

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**SIMULAČNÍ ANALÝZA INTEGRACE
ELEKTROMOBILU DO MÍSTNÍHO
FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mečír** Jméno: **Hynek** Osobní číslo: **482415**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Technika prostředí**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Simulační analýza integrace elektromobilu do místního fotovoltaického systému

Název diplomové práce anglicky:

Simulation Analysis of Electric Car Integration into On-Site Photovoltaic System

Pokyny pro vypracování:

Student provede rešerši možné integrace elektromobilů do budov, konkrétně do systému místních obnovitelných zdrojů energie v rámci koncepce vehicle2grid. V praktické části vypracuje simulační model místního fotovoltaického (FV) systému v prostředí TRNSYS a vyhodnotí provoz FV systému pro různé provozní scénáře využití kapacity akumulátorů z elektromobilu a porovná je s výkonností FV bez možnosti akumulace a se statickým akumulátorem.

Seznam doporučené literatury:

GUDMUNDS, D., E. NYHOLM, M. TALJEGARD a M. ODENBERGER. Self-consumption and self-sufficiency for household solar producers when introducing an electric vehicle. Renewable Energy [online]. 2020, 148, 1200–1215. ISSN 0960-1481. Dostupné z: doi:10.1016/J.RENENE.2019.10.030

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání diplomové práce: **20.03.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.06.2023**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá integrací elektromobilu do energetického systému budovy, konkrétně analýzou bilance elektrické energie rodinného domu s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou s využitím obousměrného toku elektrické energie z a do akumulátoru elektromobilu. Bilance elektrické energie je vyhodnocena pomocí klíčových indikátorů jak na úrovni celého objektu včetně provozní spotřeby elektromobilu, tak na úrovni samotné budovy. Pro účely analýzy byl vyvinut simulační model v programu TRNSYS 18 s využitím programovacího jazyka Python 3 pro automatizaci simulací a zpracování dat. Výstupem práce je vyhodnocení dopadů využití akumulátoru elektromobilu v různých provozních scénářích na energetickou bilanci budovy.

Summary

This master thesis deals with the integration of an electric vehicle into a building energy system, specifically with the analysis of the electricity balance of a family house with an installed photovoltaic power plant using bidirectional electricity flow to and from the electric vehicle battery. The electricity balance is evaluated using key performance indicators at the whole facility level including the operational consumption of the electric vehicle, and at the level of the building itself. For the analysis, a simulation model was developed in TRNSYS 18, and the Python 3 programming language was used to automate the simulations and data processing. The outcome of the thesis is an evaluation of the impact of electric vehicle battery usage in different operational scenarios on the energy balance of the building.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Simulační analýza integrace elektromobilu do místního fotovoltaického systému“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Zavřela, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Bc. Hynek Mečíř

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Zavřelovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady při konzultacích a revizi textu. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat rodině a své přítelkyni za podporu během studia i při tvorbě této práce.

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Technologie Vehicle to Home v rámci energetické flexibility.....	12
2.1	Popis technologie Vehicle to Home.....	12
2.2	Standardy a komunikační protokoly	14
2.2.1	Typ 1 (IEC 62196-2).....	15
2.2.2	Typ 2 (IEC 62196-2).....	15
2.2.3	CCS Combo (IEC 62196-3).....	16
2.2.4	CHAdeMO (IEC 62196-3)	16
2.2.5	Komunikační protokoly	17
2.3	Existující technická řešení V2H.....	17
2.3.1	Elektromobily s podporou obousměrného nabíjení	18
2.3.2	Nabíjecí stanice s podporou obousměrného nabíjení	20
2.4	Stávající studie proveditelnosti integrace do systému budov	21
2.4.1	Postupy vyhodnocení dat.....	22
2.4.2	Výsledky studií	24
3	Výzkumná otázka a metodika.....	27
3.1	Stanovení výzkumné otázky	27
3.2	Zvolené nástroje	27
3.3	Stanovení klíčových indikátorů.....	28
3.3.1	Celkové pokrytí spotřeby.....	29
3.3.2	Celkové využití výroby.....	31
3.3.3	Korekce vlivu provozní spotřeby elektromobilu	31
4	Popis studovaných scénářů	34
4.1	Studovaný objekt pro účely spotřeby	34
4.2	Společné okrajové podmínky	35

4.3	Referenční případy	35
4.4	Nastavení parametrické studie	36
4.4.1	Azimut fotovoltaické elektrárny	36
4.4.2	Časový harmonogram elektromobilu.....	36
4.4.3	Denní najetá vzdálenost	37
4.4.4	Dovolené využití kapacity akumulátoru	37
4.5	Provedení parametrické studie	38
5	Tvorba simulačního modelu	39
5.1	Načítání vstupních dat.....	41
5.1.1	Klimatická data	41
5.1.2	Data spotřeby	42
5.1.3	Časový harmonogram elektromobilu.....	43
5.1.4	Dovolené využití kapacity akumulátoru	43
5.2	Model fotovoltaické elektrárny	43
5.3	Model střídače a akumulátoru	44
5.4	Zapisování výstupních dat.....	45
5.5	Kompletní simulační model	46
6	Výsledky energetických simulací	47
6.1	Vliv azimutu fotovoltaické elektrárny na klíčové indikátory	47
6.2	Vliv časového harmonogramu na klíčové indikátory	50
6.3	Vliv denní najeté vzdálenosti na klíčové indikátory	53
6.4	Vliv dovoleného využití kapacity akumulátoru na klíčové indikátory	56
6.5	Vzájemné působení azimutu fotovoltaické elektrárny a časového harmonogramu elektromobilu.....	59
6.6	Souhrnné vyhodnocení.....	62
7	Diskuze	65
8	Závěr	67

9	Seznam literatury	69
	Přílohy.....	76

Seznam použitého značení

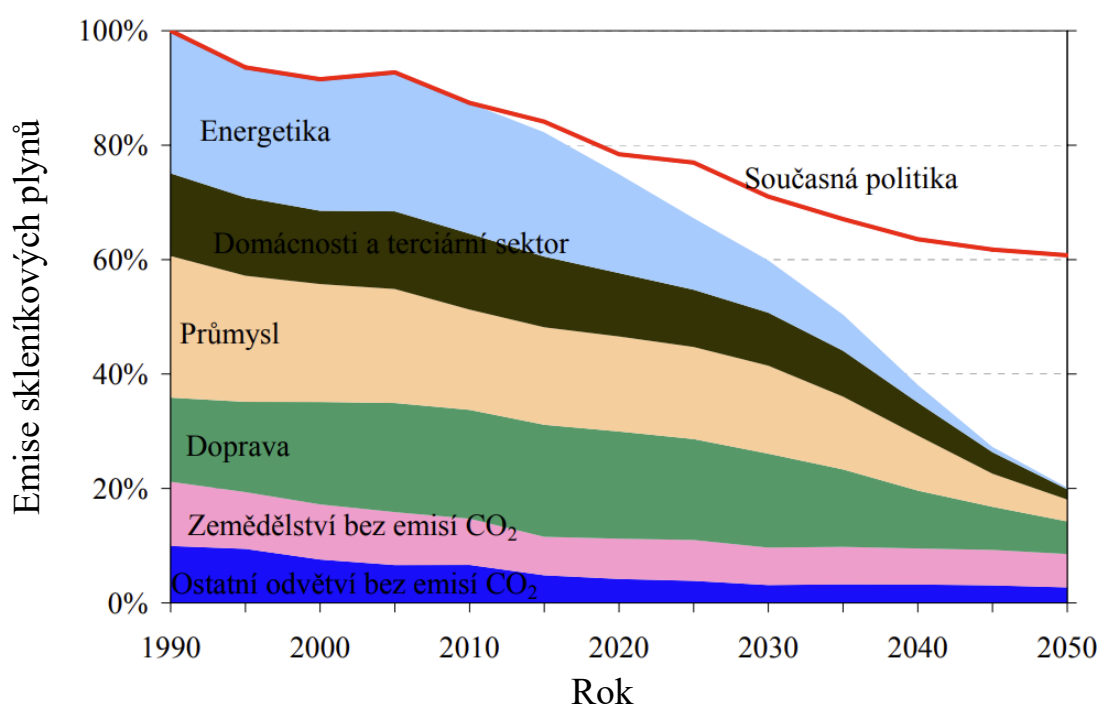
C	[kWh]	celkem spotřebovaná energie
\dot{C}	[W]	celkový odebíraný výkon
C_h	[kWh]	spotřeba elektrické energie referenčního případu samotné budovy
C_{h+EV}	[kWh]	celková spotřeba elektrické energie objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H
G	[kWh]	celkem vyrobená energie fotovoltaickou elektrárnou
\dot{G}	[W]	výkon fotovoltaické elektrárny
G_N	[kWh]	objektem nevyužitá vyrobená energie
$G_{N,h}$	[kWh]	nevyužitá vyrobená elektrická energie referenčního případu samotné budovy
$G_{N,h+EV}$	[kWh]	nevyužitá vyrobená elektrická energie objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H
G_U	[kWh]	vyrobená energie využita pro lokální spotřebu
L	[kWh]	celkové ztráty systému
L_h	[kWh]	ztráty elektrické energie referenčního případu samotné budovy
L_{h+EV}	[kWh]	ztráty elektrické energie objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H
SC	[–]	celkové využití výroby
SC_h	[–]	využití výroby budovou
SS	[–]	celkové pokrytí spotřeby
SS_h	[–]	pokrytí spotřeby budovy
ΔC	[–]	korekční člen na celkovou spotřebu elektrické energie
ΔG_N	[–]	korekční člen na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii
ΔL	[–]	korekční člen na ztráty elektrické energie

Seznam použitých zkratek

AC	střídavý proud
BDR	poměr kapacity akumulátoru ke spotřebě
CCS	Combined Charging System (překl. kombinovaný systém nabíjení)
DC	stejnoseměrný proud
EV	elektromobil
FVE	fotovoltaická elektrárna
HDO	hromadné dálkové ovládání
LiDAR	Light Detection and Ranging (překl. měření vzdálenosti detekcí světla)
SOC	stav nabití akumulátoru
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
V2L	Vehicle to Load
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything

1 Úvod

Aktuálním trendem ve vyspělých zemích je snaha o snižování emisí skleníkových plynů a závislosti na fosilních palivech. V rámci Evropské unie je od roku 2011 stanovena dlouhodobá strategie pro přechod na konkurenceschopné nízkouhlíkové hospodářství. Cílem této strategie je snížit emise skleníkových plynů v Evropské unii do roku 2050 o 80 až 95 % oproti roku 1990 (viz obr. 1). Opatření pro snižování emisí se týkají zejména odvětví energetiky, dopravy, stavebnictví, průmyslu a zemědělství. Klíčovou roli v nízkouhlíkovém hospodářství by měla hrát bezemisní elektřina, která bude vyráběna pomocí obnovitelných zdrojů energie. Počítá se také s větší mírou decentralizace výroby elektrické energie a využitím inteligentních sítí. Spotřeba v dopravě bude snižována pomocí vyšší účinnosti vozidel, používáním energií šetrnějších k životnímu prostředí a lepším využitím informačních a komunikačních systémů. Zejména v oblasti osobních vozidel by měly být využívány hybridní technologie a vozidla s elektrickým pohonem, případně s vodíkovými články. V oblasti letectví a těžké nákladní dopravy se pak počítá s využitím biopaliv a dalších alternativních paliv. Ve stavebnictví budou emise omezovány prostřednictvím zlepšené energetické náročnosti budov a inteligentního řízení. Snižování emisí v průmyslu a zemědělství by pak mělo probíhat zejména díky vyspělejším technologiím, vyšší míře recyklace a lepší produktivitě. [1]



Obr. 1: Plán snižování emisí skleníkových plynů v EU do roku 2050 [1]

Výkon obnovitelných zdrojů energie je ale výrazně závislý na stavu počasí a povětrnostních podmínkách. Nemusí tak docházet k souladu výroby a spotřeby. Následkem příliš nízkého výkonu lokálního zdroje je neuspokojení aktuální spotřeby budovy a nutnost odebírání elektrické energie z distribuční soustavy. Naopak při příliš vysokém výkonu lokálního zdroje dochází k nevyužití vyráběné energie a jejímu exportování do distribuční sítě nebo k odpojení zdroje. Z tohoto důvodu je vhodné doplňovat obnovitelné zdroje energie o prvek akumulace. Naakumulovanou energii lze využít pro pozdější spotřebu, čímž se zvýší lokální využití vyrobené energie. Pro lokální akumulaci elektrické energie se běžně využívají stacionární akumulátory, které jsou ale poměrně drahé. S využitím moderních technologií a rozvíjející se elektromobility se však nabízí možnost částečně využívat akumulátor v elektromobilu k akumulaci elektrické energie pro potřeby budovy, a to v kombinaci s primárním požadavkem na mobilitu uživatele.

Tato práce se věnuje možnosti propojení lokálního zdroje obnovitelné energie a akumulace vyrobené elektrické energie do akumulátoru elektromobilu. S pomocí počítačových simulací je vyhodnocen vliv 430 kombinací různých provozních scénářů elektromobilu a orientací fotovoltaické elektrárny na klíčové indikátory pokrytí spotřeby a využití výroby.

2 Technologie Vehicle to Home v rámci energetické flexibility

2.1 Popis technologie Vehicle to Home

Obecným pojmem pro systémy umožňující obousměrný tok elektrické energie z a do automobilu je Vehicle to Everything (V2X). Tyto systémy umožňují využití akumulátoru uvnitř elektromobilu i k jiným účelům než jen k potřebám vozu samotného. Pod V2X spadají systémy Vehicle to Grid (V2G), Vehicle to Home (V2H), Vehicle to Vehicle (V2V) nebo Vehicle to Load (V2L). Princip V2G uvažuje dodávání elektrické energie z vozidla do elektrizační soustavy. Toho se pak dá využít například při poskytování systémových služeb sítě. V2V umožňuje nabíjení jednoho vozidla z akumulátoru druhého vozidla. Tento systém nachází uplatnění například u armádních vozidel. V2L je pak pojem pro systém dodávající elektrickou energii z vozidla přímo do spotřebiče nebo do

skupiny spotřebičů. V2L může najít využití například u expedičních nebo obytných vozidel. V případě V2H může být elektrická energie využívána k napájení domu. Vozidlo tak může sloužit například jako akumulátor elektrické energie vyrobené lokálními zdroji nebo jako záložní zdroj při výpadku elektrické sítě. [2]

Celý systém V2H se skládá ze tří hlavních částí, a to elektromobilu, nabíjecí stanice a přenosového a komunikačního rozhraní. Podmínkou fungování systému je elektromobil umožňující obousměrný tok elektrické energie. Stejná podmínka platí i pro nabíjecí stanici. V praxi se pro možnost obousměrného toku elektrické energie u elektromobilů a nabíjecích stanic používá výhradně pojem obousměrné nabíjení (angl. bidirectional charging). Silový a komunikační kabel mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem pak zprostředkovává tok elektrické energie a také datový přenos potřebných veličin pro vzájemnou komunikaci.

Na obr. 2 je znázorněno zjednodušené schéma popisující fungování systému V2H ve spojení s budovou a lokálním zdrojem elektrické energie. Jsou zde rovněž znázorněny toky elektrické energie mezi jednotlivými prvky systému.



Obr. 2: Schéma systému V2H [3]

Velmi důležitým tématem spojeným s provozem V2H, respektive obecně všech systémů V2X, je vliv na životnost akumulátoru v elektromobilu. Životnost akumulátoru závisí zejména na dvou faktorech, kterými jsou časová degradace a cyklická degradace. Časová degradace akumulátoru je závislá na stavu jeho nabití, přičemž se s vyššími hodnotami stavu nabití jeho životnost zkracuje [4]. Dle studie [5] je životnost akumulátoru pouze za předpokladu časového stárnutí necelých 17 let, kdy se jeho kapacita pozvolně sníží až na 75 % původní hodnoty. Snížení kapacity akumulátoru v elektromobilu na 75 % původní

kapacity je považováno za konec jeho životnosti. Takové akumulátory následně nachází druhotné využití například ve stacionárních úložištích elektrické energie [5].

Cyklická degradace je způsobená používáním (nabíjením a vybíjením) akumulátoru. Vliv cyklické degradace je nejvíce závislý na výkonu nabíjení a vybíjení a dále také na hloubce vybíjení akumulátoru [5, 6]. V případě elektromobilu závisí cyklická degradace akumulátoru na stylu jeho používání. Zatímco se předpokládaná životnost akumulátoru v elektromobilu bez V2H pohybuje okolo 10,5 let, tak v případě identického elektromobilu s funkcí V2H je předpokládaná životnost snížena až o 2 roky. [5]

Studie [7] prezentuje případ, při kterém za určitých podmínek může dojít naopak ke zvýšení životnosti akumulátoru elektromobilu při využívání funkce V2G oproti případu bez využití této funkce. Důvodem zvýšení životnosti je zejména optimalizace mezi časovou a cyklickou degradací, přičemž nižší časové degradace je dosahováno díky nižšímu průměrnému stavu nabití akumulátoru a cyklická degradace je optimalizována pomocí chytré sítě.

2.2 Standardy a komunikační protokoly

Existuje několik standardů nabíjecích konektorů, nicméně pouze některé z nich zahrnují podporu pro technologii V2H [2]. Nabíjecí konektory pro elektromobily jsou definovány sérií mezinárodních norem IEC 62196 spadající pod Mezinárodní elektrotechnickou komisi. Tyto normy upravují požadavky a parametry zástrček, zásuvek, konektorů a přírodních kabelů pro elektrická vozidla se jmenovitým provozním střídavým napětím nejvýše 690 V o frekvenci 50 Hz až 60 Hz a jmenovitém proudu nejvýše 250 A nebo se stejnosměrným napětím do 1 500 V při jmenovitém proudu nejvýše 800 A. Z hlediska obsahu této práce jsou nejpodstatnější její části 1, 2 a 3. [8]

IEC 62196-1 obecně popisuje propojení mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí, upravuje požadavky na mechanické a elektrické vlastnosti a testování. Nejnovější vydání z roku 2022 upravuje další požadavky na kontaktní materiály a provádí změny v některých zkouškách. [8]

IEC 62196-2 obsahuje popis a technické specifikace konektorů pro nabíjení střídavým proudem (AC). [9]

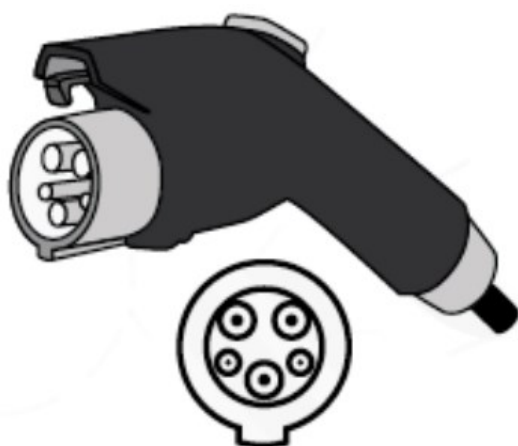
IEC 62196-3 obsahuje popis a technické specifikace konektorů pro nabíjení stejnosměrným proudem (DC). V nejnovějším vydání z roku 2022 jsou navýšeny jmenovité hodnoty u všech konfigurací. [10]

2.2.1 Typ 1 (IEC 62196-2)

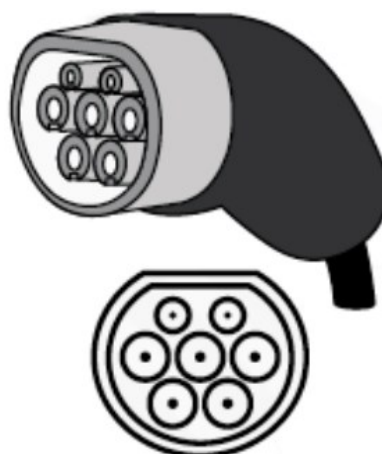
Konektor Typ 1 lze nalézt také pod názvy „Yazaki“ podle původního výrobce nebo „J1772“ podle původní normy SAE J1772/2009. Jeho grafická podoba je znázorněna na obr. 3. Vyskytuje se zejména v zemích severní Ameriky. V Evropě a Asii je k nalezení spíše ojediněle v soukromých nabíjecích stanicích. Konektor je určen pro nabíjení jednofázovým střídavým proudem. Napětí může být 120 V nebo 240 V a maximální proud 16 A, resp. 80 A. Maximální dovolené přenosové výkony se pohybují v rozmezí 1,9 kW až 19,2 kW. [11, 12]

2.2.2 Typ 2 (IEC 62196-2)

Konektor Typ 2 lze najít také pod názvem „Mennekes“ podle původního výrobce. Jeho první specifikace se objevila v původní normě VDE-AR-E 2623-2-2, která byla následně přejata do standardu Mezinárodní elektrotechnické komise IEC 62196-2. Grafická podoba tohoto konektoru je znázorněna na obr. 4. Tento konektor se vyskytuje především na území Evropy. Konektor využívá k nabíjení střídavé třífázové napětí 400 V s maximálním proudem až 32 A. To dovoluje maximální přenosový výkon až 22 kW. [11, 12]



Obr. 3: Konektor Typ 1 [12]



Obr. 4: Konektor Typ 2 [12]

2.2.3 CCS Combo (IEC 62196-3)

Konektory CCS Combo vznikly pod hlavičkou spolku CharIN e. V., který založily Audi, BMW, Daimler, Mennekes, Opel, Phoenix Contact, Porsche, TÜV SÜD a Volkswagen. Zkratka „CCS“ v názvu znamená „Combined Charging System“ (v překladu kombinovaný nabíjecí systém). Důvodem je kombinace rozhraní pro nabíjení střídavým proudem a rozhraní pro nabíjení stejnosměrným proudem. Verze CCS Combo 1 je kombinací konektoru Typ 1 a DC konektoru (viz obr. 5). Verze CCS Combo 2 je analogicky kombinace konektoru Typ 2 a DC konektoru (viz obr. 6). CCS Combo 1 je nejrozšířenější v zemích severní Ameriky, podobně jako tomu bylo u Typu 1. CCS Combo 2 je pak nejrozšířenější v Evropě, k čemuž přispívá i fakt, že je ze zákona povinný na veřejných nabíjecích stanicích. Konektory podporují stejnosměrné nabíjecí napětí v rozmezí 200 V až 600 V s maximálními dovolenými proudy od 80 A až po 400 A. Tyto parametry dovolují maximální přenosový výkon až 240 kW. [11, 12]



Obr. 5: Konektor CCS Combo 1 [12]

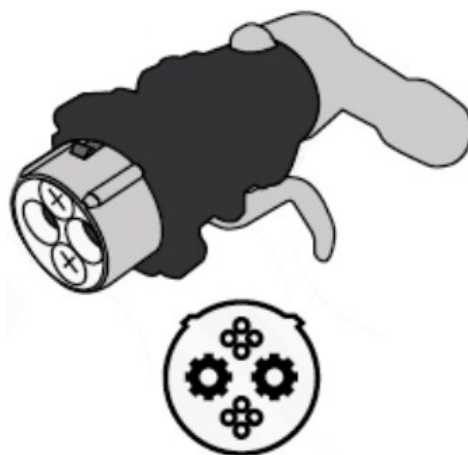


Obr. 6: Konektor CCS Combo 2 [12]

2.2.4 CHAdeMO (IEC 62196-3)

Tento konektor původně pochází z Japonska. Byl uveden pod hlavičkou sdružení CHAdeMO Association, které založily firmy Toyota, Nissan, Mitsubishi, Fuji Heavy Industries a Tokyo Electric Power Company. Jeho vizualizace je na obr. 7. Konektor na rozdíl od CCS Combo umožňuje pouze nabíjení stejnosměrným proudem a není kompatibilní s žádnými jinými konektory. U tohoto konektoru bylo jako první oficiálně podporováno obousměrné nabíjení. Je využíván zejména v Japonsku. Mimo Japonsko ho

lze nalézt také v některých japonských automobilech. CHAdeMO dovoluje stejnosměrné nabíjení o napětí v rozmezí 200 V až 500 V s proudem až 125 A. Přenosový výkon tak může dosahovat až 62,5 kW. [11, 12]



Obr. 7: Konektor CHAdeMO [12]

2.2.5 Komunikační protokoly

Komunikace mezi vozidlem a nabíjecím bodem probíhá pomocí standardů definovaných normou ISO 15118-20. Její nejnovější verze byla vydána v roce 2022. Tato norma definuje komunikační protokoly pro drátovou i bezdrátovou komunikaci mezi řídicí jednotkou elektromobilu a řídicí jednotkou nabíjecího zařízení včetně umožnění jejich komunikace přes internet. Věnuje se zejména požadavkům na komunikaci během obousměrného přenosu elektrické energie nebo bezdrátového nabíjení. Dále se věnuje také požadavkům na automatické připojování a získávání informací o stavu nabíjení. [13]

2.3 Existující technická řešení V2H

Jak již bylo výše zmíněno, jednou z nutných podmínek pro fungování celého systému je elektromobil umožňující obousměrné nabíjení. I přes značný rozmach elektromobility v posledních letech však není pravidlem, aby elektromobil tuto funkci umožňoval. Je tedy nutné vybírat ze značně omezené nabídky výrobců. Nabíjecí stanice podporující obousměrné nabíjení jsou na trhu dostupné od většího počtu výrobců. Jejich celková nabídka je ale také poměrně omezená a v některých případech jsou dostupné pouze pro omezený region.

2.3.1 Elektromobily s podporou obousměrného nabíjení

Podporu obousměrného nabíjení lze najít v Evropě zejména u starších elektromobilů značky Nissan a plug-in hybridů Mitsubishi, jelikož disponují konektorem CHAdeMO. V severní Americe je od roku 2022 dostupný Ford F-150 Lightning, který umožňuje obousměrné nabíjení s konektorem CCS Combo 1. [14] Funkci obousměrného nabíjení integrují do svých elektromobilů také mladé americké automobilky Lucid a Rivian [15, 16], podrobnější informace k parametrům jejich systému se ale nepodařilo dohledat.

Nově by měly podporovat obousměrné nabíjení také všechny elektromobily koncernu Volkswagen postavené na platformě MEB. Na této platformě jsou postaveny například vozy Audi Q4 e-tron, Cupra Born, Škoda Enyaq iV a všechny vozy rodiny Volkswagen ID [17]. Zajímavostí může být, že na platformě MEB bude postaven také chystaný Ford Explorer EV, který však není součástí koncernu Volkswagen [18]. Elektromobily na platformě MEB v Evropě používají konektor CCS Combo 2. Pro zjištění dalších informací byl zaslán dotaz na tiskové oddělení společnosti Škoda Auto. Funkce obousměrného nabíjení je dle vyjádření dostupná ve všech elektromobilech od softwaru verze 3.2, ale stále chybí chystaná nabíjecí stanice, která by toto umožňovala. Další podrobnosti však nemohli komentovat. Pro konkrétní specifikace bude tedy nutné počkat na oficiální představení.

V tab. 1 jsou shrnuty základní parametry výše zmíněných automobilů, které souvisí s touto prací. První a druhý sloupec obsahují informace o značce a modelu. Zároveň jsou zde uvedeny zdroje, ze kterých byly čerpány dané informace. Ve třetím sloupci jsou uvedeny modelové roky, ke kterým se uvedené parametry vztahují. Čtvrtý sloupec udává konektor, kterým lze automobil nabíjet. Dále je uvedena využitelná kapacita akumulátoru, se kterým se vozidlo dodává. Ve sloupci s názvem „udávaná spotřeba“ je rozmezí kombinované spotřeby udávané výrobcem. Maximální nabíjecí výkon je udáván pro rychlonabíjení pomocí stejnosměrného proudu. V posledním sloupci je pak uveden výrobcem udávaný výkon, který je možné využít pro technologii V2H. Tento výkon však bylo možné dohledat pouze pro Ford F-150 Lightning a Lucid Air. Ostatní automobilky ho nikde neuvádí. Neznámé nebo nedostupné informace byly v tabulce nahrazeny otazníkem.

Tab. 1: Seznam automobilů umožňujících funkci V2H

Značka	Model	Rok	Konektor	Akumulátor [kWh]	Udávaná spotřeba [kWh/100 km]	Max. nabíjecí výkon [kW]	Výkon pro V2H [kW]
Audi	Q4 e-tron [19–21]	od 2021	CCS Combo 2	52–77	16,6–19,6	135	?
Cupra	Born [22]	od 2021	CCS Combo 2	58–77	15,3–17,5	120–170	?
Ford	F-150 Lightning [23, 24]	od 2022	CCS Combo 1	98–131	25,4–26,5	120–155	9,6
Lucid	Air [15]	od 2022	CCS Combo 1	118	~16,1	350	19,2
Mitsubishi*	Outlander PHEV* [25, 26]	2013–2021	CHAdeMO	12–13,8	~16,9	?	?
	Eclipse Cross PHEV* [27, 28]	od 2021	CHAdeMO	13,8	~17,5	22	?
Nissan	e-NV200 [29, 30]	2014–2021	CHAdeMO	24–40	~16,5	50	?
	Leaf [14, 31, 32]	od 2013	CHAdeMO	24–59	16,6–18,5	46–100	?
Rivian	R1T, R1S [16, 23]	od 2022	CCS Combo 1	135–180	28,7–32,2	200	?
Škoda	Enyaq iV [33, 34]	od 2021	CCS Combo 2	52–77	15,9–18,4	100–125	?
Volkswagen	ID.3 [35, 36]	od 2020	CCS Combo 2	58–77	15,3–15,4	120–170	?
	ID.4 [35, 36]	od 2020	CCS Combo 2	77	16,7–17,8	125	?
	ID.5 [35, 36]	od 2022	CCS Combo 2	77	16,6–17,3	125	?
	ID.7 [35, 36]	od 2023	CCS Combo 2	77	?	200	?
	ID.Buzz [35, 36]	od 2022	CCS Combo 2	77	20,3–22,3	170	?

* Vozy označené hvězdičkou jsou plug-in hybridy se spalovacím motorem.

Druhou skupinou jsou elektromobily podporující alespoň funkci V2L. Mezi ně patří Hyundai Ioniq 5 a Kia EV6. Oba jsou prodávány od roku 2022, mají konektor CCS Combo 2 a maximální výkon pro V2L je v obou případech 3,6 kW. Hyundai Ioniq 5 lze pořídit s akumulátorem o využitelné kapacitě 58 až 72,6 kWh, přičemž maximální nabíjecí výkon je 350 kW. Spotřeba se podle údajů výrobce pohybuje v rozmezí 16,7 až 19,1 kWh/100 km [37]. Kia EV6 nabízí akumulátory v rozsahu 58 až 77,4 kWh a její maximální nabíjecí výkon dosahuje 180 až 240 kW v závislosti na kapacitě akumulátoru. Spotřeba se podle výrobce pohybuje mezi 16,5 a 18 kWh/100 km [38].

2.3.2 Nabíjecí stanice s podporou obousměrného nabíjení

Nabíjecí stanice podporující obousměrné nabíjení (dále jen nabíjecí stanice) jsou vyráběny buď nezávislými značkami, nebo přímo pod hlavičkou automobilky, která je následně nabízí ke svým vozům jako doplňkovou výbavu.

Mezi nezávislé výrobce těchto nabíjecích stanic patří například firmy Delta, Denso, Fermata Energy, Nichicon, Nuvve, Panasonic, Takaoka Toko a Wallbox. Automobilka Ford pak dodává ke svým vozům F-150 Lightning vlastní ucelený systém pod názvem „Ford Intelligent Backup Power“. Tento systém funguje zejména jako záloha při výpadku elektrické sítě. Systém při výpadku z bezpečnostních důvodů automaticky odpojí budovu od distribuční sítě a následně povolí funkci V2H. Bližší parametry nabíjecích stanic od výše jmenovaných výrobců jsou uvedeny v tab. 2. Některé z nich jsou však dostupné pouze pro omezený region (např. pouze Japonsko nebo Severní Amerika). V nadcházejících letech se chystají uvést na trh nové nabíjecí stanice i další výrobci. Mezi nimi jsou například ABB, Emporia Energy, Enphase a Indra [39–42].

Tab. 2: Základní parametry nabíjecích stanic s podporou V2H

Výrobce	Model	Konektor	Nabíjecí výkon [kW]	Vybíjecí výkon [kW]
Delta [43]	V2H11A-11	CHAdeMO	11	10–11
	V2H11A-22	CHAdeMO	22	10–22
Denso [44]	DNEVC-D6075	CHAdeMO	5,9	5,9
Fermata Energy [45]	FE-20	CHAdeMO	20	20
Ford [24]	Intelligent Backup Power	CCS Combo 1	19,6	9,6
Nichicon [46]	VCG-663CN3	CHAdeMO	6	3
	VCG-663CN7	CHAdeMO	6	3
	VCG-666CN7	CHAdeMO	6	6
Nuvve [47]	RES-HD60-V2G	CCS Combo 1	60	60
	RES-HD125-V2G	CCS Combo 1	125	125
Panasonic [48]	LJV1671B	CHAdeMO	6	6
Takaoka Toko [49]	CFD1-B-V2H1	CHAdeMO	3	3 (krátce až 6)
Wallbox [50]	Quasar	CHAdeMO	7,4	7,4
	Quasar 2	CCS Combo 1 CCS Combo 2	11,5	11,5

2.4 Stávající studie proveditelnosti integrace do systému budov

Existuje poměrně velké množství studií proveditelnosti. Většinou se však zabývají primárně technologií V2G. Tyto studie často uvažují agregaci většího počtu elektromobilů a jejich využití pro podpůrné služby sítě. V současné době probíhá nejméně 117 zkušebních provozů systému V2G. Informace o těchto zkušebních provozech jsou k dispozici na webu [2].

Zadání této práce se ale soustředí na technologii V2H, která je studována v daleko menší míře než technologie V2G. Souhrn nejzásadnějších studií s informací o jejich obsahu je uveden v tab. 3. Tyto studie jsou včetně výsledků shrnuty níže.

Tab. 3: Souhrn článků zabývajících se studií proveditelnosti

Článek	Fotovoltaická elektrárna	Klíčové indikátory	Akumulace	Elektromobil	V2H	Profil spotřeby
[51]	✓	✓	✓	✓	✗	✓
[52]	✓	✓	✓	✓	✓	✗
[53]	✓	✗	✓	✓	✓	✗

Společným cílem všech tří studií je analýza dopadů při implementaci elektromobilu do energetického systému budovy. Studie ve článku [51] se zabývá dopady různých způsobů akumulace elektrické energie při využití individuálních a sdílených stacionárních akumulátorů. Dále se také věnuje změně klíčových indikátorů při zahrnutí spotřeby elektromobilu do tohoto systému. Na elektromobil je zde ale pohlíženo pouze jako na spotřebič a systém V2H zde není uvažován. V dalších studiích [52, 53] však je problematika vztahu mezi budovou a elektromobilem rozšířena právě o funkci V2H. Cílem studie [52] je analýza vlivu elektromobilu na hodnoty klíčových indikátorů pokrytí spotřeby a využití výroby u domácností s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou. Studie [53] se pak věnuje vlivu technologie V2H na energetické nároky budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

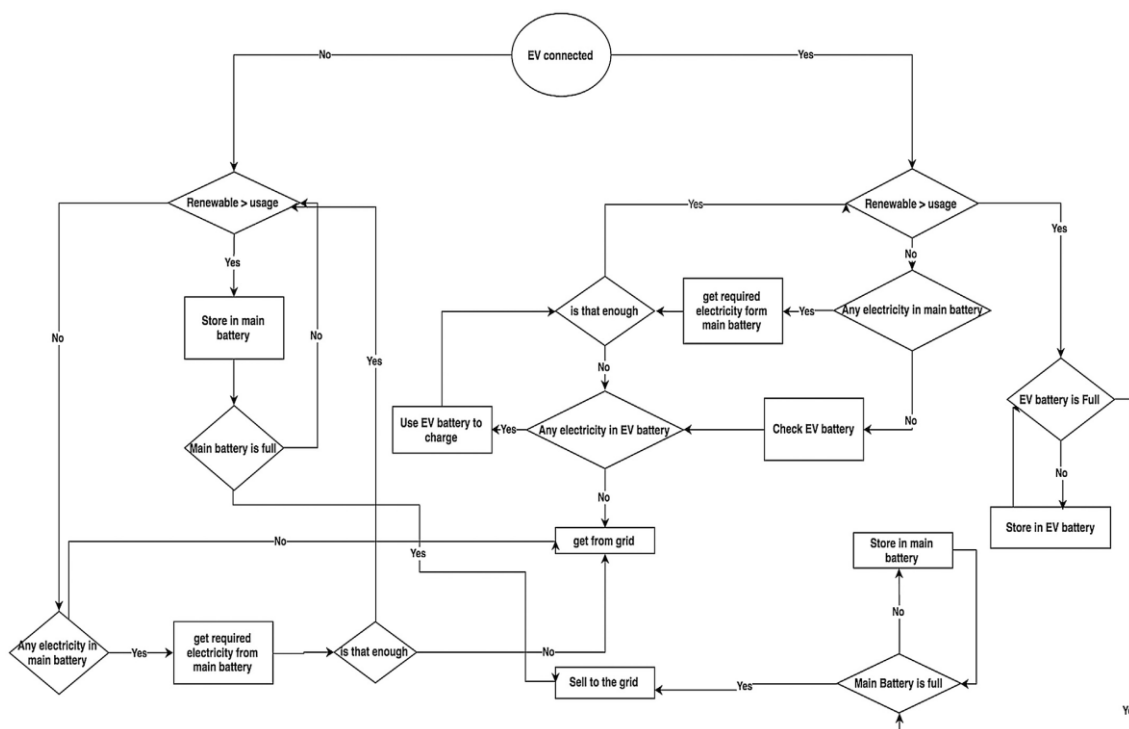
2.4.1 Postupy vyhodnocení dat

Všechny 3 studie přistupovaly k řešení problematiky odlišným způsobem. V publikaci [51] je ke studiu problematiky zvolen statistický přístup. Je zde vyhodnocena spotřeba 21 švédských domácností z měření, které proběhlo v letech 2005 až 2008. Průměrná spotřeba elektrické energie jedné domácnosti zde vychází na 14,5 MWh za rok. Studie dále uvažuje šest různých scénářů energetických systémů. V těchto scénářích je uvažováno různé připojení budov k distribuční síti, individuální, nebo sdílené akumulační úložiště elektrické energie a individuální, nebo sdílené nabíjení elektromobilů. Studie pracuje s modelem výroby fotovoltaických elektráren založeným na LiDAR snímcích (Light Detection and Ranging, měření vzdálenosti detekcí světla) s rozlišením 50 bodů/m². Využitelná kapacita stacionárních akumulátorů zde byla nastavena na 2,8 kWh a celková účinnost nabíjení a vybití na 80 %. Časové harmonogramy využívání jednotlivých elektromobilů byly ve studii stanoveny na základě statistického modelu.

Článek [52] k problematice V2H přistupuje pomocí vyhodnocení konkrétních případů s různými kombinacemi nastavení. Vstupní data sestávají z hodinových profilů spotřeby 20 vybraných švédských rodinných domů a jízdních dat 20 automobilů. Proměnná složka studovaných nastavení se týká poměrů výkonu fotovoltaické elektrárny k průměrné roční zátěži od 1 do 8 (odpovídající velikostem fotovoltaické elektrárny 0,32 až 40,69 kW_p), velikosti akumulátoru k průměrné spotřebované energii od 0 do 4 (odpovídající kapacitám akumulátoru 0 až 20,34 kWh) a kapacity akumulátorů elektromobilů v rozmezí od 15 do 75 kWh. Kombinací proměnných nastavení bylo celkem 120. Nastavení

přenosových výkonů, účinností, spotřeby elektromobilu a geometrie fotovoltaické elektrárny byly uvažovány u všech kombinací stejné. Pro vyhodnocení vlivu V2H na výsledky byl model nejprve spuštěn bez funkce V2H a následně s povolenou funkcí V2H.

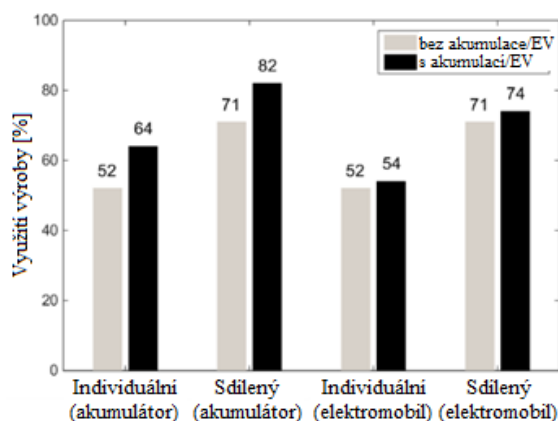
Studie [53] pojednává o dané problematice s pomocí modelu referenční budovy s téměř nulovou spotřebou energie v programu DesignBuilder. Umístění budovy bylo v této studii uvažováno v Orlandu ve Spojených státech amerických. V modelu jsou uvažovány fotovoltaické panely umístěné na plochu střechu o rozloze 10 m² s nastavenou konstantní účinností 15 %. Elektromobil je zde modelován jako akumulátor, který může být připojen k budově během určených časových úseků. Ve studii se předpokládá, že elektromobil je v čase od 9.00 do 17.00 používán pro dopravu a po zbytek dne je připojen k budově. Využitelná kapacita akumulátoru elektromobilu je stanovena na 24 kWh. Dále je v systému uvažován stacionární akumulátor, který je vybíjen přednostně před elektromobilem a nabíjen pouze v případě, že je akumulátor elektromobilu plně nabitý nebo pokud je elektromobil odpojený. Celé blokové schéma použitého algoritmu pro řízení nabíjení a vybíjení stacionárního akumulátoru a elektromobilu je znázorněno na obr. 8.



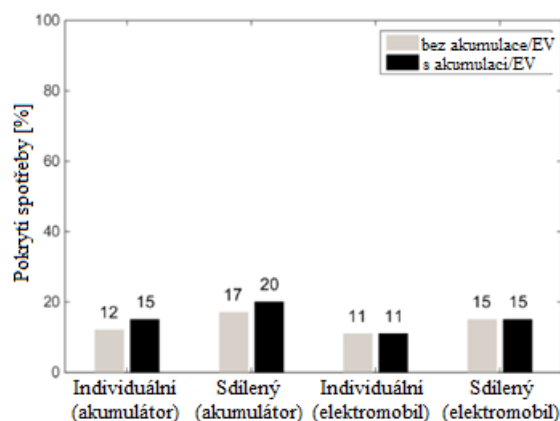
Obr. 8: Blokové schéma algoritmu pro řízení hlavního akumulčního úložiště a systému V2H [53]

2.4.2 Výsledky studií

Výsledky studie [51] jsou zobrazeny v následujících sloupcových grafech. Z grafu na obr. 9 je patrné, že se využití výroby s instalací stacionárního akumulátoru zvýšilo o 11 až 12 % a v případě nabíjení elektromobilů se zvýšilo o 2 až 3 %. Na obr. 10 je zobrazeno pokrytí spotřeby, které se s instalací stacionárního akumulátoru zvýšilo o 3 %. V případě nabíjení elektromobilu se pokrytí spotřeby nijak nezměnilo, neboť byla uvažována pouze spotřeba samotných domácností, a nikoliv přidaná spotřeba pro nabíjení elektromobilů.

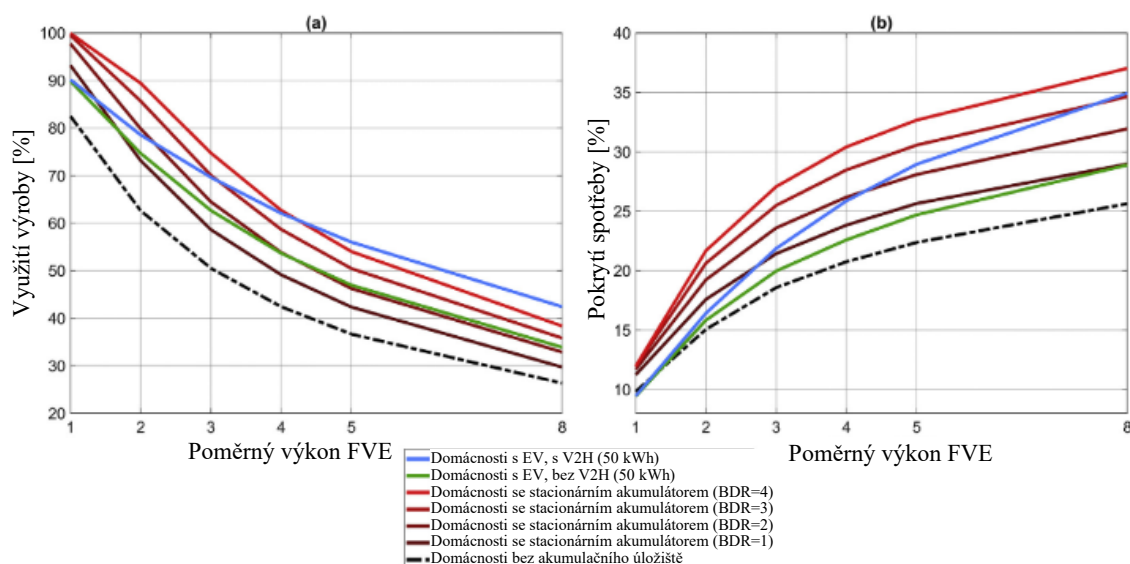


Obr. 9: Využití výroby v závislosti na různých studovaných případech [51]



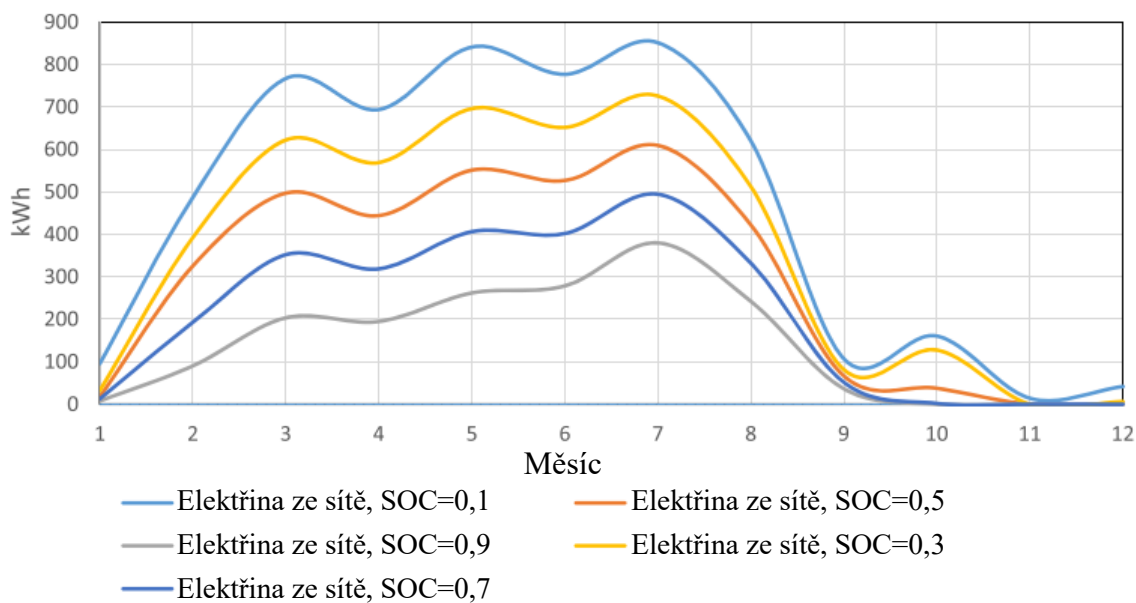
Obr. 10: Pokrytí spotřeby v závislosti na různých studovaných případech [51]

Výsledky ze studie [52] přínosné pro tuto diplomovou práci jsou zobrazeny na obr. 11. Podstatná je zejména zelená křivka, která vyjadřuje použití elektromobilu bez funkce V2H a modrá křivka vyjadřující elektromobil s podporou V2H. Z obou grafů je jasně patrné, že funkce V2H má vliv na zvýšení využití výroby i pokrytí spotřeby, a to hlavně při větších poměrech výkonu fotovoltaické elektrárny k průměrnému odběru. Dále je také vidět, že přínos elektromobilu s funkcí V2H jako akumulátoru pro lokálně vyráběnou obnovitelnou energii lze srovnávat i s instalovaným stacionárním akumulátorem, a to opět zejména u větších poměrů výkonu fotovoltaické elektrárny k průměrné spotřebě. Je však potřeba brát v potaz, že výsledky mají veliký rozptyl hodnot, neboť jsou výrazně závislé na intenzitě využívání elektromobilu a jeho jízdním profilu.

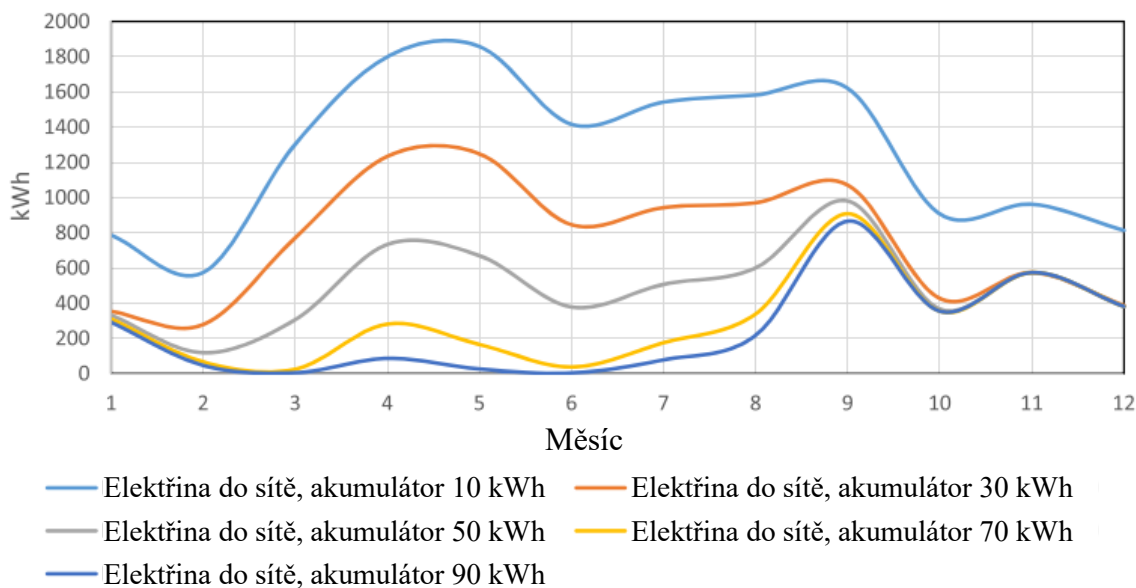


Obr. 11: Využití výroby a pokrytí spotřeby v závislosti na poměrné velikosti fotovoltaické elektrárny ke spotřebě pro různé studované případy [52]

Výsledky studie [53] ukazují, že je možné s pomocí technologie V2H dosáhnout snížení spotřeby elektrické energie ze sítě až o 68 %. Autoři dále vyhodnotili také citlivost výstupů v závislosti na stavu nabití akumulátoru elektromobilu při jeho návratu. Na obr. 12 je vidět, že se zvyšujícím se využitím vozidla (tj. nižším stavem nabití při návratu) spotřeba elektrické energie ze sítě stoupá. Celoročně tak byla při 90% nabití elektromobilu spotřeba energie ze sítě nižší o 80 % oproti nejnižšímu uvažovanému 10% nabití při návratu. Dále byly také v článku vyhodnoceny výstupy v závislosti na kapacitě stacionárního akumulátoru, přičemž je z obr. 13 patrné, že se zvyšující se kapacitou stacionárního akumulátoru se do určité míry snižují přetoky vyrobené elektrické energie do sítě. Průměrně bylo při kapacitě stacionárního akumulátoru 90 kWh dosaženo 77% snížení přetoků do sítě ve srovnání s akumulátorem o kapacitě 10 kWh.



Obr. 12: Spotřeba elektrické energie ze sítě po měsících pro různé stavy nabití akumulátoru elektromobilu při návratu [53]



Obr. 13: Přetoky elektrické energie do sítě po měsících pro různé varianty kapacity stacionárního akumulátoru [53]

3 Výzkumná otázka a metodika

3.1 Stanovení výzkumné otázky

V úvodní kapitole byla nastíněna potřeba akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů vzhledem k jejich nestabilitě. Ve vyspělých zemích zároveň vzrůstá podíl elektromobility, která přispívá k rozvoji nových technologií. Mezi takové technologie patří i V2H, která rozšiřuje možnosti využití elektromobilu nad jeho primární účel přepravy a umožňuje využití jeho akumulátoru také k akumulaci přebytečné energie vyráběné lokálním zdrojem a jejímu následnému využití pro provoz budovy.

Cílem této práce je vyhodnocení možných přínosů technologie V2H na úroveň soběstačnosti rodinného domu s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou. Vyhodnocení je provedeno na reálných naměřených datech spotřeby elektrické energie z příkladového rodinného domu, simulované výrobě fotovoltaické elektrárny a simulovaného provozu elektromobilu v podobě odpojovacího se akumulátoru. Pro tyto účely je v práci vyvinut numerický simulační model. V modelu je také zaveden předpoklad, že systém nebude nijak výrazně omezovat uživatele elektromobilu ani samotné budovy. Vyhodnocení úrovně soběstačnosti celého systému i samotné budovy pro studované scénáře je provedeno pomocí klíčových indikátorů pokrytí spotřeby a využití výroby, které jsou blíže specifikované níže. Tyto klíčové indikátory jsou následně mezi sebou porovnány pro zjištění vlivu technologie V2H.

3.2 Zvolené nástroje

Pro simulaci výroby a akumulace elektrické energie je využit program TRNSYS 18. Jedná se o zavedené softwarové prostředí umožňující sestavování matematických simulačních modelů pomocí grafického rozhraní. V tomto rozhraní je možné tvořit komplexní numerické modely na základě propojení dílčích částí, které jsou reprezentovány předdefinovanými komponentami. [54]

Celý program se skládá ze dvou hlavních částí. První z nich je výpočetní jádro, jehož hlavní funkcí je čtení a zpracovávání vstupních dat, iterační řešení komplexního numerického modelu, ověřování konvergence modelu a vypisování systémových proměnných. Jádro dále obsahuje nástroje, které slouží ke stanovení tepelně technických vlastností a k provádění matematických operací, jakými jsou například inverze matic, provádění lineární regrese nebo interpolace vstupních dat. [54]

Druhou částí programu je rozsáhlá knihovna komponent, tzv. Typů. Každá komponenta matematicky popisuje chování dílčí části systému. Standardní knihovna obsahuje přibližně 150 Typů od základních čerpadel přes vícezónové modely budovy, větrné elektrárny až po elektrolyzéry, zpracování meteorologických dat a ekonomické výpočty. Jednotlivé Typy jsou koncipovány tak, aby uživatelé mohli jednoduše upravovat jejich parametry. Knihovnu lze rozšířit rovněž o uživatelsky naprogramované Typy. V rámci rozšíření standardních knihoven o širokou škálu dalších komponent jsou k dispozici také doplňkové knihovny TESS Library obsahující dalších více než 500 Typů rozříděných do 14 různých knihoven podle jejich účelu. Každá z knihoven obsahuje kromě samotných modelů komponent také originální zdrojové kódy komponent, dokumentaci a vzorové projekty. Vzorové projekty slouží k demonstraci typického použití komponent obsažených v dané knihovně. [54]

V programu TRNSYS 18 je vytvořen simulační model celého systému. Vstupní data představující okrajové podmínky výpočtu zahrnují soubory s naměřenou spotřebou a typickým meteorologickým rokem. Dále je také potřeba nastavit všechny vstupní hodnoty simulačního modelu, které definují konkrétní případy. Výstupy jednotlivých simulací musí zahrnovat veškeré informace potřebné pro vyhodnocení klíčových indikátorů pokrytí spotřeby a využití výroby popsaných níže.

Pro automatizaci simulací je využit externí nástroj TRNSYSfromPython, který byl vyvinut na Technické Univerzitě v Eindhovenu [55]. Tento nástroj je napsaný v programovacím jazyce Python 3 a umožňuje automatizované provedení parametrické studie na základě zadaných parametrů. Vzhledem ke značnému rozsahu parametrické studie jsou výsledky včetně vyhodnocení klíčových indikátorů zpracovány rovněž pomocí programovacího jazyka Python 3. Velkou výhodou, kterou tento způsob zpracování dat poskytuje, je rychlá a efektivní práce s velkým množstvím dat a dobré možnosti jejich filtrování.

3.3 Stanovení klíčových indikátorů

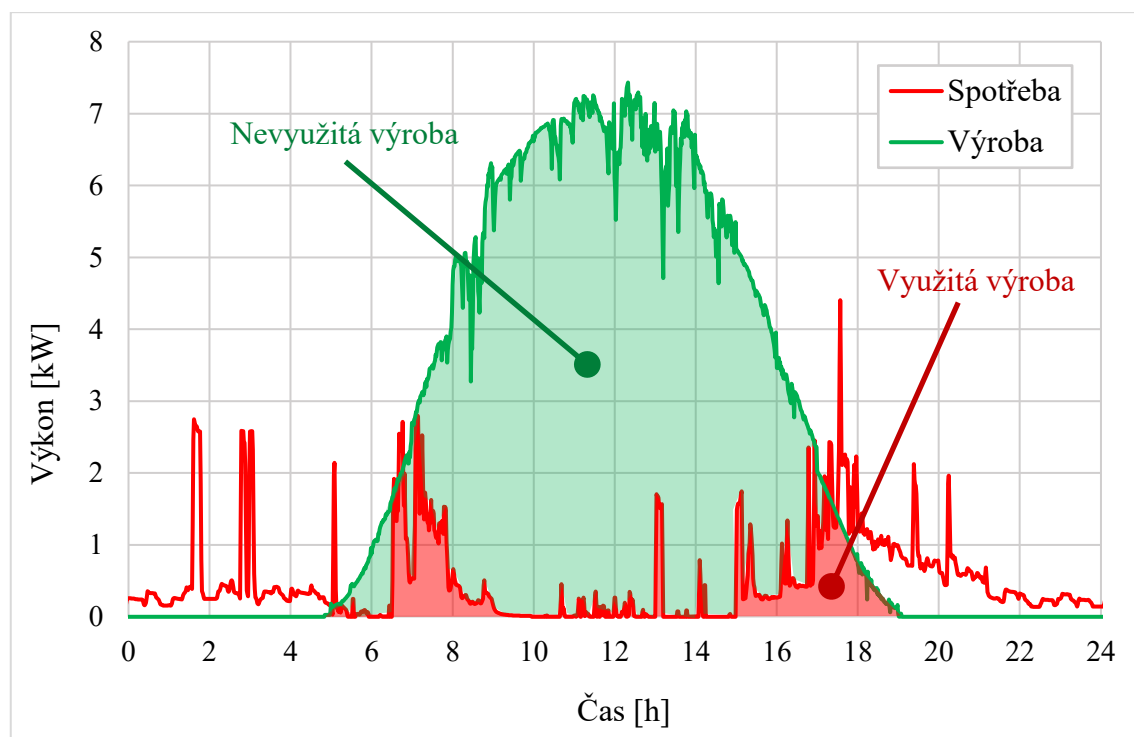
Pro vyhodnocení energetické soběstačnosti jsou stanoveny klíčové indikátory, které umožňují porovnání jednotlivých scénářů mezi sebou. Indikátory v sobě zahrnují zejména vlivy průběhů spotřeby, výroby včetně eventuální akumulace a účinnosti systému.

3.3.1 Celkové pokrytí spotřeby

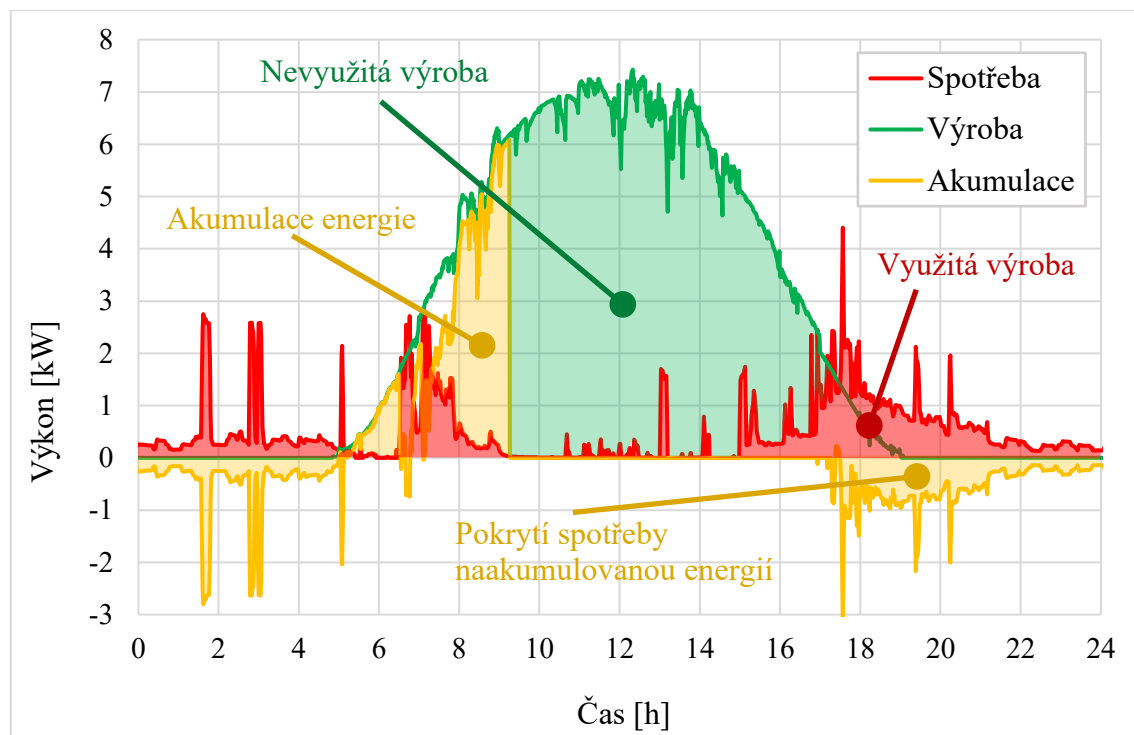
Prvním vybraným klíčovým indikátorem je celkové pokrytí spotřeby, známé z anglické literatury pod pojmem Self-Sufficiency se zkratkou SS. Tento indikátor vyjadřuje podíl využitě místně vyrobené energie na celkové spotřebě a může nabývat hodnot od 0 do 1. Jeho obecnou definici popisuje následující rovnice:

$$SS = \frac{\int \min(\dot{G}, \dot{C})}{\int \dot{C}} \quad [-], \quad (1)$$

kde \dot{G} [W] je výkon fotovoltaické elektrárny závislý na proměnných podmínkách počasí v čase a \dot{C} [W] je celkový odebíraný výkon. Grafické znázornění těchto veličin a na nich závisící využitě a nevyužitě vyrobené energie je vidět na obr. 14 a obr. 15. Jedná se o průběh v jednom dni, přičemž na horizontální ose je čas v hodinách a na vertikální ose momentální výkon v kW.



Obr. 14: Grafické znázornění využitě a nevyužitě výroby bez akumulace



Obr. 15: Grafické znázornění využití a nevyužití výroby včetně akumulace

Rovnici (1) lze upravit do tvaru:

$$SS = \frac{G_U}{C} [-], \quad (2)$$

kde G_U [kWh] je vyrobená energie využita pro lokální spotřebu za dané období a C [kWh] je celkem spotřebovaná energie za dané období.

Rovnici (2) lze dále upravit do vztahu aplikovatelného na výstupy ze simulací:

$$SS = \frac{G - G_N - L}{C} [-], \quad (3)$$

kde G [kWh] je celkem vyrobená energie fotovoltaickou elektrárnou, G_N [kWh] je objektem nevyužitá vyrobená energie, L [kWh] jsou celkové ztráty systému a C [kWh] je celkem spotřebovaná energie objektu včetně provozní spotřeby elektromobilu.

3.3.2 Celkové využití výroby

Druhým klíčovým indikátorem je celkové využití výroby, v anglické literatuře pod pojmem Self-Consumption se zkratkou SC. Tento indikátor vyjadřuje podíl využité vyrobené energie na celkem vyrobené energii a může opět nabývat hodnot od 0 do 1. Jeho obecnou definici popisuje následující rovnice:

$$SC = \frac{\int \min(\dot{G}, \dot{C})}{\int \dot{G}} \quad [-], \quad (4)$$

kde \dot{G} [W] je výkon fotovoltaické elektrárny závislý na proměnných podmínkách počasí v čase a \dot{C} [W] je celkový odebíraný výkon.

Rovnici (4) lze upravit do tvaru:

$$SC = \frac{G_U}{G} \quad [-] \quad (5)$$

kde G_U [kWh] je vyrobená energie využita pro lokální spotřebu za dané období a G [kWh] je celkem vyrobená energie za dané období.

Rovnici (5) lze rovněž upravit do vztahu aplikovatelného na výstupy ze simulací:

$$SC = \frac{G - G_N - L}{G} \quad [-], \quad (6)$$

kde G [kWh] je celkem vyrobená energie fotovoltaickou elektrárnou, G_N [kWh] je objektem nevyužitá vyrobená energie a L [kWh] jsou celkové ztráty systému.

3.3.3 Korekce vlivu provozní spotřeby elektromobilu

Výše definované vztahy (1) a (4), resp. jejich upravené verze (3) a (6) podávají informaci o úrovni soběstačnosti na základě bilance elektrické energie celého objektu včetně akumulace a provozní spotřeby elektromobilu. Elektromobil nabíjený v rámci domácnosti může hrát roli významného spotřebiče, jehož roční spotřeba v některých případech může převyšovat i roční spotřebu elektrické energie samotného uvažovaného rodinného domu.

Studie se zaměřuje zejména na možný přínos technologie V2H pro místní fotovoltaický systém a jeho vliv na úroveň soběstačnosti samotné budovy. Pro účely posouzení přínosu technologie V2H na soběstačnost samotné budovy je nutné vyloučit z celkové energetické bilance provozní spotřebu elektromobilu. Proto byl v rámci této práce navržen níže

popsaný postup pro korekci vlivu provozní spotřeby elektromobilu na studované klíčové indikátory. Tento postup je dělen do pěti následujících kroků:

- 1) simulace energetické bilance elektrické energie referenčního případu samotné budovy bez elektromobilu,
- 2) simulace energetické bilance elektrické energie identické budovy včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H,
- 3) simulace energetické bilance elektrické energie identické budovy včetně elektromobilu s povolenou funkcí V2H,
- 4) vyčíslení vlivu přidané provozní spotřeby elektromobilu na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii, ztráty elektrické energie a celkovou spotřebu elektrické energie, které jsou stanoveny jako rozdíly těchto hodnot mezi kroky 1 a 2,
- 5) stanovení klíčových indikátorů s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii, ztráty elektrické energie a celkovou spotřebu elektrické energie. Korekce je provedena odečtením hodnot vypočtených v bodě 4 (rozdíly mezi referenčním případem samotné budovy bez elektromobilu a objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H) od příslušných výsledků ze simulace energetické bilance elektrické energie z kroku 3 (budova včetně elektromobilu s povolenou funkcí V2H).

Simulací referenčního případu samotné budovy bez elektromobilu v kroku 1 jsou získány výchozí hodnoty nevyužitá vyrobená elektrická energie, ztráty elektrické energie a celkové spotřeby elektrické energie. Následně je v kroku 2 provedena simulace budovy se stejným nastavením, ale už s přítomným elektromobilem. Elektromobil je ale v tomto případě provozován bez funkce V2H. Ve 3. kroku je provedena simulace budovy s elektromobilem s povolenou funkcí V2H.

Ve 4. kroku je provedeno vyčíslení vlivu přidané provozní spotřeby elektromobilu na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii, ztráty elektrické energie a celkovou spotřebu elektrické energie. Tento vliv je stanoven odečtením výchozích hodnot nevyužitá vyrobená elektrická energie, ztrát elektrické energie a celkové spotřeby elektrické energie (krok 1) od příslušných výsledků pro objekt včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H (krok 2). Vyčíslení vlivu přidané provozní spotřeby elektromobilu je popsáno rovnicemi (7), (8) a (9).

$$\Delta G_N = G_{N,h+EV} - G_{N,h} \text{ [kWh]} \quad (7)$$

$$\Delta L = L_{h+EV} - L_h \text{ [kWh]} \quad (8)$$

$$\Delta C = C_{h+EV} - C_h \text{ [kWh]} \quad (9)$$

kde $G_{N,h+EV}$ [kWh] je nevyužitá vyrobená elektrická energie případu objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H, $G_{N,h}$ [kWh] je nevyužitá vyrobená elektrická energie referenčního případu samotné budovy, L_{h+EV} [kWh] jsou ztráty elektrické energie v případě objektu včetně elektromobilu se zakázanou funkcí V2H, L_h [kWh] jsou ztráty elektrické energie referenčního případu samotné budovy, C_{h+EV} [kWh] je celková spotřeba elektrické energie objektu včetně provozní spotřeby elektromobilu se zakázanou funkcí V2H a C_h [kWh] je spotřeba elektrické energie referenčního případu samotné budovy.

V kroku 5 jsou vyčísleny klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy (SS_h) a využití výroby budovou (SC_h) s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii, ztráty elektrické energie a celkovou spotřebu elektrické energie. Klíčový indikátor pokrytí spotřeby budovy (SS_h) je popsán rovnicí (10) a klíčový indikátor využití výroby budovou (SC_h) je popsán rovnicí (11). Rovnice (10) a (11) vznikly rozšířením rovnic (3), resp. (6) o korekční členy ΔG_N [kWh], ΔL [kWh] a ΔC [kWh], které byly stanoveny ve 3. kroku. Tyto korekční členy v sobě zahrnují vliv přidané provozní spotřeby elektromobilu na nevyužitou vyrobenou elektrickou energii, ztráty elektrické energie a celkovou spotřebu elektrické energie.

$$SS_h = \frac{G - G_N - L - \Delta G_N - \Delta L}{C - \Delta C} [-] \quad (10)$$

$$SC_h = \frac{G - G_N - L - \Delta G_N - \Delta L}{G} [-] \quad (11)$$

Tímto způsobem jsou získány korigované hodnoty klíčových indikátorů, které popisují úroveň soběstačnosti samotné budovy včetně připojeného akumulátoru elektromobilu využívaného v rámci funkce V2H pro účely akumulace elektrické energie vyráběné místním fotovoltaickým systémem. Korekcí byl zároveň zanedbán vliv přidané provozní spotřeby elektromobilu v rámci celkové energetické bilance objektu.

4 Popis studovaných scénářů

V rámci studie vlivů technologie V2H na soběstačnost budovy byly stanoveny různé scénáře lišící se nastavením azimutu fotovoltaické elektrárny, časovým harmonogramem doby provozu elektromobilu, délkou najeté trasy elektromobilu během doby jeho odpojení a úrovní minimálního požadovaného stavu nabití akumulátoru elektromobilu před započítáním cesty a po jeho návratu. Následné simulace jsou provedeny pro všechny kombinace nastavení modelu. Pro všechny scénáře jsou společná vstupní data spotřeby elektrické energie budovy, klimatická data (typický meteorologický rok), nominální výkon a sklon fotovoltaiky a ostatní nastavení vstupních veličin systému (např. parametry fotovoltaických modulů, účinnost střídače a účinnost nabíjení akumulátoru).

4.1 Studovaný objekt pro účely spotřeby

Studovaným objektem pro účely stanovení vstupních dat spotřeby elektrické energie je rodinný dům nacházející se v Kladně. Budova byla postavena v 50. letech minulého století a v roce 2011 proběhla její celková rekonstrukce. Budova je tvořena dvěma obytnými nadzemními podlažím a jedním podzemním podlažím, přičemž celková podlahová plocha činí 185,9 m². V budově je systém teplovodního podlahového vytápění. O ohřev otopné a teplé vody se stará kombinace termických solárních panelů, plynového kotle, elektrické topné patrony a eventuálně také krbové vložky. Pro akumulaci tepelné energie je využita akumulární nádoba o objemu 750 litrů se vnořeným bojlerem.

Na střeše budovy jsou rovněž instalovány fotovoltaické panely, které jsou spojeny se stacionárním akumulátorem elektrické energie. Vlastní výroba i akumulace elektrické energie v původním objektu však nebyly pro účely stanovení spotřeby elektrické energie tohoto objektu uvažovány. Z naměřených dat z roku 2018 pak vyplývá, že celková roční spotřeba elektrické energie rodinného domu bez uvažování vlastní výroby činí 3,72 MWh/rok.

4.2 Společné okrajové podmínky

Pro všechny scénáře jsou uvažována stejná klimatická data, která vstupují do výpočtu výkonu výroby fotovoltaické elektrárny. Jedná se o minutová data typického meteorologického roku pro oblast Praha-Libuš. Tato data byla zpracována pomocí specializovaného programu Meteonorm, který pro účely výpočtu ozáření s takto krátkým krokem využívá tzv. Skartveit a Olseth minutový model [56–58]. Instalace fotovoltaické elektrárny je pro všechny scénáře uvažována na ploché střeše. Fotovoltaická elektrárna čítá celkem 22 fotovoltaických modulů SMG6144-455 (viz příloha č. 1) a celkový instalovaný výkon tak činí 10 kWp. Jednotlivé fotovoltaické moduly jsou orientovány na šířku a jsou rozmístěny do tří řad po šesti kusech a jedné řady po čtyřech kusech. Uvažovaný sklon řad od vodorovné roviny je 15° a rozestup řad 1,4 m. Všechny scénáře také uvažují se stejnými parametry střídače. Jeho uvažovaný maximální výstupní výkon je 11 kW. Účinnost střídače je nastavena na 98 % a účinnost nabíjení akumulátoru je nastavena na 95 %.

4.3 Referenční případy

Referenční případy slouží pro stanovení výchozího stavu budovy bez akumulace elektrické energie a pro stanovení výsledků pro budovu využívající stacionární akumulční úložiště elektrické energie. Všechny referenční případy jsou uvažovány jako samostatná budova bez elektromobilu. Referenční případy jsou tedy definovány pouze výše zmíněnými parametry azimutu fotovoltaické elektrárny a absencí, nebo přítomností stacionárního akumulčního úložiště elektrické energie. Ostatní proměnná nastavení simulačního modelu je díky absenci elektromobilu možné zanedbat. Cílem referenčních případů je vymezení pásma, ve kterém by se měly pohybovat očekávané výsledky klíčových indikátorů při využití systému V2H. Kapacita případného akumulčního úložiště je proto stanovena na 75 kWh, tedy stejná jako kapacita akumulátoru elektromobilu.

4.4 Nastavení parametrické studie

4.4.1 Azimut fotovoltaické elektrárny

Parametrická studie je provedena pro 5 různých azimutů fotovoltaické elektrárny. Toto proměnné nastavení slouží pro vyhodnocení vlivu směrové závislosti fotovoltaické elektrárny zejména v kombinaci s časovými harmonogramy elektromobilu na stanovené klíčové indikátory. Zvolené hodnoty jsou definovány v tab. 4.

Tab. 4: Parametry azimutu fotovoltaické elektrárny

Směr	Azimut [°]
východ	-90
jihovýchod	-45
jih	0
jihozápad	+45
západ	+90

4.4.2 Časový harmonogram elektromobilu

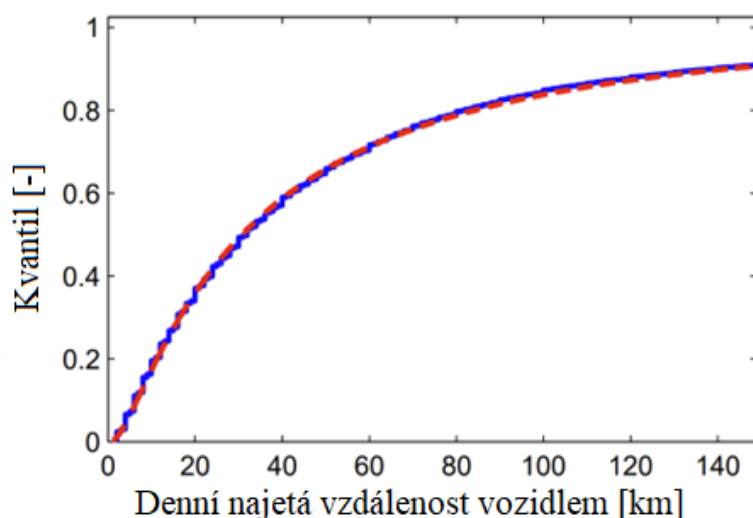
Dalším proměnným nastavením je časový harmonogram elektromobilu. Jedná se o časové rozpětí, kdy je elektromobil od budovy odpojen a je využíván pro účely přepravy. Časové rozpětí se ve většině případů odvíjí od pracovních směn s přidáním vždy jedné hodiny před a za směnu pro zohlednění dojíždění. Pro režimy uvažující kratší dobu odpojení bylo rozpětí snižováno z obou konců o 2 hodiny. O víkendech a státních svátcích je elektromobil vždy uvažován jako připojený. Všechny nastavení jsou i s popisem uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Nastavení časového harmonogramu elektromobilu

Číslo	Časové rozpětí	Popis
1	6.00–20.00	dvanáctihodinová směna
2	8.00–18.00	osmihodinová směna
3	10.00–16.00	zkrácený režim 1
4	12.00–14.00	zkrácený režim 2
5	5.00–15.00	dopolední směna
6	13.00–23.00	odpolední směna
7	21.00–7.00	noční směna

4.4.3 Denní najetá vzdálenost

Denní najetá vzdálenost elektromobilu zohledňuje intenzitu jeho používání pro přepravu v době, kdy je odpojen od budovy. Samotné hodnoty denní najeté vzdálenosti byly vybrány na základě statistických dat ze studie [59], která jsou zobrazena v grafu na obr. 16. Tato statistická data byla vypracována na základě německého vozového parku. Zvolené kvantily a k nim příslušející hodnoty denního nájezdu jsou uvedeny v tab. 6. Spotřeba elektromobilu byla stanovena na 18 kWh/100 km.



Obr. 16: Rozložení denního nájezdu automobilů v Německu [59]

Tab. 6: Posuzované hodnoty denního nájezdu elektromobilu

Kvantil [-]	Denní nájezd [km]
0,50	28
0,75	65
0,90	160

4.4.4 Dovolené využití kapacity akumulátoru

Nastavení dovoleného využití kapacity akumulátoru udává mez, pod kterou již není možné vybitý akumulátor elektromobilu v rámci funkce V2H. Toto nastavení je vždy definováno dvěma hodnotami. Jedna hodnota určuje minimální mez nabití akumulátoru elektromobilu po jeho připojení k budově, druhá hodnota představuje limit minimálního nabití před odjezdem. Nastavení limitů dvěma hodnotami je provedeno z důvodu umožnění většího rozsahu akumulace energie z obnovitelného zdroje. Hodnoty zvolených nastavení limitů jsou v tab. 7. Nastavení číslo 1 udává limity maximalizující

možný užitek akumulace energie v elektromobilu. Nastavení číslo 2 udává opatrnější limity, kdy je elektromobil vždy nabitý alespoň na 50 % a před odjezdem minimálně na 80 %.

Tab. 7: Nastavení limitů dovoleného využití akumulátoru

Číslo	Limit po příjezdu [%]	Limit před odjezdem [%]
1	10	60
2	50	80

4.5 Provedení parametrické studie

Parametrická studie se skládá ze všech kombinací parametrů azimutu fotovoltaické elektrárny, časového harmonogramu elektromobilu, délky trasy elektromobilu, dovoleného využití kapacity akumulátoru a možnosti zakázání nebo povolení funkce systému V2H. Dále jsou k parametrické studii přidány ještě referenční případy, které jsou dány pouze parametrem azimutu fotovoltaiky a absencí nebo přítomností stacionárního akumulárního úložiště elektrické energie. Tab. 8 obsahuje souhrn všech studovaných nastavení. Obsahuje také informaci o celkovém počtu scénářů, které je nutné nasimulovat.

Tab. 8: Souhrn všech studovaných nastavení

Název	Hodnoty	Počet hodnot
azimut fotovoltaické elektrárny	-90°; -45°; 0°; +45°; +90°	5
časový harmonogram elektromobilu	6–20; 8–18; 10–16; 12–14; 5–15; 13–23; 21–7	7
délka trasy elektromobilu	28 km; 65 km; 160 km	3
dovolené využití kapacity akumulátoru	10/60 %; 50/80 %	2
funkce systému V2H	zakázáno; povoleno	2
Celkový počet scénářů s V2H		420
+ referenční případy		+ 10
Celkový počet simulací		430

Zpracování parametrické studie v navrhovaném rozsahu vyžaduje pokročilejší přístup pro automatizaci simulace a také práci s velkým množstvím dat. Z tohoto důvodu je pro provedení parametrické studie využít externí nástroj TRNSYSfromPython [55]. Důvodem pro použití externího nástroje je také fakt, že do prostředí TRNSYS 18 není možné načíst soubor s takto rozsáhlou parametrickou studií, neboť při požadavku na načtení takového souboru prostředí přestane odpovídat a je nutné ho ukončit.












Hlavní funkcí externího nástroje TRNSYSfromPython je automatizované spouštění simulací pro vytvořené kombinace zadaných nastavení. Do tohoto programu se načte upravený soubor simulačního modelu s označenými hodnotami, které se mají přepsat požadovanými nastaveními systému. Tento program vždy vytvoří kombinaci vstupních nastavení systému, kterou následně přepíše označené hodnoty v upraveném souboru simulačního modelu. Takto přepsaný soubor simulačního modelu je uložen a interním příkazem je spuštěna simulace v programu TRNSYS. Po doběhnutí simulace se automaticky přepíše název výstupního souboru podle pořadí simulace a celý proces se opakuje pro další kombinaci nastavení.

Zpracování výstupů ze simulací je provedeno v programovacím jazyce Python 3. Nejprve je vytvořena matice všech kombinací zadávaných nastavení pro možnost rozlišování načítaných výsledků ze simulací. Vytváření kombinací nastavení je převzato přímo z parametrické studie. Sled těchto kombinací nastavení je tedy stejný, jako sled simulovaných případů. Do vytvořené matice jsou následně přidány sloupce s výsledky simulací. Ty jsou postupně načítány z jednotlivých výstupních souborů ze simulace. V následujícím kroku jsou z výsledků zpracovány jednotlivé klíčové indikátory, které byly popsány v podkapitole 3.3. Klíčové indikátory jsou následně filtrovány podle jednotlivých nastavení parametrické studie a zobrazeny do grafů.

5 Tvorba simulačního modelu

Celý simulační model se dá rozdělit do 4 hlavních částí. První z nich je načtení a zpracování vstupních dat. Druhá část obsahuje simulaci výroby fotovoltaické elektrárny. Ve třetí části je modelován systém akumulace elektrické energie. V poslední části je provedeno zpracování dat do žádaných výstupů ze simulačního modelu. Provedení modelu je cíleno na simulaci v minutovém kroku. Důvodem pro takto krátký simulační krok je zejména zohlednění krátkodobých výkyvů výroby a spotřeby elektrické energie. V tab. 9 je uveden souhrn všech použitých komponent, které simulační model obsahuje. Jejich podrobnější popis je k nalezení v dokumentaci k programu TRNSYS 18 [60].

Tab. 9: Souhrn použitých komponent v simulačním modelu

Komponenta	Název	Popis
 Type 9	Čtení dat	Pomocí těchto komponent jsou načítána data v pravidelných časových intervalech ze vstupních souborů. V tomto modelu se jedná o soubor s minutovými klimatickými daty a minutovými daty spotřeby budovy.
 Type 14	Časově závislá funkce	Tato komponenta slouží ke generování časově závislé proměnné s opakujícím se průběhem. V simulačním modelu je přidána pro možnost změny víkendového harmonogramu elektromobilu.
 Type 16	Zpracování sluneční geometrie	Tato komponenta zpracovává geometrii slunečního záření a intenzity jeho dopadajících složek.
 Type 25	Tiskárna výstupu	Komponenta zapisuje zvolené hodnoty do výstupního souboru.
 Type 41	Výběr proměnných podle dne v týdnu	Tato komponenta volí vstupní proměnnou na základě simulovaného dne v týdnu, případně pro zadané nestandardní dny v roce. V simulačním modelu je použita pro rozlišování časového harmonogramu elektromobilu v pracovních dnech, o víkendech a svátcích.
 Type 47	Jednoduchý akumulátor	Reprezentuje akumulátor elektrické energie, který je úzce spojen s Typem 48.
 Type 48	Regulátor a střídač	Komponenta představuje samotný regulátor a střídač. Ve spojení s komponentou Type 47 provádí výpočty akumulace vyrobené energie, vybíjení akumulátoru při požadavku na dodávku energie, případně potřebné dodávky výkonu ze sítě a nevyužitého výkonu z vlastní výroby.
 Type 57	Převodník jednotek	Protože mají některá vstupní data jiné jednotky, než které jsou požadovány na vstupu navazujících komponent, jsou tyto hodnoty převáděny na požadované jednotky pomocí těchto komponent.
 Type 103	Jednoduchá fotovoltaika	Provádí výpočet výkonu vyráběné elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou na základě zadaných parametrů fotovoltaických modulů a dopadajícího slunečního záření.
 Type 150	Zpoždění vstupu	Tato komponenta zpožďuje vstupní hodnotu o stanovený počet výpočetních kroků. Po uplynutí stanoveného intervalu je vstupní hodnota odeslána na výstup z této komponenty. V simulačním modelu je využita z důvodů konvergence.
 Type 551	Zastínění fotovoltaického pole	Provádí výpočet vzájemného zastínění panelů pro fotovoltaickou elektrárnu na ploché střeše. Zastínění závisí zejména na parametrech výšky, sklonu a rozteče panelů, ale také na sluneční geometrii a typu dopadajících slunečních paprsků.

5.1 Načítání vstupních dat









Do simulačního modelu vstupují minutová klimatická data vytvořená v programu Meteororm pomocí Skartveit a Olseth minutového modelu [56–58], minutová data spotřeby uvažované budovy, časový harmonogram elektromobilu, dovolené využití akumulátoru a nastavení související s vybíjením akumulátoru elektromobilu během jeho užívání.

5.1.1 Klimatická data

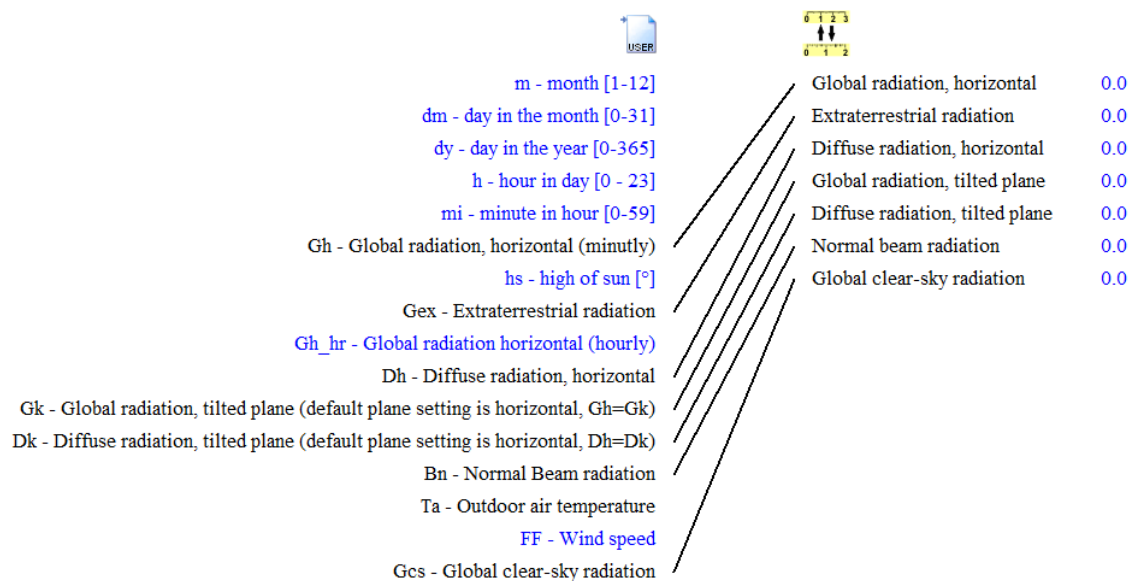
Klimatická data získaná z programu Meteororm obsahují 16 sloupců: měsíc, den v měsíci, den v roce, hodina, minuta, celkové ozáření horizontální roviny, výška Slunce nad obzorem, ozáření mimo atmosféru Země, celkové ozáření horizontální roviny (hodinový průměr), difúzní ozáření horizontální roviny, celkové ozáření nakloněné roviny (nastavena jako horizontální), difúzní ozáření nakloněné roviny (nastavena jako horizontální), přímé ozáření normálové roviny, teplota vzduchu, rychlost větru a celkové ozáření při jasné obloze. Pro načítání těchto dat je použit Typ 9. Snímek obrazovky s ukázkou parametrů jeho nastavení je vidět na obr. 17. Nastavení pro všechna načítaná data (od řádku č. 5 níže) jsou stejná. Načítaná data zde nejsou interpolována, ani jinak upravována.

Data ozáření jsou následně převedena z jednotek [W/m^2] na jednotky [$\text{kJ}/\text{h}\cdot\text{m}^2$], které jsou, jakožto výchozí jednotka v simulačním prostředí TRNSYS, vyžadovány navazujícími komponentami. Tato konverze probíhá v Typu 57. Příklad datového propojení mezi Typem 9 a Typem 57 je vidět na obr. 18.

Následně je pomocí Typu 16 zpracována sluneční geometrie. V jeho vstupech je zahrnuto přímé ozáření normálové roviny, difúzní ozáření horizontální roviny z Typu 57 a informace o času předchozí a následující načtené hodnoty z Typu 9.

		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Mode	5	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Header Lines to Skip	3	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		No. of values to read	16	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Time interval of data	1	min	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Interpolate or not-1	-1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Multiplication factor-1	1.0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Addition factor-1	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Average or instantaneous value-1	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Obr. 17: Nastavení parametrů Typu 9 pro načítání klimatických dat



Obr. 18: Propojení Typu 9 a Typu 57

5.1.2 Data spotřeby

Vstupní data spotřeby obsahují minutové údaje o měřené spotřebě budovy a signál hromadného dálkového ovládání (HDO). Charakteristickým profilem načítaných dat spotřeby v pracovních dnech je zvýšený odběr během ranních a odpoledních hodin. Nejnižší spotřeba v pracovních dnech se většinou pohybuje mezi 8. až 14. hodinou. Odběrový profil o víkendech a svátcích je většinou v průběhu celého dne poměrně vyrovnaný. Během některých dní se však odběrový profil od charakteristického liší, což je dáno zejména proměnlivým chováním uživatelů. Nejvyšší odebíraný výkon budovou činí 9 kW a celková roční spotřeba budovy je 3,72 MWh/rok. Signál HDO se pak pohybuje v rozmezí hodnot 0 až 100, kdy hodnota 0 udává nízký tarif a hodnota 100 vysoký tarif.

Tato data jsou načítána pomocí Typu 9. V tomto případě je pro první sloupec (spotřeba budovy) povolena interpolace hodnot. Pro sloupec obsahující signál HDO interpolace povolena není. Kromě povolení možné interpolace u dat spotřeby zde nejsou načítaná data nijak upravována. Následně jsou data spotřeby budovy převedena z jednotek [kW] na jednotky [kJ/h], které vyžadují navazující komponenty.

5.1.3 Časový harmonogram elektromobilu

Časový harmonogram elektromobilu je složen ze 2 částí: harmonogram pro pracovní dny a harmonogram pro víkendy, případně státní svátky. Harmonogram pracovních dní je načítán ze samostatného souboru vždy pro konkrétní simulovaný případ. Harmonogram pro víkendy a svátky je nastaven pomocí Typu 14. V případě této práce je o víkendech i svátcích uvažován elektromobil jako vždy připojený. Pomocí Typu 41 je rozlišováno, zda se má v daný čas načítat harmonogram pro pracovní dny nebo harmonogram pro víkendy a svátky. Státní svátky jsou nastaveny pro 1., 97., 100., 121., 128., 186., 187., 271., 301., 321., 358., 359. a 360. den roku. Dále je zde také umožněno manuální nastavení přítomnosti elektromobilu. V kombinaci s nastavením dalších parametrů je toho využito při simulaci okrajového případu budovy se stacionárním akumulacním úložištěm elektrické energie.

5.1.4 Dovolené využití kapacity akumulátoru

Dovolené využití kapacity akumulátoru je načítáno ze samostatného souboru. Tento soubor obsahuje hodnotu dovoleného využití kapacity akumulátoru pro každou hodinu dne. Tyto hodnoty jsou definovány pro každý případ harmonogramu elektromobilu ve 2 různých variantách, jak bylo blíže uvedeno v podkapitole 4.4.4. V simulačním modelu se v závislosti na čísle načítaného harmonogramu elektromobilu a požadovaném limitu využití kapacity akumulátoru vybere příslušný sloupec hodnot. Z vybraného sloupce pak simulační model načítá konkrétní hodnotu limitu pro každou hodinu.

5.2 Model fotovoltaické elektrárny

Model fotovoltaické elektrárny uvažuje plochou střechu a je tvořen dvěma Typy. Typ 551 slouží k výpočtu zastínění fotovoltaických panelů mezi sebou. Je napojen na klimatická data, ze kterých načítá údaje o solární geometrii, přímém a difúzním ozáření. V nastavujících parametrech je pak upřesněna geometrie fotovoltaické elektrárny. Hodnoty těchto geometrických parametrů jsou uvedeny v tab. 10. Ze všech vstupních parametrů je pomocí Typu 551 vypočtena konzervativní hodnota ozáření, která při částečném zastínění fotovoltaického panelu uvažuje pouze difúzní složku ozáření. Hodnota konzervativního ozáření je následně použita jako vstup do Typu 103, který reprezentuje fotovoltaické moduly. Další vstup je připojen na klimatická data, ze kterých je načítána hodnota teploty okolního vzduchu. Dále jsou v nastavení Typu 103 zadány parametry fotovoltaických modulů SMG6144-455, které byly odečteny z dostupného

technického listu (viz příloha č. 1). Zadané parametry nastavení Typu 103 jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 10: Nastavení geometrických parametrů Typu 551

Parametr	Hodnota
Šířka řady [m]	14,6
Sklon řady [°]	15
Rozestup řad [m]	1,4
Sklon podloží [°]	0

Tab. 11: Nastavení parametrů Typu 103

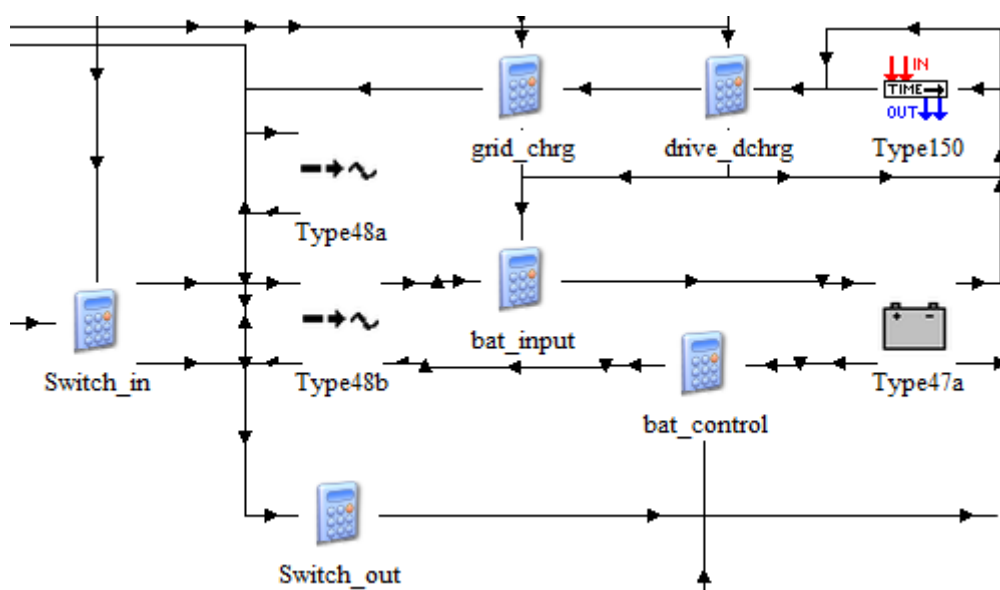
Parametr	Hodnota
Proud nakrátko při STC [A]	11,24
Napětí naprázdno při STC [V]	50,20
Teplota článku při STC [°C]	25
Ozáření modulu při STC [W/m ²]	1000
Napětí při maximálním výkonu a STC [V]	42,40
Proud při maximálním výkonu a STC [A]	10,73
Teplotní koeficient proudu nakrátko [A/K]	-0,0067
Teplotní koeficient napětí naprázdno [V/K]	-0,1506
Počet článků modulu zapojených v sérii [-]	144
Teplota modulu při NOCT [°C]	45
Plocha modulu [m ²]	2,209
Počet modulů [-]	22

5.3 Model střídače a akumulátoru

Do tohoto modelu vstupuje aktuální výkon fotovoltaické elektrárny, signál přítomnosti elektromobilu, signál HDO, maximální výkon nabíjení elektromobilu, výkon vybíjení elektromobilu během jízdy a limit dovoleného využití kapacity akumulátoru.

Tento model je zobrazen na obr. 19. Model se dá rozdělit na dvě hlavní části, přičemž je vždy aktivována pouze jedna z nich v závislosti na signálu připojení elektromobilu k budově. První, jednodušší část je aktivována v době, kdy je elektromobil odpojen od budovy. Tato část se skládá pouze ze samotného střídače Type 48a a neobsahuje akumulátor.

Druhá část reprezentuje systém V2H a aktivuje se při přítomnosti elektromobilu. Skládá se ze základního systému střídače (Type 48b) propojeného s akumulátorem (Type 47a). Tento základní systém však umí pracovat pouze s nabíjením akumulátoru z fotovoltaické elektrárny a jeho vybíjením pro hrazení spotřeby budovy. Proto bylo dále nutné doplnit funkce nabíjení akumulátoru přímo ze sítě a jeho vybíjení jízdou elektromobilu. Ty jsou do systému přidány pomocí několika uživatelsky nastavených komponentů (tzv. kalkulátorů), které řídí tyto funkce na základě vstupních požadavků a sledování aktuálních hodnot v systému. Do tohoto systému řízení bylo nutné přidat zpoždění sledovaného stavu nabití akumulátoru o 1 krok z důvodu konvergence výpočtů. Toto zpoždění zajišťuje Typ 150.



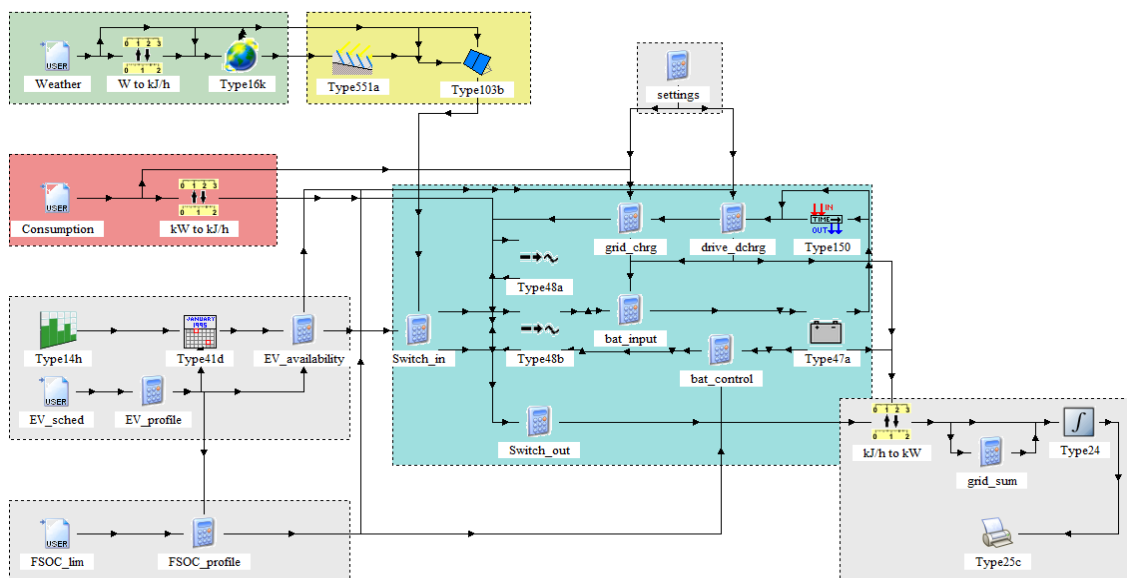
Obr. 19: Ukázka části simulačního modelu se střídačem a akumulátorem

5.4 Zapisování výstupních dat

Sledované hodnoty výkonů z modelu střídače s akumulátorem jsou nejprve převedeny z jednotek [kJ/h] na [kW]. Následně je prováděna jejich integrace v průběhu simulace celého roku pomocí Typu 24. Výstupem této integrace jsou pak roční úhrny elektrické energie v [kWh] rozdělené podle její využití nebo původu (celkem vyrobená elektrická energie z fotovoltaické elektrárny, nevyužitá vlastní výroba, ztracená energie na střídači, spotřebovaná elektrická energie budovou, spotřebovaná elektrická energie elektromobilem a elektrická energie odebraná ze sítě). Výstupy integrace jsou při dokončení každé simulace zapsány do souboru pomocí Typu 25.

5.5 Kompletní simulační model

Kompletní simulační model v prostředí TRNSYS, který byl použit k simulaci všech požadovaných kombinací nastavení, je vidět na obr. 20. Skládá se z výše popsaných částí, které jsou zde rozlišeny rámečky s různou barvou pozadí. Zelenou barvou je označeno načítání a zpracování klimatických dat. Na klimatická data navazuje model fotovoltaické elektrárny, který je označen žlutou barvou. Červená barva označuje načítání dat spotřeby. Modrou barvou je zvýrazněn celý model střídače a akumulátoru, který reprezentuje systém V2H. Šedá barva pak označuje zbylá načítaná data (vlevo a nahoře) a část modelu zapisující výstupní data (vpravo dole). Šedě označenými načítanými daty jsou časový harmonogram elektromobilu, dovolené využití kapacity akumulátoru elektromobilu a nastavení výkonu nabíjení akumulátoru elektromobilu ze sítě a výkon vybíjení akumulátoru elektromobilu během jízdy. Všechny tyto části dohromady tvoří komplexní model umožňující simulaci systému V2H ve spojení s budovou a lokální fotovoltaickou elektrárnou.



Obr. 20: Celý simulační model v prostředí TRNSYS

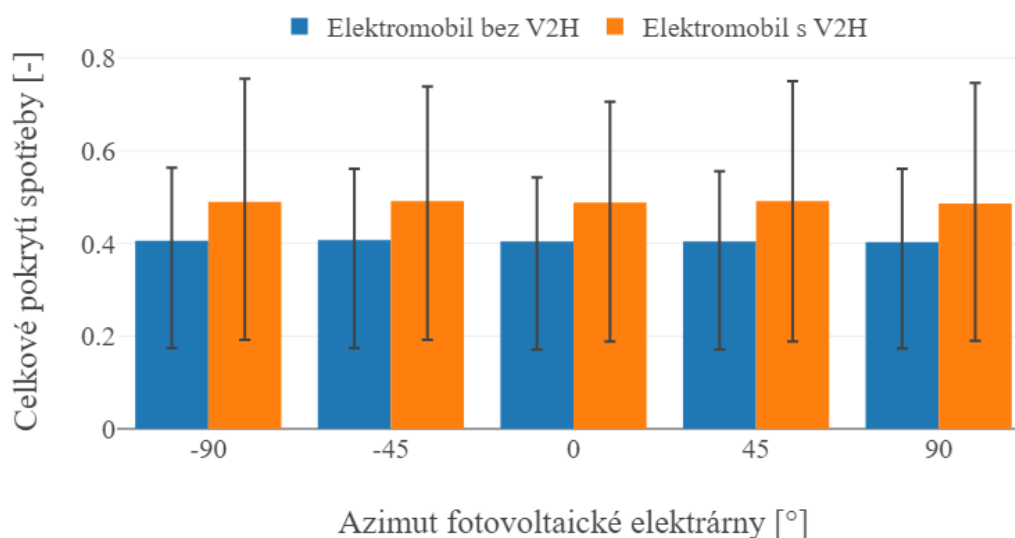
6 Výsledky energetických simulací

Vyhodnocení se zabývá klíčovými indikátory celkového pokrytí spotřeby a celkového využití výroby, které podávají informaci o soběstačnosti celého objektu včetně všech spotřebičů elektrické energie, mezi kterými je i elektromobil. Dále jsou také vyhodnoceny klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou, které obsahují korekci vlivu provozní spotřeby elektromobilu a popisují tak pouze samotnou budovu se zohledněním akumulace elektrické energie v rámci V2H, ale zároveň bez vlivu provozní spotřeby elektromobilu.

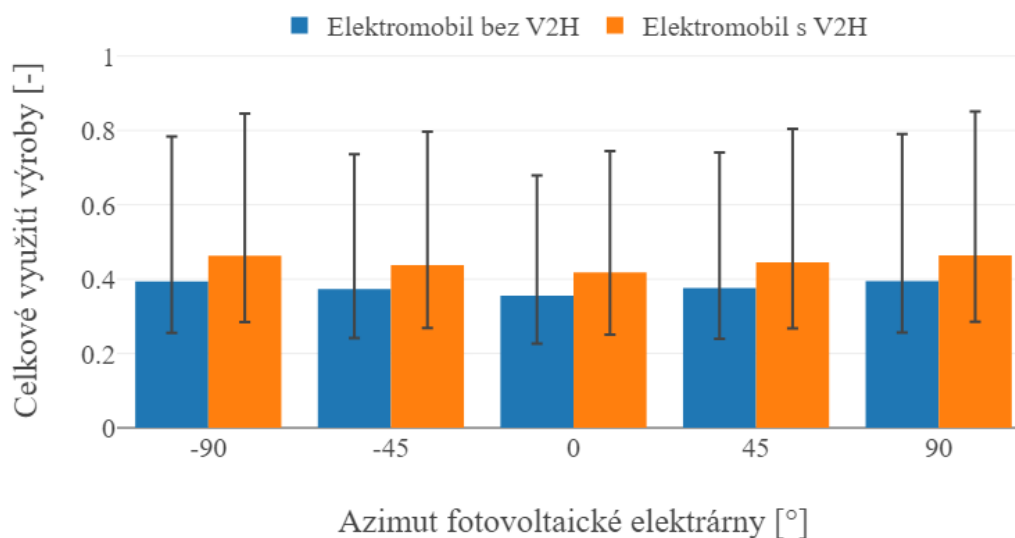
Výsledky jsou zaměřeny na zobrazení vlivu jednotlivých nastavení parametrické studie na klíčové indikátory. Posuzovanými nastaveními jsou azimut fotovoltaické elektrárny, časový harmonogram elektromobilu, denní najetá vzdálenost a dovolené využití kapacity akumulátoru. Dále je studován také vliv vzájemného působení azimutu fotovoltaické elektrárny a časového harmonogramu elektromobilu na klíčové indikátory. Na konci kapitoly jsou rovněž uvedeny souhrnné výsledky pro všech 430 simulovaných scénářů.

6.1 Vliv azimutu fotovoltaické elektrárny na klíčové indikátory

Hodnoty klíčových indikátorů celkového pokrytí spotřeby a celkového využití výroby v závislosti na nastaveném azimutu fotovoltaické elektrárny jsou zobrazeny ve sloupcových grafech na obr. 21 a obr. 22. V grafech je zobrazeno srovnání klíčových indikátorů pro objekt s elektromobilem bez funkce V2H (modré sloupce) a objekt s elektromobilem s funkcí V2H (oranžové sloupce). Jednotlivé sloupce vždy vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení azimutu fotovoltaické elektrárny. U každého sloupce je navíc zobrazena chybová úsečka udávající rozptyl výsledků v rámci daného nastavení azimutu fotovoltaické elektrárny. Rozptyl v sobě tedy obsahuje všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (časového harmonogramu elektromobilu, denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Z výsledků v obou grafech je patrné, že vliv azimutu fotovoltaické elektrárny na klíčové indikátory není v rámci celoročního vyhodnocení nikterak výrazný. Změna průměrných hodnot (sloupců v grafu) vlivem azimutu fotovoltaické elektrárny se v případě celkového pokrytí spotřeby pohybuje do 0,5 % a v případě celkového využití výroby do 5 %.



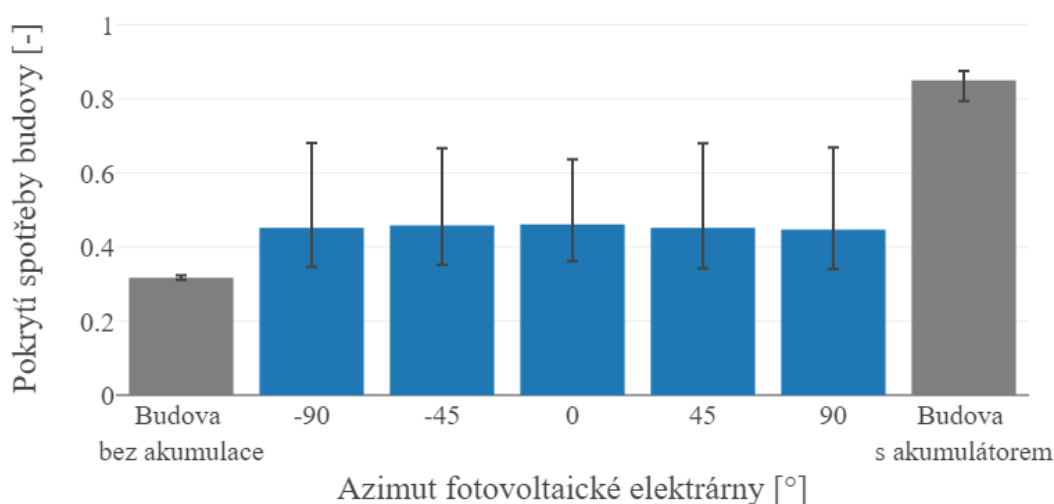
Obr. 21: Celkové pokrytí spotřeby v závislosti na azimutu fotovoltaické elektrárny



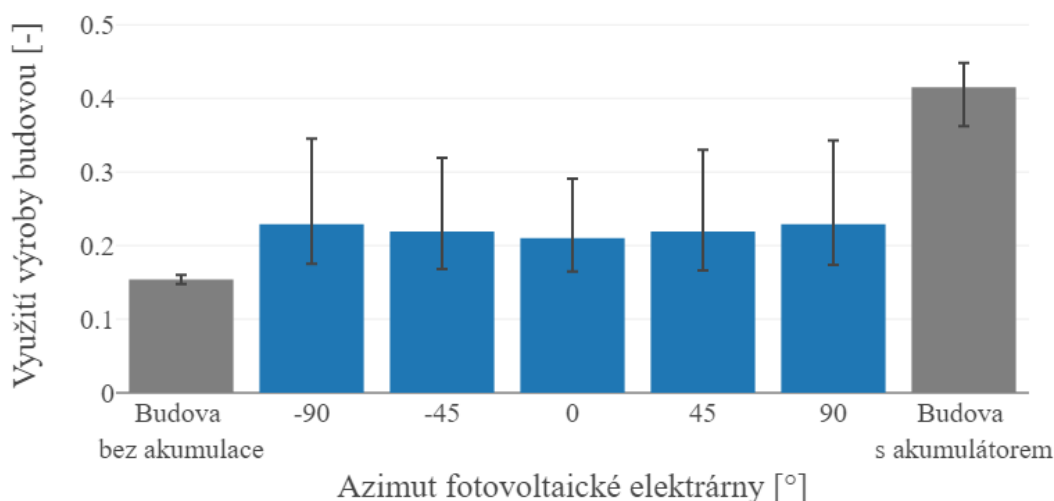
Obr. 22: Celkové využití výroby v závislosti na azimutu fotovoltaické elektrárny

Výsledky uvedené ve sloupcových grafech na obr. 23 a obr. 24 zobrazují klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu, které jsou opět vyneseny v závislosti na nastaveném azimutu fotovoltaické elektrárny. V obou grafech jsou pro srovnání zobrazeny také simulované referenční případy budovy bez akumulace elektrické energie a budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh. Podobně jako tomu bylo výše, jednotlivé sloupce v grafech vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení azimutu fotovoltaické elektrárny. U každého sloupce je rovněž zobrazena chybová úsečka, která udává rozptyl výsledků v rámci daného nastavení azimutu fotovoltaické elektrárny

a zahrnuje všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (časového harmonogramu elektromobilu, denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Z obou grafů je opět patrné, že azimut fotovoltaické elektrárny nemá v rámci celoročního vyhodnocení na korigované klíčové indikátory výrazný vliv. Změna průměrných hodnot (sloupců v grafu) vlivem azimutu fotovoltaické elektrárny se v případě pokrytí spotřeby budovy pohybuje do 1,4 % a v případě využití výroby budovou do 2 %.



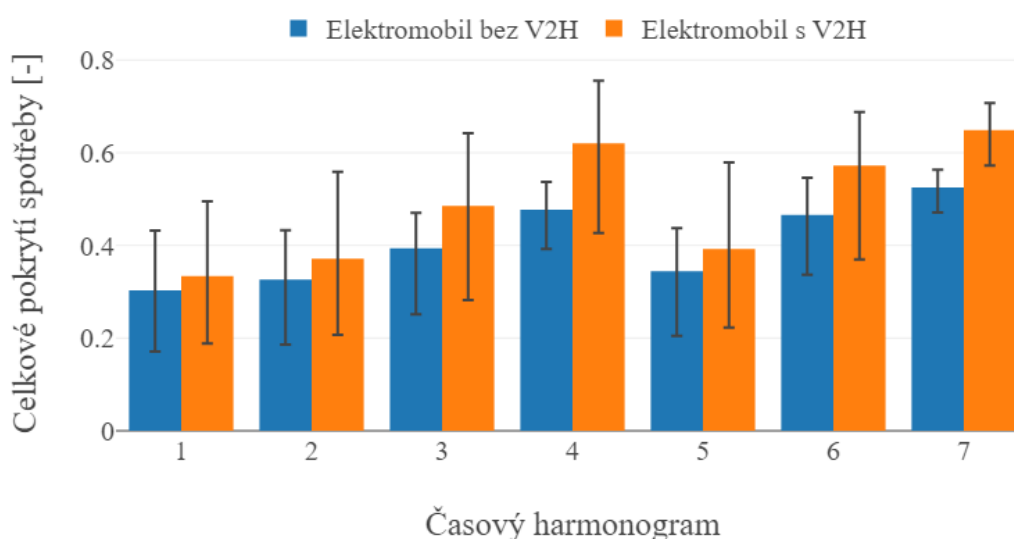
Obr. 23: Pokrytí spotřeby budovy v závislosti na azimutu fotovoltaické elektrárny



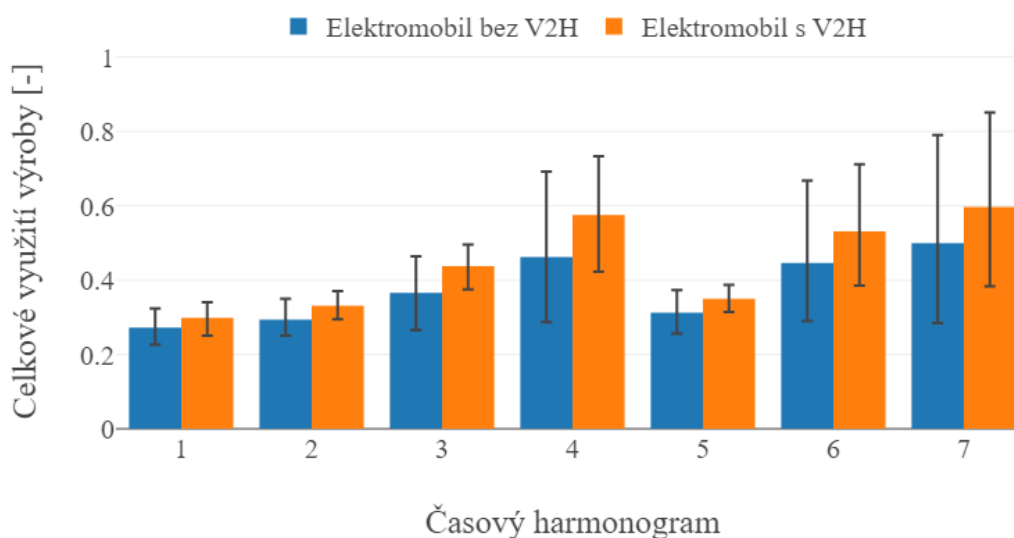
Obr. 24: Využití výroby budovou v závislosti na azimutu fotovoltaické elektrárny

6.2 Vliv časového harmonogramu na klíčové indikátory

Sloupcové grafy na obr. 25 a obr. 26 udávají celkové pokrytí spotřeby, resp. celkové využití výroby v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu. V grafech je opět zobrazeno srovnání klíčových indikátorů pro objekt s elektromobílem bez funkce V2H (modré sloupce) a objekt s elektromobílem s funkcí V2H (oranžové sloupce). Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení časového harmonogramu elektromobilu. U každého sloupce je zobrazena chybová úsečka udávající rozptyl výsledků v rámci daného nastavení časového harmonogramu elektromobilu, která zahrnuje všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Podrobnější informace k jednotlivým časovým harmonogramům byly uvedeny v podkapitole 4.4.2 a v tab. 5. V obou grafech je zřetelně vidět, že časový harmonogram elektromobilu má výrazný vliv na hodnoty klíčových indikátorů. Nejvyšších hodnot klíčových indikátorů dosahují časové harmonogramy č. 4 (zkrácený režim 2) a č. 7 (noční směna). Nejnižší hodnoty pak má časový harmonogram č. 1 (dvanáctihodinová směna). Dále je patrné, že má časový harmonogram elektromobilu vliv také na velikost přírůstku hodnoty klíčových indikátorů mezi scénáři bez V2H (modré sloupce) a scénáři s V2H (oranžové sloupce). Časový harmonogram č. 4 dosahuje nejvyššího přírůstku celkového pokrytí spotřeby (+ 14,3 %) i celkového využití výroby (+ 11,3 %). Naopak časový harmonogram č. 1 dosahuje nejnižšího přírůstku celkového pokrytí spotřeby (+ 3,1 %) a celkového využití výroby (+ 2,6 %).

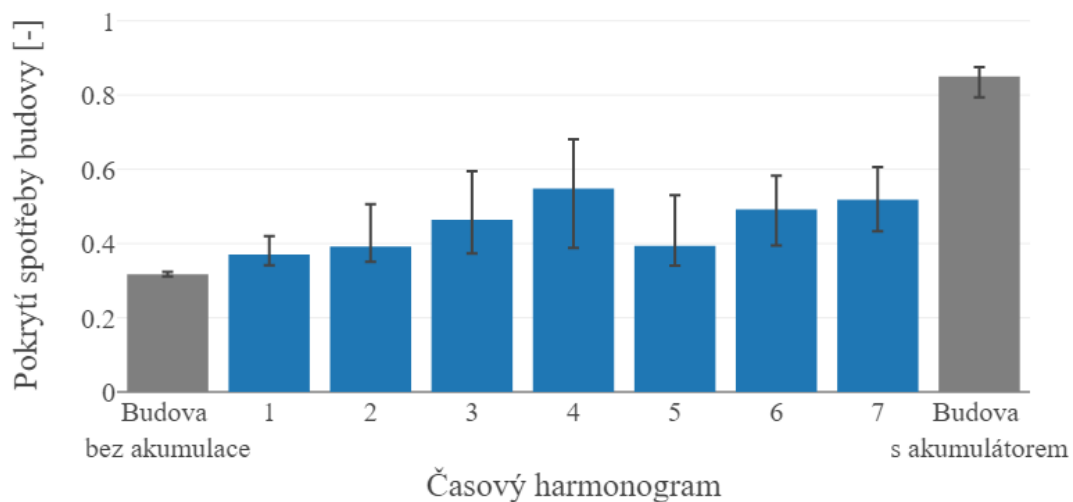


Obr. 25: Celkové pokrytí spotřeby v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu

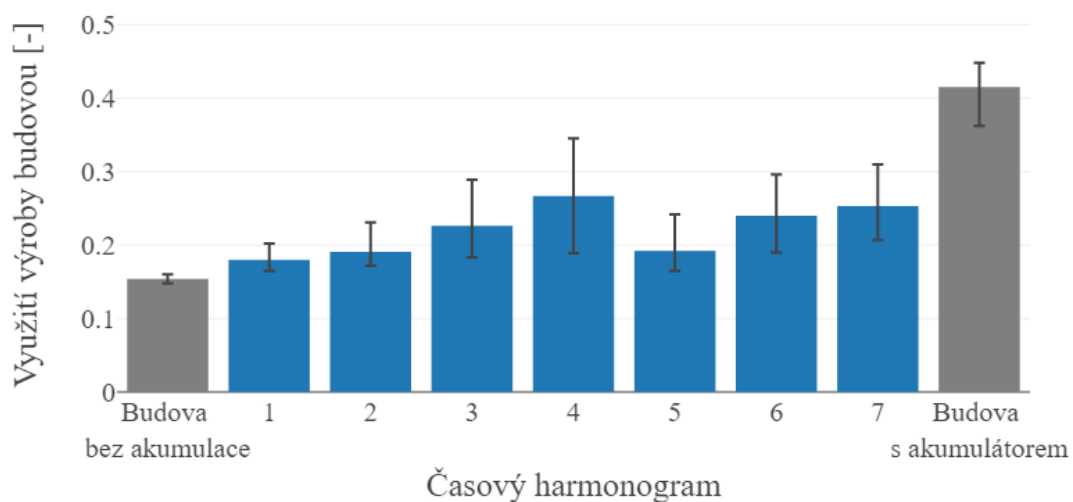


Obr. 26: Celkové využití výroby v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu

Výsledky ve sloupcových grafech na obr. 27 a obr. 28 zobrazují klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu, které jsou opět vyneseny v závislosti na nastaveném časovém harmonogramu elektromobilu. Oba grafy také obsahují simulované referenční případy budovy bez akumulace elektrické energie a budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh. Jednotlivé sloupce v grafech vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení časového harmonogramu elektromobilu a chybová úsečka udává rozptyl hodnot zahrnující všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Nejvyšších hodnot klíčových indikátorů dosahuje časový harmonogram č. 4 (zkrácený režim 2). Při srovnání časového harmonogramu č. 4 s budovou bez akumulace elektrické energie je klíčový indikátor pokrytí spotřeby budovy vyšší o 23,1 % a využití výroby budovou vyšší o 11,3 %. Nejnižších hodnot pak dosahuje časový harmonogram č. 1 (dvanáctihodinová směna) a při jeho srovnání s budovou bez akumulace elektrické energie je klíčový indikátor pokrytí spotřeby budovy vyšší o 5,3 % a využití výroby budovou vyšší o 2,6 %.



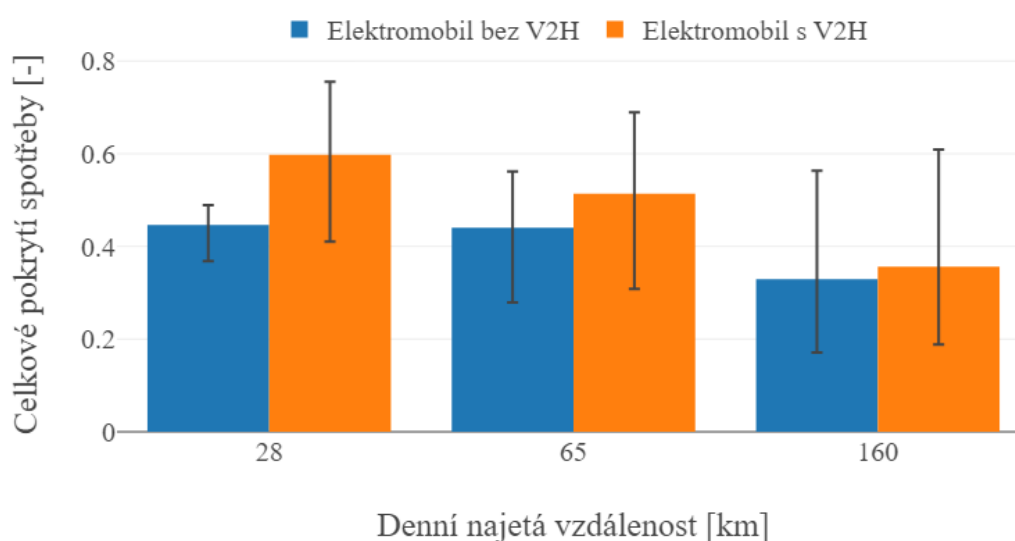
Obr. 27: Pokrytí spotřeby budovy v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu



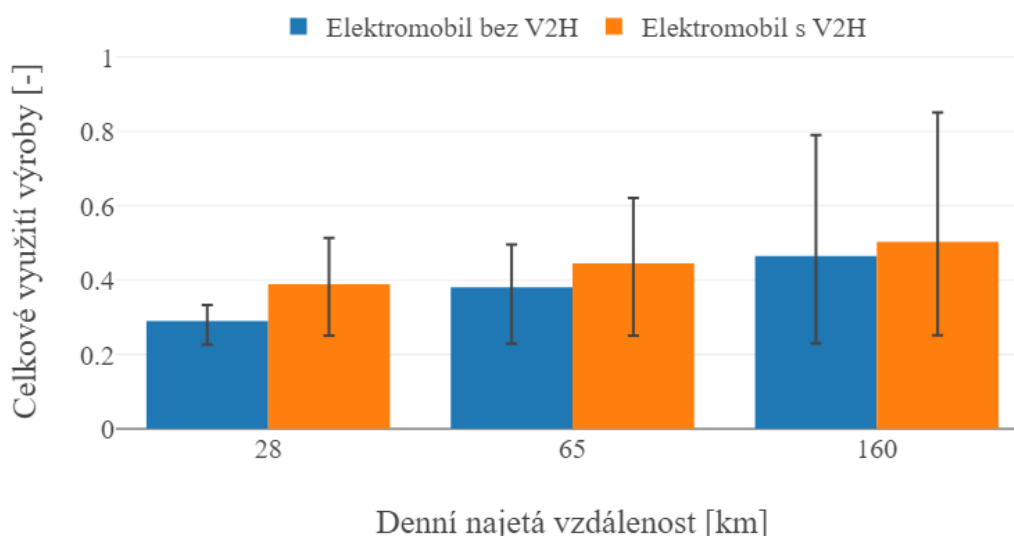
Obr. 28: Využití výroby budovou v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu

6.3 Vliv denní najeté vzdálenosti na klíčové indikátory

Sloupcové grafy na obr. 29 a obr. 30 udávají celkové pokrytí spotřeby, resp. celkové využití výroby v závislosti na denní najeté vzdálenosti elektromobilu v kilometrech pro objekt s elektromobilem bez funkce V2H (modré sloupce) a objekt s elektromobilem s funkcí V2H (oranžové sloupce). Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení denní najeté vzdálenosti a chybová úsečka udává rozptyl hodnot zahrnující všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, časového harmonogramu a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Z grafických vyjádření je zřejmé, že má denní najeté vzdálenost výrazný vliv nejen na hodnoty uvedených klíčových indikátorů, ale rovněž na velikost přírůstku jejich hodnoty mezi scénáři bez V2H (modré sloupce) a scénáři s V2H (oranžové sloupce). Nejvyšších hodnot celkového pokrytí spotřeby dosahují scénáře s denní najetou vzdáleností 28 km a nejnižší hodnoty mají scénáře s denním nájezdem 160 km. V případě celkového využití výroby je situace opačná, přičemž nejvyšších hodnot dosahují scénáře s denní najetou vzdáleností 160 km a nejnižší hodnoty mají scénáře s denním nájezdem 28 km. Největší nárůst obou klíčových indikátorů mezi scénáři bez V2H a scénáři s V2H nastává při denní najeté vzdálenosti 28 km. Naopak při denní najeté vzdálenosti 160 km jsou přírůstky klíčových indikátorů nejnižší. Lze tedy pozorovat, že se zvyšujícím se denním nájezdem elektromobilu klesá pozitivní vliv systému V2H.

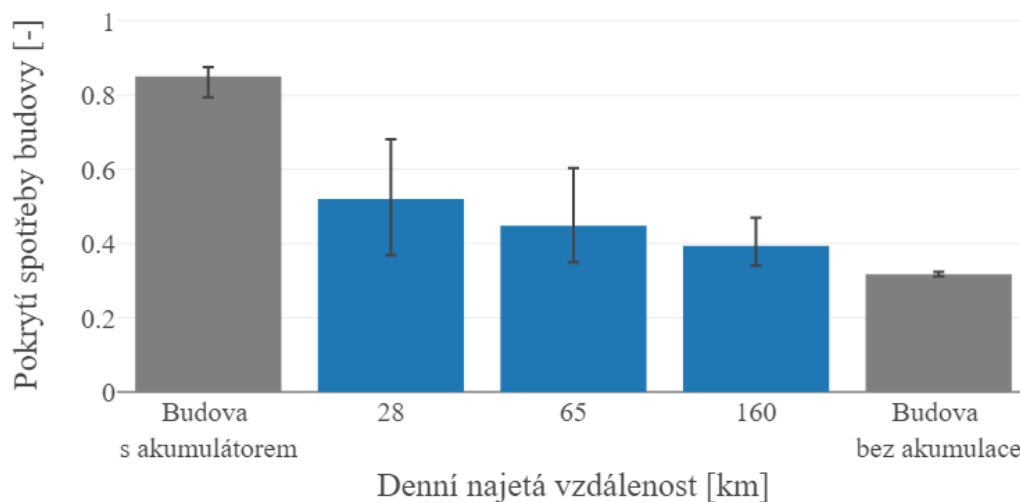


Obr. 29: Celkové pokrytí spotřeby v závislosti na denní najeté vzdálenosti

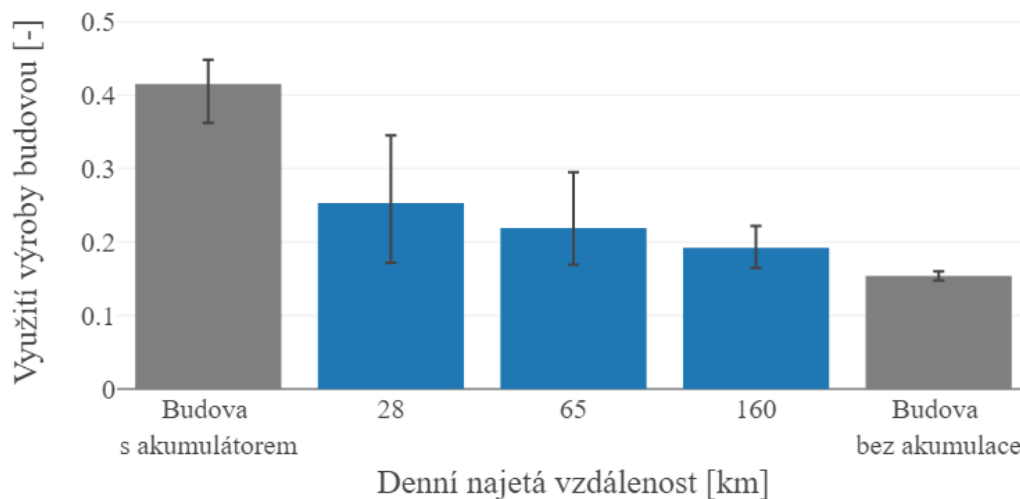


Obr. 30: Celkové využití výroby v závislosti na denní najeté vzdálenosti

Ve sloupcových grafech na obr. 31 a obr. 32 jsou zobrazeny klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu, které jsou vyneseny v závislosti na denní najeté vzdálenosti elektromobilu. Oba grafy obsahují simulované referenční případy budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh a budovy bez akumulace elektrické energie. Jednotlivé sloupce v grafech vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení denní najeté vzdálenosti elektromobilu a chybová úsečka udává rozptyl hodnot zahrnující všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, časového harmonogramu a dovoleného využití kapacity akumulátoru). V obou grafech je zřetelné, že oba klíčové indikátory budovy klesají se zvyšujícím se denním nájездem elektromobilu. Nejvyšších hodnot obou korigovaných klíčových indikátorů dosahují scénáře s denní najetou vzdáleností 28 km. Při srovnání s budovou bez akumulace elektrické energie je klíčový indikátor pokrytí spotřeby budovy vyšší o 20,3 % a využití výroby budovou vyšší o 9,9 %. Nejnižších hodnot pak dosahují scénáře s denní najetou vzdáleností 160 km a při jeho srovnání s budovou bez akumulace elektrické energie je klíčový indikátor pokrytí spotřeby budovy vyšší o 7,7 % a využití výroby budovou vyšší o 3,8 %.



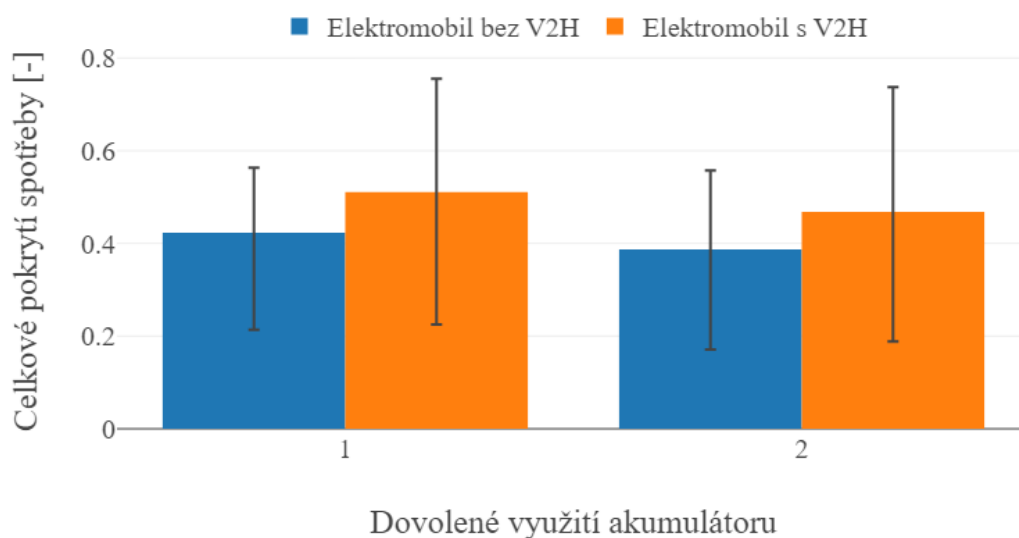
Obr. 31: Pokrytí spotřeby budovy v závislosti na denní najeté vzdálenosti



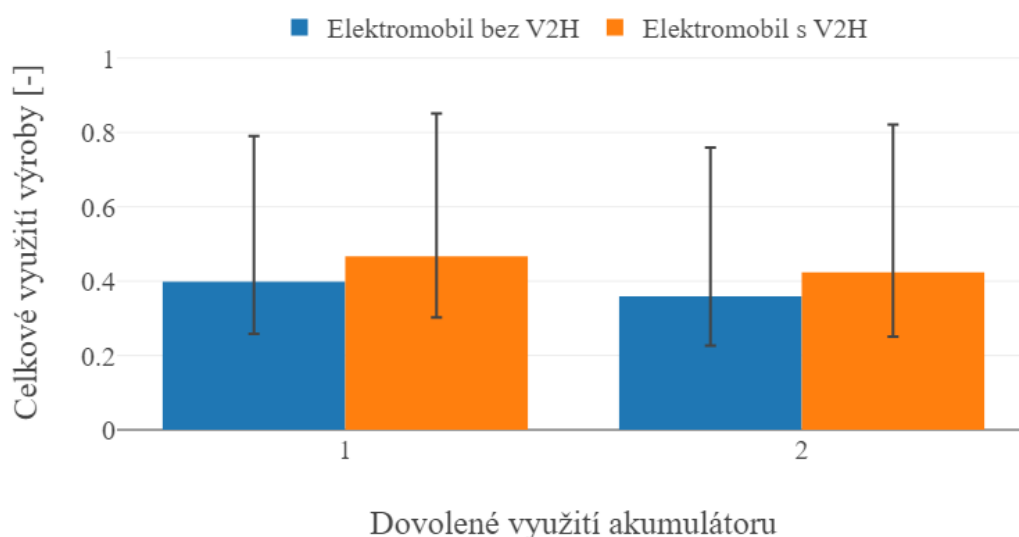
Obr. 32: Využití výroby budovou v závislosti na denní najeté vzdálenosti

6.4 Vliv dovoleného využití kapacity akumulátoru na klíčové indikátory

Sloupcové grafy na obr. 33 a obr. 34 udávají celkové pokrytí spotřeby, resp. celkové využití výroby v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu pro objekt s elektromobilem bez funkce V2H (modré sloupce) a objekt s elektromobilem s funkcí V2H (oranžové sloupce). Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení dovoleného využití kapacity akumulátoru elektromobilu a chybová úsečka udává rozptyl hodnot zahrnující všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, časového harmonogramu elektromobilu a denní najeté vzdálenosti). Nastavení č. 1 reprezentuje nižší nastavené limity, které umožňují pracovat technologii V2H ve větším rozsahu. Nastavení č. 2 pak představuje konzervativnější, vyšší limity. Podrobnější informace k dovolenému využití kapacity akumulátoru elektromobilu byly zmíněny v podkapitole 4.4.4 a v tab. 7. Vyhodnocení vlivu limitu dovoleného využití akumulátoru na klíčové indikátory v obou grafech pak ukazuje, že zpřísnění těchto limitů zapříčinilo pokles hodnoty obou klíčových indikátorů přibližně o 4 %. Velikost přírůstku hodnoty klíčových indikátorů mezi scénáři bez V2H (modré sloupce) a scénáři s V2H (oranžové sloupce) však zůstala téměř zachována. U scénářů s nastavením č. 1 činí přírůstek celkového pokrytí spotřeby 8,8 % a přírůstek celkového využití výroby 6,9 %. V případě scénářů s nastavením č. 2 činí přírůstek celkového pokrytí spotřeby 8,1 % a přírůstek celkového využití výroby 6,5 %.



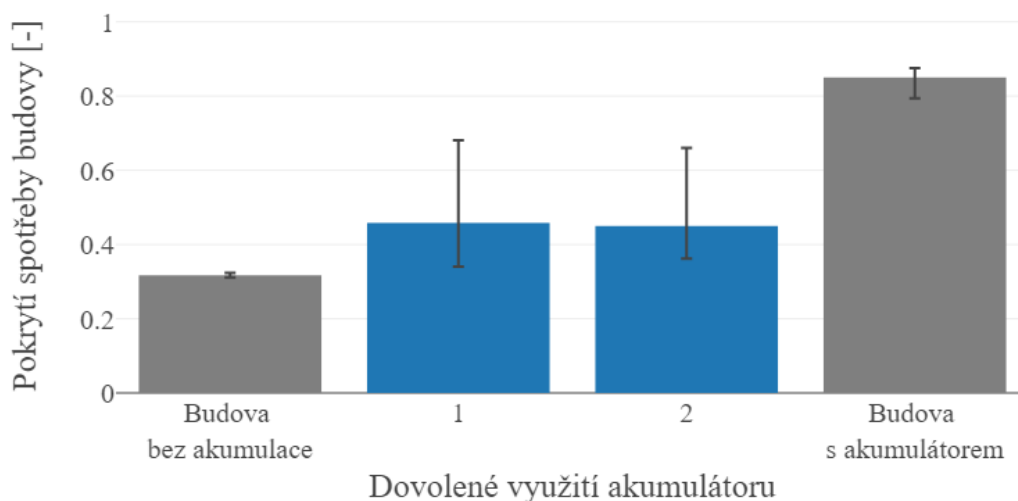
Obr. 33: Celkové pokrytí spotřeby v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu



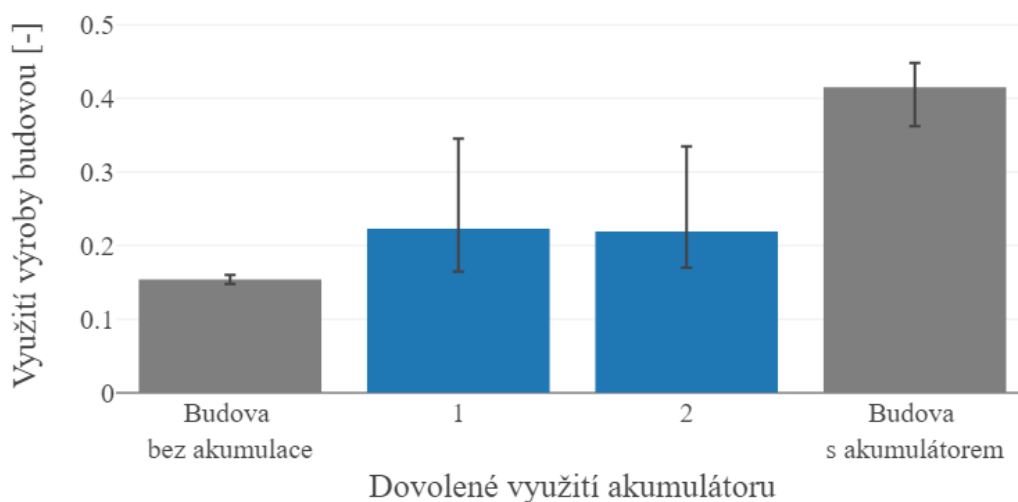
Obr. 34: Celkové využití výroby v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu

Ve sloupcových grafech na obr. 35 a obr. 36 jsou zobrazeny klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu, které jsou vyneseny v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu. Oba grafy obsahují simulované referenční případy budovy bez akumulace elektrické energie a budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh. Jednotlivé sloupce v grafech vyjadřují průměrnou hodnotu klíčového indikátoru pro dané nastavení dovoleného využití kapacity akumulátoru elektromobilu a chybová

úsečka udává rozptyl hodnot zahrnující všechny kombinace ostatních nastavení parametrické studie (azimutu fotovoltaické elektrárny, časového harmonogramu a denní najeté vzdálenosti). Výsledky korigovaných klíčových indikátorů ukazují, že zpřísnění limitů dovoleného využití akumulátoru z nastavení č. 1 na nastavení č. 2 zapříčinilo pokles pokrytí spotřeby budovy o 0,8 % a pokles využití výroby budovou o 0,4 %.



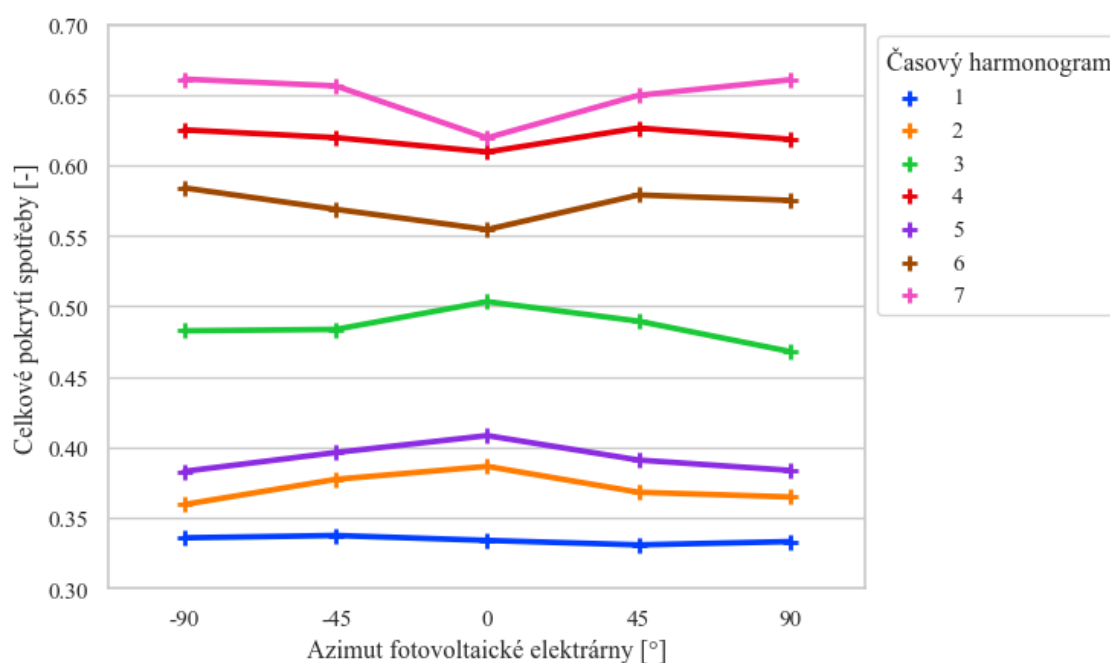
Obr. 35: Pokrytí spotřeby budovy v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu



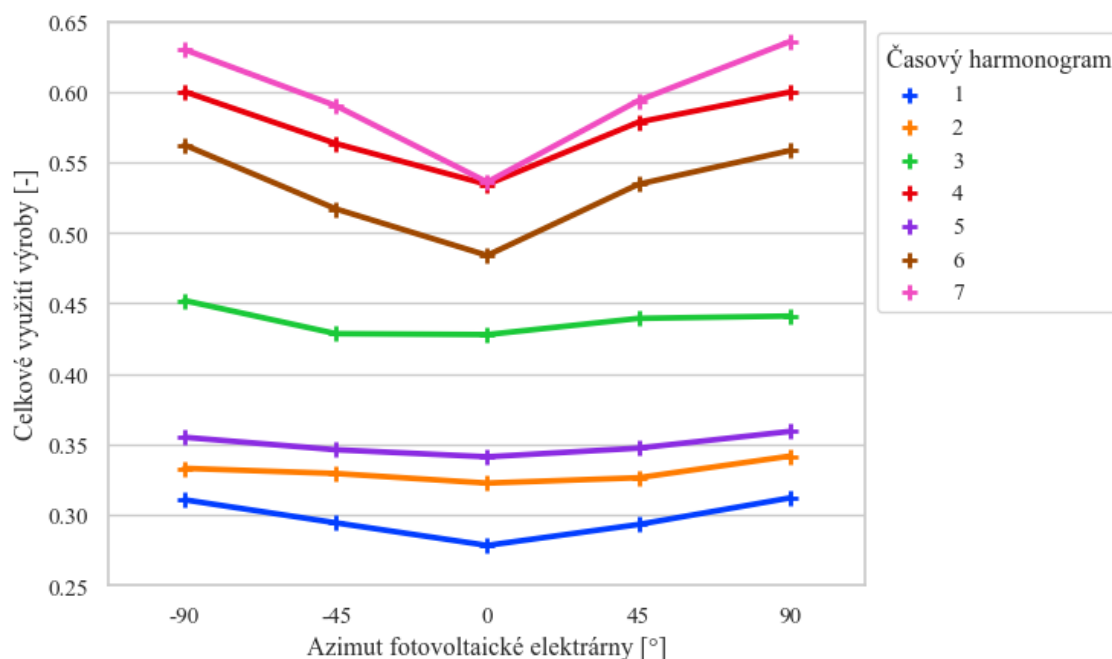
Obr. 36: Využití výroby budovou v závislosti na dovoleném využití kapacity akumulátoru elektromobilu

6.5 Vzájemné působení azimutu fotovoltaické elektrárny a časového harmonogramu elektromobilu

V této podkapitole je studováno vzájemné působení nastavení azimutu fotovoltaické elektrárny a časového harmonogramu elektromobilu z důvodu možného pozitivního nebo negativního ovlivnění vyhodnocovaných klíčových indikátorů při různých kombinacích těchto dvou nastavení. Pomocí bodových grafů s rovnými spojnicemi na obr. 37 a obr. 38 lze podrobněji studovat vzájemné působení časového harmonogramu elektromobilu a azimutu fotovoltaické elektrárny na celkové pokrytí spotřeby, resp. celkové využití výroby. Na vodorovné ose je zobrazen azimut fotovoltaické elektrárny a svislá osa udává hodnotu příslušného klíčového indikátoru. Jednotlivé časové harmonogramy elektromobilu jsou od sebe barevně odlišeny (viz legenda). Každý bod udává průměrnou hodnotu klíčového indikátoru ze všech kombinací zbylých nastavení (tj. denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). Rozptyly těchto hodnot zde nejsou zobrazeny z důvodu přehlednosti grafů. Dle podrobnějšího rozboru na obr. 37 a obr. 38 může v některých případech docházet ke vzájemnému pozitivnímu, resp. negativnímu ovlivňování mezi azimutem fotovoltaické elektrárny a časovým harmonogramem elektromobilu. Maximální změna celkového pokrytí spotřeby se ve studovaných scénářích pohybuje do 5 % a v případě celkového využití výroby se maximální změna pohybuje do 10 %.

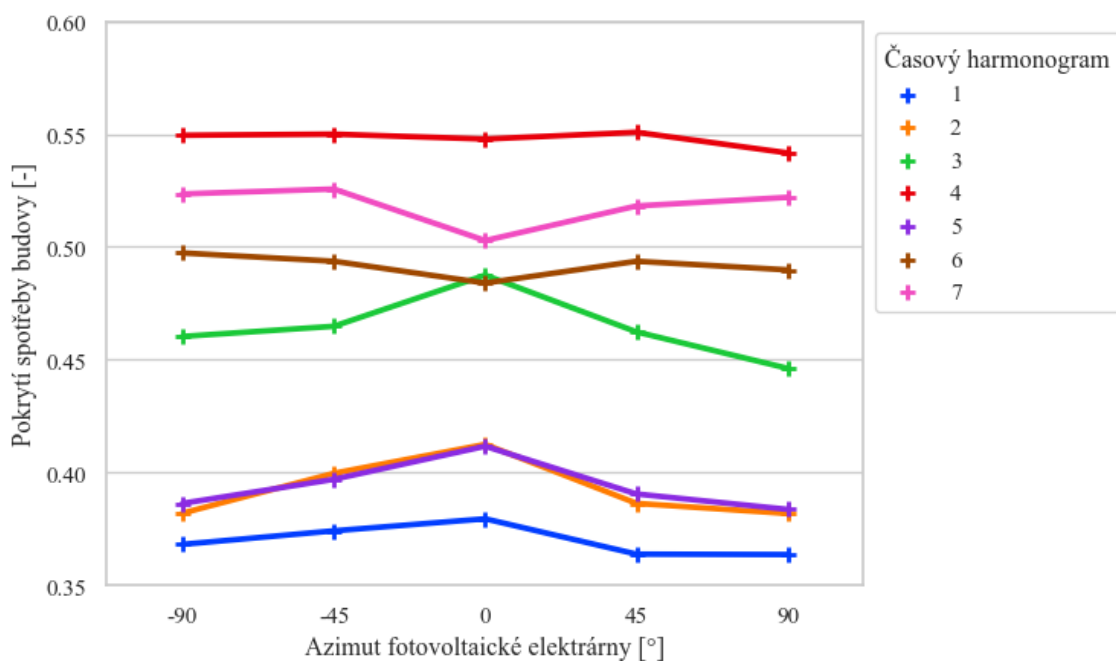


Obr. 37: Závislost průměrného celkového pokrytí spotřeby na azimutu fotovoltaické elektrárny a časovém harmonogramu elektromobilu s V2H

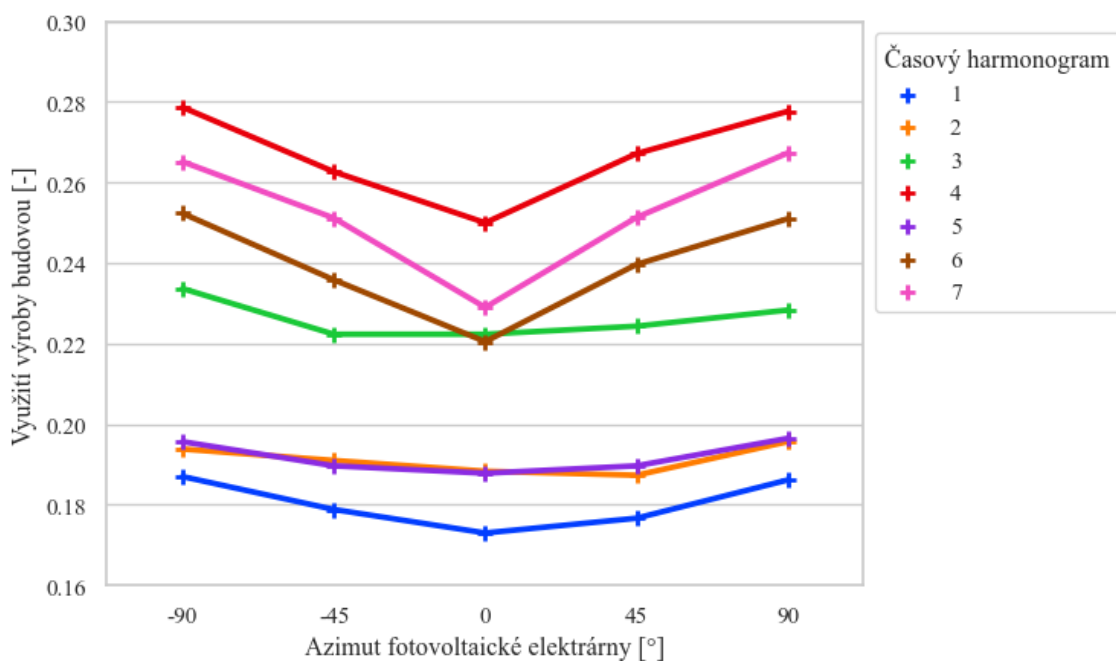


Obr. 38: Závislost průměrného celkového využití výroby na azimutu fotovoltaické elektrárny a časovém harmonogramu elektromobilu s V2H

Vzájemné působení časového harmonogramu elektromobilu a azimutu fotovoltaické elektrárny na pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou (tj. s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu) je pak uvedeno v grafech na obr. 39 a obr. 40. Podobně jako u předchozích dvou grafů, vodorovná osa zobrazuje azimut fotovoltaické elektrárny, svislá osa udává hodnotu příslušného korigovaného klíčového indikátoru a jednotlivé časové harmonogramy elektromobilu jsou od sebe barevně odlišeny (viz legenda). Každý bod udává průměrnou hodnotu korigovaného klíčového indikátoru ze všech kombinací zbylých nastavení (tj. denní najeté vzdálenosti a dovoleného využití kapacity akumulátoru). I v případě těchto výsledků je možné pozorovat, že v některých případech dochází ke vzájemnému pozitivnímu, resp. negativnímu ovlivňování mezi oběma nastaveními. Maximální změna klíčového indikátoru pokrytí spotřeby budovy se pohybuje do 4 % a v případě využití výroby budovou se maximální změna pohybuje do 5 %.



Obr. 39: Závislost průměrného pokrytí spotřeby budovy na azimutu fotovoltaické elektrárny a časovém harmonogramu elektromobilu

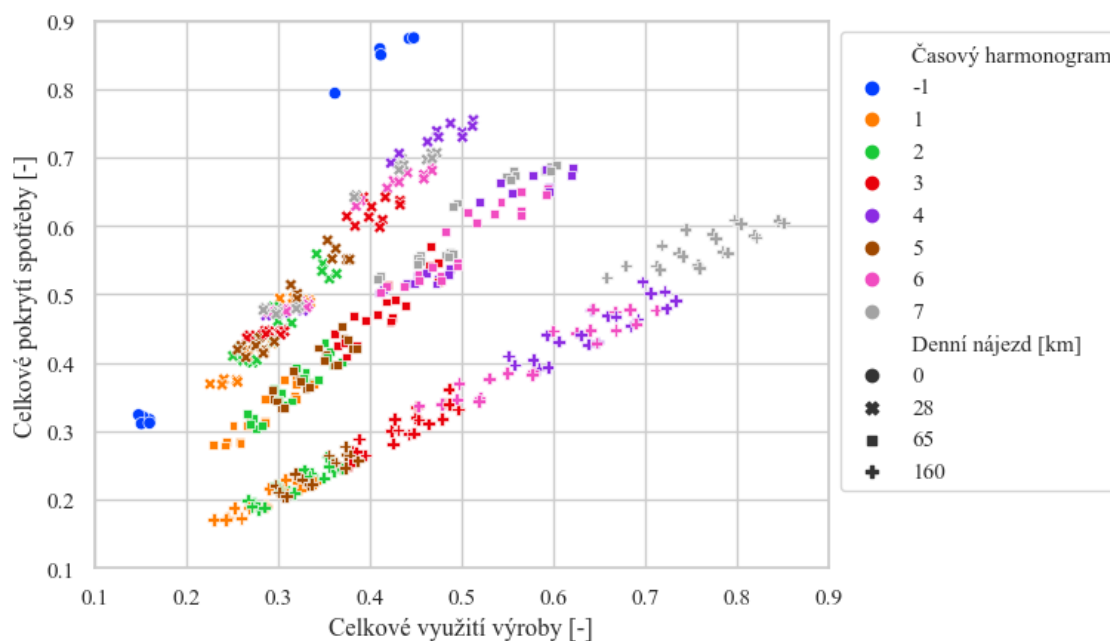


Obr. 40: Závislost průměrného využití výroby budovou na azimutu fotovoltaické elektrárny a časovém harmonogramu elektromobilu

6.6 Souhrnné vyhodnocení

Souhrnné výsledky pro všechny simulované scénáře parametrické studie jsou vyhodnoceny v bodovém grafu na obr. 41 pomocí klíčových indikátorů celkového pokrytí spotřeby a celkového využití výroby (tj. bez korekce vlivu provozní spotřeby elektromobilu), které byly představeny v podkapitole 3.3. Jednotlivé body jsou rozděleny do 2 kategorií: časový harmonogram elektromobilu a denní nájezd. Modré kulaté body s časovým harmonogramem „-1“ a denním nájezdem 0 km vyjadřují simulované referenční případy budovy bez elektromobilu. To jsou případy samotné budovy bez akumulátoru a samotné budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh. Body s nenulovým nájezdem vyjadřují všechny ostatní simulované stavy s účastí elektromobilu, a to včetně funkce V2H i bez ní. Tyto stavy jsou zde vyobrazeny včetně provozní spotřeby elektromobilu a indikují tak systém objektu včetně elektromobilu jako celek.

Ze souhrnných výsledků v bodovém grafu na obr. 41 je patrné, že se mění trend mezi celkovým využitím výroby a celkovým pokrytím spotřeby v závislosti na denním nájezdu elektromobilu. Pro stejný časový harmonogram s rostoucím denním nájezdem stagnuje nebo roste celkové využití výroby a klesá celkové pokrytí spotřeby. Případy s nejnižšími nájezdy (tj. 28 km, značeno křížkem) tak mají při stejném časovém harmonogramu tendenci dosahovat vyšších hodnot celkového pokrytí spotřeby a zároveň nižších hodnot celkového využití výroby než stavy s vyššími nájezdy elektromobilu. Při srovnání s referenčními případy budovy bez akumulátoru se u všech ostatních případů zvyšuje celkové využití výroby. Naopak při srovnání s referenčními případy budovy s akumulátorem o kapacitě 75 kWh je celkové pokrytí spotřeby u všech ostatních případů nižší.

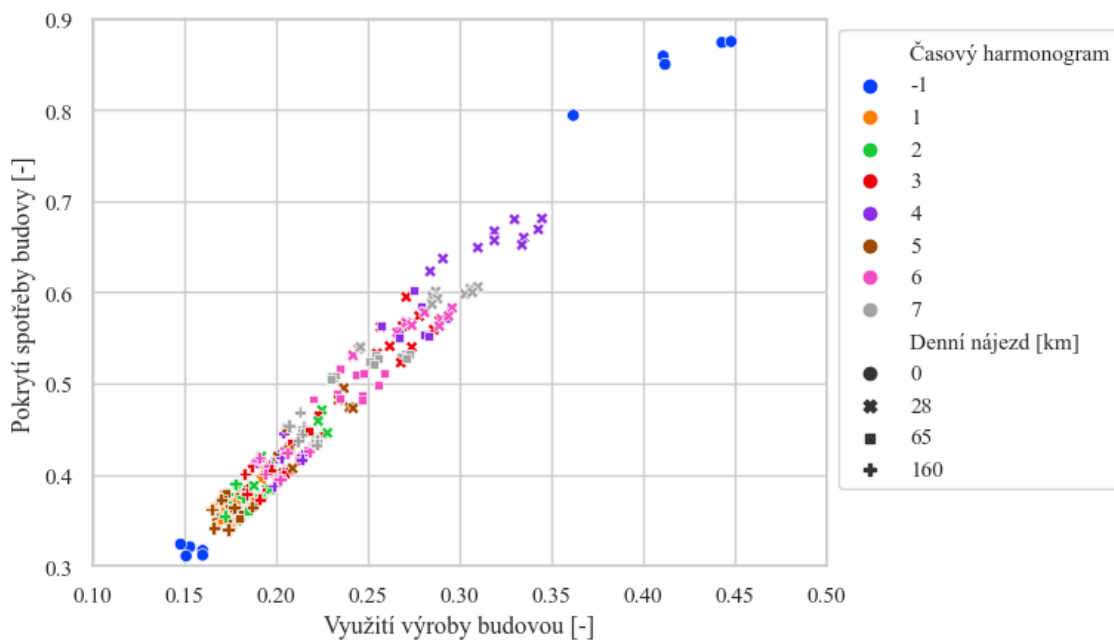


Obr. 41: Vyhodnocení klíčových indikátorů pro studované scénáře bez korekce vlivu provozní spotřeby elektromobilu

Dále jsou v bodovém grafu na obr. 42 zobrazeny souhrnné výsledky pro klíčové indikátory pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou s korekcí na vliv provozní spotřeby elektromobilu, která byla představena v podkapitole 3.3.3. Graf obsahuje všechny simulované referenční případy budovy a dále také provozní stavy se systémem V2H. Body jsou v grafu opět rozděleny do 2 kategorií podle nastavení časového harmonogramu elektromobilu a denního nájezdu. Modrými kulatými body s časovým harmonogramem „-1“ a denním nájezdem 0 km jsou vyjádřeny simulované referenční případy budovy bez elektromobilu (tj. samotná budova bez akumulátoru a samotná budova se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh). Body s nenulovými nájezdy jsou pak vyjádřeny simulované scénáře využívající systém V2H s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu na klíčové indikátory.

Z grafu na obr. 42 je patrné, že korekce klíčových indikátorů sjednotila trend zobrazených bodů reprezentujících výsledky jednotlivých scénářů parametrické studie. Při srovnání bodů s referenčními případy budovy bez akumulátoru má systém V2H ve všech simulovaných případech kladný vliv na oba klíčové indikátory, přičemž budova využívající V2H dosahuje o 3 až 37 % vyššího pokrytí spotřeby budovy a o 2 až 19 % vyššího využití výroby budovou. Naopak při srovnání s referenčními případy budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh jsou ve všech simulovaných případech se

systemem V2H oba klíčové indikátory nižší, přičemž budova se stacionárním akumulátorem dosahuje vždy nejméně o 16 % vyššího pokrytí spotřeby budovy a nejméně o 7 % vyššího využití výroby budovou.



Obr. 42: Vyhodnocení klíčových indikátorů pro studované scénáře s korekcí vlivu provozní spotřeby elektromobilu

7 Diskuze

Z vyhodnocení vlivu azimutu na klíčové indikátory se jako obecně nejméně vhodná jeví orientace na jih. Podle bližší studie vzájemného působení azimutu fotovoltaické elektrárny a časového harmonogramu elektromobilu v podkapitole 6.5 to však zdaleka neplatí pro všechny časové harmonogramy. Tuto problematiku je tedy nutné uvažovat komplexně se zohledněním obou vlivů. Při srovnání grafů celkového pokrytí spotřeby na obr. 37 a celkového využití výroby na obr. 38 lze také zaznamenat, že se průběhy pro stejné časové harmonogramy v obou grafech liší. Například časový harmonogram č. 1 má téměř konstantní průběh celkového pokrytí spotřeby v závislosti na azimutu fotovoltaické elektrárny, ale celkové využití výroby ve druhém grafu se snižuje směrem k azimutu 0° . Tento rozdílný průběh je způsobem větším množstvím vyrobené energie při orientaci fotovoltaické elektrárny směrem na jih, která však není využita pro hrazení spotřeby objektu. Podobný rozdíl v průběhu lze najít u všech časových harmonogramů. Stejně tomu je i v případě grafů s korigovanými klíčovými indikátory na obr. 39 a obr. 40.

Z výsledků je patrné, že výrazný vliv na změnu klíčových indikátorů má časový harmonogram užívání elektromobilu. Čím kratší dobu je elektromobil připojen v době slunečního svitu, tím nižší hodnotu mají klíčové indikátory celkového pokrytí spotřeby a celkového využití výroby, resp. pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou. Zároveň se také ukazuje, že zkracující se doba připojení elektromobilu v době slunečního svitu snižuje přínos systému V2H, neboť klesá jeho pozitivní vliv na změnu klíčových indikátorů.

Výrazný vliv na hodnoty klíčových indikátorů má také denní najetá vzdálenost elektromobilu. Se vzrůstajícím denním nájezdem elektromobilu ve většině případů klesá celkové pokrytí spotřeby, a to zejména při denním nájezdu nad 65 km. To je způsobeno nutností nabití elektromobilu na požadovaný stav z elektrické sítě, protože se nestihne nabít na požadovaný stav z fotovoltaické elektrárny. Zajímavé je také sledovat horní hranici rozptylu hodnot elektromobilu bez funkce V2H, která ukazuje, že v některých případech celkové pokrytí spotřeby naopak rostlo. To je způsobeno časovým harmonogramem č. 7 (noční směna), při kterém elektromobil využívá s vyšším denním nájezdem také více elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. Celkové využití výroby na obr. 30 se zvyšuje z důvodu vzrůstající provozní spotřeby elektromobilu, která je alespoň z části hrazena vyráběnou elektrickou energií z fotovoltaické elektrárny.

V případě korigovaných klíčových indikátorů pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou klesají oba klíčové indikátory se zvyšujícím se denním nájezdem elektromobilu. Důvodem je menší dostupné množství energie v akumulátoru elektromobilu po jeho návratu, kterou je možné využít v rámci systému V2H. Následkem je pak omezení funkce tohoto systému.

Zpřísnění limitů dovoleného využití kapacity akumulátoru elektromobilu vedlo pouze k mírnému snížení klíčových indikátorů. Bylo by zajímavé se na tuto problematiku v budoucnu zaměřit a zjistit, jaká nastavení těchto limitů mají výraznější vliv na klíčové indikátory a eventuálně doporučit jejich optimální nastavení.

V souhrnném vyhodnocení je uvedeno, že se mění trend mezi celkovým využitím výroby a celkovým pokrytím spotřeby v závislosti na denním nájezdu elektromobilu. Změna vzájemné závislosti těchto klíčových indikátorů je tedy dána zejména změnou provozní spotřeby elektromobilu. Tomuto tvrzení pak rovněž odpovídá seskupení bodů podél přímků mezi simulované mezní stavy v případě korigovaných klíčových indikátorů, které nezahrnují provozní spotřebu elektromobilu (viz obr. 42).

Výsledky pokrytí spotřeby budovy v této práci jsou při srovnání s výsledky studie [51] ve všech případech vyšší. Naopak hodnoty využití výroby budovou jsou v této práci nižší, než ve studii [51]. To je způsobeno rozdílnou uvažovanou velikostí fotovoltaické elektrárny v poměru ke spotřebě budovy. Tato práce uvažuje s výrazně vyšším instalovaným výkonem fotovoltaické elektrárny a zmíněné porovnání klíčových indikátorů tomu odpovídá. Ve studii [52] je uvedeno, že výsledky simulací se systémem V2H mají veliký rozptyl hodnot klíčových indikátorů, neboť jsou výrazně závislé na intenzitě využívání elektromobilu a jeho jízdním profilu. To rovněž potvrzují i výsledky této práce, ve kterých je zřejmý veliký rozptyl hodnot klíčových indikátorů a jejich výrazná závislost zejména na časovém harmonogramu elektromobilu a na denní najeté vzdálenosti. Dle studie [53] je možné s pomocí technologie V2H dosáhnout snížení spotřeby elektrické energie ze sítě až o 68 %. Podle výsledků této práce je díky technologii V2H možné dosáhnout snížení spotřeby samotné budovy ze sítě maximálně o 36 %. Oba výsledky se tak shodují v kladném vlivu technologie V2H, ale jejich hodnota se značně liší. Tento rozdíl může být způsobený odlišným průběhem spotřeby objektu, například odlišnou lokací objektu, neboť studie [53] byla uvažována se vstupními daty pro Orlando ve Spojených státech amerických.

8 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnotit možné přínosy technologie V2H na energetickou soběstačnost rodinného domu s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou. Pro vyhodnocení byla k dispozici naměřená data spotřeby elektrické energie z rodinného domu. V rámci práce byl vytvořen simulační model fotovoltaické elektrárny a akumulace elektrické energie v programu TRNSYS 18, ve kterém bylo následně nasimulováno 430 různých scénářů. Vyhodnocení energetické soběstačnosti bylo provedeno pomocí klíčových indikátorů pro objekt jako celek (celkové pokrytí spotřeby a celkové využití výroby). Dále byly vyhodnoceny také korigované klíčové indikátory zohledňující bilanci samostatné budovy s lokální fotovoltaickou elektrárnou a s příspěvkem funkce V2H, ve kterých byl zanedbán vliv provozní spotřeby elektromobilu (pokrytí spotřeby budovy a využití výroby budovou).

Na základě literární rešerše bylo identifikováno několik nabíjecích standardů, výrobců automobilů a výrobců nabíjecích stanic umožňujících obousměrné nabíjení. Dále z rešerše vyplynulo, že technologie V2G a V2H jsou v rámci Evropy zatím testovány pouze v pilotních projektech a jejich plné nasazení je teprve v přípravě. V tomto kontextu poskytuje tato simulační studie detailní poznatky o řadě provozních scénářů, které lze shrnout do následujících bodů:

- technologie V2H měla ve všech simulovaných případech pozitivní dopad na celkovou energetickou soběstačnost objektu, při aktivaci funkce V2H došlo ke zvýšení celkového pokrytí spotřeby v rozmezí 1 až 28 % a zvýšení celkového využití výroby v rozmezí 1 až 19 %,
- energetická soběstačnost samotné budovy využívající technologii V2H byla nejvíce ovlivněna časovým harmonogramem užívání elektromobilu a denním nájездem elektromobilu, tyto faktory mohou dohromady změnit pokrytí spotřeby budovy až o 34 % a využití výroby budovou až o 18 %,
- v některých případech docházelo ke vzájemnému pozitivnímu, resp. negativnímu ovlivňování mezi azimutem fotovoltaické elektrárny a časovým harmonogramem elektromobilu, změna celkového pokrytí spotřeby vlivem vzájemného ovlivnění se pohybovala do 5 % a změna celkového využití výroby do 10 %,

- při srovnání s referenčním stavem budovy bez akumulátoru měl systém V2H ve všech simulovaných případech kladný vliv na korigované klíčové indikátory, přičemž budova využívající V2H dosahovala o 3 až 37 % vyššího pokrytí spotřeby budovy a o 2 až 19 % vyššího využití výroby budovou,
- při srovnání s referenčním stavem budovy se stacionárním akumulátorem o kapacitě 75 kWh byly ve všech simulovaných scénářích se systémem V2H oba klíčové indikátory nižší, přičemž budova se stacionárním akumulátorem dosahovala vždy nejméně o 16 % vyššího pokrytí spotřeby budovy a nejméně o 7 % vyššího využití výroby budovou.

Tato práce ověřila možné přínosy technologie V2H na energetickou soběstačnost budovy. Z výsledků je patrné, že technologie V2H přispívá ke zvýšení energetické soběstačnosti ve srovnání s budovou bez akumulace elektrické energie. Potenciál funkce V2H pro zvýšení energetické soběstačnosti budovy s lokální fotovoltaickou elektrárnou se však výrazně liší v závislosti na časovém harmonogramu elektromobilu a na jeho denním nájezdu, kdy nejlepších výsledků bylo dosaženo při přítomnosti vozu přes den, eventuálně pouze s krátkou dobou odpojení a při jeho nízkém nájezdu.

Ve studii se podařilo zmapovat širokou škálu scénářů a jejich vliv na využitelnost funkce V2H pro zvýšení energetické soběstačnosti budovy. Šíře navržené simulační úlohy však neumožnila detailní rozbor jednotlivých aspektů. Na tento výzkum lze dále navázat detailním rozbohem zabývajícím se například vlivem nastavených limitů dovoleného využití kapacity akumulátoru elektromobilu na energetickou soběstačnost objektu s doporučením jejich optimálního nastavení. Výsledky této práce by dále šlo využít pro ekonomickou studii proveditelnosti jednotlivých studovaných scénářů, která by detailně popsala ekonomické aspekty provozu technologie V2H v souvislosti se studovanou budovou.

9 Seznam literatury

- [1] EVROPSKÁ KOMISE. *Plán přechodu na konkurenceschopné nízkouhlikové hospodářství do roku 2050* [online]. 2011 [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112>
- [2] *V2G Hub* [online]. [vid. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.v2g-hub.com/>
- [3] SVARC, Jason. Bidirectional chargers explained - V2G vs V2H vs V2L. *Clean Energy Reviews* [online]. 2023 [vid. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-charging-v2g-v2h-v2l>
- [4] BHOIR, Shubham, Priscilla CALIANDRO a Claudio BRIVIO. Impact of V2G service provision on battery life. *Journal of Energy Storage* [online]. 2021, **44**, 103178. ISSN 2352-152X. Dostupné z: doi:10.1016/J.EST.2021.103178
- [5] DARCOVICH, Ken, Steven RECOSKIE, Hajo RIBBERINK, Fleurine PINCET a Amaury FOISSAC. Effect on battery life of vehicle-to-home electric power provision under Canadian residential electrical demand. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2017, **114**, 1515–1522. ISSN 1359-4311. Dostupné z: doi:10.1016/J.APPLTHERMALENG.2016.07.002
- [6] BISHOP, Justin D.K., Colin J. AXON, David BONILLA, Martino TRAN, David BANISTER a Malcolm D. MCCULLOCH. Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV. *Applied Energy* [online]. 2013, **111**, 206–218. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:10.1016/J.APENERGY.2013.04.094
- [7] UDDIN, Kotub, Tim JACKSON, Widanalage D. WIDANAGE, Gael CHOUCHELAMANE, Paul A. JENNINGS a James MARCO. On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system. *Energy* [online]. 2017, **133**, 710–722. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENERGY.2017.04.116

- [8] IEC 62196-1:2022, Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements [online]. 2022 [vid. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/59922>
- [9] IEC 62196-2:2022, Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility requirements for AC pin and contact-tube accessories [online]. 2022 [vid. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/64364>
- [10] IEC 62196-3:2022, Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3: Dimensional compatibility requirements for DC and AC/DC pin and contact-tube vehicle couplers [online]. 2022 [vid. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/59923>
- [11] MOULI, Gautham Ram Chandra, Johan KAPTEIN, Pavol BAUER a Miro ZEMAN. Implementation of dynamic charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard. *2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC 2016* [online]. 2016 [vid. 2023-04-17]. Dostupné z: [doi:10.1109/ITEC.2016.7520271](https://doi.org/10.1109/ITEC.2016.7520271)
- [12] RONANKI, Deepak, Apoorva KELKAR a Sheldon S. WILLIAMSON. Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation. *Energies 2019, Vol. 12, Page 3721* [online]. 2019, **12**(19), 3721 [vid. 2023-04-17]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: [doi:10.3390/EN12193721](https://doi.org/10.3390/EN12193721)
- [13] ISO 15118-20:2022(en), Road vehicles — Vehicle to grid communication interface — Part 20: 2nd generation network layer and application layer requirements [online]. 2022 [vid. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-20:ed-1:v1:en>
- [14] ULITSKAYA, Jane. What’s Bidirectional Charging and Which EVs Offer It? *Cars.com* [online]. 2022 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.cars.com/articles/whats-bidirectional-charging-and-which-evs-offer-it-457608/>
- [15] LUCID MOTORS. Lucid Air Charging Specs: Go Further, Faster Thanks to the Short Lucid Air Charge Time [online]. 2020 [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.lucidmotors.com/media-room/lucid-air-fastest-charging-ev>

- [16] MOTAVALLI, Jim. Are bidirectional EV chargers ready for the home market? *TechCrunch* [online]. 2022 [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2022/04/28/are-bidirectional-ev-chargers-ready-for-the-home-market/>
- [17] VOLKSWAGEN AG. *Platforms* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.vw-platform-business.com/en/platforms.html>
- [18] BAUMANN, Uli, Holger WITTICH a Marcel SOMMER. Ford Explorer auf VW-MEB-Basis: Sport-Crossover ab 2023. *Auto Motor und Sport* [online]. 2023 [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/ford-explorer-elektro-crossover-suv-kompakt-meb-2023/>
- [19] AUDI ČESKÁ REPUBLIKA. *Technická data > Q4 e-tron > Q4* [online]. [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/q4/q4-e-tron/technicka-data>
- [20] AUDI MEDIACENTER. *Higher charging capacity and expanded online features for the Audi Q4 e-tron* [online]. 2022 [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/higher-charging-capacity-and-expanded-online-features-for-the-audi-q4-e-tron-14518>
- [21] AUDI MEDIACENTER. *Start of production for Audi Q4 e-tron* [online]. 2021 [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/start-of-production-for-audi-q4-e-tron-13864>
- [22] CUPRA. *CUPRA Born* [online]. [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.cupraofficial.cz/cupra/cupra-born/cupra-born>
- [23] *Car and Driver* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/>
- [24] FORD MOTOR COMPANY. *2023 Ford F-150 Lightning® | Onboard Generator with Intelligent Backup Power* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.ford.com/trucks/f150/f150-lightning/features/intelligent-backup-power/>

- [25] TOMÍŠEK, Marek. *Reálná spotřeba benzínu a elektrický dojezd plug-in hybridu Mitsubishi Outlander PHEV* [online]. 2021 [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/test-realna-spotreba-benzinu-a-elektricky-dojezd-plug-in-hybridu-mitsubishi-outlander-phev-zaostreno-na-spotrebu-7966>
- [26] HAGON, Toby. V2G charging tech for Mitsubishi Outlander PHEVs back to MY17. *EV Central* [online]. 2020 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://evcentral.com.au/v2g-charging-tech-for-mitsubishi-outlander-phevs-back-to-my17/>
- [27] LYE, Gerard. Mitsubishi Eclipse Cross facelift launched in Japan - petrol, PHEV variants available; priced from RM99k [online]. 2020 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://paultan.org/2020/12/04/mitsubishi-eclipse-cross-facelift-launched-in-japan/>
- [28] MITSUBISHI MOTORS ČR. *Plug-In hybrid Mitsubishi Eclipse Cross PHEV* [online]. [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.mitsubishi-motors.cz/modely/novy-eclipse-cross-phev/>
- [29] GREEN CAR CONGRESS. *Nissan introduces the e-NV200 electric van* [online]. 4. března 2014 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2014/03/20140304-nissan.html>
- [30] GREEN CAR CONGRESS. *Nissan introduces improved e-NV200 electric van with higher-capacity battery* [online]. 19. dubna 2018 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2018/04/20180419-nissan.html>
- [31] SHAKIR, Umar. Nissan Leaf finally gets official V2G bi-directional charging solution. *The Verge* [online]. 2022 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2022/9/12/23349971/nissan-leaf-bidirectional-charging-approved-v2h-v2g-fermata-energy>
- [32] NISSAN. *Nissan LEAF - 100% elektrický rodinný vůz* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>
- [33] ŠKODA AUTO A.S. *Enyaq iV* [online]. [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv>

- [34] ŠKODA STORYBOARD. *Dostupné elektrické SUV: Škoda Enyaq iV 50 za méně než 40 000 eur* [online]. 2023 [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/dostupne-elektricke-suv-skoda-nyaq-iv-50-za-mene-nez-40-000-eur/>
- [35] *Volkswagen Česká republika* [online]. 2023 [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/>
- [36] *Volkswagen Newsroom* [online]. [vid. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/>
- [37] HYUNDAI MOTOR CZECH S.R.O. *Elektrické SUV - IONIQ 5 - Technologie* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/cz/modely/ioniq-5/technologie.html>
- [38] KIA CZECH S.R.O. *Objevte elektromobil Kia EV6* [online]. [vid. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.kia.com/cz/modely/ev6/objevte/>
- [39] ABB LTD. *ABB's Vehicle-to-Grid technology* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/abb-s-vehicle-to-grid-technology>
- [40] ENPHASE ENERGY INC. *Enphase Bidirectional EV Charger* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://enphase.com/ev-chargers/bidirectional>
- [41] INDRA RENEWABLE TECHNOLOGIES LIMITED. *Vehicle To Home (V2H) Bidirectional Chargers* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.indra.co.uk/v2h/>
- [42] EMPORIA CORP. *How the Emporia V2X Bi-Directional Charger Works* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.emporiaenergy.com/how-the-emporia-v2x-charger-works>
- [43] DELTA ELECTRONICS INC. *Delta Explorer* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://explorer.delta-emea.com/emea/#home-charging>
- [44] HIRAI, Yasutake. *DENSO's Other Mission in Addition to Automotive Components* [online]. 2021 [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.denso.com/global/en/news/newsroom/2021/20210426-g01/>

- [45] FERMATA ENERGY. *Fermata Energy's Newest V2X Bidirectional Charger — the FE-20 — Available Q1 2023* [online]. 2022 [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://fermataenergy.com/article/fermata-energys-newest-v2x-bidirectional-charger->
- [46] NICHICON CORPORATION. *系統連系型V2Hシステム* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.nichicon.co.jp/products/v2h/about/specs/>
- [47] *Nuvve Holding Corp.* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://nuvve.com/>
- [48] PANASONIC CORPORATION. *住宅用V2H蓄電システム「eneplat」* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://sumai.panasonic.jp/chikuden/eneplat/index.html>
- [49] TAKAOKA TOKO CO. LTD. *EPower Conditioner for EV (V2H)* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.tktk.co.jp/en/product/ev-charging/conditioner-ev/>
- [50] *Wallbox N.V.* [online]. [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://wallbox.com/>
- [51] LUTHANDER, Rasmus, David LINGFORS, Joakim MUNKHAMMAR a Joakim WIDÉN. *Self-consumption enhancement of residential photovoltaics with battery storage and electric vehicles in communities*. Uppsala: Uppsala University, 2015.
- [52] GUDMUNDS, D., E. NYHOLM, M. TALJEGARD a M. ODENBERGER. Self-consumption and self-sufficiency for household solar producers when introducing an electric vehicle. *Renewable Energy* [online]. 2020, **148**, 1200–1215. ISSN 0960-1481. Dostupné z: doi:10.1016/J.RENENE.2019.10.030
- [53] ALIREZAEI, Mehdi, Mehdi NOORI a Omer TATARI. Getting to net zero energy building: Investigating the role of vehicle to home technology. *Energy and Buildings* [online]. 2016, **130**, 465–476. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.08.044
- [54] KLEIN, S.A. et al. Getting Started. In: *TRNSYS 18 Documentation*. 2019.
- [55] TOL, Hakan İbrahim. *GitHub - DrTol/TRNSYSfromPython: Python script for automated running of the TRNSYS simulations* [online]. 2020 [vid. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://github.com/DrTol/TRNSYSfromPython>

-
- [56] SKARTVEIT, A. a J. A. OLSETH. Modelling slope irradiance at high latitudes. *Solar Energy*. 1986, **36**(4), 333–344.
- [57] SKARTVEIT, A., H. LUND a J. A. OLSETH. The Design Reference Year. *Recent Advancements in Solar Radiation Resource Assessment*. 1992.
- [58] SKARTVEIT, A. a J. A. OLSETH. The probability density and autocorrelation of short-term global and beam irradiance. *Solar Energy*. 1992, **49**(6), 477–487.
- [59] PLÖTZ, Patrick, Till GNANN a Martin WIETSCHEL. Total Ownership Cost Projection for the German Electric Vehicle Market with Implications for its Future Power and Electricity Demand. *Enerday 2012*. 2012, 1–19.
- [60] KLEIN, S.A. et al. Mathematical Reference. In: *TRNSYS 18 Documentation*. 2019.

Přílohy

Seznam tištěných příloh

Příloha č. 1: Technický list fotovoltaického modulu SMG6144-455

Seznam příloh na CD

Příloha č. 2: Projekt simulačního modelu v TRNSYS 18 se vstupními daty a skriptem v Pythonu pro provedení parametrické studie

Příloha č. 3: Výstupy ze simulací parametrické studie a skript v Pythonu pro vyhodnocení výstupů ze simulací

Příloha č. 4: Výkres půdorysů rodinného domu

Příloha č. 1: Technický list fotovoltaického modulu SMG6144-455

Engineering Drawings

Length: ±2mm
Width: ±2mm
Height: ±1mm
Row Pitch: ±2mm

Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves(450W)

Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax

Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)

300pcs/20'GP , 600pcs/40'GP , 640pcs/40'HQ

Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 166x83mm
No. of cells	144 Cells (6x24)
Dimensions	2108x1048x35mm(82.99x41.26x1.38 inch)
Weight	25.6kg(56.43 lbs)
Front Glass	3.2mm , Anti-Reflection Coating , High Transmission , Low Iron , Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm² , Portait:300/300mm

SPECIFICATIONS

Module Type	6144-430		6144-435		6144-440		6144-445		6144-450		6144-455	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power(Pmax)	430W	319.9W	435W	323.6W	440W	327.3W	445W	331.0W	450W	334.7W	455W	338.4W
Maximum Power Voltage(Vmp)	40.72V	37.90V	41.08V	38.20V	41.40V	38.50V	41.75V	38.80V	42.10V	39.10V	42.40V	39.30V
Maximum Power Current(Imp)	10.56A	8.441A	10.59A	8.471A	10.63A	8.501A	10.66A	8.531A	10.69A	8.560A	10.73A	8.611A
Open-circuit Voltage(Voc)	48.69V	45.30V	48.98V	45.50V	49.25V	45.70V	49.55V	46.00V	49.84V	46.20V	50.20V	46.40V
Short-circuit Current(Isc)	11.07A	8.948A	11.10A	8.980A	11.14A	9.012A	11.17A	9.044A	11.20A	9.075A	11.24A	9.128A
Module Efficiency STC(%)	19.46%		19.69%		19.92%		20.14%		20.37%		20.60%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C											
Maximum System Voltage	1500VDC											
Maximum Series Fuse Rating	20A											
Power Tolerance	0~+5Wp											
Temperature Coefficients of Pmax	-0.39%/°C											
Temperature Coefficients of Voc	-0.30%/°C											
Temperature Coefficients of Isc	-0.06%/°C											
Nominal Operating Cell Temperature(NOCT)	45±2/°C											

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%