí EV do systému, oznámí tuto akci agregátoru a nastaví očekávaný čas dalšího odjezdu [1]. Po tuto dobu, kdy je EV připojeno do systému, vydělává peníze. Výnosnost V2G je ale silně ovlivněna daňovými předpisy pro účastníky elektrické sítě v dané lokalitě.

Aplikace V2G je také závislá na mezinárodních a národních standardech, na nevládních organizacích, které lobují u vlády za více pro-environmentální legislativy, a samozřejmě také na počtu EV, které podporují systém V2G [1].

### 1.3 VÝHODY V2G

Ptáte se, jaké jsou výhody V2G? První výhodou je výhoda finanční, jak již bylo zmíněno výše, kdykoliv EV není používáno a je připojeno k agregátoru, tak vydělává peníze. Další výhodou je dekarbonizace elektrické sítě jak v krátkém, tak v dlouhodobém časovém měřítku. Jako výhodu lze brát i použití V2G jako krátkodobé záložní napájení domova [1]. Pro lepší znázornění dalších výhod systému je využito porovnání s ostatními běžně používanými formami uchování energie.

Tab. 1 Porovnání běžně používaných forem uchování energie [1]

Technologie skladování	Cena		Doba odezvy	Účinnost [%]	Náklady [miliardy \$]
	\$/kW	\$/kWh			
V2G	0	0-40	pár sekund	70-85	N/A
vodík	1500-3200	260-540	sekundy až minuty	40	6200
účelové baterie	1100-2500	500-800	pár sekund	70-90	7020
setrvačnický	870	4800	pár sekund	94	41 200
power-to-gas	850	N/A	sekundy až minuty	50	2300
stlačený vzduch	900-1300	40-109	9-12 minut	70-90	2800
přečerpávací hydroelektrárna	1400	68	pár sekund až minut	70-82	4300

Všechny technologie skladování energie, které jsou uvedeny v tabulce 1, mají své výhody a nevýhody, například setrvačnický jsou upřednostňovány pro krátkodobé skladování, naopak pro dlouhodobé skladování energie je vhodné použít stlačený vzduch [1]. Dále lze vyčíslit, že vodík má nejnižší účinnost a vysoké náklady. Přečerpávací vodní elektrárny jsou sice nejrozšířenější, ale taky jsou geograficky závislé. Z Tabulky 1 tedy plyne, že V2G nabízí nejcennější úložiště, protože je teoreticky „zdarma“ nebo pouze za cenu 40 \$/kWh, pokud se započte degradace baterie. V2G má i poměrně vysokou účinnost a rychlou odezvu oproti ostatním technologiím. Navíc se očekává, že účinnost V2G se v budoucnu ještě může zvýšit.

Samozřejmě V2G není dokonalé řešení. Na rozdíl od jiných technologií je vývoj závislý na počtu koncových spotřebitelů, kteří si EV s podporou V2G koupí a kteří budou souhlasit s připojením k agregátoru. Pokud by například provozovatel sítě požadoval 1000 MW úložiště a chtěl by využít systém V2G, tak by musel dát dohromady 100 000 spotřebitelů EV podporujících tento systém. Proto je v tuto chvíli pro naplnění těchto požadavků snadnější například nechat postavit přečerpávací vodní elektrárnu. Z toho příkladu vyplývá, že prozatím se systém V2G používá výhradně jako krátkodobé úložiště (řádově v sekundách a v minutách) [1].

### 1.3.1 EKONOMICKÉ VÝHODY

K bližšímu přiblížení ekonomických výhod slouží rovnice (1).

$$R = Pr_{FREQ} \times P_{MW} \times A, \quad (1)$$

kde  $R$  jsou roční výnosy (v \$),  $Pr_{FREQ}$  cena za regulaci frekvence (v \$/MWh),  $P_{MW}$  výkonová kapacita (v MW),  $A$  dostupnost připojení do systému V2G (v hodinách).

Jako příklad z USA použijeme Nissan Leaf připojený v největší elektrické síti světa, která vede z Chicaga do New Jersey [1]. Kapacitu EV budeme předpokládat 0,01 MW a připojení do systému V2G po dobu 15 hodin během pracovních dnů a po dobu 23 hodin během víkendů. Tento předpoklad zajišťuje připojení k systému asi 6300 hodin za rok. Průměrná cena za elektrickou energii v této síti byla v roce 2018 - \$34 za jednu MWh [6].

$$R = 34 \times 0,01 \times 6300 = 2142$$

Po dosažení těchto hodnot do rovnice (1) zjistíme, že teoretický výdělek Nissanu Leaf je \$2142. Ve skutečnosti by tato částka byla o něco nižší, jelikož by si část výděleku vzal agregátor třetí strany. Nissan Leaf z roku 2018 stál v USA po daňových úlevách \$22 490 [7], takže by teoreticky trvalo jen 10,5 roku, aby se zaplatil čistě z výnosů systému V2G. Je však nutné podotknout, že cena za regulaci energie se v průběhu času může výrazně měnit, ale tento výpočet je pouze orientační a pro tyto účely nám stačí jen hrubý odhad [1].

### 1.3.2 SPOLEČENSKÉ VÝHODY

Společenské výhody, které poskytuje systém V2G, jsou snížení škod na životním prostředí a zdraví v sektoru elektřiny i dopravy [1]. Při pohledu na sektor elektřiny lze přínos V2G rozdělit na vytěsnění současných účastníků trhu s doplňkovými službami a na rozsáhlé integraci obnovitelných zdrojů energie. Stávající systém poškozují životní prostředí, protože při výrobě elektrické energie unikají do ovzduší škodlivé plyny, které způsobují škody na životním prostředí, změnu klimatu i různé negativní důsledky pro lidské zdraví, jako jsou například rakovina plic, astma nebo jiné kardiovaskulární onemocnění.

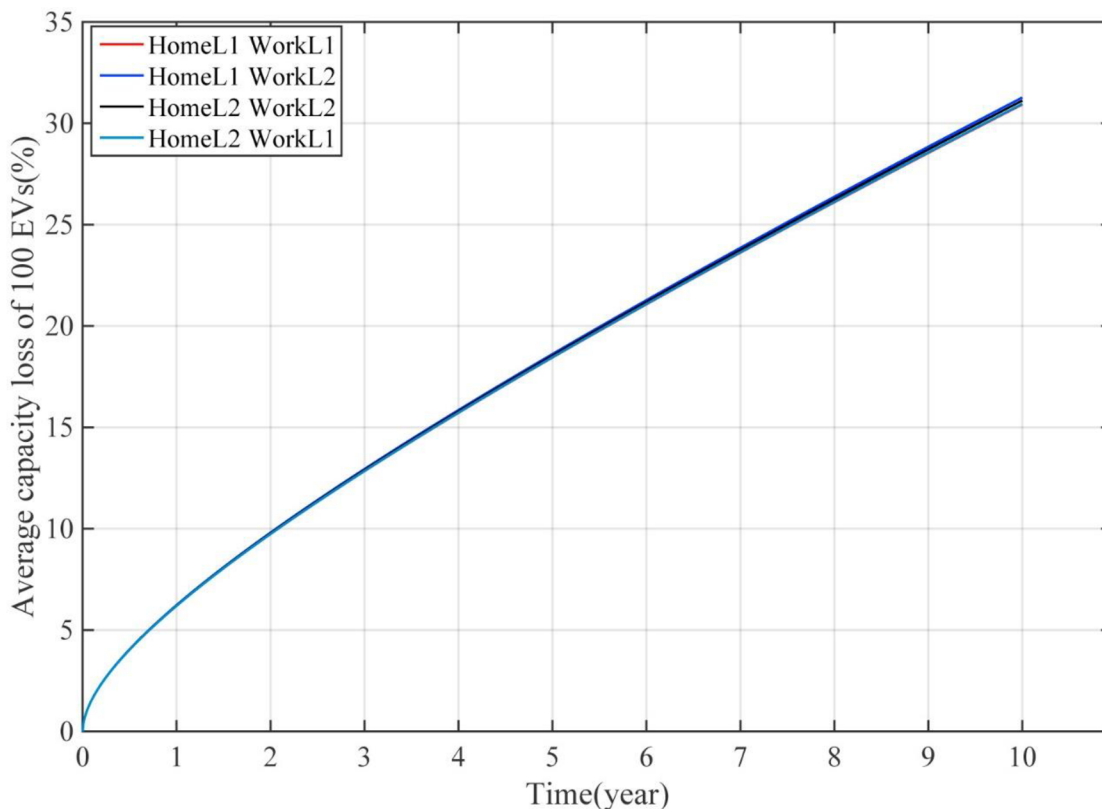
## 1.4 TECHNICKÉ MOŽNOSTI A ROZVOJ V2G

Rozšíření V2G a EV na spotřebitelský trh může být zdlouhavý a pomalý proces. Samotné elektromobily čelily značnému množství problémů při jejich šíření a v dnešní době představují v celosvětovém měřítku stále poměrně malé procento automobilů [8]. Nicméně jakmile ceny EV poklesnou, očekává se, že dojde k rychlému přechodu na EV. Je odhadováno, že podíl prodeje v Evropské unii (dále jen EU) by se v roce 2030 mohl pohybovat od 8 do 70 % [9], ale EV by stále představovala necelých 30 % z celkového počtu vozidel. Navíc prozatím není možné určit, jaký podíl těchto EV by bylo schopné podporovat systém V2G. Pokud by z těchto

30% byla všechna EV schopná používat V2G, tak by to pravděpodobně stačilo k poskytování všech doplňkových služeb pro provozovatele elektrických sítí. S velkou pravděpodobností by to ale stále nestačilo k poskytnutí dostatečné kapacity pro všechnu energii, která by byla vyrobena z obnovitelných zdrojů. Aby se tato kapacita zvětšila, bylo by nutné připojit k systému V2G i veřejnou dopravu [1].

### 1.4.1 DEGRADACE BATERIE

Velkou výzvou pro systémy V2G je degradace baterie v důsledku zvýšeného používání. Degradace baterie může časem způsobit ztrátu kapacity, která ovlivňuje maximální dojezd EV. Tento problém trápí i EV, která nepodporují V2G, a proto další zvětšení degradace při používání V2G problém pouze zhoršuje a bude mít negativní dopad na potenciální přijetí V2G. Hlavními příčinami degradace baterie jsou čas a množství energie vybité a poté nabité do baterie. Tyto příčiny jsou ovlivněny dalšími faktory jako jsou teplota baterie, počet cyklů nabití, energetická průchodnost a hloubka vybití [1].



Obr. 3 Odhadovaná ztráta kapacity baterie v průběhu času (bez V2G) [10]

Time (year) – čas (rok)  
Average capacity loss of 100 EVs (%) – Průměrná ztráta kapacity u 100 EV (%)

Jak lze vidět na obrázku 3, za průměrného jízdního chování se degradace baterie odhaduje asi na 31 % za 10 let [10]. Obrázek 3 také ukazuje, že degradace nemá pouze lineární charakter. I přes různé způsoby nabíjení doma a v práci, které lze vidět v legendě obrázku 3 (L1 je 1,4kW nabíječka a L2 je 7kW nabíječka), se jednotlivé křivky skoro přesně překrývají a to znamená, že různé způsoby nabíjení nemají výrazný vliv na ztrátu kapacity baterie [1].

Aby se degradace baterie co nejvíce snížila, je potřeba řídit teplotu baterie tak, aby se zabránilo přehřátí, ale zároveň i přílišnému chladnutí [1]. Přehřátí totiž způsobuje přímé snížení kapacity,



a chladnutí snižuje účinnost baterie, ze které vyplývá větší vybíjení. Správným řízením teploty lze snížit úbytek kapacity o 7 % [11].

#### 1.4.2 AGREGACE A KOMUNIKACE

Existují 4 klíčové oblasti, kterým je potřeba se více věnovat. První z nich je lepší porozumění ekonomických faktorů, mezi které patří například cena nabíjení a vybíjení. Druhá oblast je integrace EV, a to jak její prostorové, tak i časové rozložení. Další nedílnou oblastí jsou algoritmy, pomocí kterých lze minimalizovat energetické ztráty, a nakonec poslední oblast, která má za úkol praktickou implementaci teoretických výzkumů [12][10]. Pro rozvoj těchto oblastí je nutné zanalyzovat problémy a pokusit se pro ně najít řešení [1].

Pokud se bude systém V2G skládat z velkého počtu EV, systém bude shromažďovat obrovské množství dat a bude potřeba opravdu velké úložiště, nemluvě o složitosti analýzy takového množství dat. Při jejich sběru bude také nutné zajistit bezpečnost a soukromí, jelikož při znalosti těchto dat by bylo možné určit vzorce mobility jednotlivce a zjistit, kde se nachází podle toho, kdy a na jak dlouho bylo jeho EV připojeno k systému V2G [1].

Agregace a komunikace patří v současné době pouze mezi menší problémy systému V2G [1], ale pokud se má V2G stát dominantní technologií v odvětví dopravy a elektřiny, tak je třeba i tyto menší problémy vyřešit co nejlépe.

#### 1.4.3 ÚČINNOST NABÍJEČKY

Klíčovou technickou výzvou v systému V2G je celková účinnost odesílání energie do sítě a ze sítě. Účinnost má totiž podstatný dopad na nákladovou efektivitu systému. Energetické ztráty ovlivňují množství celkové energie, která se dostane ze sítě do baterií a z baterií zpět do sítě, v obou případech dojde ke ztrátám. Ke ztrátám energie může dojít i na transformátorech, v jističích a při nabíjení a vybíjení EV [1].

Jedním z řešení pro zvýšení účinnosti nabíječky je zakoupit tzv. wallbox. Wallbox je domácí dobíjecí stanice a v porovnání s běžnou zásuvkou je dvakrát až desetkrát efektivnější [13]. Dalším řešením může být použití řídicího algoritmu, který optimalizuje efektivitu. Tento algoritmus přijme všechny dostupné informace a poté je využije ke snížení ztrát buď během nabíjení, nebo při poskytování služeb V2G. Takový algoritmus dokáže snížit ztráty až o 8,5 % [1]. Do budoucna se očekává, že budou navrženy ještě lepší algoritmy, aby se účinnost maximalizovala.

### 1.5 EKONOMICKÉ MOŽNOSTI A ROZVOJ V2G

Ve srovnání s typickým benzínovým autem existuje několik dodatečných nákladů na EV a navíc i kupní cena EV je o něco vyšší. Na druhou stranu EV poskytují i výhody, mezi které patří například snížené náklady na palivo a nižší náklady na údržbu [1]. Jedním z faktorů, které ovlivňují nákladovou efektivitu EV, je délka vlastnictví vozidla. Existuje hned několik studií zabývajících se tímto srovnáním. Jedna z nich zjistila, že EV se stávají efektivnějšími po 5-7 letech používání (v závislosti na cestovní vytiženosti) [14]. Jiná studie zase zjistila, že EV se stává efektivnějším, když každý den ujede alespoň 50 km [15]. Toto srovnání se může lišit v řadě různých případů, ale i když EV nevyjdou ze srovnání efektivněji, tak zaostávají jen málo. Nejdůležitějším atributem v rámci ceny EV jsou náklady na baterii, které tvoří zhruba čtvrtinu ceny nového EV. Její potenciální výměna je asi nejpalčivějším problémem, a proto je třeba se zaměřit na snížení nákladů na novou baterii. [15]

### 1.5.1 NÁKLADY A VÝNOSY

V2G dokáže vydělat asi \$2100 za rok, ale z této hodnoty si třetinu až polovinu ponechá agregátor třetí strany. I kdyby si agregátor vzal polovinu této částky, celkové náklady na V2G, které činní okolo \$3300, by se pomocí tohoto výdělku zaplatili asi za 3 až 4 roky [1]. Životnost baterie 10 až 12 let vytváří z V2G jasný ekonomický doplněk k EV. Navíc vzhledem k tomu, že i bez V2G jsou EV cenově konkurenceschopné, může být V2G rozhodujícím faktorem ke koupi EV.

Problémem V2G by mohlo být dvojí zdanění (první při nabíjení EV a druhé při poskytování služeb V2G). Ve státech, kde jsou vysoké daňové sazby (např. Dánsko), by to mohlo vést až k tomu, že by se V2G prakticky nevyplatilo. I daně v ostatních státech snižují hospodárnost systému V2G asi o 30 %. To prodlužuje dobu návratnosti V2G asi na 5 až 6 let [1]. Řešením tohoto problému by mohlo být úplné osvobození od daní, ale to je vnímáno jako nespravedlivé. Spravedlivějším řešením by mohlo být přepracování daňových předpisů tak, aby se daně platily pouze za elektrickou energii spotřebovanou elektromobilem (energie ztracená v důsledku neefektivnosti a energie spotřebovaná při řízení). Jiné řešení by mohlo být zavedení flexibilních daní, které by systém V2G využilo ve svůj prospěch.

Kromě daní je dalším problémem až trochu ironicky politika obnovitelných zdrojů, jelikož producenti obnovitelných zdrojů dostávají finanční podporu, když je její nadbytečná výroba omezena, aby byla zajištěna stabilita sítě [1]. Přitom by bylo mnohem účinnější tuto nadbytečnou energii ukládat pomocí V2G a financovat raději rozvoj V2G. Jedním z řešení by mohlo být vyžadovat po producentech obnovitelné energie, aby jejich výroba byla doprovázena skladovacím místem. Každopádně tento příklad ukazuje, že by měl existovat komplexnější přístup k regulaci daní a dotací jak pro V2G, tak i pro obnovitelnou energii.

### 1.5.2 DALŠÍ ROZVOJ STRUKTURY V2G

Jak již bylo řečeno, v dnešní době se V2G používá hlavně jako krátkodobé úložiště. Do budoucna se ale očekává, že jakmile se zvýší počet EV, tak se V2G začne dostávat i na další trhy, mezi které patří např. krátkodobé a dlouhodobé vyvažování. Rozvoj V2G souvisí i s rozvojem chytrých sítí a supersítí. Supersítě využívá vysokonapěťového přenosu stejnosměrného proudu k rozšíření rozsahu elektrické sítě a spojení geograficky odlišných regionů, které se tak stanou stabilnějšími i včetně jejich řízení. V2G by mohlo pomoci budovat supersítě, ale to v dnešní době nemá až tak velký význam, jelikož pouze 30 až 50 % energie je vyrobeno z obnovitelných zdrojů. V chytrých sítích slouží V2G primárně jako úložná součást sítě [1].

Rozvoji V2G určitě pomůže i politika Evropské unie, která se snaží podporovat obnovitelné zdroje a snížit změny klimatu například prostřednictvím zákazu výroby aut se spalovacími motory od roku 2035 [16]. Tímto rozhodnutím by se mělo zvýšit množství prodaných EV a s tím i rozšíření systému V2G. Existuje řada dalších témat pro politické debaty, které by mohly systému V2G pomoci. Mezi tato témata patří například rozvoj veřejné dobíjecí infrastruktury, zadávání veřejných zakázek na výrobu EV nebo například parkování pro majitele EV zdarma [17]. Další politickou záležitostí by mohlo být určení finanční pobídky pro elektrickou síť, aby dosáhla určitého procenta obnovitelné elektřiny [1].

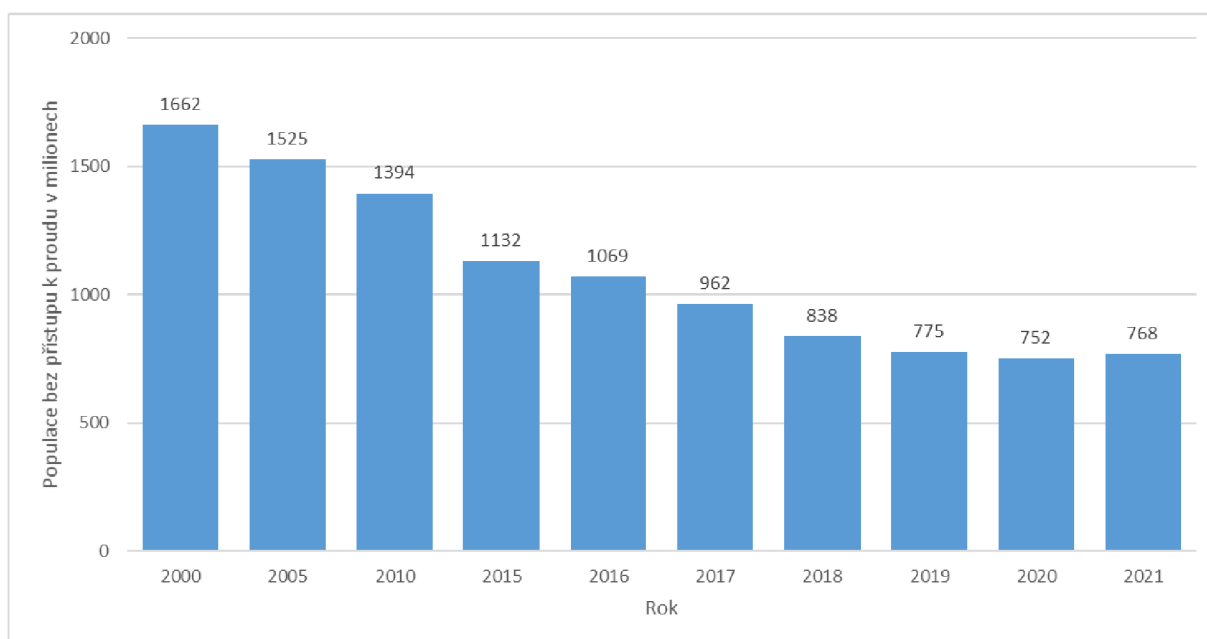
## 1.6 INTEGRACE EV S V2G

### 1.6.1 INTEGRACE SPOLEČNOSTÍ

Nejdůležitějším faktorem v rozvoji a integraci systému V2G je ochota spotřebitelů zapojit se do systému. Současné chápání V2G je značně omezené, to ale není překvapením, jelikož je systém poměrně nový. K tomu, aby měl systém V2G šanci motivovat spotřebitele EV k jeho přijetí, je potřeba zvýšit informovanost o výhodách a potenciálních hodnotách systému [1]. Přijetí ze strany spotřebitelů by mohl ovlivnit pocit ztráty svobody, strach z degradace baterie nebo složitost konceptu. Ztráta svobody je myšlena tak, že pokud spotřebitel náhle potřebuje ujet velké množství kilometrů, tak mu to není umožněno, jelikož baterie jeho EV není v tu chvíli dostatečně nabitá, protože její kapacita byla využita systémem V2G. Avšak tento scénář se prakticky nemůže stát, pokud bude spotřebitel správně předvídat, kdy a kam pojedete.

### 1.6.2 MOŽNÁ OMEZENÍ PŘI INTEGRACI EV DO CELÉHO SVĚTA

Rozšiřování EV do celého světa je omezeno například tím, že EV potřebují být v blízkosti elektrické sítě. Avšak ve venkovských oblastech světa, většinou v Africe a Asii, žije asi 768 milionů lidí bez přístupu k elektrické síti [18]. Jak lze vidět na obrázku 4, toto číslo má naštěstí v průběhu času klesající charakter, takže teoreticky by takto rozšiřování EV do celého světa nemělo být ovlivněno nebo pouze do malé míry.



Obr. 4 Graf počtu populace bez přístupu k elektrické síti v období od roku 2000 do roku 2021 (v milionech) [18]

Tradiční výrobci automobilů a jejich vliv určitě taky na integraci EV nepřispějí. Je důležité připomenout, že auta se spalovacími motory se stále vyvíjí a zlepšují a mohou tak zpomalit nebo úplně zastavit integraci EV. Dalším faktorem odporu by mohla být ztráta podnikání pro část autoservisů, protože údržba EV je jednodušší než údržba aut se spalovacími motory. Není totiž potřeba smogová kontrola, roční emisní kontrola ani výměna oleje. Činnost údržby a oprav generuje automobilním společnostem poměrně velké množství peněz, a proto se nejspíše budou nástupu elektromobilů silně bránit [1].

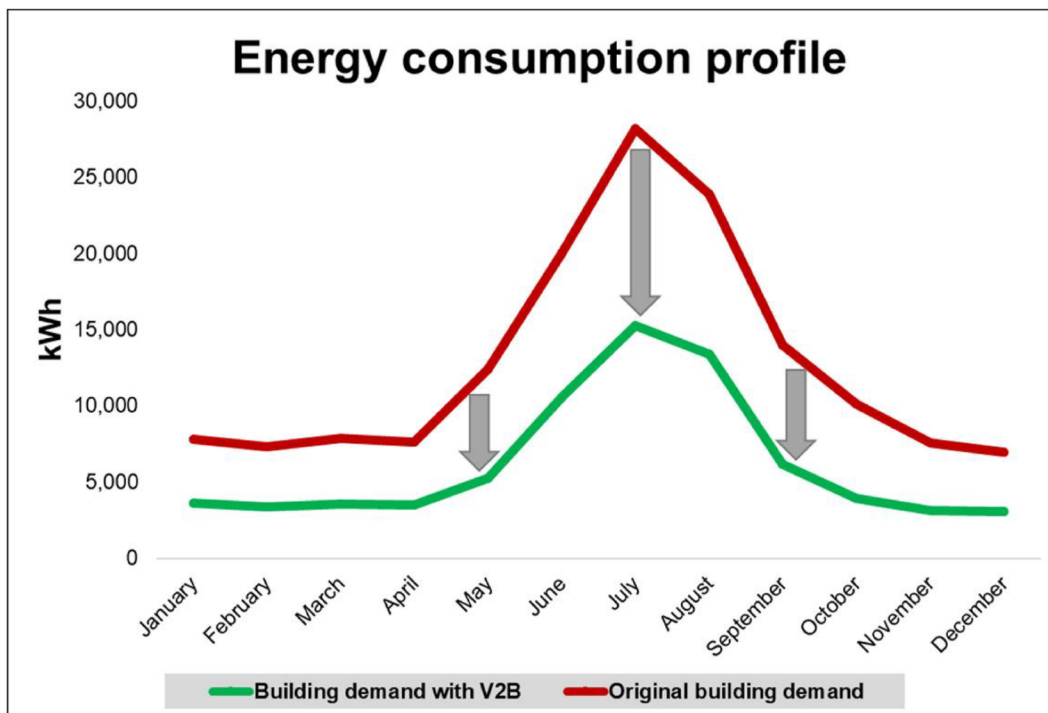
## 2 V2B, V2H A DALŠÍ TECHNOLOGIE

### 2.1 VEHICLE TO BUILDING (V2B)

Budovy jsou v zemích s moderní ekonomikou jedním z nejdůležitějších spotřebitelů energie. Zvýšení počtu EV, která by připojením k jednotlivým budovám fungovala jako jejich úložný prostor pro obnovitelnou energii, by pomohlo snížit poškozování životního prostředí. Vehicle to Building (V2B) a Vehicle to Home (V2H) jsou varianty systému V2G, jelikož všechny tyto systémy umožňují obousměrný průchod energie do sítě i ze sítě [19]. Zkombinování systémů V2G, V2H a V2B se může jevit jako jedna ze strategií, jak zvýšit počet EV, jak zajistit lepší propojení mezi výrobou a spotřebou energie a jak zvýšit energetickou účinnost. Levněji dobitá energie během noci je využita ke snížení špičkové poptávky, snížení uhlíkové náročnosti a jako úspora nákladů za energii.

Zájem o technologii V2B v posledních letech roste, protože nabízí výhody jak pro majitele EV, tak i pro vlastníky budov, například budov firemních. Pro oba zúčastněné nabízí systém V2B úspory v účtech za energii, toto platí zejména pro firemní budovy, kde je známý čas příjezdu a odjezdu pracovníků a jejich vozidel, která během pracovní doby zůstávají nepoužita a připojena do systému. V tomto čase se pak využívá energie z baterie, která byla nabita přes noc při levnějším tarifu. Jelikož v některých zemích je energie v noci až 10krát levnější [19], lze takto výrazně ušetřit. V ČR se namísto nočního proudu rozlišuje mezi nízkým a vysokým tarifem. Časy zapnutí a vypnutí nízkého tarifu se liší podle využití elektřiny v domácnosti a podle distribuční oblasti. Nízký tarif nabízí asi poloviční ceny za energii [20].

Podle studie, která byla provedena ve Španělsku na jedné firemní budově, která má rozlohu 2525 m<sup>2</sup>, 6 pater a 39 připojených EV, by se využitím systému V2B ušetřilo asi 49 % nákladů za elektrickou energii [19]. Snížení profilu spotřeby energie lze vidět na obrázku 5.

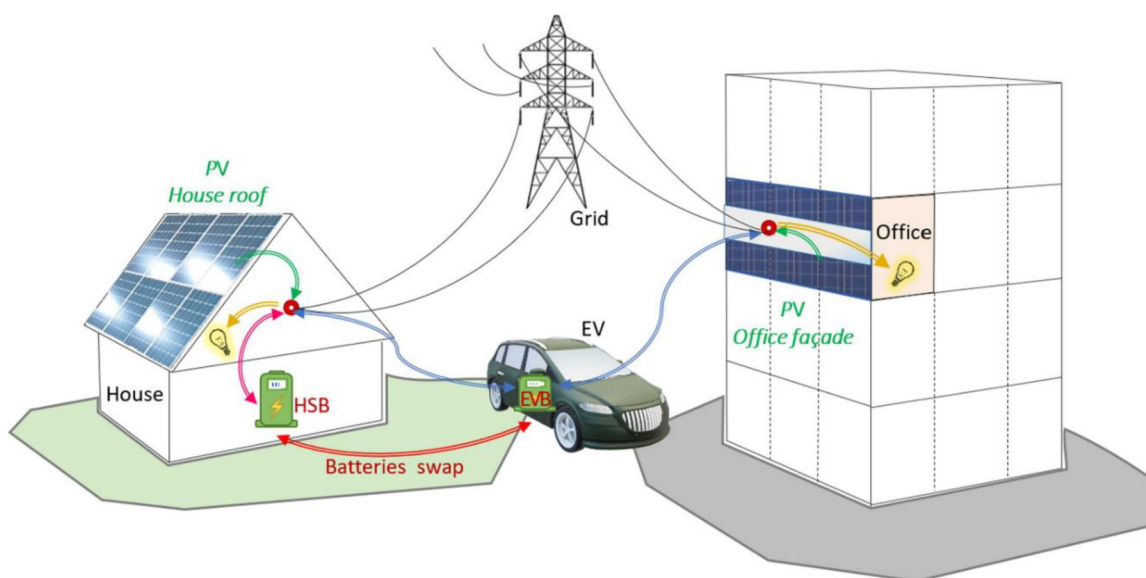


Obr. 5 Snížení profilu spotřeby energie během jednoho kalendářního roku, červená křivka ukazuje spotřebu bez V2G a zelená křivka ukazuje spotřebu s využitím V2G [19]

Studie dále ukázala i snížení produkce CO<sub>2</sub> asi o 30 tun za rok [19]. Tyto čísla ukazují, jak moc prospěšný tento systém může být. Výsledky by mohly být i lepší, kdyby se pro nabití elektromobilů využila obnovitelná energie, získaná například z fotovoltaických panelů. EV se s fotovoltaickými panely skvěle doplňují, příkladem toho může být kalifornský trh, kde 40 % vlastníků EV vlastní i solární fotovoltaické panely [21]. Ceny EV i FV panelů v průběhu let klesají, a stávají se dostupnými i pro domácnosti s menšími příjmy. Přestože solární FV systémy mohou být pro svět budoucnosti ve výrobě energie, jejich hlavním problémem je nedostatek systémů pro ukládání energie, který ale lze vyřešit rozšířením EV a systémů V2G, V2B a V2H.

### 2.1.1 V2B V PRAXI

Stručně lze funkci V2B popsat takto. EV funguje jako přenašeč energie z rodinného domu majitele EV do budovy, kde pracuje (v tomto případě do kancelářské budovy). Schéma fungování systému V2B lze vidět na obrázku 6. Střecha rodinného domu je pokryta určitým množstvím FV panelů, stejně tak může být pokryta i střecha nebo fasáda kancelářské budovy. V případě, že vyrobená energie z FV panelů pokryje elektrickou zátěž budovy, tak se začne využívat k nabití HSB (stacionární baterie, která zůstává v domě, ale dá se vyměnit s baterií v elektromobilu), poté se začne nabíjet baterie v EV, a až nakonec je energie exportována a prodána do sítě. Pokud FV panely nepokryjí elektrickou zátěž budovy, zdrojem se nejdříve stane HSB, ale pouze za podmínky, že ji majitel vlastní a je nabitá nad svoje minimum. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, tak se zdrojem stane baterie z EV, za podmínky, že je připojená k dané budově a její kapacita je vyšší než minimální nastavená hodnota, která je navržena například na dojezd do kanceláře. Pokud není k dispozici dostatek energie z FV panelů, tak se pro dostatečné nabití EV použije energie uložená v HSB. Elektrická síť funguje jako pomocný systém zásobující elektrickou energií pouze v případech nutných. Výměna mezi HSB a baterií v EV je povolena brzy ráno, pokud je palubní baterie méně nabitá [21].



Obr. 6 Schéma systému V2B, který je někdy označován jako V2B<sup>2</sup> [21]

- Grid – elektrická síť
- PV House roof – střecha s fotovoltaickými panely
- House – dům
- HSB (House Stationary Battery) – domácí stacionární baterie
- Batteries swap – výměna baterií
- PV office facade – fotovoltaické panely na fasádě kanceláře
- Office – kancelář

Výhody V2B jsou shodné s výhodami V2G. Patří mezi ně například snižování nákladů za elektřinu, snižování požadavku na maximální výkon a související náklady na přístup díky použití energie z baterie v hodinách nejvyššího odběru energie. Dále také zvyšování podílu obnovitelných zdrojů v elektrickém systému, a nebo použití baterie jako záložního systému energie při výpadku elektrického proudu [19].

### 2.1.2 EKONOMIKA SYSTÉMU V2B

Pro výpočet ekonomické efektivity a výkonu systému V2B se využívají různé modely a simulace, které zahrnují velké množství proměnných. Mezi tyto proměnné patří například celková energetická náročnost budovy nebo dostupnost zdroje energie skrze sluneční záření. Sluneční záření je závislé na umístění a náklonu FV panelů, zeměpisné šířce, ve které se dům nachází, nebo na ročním období. Obecně se nejvíce energie získá na sklonné střeše v období léta [21]. Další parametry potřebné pro co nejpřesnější výpočet jsou plocha střechy (případně i fasády) rodinného domu a kancelářské budovy, na které lze umístit FV panely, náklady na zařízení, cena elektrické energie nebo množství ujetých kilometrů.

I když by se mohlo zdát jako lehčí způsob veškerou přebytečně vyrobenou energii pomocí FV panelů neuchovávat ale rovnou prodat do elektrické sítě, ekonomicky by to bylo velice nevýhodné. Cena za takto prodanou elektrickou energii je asi třetinová [21] v porovnání s cenou za kterou se kupuje [21]. To podporuje pořízení úložného prostoru právě například ve formě baterie EV a maximalizaci využití vyrobené energie pro vlastní účely. Pokud jde o baterii EV, výsledky simulací jasně ukazují, že čím nižší je její kapacita, tím vyšší je ziskovost systému.

### 2.1.3 BUDOUCNOST V2B

Pro lepší integraci V2B je do budoucna potřeba snižovat investiční náklady na skladování energie například prostřednictvím dotací [21]. Aby bylo možné provést další analýzy systému V2B je nutné provést simulace za různých podmínek, jako jsou například rozdílné klimatické podmínky. Tyto analýzy bude potřeba komplexně optimalizovat implementací vhodných prediktivních ovládacích prvků. Je třeba taky usilovat o skutečné aplikování těchto analýz, díky kterým by se systém stal určitě zase o něco efektivnější.

Stejně tak jako u systému V2G existují u systému V2B různé druhy algoritmů, které dokáží zvýšit efektivitu systému. Tyto algoritmy dokáží snížit spotřebu energie během řízení EV díky tomu, že vyberou nejvýhodnější cestu. Dále jsou schopny určit, kdy je příspěvek obnovitelné energie vyšší a kdy je cena DC nejdražší [19]. Zdokonalováním těchto algoritmů lze výrazně zlepšit efektivnost celého systému V2B.

## 2.2 VEHICLE TO HOME (V2H)

Systém V2H funguje obdobně jako systém V2B. Větší část problematiky V2H je ale zaměřena na vytvoření inteligentní domácí mikrosítě a na využívání energie uložené v baterii EV pro jednotlivé elektrospotřebiče v domácnosti [22]. Pomocí EV tak může být vytvořena mikrosít' i v domech, které leží v odlehlých oblastech, kde by v jiném případě nebyl přístup k elektrické síti. Systém V2H vyžaduje kompatibilní obousměrnou nabíječku a měřič energie, který musí být instalován k hlavnímu měřiči, který domácnost používá [23]. Funkce systému V2H spočívá v tom, že je EV připojeno k domu a jeho vybíjení a nabíjení je modifikováno pomocí algoritmů v řídicím systému domácnosti. Baterie EV se nabíjí tak, aby se využilo co nejvíce místně vyrobené obnovitelné energie, která je z baterie distribuována do mikrosítě v časech, kdy je spotřeba nejvyšší, a tím dojde ke zvýšení energetické účinnosti.

Průměrné roční náklady na energii v domácnosti se použitím kombinace FV panelů a systému V2H poměrně dost sníží. Pokud je EV používáno na dlouhé vzdálenosti (120-180 km) roční náklady by se měli snížit až o 28 %, avšak při cestování na krátké vzdálenosti (20-40 km) může dojít ke snížení nákladů až o 61 % [22]. Závislost na ujeté vzdálenosti je z důvodu spotřebování větší kapacity baterie a kratší doby připojení do systému V2H při ujetí dlouhých vzdáleností. Tyto výsledky jsou zprůměrované, zahrnují v sobě různé typy počasí a byly vypočítány pro Tunisko, kde je sluneční záření rozhodně častější a intenzivnější než v České republice. Z toho vyplývá, že v ČR budou výsledky o něco horší, ale i přesto ukazují obrovský ekonomický význam systému V2H. Je ale nutné zmínit, že více než 90 % tržeb z V2H vzniká v letních měsících [23]. Mimo letní sezónu je V2H částečně nahrazeno systémem V2G.

Při použití dalších chytrých komponentů v domácnosti, jako jsou tepelná čerpadla nebo stacionární bateriové úložiště (která nejdou vyměnit s baterií v EV), se výnosy limitují, protože se výrazně zvýší náklady a zároveň se sníží potenciál samotných systémů V2H a V2G, protože tyto další chytré komponenty také využívají energii z FV panelů k optimalizaci elektřiny v domácnosti. [23]. Hlavní výhodou systému V2H je jeho využití jako záložního zdroje během výpadku proudu, nebo ve špičkách, kdy je energie přehnaně drahá [1].

## 2.3 DALŠÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ EV

### 2.3.1 V2L

Vehicle to Load je nejzákladnější aplikací obousměrného nabíjení, i přesto že nevyžaduje obousměrnou nabíječku [25]. Je to systém, kdy je baterie z EV použita jako samostatný zdroj energie [1]. Systém V2L dokáže změnit stejnosměrné napětí akumulátoru na střídavý proud, který se používá v běžné zásuvce (napětí 230 V, frekvence 50 Hz a maximální proud 16 A). Maximální výkon je tedy až 3,6 kW. Systém může sloužit například k poskytování elektrického zdroje energie na staveništi nebo pro napájení elektrických spotřebičů na cestách, například grilů nebo dalekohledů. Pomocí V2L se může elektrická energie dostat i do oblastí, kde běžně není přístup k elektrické energii nebo do oblastí, kde je energie příliš drahá nebo poptávka jen dočasná a nevyplatilo by se pro tuto oblast zpřístupnit připojení k elektrické síti.

### 2.3.2 V2V

Pojem Vehicle to Vehicle (V2V) znamená dodávání energie z jednoho EV do druhého, aby se energie vyrovnaly dle potřeby [1]. V2V může například zajistit, aby vozidla měla dostatek energie na společné delší cesty při rozdílných kapacitách jejich baterií. Častěji se ale V2V používá při poskytování služeb V2B nebo V2G, kdy je do systému připojeno několik vozidel a je třeba balancovat s množstvím energie mezi jednotlivými vozidly. Systém V2V lze využít i v případě, že vozidlo A bylo nabito při nízkém tarifu a vozidlo B, které je vybité a muselo by se nabít při vysokém tarifu si raději vypůjčí energii z vozidla A. Nebo když se EV vybité někde mimo připojení k elektrické síti, tak ho může jiné EV, které má integrovaný systém V2V, zachránit.

### 2.3.3 V2C

Vehicle to Community (V2C) je systém, který umožňuje poskytnutí baterie v EV jako úložiště pro místní síť a pro vytvoření soběstačné komunity. Jinými slovy V2C znamená využití EV k vytvoření krátkodobého nebo dlouhodobého úložiště v lokální síti, které je často zrealizováno připojením na komunitní solární systém [1]. Hlavním benefitem je zvýšení odolnosti a využití solární energie na daném místě a pomoc v integraci solární energie s nízkými náklady.

### 2.3.4 V2X

Vehicle to X (V2X) se často používá jako pojmenování připojení vozidla prakticky k čemukoliv jinému než k síti (V2G). Tento název tedy znamená použití baterie EV jako mobilního úložiště s různorodým využitím. Jak již bylo zmíněno u V2L vozidlo může být použito například k napájení dalekohledů, elektrických grilů nebo při kempování. Tyhle možnosti se někomu mohou zdát jako zbytečné, ale podporují diverzifikaci použití EV a alespoň malou měrou napomůžou k integraci EV. Důležité však je, že V2X může mít značné dopady na systém zejména při využití V2B nebo V2C [1]. Například, když jsou k velkým energeticky velmi zatíženým budovám jako jsou nemocnice připojeny EV jejich zaměstnanců, která pomůžou s vyrovnáváním energetických požadavků dané sítě.

V2X zahrnuje interpretační flexibilitu, jinými slovy umožňuje uživatelům hledat jejich vlastní použití tohoto systému. V2X se dá chápat jako způsob, jak povzbudit zájem spotřebitelů pomocí neotřelých využití pro jejich osobní požitek, protože každý může využít tento systém dle vlastních potřeb. Někdo může V2X využít pro sledování hvězd a někdo jiný pro vytvoření večírku na pláži i se světly. Toto „zábavné“ využití EV samo o sobě asi nepřesvědčí lidi, aby si pořídili EV, ale mohlo by je to přesvědčit o nastudování dalších výhod a možností EV.

### 2.3.5 POROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ A PŘIPRAVENOSTI EV PRO TYTO TECHNOLOGIE

K tomu, aby byla EV schopná používat systémy V2G, V2H a další, musí být kompatibilní s obousměrnou nabíječkou. V dnešní době existuje jen několik modelů EV, které jsou tohoto schopny. Mezi ně patří například poslední model Nissanu Leaf nebo Mitsubishi Outlander a Eclipse plug-in hybridy, které jsou schopné V2G. V roce 2022 by se k nim měl přidat i Volkswagen. Předpokládá se, že od roku 2025 bude systém V2G standardem pro všechna nová EV [25].

Systém V2H jsou schopné využít například již zmíněný poslední model Nissanu Leaf nebo Mitsubishi Outlander, oba tyto modely k připojení využívají starší typ CHAdeMO konektoru. Jako první EV se schopností obousměrného nabíjení začal využívat pro připojení V2H nový konektor CCS Ford F-150 Lightning [23]. Tento konektor ale funguje pouze u nabíjecí stanice od firmy Ford, což se může jevit jako nevýhoda oproti Nissanu Leaf, který lze nabít v jakékoliv nabíjecí stanici. K těmto modelům podporujících V2H se na konci roku 2022 nejspíše přidá i Fisker Ocean, který ve vyšších úrovních výbavy nabízí dokonce i střechnu se solárními panely [27].

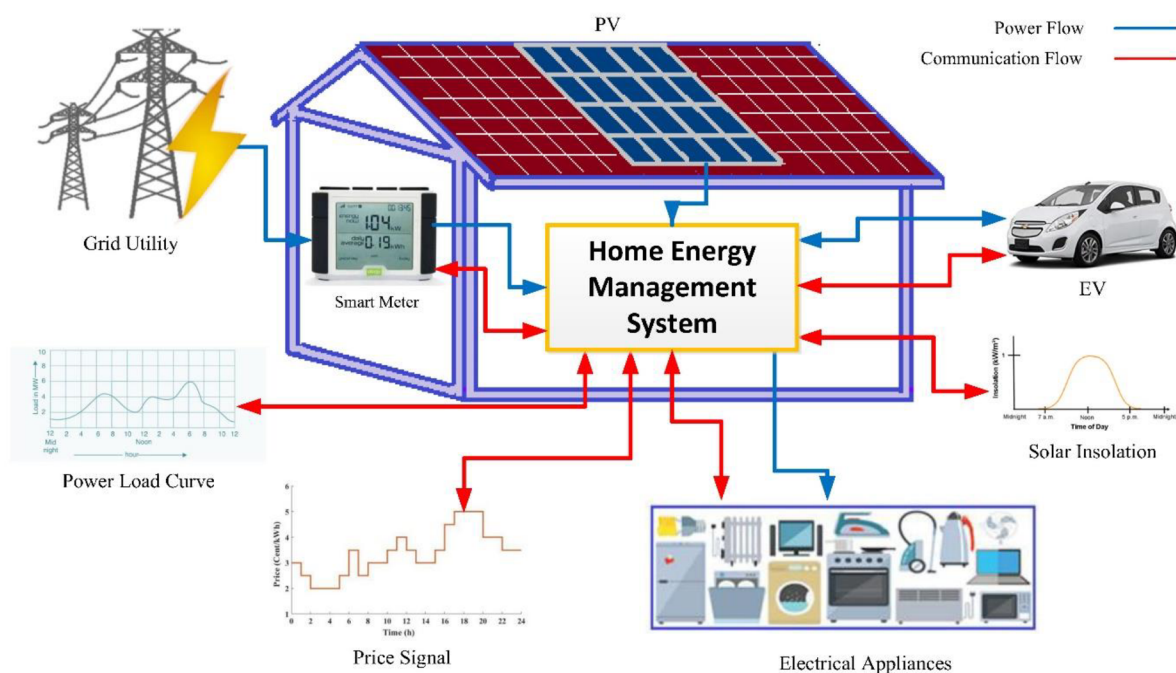
U modelu Ford F-150 Lightning je možné využít i systému V2L, jelikož je vybaven čtyřmi zásuvkami, kde každá z nich má výkon 2,4kW. Systém V2L podporuje i nový Hyundai IONIQ 5 a Kia EV6, kteří mají interní i externí zásuvky s výkonem 3,6kW. Dalším modelem podporujícím V2L je Genesis GV60 od firmy Hyundai [26].



### 3 CHYTRÁ DOMÁCNOST

Tato kapitola je věnována způsobům, jakými se může elektromobil stát součástí chytré domácnosti. Nejdříve je potřeba popsat možnosti, jak lze EV do systému chytré domácnosti (případně chytré rozvodné sítě) připojit a dále také popsat jeho spolupráci s řídicím systémem chytré domácnosti. Dalšími důležitými body je popsat technologie pro nabíjení elektromobilů z elektrické sítě v rodinných domech a spolupráci EV s fotovoltaickými elektrárnami. Ke konci kapitoly se nachází praktický přehled tarifů za elektřinu a možnosti dobíjení EV na dobíjecích stanicích.

Pro lepší orientaci v této kapitole je vhodné začít s názorným schématem chytré domácnosti na obrázku 7. Z tohoto schématu je vidět, že chytrá domácnost obsahuje domácí elektrické spotřebiče (rychlovarnou konvici, pračku, televizi, a další), EV, domácí FV elektrárnu, chytrý měřič, připojení do elektrické sítě, data o energetické zátěži domácnosti, data o ceně elektřiny v průběhu dne, data o denním profilu výroby energie díky FV panelům a nakonec nejdůležitější člen - systém řízení domácího energetického managementu HEMS, který pomocí znalostí všech výše vyjmenovaných součástí a dat dokáže chytrou domácnost řídit [27].



Obr. 7 Schéma chytré domácnosti a její komunikace [27]

- Grid Utility – služba sítě
- Smart meter – chytrý měřič
- Power Load Curve – křivka energetického zatížení
- Price signal – Cena za elektřinu během dne
- Electrical Appliances – elektrické spotřebiče
- Solar Insolation – Množství sluneční energie během dne
- Home Energy Management System – Řídicí systém chytré domácnosti
- Power Flow – Tok energie
- Communication Flow – komunikační tok
- PV – FV

### 3.1 PŘED ZAPOJENÍM EV DO CHYTRÉ DOMÁCNOSTI

Zapojení elektromobilu do chytré domácnosti je závislé na místě, kde se dům nachází, jelikož v různých částech světa se používají různé normy, protokoly, úrovně a režimy, podle kterých je zapojení zprostředkováno [29]. Existují i různé typy konektorů. Před zapojením EV do chytré domácnosti (případně chytré rozvodné sítě) je nutné vědět, podle kterých norem se řídit.

#### 3.1.1 NABÍJEČKY

Než budou shrnuty jednotlivé normy, protokoly, úrovně a režimy, nesmí se zapomenout na nejdůležitější součást pro zapojení elektromobilu do systému. Ano, řeč je o nabíječkách. Nabíječky jsou obvykle klasifikovány podle jejich rozhraní a úrovní. Doba nabíjení vozidla se liší podle výkonu nabíječky a kapacity baterie. Obecně lze nabíječky rozdělit na nabíječky, které přenáší energii do vozidla indukcí nebo vedením. Vodivé nabíječky jsou široce rozšířené, zatímco indukční nabíječky jsou ve fázi vývoje a ke konkurenceschopnosti vyžadují ještě další výzkum [29]. Nabíječky mohou být umístěny ve vozidle, ale i mimo vozidlo. Nabíječky mimo vozidlo se nazývají EV supply equipment (EVSE). EVSE lze připojit k baterii přímo, přes DC/DC (direct current – stejnosměrný proud) konvertor nebo přes jednoúčelovou nabíječku. Baterie jsou dimenzovány na 400-600 V. Napětí baterie plně nabitého a vybitého EV se může lišit až o 150 V, proto se pro udržení konstantního výstupního stejnosměrného napětí může využít dalšího DC/DC konvertoru. Výstup nabíječky může být připojen přímo ke svorkám baterie nebo k sběrnici se vstupem.

Primárně existují tři technologie pro nabíjení EV. Nabíjet lze vedením pomocí kabelu nebo bezdrátově. V případě nabíjení vedením je EV napájeno střídavým (AC) nebo stejnosměrným (DC) proudem. Za třetí nabíjecí technologii se považuje výměna baterií, kdy plně nabitá baterie nahradí baterii vybitou [29].

#### 3.1.2 NORMY

Pro nabíjení EV bohužel neexistuje žádná všeobecně uznávaná norma, to je zapříčiněno rozdílnou konstrukcí elektrické sítě v různých částech světa. Jednou z předních institucí spojených s vývojem norem je Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC). Jako hlavní trh s EV je považována Čína, která používá normu GB/T. Ve světě je nejvíce rozšířená norma CHAdeMO, která byla vytvořena v Japonsku už v roce 2010 [30]. CHAdeMO je první norma, která umožňuje rychlé nabíjení a je součástí dvou mezinárodních norem IEC 61851 a IEEE Standard 2030. Čína také hraje klíčovou roli ve vývoji vysoce výkonné normy ChaoJi, která je aktualizovaná verze normy CHAdeMO a pracuje na vývoji nabíječky s výkonem 500 kW. V Severní Americe se využívá především norma SAEJ1772 a SAE J1373 [29].

#### 3.1.3 ÚROVNĚ

Rozdělení nabíječek na úrovně u EV probíhá podle maximálního nabíjecího výkonu. Tohle úrovně rozdělení se postupně rozšiřuje díky technologickému pokroku. Rozlišuje se 5 úrovní, které zachycuje tabulka 2. Ale už v tuto chvíli se mluví i o úrovni 6, která nejspíše přibude společně se zahájením standardu ChaoJi [29].

Tab. 2 Rozdělení nabíječek podle úrovně [29]

Úroveň EVSE	Úroveň 1	Úroveň 2	Úroveň 3	Úroveň 4	Úroveň 5
Maximální výkon (kW)	2,5	24	50	150	350

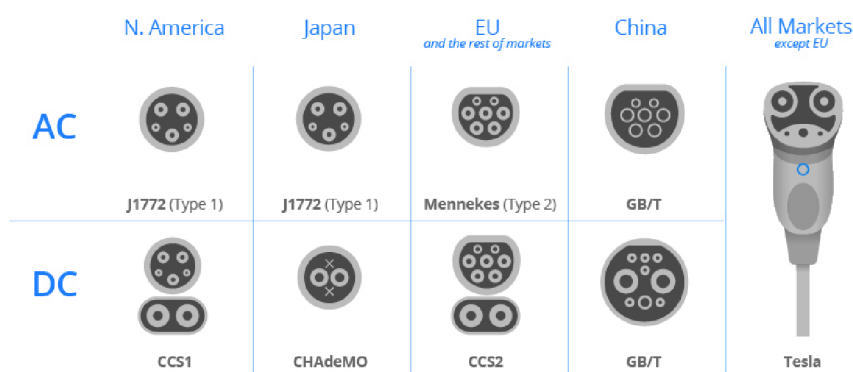
Nabíjení úrovně 1 a 2 je spojeno s AC nabíjením a jsou závislé na jednofázovém napětí, které je dostupné v obytných nebo komerčních budovách. Nabíjení při vyšších napětích přes DC je klasifikováno od úrovně 3 a výše [29]. Klasifikace úrovně je důležitá, protože s každou další úrovní se zvyšuje složitost nabíjení.

### 3.1.4 REŽIMY

V Evropě se nabíjení rozděluje na 4 režimy na základě kontroly a komunikace mezi EV a EVSE. Evropské režimy se liší od amerických úrovní rozdílnou instalací, komunikací a ochranou. V Evropě neexistuje žádný ekvivalent pro americkou úroveň 1, protože napětí 120 V není skoro vůbec používáno. Evropský Režim 1 využívá nejjednodušší možné nabíjení připojením EV do běžné domácí zásuvky. Tato metoda ale nepoužívá žádnou ochranu v kabelu, proto se ve většině oblastí nedoporučuje. V režimu 2 se EV připojuje pomocí přenosného kabelu s vestavěným ochranným a ovládacím zařízením. V tomto režimu ale nelze energii z EV vybíjet. Režim 3 je oproti režimu 2 pokročilejší, protože už dokáže energii z EV vybíjet a navíc je schopný i chytrého nabíjení, to znamená, že dokáže řídit rychlost nabíjení. Nabíjení se provádí z pevné zásuvky nebo připojitelného kabelu, který je schopen průběžné kontroly a komunikace mezi EV a nabíječkou. V režimu 4 jde o nejrychlejší DC nabíjení, nabíječka je umístěna mimo EV [29].

### 3.1.5 TYPY

Další dělení je do „typů“ podle toho, jaký typ konektoru použijeme. Ve Spojených státech amerických a v Japonsku se používá konektor Typu 1, jedná se o AC nabíjení a podléhá standardu SAE J1772. V Evropě a v dalších zemích se používá konektor Typu 2 vyvinutý společností Mennekes, který podléhá normě IEC 62196 a běžně se používá pro AC nabíjení. Kromě těchto dvou typů existují čtyři typy konektorů spojené s DC nabíjením: nabíjecí systém CCS, CHAdeMO, GB/T a Tesla. V případě CCS a Tesla konektorů lze stejný typ konektoru použít pro AC i DC nabíjení. Pro všechny ostatní protokoly platí, že pro AC a DC nabíjení používají různé konektory. I přesto, že Tesla používá jiný typ konektoru, tak umožňuje nabíjení i přes konektor J1772 [31]. Všechny již zmíněné konektory lze vidět na obrázku 8. Nejrychlejší nabíjení na trhu nabízí Tesla „Supercharger“ V3 s výkonem až 250 kW a napětím 400 V, v blízké budoucnosti Tesla plánuje ještě zvýšení na výkon 350 kW a napětí 800 V [32]. Díky této rychlosti je možné většinu vyráběných EV nabít do pár minut. Všechny typy konektorů mají napájecí, zemní a kontrolní kolíky [29].



Obr. 8 Konektory pro nabíjení EV, rozděleno podle AC a DC nabíjení a podle oblastí použití [31]

N. America – Severní Amerika  
 EU and the rest of markets – EU a zbytek trhu  
 All Markets except EU – Všechny trhy až na EU

## 3.2 SPOLUPRÁCE EV S CHYTROU DOMÁCNOSTÍ

### 3.2.1 SPOLUPRÁCE S ŘÍDÍCÍM SYSTÉMEM

Po zapojení EV do systému chytré domácnosti je na řadě jeho spolupráce s HEMS. Efektivní spolupráce systému HEMS, EV a domácích FV elektráren může hrát významnou roli při zlepšování stability sítě a je také ekonomicky prospěšná pro majitele domu, protože snižuje náklady domácnosti na elektřinu [28].

HEMS sleduje činnost jednotlivých domácích spotřebičů, EV, domácí FV elektrárny a časově proměnné ceny za elektřinu a snaží se pomocí těchto informací a využití V2H efektivně řídit energii v domě, a tím snížit náklady domácnosti na elektřinu, zvýšit energetickou účinnost a zplošňovat křivku energetického zatížení [28]. Zároveň se snaží uspokojit požadavky jednotlivých součástí chytré domácnosti.

HEMS zjistí období vysoké a nízké spotřeby elektřiny v domě, sníží náklady na elektřinu a vyplní dobu, kdy je spotřeba nízká a cena také nízká nabíjením EV. Dále také kontroluje stav nabití baterie a snaží se zabránit přebití i nadměrnému vybití a snižuje špičkovou zátěž využitím V2H [28]. Proto, aby HEMS správně fungoval, musí znát denní profil výroby fotovoltaické energie, cenu elektřiny v průběhu dne, křivku energetické zátěženosti domu, čas příjezdu a odjezdu EV a nakonec počáteční, maximální a minimální stav nabití akumulátoru v EV.

### 3.2.2 SPOLUPRÁCE S DOMÁCÍ FOTOVOLTAICKOU ELEKTRÁRNOU

V dnešní době rychle přibývá domácností, které využívají FV elektrárny. Pokud si pořídíte velké množství FV panelů, můžete se stát až plně nezávislími na veřejné elektrické síti [33]. FV elektrárna přeměňuje sluneční záření (fotony) na elektrickou energii prostřednictvím fotovoltaického efektu. Na střechu nebo fasádu domu se umístí fotovoltaické panely, které se skládají z FV článků, které mohou být sériově nebo paralelně zapojeny a slouží pro získání požadované hodnoty proudu a napětí na výstupu [28]. Je dobré mít na paměti, že v různém geografickém prostředí se efektivita FV elektráren mění.

Před zakoupením FV elektrárny je vhodné zjistit si informace o dotacích. V ČR je možnost čerpání státních dotací programu Nová zelená úsporám. Tento program podporuje instalaci FV elektráren v rozmezí 40 000-205 000 korun [34]. O tuto dotaci je nutné si zažádat nejpozději do 31.12.2035. Mezi podmínky této dotace patří například to, že výkon FV elektrárny nesmí překročit 10 kW a dotaci dostanete až po řádném dokončení realizace. Podpora této dotace je omezena do výše 50 % řádně doložených způsobilých výdajů. Při využití dotací se návratnost bezpečně dostane pod 10 let.

### 3.2.3 ENERGETICKÉ REŽIMY A EKONOMICKÁ ANALÝZA DOMU

Ve spolupráci EV s chytrou domácností může nastat 8 různých režimů. V každém tomto jednotlivém režimu je výhodné provádět jiné akce. O to, který režim a k němu přiřazená akce je vhodná, se stará HEMS. Souhrn těchto situací je zpracován podle [28]. Tyto režimy se ještě rozdělují podle toho, jestli lze využít FV elektrárnu. Když chytrá domácnost nemá FV elektrárnu nebo v danou chvíli negeneruje energii, postupuje HEMS podle tabulky 3. A pokud chytrá domácnost má FV elektrárnu, tak HEMS postupuje podle tabulky 4.

Tab. 3 Režimy pro chytrou domácnost, která nemá FV elektrárnu nebo v danou chvíli negeneruje energii [28]

Režim	Akce	Podmínky
Režim 1	EV nebude nabíjeno ani vybíjeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV není doma</li> <li>• EV je doma a plně nabité</li> <li>• EV je doma, energetická zátěž je podprůměrná, cena elektřiny je nadprůměrná</li> <li>• EV je doma ale kompletně vybité, energetická zátěž je nadprůměrná</li> </ul>
Režim 2	EV se nabíjí ze sítě	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není plně nabité, energetická zátěž je podprůměrná, cena elektřiny je podprůměrná</li> </ul>
Režim 3	EV je vybíjeno do sítě	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není vybité, energetická zátěž je nadprůměrná</li> </ul>

Tab. 4 Režimy pro chytrou domácnost, která má FV elektrárnu [28]

Režim	Akce	Podmínky
Režim 4	EV nebude nabíjeno/vybíjeno, FV energie je použita pro snížení energetické zátěže domu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV není doma</li> <li>• EV je doma a plně nabité</li> <li>• EV je doma a plně nabité, energetická zátěž je nadprůměrná, FV výkon je dostatečně velký, aby snížil zátěž alespoň na průměrnou hodnotu</li> <li>• EV je doma, energetická zátěž je nadprůměrná, FV výkon je malý a nedokáže snížit zátěž alespoň na průměrnou hodnotu</li> </ul>
Režim 5	EV je nabíjeno pouze z FV panelů	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není plně nabité, energetická zátěž je podprůměrná, cena elektřiny je větší nebo rovna oproti průměrné ceně</li> </ul>
Režim 6	EV je nabíjeno ze sítě i z FV panelů	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není plně nabité, energetická zátěž je podprůměrná, cena elektřiny je podprůměrná</li> </ul>
Režim 7	EV je nabíjeno a energetická zátěž je snižována pomocí FV panelů	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není plně nabité, energetická zátěž je větší nebo rovna průměrné zátěži, FV výkon je dostatečně velký, aby snížil zátěž alespoň na průměrnou hodnotu</li> </ul>
Režim 8	EV je vybíjeno, aby pokrylo část energetické zátěže	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EV je doma a není plně nabité, energetická zátěž je větší nebo rovna průměrné zátěži, FV výkon je malý a nedokáže snížit zátěž alespoň na průměrnou hodnotu</li> </ul>

Pokud je řeč o ekonomické analýze domu, rozdělujeme podle [28] domy na 3 případy:

**Případ A – Dům s EV, ale bez HEMS:** V tomto případě se EV považuje za elektrickou zátěž stejně jako ostatní spotřebiče v domácnosti. Dům je napájen ze sítě v neřízeném režimu.

**Případ B – Dům s EV a HEMS:** V tomto případě je EV považováno jako úložiště energie. Energie se ukládá nabíjením EV v období mimo špičku za nízkou cenu a naopak v době největšího zatížení je energie z baterie využita pomocí systému V2H. Dům je napájen v řízeném režimu pomocí HEMS. Využívají se režimy 1-3. Je efektivnější než Případ A.

**Případ C – Dům s EV, FV, HEMS:** V tomto případě se pro optimální fungování chytré domácnosti využívají režimy 4-8. Nejefektivnější případ.

Problém nastává, jelikož většina elektromobilů se začne nabíjet až večer, kdy se lidé začínají vracet domů z práce, ale FV panely generují nejvíce energie kolem poledne [35]. Tento problém lze vyřešit například pořízením HSB.

### 3.3 POPIS TECHNOLOGIÍ PRO NABÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ Z ELEKTRICKÉ SÍTĚ V RODINNÝCH DOMECH

EV je možné nabíjet přímo z běžné zásuvky pomocí nabíječky dodávané společně s EV, ale tato možnost má několik nevýhod. Největší nevýhodou je maximální nabíjecí výkon, který je pouze 2,5 kW [36]. Vhodnější a účinnější je nainstalovat wallbox (domácí nástěnnou nabíječku). Nabíjení doma má výhodu v tom, že nemusíte hledat nabíjecí stanici a je to zároveň nejlevnější způsob nabíjení EV [37].

#### 3.3.1 WALLBOX

Většina wallboxů používá konektory Typu 2. Typická volba je wallbox s výkonem 7,4 kW nebo 11 kW. Chcete-li ušetřit nebo jste méně náročný řidič, není nutné utrácet peníze za vysoce výkonnou inteligentní nabíječku, stačí si pořídit jednu z těch levnějších s výkonem 3,6 kW [37]. Existuje i 22kW nabíječka, ale jen málo EV dokáže skutečně přijímat 22kW ze zdroje střídavého proudu, jako je domácí nástěnná nabíječka. I přesto, že jsou některá EV schopna nabíjet rychlostí 100 kW nebo i více, jedná se o nabíjení stejnosměrným proudem. Cena wallboxu je dále ovlivněna například délkou kabelu [38]. Ceny wallboxů se pohybují v rozmezí od 10000 do 60 000 Kč.

Prodávají se 2 různé typy wallboxů, buď s nabíjecím kabelem nebo bez něj. Wallboxy s kabelem jsou pohodlnější, protože není nutné při každém nabíjení vytahovat kabel ze zavazadlového prostoru. Wallboxy bez kabelu jsou vhodné například, když domácnost obsahuje dvě EV s rozdílnými konektory, protože při nabíjení druhého vozidla stačí pouze vyměnit kabel [38].

Zásadní podmínka pro umístění wallboxu je mít možnost do tohoto místa přivést dostatečně silné a správně odjištěné přívodní kabely. Čím silnější přívodní kabely budou použity, tím lépe. Silnější kabely totiž dokáží pracovat s vyššími proudy a tím pádem i s vyššími výkony [36]. Je nutné mít na paměti, že u starších domů je v některých případech nutná úprava elektroinstalace [13].

### 3.3.2 PRŮBĚH NABÍJENÍ

Chytré nabíječky lze ovládat na dálku obvykle prostřednictvím aplikace ve vašem smartphonu, která umožňuje sledovat nabíjení EV a případně si vybrat, kdy bude EV nabíjeno [38]. Nabíjení EV představuje další energetickou zátěž a teoreticky by mohlo poškodit hlavní pojistku domu. Právě proto je lepší nabíjet EV v době, kdy je energetická zátěž domu nízká. Některé nabíječky pro chytré domácnosti umí automaticky vyrovnávat výkon odebíraný nabíjením EV, čímž je zajištěno, že domácnost nikdy nepřekročí celkovou maximální dostupnou dodávku elektrického proudu. S rostoucím množstvím EV poroste poptávka po energii, která by mohla příliš zatěžovat místní síť. Naštěstí to bude pro jednotlivé řidiče prakticky nepostřehnutelné, jelikož řidiči nabíjí svá EV pouze přibližně 25 % času, kdy jsou přes noc připojeni [39]. Pokud se nabíjení rozloží na celou noc, každé EV bude plně nabitá a síť bude chráněna, protože nebude příliš zatěžována. Jakmile bude baterie nabitá, není nutné ji odpojovat, protože se nabíjení automaticky zastaví.

Nabíjení EV je složitější, pokud nevládníte soukromou garáž nebo jiné bezpečné místo pro instalaci nabíječky. Komplikace narůstají, pokud bydlíte v činžovním domě nebo bytě se společnými parkovacími místy, kde nemáte možnost k osobnímu elektroměru. V tomto případě je nejlepší způsob instalace sdílených nabíječek, které lze účtovat pomocí aplikace [37].

Většina nabíječek je určena i pro venkovní použití, ale jejich odolnost proti vodě, prachu, sněhu, ledu a dalším problémům se může lišit, proto pokud plánujete venkovní instalaci wallboxu je vhodné toto kritérium do výběru zahrnout [40].

### 3.3.3 DOPORUČENÉ WALLBOXY NA TRHU

Výhodný je například JuiceBox 40 od společnosti Enel X. Tento wallbox je 40ampérová chytrá nabíječka nabitá různými funkcemi. Je kompatibilní s aplikacemi Amazon Alexa a Google Assistant. Dokáže naplánovat dobu nabíjení, posílat připomenutí a upozornění. Dokáže i vyvažovat energetickou zátěž. Má certifikaci Energy Star [41]. Jeho cena začíná na 600 dolarech, to je asi 13 500 Kč [42].



Obr. 9 JuiceBox od firmy Enel X [43]

Pokud je v domě k dispozici 50 ampérový jistič, tak je výhodné si pořídit chytrou nabíječku ChargePoint Home Flex. Tato nabíječka se připojuje do chytré domácnosti pomocí WiFi. K ovládání se používá aplikace ChargePoint, kde lze prohlížet například i historii nabíjení [41]. Cena této nabíječky začíná na 700 dolarech, to je necelých 16 000 Kč [44].



Obr. 10 ChargePoint Home Flex [44]

### 3.3.4 PLÁNOVÁNÍ NABÍJENÍ

Plánování nabíjení EV je závislé na tom, zda jste občasný nebo náročný řidič. V příkladu bude figurovat wallbox, který nabíjí výkonem 7,4kW a elektromobil Nissan Leaf 2022 S. Tento vůz nabízí baterii o kapacitě 40 kWh a maximální dojezd 149 mil, to je asi 240 km [45]. Pokud jste nenáročný řidič a je pro vás tento dojezd dostatečný, stačí vůz nabíjet vždy pouze přes noc, jelikož nabití potrvá méně než 6 hodin. Pokud jste náročnější řidič a potřebujete ujet více než 240 km musíte si po své trase najít dobíjecí stanici. Pokud spěcháte, je vhodné využít rychlonabíjecí stanici, kde je Nissan Leaf 2022 S schopný nabíjení s výkonem až 50 kW. Plné nabití by tedy u rychlonabíjecí stanice trvalo 48 minut.

## 3.4 PLATBA ZA ELEKTŘINU DOMÁCNOSTI A ELEKTROMOBILU

Tato podkapitola se zabývá porovnáním cen elektřiny v domácnosti a cen za dobíjení EV na dobíjecích stanicích. Ceny jsou srovnávány u dvou firem, a těmi jsou ČEZ, a. s. (dále jen ČEZ) a E.ON Energie, a.s. (dále jen EON). Pro srovnání ceny elektřiny v domácnosti bylo využito základních tarifů platných k 15. 4. 2022 pro distribuční sazbu D02d, která se obvykle využívá právě u rodinných domů. Do srovnání byla ještě zahrnuta distribuční sazba D27d s názvem Elektromobilita od firmy ČEZ, která nabízí osmihodinový nízký tarif [46]. Toto srovnání je shrnuto v tabulce 5. Ceny v tabulce jsou uvedeny za jednu MWh, s 21% DPH. V cenách je zahrnuta i cena systémových služeb a daně z elektřiny. Byl uvažován jistič 3x16 A.



Ceny na dobíjecích stanicích jsou shrnuty v tabulce 6, tyto ceny platí po bezplatné registraci a po vystavení karty nebo čipu.

Tab. 5 Srovnání cen za elektřinu v domácnosti u firem ČEZ a EON [46], [47]

Firma	ČEZ	ČEZ	EON
<b>Obchodní sazba</b>	Standard	Elektromobilita	Klasik
<b>Distribuční sazba</b>	D02d	D27d	D02d
<b>Vysoký tarif</b>	5 923,42 Kč	5 850,87 Kč	5 129,66 Kč
<b>Nízký tarif</b>	-	3 818,53 Kč	-
<b>Měsíční platby</b>	231,35 Kč	226,51 Kč	207,08 Kč

Tab. 6 Srovnání cen za dobíjení na dobíjecích stanicích (po registraci) [48], [49]

Firma	ČEZ	EON
<b>AC dobíjení (až 43 kW)</b>	6 Kč/kWh	6 Kč/kWh
<b>DC dobíjení (až 149 kW)</b>	8 Kč/kWh	7,5 Kč/kWh
<b>Ultra rychlé dobíjení (150 kW a více)</b>	10 Kč/kWh	10 Kč/kWh
<b>Volné minuty AC stanice</b>	480 minut	480 minut
<b>Volné minuty DC stanice</b>	90 minut	90 minut
<b>Volné minuty ultra rychlého dobíjení</b>	45 minut	45 minut
<b>Další minuty u stanice</b>	2 Kč/min	2 Kč/min

Při prvním pohled do těchto dvou tabulek je vidět, že nabíjení EV je výhodnější při nabíjení v domácnosti, a to platí pro všechny srovnávané tarify. Při využití osmihodinového nízkého tarifu je nejvýhodnější obchodní sazba Elektromobilita od firmy ČEZ, která nabízí nabíjení pouze za 3,81853 Kč/kWh [46]. Ale bez správného využití se stává nejvýhodnějším obchodní sazba Klasik od firmy EON za cenu 5,12966 Kč/kWh [47]. Pokud z nějakého důvodu nemáte možnost nabíjet EV v domácnosti nebo jen chcete EV nabít rychleji, stačí využít služeb dobíjecí stanice. V takovém případě je rozhodně lepší se u dané dobíjecí stanice registrovat, protože registrace je bezplatná a nabízí levnější nabíjení. Při srovnání cen na dobíjecích stanicích (po registraci) lze vidět, že ceny i podmínky jsou skoro stejné. Odchylka v cenách je pouze u DC dobíjení, kde EON nabízí o 0,5 Kč/kWh levnější cenu než ČEZ. Pokud byste tedy preferovali DC dobíjení, je výhodnější dobíjet u firmy EON.

Pro příklad znovu využijeme Nissan Leaf 2022 S. Tento vůz nabízí baterii o kapacitě 40 kWh a maximální dojezd 149 mil, to je asi 240 km. Průměrná spotřeba tohoto elektromobilu je 18,75 kWh/100 km [45]. Vypočítané ceny na 100 km a na úplné nabití tohoto EV jsou shrnuty v tabulce 7.

Tab. 7 Vypočítané ceny různých druhů nabíjení [46], [47], [48], [49]

Místo nabíjení	Způsob nabíjení	Cena [kWh]	Cena na 100 km (18,75 kWh/100 km) [Kč]	Úplné nabití [Kč]
<b>V domácnosti</b>	ČEZ – Standard	5,92	111	236,8
	ČEZ – Elektromobilita	3,82	71,63	152,8
	EON – Klasik	5,13	96,19	205,2
<b>Na dobíjecí stanici</b>	AC dobíjení	6	112,5	240
	DC dobíjení (EON)	7,5	140,63	300
	DC dobíjení (ČEZ)	8	150	320
	Ultra rychlé dobíjení	10	187,5	400

I nejdražší možnost nabíjení, tedy ultra rychlé dobíjení na dobíjecí stanici, je v poměru se spotřebou běžného automobilu se spalovacím motorem nízká, jelikož například auto na benzín při spotřebě 8 l/100 km, při ceně 42,48 Kč/l by 100 km vyšlo na 340 Kč [50]. To je téměř dvojnásobek oproti nejdražšímu způsobu nabíjení EV a téměř pětinasobek ceny oproti nejlevnějšímu způsobu nabíjení (cena benzínu platí k 15. 4. 2022).

## 4 POPIS KONKRÉTNÍHO CHYTRÉHO DOMU

Cílem této kapitoly je popsat konkrétní chytrý dům a prakticky aplikovat dříve nabyté teoretické informace z minulé kapitoly. Uvažuje se rodinný dům 4+1kk. Přídavné jméno chytrý v tomto případě spočívá ve správné komunikaci a řízení mezi jednotlivými částmi domácnosti. Nejdříve bude vybráno EV, které je v ČR dostupné a k němu bude poté vybrán vhodný wallbox. Dále se bude kapitola věnovat pořízení domácí FV elektrárny. V neposlední řadě budou shrnuty používané elektrospotřebiče v domácnosti a s tím spojená energetická zátěž domu, u které je důležité vyřešit, kdy a s kterými spotřebiči může nebo nemůže být současně nabíjeno EV. A nakonec bude shrnuta spotřeba elektřiny domácnosti a EV a stanoveno jaké množství z této spotřeby dokáže pokrýt domácí FV elektrárna.

### 4.1 POŘÍZENÍ EV

Jako konkrétní EV bylo vybráno moderní SUV Škoda Enyaq iV 60, které můžete vidět na obrázku 11. Tento elektromobil má k dispozici 58 kWh baterii a nabízí dojezd až 404 km. Jeho spotřeba při optimálních podmínkách je 16 kWh/100 km. Podporuje AC nabíjení až 11 kW a DC nabíjení až 100 kW, právě při zmíněném DC nabíjení se dokáže nabít z 10 na 80 % za pouhých 35 minut. S maximální rychlostí 160 km/hod nepatří mezi nejrychlejší auta, ale pro ČR, kde je maximální rychlost omezena na 130 km/hod, je tato rychlost naprosto dostačující. Cena základního vybavení tohoto modelu je 1 124 900 Kč [51]. V této základní ceně je zahrnut i palubní displej, který obsahuje rozsáhlé množství funkcí, mezi které patří i možnost nastavení doby a rychlosti nabíjení nebo možnost určení do kolika procent se má EV nabít [52].



Obr. 11 Škoda Enyaq iV 60 [53]

K domácímu nabíjení tohoto EV lze využít univerzální iV nabíječku, kterou lze využít při nabíjení jak z 230V, tak i 400V zásuvky. Další možností je použít nabíječky podporující režim 2 nebo režim 3 [54]. Nejrychlejší způsob nabíjení je pořízení wallboxu. Jelikož se k tomuto EV vyrábí i wallbox určený přímo pro něj, byl zvolen i jako modelový příklad. Jde

o wallbox s názvem Škoda iV Charger Connect, který můžete vidět na obrázku 12. Tento wallbox obsahuje nabíjecí kabel o délce 4,5 nebo 7 m a využívá konektor Typu 2. Dále nabízí nabíjecí výkon až 11 kW [55], připojení k domácí síti pomocí WiFi, a díky tomu i vzdálené řízení například přes chytrý telefon, do kterého si stáhnete aplikaci MyŠKODA. V této aplikaci lze například naplánovat čas, kdy se EV bude nabíjet, a tedy odložit nabíjení EV na dobu, kdy bude síť domácnosti méně zatížená (například v noci).



Obr. 12 Wallbox Škoda iV Charger Connect [56]

## 4.2 POŘÍZENÍ FV ELEKTRÁRNY

Před koupí domácí FV elektrárny je vhodné si zjistit, jaké prostory máte na vaší střeše, fasádě či zahradě k dispozici. Tento prostor musí být otočený nejlépe směrem na jih, aby během dne pohltil co nejvíce slunečního záření. U našeho posuzovaného domu je k dispozici 30 m<sup>2</sup> střechy, která směřuje na jihovýchod. Na tuto plochu nainstalujeme dvanáct FV panelů Panel Canadian Solar 450MS o špičkovém výkonu 450 Wp a ceně 5 614 Kč [57]. Celkově je tedy k dispozici 5,4 kWp za cenu 67 368 Kč. K přeměně stejnosměrného proudu získaného z FV elektrárny na proud střídavý, který je v běžné zásuvce bude nutné pořídit střídač. V domě bude využit hybridní měnič (měnič je jakékoliv zařízení, které slouží k přeměně parametrů signálu, střídač je tedy také měnič), který inteligentně usměrňuje, střídá a mění [58]. Tyto činnosti dokáže provozovat i současně. Jednoduše řečeno hlídá vše potřebné, aby byl provoz FV elektrárny bezproblémový a bezpečný. Bude použit střídač GoodWe ET, který stojí 68 900 Kč [59]. Celkový výpočet ceny domácí FV elektrárny lze vidět v tabulce 8, do výpočtu byla zahrnuta i odhadnutá částka za montáž a za ostatní nezbytný materiál. I přesto, že by dotace za těchto podmínek mohla být ve výši až 130 000 Kč, je využito pouze maximální povolené dotace, která činí 50 % celkové ceny. Celková cena po dotaci je 78 134 Kč.

Nejvíce energie se pomocí FV panelů vyrobí v období okolo poledne, kdy je sluneční záření nejintenzivnější. Tato doba se ale neshoduje s dobou nejvyšší energetické zátěže domu, právě proto je obvykle součástí domácí FV elektrárny i nějaká akumulace energie. Pokud bude naše

Tab. 8 Rozpis cen pro instalaci domácí FV elektrárny

<b>Položka</b>	<b>Cena</b>
12x FV panel Canadian Solar 450MS	67 368 Kč
Střídač GoodWe ET (hybridní měnič)	68 900 Kč
Montáž	15 000 Kč
Potrubi a ostatní materiál	5 000 Kč
<b>Cena celkem</b>	<b>156 268 Kč</b>
<b>Dotace</b>	
2 kWp + efektivní využití tepelného čerpadla	-100 000 Kč
Za každý další 1 kWp	-30 000 Kč
Skutečná dotace (maximálně 50 % z nákladů)	-78 134 Kč
<b>Cena celkem po dotaci</b>	<b>78 134 Kč</b>

EV k dispozici, je vhodné pro akumulaci použít právě jeho baterii. Pro dobu, kdy k dispozici nebude, je vhodné si pořídit virtuální baterii. Virtuální baterie umožňuje virtuální skladování vyrobené elektřiny přímo v distribuční síti, takto uloženou elektřinu lze spotřebovat později. Díky virtuální baterii není nutné kupovat drahý akumulátor. K našemu uvažovanému domu přikoupíme virtuální baterii za 199 Kč měsíčně od firmy ČEZ [60]. ČEZ nijak neomezuje množství elektřiny uložené do sítě. Dokonce je možné v průběhu léta uložit velké množství elektřiny a odebrat si toto množství až v zimě [61].

Pro lepší představu toho, kolik domácí FV elektrárna vyrobí, je vhodné převést špičkový výkon FV panelů na kWh. V podnebí ČR je možné použít přibližný přepočít 1 kWp = 1 kWh [62]. Tudíž celkově FV panely vyrobí asi 5 400 kWh.

### 4.3 ENERGETICKÁ ZÁTĚŽ DOMÁCNOSTI

Energetická zátěž domácnosti je obvykle během pracovních dnů nejvyšší asi hodinu ráno během toho, kdy se lidé chystají do práce a poté až k večeru, kdy se z práce vrátí [28]. Během této doby je nutné mít na paměti, že pokud bychom ještě k ostatním používaným spotřebičům začali na plný příkon nabíjet naše EV, tak by to jistě nezvládly. Proto je nutné během tohoto času příkon nabíjení EV snížit nebo úplně zastavit. V chytré domácnosti se o toto stará HEMS. Pro lepší představivost energetické zátěže a zjištění, u kterých zapojených elektrospotřebičů je třeba si dávat pozor, byla sestavena tabulka 9. Tato tabulka se věnuje elektrospotřebičům, které mají příkon vyšší než 300 W. Elektrospotřebiče s nižším příkonem byly zanedbány.

Tab. 9 Souhrn elektrospotřebičů v domácnosti s příkonem vyšším než 300 W [63]

Elektrospotřebič	Příkon [W]	Elektrospotřebič	Příkon [W]
Rychlovarná konvice	2100	Trouba a sporák	830
Fén	2000	Vysavač	700
Myčka nádobí	1800	Toustovač	700
Žehlička	1700	Chladnička s mrazničkou	530
Sušička prádla	1200	Pračka	425
Mikrovlnná trouba	1150	Televizor	350

V tabulce 9 lze zjistit, že elektrospotřebiče s největším příkonem jsou rychlovarná konvice a fén [63], ty se ale používají vždy jen krátkou dobu, proto kdyby byly zapojeny do stejného okruhu jako wallbox, tak postačí, aby se v době používání příkon potřebný k nabíjení snížil. Někteří lidé zapínají myčku přes noc, proto by bylo vhodné zapojit wallbox do jiného okruhu, jelikož při snaze nabíjet EV přes noc by myčka odebírala část potřebného příkonu. Dále by bylo vhodné elektrospotřebiče, které jsou zapojeny nepřetržitě, jako je například chladnička, zapojit také do jiného okruhu. U některých praček je možné nastavit odložený start, proto pokud je potřeba v danou chvíli nabíjet EV, lze tímto způsobem vyřešit nadměrnou energetickou zátěž.

#### 4.4 PLATBA ZA ELEKTŘINU KONKRÉTNÍHO DOMU A PLATBA ZA NABÍJENÍ EV

V této podkapitole bude řešena spotřeba elektřiny v domácnosti a odhadnuta spotřeba elektřiny za EV. Celková spotřeba elektřiny domu byla vzata z vyúčtování za období jednoho roku, kdy byla spotřeba elektřiny 2566 kWh a spotřeba plynu 22 212 kWh (jednalo se o distribuční sazbu D02d). Po sečtení těchto dvou hodnot se získá celková spotřeba 24 778 kWh. Tato spotřeba je brána jako odhad a je přepočtena na situaci, kde dům využívá tepelné čerpadlo. Tepelná čerpadla mají topný faktor 1,5 až 4 v závislosti na teplotě venkovního vzduchu, pro zjednodušení lze zvolit topný faktor 3 jako průměrnou hodnotu po celý rok. Spotřeba plynu se tedy vydělí 3 a získá se spotřeba elektřiny 7404 kWh při využití tepelného čerpadla pro topení a ohřev vody. K tomuto číslu je ale nutné ještě přičíst spotřebu elektřiny za osvětlení a elektrospotřebiče. Po přičtení vychází celková spotřeba s tepelným čerpadlem na 9 970 kWh, ale pro jednoduchost byla zaokrouhlena na 10 000 kWh. Výsledky předešlých výpočtů jsou zahrnuty v tabulce 10.

Platba za elektromobil se odvíjí podle počtu ujetých kilometrů. Průměrný Čech najede okolo 20 000 km ročně [64]. Vybrané EV při jeho spotřebě 16 kWh/100 km tedy ročně spotřebuje 3 200 kWh. Tato spotřeba vyjde na necelých 19 000 Kč. Při sečtení roční spotřeby elektřiny domácnosti a roční spotřeby za EV se získá celková roční spotřeba 13 200 kWh. Pokud použijeme cenu za 1 kWh z tabulky 5 pro distribuční sazbu Standard od firmy ČEZ, která je 5,92342 Kč [46], bude cena za roční spotřebu elektřiny 78 175 Kč. Tyto jednotlivé kroky byly shrnuty v tabulce 11 společně s ušetřenými penězi díky FV elektrárně.

Tab. 10 Spotřeba elektřiny bez/s tepelným čerpadlem

Spotřeba elektřiny (osvětlení a elektrospotřebiče)	2 566 kWh
Spotřeba plynu (topení a ohřev vody)	22 212 kWh
Celková spotřeba (bez tepelného čerpadla)	24 778 kWh
Tepelné čerpadlo (topení a ohřev vody)	7 404 kWh
<b>Celková spotřeba (s tepelným čerpadlem)</b>	<b>9 970 kWh</b>

Tab. 11 Cena za roční spotřebu elektřiny bez/s FV elektrárnou

Roční spotřeba elektřiny domácnosti	10 000 kWh
Roční spotřeba za EV	3 200 kWh
Roční spotřeba celkem	13 200 kWh
Cena za 1 kWh	5,92342 Kč
<b>Cena za roční spotřebu elektřiny</b>	<b>78 175 Kč</b>
Množství vyrobené elektřiny FV elektrárnou	5 400 kWh
Ušetřené peníze díky FV elektrárně	31 986 Kč
<b>Nová cena za roční spotřebu elektřiny</b>	<b>46 189 Kč</b>

Celková spotřeba elektřiny je 13 200 kWh, takže by FV panely, které vyrobí 5400 kWh ročně, pokryly asi 41 % spotřeby. Jelikož se díky využití FV elektrárny ušetří ročně 31 986 Kč a celková cena za její instalaci byla 78 134 Kč, bude návratnost menší než 3 roky a nová cena za roční spotřebu elektřiny bude 46 189 Kč. Výroba energie z FV panelů dokáže pokrýt celou spotřebu elektromobilu.

Jak dlouho by tato domácnost vydržela při výpadku elektrického proudu pouze díky energii uložené v baterii EV? Pro odpověď na tuto otázku je nutné nejdříve spočítat průměrnou denní spotřebu elektřiny v domácnosti a poté ji porovnat s kapacitou baterie. V tomto případě je celková roční spotřeba 10 000 kWh, pokud ji vydělíme 365 (počtem dnů v roce), tak získáme průměrnou denní spotřebu. Ta vychází na 27,4 kWh za den. A jelikož uvažované EV obsahuje 58 kWh baterii [51], vydrží spotřebu domácnosti asi 2 dny a 2 hodiny.

## ZÁVĚR

Rozvoj technologií V2G, V2B a V2H bude závislý na celkovém množství elektromobilů, které tyto technologie podporují. Počet elektromobilů bude závislý především na snižování jejich cen, a to hlavně akumulátorů, které tvoří asi čtvrtinu ceny. Nejdůležitějším okamžikem v rozšiřování EV bude, pokud se přestanou vyrábět automobily se spalovacími motory. V dnešní době jsou EV cenově konkurenceschopné, a právě finanční výhody těchto technologií by mohly být rozhodujícím faktorem pro zakoupení EV. Je nutné zohlednit i současnou politicko-ekonomickou situaci, která moderní drahé technologie staví do jiného světla jak po stránce ekonomické, tak i z pohledu energetické bezpečnosti, která souvisí s úbytkem a se stoupajícími cenami nerostných surovin.

Technologie V2B a V2H mají největší potenciál ve státech, ve kterých je cena elektřiny při nízkém tarifu až 10krát nižší. V ČR nemají až tak velký význam, jelikož většina nabízených obchodních sazeb neposkytuje nízký tarif, a pokud ano, tak asi za poloviční cenu. Z toho vyplývá, že nejlepší způsob uvedení těchto technologií do praxe bude rozšířit je nejprve do států, ve kterých mají největší potenciál. Díky tomu se získá více zkušeností a bude snazší rozšířit je dále.

Přechod na EV podporující tyto technologie nabízí řešení, jak snížit znečištění životního prostředí a zvýšit účinnost elektrických sítí. Tento přechod čelí řadě již zmíněných překážek (například dvojímu zdanění u V2G), které je nutné odstranit nebo alespoň zmenšit. V jiném případě jsou výhody V2G značně sníženy, a tím je zpomalena i samotná integrace EV. Obrovským problémem těchto technologií je i neinformovanost veřejnosti o těchto technologiích, která byla z jedním z důvodů pro napsání této práce. Tímto způsobem se tyto technologie a jejich výhody dostanou k více lidem a možná se změní i jejich mnohdy skeptické názory na elektromobilitu.

Byla zpracována a porovnána platba za elektřinu domácnosti a elektromobilu u tří různých obchodních sazeb a u dvou dobíjecích stanic. Dospělo se k závěru, že nejvýhodnější je nabíjet EV v domácnosti. Ze všech srovnávaných obchodních sazeb je nejekonomičtější sazba Elektromobilita od firmy ČEZ, která nabízí osmihodinový nízký tarif za cenu 3,82 Kč/kWh. Při srovnání s autem na benzín se spotřebou 8 l/100 km je cena za spotřebu EV téměř 5krát nižší (cena benzínu i elektřiny platí k datu 15. 4. 2022).

V poslední kapitole byl popsán chytrý dům, pro který bylo vybráno konkrétní EV Škoda Enyaq iV 60 a k němu i vhodný wallbox. Dále bylo zpracováno pořízení domácí FV elektrárny tak, aby se využila co největší možná volná plocha na střeše domu a zároveň se získala co nejvyšší možná dotace, která dosáhla 50 % celkové ceny. Cena za pořízení domácí FV elektrárny po dotaci je 78 tisíc Kč. Pro dobu, kdy EV v domácnosti nebude přístupné, ale energii z FV elektrárny bude potřeba uložit, byla navržena možnost pořízení virtuální baterie od firmy ČEZ za cenu 199 Kč měsíčně. Také bylo nutné vyřešit energetickou zátěž domácnosti a popsat využívání elektrospotřebičů v době, kdy je potřeba nabíjet EV.

Na závěr práce byla zpracována platba za elektřinu konkrétního domu a platba za dobíjení EV. U platby za EV bylo uvažováno, že ujede 20 000 km ročně. Při takovém nájezdu by Škoda Enyaq iV 60 spotřebovala asi 3 200 kWh, to by vyšlo na necelých 19 tisíc Kč. Roční spotřeba domácnosti společně se spotřebou elektromobilu by byla 13 200 kWh a vyšla by na 78 tisíc Kč. Po odečtení vyrobených 5 400 kWh pomocí domácí FV elektrárny se náklady snížily na 46 tisíc Kč. Domácí FV elektrárna dokáže pokrýt asi 41 % spotřeby domácnosti a elektromobilu a její



návratnost byla vypočtena na méně než 3 roky. Při výpadku elektrické sítě by tato domácnost pomocí 58 kWh baterie z EV vydržela asi 2 dny a 2 hodiny. Jedná se o velmi zjednodušené výpočty, které pracují s průměrnými daty a nezahrnují dynamiku systému, tím jsou myšlena zejména meteorologická data jako jsou teplota a intenzita solárního záření. I tento jednoduchý výpočet ukazuje potenciál řešení V2H.

Díky EV je možné zvýšit akumulační schopnost chytrého domu a také distribuovat energii z jiných zdrojů. Příkladem může být levné nebo bezplatné nabíjení v zaměstnání nebo rychlé nabíjení na některé z dobíjecích stanic.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] NOEL, Lance, ZARAZUA DE RUBENS Gerardo, KESTER Johannes, K. SOVACOOOL Benjamin. Vehicle-to-grid: a sociotechnical transition beyond electric mobility. Cham: Palgrave Macmillan, [2019]. Energy, climate and the environment. ISBN 978-3-030-04863-1.
- [2] Co znamená vozidlo do sítě? Co je nabíjení V2G?. In: *MIDA* [online]. 31. ledna 2021 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.midaevse.com/cs/news/what-does-vehicle-to-grid-mean-what-is-v2g-charging/>
- [3] £30 million investment in revolutionary V2G technologies. In: *GOV.UK* [online]. 12. února 2018 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/news/30-million-investment-in-revolutionary-v2g-technologies>
- [4] KEMPTON, Willett a Steven E LETENDRE. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. Transportation research. Part D, Transport and environment [online]. OXFORD: Elsevier India Pvt, 1997, 2(3), 157-175 [cit. 2022-02-12]. ISSN 1361-9209. Dostupné z: doi:10.1016/S1361-9209(97)00001-1
- [5] KEMPTON, Willett a Jasna TOMIĆ. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. Journal of power sources [online]. Lausanne: Elsevier B.V, 2005, 144(1), 268-279 [cit. 2022-02-13]. ISSN 0378-7753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2004.12.025
- [6] PJM. Ancillary service market results: Ancillary Services [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.pjm.com/markets-and-operations/ancillary-services.aspx>
- [7] Nissan. 2018 Nissan Leaf: Nissan USA [online]. 2018 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.nissanus.com/vehicles/electric-cars/leaf.html..html>
- [8] International Energy Agency. Global EV outlook 2017: Two million and counting: OECD [online]. 2017 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1787/9789264278882-en>
- [9] NILSSON, Måns a Björn NYKVIST. Governing the electric vehicle transition – Near term interventions to support a green energy economy. Applied energy [online]. Elsevier, 2016, 179, 1360-1371 [cit. 2022-02-18]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2016.03.056
- [10] WANG, Dai, Jonathan COIGNARD, Teng ZENG, Cong ZHANG a Samveg SAXENA. Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services. Journal of power sources [online]. AMSTERDAM: Elsevier B.V, 2016, 332(C), 193-203 [cit. 2022-02-19]. ISSN 0378-7753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2016.09.116
- [11] SMITH, Kandler, Aron SAXON, Matthew KEYSER, Blake LUNDSTROM, Ziwei CAO a Albert ROC. Life prediction model for grid-connected Li-ion battery energy storage system. In: 2017 American Control Conference (ACC) [online]. AACC, 2017, s. 4062-4068 [cit. 2022-02-19]. ISBN 9781509059928. ISSN 0743-1619. Dostupné z: doi:10.23919/ACC.2017.7963578

- [12] PENG, Chao, Jianxiao ZOU a Lian LIAN. Dispatching strategies of electric vehicles participating in frequency regulation on power grid: A review. *Renewable & sustainable energy reviews* [online]. Elsevier, 2017, 68, 147-152 [cit. 2022-02-19]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2016.09.133
- [13] BŘEZINOVÁ, Jana. Kolik stojí nabíjení elektromobilů?. In: *Elektrina.cz* [online]. 14. dubna 2022 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu>
- [14] MITROPOULOS, Lambros K, Panos D PREVEDOUROS a Pantelis KOPELIAS. Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle. In: *Transportation Research Procedia* [online]. Elsevier B.V, 2017, s. 267-274 [cit. 2022-02-20]. ISSN 2352-1465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2017.05.117
- [15] WU, Geng, Alessandro INDERBITZIN a Catharina BENING. Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments. *Energy policy* [online]. OXFORD: Elsevier, 2015, 80, 196-214 [cit. 2022-02-20]. ISSN 0301-4215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2015.02.004
- [16] RUSSOVÁ, Anina. Evropská unie rozhodla. Od roku 2035 nekoupíme žádné auto se spalovacím motorem. In: *auto-mania.cz* [online]. 12.7.2021 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/evropska-unie-rozhodla-od-roku-2035-nekoupime-zadne-auto-se-spalovacim-motorem/>
- [17] KESTER, Johannes, Lance NOEL, Gerardo ZARAZUA DE RUBENS a Benjamin K SOVACOOOL. Policy mechanisms to accelerate electric vehicle adoption: A qualitative review from the Nordic region. *Renewable & sustainable energy reviews* [online]. OXFORD: Elsevier, 2018, 94, 719-731 [cit. 2022-03-04]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2018.05.067
- [18] Number of people without access to electricity worldwide from 2000 to 2021, by region. In: *Statista* [online]. 14. prosince 2021 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/829803/number-of-people-without-access-to-electricity-by-region/>
- [19] BORGE-DIEZ, David, Daniel ICAZA, Emin AÇIKKALP a Hortensia AMARIS. Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share. *Energy (Oxford)* [online]. Oxford: Elsevier, 2021, 237, 121608 [cit. 2022-03-12]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2021.121608
- [20] HAMALČÍKOVÁ, Kamila. Noční proud už nefunguje aneb 7 věcí, které jste možná nevěděli o nízkém tarifu elektřiny. In: *Elektrina.cz* [online]. 15. dubna 2019 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/nizky-tarif-cez-eon-pre-neni-nocni-proud>
- [21] BUONOMANO, Annamaria. Building to Vehicle to Building concept: A comprehensive parametric and sensitivity analysis for decision making aims. *Applied energy* [online]. Elsevier, 2020, 261, 114077 [cit. 2022-03-13]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2019.114077

- [22] BEN SLAMA, Sami. Design and implementation of home energy management system using vehicle to home (H2V) approach. *Journal of cleaner production* [online]. Elsevier, 2021, 312, 127792 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2021.127792
- [23] SVARC, Jason. Bidirectional Chargers Explained - V2G Vs V2H Vs V2L. In: *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. 21 February 2022 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-charging-v2g-v2h-v2l>
- [24] KERN, Timo, Patrick DOSSOW a Elena MORLOCK. Revenue opportunities by integrating combined vehicle-to-home and vehicle-to-grid applications in smart homes. *Applied energy* [online]. Elsevier, 2022, 307, 118187 [cit. 2022-03-18]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2021.118187
- [25] THAI, Danny. Watt is bidirectional charging, V2G, V2H, V2L?. In: *Zecar* [online]. 30 April 2022 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://zecar.com/post/watt-is-bidirectional-charging-v2g-v2h-v2l>
- [26] PURTILL, James. EV chargers for V2G and V2H to arrive in Australia within weeks, after long delays. In: *NEWS* [online]. 13 Feb 2022 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.abc.net.au/news/science/2022-02-14/electric-vehicle-first-ev-chargers-v2g-v2h-to-arrive-australia/100811130>
- [27] MULFATI, Justin. New year, new bidirectional cars. In: *Dcbel* [online]. 12 January 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.dcbel.energy/blog/2022/01/12/new-year-new-bidirectional-cars/>
- [28] ABDALLA, Modawy Adam Ali, Wang MIN a Omer Abbaker Ahmed MOHAMMED. Two-stage energy management strategy of EV and PV integrated smart home to minimize electricity cost and flatten power load profile. *Energies (Basel)* [online]. Basel: MDPI, 2020, 13(23), 6387 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: doi:10.3390/en13236387
- [29] ALAM, Mohammad Saad a Mahesh KRISHNAMURTHY. *Electric Vehicle Integration in a Smart Microgrid Environment*. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press, 2021. ISBN 9780367423919.
- [30] Electric Vehicle Charging Stations standard of DC CCS, CHAdeMO, GBT, AC Type1, Type 2. In: *3Q Charger* [online]. 13 September 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.3qcharger.com/electric-vehicle-charging-stations-standard-of-dc-ccs-chademo-gbt-ac-type1-type-2/>
- [31] Different types of EV Charging Connectors. In: *Best EV chargers* [online]. 6. 4. 2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://bestchargers.eu/blog/different-types-of-ev-charging-connectors>
- [32] VRCHOTA, Matouš. Tesla zvýší nabíjecí výkon Superchargerů V3, ještě se ale neradujte. In: *Elektrické vozy* [online]. 25. 1. 2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/tesla-zvysi-nabijeci-vykon-superchargeru-v3-jeste-se-ale-neradujte>

- [33] JAK FUNGUJE DOMÁCÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA A VYPLATÍ SE TATO INVESTICE?. *FOTOVOLTAIKA GOTTWALD* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.fotovoltaika-gottwald.cz/zajimavosti/jak-funguje-domaci-solarni-elektrarna-a-vyplati-se-tato-investice#>
- [34] DOTACE. *FOTOVOLTAIKA GOTTWALD* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.fotovoltaika-gottwald.cz/dotace>
- [35] GONG, Huangjie a Dan M IONEL. In: *Optimization of Aggregated EV Power in Residential Communities with Smart Homes* [online]. 2020 [cit. 2022-05-18].
- [36] Domáci nabíjecí stanice. *Autonabiječka.cz* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.autonabijecka.cz/domacnost/>
- [37] BOTT, Ed. The best home EV chargers: Fuel up your car at home. In: *ZDNet* [online]. 20 April 2022 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.zdnet.com/home-and-office/energy/best-home-ev-charger/>
- [38] PORTER, Adrian. Electric car charging at home. In: *Which?* [online]. 18 May 2022 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.which.co.uk/reviews/new-and-used-cars/article/electric-car-charging-guide/electric-car-charging-at-home-aPmMW7E7bVCn>
- [39] Charging an electric car at home. *Pod-point* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/driver/charging-electric-car-at-homehttps://www.cars.com/articles/home-ev-chargers-and-how-to-choose-one-442511/>
- [40] WIESENFELDER, Joe. Home EV Chargers and How to Choose One. In: *Cars.com* [online]. 22 March 2022 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.cars.com/articles/home-ev-chargers-and-how-to-choose-one-442511/>
- [41] MOLOUGHNEY, Tom. Best Home EV Chargers For 2022. In: *Forbes* [online]. 13 April 2022 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/wheels/accessories/best-home-ev-chargers/>
- [42] JuiceBox 40. *Enelway* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://evcharging.enelx.com/store/residential/juicebox-40>
- [43] JuiceBox 48 – Hardwired. *Ev-chargers.ca* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://ev-chargers.ca/shop/residential-chargers/juicebox-48-hardwired/>
- [44] ChargePoint Home Flex, NEMA 6-50 Plug. *Chargepoint* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.chargepoint.com/drivers/home/chargepoint-home-flex>
- [45] 2022 Nissan LEAF Specs & Features. *Edmunds* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.edmunds.com/nissan/leaf/2022/features-specs/>
- [46] ELEKTRÍNA: Ceník. *ČEZ* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/moo/web\\_new-cenik\\_elektrina\\_dobu\\_neurcitou\\_moo\\_202112\\_cezdi.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/moo/web_new-cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_202112_cezdi.pdf)

- [47] Ceník Elektřina. *E.ON* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://saeceweb01run.blob.core.windows.net/eonmedialibcontainer/e.on/media/pricelist/s/domacnosti/elekt%C5%99ina/2022/cen%C3%ADk%20elekt%C5%99ina%20k%201.3.2022%20-%20distribuce%20C3%AD%20%20C3%BAzem%C3%AD%20%20C4%8Dez.pdf>
- [48] SMLOUVY, CENÍK A OPSE. *Futurego* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/smlouvy-cenik-a-opse>
- [49] Získejte řadu výhod registrací do služby E.ON Drive. *E.ON Drive* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/pro-ridice/>
- [50] Aktuální cena benzínu, cena nafty. *Kurzy.cz* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/>
- [51] IV 60. *ŠKODA* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/trimline-scenic?activePage=trimlines&color=H6H6&configurationId=&extraEquipments=GRAARAA%7CGPLBPLB&id=CZE%3Bskoda%3B2022%3BAZFF2%3B2%3BGYONYON%3Bmda20220510082933%3Bcs-CZ%3B%3B64003%3B64003&interior=EK&modifiedPages=trimlines&snapshotVersion=4ff71da1-977c-4320-891a-7b761204e901&trimline=5AF%7CiV%20606400364003&visitedPages=>
- [52] HRUBEŠ, Ondřej. Test Škoda Enyaq iV 60: Kukátko do budoucnosti. In: *AUTOJOURNAL.CZ* [online]. 18. 8. 2021 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.autojournal.cz/test-skoda-nyaq-iv-60-kukatko-do-budoucnosti/>
- [53] ŠKODA ENYAQ iV. *ŠKODA* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.com/models/range/enyaq-iv>
- [54] ŠKODA ENYAQ iV ACCESSORIES. *ŠKODA* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: [https://www.skoda-auto.com/\\_doc/50a7b56f-b0a2-4935-aafe-069a5a648638](https://www.skoda-auto.com/_doc/50a7b56f-b0a2-4935-aafe-069a5a648638)
- [55] ŽIVOT S NÁBOJEM: eMobilita od značky ŠKODA. *ŠKODA* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://autonova.skoda-auto.cz/company/skodaemobilita>
- [56] ŠKODA iV Charger. *Ellie* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.elli.eco/de/lp-wallbox-skoda>
- [57] Solární panel Canadian Solar 450Wp CS3W-450MS. *Solars* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-canadian-solar-cs3w-450ms>
- [58] Jaký je rozdíl mezi střídačem a měničem?. In: *Nemakejcz* [online]. 7. 6. 2021 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.nemakej.cz/jaky-je-rozdil-mezi-stridacem-a-menicem-o544>
- [59] GoodWe ET - 10 kW. *SVP SOLAR* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/goodwe-gw10k-et/>



- [60] Co je to virtuální baterie a jak funguje?. *E.ON* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/co-je-to-virtualni-baterie-a-jak-funguje/>
- [61] ELEKTRINA PRO SOLÁRY. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/technologie/fotovoltaika/elektrina-pro-solary>
- [62] MATAJS, Vladimír. Jak velkou fotovoltaickou elektrárnu potřebujete?. In: *Solární experti* [online]. 1. 7. 2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/kolik-solarnich-panelu-na-strechu-potrebujete/>
- [63] Elektrická spotřeba domácích spotřebičů. *Dodavatelelektriny* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/spotreba-domacich-spotrebicu>
- [64] Jsou elektrická auta opravdu levnější na provoz? Srovnávací test!. In: *Auto na klik* [online]. 3. 1. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://autonaklik.cz/jsou-elektricka-auta-opravdu-levnejsi-na-provoz-srovnavaci-test/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	alternating current
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CPU	central processing unit
ČEZ	České energetické závody
ČR	Česká republika
DC	direct current
DPH	daň z přidané hodnoty
EU	Evropská unie
EV	electric vehicle, elektrovozidlo
EVSE	electric vehicle supply equipment
FV	fotovoltaický/é
HEMS	home energy management system
HSB	house stationary battery
USA	United States of America
V2B	vehicle to building
V2C	vehicle to community
V2G	vehicle to grid
V2H	vehicle to home
V2L	vehicle to load
V2V	vehicle to vehicle
V2X	vehicle to x