



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYUŽITÍ PARKOVACÍHO DOMU JAKO ENERGETICKÉHO ZDROJE

PARKING HOUSE AS ENERGY SOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Zdeněk Novotný

ID: 236939

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Využití parkovacího domu jako energetického zdroje

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Koncept vehicle to grid
2. Bezdrátové nabíjení elektromobilů
3. Přehled konceptů parkovacích domů pro energetické účely
4. Parkovací domy na území města Brna
5. Analýza využití vybraného parkovacího domu pro energetické využití

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou využití vybraných parkovacích domů pro energetické využití. Úvodní část je věnována technologii Vehicle-to-Grid (V2G) a konceptům parkovišť navržených pro energetické účely, které umožňují využití dané technologie. Teoretická část také obsahuje základní princip a realizaci bezdrátového nabíjení elektrických vozidel, přehled rychlonabíječek a v poslední části je přiblíženo parkování v Brně. Praktická část obsahuje porovnání 4 možných scénářů, u kterých docházelo k postupnému nárůstu jednotlivých nabíjecích stanic. Výstupem každého scénáře je pak vybíjecí a nabíjecí kapacita, kterou by každý parkovací dům mohl poskytovat.

Klíčová slova

Bezdrátové nabíjení, elektrické vozidlo, parkovací dům, parkoviště jako baterie, V1G, V2G

Abstract

The bachelor's thesis deals with the analysis of the use of selected parking houses for energy utilization. The introductory part is devoted to Vehicle-to-Grid (V2G) technology and concepts of parking lots proposed for energy purposes that enable the use of the technology. The theoretical part also includes the basic principle and implementation of wireless charging of electric vehicles, an overview of fast chargers and in the last part parking in Brno is presented. The practical part contains a comparison of 4 possible scenarios in which there was a gradual increase of individual charging stations. The output of each scenario is then the discharge and charging capacity that each parking house could provide.

Keywords

Wireless charging, electric vehicle, parking house, parking lot as a battery, V1G, V2G

Bibliografická citace

NOVOTNÝ, Zdeněk. *Využití parkovacího domu jako energetického zdroje*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159544>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Zdeněk Novotný*

VUT ID studenta: *236939*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2023/24*

Téma závěrečné práce: *Využití parkovacího domu jako energetického zdroje*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 29. května 2024

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Paarovi, Ph.D., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování také patří panu Mgr. Zdeňku Slavíkovi z Brněnských komunikací a.s. a společnosti TYMET parking a.s. za poskytnuté materiály.

V Brně dne: 29. května 2024

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1. KONCEPT VEHICLE TO GRID.....	12
1.1 ÚVOD DO V2G	12
1.1.1 V2X.....	12
1.2 TECHNOLOGIE V2G.....	13
1.3 BUDOUCNOST V2G	15
1.3.1 Registrace elektromobilů v EU	16
1.4 VOZIDLA KOMPATIBILNÍ S V2X/V2G.....	17
2. BEZDRÁTOVÉ NABÍJENÍ EV	22
2.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU	23
2.1.1 Indukční nabíjení	23
2.1.1 Rezonanční nabíjení.....	24
2.2 REALIZACE BEZDRÁTOVÉHO NABÍJECÍHO PŘENOSU.....	25
2.2.1 Elektromagnetické rušení.....	26
2.2.2 Požadované parametry bezdrátového nabíjecího přenosu.....	26
3. RYCHLONABÍJEČKY	29
3.1 TYPY KONEKTORŮ PRO NABÍJENÍ EV.....	29
3.1.1 Typ 2 (Mennekes).....	30
3.1.2 CCS – Typ 1 a 2	30
3.1.3 Supercharger Tesla.....	30
3.2 REŽIMY NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU.....	30
3.3 RYCHLONABÍJEČKY PRO ELEKTRICKÉ NÁKLADNÍ VOZIDLA	31
3.3.1 CCS nabíjení	32
3.3.2 MCS nabíjení	33
4. KONCEPTY PARKOVACÍCH DOMŮ A PARKOVIŠŤ PRO ENERGETICKÉ ÚČELY ...	34
4.1 METODA PRO MINIMALIZACI NÁKLADŮ NA NABÍJENÍ	35
4.2 METODA ODHADU KAPACITY V2G	36
4.2.1 Navrhovaný model	37
4.2.2 Scénáře nabíjení.....	38
4.3 PŘÍPADOVÉ STUDIE.....	40
4.3.1 Inteligentní parkoviště s ohledem na koncept V2G a stav baterie	40
4.3.2 Řízení spotřeby energie v reálném čase	40
4.3.3 Přidělování parkovacích míst v distribuční síti.....	40
5. PARKOVIŠTĚ	42
5.1 STÁNÍ NA VEŘEJNÝCH PARKOVIŠTÍCH.....	42
5.1.1 Šířka parkovacího stání	42
5.1.2 Vyhrazená parkovací místa	42
5.1.3 Parkovací místa pro EV.....	43

5.2	TYPY PARKOVIŠŤ.....	43
5.3	PARKOVÁNÍ V BRNĚ.....	44
5.3.1	<i>Parkovací systém v Brně.....</i>	44
5.3.2	<i>Parkovací domy na území Brna.....</i>	45
5.3.3	<i>ÚAN Zvonařka.....</i>	47
6.	NAVRHOVANÉ SCÉNÁŘE.....	48
6.1	DEFINOVÁNÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ.....	48
6.1.1	<i>Přehled baterií pro elektromobily.....</i>	49
6.1.2	<i>Predikce vývoje elektromobility v ČR.....</i>	50
6.1.3	<i>Vliv teploty na EV.....</i>	53
6.1.4	<i>Využití firemních a soukromých elektromobilů.....</i>	54
6.1.5	<i>Okrajové podmínky.....</i>	54
6.2	SCÉNÁŘE.....	58
6.2.1	<i>Scénář pro rok 2025.....</i>	61
6.2.2	<i>Scénář pro rok 2030.....</i>	63
6.2.3	<i>Scénář pro rok 2035.....</i>	66
6.2.4	<i>Scénář pro rok 2040.....</i>	68
	ZÁVĚR.....	72
	LITERATURA.....	75
	SEZNAM ZKRATEK.....	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Blokové schéma struktury V2G	13
1.2	Koordinované nabíjení a vyrovnání energetických špiček [14]	14
1.3	Rámec dvou sítí pro provoz V2G [14]	15
1.4	Měrná energie olověných, niklových a lithiových baterií [11].....	18
1.5	Kompatibilní automobilové značky s V2X [105].....	21
2.1	Příklad bezdrátového nabíjení od firmy Easylink [110].....	23
2.2	Indukční nabíjení elektromobilu [110].....	24
2.3	Selektivní výměna mezi spřaženými rezonátory [77]	24
2.4	Blokové schéma bezdrátového nabíjecího systému [9].....	26
2.5	Technologie magnetické rezonance od společnosti WiTricity [109]	27
3.1	Přehled jednotlivých typů konektorů [83]	29
3.2	Možnosti nabíjení elektrických kamionů [74].....	32
3.3	Rozdíly mezi CCS a MCS [40]	33
4.1	Systém inteligentního parkoviště bez využití možnosti V2G [50]	36
4.2	Navrhovaný model EVPL [51].....	38
4.3	Architektura systému s FV a BESS pro nabíjecí mechanismus [96].....	39
5.1	Mapa parkovišť v Brně [56] (upraveno).....	45
6.1	Spotřeba energie pro různé jízdní režimy a okolní podmínky [21]	54
6.2	Srovnání průměrné měsíční spotřeby EV ve třech městech [21].....	54
6.3	Okrajové podmínky pro všední dny PD Domini Park	56
6.4	Schéma navrhovaného PD s oběma typy nabíjecích stanic UD i BD	59
6.5	Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD River Park pro rok 2025.....	63
6.6	Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD Domini Park pro rok 2030	65
6.7	Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD Domini Park pro rok 2030	65
6.8	Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD Pinki Park pro rok 2035	67
6.9	Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD Pinki Park pro rok 2035.....	68
6.10	Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD JD Parking pro rok 2040	70
6.11	Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD JD Parking pro rok 2040.....	70

SEZNAM TABULEK

1.1	Jednotlivé rozsahy přenosu z vozidla do V2X [27] (upraveno)	12
1.2	Nové registrace elektromobilů do roku 2022 v EU [46]	17
1.3	Porovnání technologií baterií pro EV [20][11][103][12]	18
2.1	Porovnání technologií bezdrátového nabíjení [6][111][3][112]	25
2.2	Rozdíly mezi drátovým a bezdrátovým nabíjením	28
5.1	Porovnání PD (vlastní zpracování dle [56][23][54][55])	46
6.1	Deset nejčastěji registrovaných BEV v ČR v roce 2023 [93]	49
6.2	Porovnání vybraných elektrických autobusů [70][34][37][63]	50
6.3	Porovnání vybraných elektrických nákladních aut [66][80][17][18][101]	50
6.4	Uvažované zastoupení vozového parku pro jednotlivé PD	51
6.5	Přehled uvažovaných podílů EV v ČR na nových registracích a kumulované počty vozidel pro uvažované časové úseky [5]	53
6.6	Teoretická maxima jednotlivých PD	58
6.7	Navrhované scénáře s postupným nárůstem UD a BD nabíjecích stanic	60
6.8	Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2025	62
6.9	Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2025	62
6.10	Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2030	64
6.11	Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2030	64
6.12	Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2035	66
6.13	Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2035	67
6.14	Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2040	69
6.15	Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2040	69

ÚVOD

V současné době se svět potýká s rostoucími environmentálními výzvami, jako jsou emise skleníkových plynů a znečišťováním ovzduší. Elektromobilita se stává stále více atraktivní alternativou k tradičním vozidlům se spalovacími motory a nabízí také řešení těchto problémů. Elektrická auta s sebou přináší nové možnosti využití kapacity baterie, která by mohla poskytovat cenné služby skladování elektrické energie do sítí. S tímto trendem souvisí i potenciál konceptu Vehicle-to-Grid (V2G), který umožňuje využít kapacitu baterií elektromobilů nejen pro pohyb vozidel jako takový, ale i jako prostředek pro ukládání a distribuci elektrické energie zpět do elektrické sítě. Technologie V2G je stále ve vývoji, ale má potenciál výrazně změnit způsob, jakým využíváme elektrickou energii. Implementace této rozsáhlé infrastruktury je bezesporu náročným procesem, vyžadující čas a úsilí. V budoucnosti by mohla tato iniciativa přinést spotřebitelům mnoho výhod.

Právě na toto spojení elektromobility a energetické soustavy se zaměřuje tato bakalářská práce. Cílem je zkoumat možnosti využití elektromobilů jako součásti energetické infrastruktury a jejich potenciální přínosy pro udržitelnost a efektivitu energetického systému s ohledem na rostoucí počet elektrických vozidel v České republice. Zvláštní pozornost je věnována parkovacím domům jakožto jedné z možností, kde by se kapacita baterií vozidel mohla skladovat a využívat. Parkovací domy se totiž vyznačují vysokým počtem parkovacích míst na relativně malé ploše. Pokud by zaparkovaná vozidla byla připojena k nabíjecím stanicím během svého stání, mohla by být jejich baterie využívána jako zdroj elektrické energie pro podporu elektrické soustavy kdykoliv je třeba. Tímto způsobem by parkovací domy mohly fungovat jako aktivní zálohy v energetické soustavě, které by pomohly vyrovnávat poptávku a nabídku elektrické energie a tím přispívat k celkové stabilitě a efektivitě energetického systému.

Kromě toho se práce zabývá základními principy a realizací bezdrátového nabíjení, konkrétně indukčním a rezonančním nabíjením. Nevýhodou bezdrátového nabíjení je elektromagnetické rušení, se kterým se musí při návrhu počítat. Výkonově se zatím sice nedosahuje takových hodnot jako u běžného drátového nabíjení, avšak lze ho stupňovat až do výkonu 450 kW. Současně se budují dynamické nabíjecí stanice, což jsou nabíjecí desky instalované pod povrchem silnice, které umožňují vozidlům nabíjet se za jízdy.

V práci jsou také nastíněny rychlonabíjecí stanice zaměřené na nabíjení elektrických kamionů a autobusů. Tento trend zatím není v ČR rozšířený, na rozdíl od zemí jako Švédsko. V Evropě se setkáme se dvěma typy nabíjení a to CCS (Combinated Charging System) a MCS (Megawatt Charging System). První typ je standardem pro nabíjení elektromobilů a nákladních vozidel s výkonem v rozmezí 50 – 600 kW. Druhý typ pak disponuje až 10 krát vyšším výkonem oproti CCS (3,5 – 3,75 MW), což umožňuje nabití během 30 – 45 minut.

1. KONCEPT VEHICLE TO GRID

1.1 Úvod do V2G

Koncept Vehicle-to-grid, často označována zkratkou V2G, umožňuje dodávání elektřiny z baterie elektrického auta (EV) zpět do elektrické sítě, když je automobil zaparkován. V2G volně přeloženo do češtiny znamená „z vozidla do sítě“, kde síť představuje elektrickou síť a jako vozidlo se myslí elektromobil. Koncept V2G byl poprvé představen na přelomu 20. a 21. století, aby využil předpokladu, že elektromobily se ve společnosti stávají stále běžnějšími. S rostoucím počtem elektromobilů by jejich baterie mohly fungovat jako tzv. distribuované úložiště energie (malé zdroje dodávek elektřiny propojené s elektrickou sítí). Elektromobil s technologií V2G by již nebyl pouhým dopravním prostředkem, ale mohl by fungovat jako mobilní elektrárna, která dodává elektřinu do sítě, kdykoliv je třeba. [99][47][14]

V dnešní době se častěji setkáváme s označením G2V případně V1G, nebo-li Grid-to-vehicle. Lze si pod tím představit obvyčejné nabíjení elektromobilu z dobíjecí stanice. Z toho vyplývá, že pokud automobil a dobíjecí stanice disponují technologií V2G, je možno kromě běžného nabíjení vozu ze sítě posílat i elektřinu z baterie zpět do elektrické sítě. Tato obousměrná komunikace mezi EVs a elektrickou sítí otevírá nové možnosti optimalizace využití energie a zvýšení spolehlivosti energetického systému. [36]

1.1.1 V2X

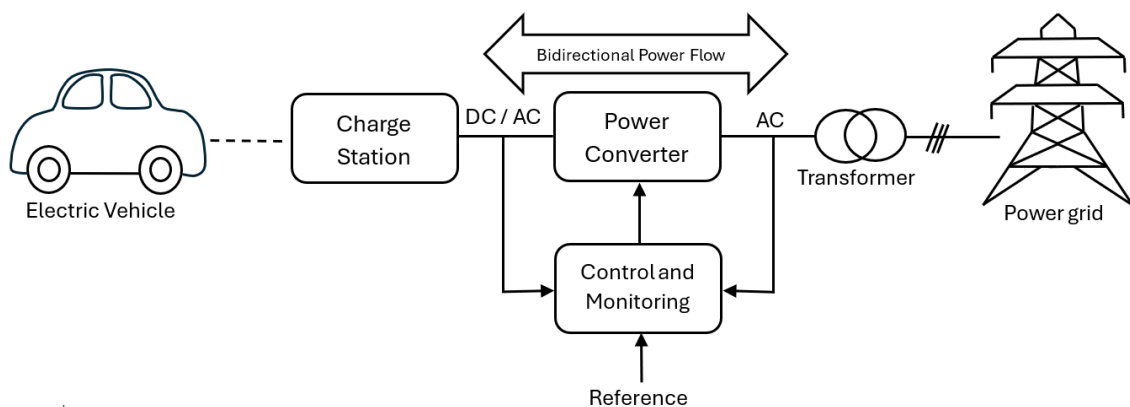
Koncept V2X (Vehicle-to-everything) je souhrnné označení všech konceptů, které mají schopnost obousměrného toku energie. V2X je obecný termín, kde X představuje proměnnou. Lze si pod tím představit, že nabitá baterie může sloužit, jak k nabíjení elektromobilu, tak k dodávkám energie do sítě (V2G), domácnosti (V2H), budov (V2B) nebo spotřebičů (V2L). Baterie elektromobilu v tomto případě slouží k akumulaci lokálně vyrobené energie nebo jako záložní zdroj energie pro případ možného výpadku proudu. Množství energie přenášené z vozidla závisí na počtu připojených sítí např. V2H vyžaduje 1 až 3 vozidla, V2B požaduje 1 až 30 vozidel a V2G potřebuje nejméně 5 až 50 vozidel. Potřebné výkony vozidel pro přenos do jednotlivých soustav jsou znázorněny v tabulce 1.1 [27]. Tyto hodnoty jsou velmi důležité pro zajištění energetické účinnosti, plynulosti, spolehlivosti a bezpečnosti. [27]

Tabulka 1.1 Jednotlivé rozsahy přenosu z vozidla do V2X [27] (upraveno)

Power Flow	kW	Vehicle-to-X
Bi-directional	5–10	Vehicle-to-home (V2H)
Bi-directional	10–15	Vehicle-to-building (V2B)
Bi-directional	15–30	Vehicle-to-grid (V2G)

1.2 Technologie V2G

V2G technologie spočívá v obousměrném přenosu energie, buď z vozidla do sítě, pokud je přebytek energie v baterii, nebo ze sítě do vozidla, když je nedostatečné množství energie v baterii. Nabíjení a vybíjení musí být plánována a koordinována s vozidly a používání baterie musí zohledňovat hlavní účel vozidla jako dopravního prostředku. Vzhledem k obousměrnému přenosu toku energie, je nutné provádět nezbytné operace s obvodů výkonové elektroniky, aby odpovídaly danému typu napájení. Pro převedení napětí ze sítě na odpovídající úroveň slouží snižující měnič AC/DC. Za účelem přenosu stejnosměrné energie zpět do sítě se zde nachází zvyšující měnič DC/AC. Obecné blokové schéma struktury V2G je znázorněno na obrázku 1.1. [27][46]



Obrázek 1.1 Blokové schéma struktury V2G

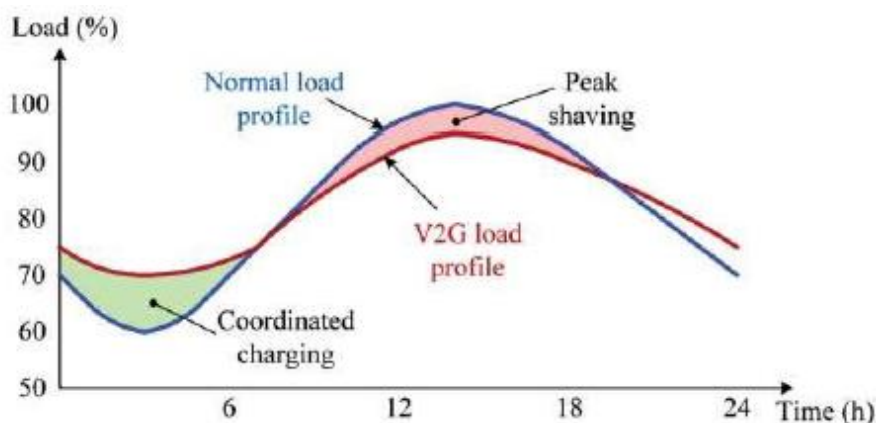
Elektromobil je zapojen k nabíjecí stanici, která je přes měnič a transformátor připojena do elektrizační soustavy. Mezi nabíjecí stanicí a transformátorem se nachází řídicí a monitorovací jednotka, která zajišťuje přesný vstup do měniče porovnáváním referenčního signálu a výstupního signálu měniče.

Integraci plug-in hybridních vozidel (PHEV) do inteligentních sítí se dostalo značné pozornosti ve vědecké komunitě, kvůli jejímu potenciálu při zvyšování účinnosti sítě. PHEV obvykle nabíjejí své baterie elektrinou i palivem, jelikož se zde nachází i spalovací motor. Zatímco elektrická vozidla nabíjejí své baterie pouze ze sítě, existují tedy značné rozdíly v nabíjecím řetězci a strategii. V porovnání s BEV (bateriové elektrické vozidlo) mají PHEV mnohem nižší kapacitu baterie, která u hybridů (HEV) dosahuje 1 – 2 kWh a u plug-in hybridů přibližně 10 kWh. [59] Obě technologie mají značný potenciál v konceptu V2G, protože jsou považovány za alternativní zdroje energie pro elektrickou síť. [27]

S ohledem na fakt, že kapacita výroby elektřiny se musí rovnat spotřebě, velké kolísání poptávky po zatížení výrazně zvýší investiční a provozní náklady elektrizační soustavy. Vozidla s technologií V2G se zpravidla nabíjejí v době, kdy je výroba elektřiny vyšší, nebo v době, kdy je cena elektřiny nízká (tzv. koordinované nabíjení). Prodávají elektřinu (vybíjí se), když je vysoká poptávka po energii nebo když je naopak cena

elektriny v době špičkového zatížení vysoká (tzv. peak shaving), jak znázorňuje obrázek 1.2 [14]. Procesy nabíjení a vybití EV jsou podstatně rychlejší než spouštění a odstavování záložních generátorů. Jsou tedy vhodnější pro vyrovnávání energetických špiček. Tímto způsobem mohou EV fungovat jako energetické jednotky, které dokáží stabilizovat síť snížením regulace frekvence a harmonického zkreslení. Výsledkem je zvýšení kvality, spolehlivosti a účinnosti energetické soustavy. [27][14]

Lithium-iontové (Li-ion) baterie, které jsou v současnosti nejčastěji používaným typem baterií v EV, mají životnost přibližně 5000 cyklů. Každý cyklus zahrnuje jedno nabití a jedno vybití baterie. Kapacita baterie pro udržení energie se snižuje s rostoucím počtem cyklů, což vede ke zkrácení její životnosti. Technologie V2G má schopnost vyrovnat kalendářní (závislé na teplotě a na stavu nabití baterie - SoC) a cyklické (závislé na hloubce vybití a výkonové zatížitelnosti) stárnutí baterií. Oba tyto faktory ovlivňují rychlost degradace baterie. Díky V2G lze optimalizovat stav baterie a zlepšit její kondici o 8,6 – 12,3 % během jednoho roku ve srovnání se samotným konvekčním nabíjením. To odpovídá jednomu roku provozu navíc. [14][97]

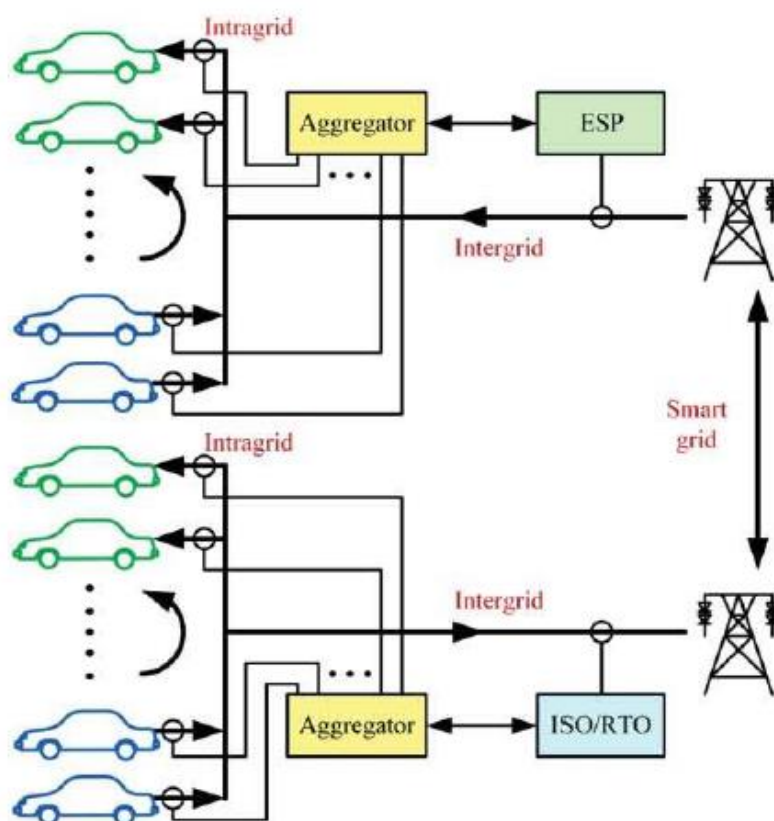


Obrázek 1.2 Koordinované nabíjení a vyrovnání energetických špiček [14]

Vzhledem k tomu, že elektromobily stojí v průměru 95% (více než 23 hodin denně) svého času na parkovištích, lze jejich baterie využít jako zdroj elektrické energie. Každodenním ježděním se přitom běžně spotřebuje jen jedna desetina kapacity baterie elektromobilu. [35] Pokud by se dosáhlo přiměřené míry EV připojených do sítě (20 - 40 % připojených) a každé vozidlo by mohlo ukládat nebo vyrábět elektrickou energii, bude mít koncept V2G významný dopad na elektrickou soustavu. Budeme-li uvažovat 1 milion EV s průměrnou kapacitou 50 kWh, kde každý automobil by mohl poskytnout 10 kWh a zároveň 40 % z nich bude připojených k nabíjecí soustavě. Lze poté očekávat (okamžitou) kapacitu 4 GWh, což pro porovnání je srovnatelná kapacita jako disponují PVE Dlouhé stráně (3,7 GWh). Při plné penetraci 6,6 mil BEV v ČR [19] by mohlo být k dispozici téměř 28 GWh.

Každý automobil má však omezenou kapacitu baterie, od jednotek kWh do 100 kWh (Tesla Model X Long Range), individuální provoz každého vozidla připojeného do sítě by byl neefektivní a nedostačující. K tomu slouží agregátor, který je zodpovědný za

shromáždění určitého počtu EV, která lze připojit do sítě, a za komunikaci s elektrickou sítí pro dosažení inteligentního nabíjení a vybíjení. Agregátor umí pracovat s konceptem V2G např. vozidla BEV se přednostně nabíjejí pro okamžité použití a vozidla PHEV přednostně prodávají (vybíjí se) elektřinu. Tento dvojitý systém je zobrazen na obrázku 1.3 [14], kde poskytovatel energických služeb (ESP) prodává elektřinu přímo domácnostem a podnikům. Nezávislý provozovatel soustavy (ISO) řídí určitou část energetické sítě. Regionální přenosová organizace (RTO) zapojuje ISO do širšího provozu a agregátor propojuje elektromobily se sítí a spravuje ESP a ISO/RTO. [14]



Obrázek 1.3 Rámec dvou sítí pro provoz V2G [14]

1.3 Budoucnost V2G

S konceptem V2G se v současné době setkáme převážně jako s pilotními projekty. Jejich budoucnost je dalekosáhlá a významná v oblasti zejména osobních automobilů, veřejné dopravy i mimo ni. [27] Hromadné využití V2G si vyžádá obrovské změny a další vývoj, jako je silná akceptace, změny v chování ze strany spotřebitelů, neustálý rozvoj, digitalizace elektrických sítí a také zvýšená spolupráce mezi účastníky ekosystému, včetně vlády. Přestože si na tuto rozsáhlou realizaci počkáme několik let, jde o řešení, které může spotřebitelům v budoucnu nabídnout mnoho výhod, zejména v době nedostatku elektřiny, zdražování a neustálého růstu prodeje elektromobilů. [35]

1.3.1 Registrace elektromobilů v EU

Sektor dopravy patří k největším zdrojům skleníkových plynů v EU. Snížení emisí z dopravy je proto klíčem k realizaci cílů v EU v oblasti klimatické neutrality. K dosažení těchto cílů je nutné výrazně zvýšit podíl používání elektromobilů. [46]

V Evropské unii (EU) se v roce 2022 výrazně rozšířilo používání elektrických automobilů a dodávek. V roce 2022 bylo registrováno téměř 2 mil. elektromobilů, oproti 1,74 mil. v roce 2021. To představuje navýšení z původních 17,8 % na 21,6 % registrací nových vozů během jednoho roku. [46] Prodej bateriových elektromobilů v roce 2023 dosáhl 1,5 milionu kusů, což je o 37 % více než v roce 2022. Tržní podíl BEV se tak zvýšil na 14,6 %. Prodej nových automobilů v EU se v prosinci 2023 snížil o 3,3 % na 867 052 vozů. Jednalo se o první pokles za posledních 16 měsíců trvalého růstu. [45]

Zájem o elektrické dodávky se také zvýšil z 3,1 % celkového počtu nových registrací v roce 2020 na 5,5 % v roce 2022. V roce 2021 bylo registrováno přibližně stejné množství BEV a PHEV, většinu registrací elektrických dodávek však tvořily BEV. Detailnější porovnání nových registrací elektrických automobilů viz tabulka 1.2 [46].

V roce 2023 se BEV v Evropě staly třetí nejoblíbenější volbou pro kupující s celoročním podílem 14,6 %, překonaly tak dieselové automobily (13,6 %). Dominantní postavení si udržely benzínové automobily s 35,3 % podílem a HEV s 25,8 % na trhu. Všechny trhy EU kromě Maďarska (-3,4 %) zaznamenaly nárůst nejvíce však Itálie (+18,9 %), Španělsko (+16,7 %), Francie (+16,1 %). [45]

Podíl elektromobilů je nerovnoměrně rozložen mezi členské státy, přičemž nejvyšší podíl mají k roku 2023 státy Švédsko (39,9 %), Dánsko (39,2 %) a Nizozemí (28,9 %). Mimo EU mělo Norsko podíl 86,7 % a Island 45 %. [45][13]

Podle odhadu Evropské agentury pro životní prostředí (EEA), který počítá s 80% podílem elektrických vozidel (150 mil. EV), se celková poptávka po elektřině v členských zemích EU-28 bude pohybovat v roce 2050 mezi 3 až 25 %. Lucembursko bude jednou ze zemí s nejvyšším podílem (25,3 %), což je způsobeno velmi vysokou hustotou zalidnění na malé ploše. Naopak Česká republika dosáhne pouze 4,51 %. Průměr podíl v EU-28 na celkové poptávce po elektřině se bude v roce 2030 pohybovat mezi 4 – 5 % a v roce 2050 dosáhne 9,5 %. Tento nárůst zahrnuje investice do dodatečné kapacity 150 GW pro nabíjení elektrických vozidel. [15]

Podle nedávno navržené legislativy mají být do roku 2030 sníženy emise oxidu uhličitého z osobních automobilů a dodávek až o 50 % a do roku 2035 mají mít všechna nová auta nulové emise v rámci klimatického balíčku „Fit for 55“. Automobilky, které vyrobí méně než 10 000 nových vozidel nebo méně než 22 000 nových dodávek ročně, mohou být do roku 2035 osvobozeny od povinnosti prodávat pouze auta s nulovými emisemi. Mohly by tak i nadále prodávat vozidla se spalovacími motory, avšak musely by splňovat stále přísnější emisní limity. Na automobilky, které vyrábí do 1 000 nových vozidel ročně, by se tato nová pravidla nevztahovala. [87]

Tabulka 1.2 Nové registrace elektromobilů do roku 2022 v EU [46]

Rok	Bateriové EV	Plug-in EV	Celkový počet aut	Podíl EV
2010	591	0	11 128 785	0
2011	7 179	0	10 498 868	0,1
2012	13 730	6 225	9 369 664	0,2
2013	21 454	31 079	9 573 937	0,5
2014	31 197	60 370	10 075 476	0,9
2015	46 857	84 115	11 150 601	1,2
2016	54 065	65 011	12 027 051	1
2017	83 491	88 334	12 574 590	1,4
2018	132 377	106 502	12 753 440	1,9
2019	242 966	137 632	12 991 283	2,9
2020	536 186	525 311	9 924 123	10,7
2021	878 092	862 569	9 694 858	18
2022	1 126 682	873 042	9 252 358	21,6

1.4 Vozidla kompatibilní s V2X/V2G

Mnoho výrobců elektromobilů má v hledáčku koncept V2X/V2G, proto je stále více modelů navrhováno s podporou V2G. Všechny modely automobilů, ale nejsou schopny V2G, protože svou roli hraje především cena a obousměrné nabíjení je spojeno s určitými náklady. Mimo jiné je potřeba nainstalovat nový software a hardware, který umožňuje obousměrný přenos energie mezi vozidlem a elektrickou sítí. Tato technologie je však stále na úplném začátku vývoje, a ještě nebyla plně standardizována. V neposlední řadě efektivnost V2G vyžaduje přijetí velkého množství uživatelů. To vyžaduje souhru mezi výrobcí automobilů, spotřebiteli, dodavateli energie a regulačními orgány. [105]

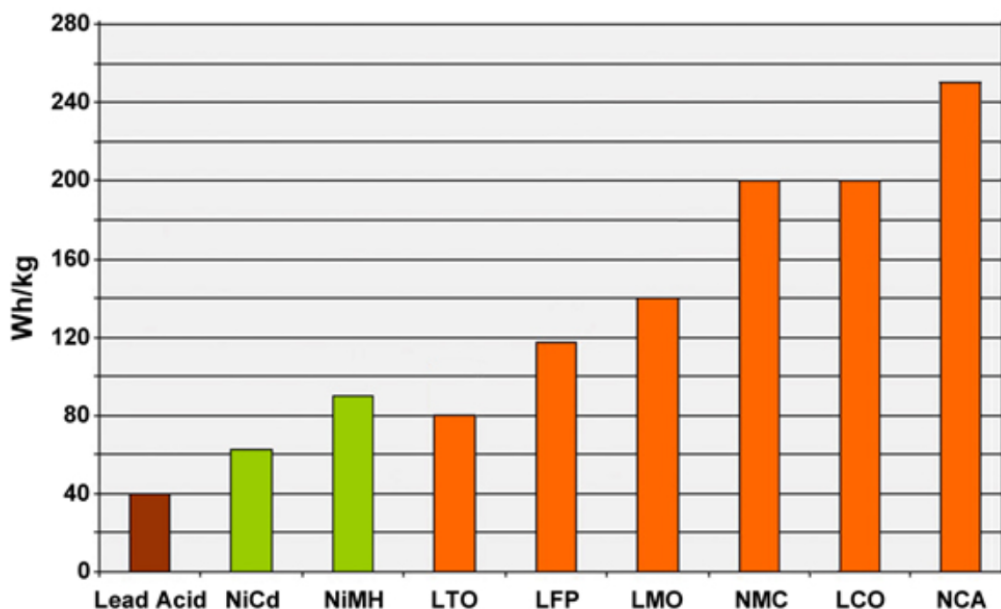
Podle The Mobility House [105] jsou zde vybrány některé kompatibilní značky automobilů s V2X (podrobnější přehled je na obrázku 1.5 [105]):

BMW

Automobilka BMW poskytla v projektu V2G soukromým zákazníkům 20 automobilů. První výsledky naznačují příjmy ve výši 300 EUR ročně. K získání podrobnějších informací o vozovém parku BMW dodalo dalších 30 vozidel pro komerční využití. Mezi účastníky výzkumného projektu „Bidirectional Charging Management (BCM)” jsou např. Univerzita v Pasově (Německo) a Technologický institut v Karlsruhe (KIT). Projekt počítá s obousměrným nabíjením jakožto celkovou myšlenkou, tedy V2G, V2L, V2H a V2B. Z jednoho ze závěrů vyplývá, že vhodnou optimalizací lze dosáhnout velmi vysokého počtu ekvivalentních (celých) cyklů (+200 až +500 cyklů) za rok, což je zásadní poznatek pro budoucí výzkum a vývoj baterií. To by mohlo mít zásadní vliv na účinnost a živostnost zařízení.

Tabulka 1.3 Porovnání technologií baterií pro EV [20][11][103][12]

Baterie	Životnost		Měrná energie (kapacita) (Wh/kg)	Příklady konkrétních elektromobilů
	(cykly) ¹	(roky) ²		
LCO – Lithium kobalt oxid	500 – 1 000	2 – 3 (5 – 6) ³	150 – 200	Nissan Leaf BYD e6
LMO – Lithium mangan oxid	300 – 700	1 – 2 (3 – 5)	100 – 150	Chevrolet Bolt Kia EV6 Hyundai IONIQ 5
NMC – Lithium nikl mangan kobalt oxid	1 000 – 2 000	3 – 6 (7 – 10)	150 – 220	Volkswagen ID.3 Audi E-Tron Porsche Taycan
LFP – Lithium železo fosfát	2500 – 5000	8 – 15 (10 – 15)	90 – 120	Tesla Model 3 Tesla Model Y Fiat 500e BYD Dolphin
NCA – Lithium nikl kobalt hliník oxid	500 – 1500	2 – 5 (5 – 8)	200 – 260 (300)	Tesla model S Tesla model X Audi Q8 E-Tron
LTO – Lithium titan	3 000 – 7 000	10 – 20	50 – 80	BMW i3 Toyota Prius PHEV



Obrázek 1.4 Měrná energie olověných, niklových a lithiových baterií [11]

¹ V závislosti na hloubce vybití a teplotě.

² Hrubý odhad životnosti baterie v případě denního využívání EV.

³ Hrubý odhad životnosti baterie v případě reálného využívání EV.

Baterie pro EV s možností V2G musí splňovat několik základních požadavků, aby byl zajištěn bezpečný a spolehlivý provoz:

- **Vysoká kapacita** – dostatek výkonu pro jízdu i případnou dodávku zpět do sítě
- **Vysoká účinnost** – aby nedocházelo k velkým ztrátám při nabíjení a vybíjení
- **Dobrá cyklická živostnost** – odolávání častému vybíjení a nabíjení

Na trhu jsou dostupné různé typy baterií, z nichž nejčastěji používané jsou uvedené v tabulce 1.3 [20][11][103][12]. Mimo jiné se vyvíjejí i alternativnější baterie jako jsou lithium – vzduch, lithium – síra nebo polovodičová li-ion, které se očekávají kolem roku 2030 [20]. Na obrázku 1.4 [11] je porovnaná měrná energie různých typů baterií. Baterie NCA umožňuje uložení největší specifické energie (kapacity) oproti ostatním. Z hlediska výkonu a tepelné stability vynikají LMO a LFP, zatímco LTO má nízkou kapacitu, ale dlouhou životnost a nejlepší výkon při nízkých teplotách. Do budoucna bezpečnost a životní cyklus budou mít převahu nad kapacitou. Díky těmto prvkům je pravděpodobné, že LMO, LFP a LTO budou v budoucnu stále důležitější pro elektrický pohon. [11]

V minulosti se využívaly také baterie na bázi olova (SLA), nikl methalhydridu (NiMH) nebo nikl kadmium (NiCd). Ty se však nahradili dnešními lithium – iontovými bateriemi. [20][11]

Do roku 2030 se očekává více než dvojnásobný nárůst celosvětové výroby li-ion baterií na 5 500 GWh oproti roku 2021. Hlavním důsledkem bude rostoucí popularita EV, které budou tvořit 80 % celkové produkce baterií. To bude zahrnovat především zvýšení výrobní kapacity, optimalizace logistiky a strategické snižování nákladů na suroviny (lithium, kobalt, nikl a mangan). [2]

Ford

Společnost Ford představila v roce 2021⁴ nový elektrický pickup Ford F 150 Lighting s funkcemi V2L a V2H. Majitelé při koupi musí také počítat s dodatečnými náklady, jako je právě nákup a instalace systému pro V2H.

Američané spolu s kalifornskou energetickou společností Pacific Gas and Electric (PG&E) testují plně elektrický nákladní vůz s funkcí V2G.

Nissan

Značka Nissan je jedním z prvních představitelů obousměrného nabíjení, do projektu V2X je zapojeno přes 500 vozidel. Jejich strategie „Ambition 2030“ se zaměřuje na elektrifikaci vozového parku, nabíjecí infrastrukturu a řízení nabíjení. S rozvíjením technologie V2X mají za cíl snižování emisí CO₂.

V roce 2018 automobilka spolu se společností The Mobility House zahájila v Německu projekt, který demonstroval využití potenciálu Nissanu Leaf v oblasti V2G. Schopnost V2G má i elektrická dodávka e-NV200.

⁴ Dostupný od května 2022 v USA a od dubna 2023 v Evropě

Ve Velké Británii se v pilotním projektu Powerloop, kterého se zúčastnilo 135 majitelů vozidel Nissan Leaf, zkoumalo obousměrné nabíjení v každodenních podmínkách. Projekt sloužil pro demonstraci stabilizačních účinků vozového parku V2G v rámci inteligentní sítě. Testy prokázaly potenciální přínos nabíjení v době energetických špiček. Zákazníci by mohli ušetřit až 840 liber ročně v porovnání s neplánovaným nabíjením. Analýza společnosti Octopus Energy vycházela z 1 milionu elektromobilů, které by mohly generovat 62 mil. liber ročně. Dále testy prokázaly, že za jednu hodinu trvání by 1 milion elektromobilů připojených do sítě vyprodukoval stejné množství energie (50 GW) jako 5 500 větrných turbín. [48]

Tesla

Společnost Tesla v Baden-Württemberg (Německo) pracuje na projektu „Project PV Shift“. Zkoumány jsou nabíjecí cykly Tesla Powerwalls, aby se ukázalo, do jaké míry je lze využívat při stabilizaci sítě.

Během akce Tesla Investor Day 1. 2023 Tesla oznámila, že do roku 2025 budou mít všechny jejich vozidla dostupné obousměrné nabíjení. [78]

Volkswagen

V roce 2022 plánoval Volkswagen zavést obousměrné nabíjení u svých BEV, ale softwarové zpoždění způsobilo odklad. Tato funkce umožní přeměnit elektromobil na pojízdnou banku pro ukládání energie a zpočátku se zaměří také na technologii V2H. Všechny modely VW ID se 77 kWh baterií jsou podle VW Group "BiDi ready"⁵, což platí jak pro nově vyrobené vozy, tak pro ty, které již byly dodány. [105] Systém by mohl poskytovat elektřinu přibližně dva celé dny při průměrné spotřebě energie 30 kWh. [100]

Volkswagen zahájil pilotní projekt se společností HagerEnergy GmbH ve Švédsku, který umožňuje majitelům elektromobilů využívat svůj solární systém k pokrytí spotřeby energie díky domácí elektrárně a integrovanému systému řízení spotřeby energie v domácnosti (HEMS).

Dceřiné společnosti koncernu, Škoda a Seat, vyrábějí bateriově-elektrické modely, které jsou založeny na modulární platformě MEB⁶. Volkswagen vynakládá velké prostředky na vývoj této platformy, aby byla vhodná pro budoucnost a zároveň zahrnovala i V2G. Tato funkce bude implementována také v budoucích koncernových architekturách, na kterých se podílí i Porsche – Premium Platform Electric (PPE) a Scalable Systems Platform (SSP). [105][100]

Společnost CleanTechnica předpokládá, že do roku 2030 by mělo být standardním vybavením všech automobilů schopnost V2L nebo V2H, z důvodu větší popularity mezi kupujícími nových vozidel. [78]

⁵ Označuje vybrané modely elektromobilů Volkswagen, které jsou schopny obousměrného nabíjení. Počáteční zaměření bude na technologii Vehicle-to-Home (V2H).

⁶ Modulární platforma pro elektromobily

THE MOBILITY HOUSE >>>

Which EV models are already compatible to V2X technology?*



500e (Cabrio)



Sierra EV Denali Edition 1



ZS EV, Marvel R



Korando e-Motion



Atto 3, Tang, Han



e Advance



i-MiEV, Outlander



5



Beo



Ioniq 5, Ioniq 6



EL7, ET7



ID. Buzz Pure/Pro



500e (3+1)



Niro, EV6



e-NV200, Leaf



EX90 Twin Motor



Ocean (Sport, Ultra, Extreme)



RZ 450e AWD



Funky Cat



F-150 Lightning



Air Dream Edition R/P



3



GV60 Sport (Plus),
Electrified GV70 Sport,
Electrified G80



EQE



Megane E-Tech

contact@mobilityhouse.com

*According to manufacturer information
Copyright: The Mobility House GmbH
Updated: April 2023

Obrázek 1.5 Kompatibilní automobilové značky s V2X [105]

2. BEZDRÁTOVÉ NABÍJENÍ EV

Ve světě, kde nabíjení elektromobilů hraje klíčovou roli při podpoře energetického obratu, mohou spolu s elektrickými nabíjecími stanicemi přijít i jiná řešení. Jedním z nich může být právě bezdrátové nabíjení, které je vylepšenou obdobou nabíjení chytrých telefonů. Kabelové nabíjení elektromobilů sice není tak pohodlné jako bezdrátové, ale je zatím stále nejpraktičtější řešením. Bezdrátové nabíječky jsou sice pohodlnější, ale jejich cena a dostupnost jsou stále omezené. [109][110]

Vývoj bezdrátových nabíjecích systémů pro EV zaznamenal v posledních letech výrazný pokrok. To je způsobeno především snahou měst o omezení emisí z dopravy a rostoucí poptávkou po elektrických vozidlech. Bezdrátová nabíjecí místa lze instalovat v blízkosti práce, obchodů a dalších veřejných míst, obdobně jako dnešní drátové nabíječky. Mimo jiné se také vyvíjí bezdrátové nabíjení za jízdy. Společnost ElectReon Wireless v Tel Avivu instalovala na 700 metrovém úseku pod asfaltem nabíjecí desky, které slouží pro nabíjení autobusu za jízdy. Projekt ukázal výhody kombinovaného bezdrátového nabíjení, zkrátil se také čas při nabíjení na koncovém místě e-busu a snížení požadované baterie autobusu o 90 % z původních 400 kWh na 42 kWh. Ve Švédsku také nainstalovala 1,65 km úsek mezi letištěm a centrem města Visby na ostrově Gotland. [109][108][107][33]

Příchod bezdrátového nabíjení EV s sebou přináší možnost zbavení se nabíjecího kabelu. S postupem času docházelo k opotřebení kabelu, což způsobovalo problémy s připojením a další komplikací byla existence mnoha různých druhů konektorů, více kapitola 3.1 Typy konektorů pro nabíjení EV. Bezdrátové nabíjení elektromobilů eliminuje jakékoliv problémy s kompatibilitou. [107]

Bezdrátové nabíjení elektromobilů je stále vývojovou oblastí, ale existují různé metody. K dispozici jsou podle [113] ve třech typech:

- **dynamické nabíjení** - bezdrátové elektrické silnice pro vozidla v pohybu na pravidelných trasách jako jsou kamiony a autobusy,
- **polodynamické nabíjení** - pro pomalu jedoucí vozidla jako jsou např. čekající taxíky na cestující nebo semaforey,
- **statické nabíjení** – pro stojící vozidla např. autobusová nádraží a parkoviště.

Vysoce výkonné dynamické bezdrátové nabíjení na silnicích by mohlo přispět ke zvýšení potenciálu udržitelného nabíjení elektromobilů. Neomezený dojezd s trvalým dobíjením na silnici by umožnil použití menších a levnějších baterií. [106]

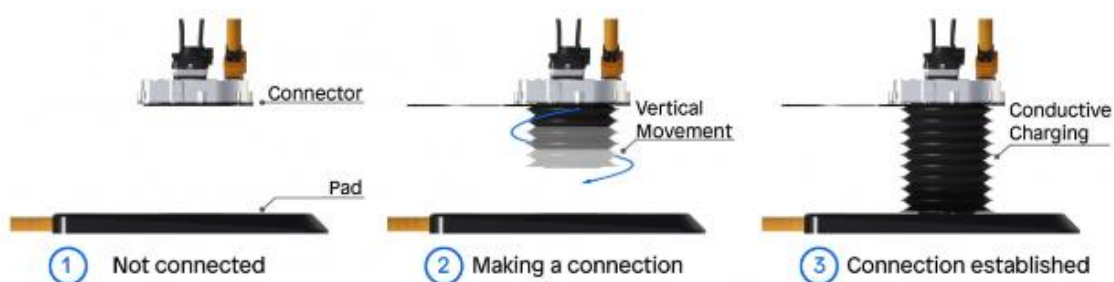
Bezdrátové nabíjení může poskytnout nabíjecí výkon až 20 kW, což v dnešní době představuje rychlost nabíjení úrovně 2⁷. Vyšší rychlost nemá technologické omezení, ale rychlosti na úrovni rychlonabíječek (Supercharger) se v brzké době neočekávají. Navíc je třeba zohlednit i zdravotní omezení spojená s vyššími výkony bezdrátového nabíjení (viz kapitola 2.2.1 Elektromagnetické rušení). [22]

2.1 Základní princip bezdrátového přenosu

Bezdrátově nabíjet elektrické přístroje lze obecně pomocí tří základních způsobů: indukčním nabíjením, rezonančním nabíjením a nabíjením rádiovými vlnami. Pro nabíjení automobilu se nejčastěji setkáme s indukčním nabíjením a zřídka s rezonančním nabíjením. S nabíjením pomocí rádiových vln se v dnešní době nesetkáme. [29]

2.1.1 Indukční nabíjení

Indukční přenos energie je založen na principu bezdrátového přenosu přes vzduchovou mezeru pomocí indukční vazby mezi vysílačem a přijímačem (viz obrázek 2.2 [110]). Indukční nabíjecí systém je napájen z veřejné sítě. Primární (vysílací) cívka, kterou prochází elektrický proud, je zabudována do podložky např. v garáži, na parkovacím místě nebo na křižovatce. Sekundární (přijímací) cívka se nachází pod elektromobilem. Vzduchová mezeru nebo-li vzdálenost mezi cívkami má být při nabíjení co nejmenší. Jako příklad můžeme uvést rakouskou firmu Easylink, která vyvíjí automatizovaný vodivý nabíjecí systém „Matrix Charging“ (viz obrázek 2.1 [110]). Systém obsahuje nabíjecí desku na zemi a speciálně upravený nabíjecí konektor na spodní části automobilu. Nabíjecí konektor, přes který probíhá nabíjení, se poté spustí na nabíjecí desku. [10]



Obrázek 2.1 Příklad bezdrátového nabíjení od firmy Easylink [110]

Sledovanými parametry metody jsou šířka vzduchové mezery mezi přijímačem a vysílačem a rovněž kvalita (jakost) použitých cívek, jenž zahrnuje i vliv skinefektu. Nejdůležitějším parametrem je však samotná účinnost, kterou ovlivňují účinnosti všech

⁷ Rychlost nabíjení se pohybuje od 3,3 kW do 19,2 kW za hodinu v závislosti na kapacitě výkonu nabíječky. Doba nabití trvá EV se pak pohybuje v rozmezí 3 až 6 hodin.

měníčů použitých pro přenos energie, ztráty ve vzduchové mezeře a ztráty ve vodivých cestách. [38]



Obrázek 2.2 Indukční nabíjení elektromobilu [110]

2.1.1 Rezonanční nabíjení

Rezonanční nabíjení je další metodou bezdrátového přenosu energie, která je založena na principu rezonance mezi primární a sekundární cívkou. Rezonance nastává, když si dva objekty vyměňují energii pomocí oscilujícího magnetického pole, zobrazeno na obrázku 2.3 [77]. Systém absorbuje energii síly, přičemž se výrazně zvýší amplituda jeho kmitání. Rezonanční vazba nastává, pokud vlastní frekvence dvou systémů (přijímače a vysílače) je přibližně stejná. [77]



Obrázek 2.3 Selektivní výměna mezi spřaženými rezonátory [77]

Rezonanční nabíjení je patentováno pod označením WiTricity. Označení WiTricity se skládá ze dvou slov wireless (bezdrátová) a elektricity (elektrina). Technologie disponuje nízko ztrátovými rezonátory umožňující vysokou účinnost. Stejně jako

indukční nabíjení obsahuje nástěnný box, nabíjecí podložku a přijímač ve vozidle. Nástěnný (wall) box obsahuje výkonnou elektroniku, která konvertuje síťové napájení na vysokofrekvenční energii (6,78 MHz [16]), dodávanou do nabíjecí podložky. Nabíjecí podložka obsahuje primární cívku, stínění a rezonanční přizpůsobovací síť, která převádí vysokofrekvenční energii z wallboxu na magnetické pole. Lze tak efektivně přenášet energii do přijímače ve vozidle. Přijímač ve vozidle zachycuje energii z magnetického pole a převádí ji na stejnosměrný proud. [109][110][77]

Daná technologie poskytuje bezdrátové nabíjecí systémy o výkonu od 1 kW až 30 kW, stupňovat lze až do 450 kW. Nejčastěji se setkáme s nabíječkou o výkonu 11 kW, která poskytuje srovnatelnou účinnost (83-94 %) jako nabíječka úrovně 2. Systém je také kompatibilní s technologií V2X. [77]

Společnost WiTricity má partnerské smlouvy se společnostmi General Motors, Nissan Motor a Hyundai Motor Company. Genesis nabízí bezdrátové nabíjení ve svém modelu eG80. Testovaný autonomní autobus YuTong E-Buses také disponuje touto technologií. [109][77]

Tabulka 2.1 Porovnání technologií bezdrátového nabíjení [6][111][3][112]

Nabíjení	Výkon (kW)	Účinnost (%)	EMI ⁸
Indukční	1 – 22	60 – 85	Střední až vysoké
Rezonanční	1 – 35	65 – 90	Vysoké
	120 (ORNL) 11 (WiTricity)	97 90 – 93	
Rádiové	15 – 100	70 – 95	Nízké

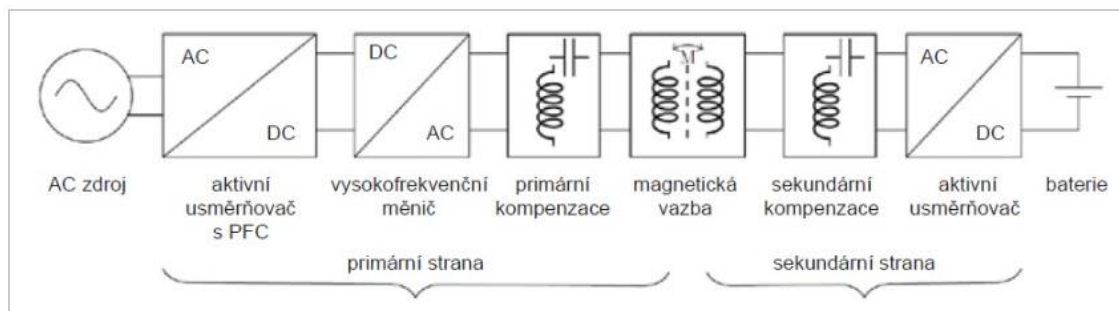
Hraniční hodnoty výkonů, účinností a EMI u bezdrátových nabíječek pro elektromobily jsou stále ve vývoji uvedených v tabulce 2.1 [6][111][3][112]. Konkrétní hodnoty se mohou lišit v závislosti na faktorech, jako je vzdálenost mezi indukčními cívkami, materiálu cívek či použité technologii.

2.2 Realizace bezdrátového nabíjecího přenosu

Bezdrátový nabíjecí systém obsahuje několik klíčových komponentů uvedených na obrázku 2.4 [9]. Napájen je skrz aktivní usměrňovač (PFC) ze střídavého zdroje (50 nebo 60 Hz). Ke stejnosměrnému výstupu usměrňovače je připojen vysokofrekvenční (80-90 kHz) měnič pro buzení magnetického obvodu. Vysokofrekvenční signál generuje proud přes primární cívku, tím se indukuje napětí na sekundární cívce. Magnetický obvod tvoří kompenzační síť jejíž částí je magnetická vazba, která představuje vysílací a přijímací cívku. Výkonový signál je dále usměrněn aktivním nebo pasivním usměrňovačem, na jehož výstupní straně se nachází baterie. Primární strana představuje

⁸ Elektromagnetická interference nebo-li elektromagnetické rušení

nabíjecí stanici a sekundární strana reprezentuje vozidlo. Systém umožňuje obousměrný přenos energie. [91][9]



Obrázek 2.4 Blokové schéma bezdrátového nabíjecího systému [9]

Mimo základní komponenty musí systém obsahovat i další funkční části, které nemají přímý vliv na přenos energie. Jedná se například o snímač vzájemné polohy cívek, bezdrátovou komunikaci mezi nabíjecí stanicí a přijímacím zařízením ve vozidle. Pomocí ní lze regulovat nabíjecí proud a napětí na baterii. Přenos signálů musí splňovat, jak funkční (požadované nebo hraniční úrovně provozních veličin), tak i bezpečnostní (nouzové odpojení). Způsob komunikace musí být stabilní, rychlý a odolný proti elektromagnetickému rušení, které je v blízkosti vysokofrekvenčních výkonových cívek nevyhnutelné. [91]

2.2.1 Elektromagnetické rušení

Elektromagnetické přenosy výkonu se vyznačují elektromagnetickým rušením. Stejně jako jakýkoli jiný napájecí zdroj, musí i indukční nabíječka podstoupit EMC⁹ testy v souladu s platnými předpisy. Pro systémy induktivního přenosu energie představuje výzvu udržet rušení v povolených mezích. Omezení rušení musí platit i v případě, pokud je generováno pouze pracovním polem vysílací cívky a všechny ostatní parazitní zdroje (např. přívodní kabely) jsou kompenzovány. [91]

Norma IEC 61980 říká, že systém bezdrátového přenosu energie (WPT systém) nesmí vystavovat člověka nebezpečným elektromagnetickým polím nad stanovené meze. Podle pokynů ICNIRP z roku 2020 je prahová hodnota specifické absorpce výkonu (SAR) stanovena na 4 W/kg. Hodnota je průměrována za dobu 30 minut přes hmotnost 1 kg tkáně. [81] Systém také nesmí způsobit poruchu kardiostimulátorů (CIED) při používání WPT uvnitř i po obvodu vozidla. [44]

2.2.2 Požadované parametry bezdrátového nabíjecího přenosu

Parametry bezdrátových nabíjecích systémů stanovuje norma IEC 61980, při standardní napájecích napětí dle normy IEC 60038 do 1000 V AC a do 1500 V DC. Norma vymezuje

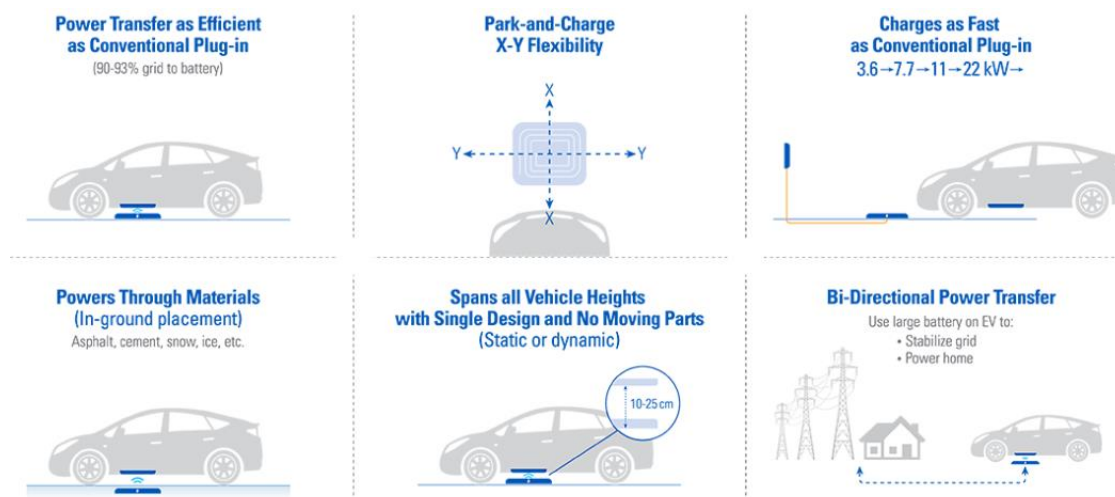
⁹ EMC (elektromagnetická kompatibilita) zkoumá, jak dobře se zařízení nebo systémy dokáží chovat v elektromagnetickém prostředí, aniž by způsobovaly rušení ostatním zařízením v daném prostředí.

nejvyšší dovolenou hodnotu napájecího zařízení, která nesmí překročit 63 A na fázi. Odběr může být jak jednofázový, tak třífázový. Pro vstupní napětí jednofázového rozvodu je hraniční napětí 250 V a u trojfázového obvodu se jedná o napětí 480 V. Frekvence odpovídá místním specifikacím (50 nebo 60 Hz). Pro tuto výkonovou úroveň se frekvence elektromagnetického pole pohybuje v rozmezí 80 – 90 kHz. [44]

Zohlednit se musí také předpisy týkající se proudového chrániče, jeho parametry či bezpečnou třídu zařízení a nadmořskou výšku¹⁰, ve které se nabíječky používají. Pro vnitřní použití je vhodné IP41 a pro venkovní IP44. [91][44]

V dnešní době se stále pracuje na druhé části normy IEC 61980, která by měla sjednotit vývoj a standardizaci bezdrátového nabíjení. Prozatím výrobci preferují svá řešení, ty se ale mohou výrazně lišit od konkurence. Rozmanitost vozového parku předurčuje různé parametry nabíjecích systémů. Přizpůsobit se musí výšce vozidla, napětí baterie, geometrie pracovních cívek a proudové kapacity. [91]

Vývoj bezdrátové nabíjecí stanice se potýká s výzvou vytvořit zařízení, které bude mít co největší toleranci ke světlé výšce¹¹ vozidla. Relativní poloha přijímací cívky ve vozidle je vzhledem k vysílací cívkce nabíjecí stanice závislá na její geometrii a konfiguraci vinutí. Vysoká tolerance vzájemné polohy cívek je nezbytná, protože ne vždy je možné umístit vozidlo do optimální polohy pro přenos energie. Polohovou toleranci je možno popsat jako nejnižší účinnost, která je požadována v rozsahu 15 až 20 cm mezi cívkami a s chybou v pozici ± 10 cm. Detailnější zobrazení technologie magnetické rezonance od společnosti WiTricity je ukázáno na obrázku 2.5. [91][109]



Obrázek 2.5 Technologie magnetické rezonance od společnosti WiTricity [109]

¹⁰ V nadmořských výškách vyšších než 2 000 m je nutné vzít v potaz snížení dielektrické pevnosti a chladicího účinku vzduchu.

¹¹ Světlná výška vozidla je vzdálenost mezi základnou pneumatiky automobilu a nejnižším bodem automobilu.

V následující tabulce 2.2 jsou uvedené rozdíly mezi drátovým a bezdrátovým nabíjením.

Tabulka 2.2 Rozdíly mezi drátovým a bezdrátovým nabíjením

Způsob nabíjení	Drátové nabíjení	Bezdrátové nabíjení
Připojení kabelu	Vyžadováno	Nevyžadováno
Pohodlí uživatele	Nutnost připojení kabelu	Uživateli stačí zastavit nad dobíjecí podložkou
Přenos energie	Drát spojuje nabíjecí stanici s EV (různé konektory)	Elektromagnetickým polem pomocí indukční / rezonanční vazby mezi přijímací a vysílací cívkou
Účinnost	> 90 %	60 – 90 % Nižší než drátové
Náklady	Méně nákladné	Více nákladné
Rychlonabíječky	Ano	Zatím ne (EMI rušení)
Výkony nabíječek pro automobily	3,3 – 22 kW (AC) 25 – 250 (350) kW (DC) (350 a 600 kW) Tesla	< 35 kW (až do 450 kW)
Speciální úprava	Ne	Ano (nutnost instalace sekundární cívky v podvozku auta)
Umístění	Pouze parkoviště	Téměř kdekoliv (křižovatky, zastávky)
Bezpečnost	Méně bezpečný	Bezpečnější (Absence odkrytých kabelů snižuje riziko zakopnutí a úrazů elektrickým proudem)
Opotřebení	Častější opotřebení nabíjecí infrastruktury a nabíjecích konektorů	Bez fyzického připojení dochází k menšímu opotřebení

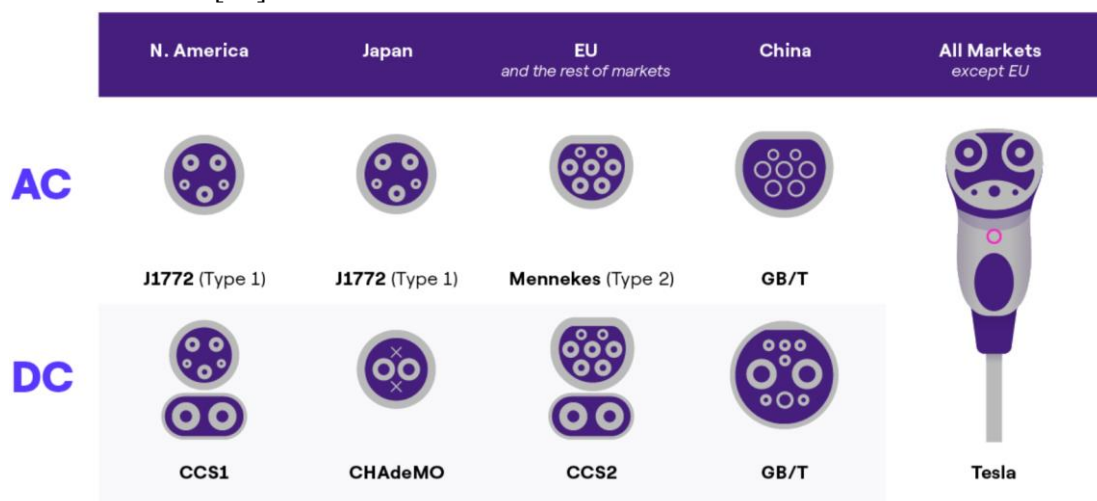
3. RYCHLONABÍJEČKY

Jak už bylo avizováno v předešlé kapitole 2. Bezdrátové nabíjení EV, rychlonabíječky s bezdrátovým přenosem se zatím nesečkáme, kvůli elektromagnetickému rušení. Proto tato kapitola bude pojednávat o rozšířenějšíma a běžnějším typu nabíjení, tedy o drátovém nabíjení.

3.1 Typy konektorů pro nabíjení EV

Existuje mnoho typů nabíjecích stanic, od pomalejšího 1f nebo 3f AC nabíjení až po rychlé DC nabíjení. Pomalé AC nabíjecí stanice mají kapacitu v řádu kW, zatímco rychlé DC nabíjecí stanice mají kapacitu ve stovkách kW s podstatně kratší dobou nabíjení. Oba typy nabíjení potřebují vhodný konektor, aby byl možný bezpečný přenos energie z nabíjecí stanice do elektromobilu. Pro zjednodušení lze rozdělit jednotlivé typy konektorů podle oblastí, ve kterých se nejčastěji vyskytují. Jednotlivé konektory jsou znázorněny na obrázku 3.1 [83]. Nabíjecí rychlost je ovlivněna třemi faktory – nabíjecí stanicí, nabíjecím kabelem a palubní nabíječkou. Výkon celého nabíjení závisí vždy na nejslabším článku sestavy.

AC nabíjecí stanice obvykle nedisponuje pevně přidělaným nabíjecím kabelem, proto si řidiči musí s sebou vozit kabel kompatibilní se svým vozidlem. Problém s typem konektoru tak odpadá. Naproti tomu DC rychlonabíjecí stanice vždy obsahují pevně připojený kabel z důvodu bezpečnosti, protékajícímu proudem, nákladům a váze¹². Proto musí řidiči vybírat nabíjecí stanici, která má vhodný typ konektoru odpovídající danému vozidlu. [89]



Obrázek 3.1 Přehled jednotlivých typů konektorů [83]

¹² Kably pro DC rychlonabíjení jsou obvykle těžší než kably pro AC nabíjení, protože jsou schopny přenášet vyšší proudy.

3.1.1 Typ 2 (Mennekes)

Konektor typu 2 přezdívaný též jako Mennekes, je pojmenován po německé firmě, která jej vyvinula. Tento konektor je standardem v Evropě pro nabíjení AC proudem. Umožňuje režimy nabíjení 2 i 3 a v závislosti na vozidle a nabíjecí stanici může dosáhnout výkonu až 22 kW (400 V, 32 A). Konektory typu 2 jsou primárně určeny pro nabíjení vozidel PHEV. [41]

3.1.2 CCS – Typ 1 a 2

Konektor CCS (Combinated Charging System) je kombinovaný nabíjecí systém. Typ 1 dokáže nabíjet výkonem 80 kW nebo 500 V DC při 200 A. Konektory CCS – typu 2 umožňují nabíjení HPC (High Power Charging) až do výkonu 200 kW. Setkat se můžeme i s konektorem CCS Combo (pro AC i DC proud), který umožňuje dosahovat výkonu až 350 kW. Konektory CCS2 jsou dominujícím standardem v EU, naopak konektory CCS1 jsou běžnější v Severní Americe. Tesla rovněž nabízí v Evropě svá auta kompatibilní s konektorem CCS2. [41][71]

3.1.3 Supercharger Tesla

V dnešní době se můžeme primárně setkat s nabíječkou V3 Supercharger, jejíž maximální dodávaný výkon je až 250 kW. Maximální rychlost nabíjení se však liší pro jednotlivé typy aut v závislosti na kapacitě, stáří baterie, stavu nabití, okolní teplotě a konfiguraci vozidla. V březnu 2023 se otevřela první nabíjecí stanice V4 Supercharger v Nizozemí a v druhé polovině roku došlo k rozšíření lokací. V4 jsou vybaveny delším kabelem. Nabíjecí stanice podporují maximální výkon 250 kW, ale třeba v Anglii je maximální výkon 350 kW. Electrek [79] v jednom ze svých článků uvádí, že V4 Supercharger by měl být dvakrát výkonnější než V3. Jednalo by se o jmenovité napětí 1000 V a jmenovitý proud 615 A, tedy celkový maximální výkon 600 kW. Současná vozidla značky Tesla nejsou schopna využít ani polovinu daného výkonu. V ČR se zatím setkáme se 7 nabíjecími stanicemi disponujícími dvěma typy nabíjecích výkonů 150 kW a 250 kW. V roce 2024 mají přibýt další dvě nové nabíjecí stanice v Ostravě a Praze. [60]

3.2 Režimy nabíjení elektromobilu

Jednotlivé typy režimů nabíjení se řídí českou technickou normou ČSN IEC 61851-1 ed. 3, který definuje čtyři režimy nabíjení EV. [68][89][82][43]

Režim 1

Elektromobil je připojen k elektrické síti pomocí normalizované zásuvky AC (16 A) umístěné v domácnosti s použitím kabelu a vidlice. Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit 16 A a 250 V AC v 1f soustavě a 16 A a 480 V AC v 3f soustavě. Toto řešení je nejjednodušší a nejsnáze proveditelné. Nevýhodou je omezený výkon a tím i dlouhá doba nabíjení.

Režim 1 je zakázán v USA, Izraeli a ve Spojeném království.

Režim 2

Režim nabíjení 2 je způsob připojení EV k normalizované domovní (nevyhrazené) zásuvce (32 A). Kabel obsahuje komunikační rozhraní pro monitorování nabíjení. Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit 32 A a 250 V AC v 1f soustavě a 32 A a 480 V AC v 3f soustavě. Toto řešení je nákladné vzhledem ke speciální konstrukci kabelu.

Režimy 1 a 2 mohou poskytovat výkon až 15 kW.

Režim 3

Režim nabíjení 3 je jednou z nejběžnějších režimů nabíjení pro nabíjení AC proudem. Elektromobil je připojen k AC napájecí síti pomocí dobíjecí stanice (wallboxu). Obsahuje vyhrazenou zásuvku vybavenou monitorováním nabíjení. Pokročilé ovládání nabíjení díky komunikaci mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem.

Režim 3 může poskytovat výkon až 120 kW.

Režim 4

V režimu nabíjení 4 probíhá přeměna z AC proudu na DC proud v samotné nabíjecí stanici, takže je DC proud je dodáván přímo do vozidla. Nabíjecí kabel je vždy připojen k nabíjecí stanici.

Režim 4 může poskytovat výkon v rozmezí od 50 kW do 350 kW.

Severoamerický standard SAE J1772 definuje tři úrovně napájecího napětí:

- **Úroveň 1** – napětí 120 V AC a výkon 1,9 kW (pro obytné prostory),
- **Úroveň 2** (rychlónabíjení AC proudem) – napětí 208/240 V a výkon 19 kW,
- **Úroveň 3** (rychlónabíjení DC proudem) – napětí 600 V a proud 400 A s celkovým výkonem 240 kW (pokročilé – 11 kV, 500 A a výkon 500 kW).

3.3 Rychlónabíječky pro elektrické nákladní vozidla

Vzhledem k tomu, že zboží je přepravováno především pomocí kamionů, lodí a letadel, je nutné uvažovat o snižování emisí, a tedy o přijetí elektromobility, jako je to u osobních vozidel. Nákladní vozidla totiž představují více než 25 % celkových emisí CO₂ ze silniční dopravy. [74] Kvůli velikosti a hmotnosti těchto dopravních prostředků, jsou pro ně uživatelsky přínosnější rychlé rychlónabíječky. Mohlo by to vést ke zvýšení oblíbenosti elektromobility v této oblasti. V úvahu musíme vzít fakt, že by byla potřeba baterie s vyšší kapacitou. Aby bylo možné nabíjet baterie stejně rychle jako automobily, je třeba zvýšit výkon nabíjecí stanice. To zahrnuje zvýšení nabíjecího napětí i proudu. Vyšší proud ovšem vede k větším průměrům vodičů nebo k dodatečným opatřením v kabelové soustavě. Stále je však umožněno ruční nabíjení zákazníkem. [39]

Kamiony se používají pro různé typy tras jako jsou místní, regionální a dálkové. Hlavním klíčem tedy bude vybudovat infrastrukturu nabíjecích stanic, které umožní

přepravu nákladní dopravy. Setkat bychom se mohli podle Kempower [74] se třemi typy nabíjení, jak lze vidět na obrázku 3.2 [74].

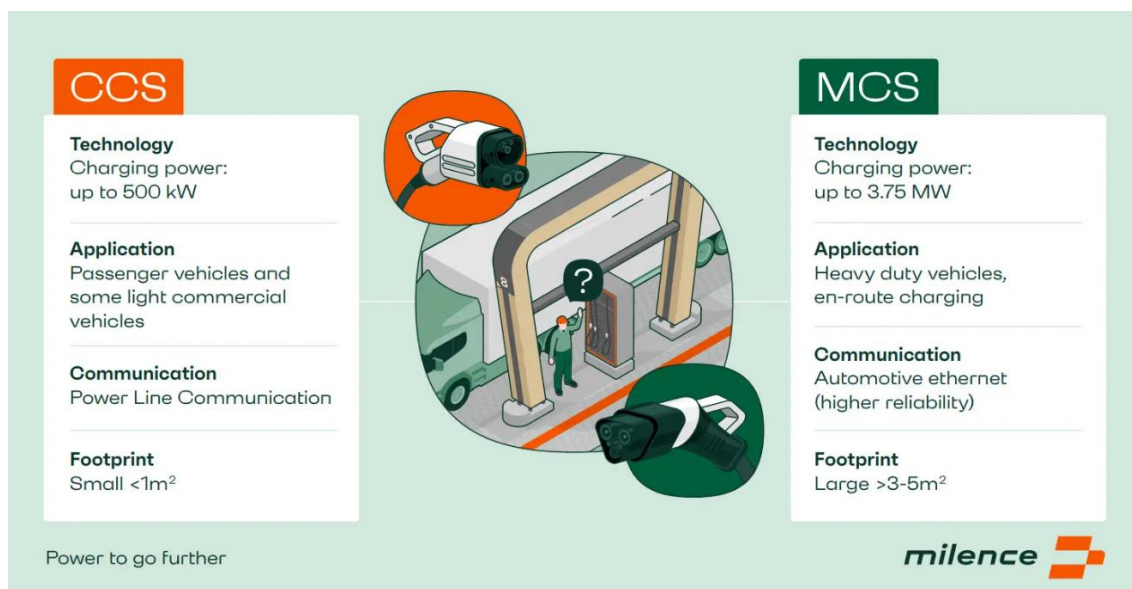
- **Nabíjení přes noc** – jedná se o nejběžnější scénáře nabíjení, kde by se kamiony nabíjely přes noc pomocí DC výkonů 50 – 100 kW. Nabití by trvalo okolo 6 – 8 hodin.
- **Cílové nabíjení** – určené pro kamiony s menší dojezdovou vzdáleností než je jejich ujetá vzdálenost za den. Nabíjeli by se při nakládce a vykládce. Nabíjecí výkon se pohybuje 150 – 400 kW a nabití by trvalo 0,5 – 2 hodiny.
- **Nabíjení za jízdy** – určené pro dálkové trasy, kde by nabíjecí stanice byly v blízkosti dálnic. Nabíjení by probíhalo v povinných přestávkách řidičů tedy v délce 30 – 45 minut. K tomu by sloužila rychlonabíječky o výkonech až 1,2 MW.



Obrázek 3.2 Možnosti nabíjení elektrických kamionů [74]

3.3.1 CCS nabíjení

CCS nebo-li Combined Charging System je nejběžnějším standardem pro nabíjení elektromobilů a nákladních vozidel v Evropě. Výkony CCS nabíječek se pohybují v rozmezí 50 – 600 kW (50V – 1000 V DC [30]), což je pro osobní automobily dostačující. S příchodem nákladních automobilů se začaly objevovat nedostatky CCS nabíjení, jako byla doba nabíjení. Tyto vozidla potřebují mnohem více energie než osobní automobily, doba nabití tak představovala i několik hodin. To je neúnosné pro dálkové trasy kamionů, proto se v poslední době vyvíjí alternativa tzv. MCS nabíjení. Základní rozdíly jsou ukázány na obrázku 3.3 [40].



Obrázek 3.3 Rozdíly mezi CCS a MCS [40]

3.3.2 MCS nabíjení

CharIN v roce 2018 zahájila vývoj MCS (Megawatt Charging System), který vychází z kombinovaného nabíjení CCS. MCS představuje nový standard pro vysoce výkonná elektrická vozidla jako jsou kamiony, autobusy, lodě i lehká elektrická letadla. Jednalo by se o kapacitu nabíjení vyšší než je 1 MW. [104]

MCS posouvá hranice možností nabíjení a zlepšuje komunikaci. Systém je navržen pro 6 krát vyšší proud (3 000 A) a až 10 krát vyšší výkon (3,5 – 3,75 MW) při jmenovitém napětí 1 250 V DC oproti CCS. Dojde tedy i ke zvýšení elektromagnetického rušení. Avšak díky vyššímu výstupnímu výkonu je ideálním pro aplikace, kde je klíčové rychlé nabíjení. Oproti CCS je navržena tak, aby přenesla maximální výkon s co nejmenšími ztrátami. Systém je proto vybaven chladičnými systémy, které jsou schopny rychle přenášet energii a k tomu také zajišťují bezpečnost vozidla. Zároveň by MCS mělo umožnit obousměrný tok energie (V2G). Největší výhodou je doba nabíjení, která se pohybuje v rámci 30 – 45 minut v závislosti na typu vozidla. [40][30][104]

4. KONCEPTY PARKOVACÍCH DOMŮ A PARKOVIŠŤ PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

Nejčastěji se setkáme se solárními parkovišti pro elektromobily (EV SPL), která mohou být veřejná i soukromá a lze je instalovat prakticky kdekoliv. Některé koncepty mohou pracovat i s jinými zdroji než pouze s fotovoltaikou (FV). Mezi zdroje energie patří větrná turbína a dieselový generátor [32], mikroturbíny [67], větrná turbína, dieselová mikroturbína a palivové články [31]. Případně některé zdroje srovnávají solární energii s větrnou energií [49] nebo s bioplynem [84].

Mezi jednotlivými studii jsou i další rozdíly ve virtuálním prostředí a předpokládaných omezeních. Některé studie zahrnují do svých simulací kromě sítě a fotovoltaiky i generátory elektrické energie (např. větrná energie). Jiní zase uvažují o lokálním skladování energie [75]. Někteří autoři zohledňují i konečný stav nabití SoC (State of Charge) baterie elektromobilů [75]. Zohledňovat se může i prodloužení životnosti baterií, neboť algoritmy omezují počet nabíjecích/vybíjecích spínacích prvků [52]. Různé zdroje také pracují s jinými environmentálními, technickými a finančními otázkami. [85]

Pro maximalizaci solárního nabíjení elektromobilů je nutné skloubit výrobu FV s profilem zatížení elektromobilu. Jedná se o následující způsoby řízení:

- **Neřízené nabíjení**, při kterém se EV okamžitě začnou nabíjet plným výkonem po zaparkování. To však představuje technické (kolísání frekvence, napětí a přetížení sítě) a ekonomické (neoptimální výroba) problémy pro elektrizační soustavu. [32]
- **Optimalizované (řízené) nabíjení** vycházející z počítačového algoritmu a regulátoru toku energie. Snaží se nabíjet baterii v optimální době a rychlosti na základě určitých kritérií (objektivní funkce). [52]

Pro řízení nabíjení se využívají analytické modely pro provedení a optimalizaci procesu. Tyto modely zahrnují:

- **Genetické algoritmy (GA)** – „Metoda pro řešení omezených i neomezených optimalizačních problémů založená na procesu přirozeného výběru, který napodobuje biologickou evoluci.“ [26]
- **Smíšené celočíselné lineární programování (MILP)** – metoda, která kombinuje lineární programování s celočíselným programováním. Některé proměnné jsou omezeny na celá čísla a ostatní proměnné mohou být libovolná reálná čísla. [28]
- **Fuzzy logika typu Mamdani** – metoda vytváření řídicího systému spočívá v syntéze sady lingvistických řídicích pravidel získaných od zkušených lidských operátorů. Výstupem každého pravidla je fuzzy množina. [28]

Studie mají také různé cíle svých analýz, mezi které patří – maximalizace využití obnovitelných zdrojů (především z FV) [84][62][75][52][98], maximalizace zisku provozovatele parkoviště a uživatelů EV [53] nebo minimalizace nákladů [32][62][52]

[31][67][1]. Některé studie se zaměřují na V1G (G2V) [32][75], běžně se setkáme i s V2G [98][53][1], avšak existují i studie, které se věnují oběma konceptům [52][67]. Inteligentní plánování se provádí podle tržních cen elektřiny, kterou někteří autoři také řeší. [52]

Solární parkoviště pro nabíjení elektromobilů jsou lákavým konceptem, ale v konečném důsledku se jedná o finanční investici, která musí být zisková. Při jejich plánování musí předcházet ekonomická analýza s pečlivým výběrem a návrhem obchodního modelu, který se bude lišit v závislostech na jednotlivých zúčastněných stranách. Od toho se odvíjejí příjmy, z nichž některé nelze v současné době snadno odhadnout například ty, které plynou z poskytování síťových služeb v budoucnu. [85]

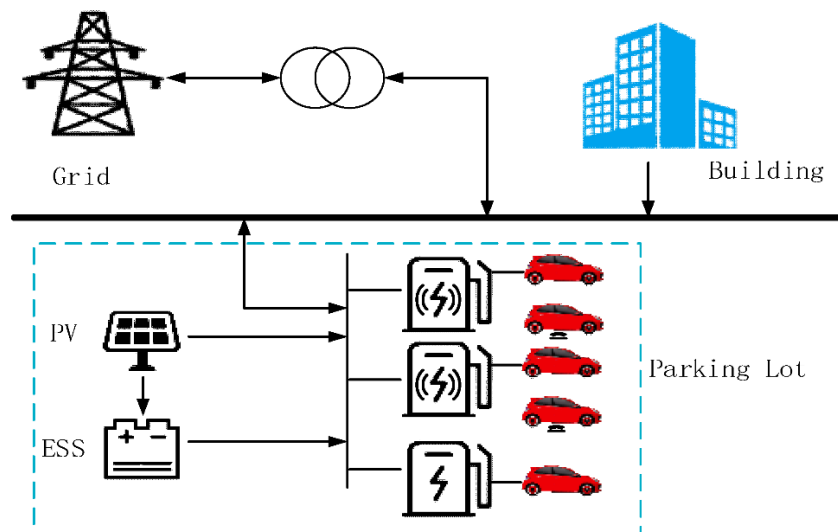
4.1 Metoda pro minimalizaci nákladů na nabíjení

Metoda je navržena tak, aby systém řízení spotřeby energie na parkovišti byl integrován se systémem ukládání energie (ESS) a s fotovoltaickými panely (PV). Cílem optimalizace je minimalizovat náklady na nabíjení. Pomocí tzv. „energy price tags“ (EPT) jsou stanoveny různé pořadí energetických priorit a metody přidělování energie. Plány nabíjení ESS, EV a budov jsou přiměřeně optimalizovány. EPT umožňuje, aby zařízení pro ukládání energie bylo napájeno z více zdrojů energie, přičemž cena každého zdroje energie je pevná.

Uvažované parkoviště je umístěno v komerční budově nebo na nedalekém parkovišti, kde budova, fotovoltaické panely a akumulátory jsou připojeny ke stejné sběrnici. Dále se předpokládá, že vozidla podporují V2G. Vyrobená energie z FV je nejprve dodávána na parkoviště. Nicméně výstupní výkon z FV je značně ovlivněn vnějšími klimatickými podmínkami. Proto pokud je výkon nedostatečný, použije se výkon z baterií nebo případně ze sítě. Na druhou stranu je-li přebytek energie z FV, je výhodné ji využít k pokrytí poptávky po zatížení dané budovy, případně k uložení energie do baterie. Není žádoucí přímé vrácení energie do sítě. Je vhodné, aby se rovnováha mezi nabídkou a poptávkou, mohla samovolně vyrovnávat. Systém inteligentního parkoviště je znázorněn na obrázku 4.1. [50]

Pokud je cena EPT skladovací jednotky energie nižší, než je cena v síti, je možné ji využít jako potenciální zdroj energie pro ostatní zařízení. V takovém případě by prodejní cena jednotky pro ukládání energie měla být vyšší než cena EPT a zároveň nižší než cena v síti. Pro zajištění příjmu z prodeje elektřiny z jednotky pro ukládání energie.

Naopak pokud je cena EPT skladovací jednotky energie vyšší, než je cena v síti, tak se neprodává žádná elektřina. Nakupuje se tak elektřina, která má nejnižší jednotkovou cenu. Daná metoda však neřeší potenciální využití kapacity V2G. [50]



Obrázek 4.1 Systém inteligentního parkoviště bez využití možnosti V2G [50]

4.2 Metoda odhadu kapacity V2G

V2G má mnoho potenciálních uplatnění hlavně v období velké poptávky případně vysoké ceny elektřiny. V2G lze obecně rozdělit podle využití [95]:

- **Silné využití** - Baterie elektromobilů lze využívat jako distribuované úložiště pro ukládání energie mimo špičku a uchovávat pro potenciální úsporu ve špičce
- **Střední využití** – Baterie EV při vyrovnávání obnovitelných zdrojů energie (OZE).
- **Nízké využití** – Baterie EV lze využít pro regulaci frekvenci nebo jako nouzové zálohy např. při výpadku elektřiny.

Pro zajištění efektivního řízení a optimálního výkonu provozu V2G je nezbytný odhad kapacity V2G v reálném čase. Odhad je založen na mnoha faktorech a omezeních, kde nejdůležitějšími parametry jsou [95]:

- **Maximální a nepřetržitý výkon V2G** – Jmenovité hodnoty výkonových měničů používaných při nabíjení a vybíjení baterie určují maximální a nepřetržitý výkon V2G. Jmenovitý výkon baterie tak lze zanedbat. Pro představu Mitsubishi MiEV má kapacitu baterie 80 kWh a nepřetržitý výkon výkonového měniče 2,5 kW. Tyto hodnoty jsou klíčové pro určení celkového výkonu, který může skupina EV dodávat v dané intervalu.
- **Dostupná energie V2G** – Primární funkcí EV je uspokojení cestovní potřeby uživatele. Zajištění nabíjecí schopnosti má přednost před pomocnou funkcí V2G, nesmí se narušovat primární funkce EV tzv. jeho využití jako dopravního prostředku. Dostupná energie V2G závisí na aktuálním stavu nabití, požadovaném stavu nabití (SoC) a minimálním požadovaném SoC před odjezdem.

Plánovací algoritmus nabíjení EV je klíčovým faktorem pro zajištění dostupné energie V2G a jízdních vlastností. Odhad kapacity V2G se provádí na začátku každého půlhodinového intervalu a lze jej využít pro řízení provozu V2G v reálném čase pomocí systému energetického managementu budov (BEMS).

Odhadovaná kapacita V2G se aktualizuje každou minutu (pro půlhodinový interval), aby se zohlednila skutečná energie a výkon dodaný během daného intervalu. Odhad má tedy dva procesy – 30 minut a každou minutu. První proces (30 min) počítá minimální hodnotu SoC, kterou musí mít každé EV na konci daného intervalu, aby bylo možné vozidlo zcela nabít před odjezdem. Druhý proces (každou minutu) zaznamenává množství energie, která je dodaná během daného intervalu a aktualizuje výsledky.

Nasmlouvaná kapacita, poptávka po zátěži, kapacita baterie a časy příjezdu a odjezdu mají klíčový vliv na kapacitu V2G. Výzkum dále ukázal, že skupina EV připojených k libovolné výškové budově v hustě obydlených městech, lze využít jako úložiště energie. Studie také potvrdily úsporu ranní a večerní špičky v obytných budovách při vhodném využití EV. Využití optimálního množství energie z EV v reálném čase pro odhad kapacity V2G neovlivňuje požadavky uživatelů EV. [95]

Majitelům jsou nabízeny také dva programy V2G [51]:

- **Flexibilní V2G (FV2G)** – Program bez smlouvy, podporující dodávku energie v době energetických špiček s cílem snížit špičkové zatížení. Vlastník parkoviště pro EV (EVPL) dostává od provozovatele sítě odměnu za vybíjení pomocí V2G. Uživatelé EV získají od vlastníků EVPL odměnu za poskytnutí služby FV2G.
- **V2G na základě kapacity (CBV2G)** – Program se smlouvou, poskytující kapacitní dostupnost a připravenost V2G provozovateli distribuční soustavy v předem definovaných hodinách. Podle kapacity instalovaných obousměrných nabíječek (BD) se určí kapacitní dostupnost EVPL. Vlastníci EVPL dostávají odměnu jak za dostupnou kapacitu V2G, tak za skutečné využití V2G. Uživatelé EV získají od vlastníků EVPL odměnu za poskytnutí služby CBV2G.

4.2.1 Navrhovaný model

Detailnější pohled na navrhovaný model EVPL lze vidět na obrázku 4.2 [51]. Model přijímá vstupní údaje, jako jsou [51]:

- Hodnoty nastavené vlastníkem EVPL, které řídí cíl modelu,
- Specifikace EVPL – počet parkovacích míst,
- Model chování EV při nabíjení, čas odjezdu a příjezdu, požadovanou energii, kapacitu baterie, cenu nabíjení a pobídku V2G,
- Ceny elektrické energie ze sítě.

Model je navržen na dva typy:

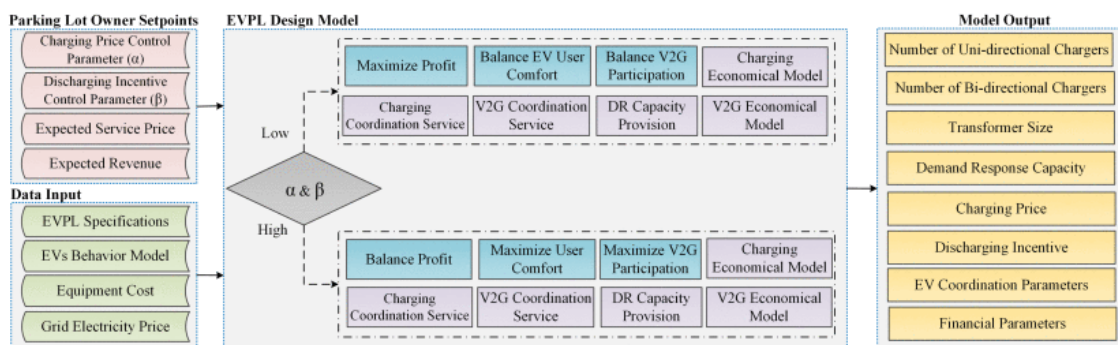
- **Režim maximalizace zisku (PMM)** vlastníka EVPL,
- **Režim společenské odpovědnosti (SRM)** – maximalizuje využívání nabíjení EV a účast v programech V2G.

Model přepíná mezi režimy PMM a SRM v závislosti na hodnotě parametru řízení ceny nabíjení (α) a parametru řízení pobídek k vybití V2G (β). Tyto parametry řídí cenu nabíjení a pobídku k vybití V2G vyplacenou uživatelům EV. Cílem je maximalizace zisku EVPL tzv. upřednostňovat generování nejvyššího zisku nebo umožňovat jejich změnu v předem definovaných limitech tzv. maximalizovat využití služeb nabíjení EV a účast V2G. Zároveň se při poklesu ceny nabíjení předpokládá, že uživatelé EV zvýší svoji poptávku po nabíjení.

V PMM jsou parametrům α a β přiřazeny nízké hodnoty, což maximalizuje příjem vlastníka EVPL. Komfort uživatelů a účast V2G jsou vyvážené. Model se snaží najít nejvyšší cenu za nabíjení a nejnižší pobídku V2G při minimalizaci CAPEX a OPEX systému.

V SRM je provozní zisk vyvážený, přičemž uživatelský komfort EV a účast V2G jsou maximalizovány. To se odráží v nalezení minimální ceny za nabíjení a nejvyšší pobídky V2G. Současně maximalizují poptávku po nabíjení EV a účast V2G čímž splňují minimální cílový příjem vlastníka EVPL. Režim SRM by mohli využít i veřejné EVPL či komerční objekty, kterým nejde primárně o zisk.

Nabíjení a vybití elektromobilů v EVPL je v obou režimech optimalizováno s ohledem na technické a ekonomické aspekty. Koordinace je zajišťována prostřednictvím inteligentního řízení nabíjení/vybití a omezení minimálních cílových příjmů. K dosažení cílů v těchto dvou režimech slouží optimální rozhodovací proměnné, jako je rozmístění a velikost nabíječek UD a BD, velikost transformátoru EVPL, SoC a nabíjecí/vybíjecí výkon každého EV, ceny za nabíjení EV, pobídky V2G a rezervní výkonová kapacita při poskytování odezvy na straně poptávky (DR) do sítě. [51]



Obrázek 4.2 Navrhovaný model EVPL [51]

4.2.2 Scénáře nabíjení

Scénáře nabíjení by se odvíjely od infrastruktury daného parkoviště a nabíjecích stanic, které by mohli být jednosměrné (UD) nebo obousměrné (BD), jak AC, tak DC, případně obou typů viz obrázek 4.3 [96]. Instalace nabíječek BD zvyšuje kapitálové výdaje (CAPEX), kvůli vysokým nákladům na zařízení, ale může poskytnout příležitost ke

4.3 Případové studie

4.3.1 Inteligentní parkoviště s ohledem na koncept V2G a stav baterie

Model navrhuje případovou studii inteligentního parkoviště v městské zástavbě s kapacitou 500 EVs. Časy příjezdu a odjezdu EVs se předpokládají jako náhodné proměnné. Ze statistické studie, která byla provedena v Teheránu ve všední dny, se zjistila hodinová doba využitelnosti parkoviště.

Koncept pracuje s nabíjením a vybíjením každého EV s ohledem na čas příjezdu, přibližnou dobu na parkovišti, hodinovou cenou elektřiny a cenové nabídky ostatních elektromobilů. Předpokládá se, že všechny auta jsou Chevy Volt s identickou kapacitou baterie 16,5 kWh.

Počáteční SoC je náhodné číslo v rozmezí 0,1 až 0,7. Čas příjezdu se očekává mezi 6:00 a 18:00 a přibližná doba stání se pohybuje mezi 2 až 8 hodinami. Cena za nabíjení se pohybuje v rozmezí 2,5 – 4,5 ¢/kWh¹³ a cena za vybíjení se pohybuje v rozmezí 3 – 5 ¢/kWh.

Pro vyhodnocení analýzy se berou v potaz dva scénáře, kde:

- 1) Stáří baterie se nebere v úvahu,
- 2) Doba životnosti baterie se bere jako omezení při nabíjení/vybíjení EVs.

Výsledky ukázaly, že nabíjení EVs probíhalo v době s nižšími cenami elektřiny, zatímco v době s vyššími cenami elektřiny bylo upřednostňováno vybíjení elektromobilů za účelem prodeje uložené energie zpět do sítě. [53]

4.3.2 Řízení spotřeby energie v reálném čase

Studie navrhuje parkoviště pro 1500 vozidel s FV systémem o výkonu 500 kWp. Analýza je založena na standardním radiálním distribučním systému IEEE 69. Nevyužívá tedy síť jako zdroje ve špičkové době popřípadě, kdy je nedostatek energie z FV a V2G. Rychlost nabíjení závisí na produkci z FV a křivce zatížení např. pokud je výroba FV vysoká nebo mimo špičku je nabíjení vyšší. To zapříčiní vyhlazení křivky zatížení vyhlazování tzv. peak-shaving a vyrovnávání tzv. valley-filling.

Zároveň se zkoumalo rozložení zátěže mezi několik sběrnic, čímž se zjistilo, že rozložení nabíjení má za následek nižší ztráty energie. Konfigurace s dalším rozložením už výsledek více neovlivní. Výsledkem analýzy bylo úspěšné snížení nákladů na nabíjení (12 – 16 %) a dopadu na síť (zmenšením ztrát výkonu a špičkové poptávky). [62]

4.3.3 Přidělování parkovacích míst v distribuční síti

Tato analýza se zabývá optimalizací kapacity parkoviště a jeho umístění v distribuční síti pomocí genetických algoritmů. Cílem je minimalizovat investiční náklady, ztráty

¹³ Centy za kilowatthodinu

energie a zvýšit energetickou spolehlivost parkoviště. Předpokladem je skladování energie v EV v době špičky a prodávat ji mimo špičku. Parkoviště můžeme vnímat jako agregátor, který poskytuje V2G. Energetické společnosti poskytují nabíjení energie zdarma, čímž kompenzují náklady na degradaci baterií v rámci V2G. Snaží se tím o zvýšení dostupnosti EV. Nabíjení EV se plánuje s ohledem na počáteční SoC a volná parkovací místa.

Simulace obsahovala devítisběřnicovou distribuční soustavu s rychlostí nabíjení 15 kW na jedno EV. Model obsahoval dva scénáře. První scénář měl u všechny cílů stejnou váhu. Jeho výsledkem bylo zjištění, že dostupnost parkovacích míst nižší než 35 % zapříčiní negativní účinky. U druhého scénáře spolehlivost a investiční náklady mají vyšší váhu. Výsledkem je zvýšení spolehlivosti na úkor nižším celkovým přínosům. [1]

5. PARKOVIŠTĚ

Parkoviště je „venkovní prostor pro parkování vozidel na samostatné ploše oddělené od pozemní komunikace, na které jsou navržena jednotlivá parkovací stání.“ [92]

V dnešní době si naše společnost nedokáže představit svět bez parkovacích míst, protože podle [94] přichází v ČR jeden automobil na dvě osoby, což je ve statistikách EU nadprůměr.

5.1 Stání na veřejných parkovištích

5.1.1 Šířka parkovacího stání

Problematikou potřebné šířky parkovacích míst se zabývá technická norma ČSN 73 6056. Norma stanovuje minimální rozměry, nic tedy nebrání tomu, aby se parkovací místa zvětšila jak do délky, tak do šířky.

Z tiskové zprávy Svazu dovozců automobilů (SDA) je patrné, že se v roce 2023 registrovalo 221 422 nových osobních automobilů (OA), což je o 29 335 vozidel (15,27 %) více než v roce 2022. Lednové statistiky roku 2024 ukazují pokračující růst nových OA, s meziročním nárůstem 18,8 % (na 20 361 ks). Hybridní vozidla celkově vzrostla o 29,6 %, čistě elektrické OA (BEV) vzrostla o 10,3 %, naopak plug-in hybridy zaznamenaly pokles o 11,7 %. Mezi nejoblíbenější značky patřily Škoda, Hyundai a Toyota. [73] Proto rozhodnutí snižovat počty parkovacích stání za účelem zvětšení parkovacích míst nepřipadá v úvahu. Trendem dnešních aut je jejich zvětšování (až 2 x 5 metrů), ale stávající normy jsou zastaralé a nevyhovují dnešním podmínkám. Norma ČSN 73 6056 z roku 2011 říká, že parkovací místo při kolmém řazení musí mít nejméně 2,5 metru na šířku a alespoň 5 metrů na délku. [92]

5.1.2 Vyhrazená parkovací místa

Situace vyhrazených parkovacích míst je řešena ve § 4, odst. 2 vyhlášky č. 398/2009 Sb. o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Dle stavebního zákona musí být na každém parkovišti určitý počet parkovacích míst vyhrazených pro vozidla přepravující osoby těžce pohybově postižené. Příkladem je parkoviště pro 2 až 20 stání, na které spadá jedno vyhrazené místo pro držitele průkazu ZTP či ZTP/P. Velikost parkovacího stání pro invalidy je 7 x 3,5 metru.

V současné době se častokrát setkáváme na soukromých parkovištích s vyhrazenými místy pro rodinu s dětmi a kočárkem. V praxi, ale takové značky neznamenají nic, nejsou tedy právně vymahatelné a stát na nich může prakticky kdokoliv. Parkovací místa mohou být vyhrazena i pro vozidla s LPG / CNG pohonem nebo pro nabíjení elektromobilů. Součástí některých parkovišť najdeme i místa pro motocykly a elektrokoloběžky. [102]

5.1.3 Parkovací místa pro EV

Parkovací místa pro elektromobily se řídí metodickým doporučením Hasičského záchranného sboru ČR (HZS). Zahrnují prostory pro výrobu a skladování baterií pro elektromobily a prostory pro parkování a dobíjení EV v budovách.

Podle HZS [42]: „Pro možné bezpečné provedení požárního zásahu se doporučuje parkovací stání pro dobíjení elektromobilu realizovat minimálně v šířce jako parkovací stání pro osoby tělesně postižené, tj. nejméně v šířce 3,5 m (resp. podle ČSN 73 6056, článku 6.6.2).“ Parkování EV v garážích je omezeno na místa pevných stání (podlaha). Umístění EV v zakladačích nebo podobných zařízeních není doporučeno. Nelze totiž zajistit požární zásah a následný transport. [42]

5.2 Typy parkovišť

Parkoviště jsou specifickým typem staveb, které vyžadují pečlivé plánování a technické zázemí. Většina veřejných i soukromých parkovišť disponuje bezpečnostními prvky, jako jsou závary, turnikety, elektronické cedule informující o počtu volných míst, oplocení (u venkovních parkovišť), kamerový systém a dalšími bezpečnostními prvky, které jsou nezbytné pro správnou funkci parkoviště a ochranu vozidel. Parkovací plochy jsou nezbytnou součástí většiny velkých budov, ať už se jedná o školy, zdravotnická zařízení, bytové domy, průmyslové stavby nebo památkové budovy. [58]

Parkoviště mají negativní vliv na životní prostředí, a to hned z několika důvodů např. parkoviště mohou přispívat k hluku a světelnému znečištění, mohou měnit přirozenou krajinu a způsobovat erozi půdy, s tím se pojí i znečištění a narušení vodního cyklu. Betonové plochy bez možnosti vsakování vody jsou bariérou pro koloběh vody. Alternativou může být tzv. zelené parkoviště, které umožňuje vsakovat vodu a minimalizovat dopad na životní prostředí. Voda odtékající z parkoviště může obsahovat různé chemikálie, které se podílejí na znečištění podzemních a vodních toků v okolí. Je důležité, aby byly při plánování a výstavbě parkovišť zohledněny tyto potenciální dopady na životní prostředí.

Existují různé typy parkovišť, které se liší podle jejich umístění, konstrukce a kapacity. Každý typ parkoviště má své výhody a nevýhody, a volba mezi nimi závisí na konkrétních potřebách a omezeních daného místa. Zde je uvedené základní rozdělení podle [58]:

Venkovní parkoviště

Je stavebně nejjednodušším řešením, které vyžaduje jen dostatečně velkou volnou plochu se zpevněným základem. Zhotovení takového parkoviště zabere jen několik málo dní. Jednou z nevýhod je fakt, že vozidla zabírají příliš velký prostor a zároveň parkoviště nejsou chráněna před počasím. Proto je také nezbytné řešit účinné odvodňování. Nicméně venkovní parkoviště je vhodným řešením při rekonstrukci starších objektů, kde stavba podzemního parkoviště nebo parkovacího domu nelze zrealizovat.

Podzemní parkoviště

Tento typ parkoviště je velice praktický a šetří prostor. Najdeme je převážně v komerčních budovách, kancelářských objektech a bytových domech. Jsou ideálním řešením především tam, kde budou zaparkovaná vozidla stát delší dobu a tím pádem budou i chráněna před nepříznivými vlivy počasí. Výstavba samotného parkoviště je však časově, finančně a technicky náročná. Kapacitně pak odpovídají účelu stavby, pod kterou se většinou nachází.

Parkovací domy

Parkovací dům je typ parkoviště, který je postaven do výšky a vyniká velkou kapacitou na relativně malé ploše. Je to ideální a často jediné řešení tam, kde je potřeba zajistit parkování pro velké množství automobilů např. u obchodních center nebo v centrech měst. Při výstavbě parkovacího domu je nutné dbát na konstrukci stavby.

5.3 Parkování v Brně

V Brně bylo na konci roku 2022 evidováno 231 112 osobních automobilů (OA). Ze sociologického výzkumu bydlení v Brně [69] z roku 2019 vyplývá, že garáž, garážové stání nebo vyhrazené parkovací místo vlastní 30 % respondentů z celkových 1 554 vyplněných dotazníků. Při uvažování daného poměru i pro celé Brno, lze z celkového počtu OA odhadnout, že 161 778 z nich parkuje na ulici a 69 334 využívají vlastní garážové stání, avšak jedná se pouze o hrubý odhad. Počet parkujících OA na ulici je ovlivněn několika faktory, jako jsou např. geografická poloha, typ zástavby (dům či panelový dům) nebo dostupností MHD. Brno se snaží tuto problematiku řešit různými opatřeními, jako je budování parkovacích zón, podpora alternativního způsobu dopravy (MHD, cyklotrasy, carsharing, sdílená kola a koloběžky). Zároveň se v Brně staví několik parkovacích domů (PD), které mají také zlepšit dostupnost parkovacích míst, viz kapitola 5.3.2 Parkovací domy na území Brna. [64][73]

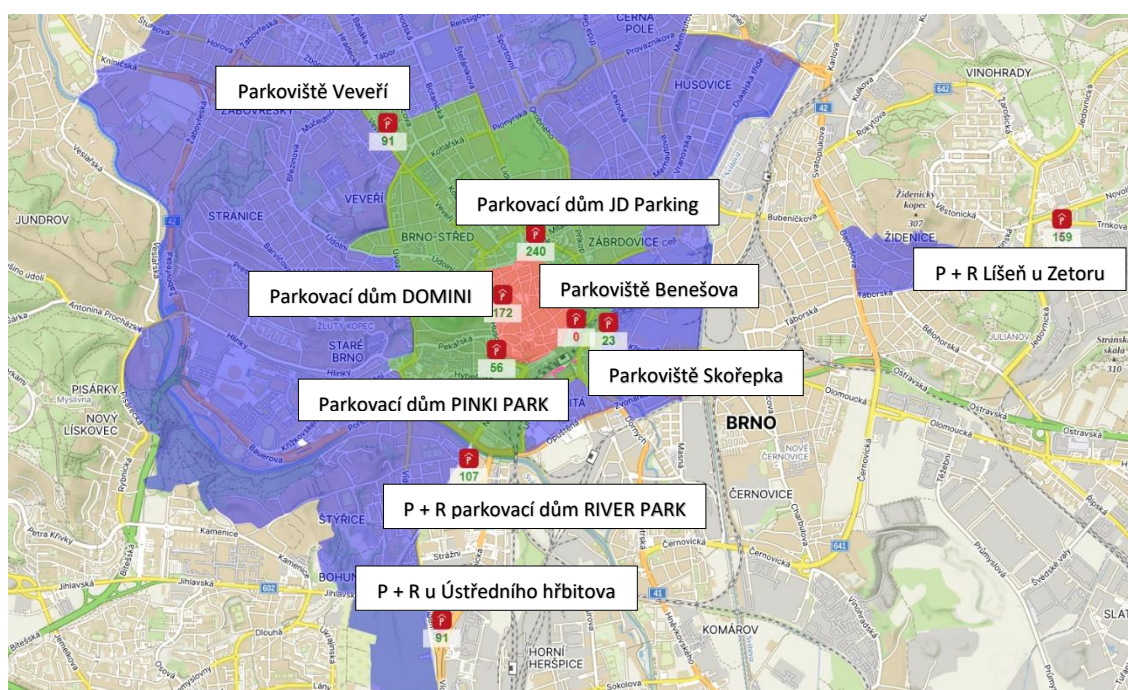
5.3.1 Parkovací systém v Brně

Parkování v Brně funguje na principu „květinčky“, díky kterému platí parkovací systém nejen v místě trvalého bydliště (střed květinčky), ale i v okolních sousedících oblastech (okvětní lístky květiny). Okvětním lístkem nemůže být historické centrum (zóna A), kde platí zákaz vjezdu. V zóně A nemůže parkovat nikdo bez dlouhodobého oprávnění. Tím se značně rozšiřuje plocha území, kde mohou řidiči zaparkovat své vozidlo. Mapa detailního zobrazení jednotlivých zón je znázorněna na obrázku 5.1 [56], kde červená barva představuje zónu A, zelenou barvou je zóna B a modrou zóna C. Parkovací systém má tři návštěvnické zóny s odstupňovanou cenou za parkování, nebo-li čím blíže jste k centru, tím zaplatíte více. [56]

Zóna B obklopuje historické centrum (zóna A), kde je parkování jednou denně na 60 minut zdarma a každá další hodina stojí 30 Kč. Regulace platí 24 hodin denně ve všední dny. V zóně C je opět prvních 60 minut zdarma a každá další hodina představuje

20 Kč. Režim platí pouze přes noc, tj. ve všední dny od 17:00 do 6:00 hodin. Mimo jiné existuje i zóna E, která je zřizována u nabíjecích stanic pro elektromobily. Variant placení za parkovné je více – parkovací automaty (pouze zóna B), online parkovací automat, mobilní aplikace ParkSimply nebo SMS platbou. [56]

Brno dále definuje řidiče dle kategorií – rezidenti, abonenti a návštěvníci. Rezydentem je fyzická osoba, která je vlastníkem nemovitosti, nebo má trvalý pobyt ve vymezené oblasti. Abonent je fyzická nebo právnická osoba, která podniká a má sídlo, nebo je vlastníkem nemovitosti ve vymezené oblasti. Návštěvníci jsou všichni ostatní. [56]



Obrázek 5.1 Mapa parkovišť v Brně [56] (upraveno)

5.3.2 Parkovací domy na území Brna

V Brně nalezneme hned několik parkovacích domů: PINKI PARK, RIVER PARK P+R, DOMINI PARK, Parkovací dům Rooseveltova – JD Parking, Parkovací dům Kounicova – Rozmarýn, Parkovací dům Křížkovského – Expoparking. Jejich porovnání je znázorněno v tabulce 5.1 [56][23][54][55].

Brno disponuje parkovišti P+R, které se nachází především na okrajích města a mají sloužit pro uživatele, kteří zde zaparkují automobil a do centra města se dostanou pomocí MHD. Některé z nich jsou spolu s parkovacími domy zobrazeny na obrázku 5.1 [56]. Brno se také potýká s výrazným nedostatkem parkovacích míst pro rezidenty, proto vznikají nové parkovací domy za několik desítek miliónů. Mezi nimi je stavba čtyřpatrového parkovacího domu na ulici Šumavská, který by měl být dostavěn v dubnu roku 2024. Poskytne 441 parkovacích míst a dalších 222 na přilehlé ploše v režimu rezidentního parkování. [72] Během následujících let se také plánuje stavba

parkovacího domu na Žlutém kopci v blízkosti Masarykova onkologického ústavu, který by využívali především pacienti a návštěvníci ústavu a večer by sloužil pro rezidentní parkování. [90]

Podle zdroje [57] se plánuje hned několik staveb: parkovací dům u Dětské nemocnice pro 400 aut, parkovací dům Dubová se 41 místy, parkovací dům Juliánov pro 160 aut, parkovací dům Park & Ride Bohunice v blízkosti fakulní nemocnice, parkovací dům Vlkova s 200 parkovacími místy, parkovací dům Vodova pro 441 aut a parkovací dům Voříškova pro 220 automobilů.

Tabulka 5.1 Porovnání PD (vlastní zpracování dle [56][23][54][55])

Parkovací dům	Popis									
PINKI PARK	<ul style="list-style-type: none"> - v blízkosti Hlavního nádraží - kapacita pro 88 automobilů - vozidlům LPG/CNG a motocyklům vjezd zakázán - výška stropu 1,9 m - možnost krátkodobého i dlouhodobého parkování <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Po - Pá</td> <td style="text-align: center;">08:00 – 00:00</td> <td style="text-align: right;">30 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>Po - Ne</td> <td style="text-align: center;">00:00 – 08:00</td> <td style="text-align: right;">10 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>So - Ne</td> <td style="text-align: center;">08:00 – 00:00</td> <td style="text-align: right;">20 Kč/hod.</td> </tr> </table>	Po - Pá	08:00 – 00:00	30 Kč/hod.	Po - Ne	00:00 – 08:00	10 Kč/hod.	So - Ne	08:00 – 00:00	20 Kč/hod.
Po - Pá	08:00 – 00:00	30 Kč/hod.								
Po - Ne	00:00 – 08:00	10 Kč/hod.								
So - Ne	08:00 – 00:00	20 Kč/hod.								
RIVER PARK P+R	<ul style="list-style-type: none"> - v blízkosti Winning Group Areny - kapacita pro 110 automobilů - 29 míst pro vozidla s LPG/CNG - výška stropu 2,1 m - rozšířená stání pro invalidy <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>prvních 12 hodin je zpoplatněno paušální částkou:</td> <td style="text-align: right;">50 Kč</td> </tr> <tr> <td>po 12 hodinách činí každá další započatá hodiny:</td> <td style="text-align: right;">100 Kč</td> </tr> </table>	prvních 12 hodin je zpoplatněno paušální částkou:	50 Kč	po 12 hodinách činí každá další započatá hodiny:	100 Kč					
prvních 12 hodin je zpoplatněno paušální částkou:	50 Kč									
po 12 hodinách činí každá další započatá hodiny:	100 Kč									
DOMINI PARK	<ul style="list-style-type: none"> - v centru města - kapacita pro 265 automobilů - 20 míst pro vozidla s LPG/CNG - 4 místa pro elektromobily + dobíjecí stanice - lze parkovat i s motocykly - výška stropu 2,0 m - možnost krátkodobého i dlouhodobého parkování <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Po - Pá</td> <td style="text-align: center;">06:00 – 22:00</td> <td style="text-align: right;">40 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>Po - Pá</td> <td style="text-align: center;">22:00 – 06:00</td> <td style="text-align: right;">30 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>So - Ne</td> <td style="text-align: center;">bez časového omezení</td> <td style="text-align: right;">30 Kč/hod.</td> </tr> </table>	Po - Pá	06:00 – 22:00	40 Kč/hod.	Po - Pá	22:00 – 06:00	30 Kč/hod.	So - Ne	bez časového omezení	30 Kč/hod.
Po - Pá	06:00 – 22:00	40 Kč/hod.								
Po - Pá	22:00 – 06:00	30 Kč/hod.								
So - Ne	bez časového omezení	30 Kč/hod.								
JD PARKING	<ul style="list-style-type: none"> - v blízkosti Janáčkova divadla - kapacita pro 379 automobilů - 200 míst pro vozidla s alternativním pohonem (LPG, CNG, elektromobily) + dobíjecí stanice pro elektromobily 									

	<ul style="list-style-type: none"> - lze parkovat i s motocykly - výška stropu 2,1 m - rozšířená stání pro invalidy a matky s kočárky - možnost krátkodobého i dlouhodobého parkování <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">1 den / 24 hodin</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: right;">360 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>1 hodina</td> <td style="text-align: center;">08:00 – 22:00</td> <td style="text-align: right;">30 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>1 hodina</td> <td style="text-align: center;">22:00 – 08:00</td> <td style="text-align: right;">20 Kč/hod.</td> </tr> </table>	1 den / 24 hodin		360 Kč/hod.	1 hodina	08:00 – 22:00	30 Kč/hod.	1 hodina	22:00 – 08:00	20 Kč/hod.
1 den / 24 hodin		360 Kč/hod.								
1 hodina	08:00 – 22:00	30 Kč/hod.								
1 hodina	22:00 – 08:00	20 Kč/hod.								
Rozmarýn	<ul style="list-style-type: none"> - v blízkosti Moravského náměstí - kapacita pro 180 automobilů - výška stropu 1,9 m - lze parkovat i s motocykly - vozidlům LPG/CNG vjezd zakázán <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">1 den / 24 hodin</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: right;">360 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>1 hodina</td> <td style="text-align: center;">08:00 – 22:00</td> <td style="text-align: right;">30 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>1 hodina</td> <td style="text-align: center;">22:00 – 08:00</td> <td style="text-align: right;">20 Kč/hod.</td> </tr> </table>	1 den / 24 hodin		360 Kč/hod.	1 hodina	08:00 – 22:00	30 Kč/hod.	1 hodina	22:00 – 08:00	20 Kč/hod.
1 den / 24 hodin		360 Kč/hod.								
1 hodina	08:00 – 22:00	30 Kč/hod.								
1 hodina	22:00 – 08:00	20 Kč/hod.								
Expoparking	<ul style="list-style-type: none"> - v blízkosti brněnského výstaviště - kapacita pro 850 automobilů - rozšířená stání pro invalidy - možnost krátkodobého i dlouhodobého parkování <p>Ceník parkovného</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">mimo akce</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">06:00 – 21:00</td> <td style="width: 40%; text-align: right;">20 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td>mimo akce</td> <td style="text-align: center;">21:00 – 06:00</td> <td style="text-align: right;">10 Kč/hod.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">v době konání akcí</td> <td style="text-align: right;">dle aktuálního ceníku akce</td> </tr> </table>	mimo akce	06:00 – 21:00	20 Kč/hod.	mimo akce	21:00 – 06:00	10 Kč/hod.	v době konání akcí		dle aktuálního ceníku akce
mimo akce	06:00 – 21:00	20 Kč/hod.								
mimo akce	21:00 – 06:00	10 Kč/hod.								
v době konání akcí		dle aktuálního ceníku akce								

5.3.3 ÚAN Zvonařka

Ústřední autobusové nádraží Zvonařka (ÚAN Zvonařka) je hlavním autobusovým nádraží pro mezinárodní a vnitrostátní dopravu v Brně. Střecha autobusového nádraží slouží jako odstavná plocha s kapacitou 92 autobusů. Po rekonstrukci v roce 2019 zde nově přibylo 50 veřejných parkovacích míst typu P + R a 8 parkovacích míst K + R, kde mohou řidiči pohodlně vysadit své cestující. [114][8]

Zrekonstruované nádraží je zásadním a frekventovaným místem, který denně využívá okolo 18 tisíc cestujících. Jedná se o hlavní uzel regionální, vnitrostátní a mezinárodní dopravy, kterým každý den projede okolo 800 autobusů. [7]

6. NAVRHOVANÉ SCÉNÁŘE

6.1 Definování vstupních parametrů

Definování a pochopení vstupních parametrů je nezbytným krokem při navrhování parkovacích strategií pro EV v daných parkovacích domech (PD), konkrétně PD Pinki Park, PD River Park, PD Domini Park a PD Rooseveltova – JD Parking. Uvažovalo se také o parkovišti pro autobusy (ÚAN Zvonařka), pokud by zmínění správci PD nemohli poskytnout data o obsazenosti k řešení praktické části, z toho důvodu je v teoretické části parkoviště přiblíženo. V další práci se však tohle parkoviště neuvažuje z důvodu poskytnutí dat. Analýza těchto parametrů umožňuje optimalizovat parkoviště pro budoucí nárůst elektromobility a zajistit trvale udržitelné a efektivní řešení parkování.

Klíčové parametry pro jednotlivé scénáře zahrnují:

Počet EV a jejich rozdělení:

- Celkový počet EV parkujících v PD v daném časovém úseku,
- Rozdělení EV do kategorií podle kapacity baterie (malá, střední, velká),
- Pravděpodobnost příjezdu EV v závislosti na denní době, dni v týdnu a ročním období.

Délka parkování:

- Průměrná doba parkování EV v závislosti na kategorii baterie a denní době (pokud nejsou známy doby stání jednotlivých EV).

Spotřeba energie:

- Spotřeba energie EV během parkování (v závislosti na kategorii baterie a teplotě),
- Spotřeba energie pro nabíjení EV (v závislosti na typu a výkonu nabíjecí stanice),
- Vliv obnovitelných zdrojů energie (fotovoltaika, větrná energie či baterie) na spotřebu energie (v našem případě se neuvažuje).

Provozní parametry PD:

- Kapacita parkoviště a počet parkovacích míst,
- Počet a typ nabíjecích stanic,
- Dostupnost energie v PD,
- Poplatky za parkování a nabíjení (nebere se v potaz finanční stránka PD ani cena elektřiny).

Existují i další klíčové parametry např. metody modelování (popsány v kapitole 4 Koncepty parkovacích domů a parkovišť pro energetické účely), případná validace modelů jako je porovnávání simulovaných výsledků s reálnými daty o parkování, statistické testování hypotéz a citlivostní analýza jednotlivých modelů.

6.1.1 Přehled baterií pro elektromobily

Přehledy baterií pro elektromobily vychází z bakalářské práce Robina Filipa [24], který elektromobily rozdělil podle kapacity baterie na tři kategorie:

- Elektromobily s malou kapacitou baterie (do 35 kWh) mají dojezd přibližně 150 – 200 km. Jsou vhodné především pro krátké cesty, například do práce nebo na nákupy.
- Elektromobily střední třídy (kolem 60 kWh) mají dojezd přibližně 300 – 400 km. Jsou vhodné pro běžné každodenní cestování, včetně delších cest po republice.
- Elektromobily s velkou kapacitou baterie (nad 100 kWh) mají dojezd přibližně 500 – 600 km. Jsou vhodné pro delší cesty, například na dovolenou nebo do zahraničí.

V budoucnu lze očekávat největší nárůst počtu elektromobilů v kategorii střední třídy. Ta totiž nabízí dobrý kompromis mezi dojezdem a cenou. Oproti tomu elektromobily s malou kapacitou budou stále vhodné pro krátké trasy, ale podíl na trhu bude klesat. Elektromobily s velkou kapacitou baterie budou vhodné na delší trasy, ale jejich cena bude stále vysoká.

V České republice je 215,5 tis. (3 % z celkové flotily) vozidel na alternativní paliva. Největší část zastupují vozidla na CNG (160 tis.) a BEV představují okolo 18 tis. vozidel (duben 2024). V následující tabulce 6.1 [93] je uvedeno základní porovnání deseti nejpoužívanějších modelů BEV. [19]

Tabulka 6.1 Deset nejčastěji registrovaných BEV v ČR v roce 2023 [93]

Typ	Počet registrací (-)	Výkon (kW)	Kapacita (kWh)	Dojezd (km)
Škoda ENYAQ 85	1334	210	77,0	450
Tesla model Y	1010	220	57,5	350
Hyundai kona Electric 65 kWh	345	160	65,4	390
Tesla model 3	308	208	57,5	420
VW ID.3 Pro	246	150	58,0	350
VW ID.4 Pro	170	210	77,0	435
Kia EV6 Long Range 2WD	144	168	74,0	410
Hyundai IONIQ 5 N Long Range 2WD	129	168	74,0	390
Dacia Spring Electric 45	100	33	25,0	165
BMW i4 eDrive40	98	250	80,7	515

Vedle osobních elektrických vozidel se také vyrábějí a provozují elektrická nákladní vozidla a autobusy. Tyto vozidla však nejsou mezi uživateli tak populární jako osobní

elektrická vozidla. Důvodem je především vyšší pořizovací cena a kratší dojezd. Za rok 2023 v ČR přibyl pouze jeden nový elektro autobus z celkovému počtu 148 kusů. U kamionů je to podobné, kde za rok 2023 bylo registrováno 10 nových nákladních elektrických vozidel. Jako u automobilů převládá zde jako alternativní palivo stlačený zemní plyn (CNG). [19]

V následujících tabulkách 6.2 [70][34][37][63] a 6.3 [66][80][17][18][101] je uvedeno základní porovnání vybraných elektrických autobusů a elektrických nákladních vozidel.

Tabulka 6.2 Porovnání vybraných elektrických autobusů [70][34][37][63]

Typ	Výkon (kW)	Kapacita (kWh)	Dojezd (km)
Iveco E-Way Electric	185 / 330	346 – 416	400
Crossway Le Elec	330	400 – 485	400 – 600
MAN Lion's City E	260	480	200 – 270
Mercedes Benz eCitaro G	250	441	350
Solaris Urbino 12 Electric	250	520	300

Tabulka 6.3 Porovnání vybraných elektrických nákladních aut [66][80][17][18][101]

Typ	Výkon (kW)	Kapacita (kWh)	Dojezd (km)
Renault Trucks T E-Tech	490	540	300
Volvo FH Electric	330 – 490	360 – 540	300
Mercedes-Benz eActros 300	400	336	300
Tesla Semi	800	500 – 800	480 – 800
Freightliner eCascadia	550 / 730	550	400
Volvo FH*	–	1 000	560 – 630

*Upravený elektrický kamion na podvozku Volvo FH od firmy švýcarské firmy Designwerk Technologies AG. [86]

Kapacita baterií u elektrických autobusů a kamionů se v poslední době výrazně zvětšila, díky tomu mohou jezdit na delší vzdálenosti a snižovat tak potřebu nabíjení. V budoucnu lze očekávat, že kapacita baterií bude i nadále růst. Tento trend by mohl vést k dalšímu rozšíření elektrických autobusů a kamionů a k většímu snížení emisí oxidu uhličitého. [70]

6.1.2 Predikce vývoje elektromobility v ČR

Vzhledem k tomu, že se všechny navrhované parkovací domy nacházejí v centru města (viz obrázek 5.1), budou zde převažovat vozidla se středně velkou baterií. Aby bylo

možné adekvátně simulovat budoucí scénáře parkování, bylo nutné definovat zastoupení jednotlivých kategorií vozidel.

Během určeného období (duben – květen 2024) byly vybrané parkovací domy opakovaně navštíveny v různých denních dobách a dnech v týdnu. Během těchto návštěv byly shromažďovány údaje o zastoupení vozidel s malou, střední a velkou kapacitou baterií. Počítalo se také, že všechny vozidla, která se nachází v PD jsou elektrická, ačkoliv v dnešní době zde neparkují téměř žádná EV, jelikož tu není nainstalován dostatečný počet nabíjecích stanic. Shromážděné údaje byly statisticky analyzovány s cílem zjistit, zda se zastoupení jednotlivých kategorií vozidel liší podle denní doby, dne v týdnu a dalších faktorů. Tyto skladby byly zvolené následovně:

Tabulka 6.4 Uvažované zastoupení vozového parku pro jednotlivé PD

	Kategorie		
	Malé	Střední	Velké
Parkovací dům	Zastoupení (%)		
Pinkl Park*	11,17	58,14	30,69
River Park	12,13	66,78	21,10
Domini Park	10,40	56,65	32,95
JD Parking	10,98	50,99	38,03

* Hodnoty zastoupení jednotlivých EV byly zvoleny z hodnot ostatních PD, jelikož daný PD funguje na odlišném principu parkování vozidel (nebylo možné zjistit fluktuaci vozidel – PD je bezobslužný, stačí aby majitel vjel na plošinu a vozidlo poté samo zaparkuje).

V tabulce 6.4 je zobrazena průměrná fluktuace vozidel v PD během sledovaného období. Dominance střední kapacity baterií je výrazná a převyšuje ostatní typy, avšak tato situace není neměnná a může se v budoucnu změnit. Nejvyšší hodnota byla stanovena na 66,78 % pro PD River Park, zároveň se v tomto PD fluktuace vozidel nejvíce měnila (± 15 %), na rozdíl od ostatních PD, kde hodnoty zůstávaly téměř neměnné (± 5 %). Nejmenší zastoupení měly vozidla s malou baterií, kde maximální hodnota nepřekročila 15 %. Fluktuace vozidel sledovaných během různých dnů a časů v průběhu dne vykazovala minimální změny.

Jako příklady malých vozidel v tabulce 6.4 můžeme uvést Škodu Citigo, Fiat Panda, Toyota Aygo, Kia Picanto a Hyundai i10. Jako střední automobily jsou považovány Škoda Octavia, Kia Optima, Volkswagen Golf a Hyundai Sonata. Mezi velká vozidla patří Audi Q7, Volvo XC90, Porsche Panamera, Mercedes-Benz GLE a Jaguar XJ. Tyto uvedené modely slouží pouze jako příklady, neboť v parkovacích domech se nachází široká škála vozidel a zde jsou vybráni pouze někteří zástupci daných skupin

Vzhledem k současnému počtu přibližně 25 000 elektromobilů v České republice a vzhledem k socioekonomickým faktorům Brna jakožto druhého největšího města s rostoucí kupní silou se očekává nárůst počtu elektromobilů v této oblasti. Počítá se

i s postupným ústupem spalovacích motorů (viz kapitola 1.3.1). V roce 2035 se tak očekává dominance elektromobilů, která by mohla vést k určitému snižování významu některých alternativních zdrojů energie, jako jsou fotovoltaické panely, větrné turbíny nebo lokální bateriové systémy. Dané předpoklady se nemusí uskutečnit, jedná se totiž pouze o zjednodušení v této práci, jelikož v našem modelování se neberou v potaz žádné jiné zdroje elektrické energie než EV. Pro komplexnější analýzu a posouzení energetické bilance parkoviště by však OZE mělo být do úvah stále zahrnuto.

S ohledem na očekávaný nárůst elektromobilů je třeba PD na tento trend připravit. Znalost zastoupení jednotlivých velikostí baterií může pomoci optimalizovat infrastrukturu a nabíjecí stanice, a zajistit tak efektivní a pohodlné parkování pro budoucí flotilu brněnských EV. To by umožnilo vozidlům nabíjet se přímo v PD, místo na veřejných ulicích.

Počet elektromobilů v ČR a s tím spojené počty dobíjecích bodů budou záviset podle Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) [5] na:

- **Podílu EV na nově registrovaných vozidlech** – v průměru se za posledních 5 let registrovalo 230 tis. nových a 170 tis. ojetých OA. Různé scénáře rozvoje elektromobility (viz tabulka 6.5 [5]) počítají s jinak vysokým podílem EV na těchto registracích.
- **Rychlost obnovy vozového parku** – průměrná doba životnosti EV se ve scénářích uvažuje na 10 let. To by mohlo vést k potřebě zvýšení průměrné obnovy vozového parku a také k vyššímu podílu EV na **dovozu ojetých automobilů ze zahraničí**.

Scénáře jsou rozděleny do tří kategorií (nízký, střední a vysoký) podle nárůstu kumulovaného počtu BEV a PHEV a podílu EV na nových registracích. Střední scénář je obdobou vysokého scénáře s 5 letým zpožděním podílu EV na nových registracích. V rámci balíčku „Fit for 55¹⁴“, který je součástí klimatického plánu EU byl vysoký scénář aktualizován. [5][4]

Nízký scénář uvažuje rozdělení četností nabíjení na domácí (31 %), veřejné (33 %), veřejné normální (14 %), dobíjení v zaměstnání (16 %) a veřejné rychlé (6 %). [5] Střední a vysoký scénář aktualizovaný pro rok 2023 souvisí s nemožností dobíjení EV uvnitř hromadných garáží, nebo-li k přesunu veřejného rezidentního dobíjení (33 %) do segmentu veřejného rychlého nabíjení (původních 6 %) na nových 39 %. Dojde tak k výraznému poklesu počtu dobíjecích bodů o výkonu 11 a 22 kW a zvýšení počtu dobíjecích bodů (DB) o výkonu 50, 150 a 350 kW. Jednalo by se tak o pokles absolutního počtu DB oproti roku 2021 o 80 % (střední scénář) a o 68 – 75 % (vysoký scénář). Pro příklad u středního scénáře bude v roce 2045 nově 50 224 DB z původních 296 648 u vysokého scénáře by se nově jednalo o 93 811 DB z původních 382 110. Největší

¹⁴ Návrh požaduje do roku 2030 snížit emise CO₂ o 55 % z nově prodaných vozidel oproti roku 2021.

změna by byla v přesunu DB o výkonu 22 kW na DB o výkonu 150 kW (do roku 2030 do výkonu o 50 kW). [4]

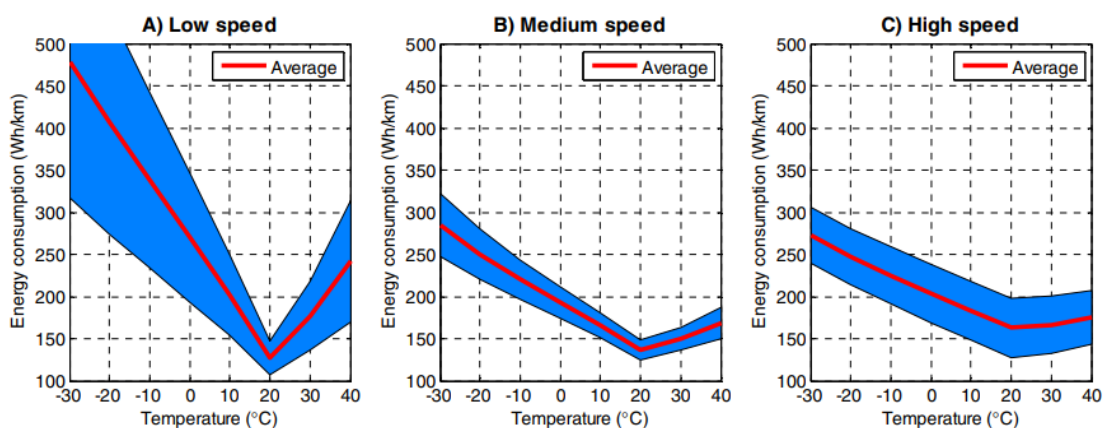
Tabulka 6.5 Přehled uvažovaných podílů EV v ČR na nových registracích a kumulované počty vozidel pro uvažované časové úseky [5]

Nízký scénář	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Podíl BEV na nových registracích	1,6 %	1,6 %	2,3 %	4,8 %	7,4 %	10 %
Kumulovaný počet BEV	7 109	26 252	40 714	79 461	214 536	377 586
Podíl PHEV na nových registracích	0,7 %	0,9 %	4,0 %	5,4 %	6,7 %	8 %
Kumulovaný počet PHEV	2 726	13 171	42 619	105 375	231 497	351 045
Kumulovaný počet BEV+PHEV	9 835	39 423	83 333	184 836	446 033	728 631
Střední scénář	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Podíl BEV na nových registracích	1,6 %	5,1 %	9,5 %	50 %	92,5 %	92,5 %
Kumulovaný počet BEV	7 109	51 885	188 323	669 962	1 859 828	3 385 420
Podíl PHEV na nových registracích	0,7 %	4,0 %	5,1 %	15 %	0 %	0 %
Kumulovaný počet PHEV	2 726	34 800	135 097	322 757	433 509	335 716
Kumulovaný počet BEV+PHEV	9 835	86 685	323 420	992 719	2 293 337	3 721 136
Vysoký scénář	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Podíl BEV na nových registracích	1,6 %	9,5 %	50 %	92,5 %	92,5 %	92,5 %
Kumulovaný počet BEV	7 109	83 716	576 916	1 828 545	3 355 118	4 360 743
Podíl PHEV na nových registracích	0,7 %	5,1 %	15 %	0 %	0 %	0 %
Kumulovaný počet PHEV	2 726	44 074	233 381	402 934	304 757	175 986
Kumulovaný počet BEV+PHEV	9 835	127 790	810 297	2 231 479	3 659 875	4 536 729

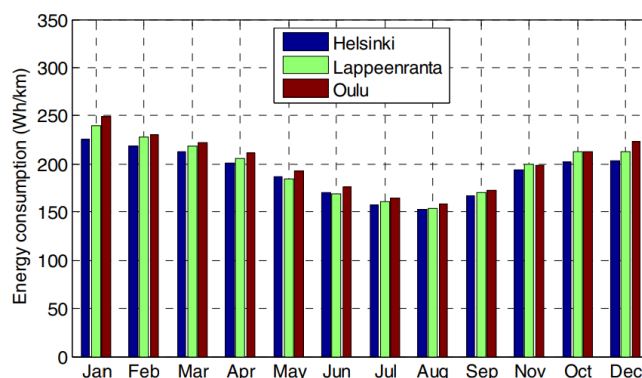
6.1.3 Vliv teploty na EV

Teplota má značný vliv na proces nabíjení a dojezd EV. Obecně platí, že nižší teploty zpomalují nabíjení, jelikož chemické reakce probíhají pomaleji. Baterie zároveň dočasně ztrácí část své kapacity, čímž se snižuje dostupný dojezd. U vyšších teplot probíhá nabíjení rychleji a zároveň kapacity tolik neklesá s teplotou. Proto se dostupná kapacita, kterou by mohl poskytovat PD, se bude v průběhu měnit na stavu počasí.

Obrázky 6.1 a 6.2 níže znázorňují výsledky studie [21] A. Lajunena z univerzity Aalto ve Finsku, který zkoumal spotřebu energie EV v Severských zemích. Modrá barva představuje celkový rozptyl průměrné spotřeby na obrázku 6.1 a červená křivka značí průměrnou spotřebu pro jednotlivé styly jízd. Průměrná spotřeba byla vypočtena na základě denního nájezdu 55 km nebo-li 20 tis. km za rok. Z obrázku 6.2 je patrné, že s rostoucí teplotou se snižuje průměrná měsíční spotřeba EV. [21]



Obrázek 6.1 Spotřeba energie pro různé jízdní režimy a okolní podmínky [21]



Obrázek 6.2 Srovnání průměrné měsíční spotřeby EV ve třech městech [21]

6.1.4 Využití firemních a soukromých elektromobilů

Z aktuálního průzkumu (2023) společnosti Schneider Electric vyplývá, že průměrně denně ve firmách elektromobily ujedou mezi 50 a 150 km. Průměrný roční nájezd firemních aut v ČR je tedy okolo 30 - 35 000 km. [25] Firemní vozidlo je tedy používáno v rámci pracovních činností dané firmy, zatímco soukromé vozidlo slouží k osobním potřebám majitele. Pro porovnání soukromá EV mají průměrný roční nájezd 12 000 km, nebo-li cca 30 km za den. [61]

6.1.5 Okrajové podmínky

Pro určení kapacity za rok je třeba si určit rozsahy, nebo-li simulace při jakých podmínkách budou vozidla jezdit do PD vybité a téměř žádnou energii neposkytnou až po druhou okrajovou podmínky, při které přijedou nabité a mohou tak poskytnout svoji kapacitu baterie. Pro koncept pouze s V1G by to platilo naopak, že kdyby vozidlo přijelo vybité může poskytnou nabíjecí kapacitu a nabité auto neposkytne téměř žádnou kapacitu.

Zároveň v PD parkují i uživatelé, kteří zde nechají své vozidlo na delší dobu obvykle 1 – 2 dny. Jejich kapacita by se mohla také využít za zvýhodněných podmínek pro daného

uživatelé, jako je např. snížení ceny za parkování, čímž by mohl poskytnout hlubší vybití (v plném rozsahu) své baterie.

Pro koncept V2G jsou nevhodnější vozidla, která zde stojí minimálně 4 hodiny nejlépe 8 hodin. Vozidla parkující pouze 1 – 1,5 hodiny by mohla poskytovat V2G pouze v kritických situacích, jako jsou výpadky sítě.

Okrajové podmínky bylo nutné stanovit, jelikož se z nich vycházelo u jednotlivých scénářů. Byly stanoveny pro všechny parkovací domy, jelikož každý PD má jinou fluktuaci vozidel a maximální obsazenost.

Data, ze kterých se následně vycházelo u okrajových podmínek, poskytnuly Brněnské komunikace (Domini Park, Pinki Park a River Park) a TYMET parking a.s. (JD Parking). Poskytnutá data byla za období od 1. února 2023 až 31. března 2024. Informace obsahovaly statistické přehledy o obsazenosti, počtech parkujících vozidel a průměrné době stání vozidel v PD. Některé parkovací domy však nerozlišovaly průměrnou dobu stání na krátkodobě a dlouhodobě parkující, proto průměrná doba stání byla vypočtena za všechny parkující vozidla. Parkovací dům JD Parking tyto informace poskytl. Z daných informací se dále zjistilo, že primárně zde parkují vozidla krátkodobě, kde se nejčastější doba stání pohybovala v rozmezí 1 – 4 hodin.

Z poskytnutých dat byly stanoveny okrajové podmínky, které zahrnovaly „minimum“ a „extrémní minimum“ nebo-li hodiny případně celé dny, kdy v daném PD neparkuje žádné nebo jen minimum vozidel. Tento stav se většinou vyskytoval jen několikrát do roka, s výjimkou PD River Park, kde bylo parkoviště téměř 1/5 roku neobsazené v určitých hodinách. Minimum pak představuje hodnoty, které bychom mohli očekávat vícekrát do roka. Následně byl určen „průměr“ a „medián“, které měly vždy téměř stejné průběhy. Z toho je možné usoudit, že obsazenost v PD byla rovnoměrně využita, jak v minimálních, tak maximálních hodnotách. Poté bylo definováno „maximum“ obsahující hodnoty, které bychom mohli očekávat v jednotlivých hodinách a „teoretické maximum“, jenž určuje maximální hodnotu, kterou by mohl PD poskytnout. Okrajové podmínky byly stanoveny za předpokladu maximální obsazenosti, kde by každé parkovací místo disponovalo nabíjecí stanicí.

Vedle technologie V2G je možné uvažovat pouze variantu V1G, která je již hojně zavedená. V tomto případě by elektromobil pouze přijímal energii ze sítě, což by výrazně zjednodušilo technické aspekty a snížilo náklady. Namísto budování obousměrných (BD) nabíječek by se dalo uvažovat pouze o jednosměrných nabíječkách (UD). S ohledem na omezený počet elektromobilů kompatibilních s technologií V2G, představuje zejména V1G řešení, které nevyžaduje rozšíření určitého typu vozidel umožňujících koncept V2G.

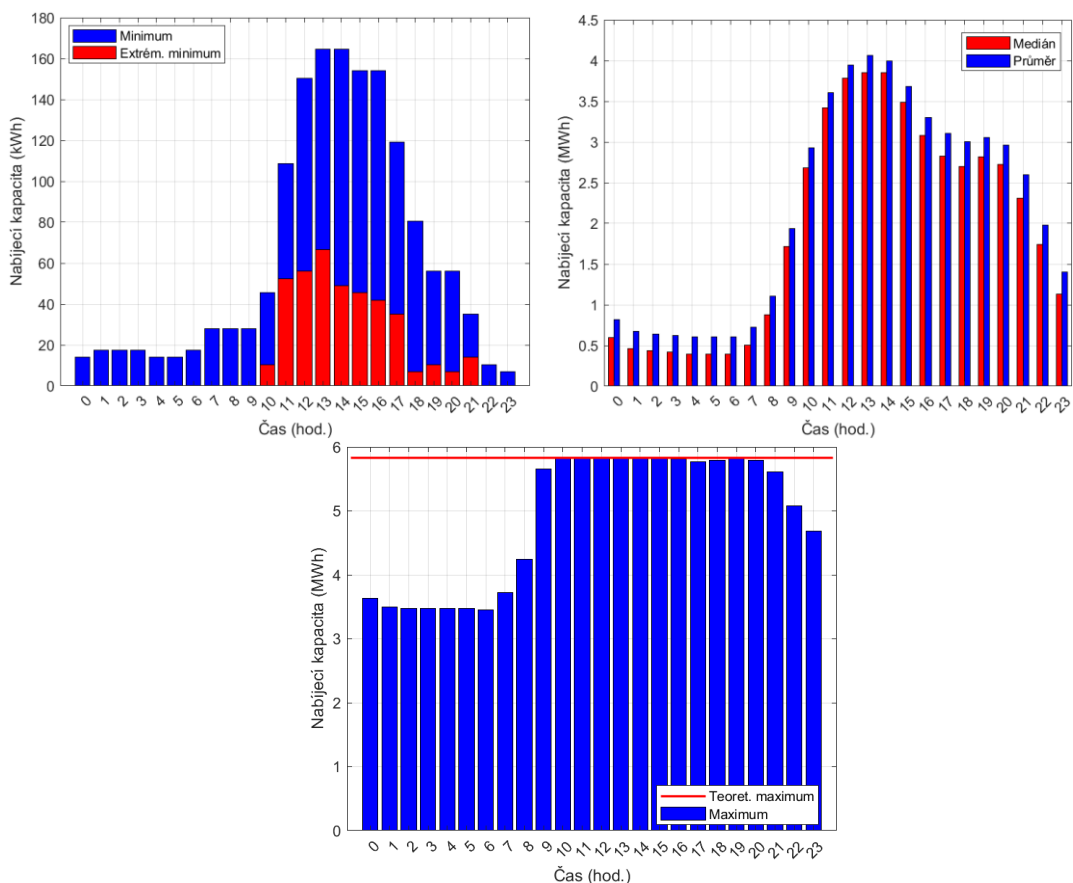
Ačkoli V1G nenabízí všechny výhody V2G, jako je stabilizace sítě a možnost dodávání energie zpět do sítě, může přesto přispět k rozvoji elektromobility. Umožnila by totiž rozšířit infrastrukturu dobíjecích stanic, a tím potenciálně snížit náklady na pořízení a provoz elektromobilů. Z toho důvodu byly okrajové podmínky stanoveny pro nabíjecí (V1G) i pro vybíjecí (V2G) kapacitu. Na obrázku 6.3 lze vidět ukázkou

okrajových podmínek pro nabíjecí kapacitu PD Domini Park. V přílohách jsou znázorněné ostatní okrajové podmínky pro jednotlivé PD.

Okrajové podmínky byly stanoveny pro 3 typy dnů: všední dny, víkendy a mimořádné dny, do nichž patří například státní svátky jako Vánoce nebo Velikonoce. Dále bylo zkoumáno, zda se nevyskytuje výraznější pokles v průběhu letních prázdnin. Pokles nebyl tak zřetelný, proto byly letní prázdniny zařazeny do kategorie všedních dnů a víkendů. Jarní prázdniny pro studenty nebyly v této analýze zohledněny. Důraz byl kladen i na všední dny, konkrétně na pátky, protože se stává stále častějším trendem ve světě pracovat pouze čtyři dny v týdnu. V PD však nebyl tento pokles patrný v obsazenosti, a proto byly pátky také zahrnuty do kategorie všedních dnů.

Všechny řešené hodnoty – extrémní minimum, minimum, medián, průměr, maximum a teoretické maximum (viz obrázek 6.3) – byly sloučeny do jednoho grafu pro jednotlivé PD a pro každý typ dne, ať už se jedná o všední dny, víkendy, nebo mimořádné dny. Nicméně z důvodu zlepšení přehlednosti zde nejsou zahrnuty hodnoty mediánu a extrémního minima.

Dále byly tyto hodnoty zobrazeny pro oba typy přenosu energie – nabíjecí (V1G) kapacitu a vybíjecí (V2G) kapacitu.



Obrázek 6.3 Okrajové podmínky pro všední dny PD Domini Park

Ze stanovení okrajových podmínek je možné PD rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří PD, kde „extrémní minimum“ dosáhlo nulové hodnoty, nebo-li v určitých hodinách byl PD zcela prázdný. Tento stav platí pro PD Domini Park a River Park. Druhou skupinu tvoří PD, které měly v každé hodině určitou míru obsazenosti, kam patří PD JD Parking a Pinki Park. Pro tuto skupinu PD by správci mohli zvažovat platbu uživatelům EV za parkování v jejich PD výměnou za možnost využití kapacity baterií vozidel pro potřeby PD.

Pro stanovení maximální nabíjecí (V1G) kapacity v rámci okrajových podmínek byla zohledněna maximální možná obsazenost parkovacího domu (PD) v každou hodinu po celý den. Přičemž všechny příjezdějící vozidla (EV) jsou téměř vybitá a předpokládají se vozidla s největší možnou velikostí baterie (90 kWh). Nejmenší hodnota kapacity baterie byla stanovena na 20 % a největší hodnota pak na 90 %. V tomto rozmezí pak vozidlo příjezdělo na nabíjecí stanici. Baterie vozidla by tedy mohla poskytnout až 70 % své kapacity do úplného nabití pro nabíjecí kapacitu PD.

Pro stanovení minimální nabíjecí kapacity byla zohledněna minimální obsazenost PD v jednotlivých hodinách (extrémní minima). Příjezdějící vozidla by měla nejmenší baterii (35 kWh) a byla by „skoro nabitá“ (80 %), což by umožnilo poskytnout 10 % kapacity baterie pro nabíjecí kapacitu PD. Hodnota 80 % byla stanovena tak, aby každé vozidlo, které přijede do PD, se muselo alespoň minimálně nabíjet.

Obdobně byly stanoveny maxima a minima pro vybíjecí (V2G) kapacitu, kde pro maximální hodnotu se uvažovala maximální obsazenost. Vozidla by měla plně nabitou baterii (90 %), což by umožnilo okamžitě poskytnout svoji kapacitu baterie do sítě. Pro tento případ se uvažuje největší baterie, a tedy hloubka vybití 50 %. Hodnoty hloubky vybití byly stanoveny následovně – 50 % pro největší baterii, 30 % pro střední a 15 % pro malou.

Pro minimální vybíjecí kapacitu byla zohledněna minimální obsazenost PD a příjezdějící vozidla by měla nejmenší možnou baterii. Předpokládala se „skoro vybitá baterie“ v našem případě 50 %. Hodnota 50 % se stanovila na základě předpokladu, aby každé auto, které přijede do PD mohlo okamžitě poskytnout alespoň nějakou minimální kapacitu své baterie. U hodnoty nižší než 50 % by bylo nutné nejprve auto nabít a poté využívat jeho baterii. Hloubky vybití byly zvoleny 25 % u největší baterie, 15 % u střední baterie a 5 % u nejmenší baterie. Pro minimální kapacitu se zde počítá s nejmenší baterií a tedy 5 %.

Z maximálních hodnot vybíjecí a nabíjecí kapacity byla stanovena teoretická maxima jednotlivých parkovacích domů viz tabulka 6.6. Dané hodnoty by platily při plné obsazenosti PD jenom V1G nabíječkami nebo pouze V2G nabíječkami. S tímto případem se v navrhovaných scénářích nepočítá, proto hodnoty slouží pouze pro pochopení problematiky, kolik by jednotlivé PD mohly maximálně poskytovat.

Zároveň se neřešila proveditelnost nebo-li, zda je takové množství kapacity ze sítě vůbec možné odebírat v jednu chvíli. Tato úvaha by byla pro další zpracování.

Hodnoty v tabulce 6.6 pro nabíjecí výkon počítaly pouze s nabíječkami 22 kW, kdežto u vybíjecího výkonu se počítalo jak s 11 kW tak i 22 kW. Předpokládalo se, že vozidla by se mohla přes noc dobít a následně od 6 ránní poskytovat vybíjecí kapacitu. Vozidla by se tak mohla nabíjet pomaleji než přes den, kdy zde vozidla parkují podstatně kratší dobu než přes noc. K tomuto účelu by přes den sloužily výhradně 22 kW nabíječky. Počítalo se také s bezztrátovým nabíjecím cyklem, toho však v reálném prostředí za normálních podmínek nedosáhneme.

Tabulka 6.6 Teoretická maxima jednotlivých PD

Parkovací dům	Nabíjecí (V1G) výkon	Vybíjecí (V2G) výkon
	(MW)	(MW)
Domini Park	5,830	4,162
River Park	2,420	1,728
Pinki Park	1,936	1,382
JD Parking	8,338	5,953
Σ	18,524	13,225

6.2 Scénáře

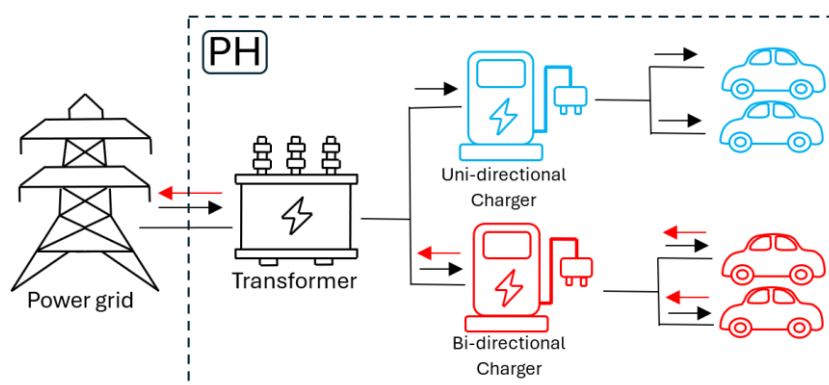
V této práci se uvažují pouze baterie EV jako zdroji elektrické energie, na rozdíl od jiných studií, které zahrnovaly i další zdroje energie jako např. fotovoltaické panely, větrné turbíny či lokální bateriová úložiště. V našem případě žádný z parkovacích domů neobsahuje ani nemá možnost být připojen k těmto alternativním zdrojům energie.

Všechny PD se nachází téměř v samotném centru města Brna s výjimkou PD River Park. Ten se však nachází v blízkosti Winning Group Areny (V Brně známé spíše pod starším názvem „Hala Rondo“), kde se častokrát konají sportovní nebo kulturní akce. River Park disponuje parkovacími místy na střeše a JD Parking je podzemní parkovací dům, není proto možné instalovat fotovoltaické panely¹⁵ na jejich střechy nebo v jejich okolí. Pro PD Pinki Park a Domini Park by bylo možné instalovat fotovoltaické panely na jejich střechu, avšak tato možnost není nijak ověřená proveditelností. Záleželo by také na majiteli případně správci PD, zda by bylo povoleno využití obnovitelných zdrojů energie (OZE). Instalace fotovoltaických panelů by byla nákladná a neefektivní, protože PD by musel být minimálně částečně uzavřen, a také by byla finančně náročná, zejména kvůli výměně kabelů a instalaci nových zařízení. V tomto ohledu by instalace fotovoltaických panelů byla spíše vhodná pro nově plánované parkovací domy.

V modelu se rovněž zohledňuje postupný nárůst elektrických vozidel, který se promítá do jednotlivých scénářů prostřednictvím postupného zvyšování počtu nabíjecích stanic. PD by v rámci těchto scénářů obsahovaly, jak jednosměrné nabíjecí stanice (UD),

¹⁵ U River Parku by se dalo uvažovat o tzv. car-portech.

kteře umožňují pouze nabíjení vozidel, tak i obousměrné nabíjecí stanice (BD), které umožňují jak nabíjení, tak vybíjení energie z vozidel do sítě. To je zapříčeno tím, že v ČR zatím doposud není tolik EV, jako je třeba v jiných zemích v Evropě. Pro obousměrný přenos energie je však nutné, aby vozidlo tento přenos umožňovalo. V dnešní době tento koncept není hojně využíván jak V1G, a setkáme se s ním převážně jako s pilotními projekty. Z toho důvodu se V2G nabíječky uvažují až pro rok 2030 namísto roku 2025. PD budou tedy disponovat dvěma typy nabíječek jednosměrnými a obousměrnými (viz obrázek 6.4). Počty nabíjecích stanic budou s přibývajícím lety růst s ohledem na scénáře nárůstu počtu EV v ČR.



Obrázek 6.4 Schéma navrhovaného PD s oběma typy nabíjecích stanic UD i BD

V analýze se nepočítá s přítomností rychlonabíječek v parkovacích domech, které by umožňovaly extrémně rychlé nabíjení vozidel. Namísto toho se předpokládá instalace nabíjecích stanic o výkonech 11 kW a 22 kW, které jsou považovány za nejvhodnější pro potřeby PD (jedná se pouze o předpoklad). Byla zvažována i možnost instalace stanic s nižšími výkony např. 3,7 kW nebo 7,4 kW, avšak z důvodu krátké doby stání jednotlivých vozidel, by se tato volba nevyplatila. Nabíjení vozidel by trvalo podstatně déle a vozidla by se v této době nestihla dostatečně nabít.

V každém parkovacím domě byla vyhrazena parkovací místa, která neobsahují nabíjecí stanice. Tato místa by sloužila výhradně pro hybridní vozidla nebo vozidla bez elektrického pohonu

V reálném provozu není možné zajistit, aby se vozidlo okamžitě připojilo k nabíjecí stanici poté, co předešlé vozidlo odjede z parkovacího místa. Toto zjednodušení je použito pouze pro modelování této práce, ale nemusí přesně odrážet skutečné chování a provoz nabíjecí infrastruktury pro elektrická vozidla.

Vybíjecí (V2G) kapacita se v našem případě uvažovala pouze v době mezi 6. a 18. hodinou, jak je naznačeno na obrázku 1.2. Je třeba poznamenat, že tento obrázek nepopisuje žádný konkrétní současný stav, jedná se pouze předpoklad pro tuto práci.

Počet jednotlivých typů nabíjecích stanic je zobrazen v tabulce 6.7. Hodnoty jsou uvedené v procentech, z toho důvodu, že každý PD disponuje jinou maximální obsazeností (viz tabulka 5.1). Počet jednosměrných nabíjecích stanic převyšuje

obousměrné, předpokládá se totiž, že se EV budou primárně nabíjet a zároveň zde nebude takový počet aut umožňující obousměrný přenos energie. Se zvyšováním počtu nabíjecích stanic také klesají počty parkovacích míst bez nabíječek. V roce 2035 se počty UD a BD nabíječek vyrovnají a v roce 2040 budou výrazně převažovat BD nabíječky.

Nainstalování správného počtu nabíjecích stanic by mohlo mít ekonomické dopady na provozovatele parkovišť, majitele elektromobilů, a dokonce i města jako celku.

Tabulka 6.7 Navrhované scénáře s postupným nárůstem UD a BD nabíjecích stanic

Rok	Počet V1G nabíjecí stanice	Počet V2G nabíjecí stanice	Místa bez nabíječky
	(%)	(%)	(%)
2025	10	0	90
2030	30	15	55
2035	40	40	20
2040	20	70	10

U jednotlivých scénářů se vycházelo nejen z průměrného nájezdu vozidel denně u uživatelů, kteří jezdí do práce autem, ale také z předpokladu, že v PD parkují vozidla, která jela delší trasu než jenom do 50 km. Vychází se z tiskové zprávy ČEZ [65], kde byly uvedeny hodnoty odebrané energie za prosinec 2023. V této práci se uvažovalo, že odebraná energie byla pouze z nabíjecí stanice 11 kW nebo 22 kW¹⁶.

Dalšími předpoklady byla neměnná fluktuace vozidle v průběhu dne. Podle Gaussovy křivky, která měla za cíl odhadnout chování řidiče, a tím také kapacitu vozidla se kterou by uživatel přijel na nabíjecí stanici. Křivka byla stanovena na základě předešlých parametrů, jako jsou denní nájezd, fluktuace vozidel, odebraná energie, okrajové podmínky, doba parkování či průměrná doba parkování a obsazenosti, se stanovily scénáře s různým počtem nabíjecích stanic. Počítalo se i s pravděpodobností, zda přijede EV či vozidlo bez elektrického pohonu. Hodnota pravděpodobnosti se zvyšovala s narůstajícím počtem EV v ČR. Změnou počtu nabíjecích stanic lze pomocí modelu předpovídat, jak se změní rozložení kolísání vozidel.

Model primárně zohledňuje primární funkci vozidla jako dopravního prostředku. To znamená, že prioritou je zajistit dostatečnou kapacitu baterie pro odjezd vozidla v požadovaný čas. Vozidla parkující v PD např. 4 hodiny by mohla využívat kapacitu baterie pro zpětné dodání energie do sítě (V2G) maximálně 1 – 2 hodiny (v závislosti na specifických podmínkách). Kapacita V2G u zaparkovaných vozidel je ale ovlivněna úrovní nabití baterie při příjezdu do PD. Vozidla s nižší úrovní nabití by tak prioritně využívala nabíjecí kapacitu pro zajištění požadovaného nabití baterie (90%).

¹⁶ Článek zde uvádí i DC rychlonabíječky, které nabíjejí daleko rychleji, avšak ty se také zatím neinstalují na tyto typy parkovišť.

V práci se také neuvažuje finanční stránka scénářů u navyšování počtu nabíjecích stanic, se kterým souvisí i plno jiných ekonomických aspektů. Dále není možné provést reálnou simulaci scénářů, což by pomohlo ověřit jejich praktickou proveditelnost.

Scénáře byly nasimulovány pro všechny PD a také pro případ, kdyby všechny PD tvořily tzv. společnou virtuální kapacitu. Zahrnutí virtuální kapacity by mohlo otevřít nové možnosti pro sdílení a využívání energie mezi jednotlivými účastníky a přispět k vytvoření efektivnějších a udržitelnějších energetických sítí. Simulace by mohla poskytnout cenné poznatky o potenciálních poptávkách po energii a kapacitních potřebách.

Výstupem jednotlivých scénářů jsou hodnoty nabíjecí a vybíjecí kapacity, které by jednotlivé PD mohly poskytnout v průběhu dne po celý rok.

Pro další úvahy by bylo vhodné zahrnout do scénářů analýzu nákladů i ceny elektřiny. Zohlednění dynamických modelů cen elektřiny v simulacích poskytne realističtější představu o finančních důsledcích pro PD i majitele elektromobilů. Může se jednat o cenu elektřiny v závislosti na době odběru, velkoobchodní ceny elektřiny a potenciální dotace či slevy. Stanovení jasných platebních mechanismů pro kapacitu V2G bude rozhodující pro zajištění spravedlivého rozdělení příjmů mezi zúčastněné strany. To může zahrnovat definici toho, kdo platí za kapacitu V2G, strukturu cen a rozdělení finančních prostředků.

Další možností by bylo promítnutí větších kapacit baterii EV, což by mělo být trendem budoucích let.

6.2.1 Scénář pro rok 2025

Na základě předešlých předpokladů byly stanoveny 4 scénáře, které zohledňují nárůst počtu EV v ČR. V prvním scénáři pro rok 2025, který zohledňuje brzkou budoucnost, se uvažovaly pouze jednosměrné (V1G) nabíječky. Celkový počet nabíjecích stanic byl stanoven na 10 % celkové kapacity pro všechny PD. Konkrétní počty daných nabíjecích stanic a míst bez nabíjecích stanic jsou uvedeny v tabulce 6.8. V tomto roce se předpokládaly pouze nabíjecí stanice s výkonem 22 kW. Výjimku tvořil PD Pinki Park, kde nabíjecí stanice s výkonem 11 kW tvořily polovinu nabíjecího výkonu a druhou polovinu stanice s výkonem 22 kW. Tato konfigurace byla navržena s ohledem na převažující přítomnost dlouhodobě zaparkovaných vozidel, což vysvětluje přítomnost nabíjecích stanic s nižším výkonem (11 kW). Maximální nabíjecí výkon byl poté stanoven pro PD River Park na 242 kW ($0 \cdot 11 \text{ kW} + 11 \cdot 22 \text{ kW} = 242 \text{ kW}$). Obdobně byl nabíjecí výkon stanoven i pro ostatní PD (viz tabulka 6.9). V tabulce jsou rovněž uvedeny maximální dosažené nabíjecí kapacity, které jednotlivé PD poskytovaly.

Virtuální kapacita, nebo-li součet všech PD dohromady, je pak znázorněn na posledním řádku tabulky. V tomto případě je maximální nabíjecí (V1G) stanovena jako součet všech maximální nabíjecích výkonů jednotlivých PD. Maximální dosažená vybíjecí kapacita, pak reprezentuje hodnotu, kterou by všechny parkovací domy mohly poskytovat v určitý okamžik (hodinu). Nejedná se tedy o součet všech maximálních

kapacit, které poskytly dané PD. Jednotlivé maximální hodnoty mohly nastat totiž nastat v různých dnech či hodinách.

Tabulka 6.8 Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2025

Parkovací dům	Počet V1G nabíječek	Počet V2G nabíječek	Místa bez nabíječek
	(-)	(-)	(-)
Pinki Park	9		79
River park	11		99
JD Parking	38		341
Domini Park	27		238
Σ	84		758

Tabulka 6.9 Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2025

Parkovací dům	Max nabíjecí (V1G) výkon	Max vybíjecí (V2G) výkon	Max dosažená (V1G) nabíjecí kapacita	Max dosažená (V2G) vybíjecí kapacita
	(kW)	(kW)	(kWh)	(kWh)
Pinki Park	143		140,8	
River park	242		235,6	
Domini Park	594		583	
JD Parking	836		834	
Σ Virtuální kapacity	1815		1641	

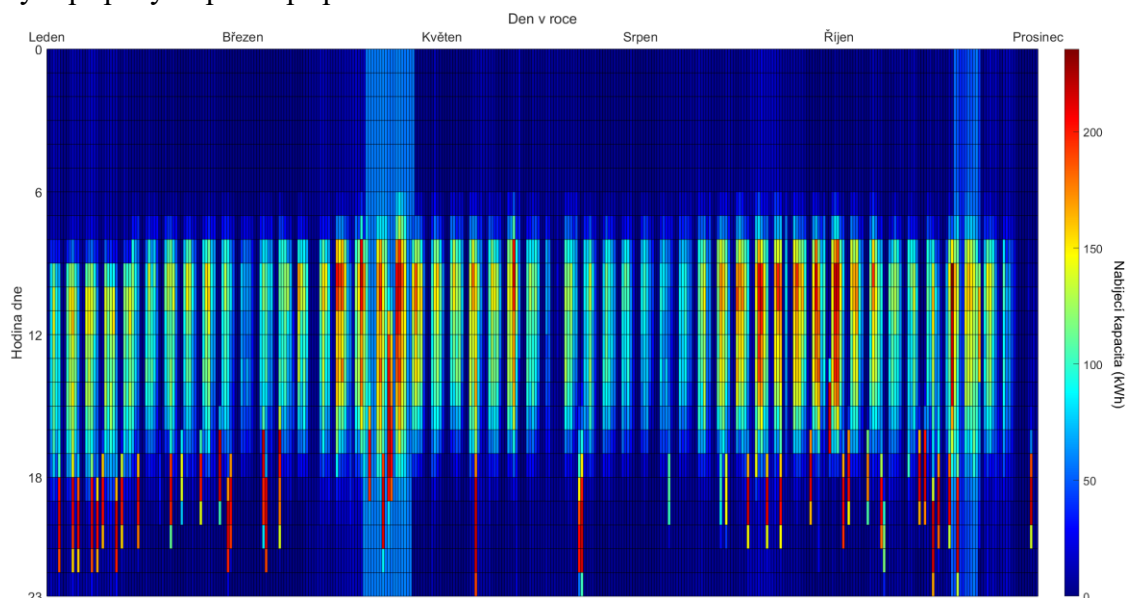
Pro každý rok byly simulovány odběry nabíjecí a vybíjecí kapacity, které by každý PD mohl v daný okamžik v průběhu roku poskytovat. Pro každý scénář je znázorněn právě jeden PD pro ukázkou. Ostatní PD jsou zobrazeny v Příloha F - Scénáře pro rok 2025. V uvedeném scénáři pro rok 2025 je prezentován PD River Park (viz obrázek 6.5), kde je znázorněn 3D graf při pohledu shora pro lepší přehlednost. Na ose X jsou znázorněny dny v roce a na ose Y jsou hodiny v průběhu dne, barevný sloupec na pravém boku poté zobrazuje hodnoty dostupných kapacit (osu Z). Toto platí i pro ostatní scénáře.

V grafu jsou zaznamenány výrazné „peaky“ v návštěvnosti, a tím také zvýšený odběr nabíjecí kapacity mezi 18. a 22. hodinou. Tento jev je zapříčiněn pořádáním kulturních nebo sportovních událostí ve Winning Group Areně, které přitahují množství lidí a zaplňují parkoviště téměř do úplné kapacity. Dále je vidět patrná nekonzistentní charakteristika během celého roku, kdy hodnoty návštěvnosti v jednotlivé dny a hodiny jsou nepravidelné. U ostatních PD se setkáme spíše s konzistentními průběhy. Zejména v období mezi dubnem a začátkem května i v listopadu se pozoruje zvýšená aktivita jak v ranních, tak večerních hodinách, což odpovídá poskytnutým datům. Nelze proto

s jistotou říci, proč nebo za jakých okolností daná situace nastala. Scénáře byly vytvářeny na základě jednotlivých měsíců, které v celku tvořily celý rok. Pokud se vyskytly odchylky, jako je zde zmíněno, byly scénáře rozděleny do týdenních segmentů, které byly poté seskupeny do měsíčních celků. Je však důležité zdůraznit, že tato situace nemusí být pravidlem každý rok a může se jednat o výjimečný stav.

Další, čeho si lze povšimnout, je téměř nulová nabíjecí kapacita mezi půlnocí a 6. hodinou ranní, tato událost vychází opět z poskytnutých dat. Četnosti nulových odběrů nabíjecí kapacity se oproti ostatním PD lišily. Zde se pohybujeme v řádech desítek dnů, což představuje výrazný rozdíl oproti ostatním parkovacím domům. PD Domini Park eviduje tuto skutečnost pouze v řádech jednotek dnů. Ostatní parkovací domy nevykazují žádné nulové nabíjecí kapacity, neboť jsou v těchto hodinách alespoň z části obsazené.

Závěrem lze konstatovat, že maximální poptávka po nabíjecí kapacitě případně po vybíjecí kapacitě PD River Park se projevuje především v období konání kulturních či sportovních událostí. Termíny jednotlivých událostí jsou dopředu známy a můžeme se na tyto případy dopředu připravit.



Obrázek 6.5 Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD River Park pro rok 2025

6.2.2 Scénář pro rok 2030

Druhý scénář počítá s rokem, kdy se předpokládá vyšší četnost EV oproti roku 2025. Počítá se také, že alespoň část EV bude schopna podporovat V2G a tím také umožní poskytovat vybíjecí kapacitu zpět do sítě. Tento model by se právě lišil v instalaci obousměrných nabíjecích stanic oproti roku 2025, kde se dané nabíjecí stanice neuvažovaly. Stále však převládají jednosměrné nabíjecí stanice ve srovnání s obousměrnými. Celkový počet nabíjecích stanic byl navýšen z původních 10 % na 30 % u jednosměrných nabíječek a z 0 % na 15 % u obousměrných nabíječek. Přesné počty jednosměrných a obousměrných nabíjecích stanic jsou uvedeny v tabulce 6.10.

Rozložení jednotlivých typů nabíječek (11 kW a 22 kW) bylo stanoveno následovně: pro PD Pinki Park zůstal zachován poměr z roku 2025, tedy 50 % 11 kW a 50 % 22 kW. PD River Park disponuje pouze nabíječkami o výkonu 22 kW (100 %). PD Domini Park má poměr 5 % 11 kW a 95 % 22 kW, zatímco parkovací dům JD Parking má poměry stanoveny na 10 % 11 kW a 90 % 22 kW. Navýšení počtu 11 kW je odůvodněno tím, že se předpokládá nabíjení přes noc, kdy není zapotřebí tak velký výkon jako nabíječky, které poskytují výkon 22 kW. Uvedená procenta 11 kW pak odpovídají odhadovanému podílu vozidel nabíjených právě přes noc. Pro parkovací dům JD Parking je hodnota největší, jelikož se jedná o parkovací dům s nejvyšším počtem parkovacích míst. Z toho důvodu je zde přes noc větší obsazenost vozidly než u jiných PD.

Tabulka 6.10 Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2030

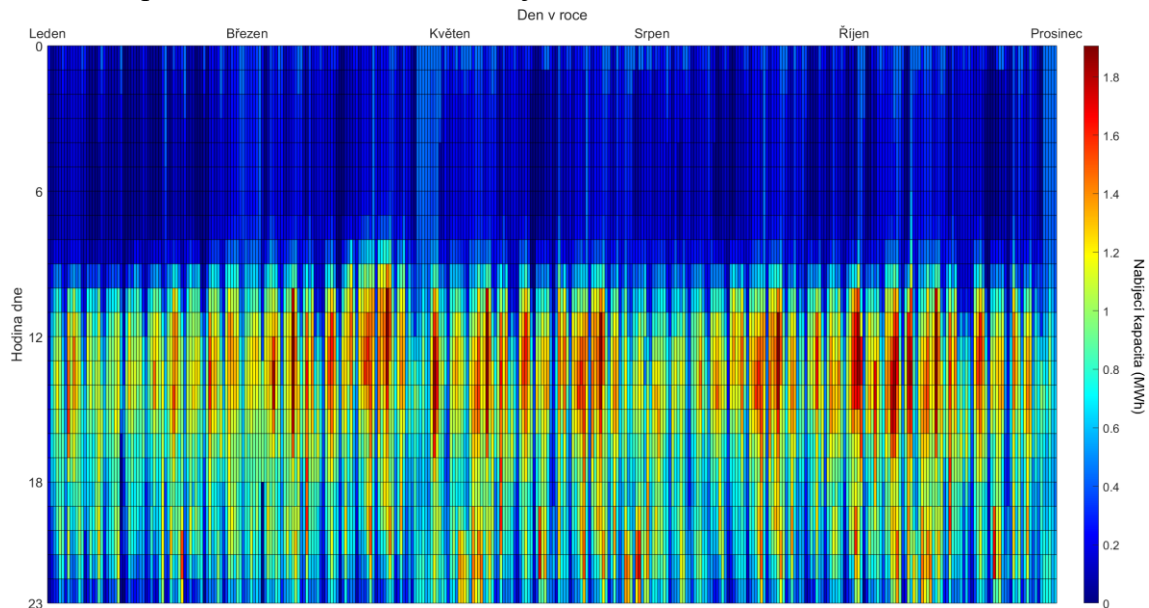
Parkovací dům	Počet V1G nabíječek	Počet V2G nabíječek	Místa bez nabíječek
	(-)	(-)	(-)
Pinki Park	26	14	48
River park	33	17	60
Domini Park	80	40	145
JD Parking	114	57	208
Σ	253	128	461

Tabulka 6.11 Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2030

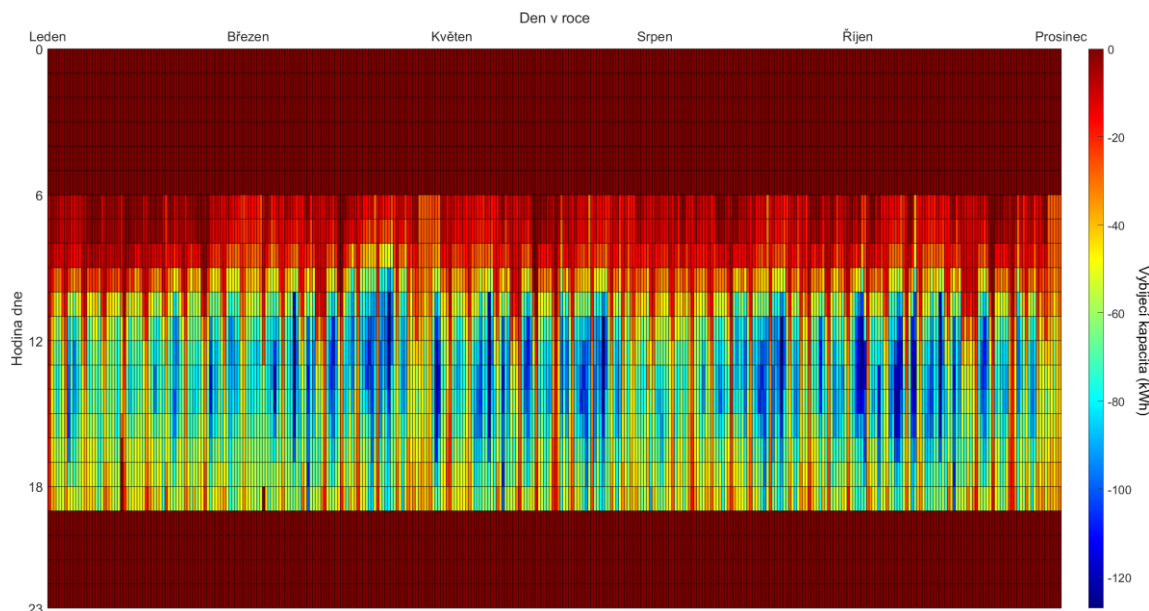
Parkovací dům	Max nabíjecí (V1G) výkon	Max vybíjecí (V2G) výkon	Max dosažená (V1G) nabíjecí kapacita	Max dosažená (V2G) vybíjecí kapacita
	(MW)	(MW)	(MWh)	(kWh)
Pinki Park	0,429	0,231	0,369	68,1
River park	0,726	0,374	0,419	83,5
Domini Park	1,716	0,858	1,906	127,1
JD Parking	2,383	1,192	2,864	185,3
Σ Virtuální kapacity	5,254	2,655	5,285	359,1

Maximální nabíjecí výkon (bez V2G nabíječek) byl poté stanoven pro PD Domini Park na 1,716 MW ($4 \cdot 11 \text{ kW} + 76 \cdot 22 \text{ kW} = 1,716 \text{ MW}$), přičemž hodnota 4 odpovídá 5 % z celkového počtu jednosměrných nabíječek (80) a 76 jako 95 % z celkového počtu. Obdobně pak byl stanoven nabíjecí (V1G) a vybíjecí (V2G) výkon i pro ostatní PD viz tabulka 6.11. Oproti roku 2025 je nyní poprvé uvedena i maximální dosažená vybíjecí kapacita, kterou by jednotlivé PD mohly v jednu chvíli poskytovat. Maximální hodnoty nabíjecí a vybíjecí kapacity nemusely nastat ve stejný časový okamžik (hodina), proto

hodnoty mohou být i vyšší, než je maximální nabíjecí a vybíjecí výkon dohromady. Pro lepší pochopení je třeba zdůraznit, že obousměrná (V2G) nabíjecí stanice umožňuje poskytovat jak vybíjecí, tak i nabíjecí výkon. Potom by celkový maximální nabíjecí výkon byl pro PD Domini Park stanoven jako součet maximálního nabíjecího a vybíjecího výkonu. Hodnota by pak dosahovala 2,574 MW ($1,716 \text{ MW} + 0,858 \text{ MW} = 2,574 \text{ MW}$). Nicméně v tomto konkrétním okamžiku by hodnota vybíjecího výkonu byla nulová, čímž by PD nemohl poskytovat žádnou vybíjecí kapacitu zpět do sítě. Tato situace se promítá do každého z následujících scénářů.



Obrázek 6.6 Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD Domini Park pro rok 2030



Obrázek 6.7 Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD Domini Park pro rok 2030

Pro scénář roku 2030 je prezentován parkovací dům Domini Park. Oproti roku 2025 je zde zobrazena nabíjecí (obrázek 6.6) i vybíjecí kapacita (obrázek 6.7). Maximální hodnoty vybíjecí kapacity byly minimální oproti maximálním hodnotám nabíjecích kapacit PD. Předpokládalo se, že většina uživatelů stále nebude využívat službu V2G v takové míře jako V1G. Maximální hodnota vybíjecí kapacity PD Domini Park byla poté stanovena na 127,1 kWh. Virtuální kapacita všech PD dosahovala hodnoty 359,1 kWh.

Parkovací dům Domini Park, na rozdíl od PD River Park, vykazoval daleko konzistentnější průběh v průběhu roku. Jsou zde také vidět zvýšené hodnoty nabíjecí kapacity mezi 19 a 23 hodinou. Nejvyšší hodnoty kapacit jsou v poledních hodinách, kdy je parkovací dům z větší části obsazen.

6.2.3 Scénář pro rok 2035

Třetí scénář se týká roku s předpokládanou vyšší četností elektrických vozidel umožňujících koncept V2G v porovnání s rokem 2030. Z toho důvodu budou parkovací domy moci poskytovat větší vybíjecí (V2G) kapacitu oproti předešlému scénáři. Poměr obousměrných nabíjecích stanic ku jednosměrným nabíjecích stanicím by se vyrovnal. V tomto modelu stále převládá nabíjení nad vybíjením, jelikož se stále musí zachovat, aby vozidlo plnilo funkci dopravního prostředku a poté je až možné využívat jeho kapacitu. Celkový počet nabíjecích stanic byl navýšen z původních 30 % na 40 % u jednosměrných nabíječek a z 15 % na 40 % u obousměrných nabíječek. Přesné počty jednosměrných a obousměrných nabíjecích stanic jsou uvedeny v tabulce 6.12.

Stanovení rozložení jednotlivých typů nabíječek (11 kW a 22 kW) bylo rozvrženo následovně: pro PD Pinki Park byl zachován poměr z roku 2030, kdy představovaly 50 % nabíječek s výkonem 11 kW a 50 % s výkonem 22 kW. V případě PD River Park je oproti roku 2030 navýšen počet 11 kW z 0 % na 5 % pro 11 kW a 95 % 22 kW. Parkovací dům Domini Park byl poměr navýšen na 8 % 11 kW z původních 5 % snížen z 95 % na nových 92 % 22 kW. Parkovací dům JD Parking disponuje 12 % 11 kW a 88 % 22 kW nabíječkami.

Tabulka 6.12 Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2035

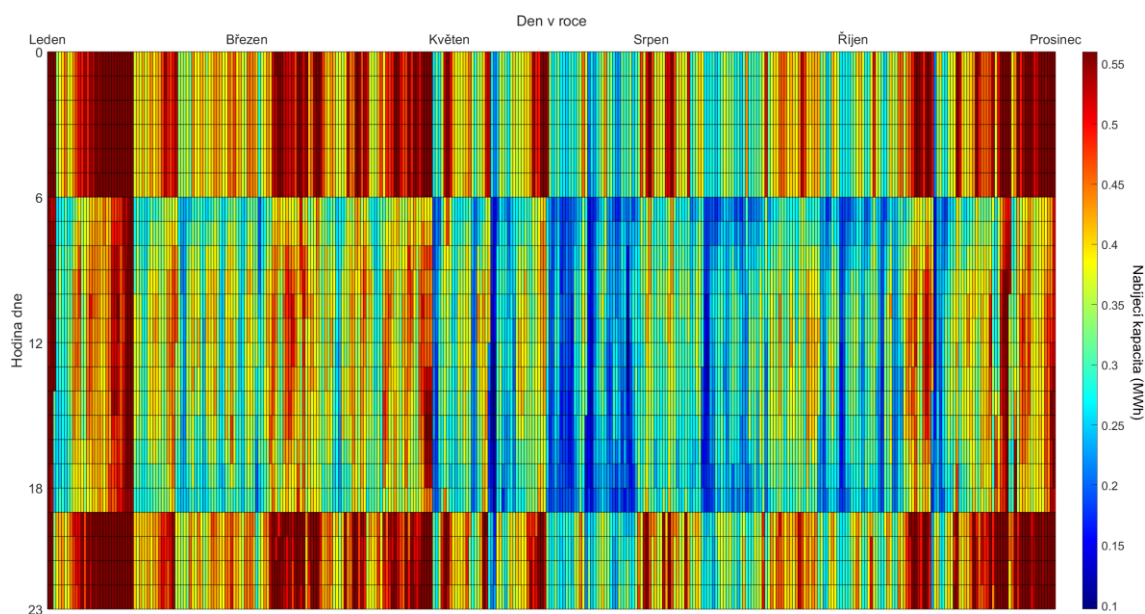
Parkovací dům	Počet V1G nabíječek	Počet V2G nabíječek	Místa bez nabíječek
	(-)	(-)	(-)
Pinki Park	35	35	18
River park	44	44	22
Domini Park	106	106	53
JD Parking	152	152	75
Σ	337	337	168

Předpokládá se, že elektrická vozidla se budou primárně nabíjet v noci, což umožní, aby od 6 hodin ráno byla dostupná vybíjecí kapacita, která by mohla být využita do doby,

než přijedou další vozidla, která by je mohla nahradit. Poté, co by poskytovala svou kapacitu, by se tato vozidla musela dobít, což by znamenalo, že by po určitou dobu nemohla poskytovat vybíjecí kapacitu do sítě. Tento cyklus nabíjení a vybíjení by byl důležitým faktorem při plánování a optimalizaci provozu nabíjecí infrastruktury v parkovacích domech.

Tabulka 6.13 Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2035

Parkovací dům	Max nabíjecí (V1G) výkon	Max vybíjecí (V2G) výkon	Max dosažená (V1G) nabíjecí kapacita	Max dosažená (V2G) vybíjecí kapacita
	(MW)	(MW)	(MWh)	(MWh)
Pinkí Park	0,583	0,583	0,548	0,331
River park	0,944	0,944	1,047	0,312
Domini Park	2,239	2,239	2,568	1,347
JD Parking	3,144	3,144	3,274	2,540
Σ Virtuální kapacity	6,910	6,910	8,161	4,797

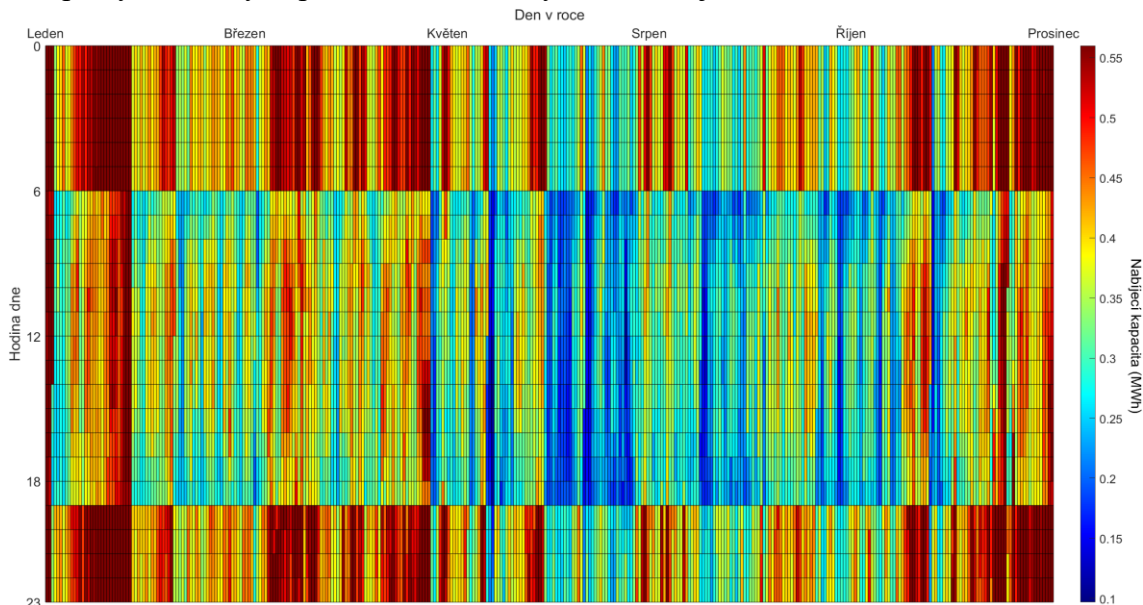


Obrázek 6.8 Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD Pinkí Park pro rok 2035

Pro PD Pinkí Park byl maximální nabíjecí výkon (bez V2G nabíječek) stanoven na 0,578 MW ($17 \cdot 11 \text{ kW} + 18 \cdot 22 \text{ kW} = 0,583 \text{ MW}$). Stejná hodnota platí i pro maximální vybíjecí výkon, neboť počet jednosměrných i obousměrných nabíječek je stejný. Hodnoty 17 a 18 z předchozího výpočtu odpovídají celkovému počtu nabíjecích stanic (17+18) viz tabulka 6.12. Obdobně pak byl stanoven nabíjecí (V1G) i vybíjecí (V2G) výkon pro ostatní PD viz tabulka 6.13. Maximální hodnoty vybíjecí kapacity, ve srovnání s předchozím rokem podstatně vzrostly. Avšak i nadále převládá maximální nabíjecí

kapacita nad vybíjecí kapacitou. Maximální nabíjecí kapacita PD Pinki Park byla stanovena na 0,548 MWh a poté maximální vybíjecí kapacita 0,331 MWh.

V tomto scénáři je zobrazena vybíjecí a nabíjecí kapacita parkovacího domu Pinki Park (viz obrázky 6.8 a 6.9). U nabíjecí kapacity je vidět nárůst nabíjecí kapacity především v ranních dobách od půlnoci do 6. ranní a poté od 19. hodiny večerní do půlnoci. To je způsobeno především tím, že se zde obsazenost v průběhu dne nemění, a zůstává konzistentní i ranních i večerních hodinách. Tímto se odlišuje od ostatních PD, kde počty obsazených parkovacích míst výrazně klesají v této době.



Obrázek 6.9 Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD Pinki Park pro rok 2035

6.2.4 Scénář pro rok 2040

Čtvrtý a zároveň poslední modelovaný scénář pro rok 2040 očekává masivní nárůst elektromobilů s podporou technologie V2G, která by měla být standardem u každého nově vyrobeného EV. V důsledku toho se předpokládá nahrazení většiny V1G nabíjecích stanic V2G nabíjecími stanicemi. Obousměrné V2G stanice by představovaly 70% zastoupení, zatímco jednosměrným V1G stanicím by připadlo 20 %. Zbývajících 10 % by bylo vyhrazeno pro neelektrická vozidla, nebo vozidla, která by se nemusela nabíjet. Stále se však počítá s dominancí nabíjení nad vybíjením, avšak vybíjecí kapacita PD se podstatně zvýší oproti roku 2035. Celkový počet nabíjecích stanic byl snížen z původních 40 % na 20 % u jednosměrných nabíječek a navýšen ze 40 % na 70 % u obousměrných nabíječek. Přesné počty jednosměrných a obousměrných nabíjecích stanic jsou uvedeny v následující tabulce 6.14.

Stanovení rozložení jednotlivých typů nabíječek (11 kW a 22 kW) bylo rozvrženo následovně: pro PD Pinki Park byl zachován poměr z roku 2030 (2035), kdy představovaly 50 % nabíječek s výkonem 11 kW a 50 % s výkonem 22 kW. V případě PD River Park je oproti roku 2035 navýšen počet 11 kW z 5 % na 10 % pro 11 kW

a 90 % 22 kW. U parkovacího domu Domini Park byl poměr navýšen na 12 % 11 kW z původních 8 % a snížen z 92 % na nových 88 % 22 kW nabíječek. Parkovací dům JD Parking disponuje 16 % 11 kW a 84 % 22 kW nabíječkami. Navýšení počtu nabíjecích stanic o výkonech 11 kW je motivováno zajištěním nabíjení všech vozidel parkujících v parkovacích domě přes noc. Tímto krokem se záměrně minimalizuje použití nabíječek s výkonem 22 kW v nočních hodinách. Výkon 22 kW by využívaly vozidla parkující krátkodobě přes noc.

Tabulka 6.14 Porovnání počtu nabíjecích stanic jednotlivých PD pro rok 2040

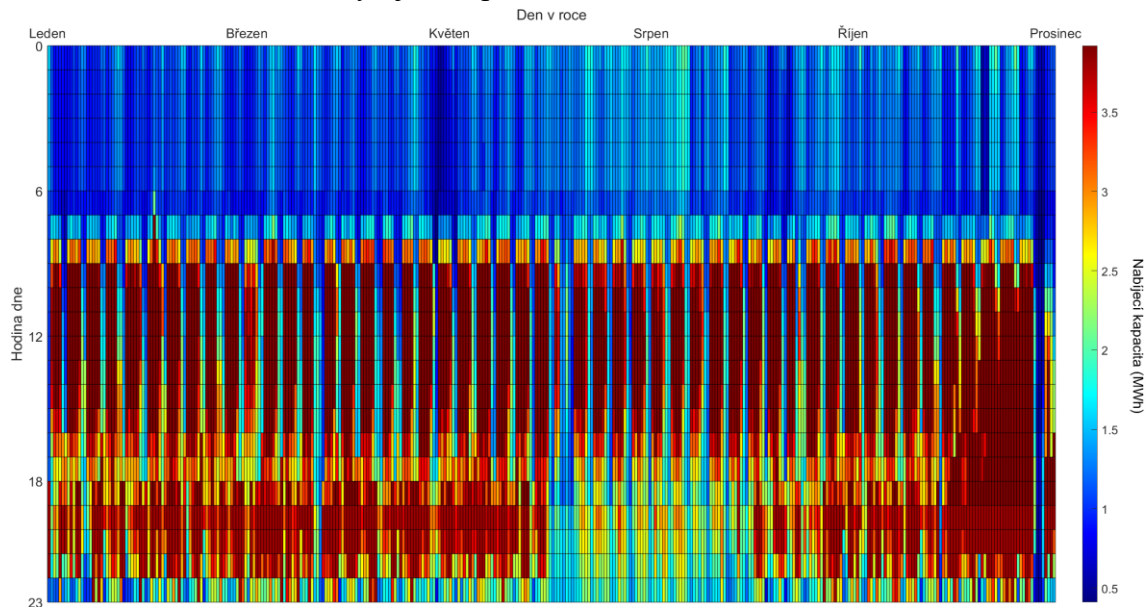
Parkovací dům	Počet V1G nabíječek	Počet V2G nabíječek	Místa bez nabíječek
	(-)	(-)	(-)
Pink Park	18	62	8
River park	22	77	11
Domini Park	53	186	26
JD Parking	76	265	38
Σ	169	590	83

Tabulka 6.15 Porovnání maximálních výkonů a kapacit jednotlivých PD pro rok 2040

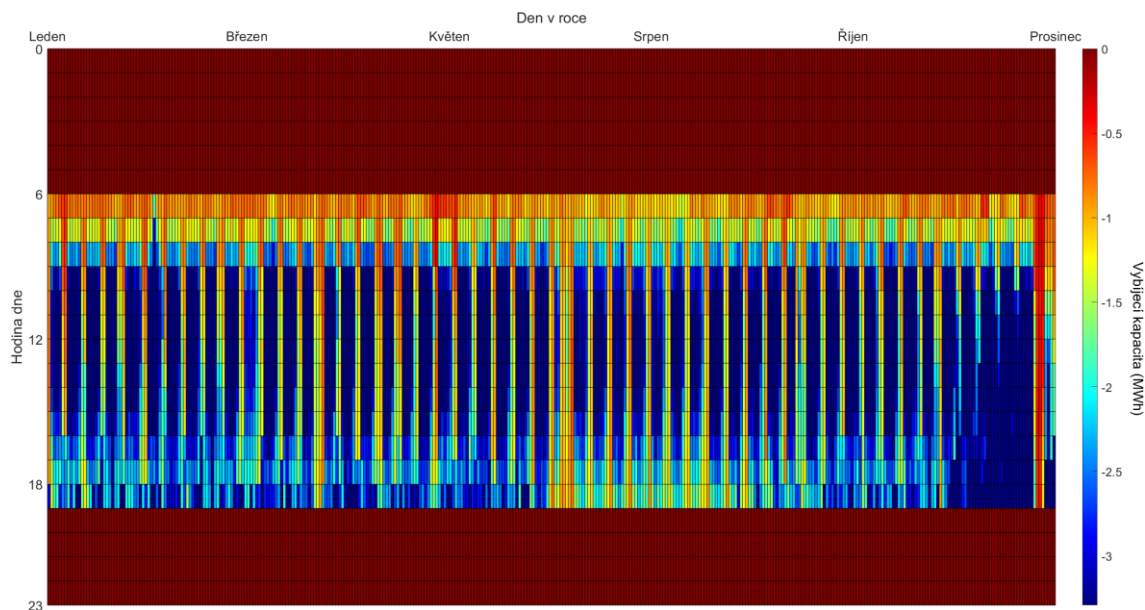
Parkovací dům	Max nabíjecí (V1G) výkon	Max vybíjecí (V2G) výkon	Max dosažená (V1G) nabíjecí kapacita	Max dosažená (V2G) vybíjecí kapacita
	(MW)	(MW)	(MWh)	(MWh)
Pink Park	0,297	1,023	0,651	0,680
River park	0,460	1,609	1,440	0,612
Domini Park	1,097	3,848	3,052	1,889
JD Parking	1,540	5,368	3,748	3,153
Σ Virtuální kapacity	3,394	11,845	8,865	6,128

Pro parkovací dům JD Parking byl maximální nabíjecí výkon (bez V2G nabíječek) stanoven na 1,539 MW ($12 \cdot 11 \text{ kW} + 64 \cdot 22 \text{ kW} = 1,54 \text{ MW}$), maximální vybíjecí výkon vyšel 5,365 MW ($42 \cdot 11 \text{ kW} + 223 \cdot 22 \text{ kW} = 5,368 \text{ MW}$). Hodnoty 12 a 64 z předchozího výpočtu představují počty nabíjecích stanic o výkonech 11 kW nebo 22 kW. Součtem daných čísel pak dostaneme celkový počet obousměrných nabíječek. Obdobně pro hodnoty 12 a 64 získáme počet jednosměrných nabíječek. Podobným způsobem byl stanoven nabíjecí (V1G) i vybíjecí (V2G) výkon pro ostatní parkovací domy viz tabulka 6.15. Maximální hodnoty nabíjecího výkonu (pouze V1G) pro jednotlivé PD klesly o polovinu oproti roku 2035, zatímco maximální hodnoty vybíjecího výkonu vzrostly na dvojnásobnou hodnotu. V porovnání s rokem 2035 došlo

u parkovacích domů JD Parking a Pinki Park k vyrovnání maximálních dosažených hodnot nabíjecí a vybíjecí kapacity. Pro zbývající PD stále výrazně převládala nabíjecí kapacita nad vybíjecí. Maximální nabíjecí kapacita PD JD Parking byla stanovena na 3,153 MWh a maximální vybíjecí kapacita na hodnotu 3,748 MWh.



Obrázek 6.10 Zobrazení nabíjecí (V1G) kapacity PD JD Parking pro rok 2040



Obrázek 6.11 Zobrazení vybíjecí (V2G) kapacity PD JD Parking pro rok 2040

Pro tento scénář je pro ukázkou vybíjecí a nabíjecí kapacity vybrán parkovací dům JD Parking viz obrázky 6.10 a 6.11. PD disponuje nabíjecí kapacitou v každé hodině, nejvíce však v dopoledních a odpoledních hodinách, kdy parkovací dům je téměř plně obsazen. Je zde vidět také nárůst nabíjecí kapacity v prosinci, kdy lidé jezdí nakupovat skrze Vánoce, což se samozřejmě podepíše na obsazenosti. Obdobně jako u parkovacího domu

River Park jsou zde vidět „peaky“ u nabíjecí kapacity mezi 18. a 22. hodinou večerní. To je zapříčiněno především divadelními představeními konaných v nedalekých divadlech jako jsou Janáčkovo divadlo nebo Městské divadlo Brno. V letních měsících divadla nekonají žádná představení, proto nedochází k tak vysokým požadavkům na nabíjení.

ZÁVĚR

Nárůst elektromobility je jedním z hlavních trendů v sektoru dopravy. V roce 2023 bylo v EU nově registrovaných 14,6 % BEV, čímž překonaly diesellové automobily (13,6 %). Nejvyšší podíl elektromobility mají tradičně severní státy zejména Norsko s podílem 86,7 % elektrických vozidel. V EU mají nejvyšší zastoupení k roku 2023 státy Švédsko (39,9 %) a Dánsko (39,2 %). Podle navržené legislativy mají být do roku 2030 sníženy emise oxidu uhličitého z osobních automobilů až o 50 %. Na automobilky, které vyrábí do 1 000 nových vozidel ročně, by se tato nová pravidla nevztahovala. Tento nárůst je poháněn několika faktory, jako jsou zvyšující se ceny paliv, zlepšující se technologie elektrických vozidel, dotace na nákup elektrických vozidel případně zákazem prodeje automobilů se spalovacími motory do určitého roku.

Bezdrátové nabíjení se stává další slibnou technologií pro usnadnění a zrychlení rozvoje elektromobility. V současnosti se využívají indukční a rezonanční nabíjení, které podporuje technologii V2X. Bezdrátové nabíječky lze instalovat i na místech, kde by běžné nabíjecí stanice nebylo možné umístit. Zjednodušuje se proces nabíjení pro všechny uživatele, jelikož se eliminuje nutnost používat různé typy konektorů. Na druhou stranu je nutné zmínit i některá úskalí jako je vyšší cena, omezená dostupnost bezdrátových nabíječek a instalace speciální podložky pod vozidlo. Bezdrátové nabíjecí stanice také čelí výzvám spojeným s elektromagnetickým rušením, které má značný vliv na výkon nabíječky i na jeho okolí.

Praktická část této práce se zaměřila právě na propojení parkovacích domů s konceptem V2G. Elektromobily zaparkované v parkovacím době by sloužily jako mobilní zásobárna elektrické energie, která by mohla být využita k pokrývání vysokých poptávek po energii. Pro analýzu energetického využití byly vybrány 4 parkovací domy: Pinki Park, River Park, Domini Park a JD Parking. Pro každý parkovací dům byla stanovena fluktuace vozidel, která byla analyzována podle tří typů velikostí baterií, jak je uvedeno v tabulce 6.4. Data byla shromážděna během návštěv parkovacích domů s předpokladem, že každé parkující vozidlo je elektrické.

Pro každý parkovací dům byly stanoveny okrajové podmínky, které definovaly rozsah, kdy by vozidla přijížděla do parkovacího domu vybitá a neposkytovala žádnou energii, až po situace, kdy přijedou nabitá a mohou okamžitě poskytnout kapacitu své baterie. Pro koncept V1G by platil opak, že vybité vozidlo by mohlo poskytnout nabíjecí kapacitu a nabitě vozidlo neposkytne téměř žádnou kapacitu. Okrajové podmínky bylo nutné stanovit, jelikož se z nich vycházelo u jednotlivých scénářů. Byly stanoveny pro všechny parkovací domy, neboť každý parkovací dům disponuje jinou fluktuací vozidel a maximální obsazeností. Okrajové podmínky byly stanoveny pro 3 typy dnů: všední dny, víkendy a mimořádné dny, do nichž patří například státní svátky jako jsou Vánoce nebo Velikonoce.

Na základě stanovených okrajových podmínek lze parkovací domy rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří parkovací domy, které byly v určitých časových intervalech zcela prázdné, konkrétně PD Domini Park a River Park. Druhou skupinu představují parkovací domy s určitou úrovní obsazenosti ve všech časových intervalech, kam patří PD JD Parking a Pinki Park.

Z maximálních hodnot nabíjecí a vybíjecí kapacity byla stanovena teoretická maxima, která by jednotlivé parkovací domy mohly poskytovat (tabulka 6.6). Tyto hodnoty platí při plné obsazenosti PD pouze V1G nebo V2G nabíječkami. Teoretický maximální nabíjecí výkon všech parkovacích domů dohromady činí 18,524 MW a teoretický maximální vybíjecí výkon je 13,225 MW.

V této práci jsou jako zdroje elektrické energie uvažovány pouze baterie elektromobilů. Scénáře se liší v závislosti na specifických vlastnostech jednotlivých parkovacích domů, jako je celková kapacita, průměrná doba parkování a typy elektrických vozidel. Model zahrnuje postupný nárůst počtu elektromobilů, což se odráží ve scénářích zvýšeným počtem nabíjecích stanic.

Parkovací domy disponují jak jednosměrnými, tak obousměrnými nabíjecími stanicemi. Oba typy nabíjecích stanic jsou zde z toho důvodu, že se počítá také s postupným nárůstem vozidel umožňujících technologii V2G. Všechny modely elektromobilů totiž nejsou schopny V2G, především kvůli nákladům spojeným s obousměrným nabíjením. Vyžadují totiž instalaci nového softwaru a hardwaru umožňujícího přenos energie mezi vozidlem a elektrickou sítí. Instalace pouze obousměrných (V2G) nabíjecích stanic by tak byla velice nákladná a neefektivní.

Na základě předešlých předpokladů byly stanoveny 4 scénáře, které zohledňují nárůst počtu elektrických vozidel v ČR viz tabulka 6.7. Navržené scénáře byly vytvořeny pro rok 2025 až 2040. První scénář pro rok 2025 zohledňuje brzkou budoucnost a zvažuje pouze jednosměrné (V1G) nabíječky. Počítalo se především s tím, že zde nebude dostatečný počet elektromobilů, a proto se obousměrné (V2G) nabíjecí stanice neuvažovaly. Každý scénář měl rozložení jednotlivých typů nabíječek (11 kW a 22 kW). Pro každý scénář byly simulovány nabíjecí a vybíjecí kapacity, které by parkovací dům mohl poskytovat v průběhu roku. Vybíjecí kapacita se uvažovala pouze mezi 6. a 18. hodinou. Stanovena byla i virtuální kapacita, což je součet všech parkovacích domů. Každý scénář pak zobrazoval jeden parkovací dům. Scénář pro rok 2030 počítá s vyšší četností elektromobilů oproti roku 2025. Část z nich také bude schopna podporovat technologii V2G. Maximální hodnoty vybíjecí (V2G) kapacity zde nepřesáhly hranici 200 kWh. Třetí scénář už počítal s vyšší četností vozidel umožňujících V2G. Počty nabíjecích stanic (obousměrných i jednosměrných) se v tomto scénáři vyrovnaly. Maximální vybíjecí kapacity rapidně vzrostly oproti roku 2030. Čtvrtý a zároveň poslední scénář pro rok 2040 počítal s technologií V2G u převážné většiny elektromobilů. V tomto roce také silně převládaly obousměrné nabíjecí stanice, které

z části nahradily jednosměrné. Hodnoty maximálních nabíjecích a vybíjecích kapacit se u některých parkovacích domů téměř vyrovnaly.

Závěrem lze konstatovat, že maximální poptávka po nabíjecí kapacitě v parkovacím domě se projevuje především v období konání kulturních či sportovních událostí. Termíny jednotlivých událostí jsou dopředu známy a můžeme se na tyto případy dopředu připravit.

Parkovací struktury s integrovanými nabíjecími stanicemi pro elektromobily představují významný potenciální zdroj energie pro energetickou síť. Dopad na energetickou bilanci parkoviště závisí na řadě faktorů, včetně typu parkoviště, typu nabíjecích stanic, počtu parkovacích míst a dostupné kapacity. Aby bylo dosaženo plného potenciálu, je třeba technologie V2G dále rozvíjet a zavést vhodné tarifní a pobídkové mechanismy. Stanovením optimálních scénářů a poskytnutím dostatečné nabíjecí infrastruktury může být podpořeno přijetí elektromobilů, což by mohlo vést ke snížení emisí a zlepšení kvality ovzduší v městských oblastech.

Je třeba poznamenat, že ačkoli V2G představuje slibnou budoucnost pro elektrická vozidla a elektrickou síť, tato technologie je stále ve fázi vývoje a zatím není široce dostupná. Technologie V1G je současným standardem pro nabíjení elektromobilů. V2G je pokročilejší technologie s potenciálem inovovat způsob interakce elektromobilů s elektrickou sítí, což přinese výhody jak provozovatelům sítě, tak majitelům elektromobilů.

LITERATURA

- [1] *A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061512006047>. [cit. 2023-12-31].
- [2] *A Novel Technological Review on Fast Charging Infrastructure for Electrical Vehicles: Challenges, Solutions, and Future Research Directions*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823008943>. [cit. 2024-02-03].
- [3] *A Review of Wireless Power Transfer Systems for Electric Vehicle Battery Charging with a Focus on Inductive Coupling*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/9/1355>. [cit. 2024-01-30].
- [4] *Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045 ze dne 7.12.2021*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2023/7/2023_FR_EE_NAPSG_Emobilita_garaze_verejne.pdf. [cit. 2024-02-14].
- [5] *Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045*. Online. 2021. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2022/2/Elektromobilita_predikce-do-2045.pdf. [cit. 2024-02-14].
- [6] *Analysis, Design and Realization of a Wireless Power Transfer Charger for Electric Vehicles: Theoretical Approach and Experimental Results*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2032-6653/13/7/121>. [cit. 2024-01-30].
- [7] *Autobusové nádraží Zvonařka je po rekonstrukci důstojným prostorem*. Online. ASB. 2021. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/obcanske-stavby/autobusove-nadrazi-zvonarka-je-po-rekonstrukci-dustojnym-verejnym-prostorem>. [cit. 2023-10-21].
- [8] *Autobusové nádraží Zvonařka*. Online. OneManBrnoBlog. 2021. Dostupné z: <https://www.onemanbrnoblog.cz/zvonarka/>. [cit. 2023-10-21].
- [9] *Bidirectional Wireless EV Charging and Smart Grid Integration*. Online. EEPOWER. 2021. Dostupné z: <https://eepower.com/technical-articles/bidirectional-wireless-ev-charging-and-smart-grid-integration/#>. [cit. 2023-11-04].
- [10] BRABEC, Martin. *Perspektivy rozvoje elektricky poháněných vozidel kategorie M*. Online, Diplomová práce, vedoucí Ivo Celjak. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2020. Dostupné z: https://theses.cz/id/xr43xa/DP_Martin_Brabec.pdf. [cit. 2023-12-27].

- [11] *BU-205: Types of Lithium-ion*. Online. ©2024, aktualizováno 8.12.2023. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>. [cit. 2024-01-31].
- [12] *Electric Car Batteries and Characteristics*. Online. ©2024. Dostupné z: <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/>. [cit. 2024-01-31].
- [13] *Electric car registrations in 2023 in Europe*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.electromaps.com/en/blog/electric-car-registrations-europe-2023>. [cit. 2024-01-29].
- [14] *ELECTRIC VEHICLE MACHINES AND DRIVES: DESIGN, ANALYSIS AND APPLICATION*. Online. In: Academia. 2015. Dostupné z: https://www.academia.edu/33377580/Electric_vehicle_machines_and_drives_design_analysis. [cit. 2023-10-28].
- [15] *Electric vehicles and the energy sector - impacts on Europe's future emissions*. Online. European Environment Agency. 2016, aktualizováno 25.3.2021. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-and-the-energy/electric-vehicles-and-energy>. [cit. 2023-10-20].
- [16] *Electronic Engineering*. Online. Wireless Power. 2014. Dostupné z: <https://www.eejournal.com/article/20140123-witricity/>. [cit. 2023-11-04].
- [17] *ELEKTRICKÉ MODELÝ RENAULT TRUCKS T A C ŘADY E-TECH*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.cz/press-release/elektricke-modely-renault-trucks-t-a-c-rady-e-tech>. [cit. 2024-01-30].
- [18] *Elektrický 19tunový kamion*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/technicke-novinky/elektricky-19tunovy-kamion>. [cit. 2023-12-28].
- [19] *European Alternative Fuels Observatory*. Online. European Commission. 2023. Dostupné z: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/czech-republic>. [cit. 2023-12-28].
- [20] *EV battery types explained: Lithium-ion vs LFP pros & cons*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.whichcar.com.au/advice/ev-battery-types-explained-electric-car-pros-cons>. [cit. 2024-01-31].
- [21] *Evaluation of energy consumption and carbon dioxide emissions for electric vehicles in Nordic climate conditions*. Online. 2018. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8362390>. [cit. 2024-03-18].
- [22] *Everything You Need to Know About Wireless EV Charging*. Online. EV INDUSTRY BLOG. © 2023. Dostupné z: <https://evchargingsummit.com/blog/everything-you-need-to-know-about-wireless-ev-charging/>. [cit. 2023-11-04].
- [23] *Expoparking*. Online. BVV Veletrhy Brno. ©2023. Dostupné z: <https://www.bvv.cz/expoparking>. [cit. 2023-10-29].

- [24] FILIP, Robin. *Bateriové systémy pro distribuční sítě*. Online, Bakalářská práce, vedoucí Martin Paar. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=210695. [cit. 2023-12-28].
- [25] *Firemním flotilám dominují elektromobily značky Škoda*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/firemnim-flotilam-dominuji-elektromobily-znacky-skoda/>. [cit. 2024-02-04].
- [26] *Genetic Algorithm*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/genetic-algorithm>. [cit. 2023-12-30].
- [27] *Grid-to-Vehicle (G2V) and Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies*. Online. In: MDPI Books. 2021. s. 75-79. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/books/book/3495>. [cit. 2023-10-20].
- [28] *Help Center*. Online. © 1994-2023. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/index.html>. [cit. 2023-12-30].
- [29] *How Nikola Tesla's AC and radio waves could unlock wireless EV charging*. Online. Thenextweb. 2021. Dostupné z: <https://thenextweb.com/news/how-nikola-teslas-ac-and-radiowaves-could-unlock-wireless-ev-charging>. [cit. 2023-11-04].
- [30] *CharIN Whitepaper Megawatt Charging System (MCS)*. Online. CharIN. 2022. Dostupné z: https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/c708ba3361-1670238823/whitepaper_megawatt_charging_system_1.0.pdf. [cit. 2023-12-02].
- [31] *Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid*. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041400569X>. [cit. 2023-12-31].
- [32] *Intelligent optimization to integrate a plug-in hybrid electric vehicle smart parking lot with renewable energy resources and enhance grid characteristics*. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890413005438>. [cit. 2023-12-31].
- [33] *Israeli 'smart road' startup to deploy charging infrastructure in Tel Aviv*. Online. THE TIMES OD ISRAEL. 2021. Dostupné z: <https://www.timesofisrael.com/israeli-smart-road-startup-to-deploy-charging-infrastructure-in-tel-aviv/>. [cit. 2023-12-22].
- [34] *IVECO BUS nabízí nově plně elektrický Crossway a Streetway*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.busportal.cz/clanek/iveco-bus-nabizi-nove-plne-elektricky-crossway-a-streetway-19195>. [cit. 2024-01-30].
- [35] *Jak může inovativní technologie "Vehicle-to-Grid" podpořit budoucnost založenou na energetice z obnovitelných zdrojů*. Online. TÝDEN.cz. 2022.

- Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/auta/jak-muze-inovativni-technologie-vehicle-to-grid-podporit-budoucnost-zalozenou-na-energetice-z-obnovitelnych-zdroju_560120.html. [cit. 2023-10-20].
- [36] KOMÁREK, Mikuláš. *Technologie V2G a její možnost implementace v podmínkách Česka*. Online, Diplomová práce, vedoucí Arnošt Klesla. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií, 2021. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95178/MU-DP-2021-Komarek-Mikulas-DP_2021_Komarek_Mikulas.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [cit. 2023-10-17].
- [37] *MAN POPRVÉ V ČESKU PŘEDSTAVIL PLNĚ ELEKTRICKÝ LION'S CITY E S OBŘÍMI BATERIEMI A BEZKONKURENČNÍM DOJEZDEM*. Online. 2021. Dostupné z: https://www.man.eu/cz/cz/o-nas/podnik/novinky/news/man-poprve-v-cesku-predstavil-plne-elektricky-lion_s-city-e-s-obrimi-bateriemi-a-bezkonkurencnim-dojezdem-51136.html. [cit. 2024-01-30].
- [38] MÁZOR, Radek. *Bezdrátové indukční dobíjení pro elektromobil*. Online, Bakalářská práce, vedoucí Vladimír Kindl. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2013. Dostupné z: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/9383/1/BP%20Mazor%20Radek%20Bezdratove%20indukcni%20dobijeni%20pro%20elektromobil.pdf>. [cit. 2023-11-04].
- [39] *Megawatt Charging System (MCS)*. Online. ©2023. Dostupné z: <https://www.charin.global/technology/mcs/>. [cit. 2023-12-01].
- [40] *Megawatt Charging: The Game-Changer for Electric Heavy-Duty Trucks*. Online. Milence. 2023. Dostupné z: <https://milence.com/insight/megawatt-charging-the-game-changer-for-electric-heavy-duty-trucks/>. [cit. 2023-12-01].
- [41] *Mennekes charging cables*. Online. Mennekes. © 2023. Dostupné z: <https://www.mennekes.org/emobility/products/ev-charging-cable/>. [cit. 2023-11-28].
- [42] *Metodické doporučení - elektromobilita a požární bezpečnost staveb*. Online. Hzscr. © 2023. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/metodicke-doporuceni-elektromobilita-a-pozarni-bezpecnost-staveb.aspx>. [cit. 2023-12-26].
- [43] MEZINÁRODNÍ ELEKTROTECHNICKÁ KOMISE. ČSN IEC 61851-1 ed. 3, *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Obecné požadavky*. 2020.
- [44] MEZINÁRODNÍ ELEKTROTECHNICKÁ KOMISE. ČSN IEC 61980-1, *Systémy bezdrátového přenosu elektrické energie (WPT) elektrického vozidla - Část 1: Obecné požadavky*. 2021.
- [45] *New car registrations: +13.9% in 2023; battery electric 14.6% market share*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-13-9-in-2023-battery-electric-14-6-market-share/>. [cit. 2024-01-29].

- [46] *New registrations of electric vehicles in Europe*. Online. European Environment Agency. 2023. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>. [cit. 2023-1-04].
- [47] NOEL, Lance; ZARAZUA DE RUBENS, Gerardo; KESTER, Johannes a K. SOVACOOOL, Benjamin. *Vehicle-To-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. ISBN 9783030048631.
- [48] *Octopus Energy and National Grid ESO demonstrate future role for Electric Vehicles in first for Great Britain*. Online. Octopus energy. 2022. Dostupné z: <https://octopus.energy/press/octopus-energy-and-national-grid-eso-demonstrate-future-role-for-electric-vehicles-in-first-for-great-britain/>. [cit. 2023-11-05].
- [49] *On the suitability of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) charging infrastructures based on wind and solar energy*. Online. 2009. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5275171>. [cit. 2023-12-30].
- [50] *Operation Strategy of Parking Lots Integrated with PV and Considering Energy Price Tags*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2032-6653/12/4/205>. [cit. 2023-12-31].
- [51] *Optimal Design of V2G Incentives and V2G-Capable Electric Vehicles Parking Lots Considering Cost-Benefit Financial Analysis and User Participation*. Online. 2023. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10226205>. [cit. 2023-12-31].
- [52] *Optimal Charging of Plug-in Electric Vehicles for a Car-Park Infrastructure*. Online. 2014. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6697868>. [cit. 2023-12-31].
- [53] *Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition*. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213010153>. [cit. 2023-12-31].
- [54] *Parkovací dům Rozmarýn*. Online. © 2016. Dostupné z: <http://www.parkovani-brno-centrum.cz/>. [cit. 2023-10-29].
- [55] *Parkovací garáže u Janáčkova divadla*. Online. Dostupné z: <https://www.jdparking.cz/>. [cit. 2023-10-29].
- [56] *PARKOVÁNÍ V BRNĚ*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.parkovanivbrne.cz/>. [cit. 2023-10-29].
- [57] *Plánované-stavby-ostatní*. Online. Stavby Brno. Dostupné z: <https://stavby-brno.webz.cz/stavby-planovane-ostatni/>. [cit. 2023-10-29].
- [58] *PLÁNUJETE STAVBU PARKOVIŠTĚ? SEZNAMTE SE S JEDNOTLIVÝMI TYPY A SPECIFIKY*. Online. WACHAL. ©2023. Dostupné z: <https://www.wachal.cz/planujete-stavbu-parkoviste-seznamte-se-s-jednotlivymi-typy-a-specifiky/>. [cit. 2023-10-31].

- [59] *Plug-in hybridy nabízejí větší kapacitu baterie a delší dojezd než ostatní hybridy.* Online. 2020. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/plug-in-hybrid-ndash-co-to-znamen-a-jak-se-plev-lisi-od-ostatnich-hybridu/2188>. [cit. 2024-01-28].
- [60] *Podpora nabíjecích stanic Supercharger.* Online. Tesla. © 2023. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/support/charging/supercharger?fbclid=IwAR0lwQLtmImrPRIPMXA4ooqF1RBVW3jOVwQO8NNSH3ZS8vAmv5B43hOBEIY#top. [cit. 2023-11-28].
- [61] *Průměrný nájezd elektromobilů byl loni vyšší než u benzinových aut.* Online. 2023. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/prumerny-najezd-elektromobilu-byl-loni-vyssi-nez-u-benzinovy-ch-aut>. [cit. 2024-02-04].
- [62] *Real-Time Energy Management Algorithm for Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Parks Involving Sustainable Energy.* Online. 2014. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6615945>. [cit. 2023-12-31].
- [63] *Revoluce: Mercedes-Benz eCitaro G s novou generací baterií s o čtvrtinu větší kapacitou.* Online. 2020. Dostupné z: <https://transport-logistika.cz/zpravy/silnicni-doprava/revoluce-mercedes-benz-ecitaro-g-s-novou-generaci-baterii-s-o-ctvrtinu-vetsi-kapacitou/>. [cit. 2024-01-30].
- [64] *Ročenka dopravy 2022.* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.bkom.cz/informacni-centrum/rocenky-dopravy-brno-15/rocenka-dopravy-brno-2022-pdf-225>. [cit. 2024-02-11].
- [65] *Rychlejší nabíječky ČEZ zvedly průměrný odběr o polovinu, zkracují dobu dobíjení.* Online. 2024. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/rychlejsi-nabijecky-cez-zvedly-prumerny-odber-o-polovinu-zkracuji-dobu-dobijeni/>. [cit. 2024-04-28].
- [66] *SAKO BRNO MÁ 1. POPELÁŘSKÝ VŮZ V ČR, KTERÝ JE 100% NA ELEKTRINU.* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1635/sako-brno-ma-1-popelarsky-vuz-v-cr-ktery-je-100-na-elektrinu/>. [cit. 2023-12-28].
- [67] *Self-scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot using stochastic optimization.* Online. 2015. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016003214000349>. [cit. 2023-12-31].
- [68] *SmartEV.* Online. SmartEV. Dostupné z: <https://www.smartev.cz/cz/centrum-znalosti/>. [cit. 2023-12-27].
- [69] *Sociologický výzkum bydlení v Brně.* Online. 2019. Dostupné z: https://urbancentrum.brno.cz/wp-content/uploads/2021/05/2019_Sociologick%C3%BD-v%C3%BDzkum-bydlen%C3%AD-v-Brn%C4%9B.pdf. [cit. 2024-02-11].
- [70] *Solaris presents its latest battery solutions at Transexpo 2022.* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.solaribus.com/en/press/solaris-presents-its-latest-battery-solutions-at-transexpo-2022-1847>. [cit. 2024-01-30].

- [71] *Standardní mapa kombinovaného nabíjení CCS*. Online. MIDA. © 2018-2023. Dostupné z: <https://www.midaevse.com/cs/news/ccs-combo-charging-standard-map-see-where-ccs1-and-ccs2-are-used-electric-vehicle-fast-charging-system/>. [cit. 2023-11-28].
- [72] *Stavba parkovacího domu na Šumavské*. Online. BRNO-STŘED. 2023. Dostupné z: <https://www.brno-stred.cz/aktuality/stavba-parkovaciho-domu-na-sumavske~n17245>. [cit. 2023-10-29].
- [73] *Svaz Dovozců Automobilů*. Online. 2024. Dostupné z: <https://portal.sda-cia.cz/>. [cit. 2024-02-11].
- [74] *Switching to Electric: What to Know about Electric Truck Charging*. Online. KEMPOWER. 2023. Dostupné z: <https://kempower.com/electric-truck-charging-what-to-know/>. [cit. 2023-12-01].
- [75] *System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916300988>. [cit. 2023-12-31].
- [76] ŠTAJNER, Dan. *Vehicle 2 Grid*. Online, Diplomová práce, vedoucí Pavel Hrzina. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie, 2021. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95389/F3-DP-2021-Stajner-Dan-Diplomova_prace_STAJNER_Vehicle-to-Grid.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [cit. 2023-10-20].
- [77] *Technology Overview*. Online. ©2009–2023. Dostupné z: <https://witricity.com/technology/>. [cit. 2023-11-04].
- [78] *Tesla Plans To Adopt Bi-Directional Charging By 2025*. Online. CleanTechnica. 2023. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2023/08/19/tesla-plans-to-adopt-bi-directional-charging-by-2025/>. [cit. 2023-10-28].
- [79] *Tesla Supercharger V4 revealed to be twice as powerful*. Online. Electrek. 2023. Dostupné z: <https://electrek.co/2023/03/15/tesla-supercharger-v4-revealed-twice-as-powerful/>. [cit. 2023-11-28].
- [80] *Tesla zveřejnila první oficiální technické detaily k bateriím tahače Semi*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.trucker.cz/rubriky/doprava/tesla-zverejnila-prvni-oficialni-technicke-detaily-k-bateriim-tahace-semi_48496.html. [cit. 2024-01-30].
- [81] *The 2020 ICNIRP RF guidelines*. Online. ICNIRP. 2021. Dostupné z: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2021/0510/Documents/Eric%20van%20Rongen.pdf?csf=1&e=KC7jSB>. [cit. 2023-11-05].
- [82] *The 4 EV Charging Modes You Need To Know About*. Online. Go-e. 2022. Dostupné z: <https://go-e.com/en/magazine/charging-modes-electric-car>. [cit. 2023-11-28].

- [83] *The different EV charging connector types*. Online. Enelxway. 2019. Dostupné z: <https://www.enelxway.com/us/en/resources/blog/ev-charging-connector-types>. [cit. 2023-12-22].
- [84] *The potential of photovoltaic carports to cover the energy demand of road passenger transport*. Online. 2011. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.1199?saml_referrer. [cit. 2023-12-31].
- [85] *The use of parking lots to solar-charge electric vehicles*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304294>. [cit. 2023-12-29].
- [86] *The world's first semi electric truck with 1,000 kWh capacity is plowing snow in Norway like a boss*. Online. 2024. Dostupné z: <https://electrek.co/2024/02/08/worlds-first-semi-electric-truck-1000-kwh-battery-snow-norway/>. [cit. 2024-02-23].
- [87] *Transport and environment report 2022*. Online. In: European Environment Agency. 2023. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022/transport-and-environment-report/view>. [cit. 2023-10-20].
- [88] *Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě*. Online. In: EVEXPERT. ©2022. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>. [cit. 2023-10-30].
- [89] *Typy zásuvek a konektorů pro nabíjecí stanice elektromobilů*. Online. Vyvoj.hw.cz. 2023. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/typy-zasuvek-a-konektoru-pro-nabijeci-stanice-elektromobilu.html>. [cit. 2023-11-28].
- [90] *U onkologického ústavu v Brně by měl vzniknout parkovací dům za 114 milionů*. Online. Archiweb. 2022. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/n/domaci/u-onkologickeho-ustavu-v-brne-by-mel-vzniknout-parkovaci-dum-za-114-milionu>. [cit. 2023-10-29].
- [91] *Univerzální bezdrátové nabíjení elektromobilů*. Online. Časopis elektro. 2021. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/univerzalni-bezdratove-nabijeni-elektromobilu--5959>. [cit. 2023-11-04].
- [92] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN 73 6056, *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel*. 2011. Praha, 2011.
- [93] *Useable battery capacity of full electric vehicles*. Online. Electric Vehicle Database. © 2023. Dostupné z: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car?fbclid=IwAR1U53YourseUBH7iGndOIu0U3pK2mwE--CZgI7tKFrntqHvk7w25mBZ46M>. [cit. 2023-12-28].
- [94] *V ČR připadá jedno auto na dva lidi. Jsme nad průměrem celé EU*. Online. Auto-mania.cz. 2022. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/v-cr-pripada-jedno-auto-na-dva-lidi-jsme-nad-prumerem-cele-eu/>. [cit. 2023-10-21].

- [95] *V2G Capacity Estimation Using Dynamic EV Scheduling*. Online. 2014. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6674101>. [cit. 2023-12-31].
- [96] *V2G Development on Public Vertical Parking Lot to Support Community Energy Management System*. Online. 2018. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/324699061_V2G_Development_on_Public_Vertical_Parking_Lot_to_Support_Community_Energy_Management_System. [cit. 2024-01-04].
- [97] *V2G charge points can improve the battery life of EVs, project finds*. Online. 2022. Dostupné z: <https://transportandenergy.com/2022/06/08/v2g-charge-points-can-improve-the-battery-life-of-evs-project-finds/>. [cit. 2024-02-04].
- [98] *V2G Parking Lot With PV Rooftop for Capacity Enhancement of a Distribution System*. Online. 2014. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6588628>. [cit. 2023-12-31].
- [99] *VEHICLE-TO-GRID (V2G): EVERYTHING YOU NEED TO KNOW*. Online. Virta Global. ©2023. Dostupné z: <https://www.virta.global/vehicle-to-grid-v2g>. [cit. 2023-10-17].
- [100] *Volkswagen finally rolls out bidirectional charging on ID.4, but we have lots of questions*. Online. Electrec. 2023. Dostupné z: <https://electrek.co/2023/12/06/volkswagen-finally-rolls-out-bidirectional-charging-id-4-but/>. [cit. 2023-12-28].
- [101] *Volvo FH Electric*. Online. ©2024. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.cz/cs-cz/trucks/electric/volvo-fh-electric.html>. [cit. 2024-01-30].
- [102] *Vyhláška č. 398/2009 Sb.* Online. In: *ZÁKONY PRO LIDI*. 2009. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-398>. [cit. 2023-10-22].
- [103] *What are LFP, NMC, NCA Batteries in Electric Cars?* Online. 2023. Dostupné z: <https://zecar.com/resources/what-are-lfp-nmc-nca-batteries-in-electric-cars>. [cit. 2024-01-31].
- [104] *What is Megawatt Charging System (MCS)*. Online. YoCharge. 2022. Dostupné z: <https://yocharge.com/what-is-megawatt-charging-system-mcs/>. [cit. 2023-12-02].
- [105] *Which electric cars support V2G?* Online. THE MOBILITY HOUSE. 2023. Dostupné z: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/article/which-cars-are-v2g-capable?fbclid=IwAR3yOgVqoKtzcobM68OSXLPnqC3M2oiZNZo9n6kX0artnjNWSW9a-7cb-QY. [cit. 2023-10-28].
- [106] *Wireless Electric Vehicle Charging*. Online. NREL Transforming ENERGY. ©2023. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/transportation/wireless-electric-vehicle-charging.html>. [cit. 2023-10-30].
- [107] *Wireless EV Charging While Driving Is the Future of the Electric Vehicle Industry*. Online. INDUCTEV. 2021. Dostupné z: <https://www.inductev.com/resource-archive/wireless-ev-charging-while-driving-is-the-future-of-the-electric-vehicle-industry-1>. [cit. 2023-10-30].

- [108] *Wireless Charging for Electric Vehicles*. Online. IEEE Transportation Electrification Community. 2018. Dostupné z: <https://tec.ieee.org/newsletter/march-2018/wireless-charging-for-electric-vehicles>. [cit. 2023-10-30].
- [109] *Wireless Charging for EVs*. Online. POWER ELECTRONIC NEWS. 2021. Dostupné z: <https://www.powerelectronicsnews.com/wireless-charging-technology-for-evs/>. [cit. 2023-10-30].
- [110] *Wireless Charging Technology for Electric Vehicles: Benefits and Prospects*. Online. PROMWAD. 2023. Dostupné z: <https://promwad.com/news/wireless-charging-technology>. [cit. 2023-10-30].
- [111] *Wireless Power Transfer Technologies Applied to Electric Vehicles: A Review*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/6/1547>. [cit. 2024-01-30].
- [112] *Wireless Power Transfer: Systems, Circuits, Standards, and Use Cases*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5573>. [cit. 2024-01-30].
- [113] *Wirelessly charge electric vehicles*. Online. ©2023. Dostupné z: <https://electreon.com/>. [cit. 2023-10-30].
- [114] *Znovuzrození ÚAN Brno Zvonařka 2021*. Online. TZBinfo. 2021. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/architektura-staveb/22004-znovuzrozeni-uan-brno-zvonaarka-2021>. [cit. 2023-10-21].

SEZNAM ZKRATEK

Zkratky:

BCM	Bidirectional Charging Management
BD	Obousměrné nabíječky
BEMS	Building and Energy management system
BEV	Battery electric vehicle
CBV2G	Capacity-based vehicle to grid
CCS	Combinated Charging System
CIED	Cardiac implantable electronic devices
CNG	Stlačený zemní plyn
DB	Dobíjecí bod
EEA	Evropská agentura pro životní prostředí
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetické rušení
EPT	Energy price tags
ESP	Poskytovatel energických služeb
ESS	Systém ukládání energie
EV	Elektrické auto
EVPL	Parkoviště pro elektromobily
EVSPL	Solární parkoviště pro elektromobily
FV	Fotovoltaická elektrárna
FV2G	Flexible vehicle to grid
G2V	Grid to vehicle
GA	Genetické algoritmy
HEV	Hybridní elektromobil
HEM	Home Energy Manager
HPC	High Power Charging
HZS	Hasičský záchranný sbor
CharIN	Charging Interface Initiative
ICNIRP	International commission on non-ionizing radiation protection
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	Nezávislý provozovatel soustavy
K + R	Kiss and Ride
KIT	Technologický institut v Karlsruhe
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MCS	Megawatt Charging System
MEB	Modulární platforma pro elektromobily
MHD	Městská hromadná doprava
MILP	Směšené celočíselné lineární programování

MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
OA	Osobní automobil
ORNL	OAK RIDGE National Laboratory
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P + R	Park and Ride
PD	Parkovací dům
PFC	Power factor correction
PG&E	Pacific Gas and Electric
PHEV	Plug-in hybrid elektrické vozidlo
PPE	Premium Platform Electric
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
RTO	Regionální přenosová organizace
SAR	Specific absorption rate
SDA	Svaz dovozců automobilů
SoC	State of Charge
SSP	Scalable Systems Platform
UD	Jednosměrná nabíječka
ÚAN	Ústřední autobusové nádraží
V1G	Jednosměrný přenos energie ze sítě do elektromobilu
V2B	Vehicle to building
V2G	Vehicle to grid
V2H	Vehicle to home
V2L	Vehicle to load
V2X	Vehicle to everything
WTP	Bezdrátový přenos energie
¢	Cent

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - PD NA ÚZEMÍ BRNA	88
PŘÍLOHA B - OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO DOMINI PARK	91
PŘÍLOHA C - OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO JD PARKING	94
PŘÍLOHA D - OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO PINKI PARK	97
PŘÍLOHA E - OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO RIVER PARK	100
PŘÍLOHA F - SCÉNÁŘE PRO ROK 2025	103
PŘÍLOHA G - SCÉNÁŘE PRO ROK 2030	105
PŘÍLOHA H - SCÉNÁŘE PRO ROK 2035	109
PŘÍLOHA I - SCÉNÁŘE PRO ROK 2040	113

Příloha A - PD na území Brna

A.1 PD JD Parking



A.2 PD PINKI PARK



A.3 PD Expoparking



A.4 PD Domini Park



A.5 PD Rozmarýn

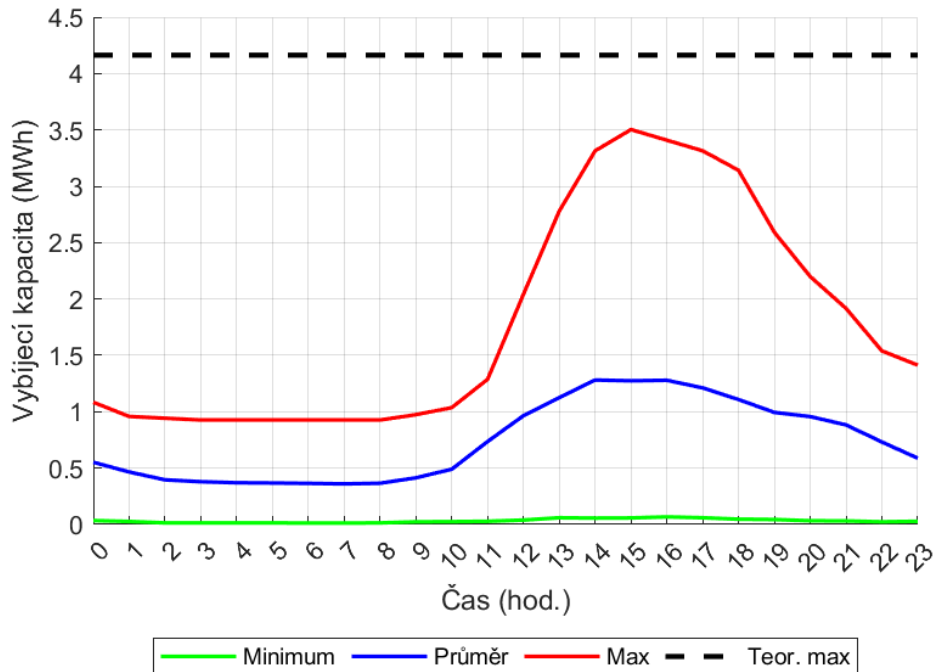


A.6 PD River Park

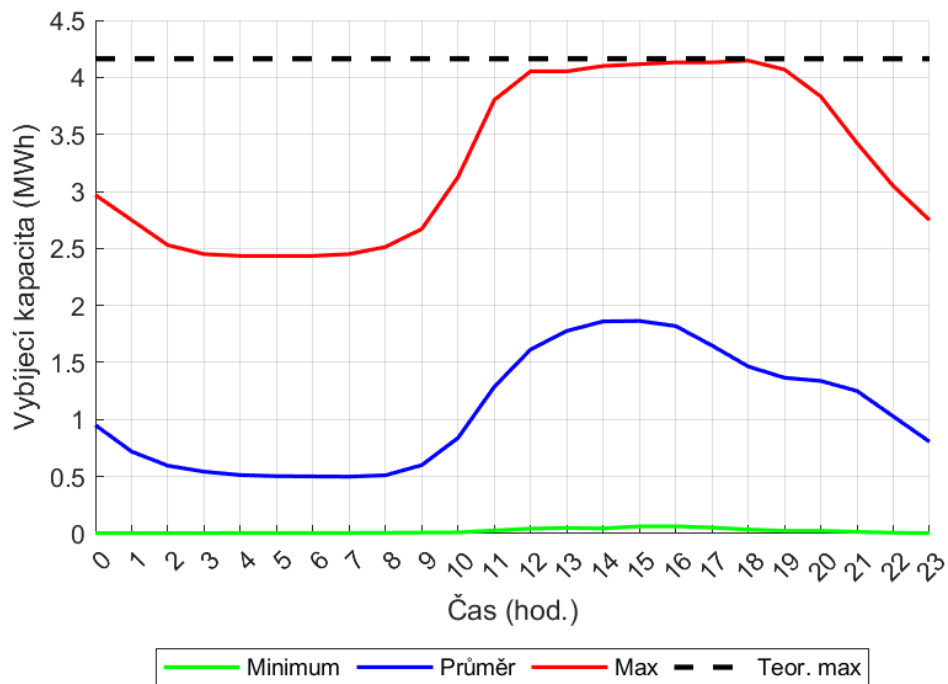


Příloha B - Okrajové podmínky pro Domini Park

B.1 Vybíjecí kapacita - mimořádné dny¹⁷

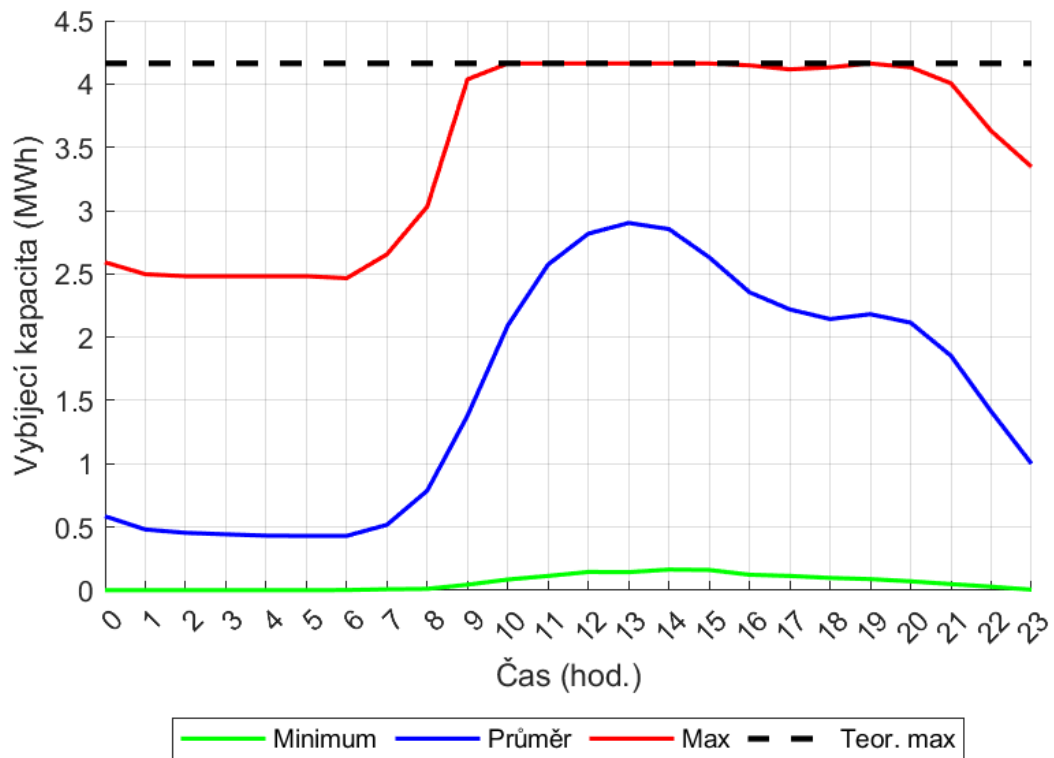


B.2 Vybíjecí kapacita – víkendy

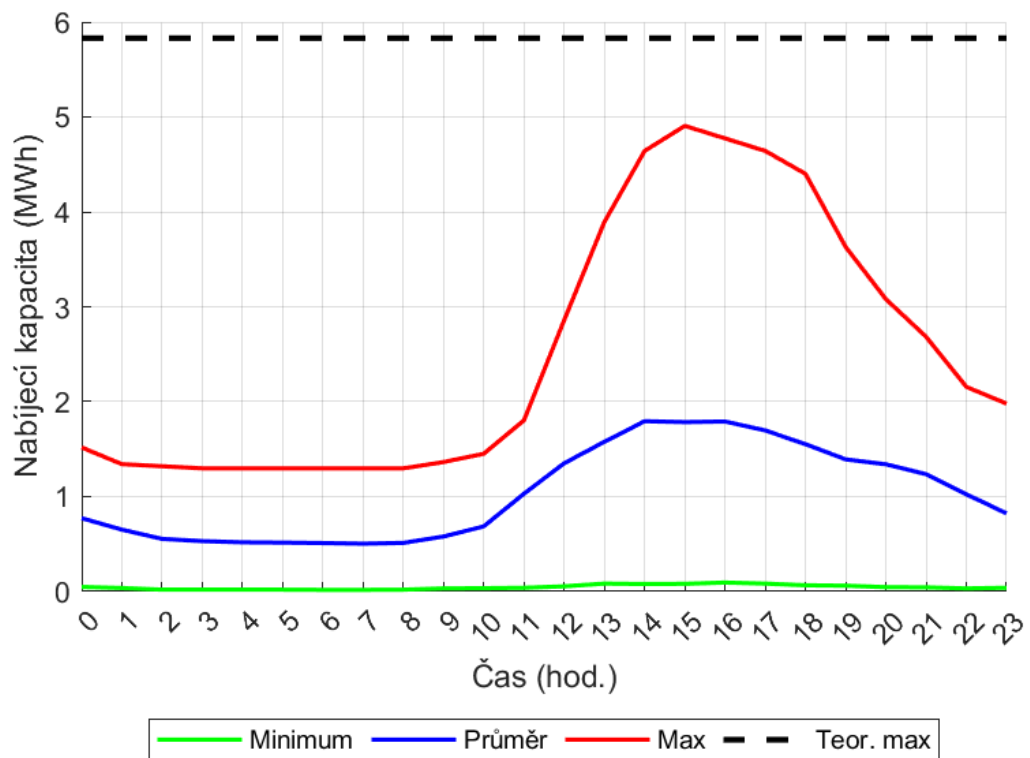


¹⁷ Jako mimořádné dny se považují např. státní svátky (Vánoce, Velikonoce atd.)

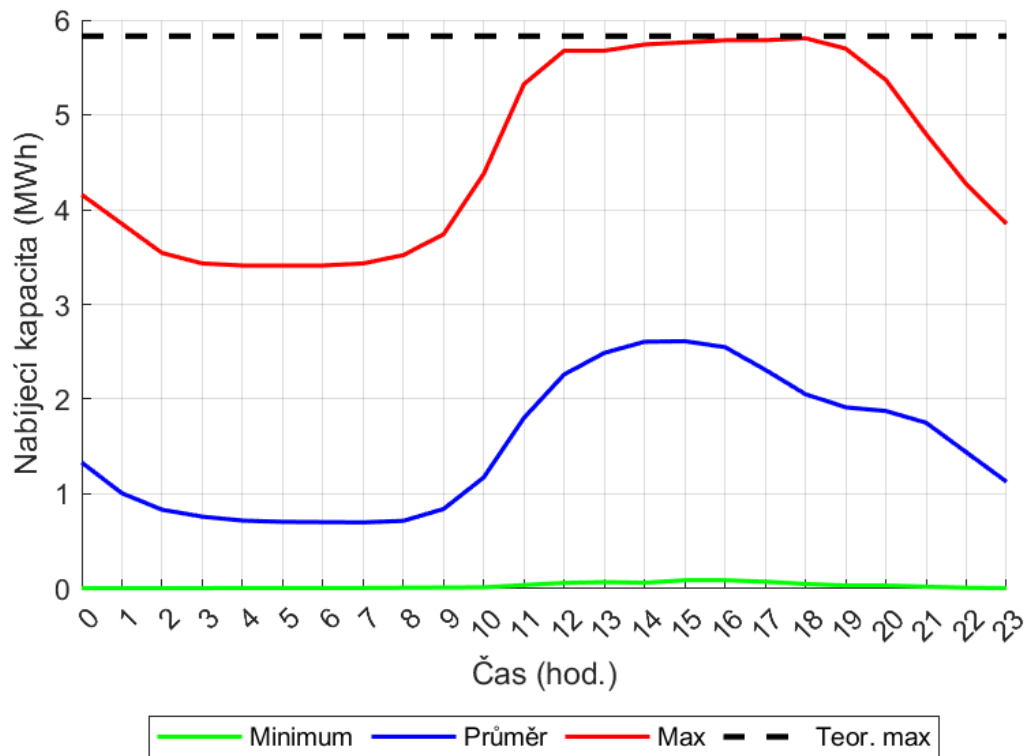
B.3 Vybíjecí kapacita – všední dny



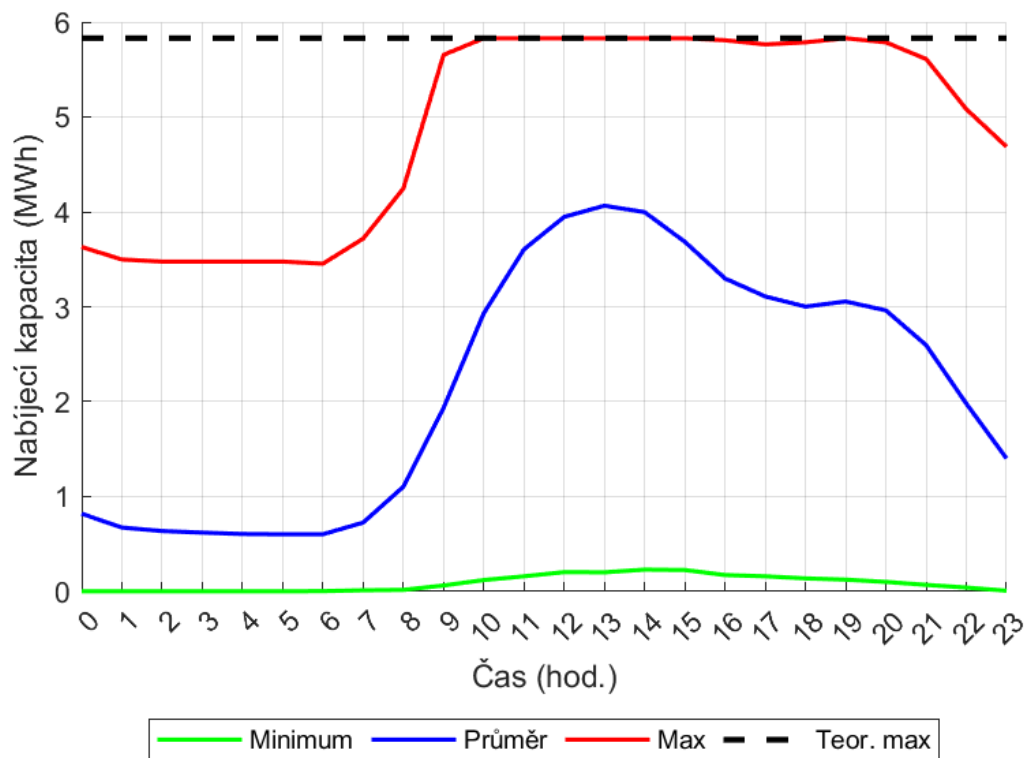
B.4 Nabíjecí kapacita - mimořádné dny



B.5 Nabíjecí kapacita – víkendy

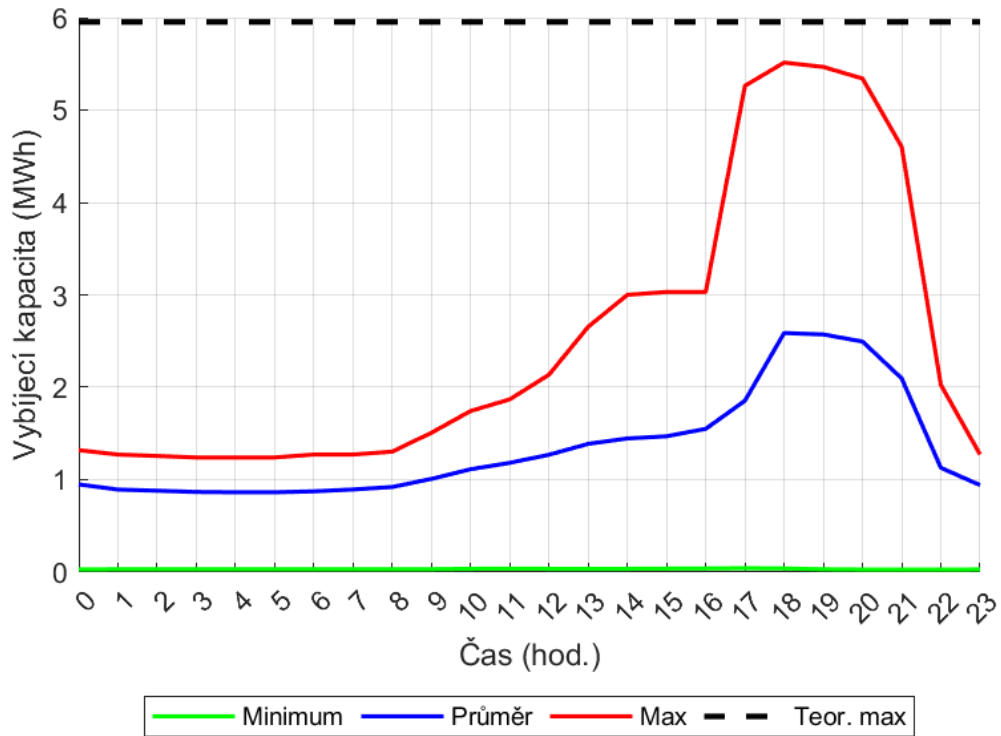


B.6 Nabíjecí kapacita – všední dny

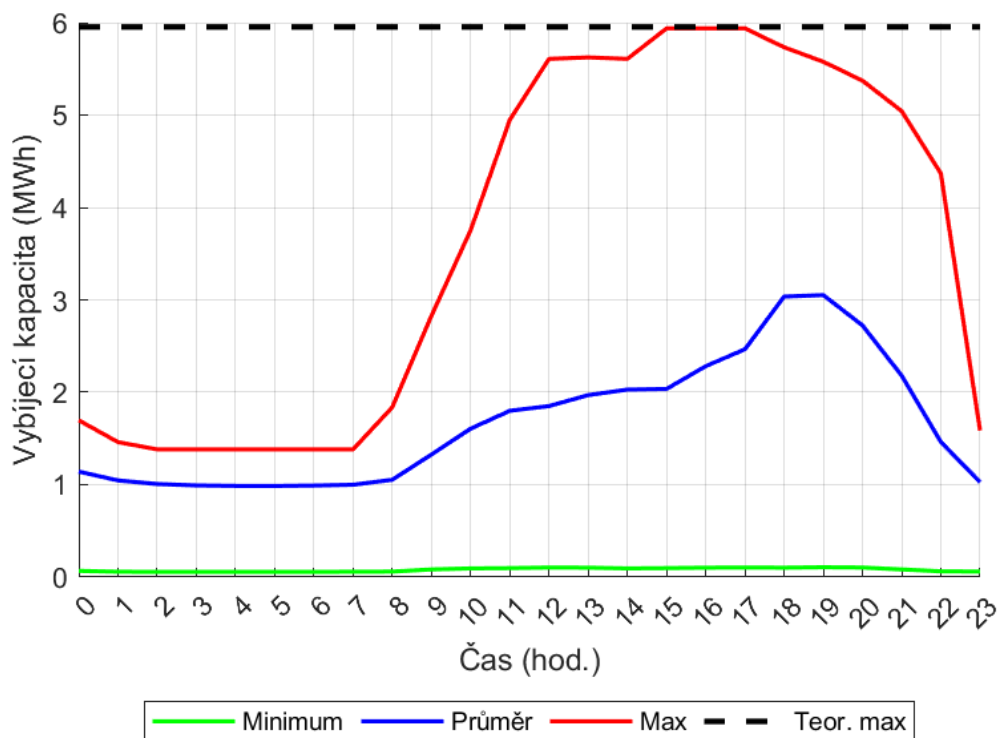


Příloha C - Okrajové podmínky pro JD Parking

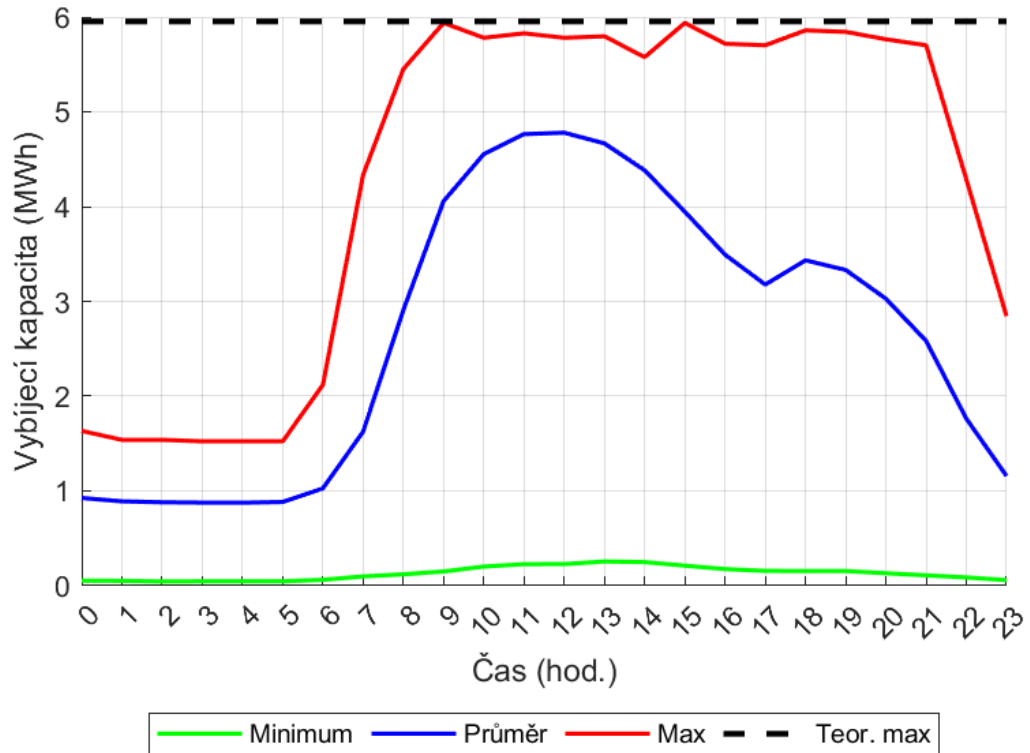
C.1 Vybíjecí kapacita - mimořádné dny



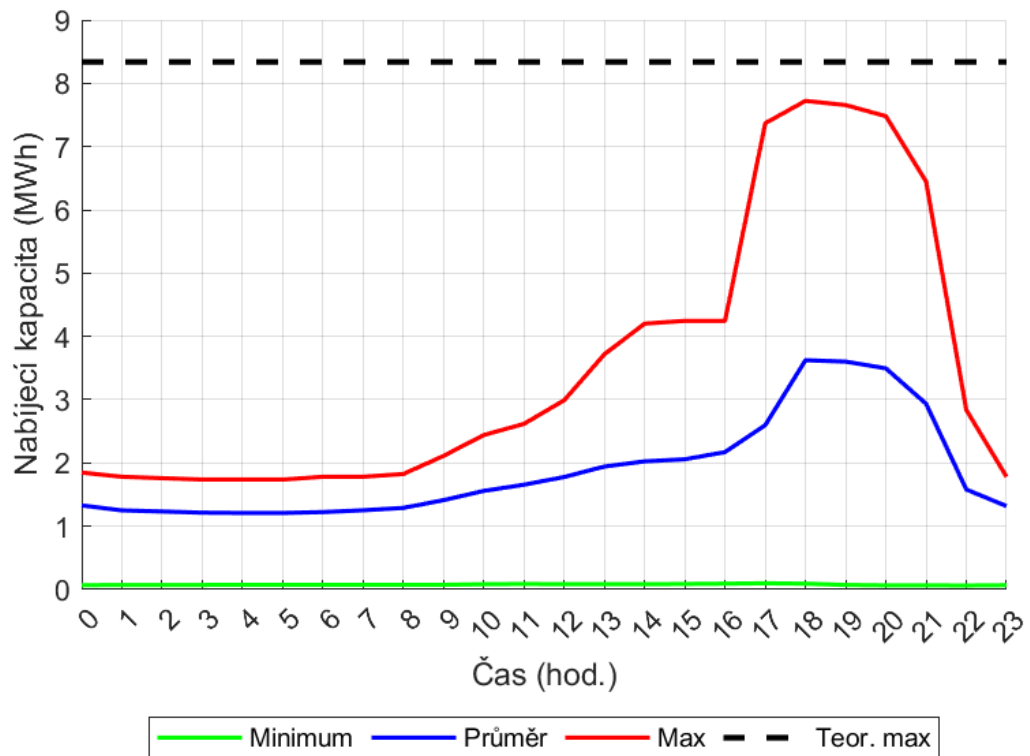
C.2 Vybíjecí kapacita – víkendy



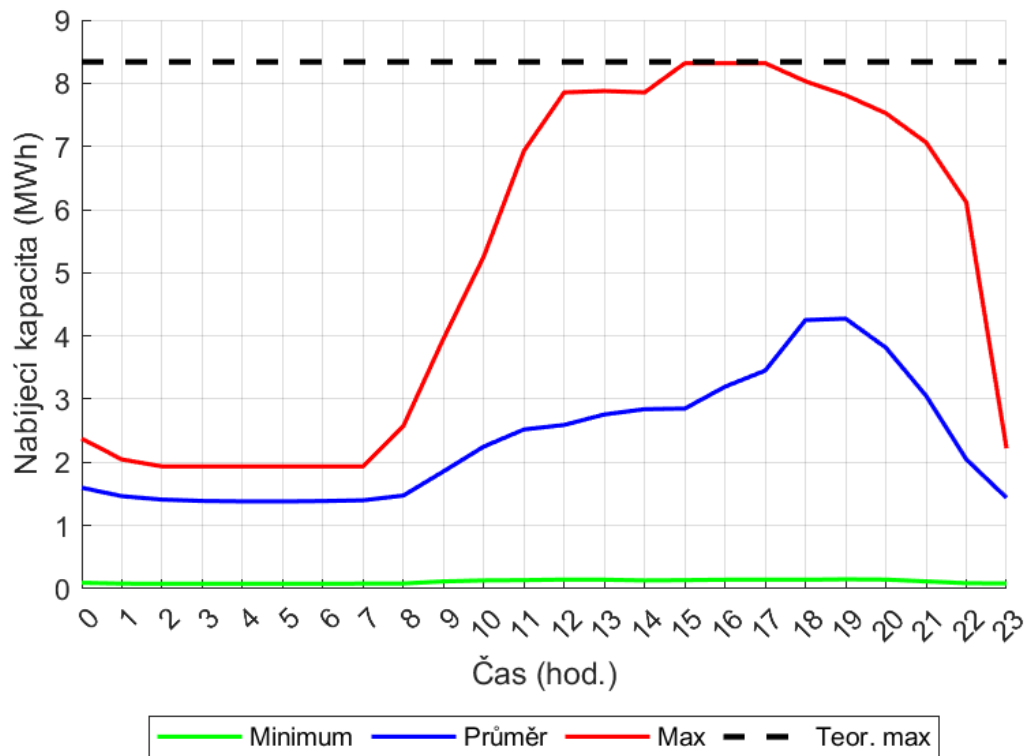
C.3 Vybíjecí kapacita – všední dny



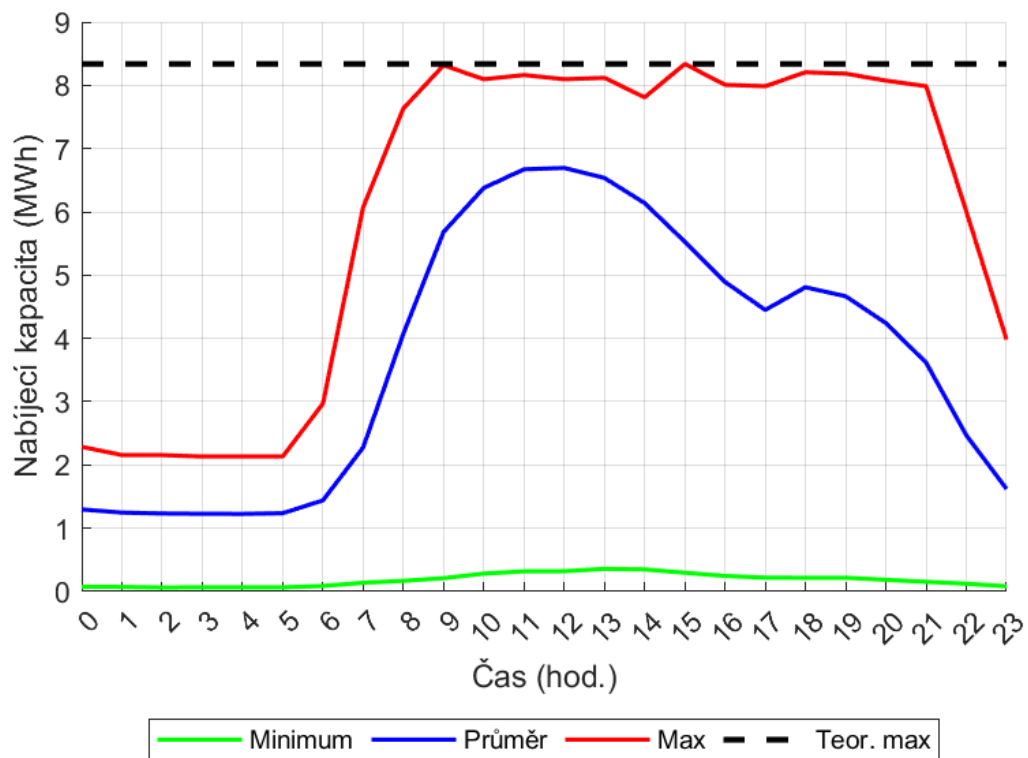
C.4 Nabíjecí kapacita - mimořádné dny



C.5 Nabíjecí kapacita – víkendy

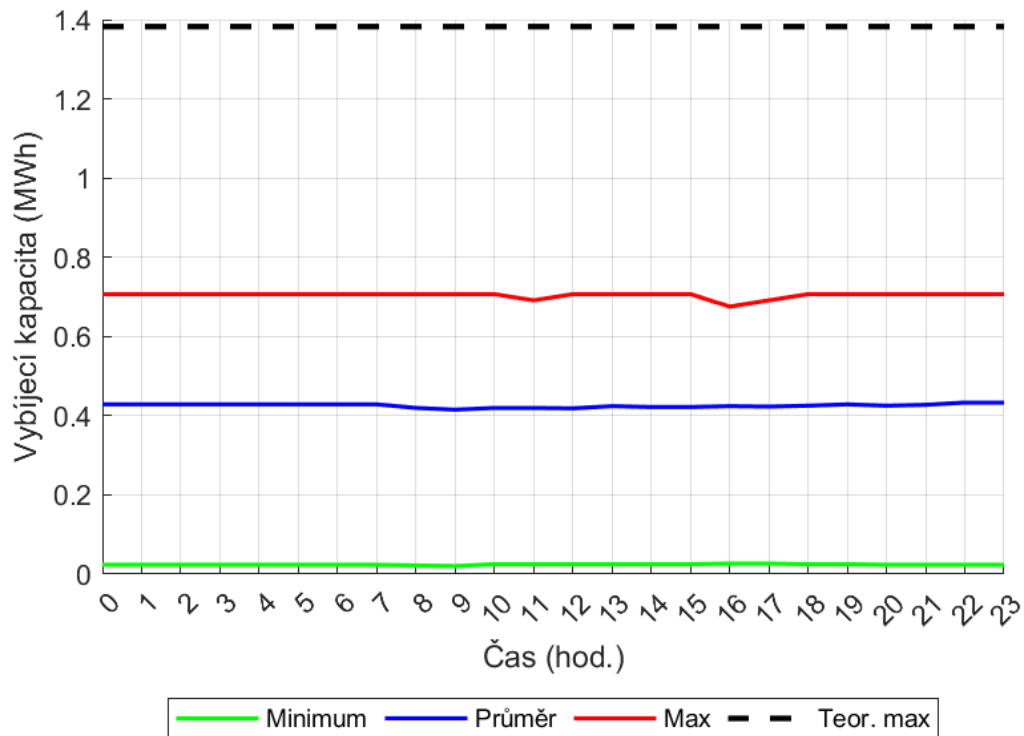


C.6 Nabíjecí kapacita – všední dny

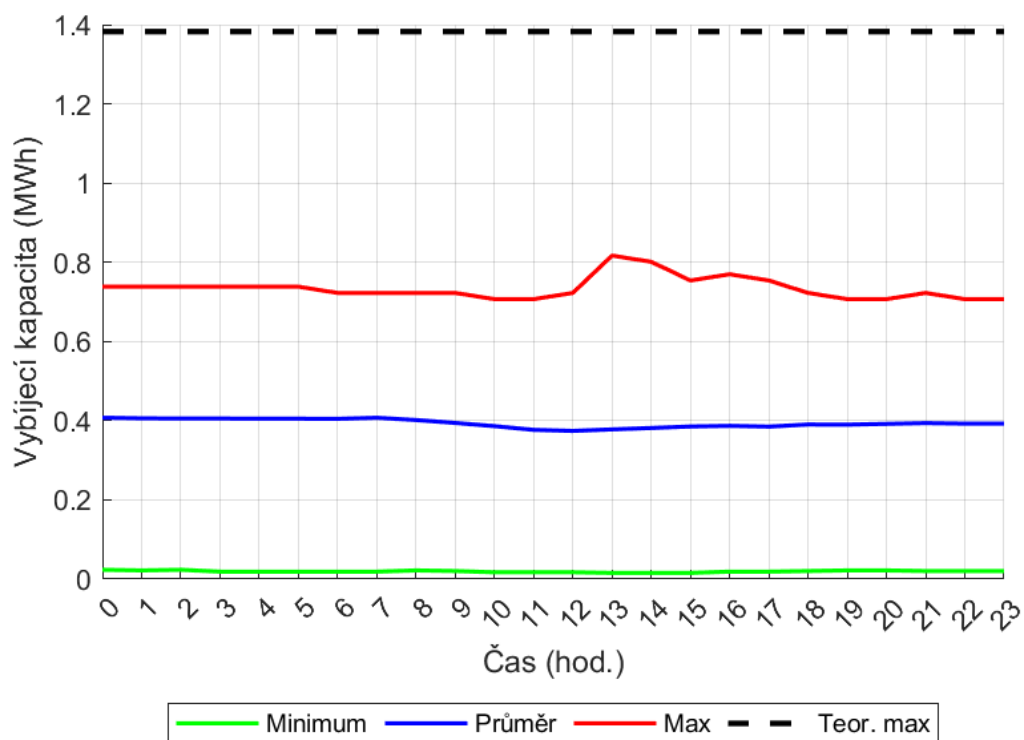


Příloha D - Okrajové podmínky pro Pinki Park

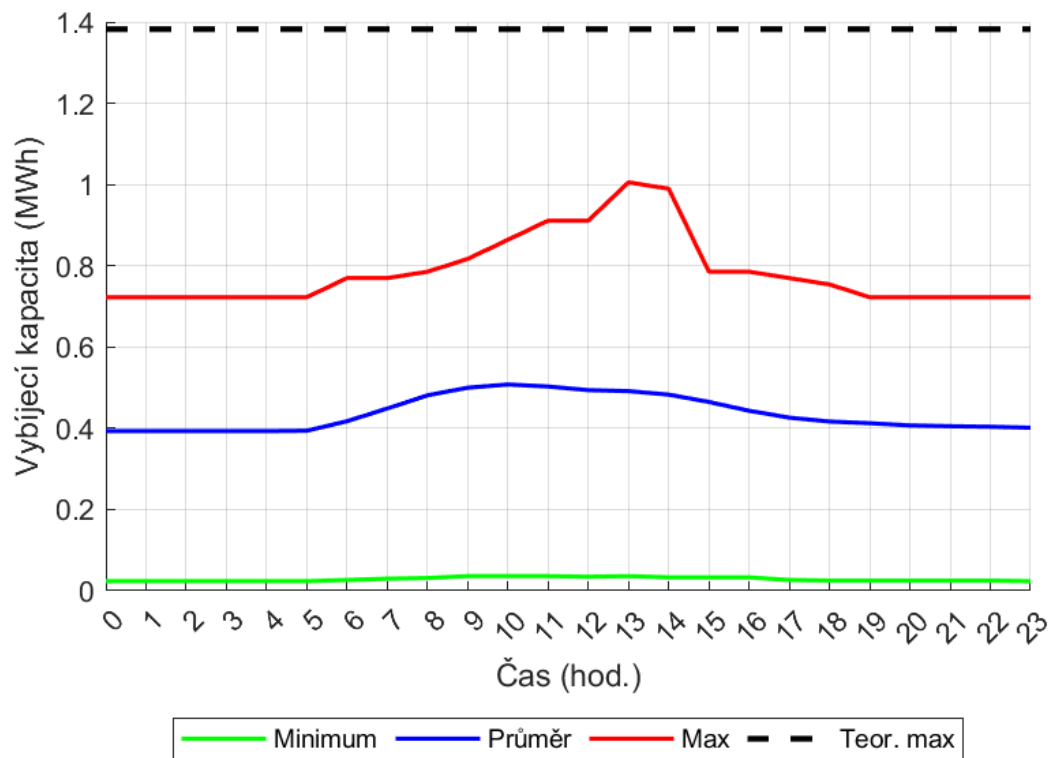
D.1 Vybíjecí kapacita - mimořádné dny



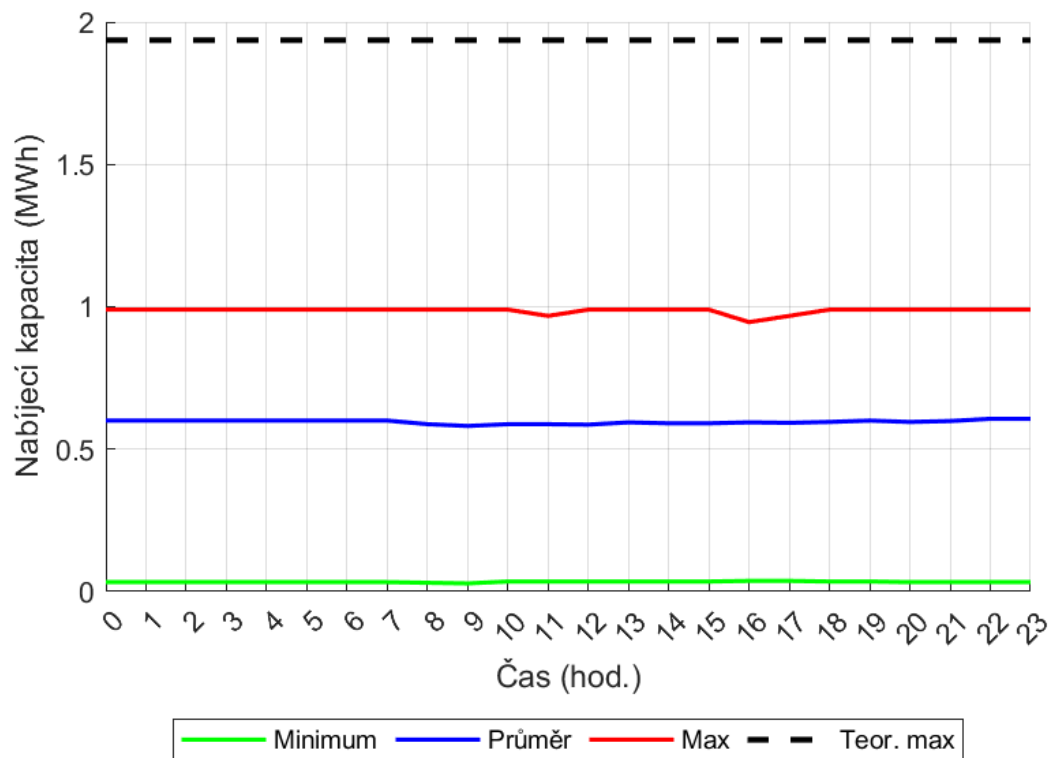
D.2 Vybíjecí kapacita – víkendy



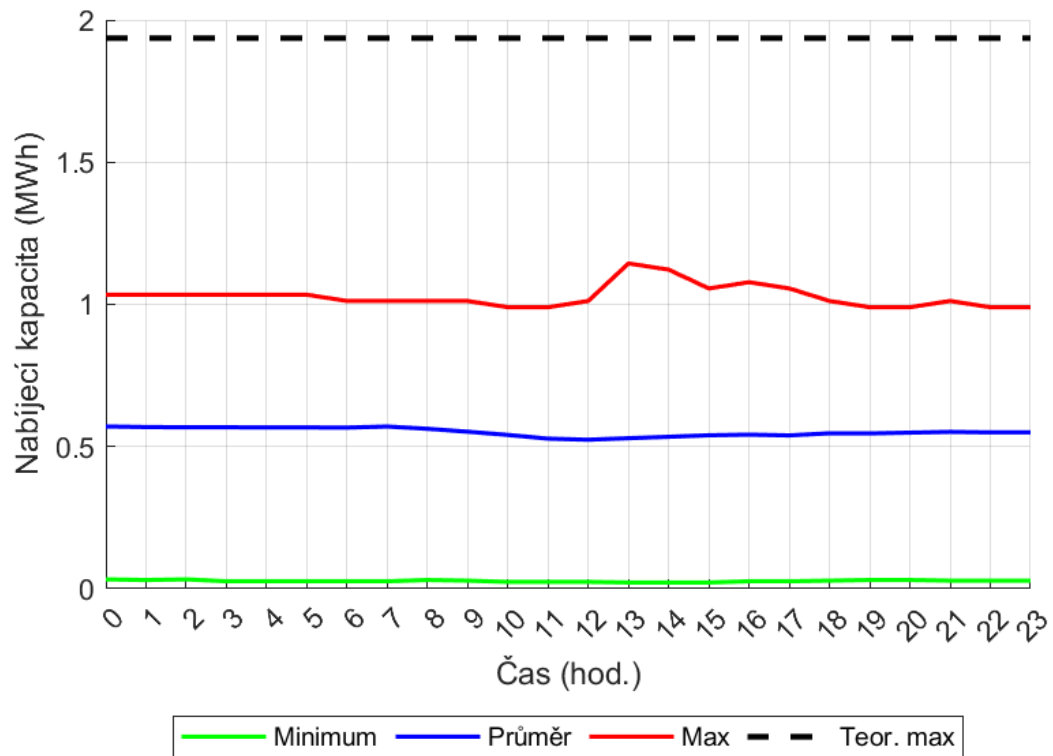
D.3 Vybíjecí kapacita – všední dny



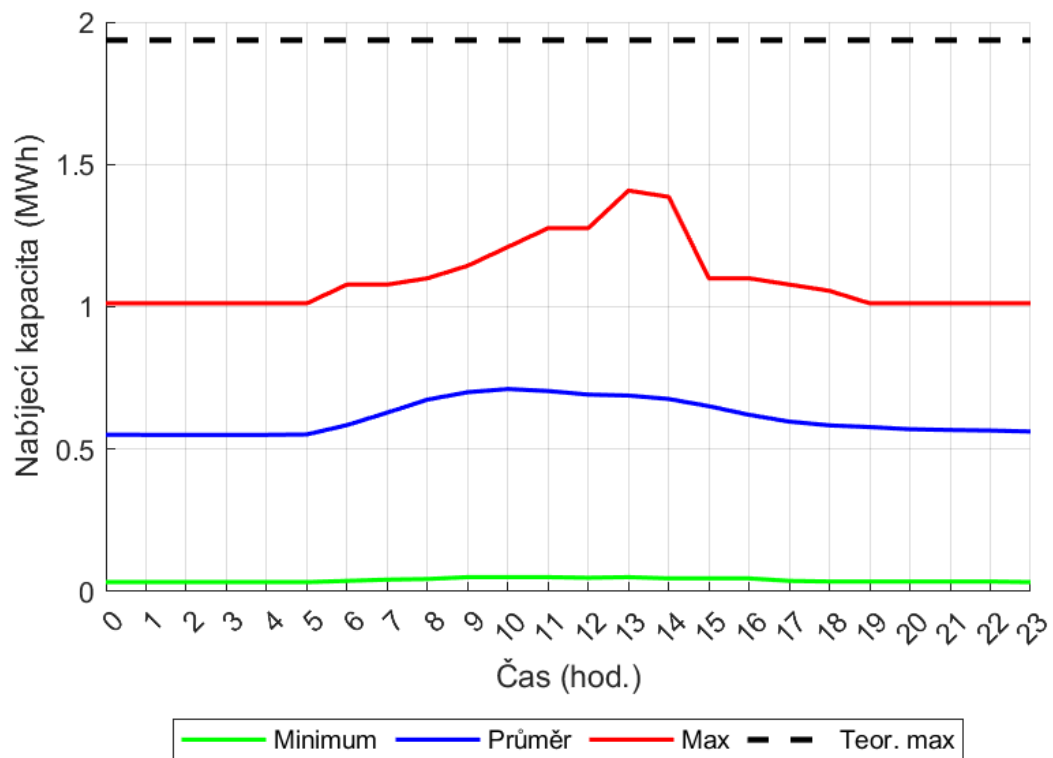
D.4 Nabíjecí kapacita - mimořádné dny



D.5 Nabíjecí kapacita – víkendy

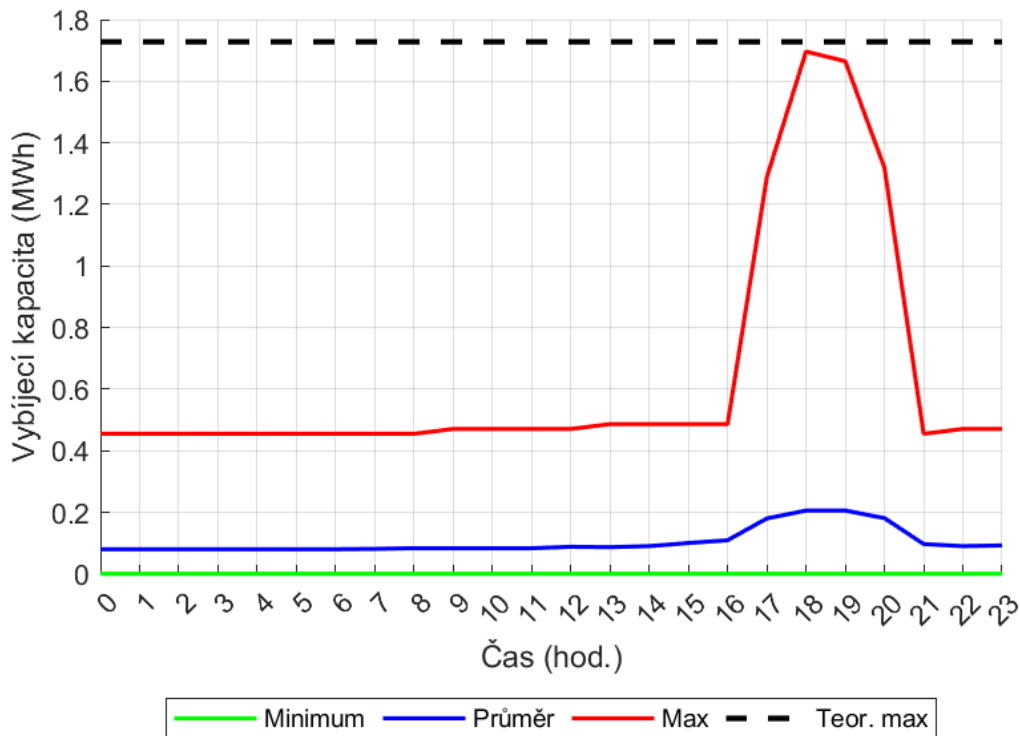


D.6 Nabíjecí kapacita – všední dny

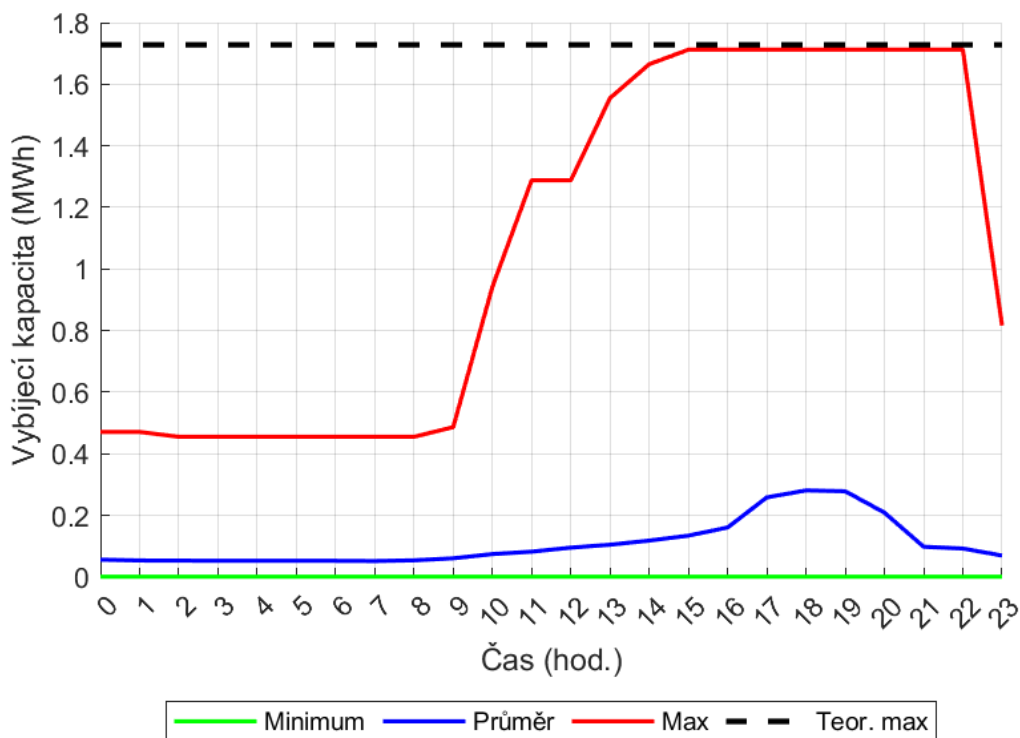


Příloha E - Okrajové podmínky pro River Park

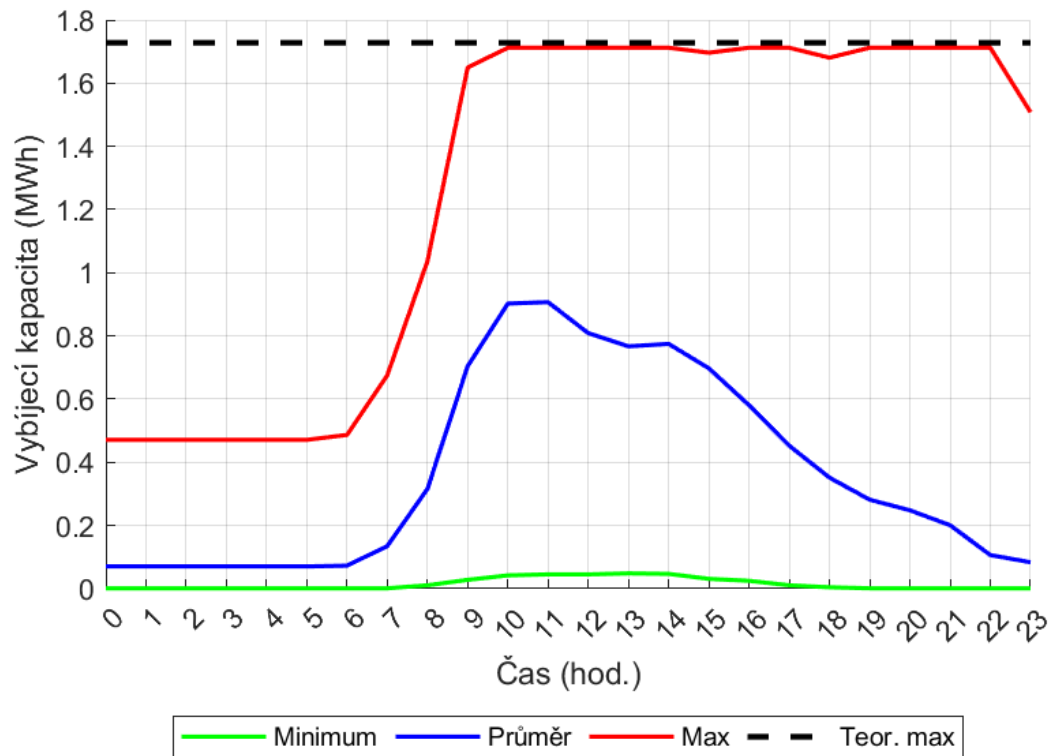
E.1 Vybíjecí kapacita – mimořádné dny



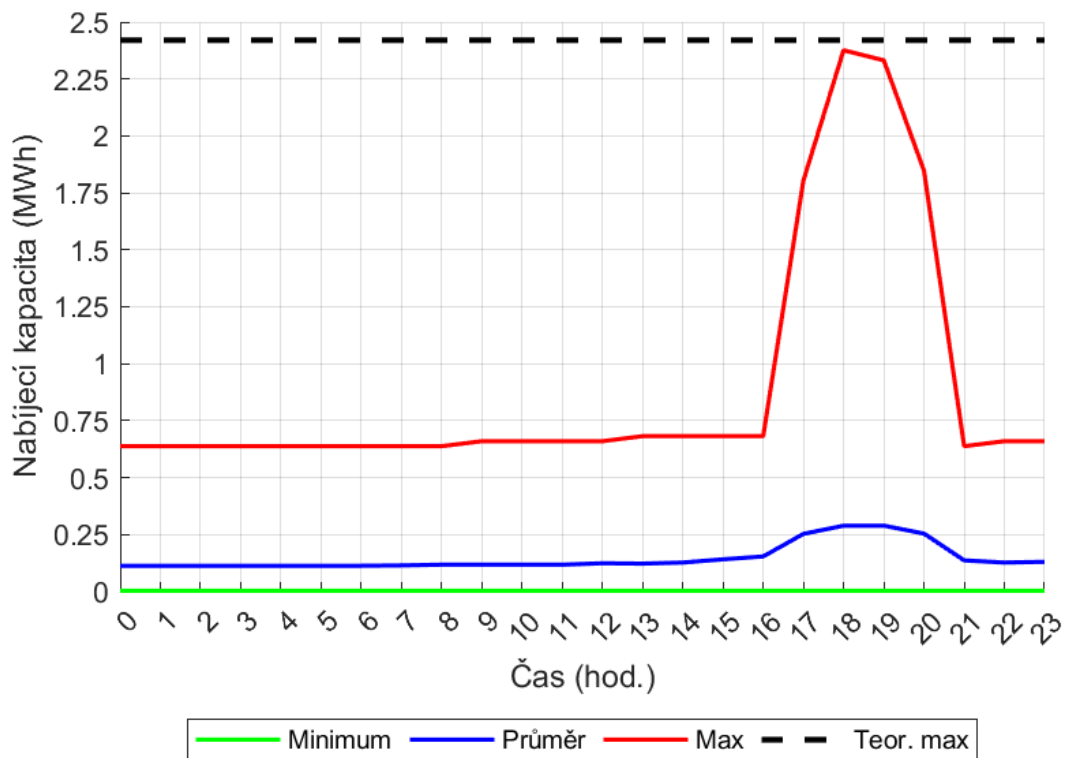
E.2 Vybíjecí kapacita – víkendy



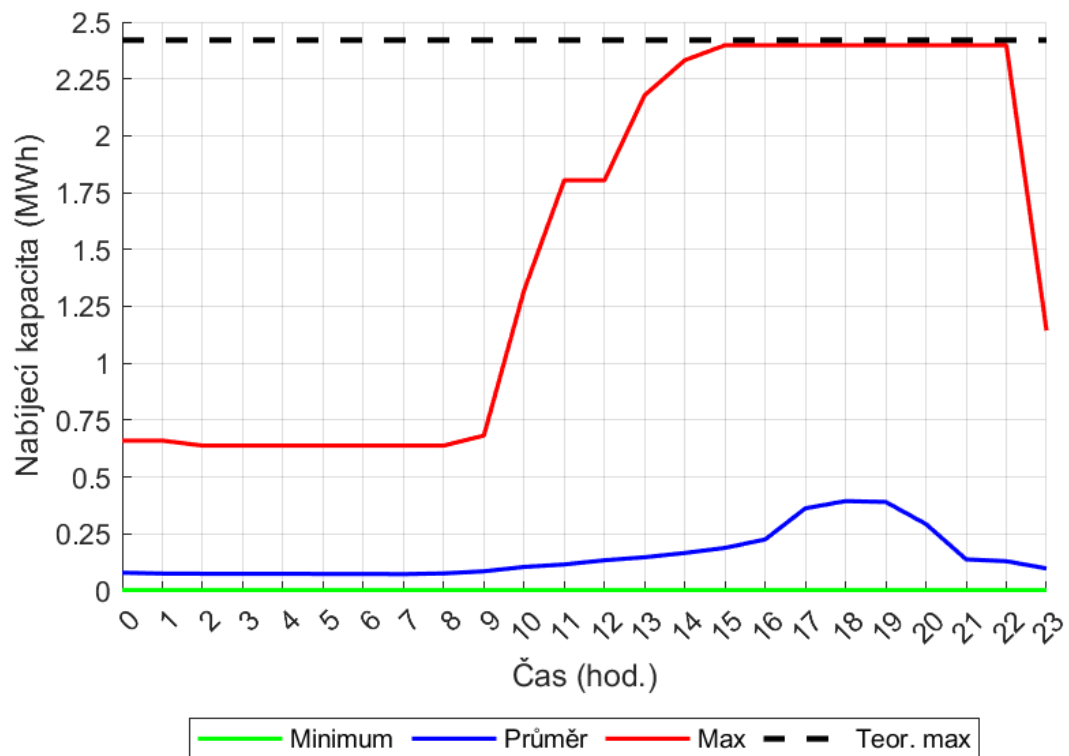
E.3 Vybíjecí kapacita – všední dny



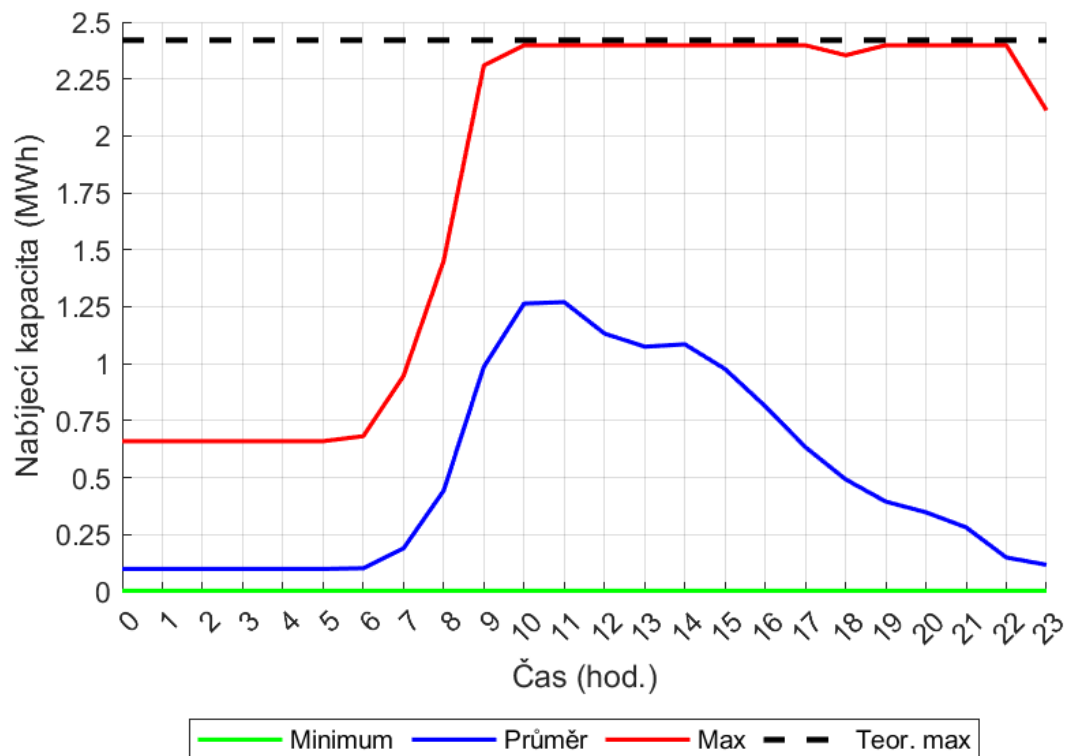
E.4 Nabíjecí kapacita - mimořádné dny



E.5 Nabíjecí kapacita – víkendy

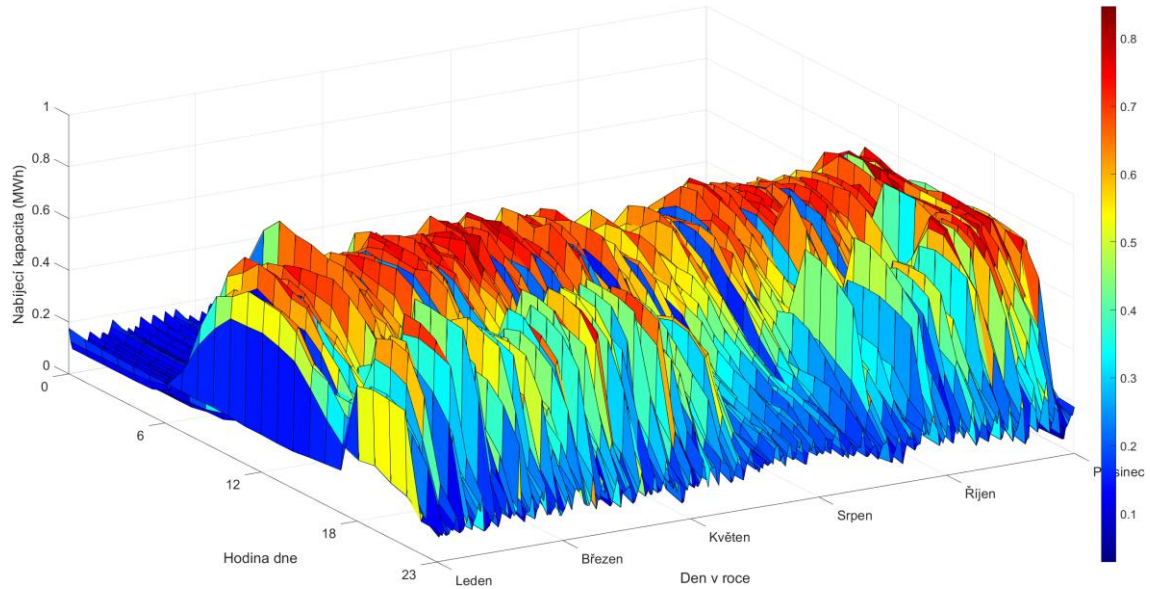


E.6 Nabíjecí kapacita – všední dny

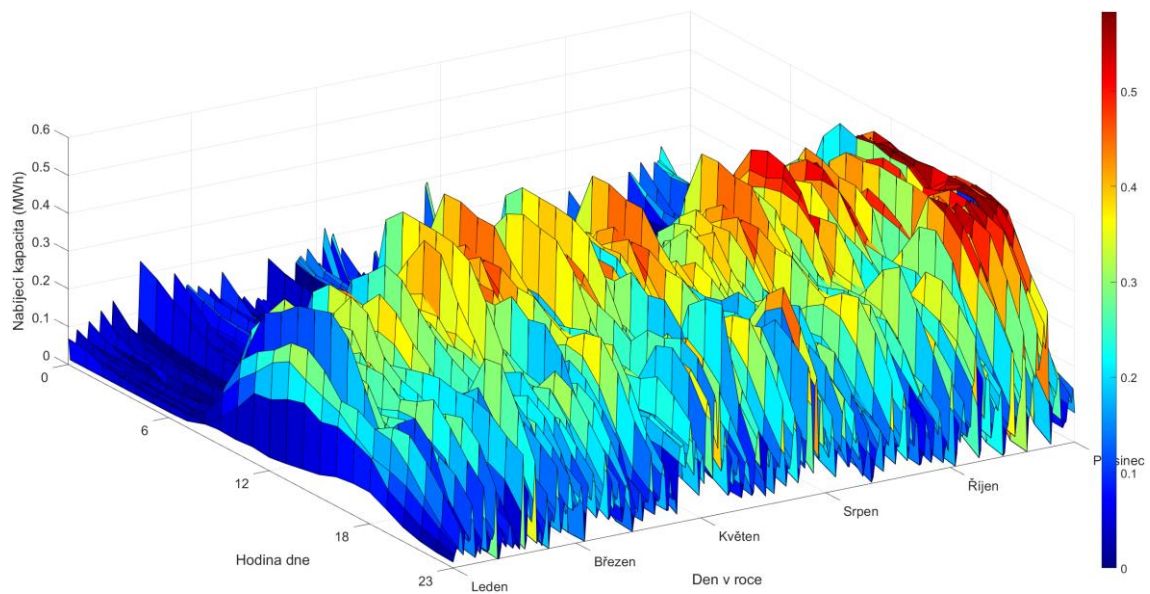


Příloha F - Scénáře pro rok 2025

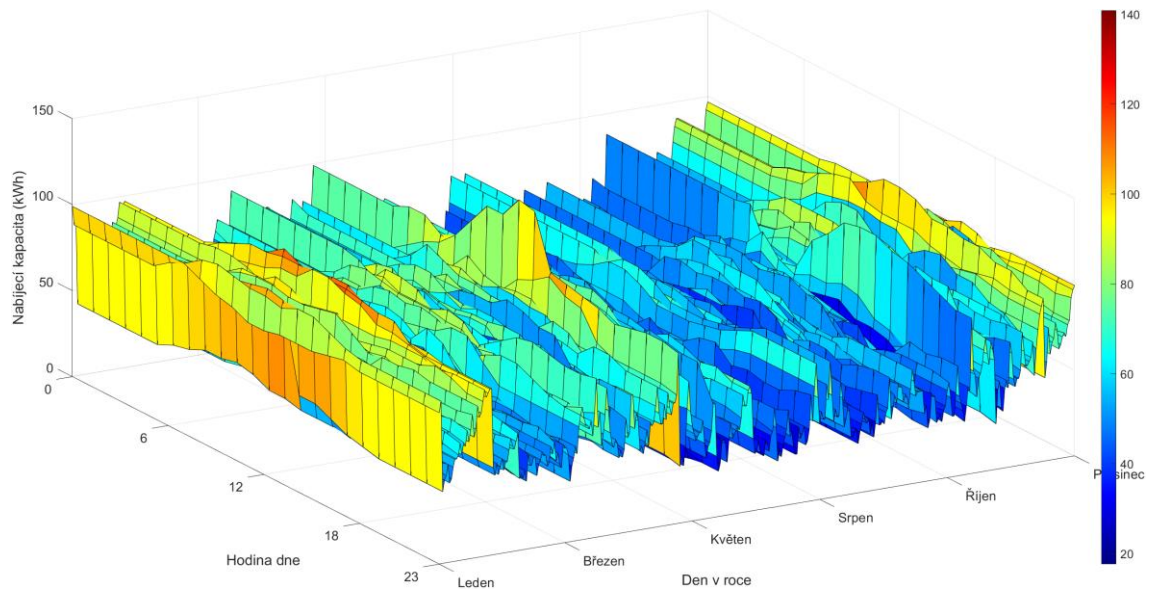
F.1 JD Parking



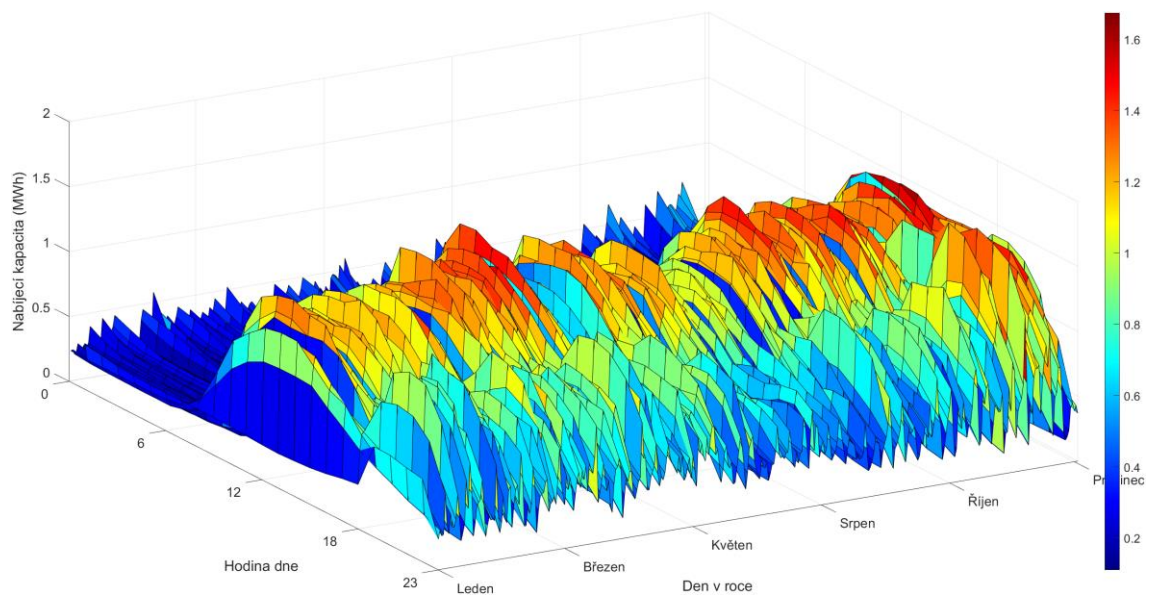
F.2 Domini Park



F.3 Pinki Park

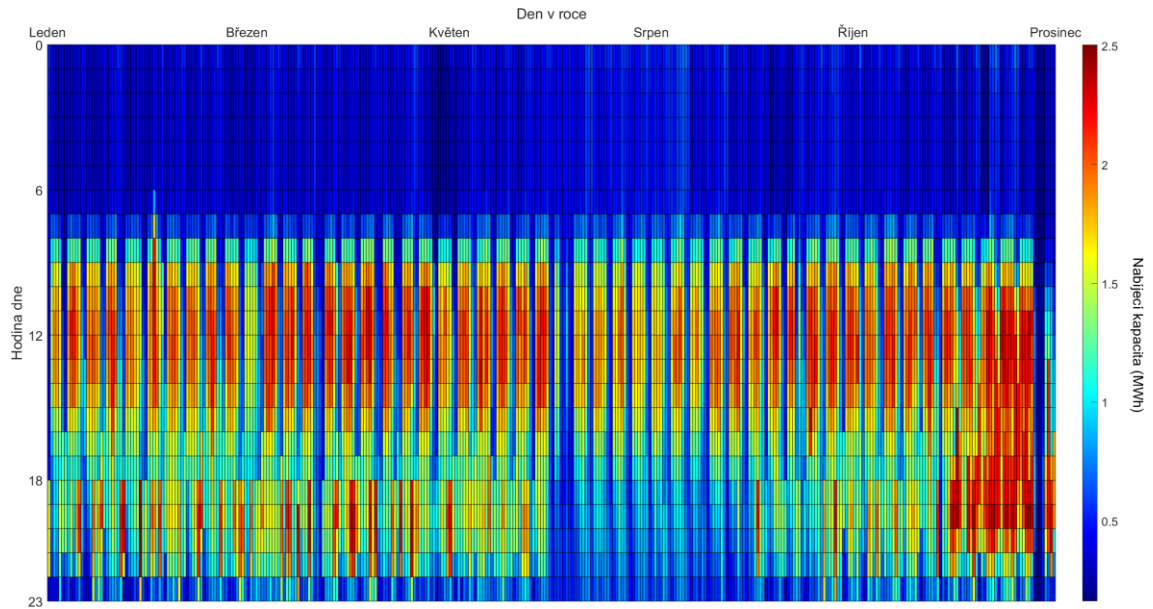


F.4 Kapacita všech PD dohromady

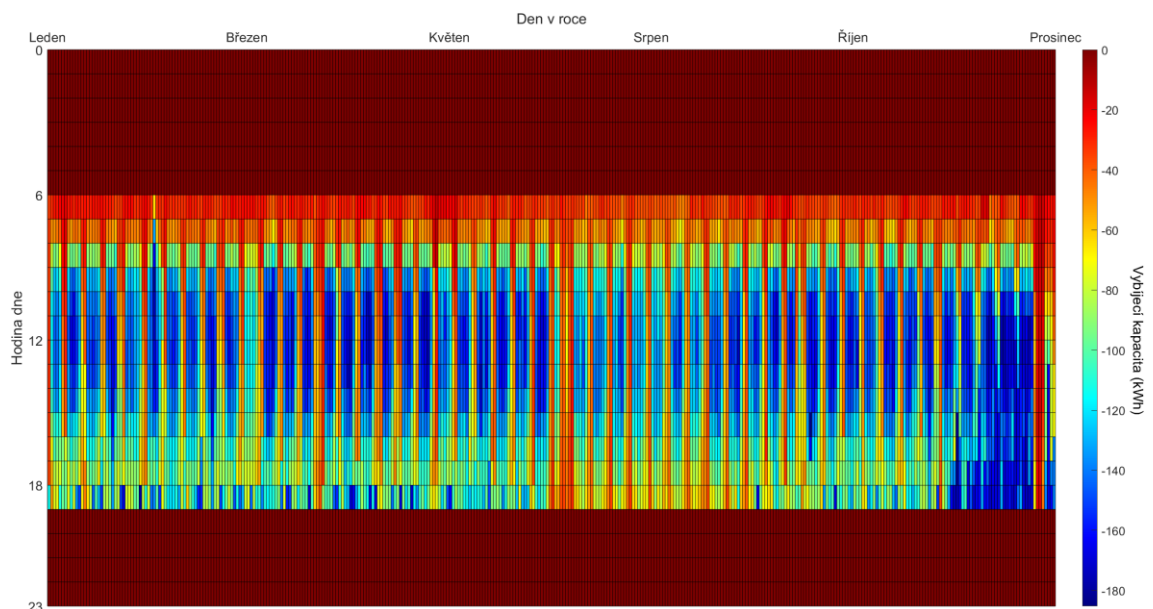


Příloha G - Scénáře pro rok 2030

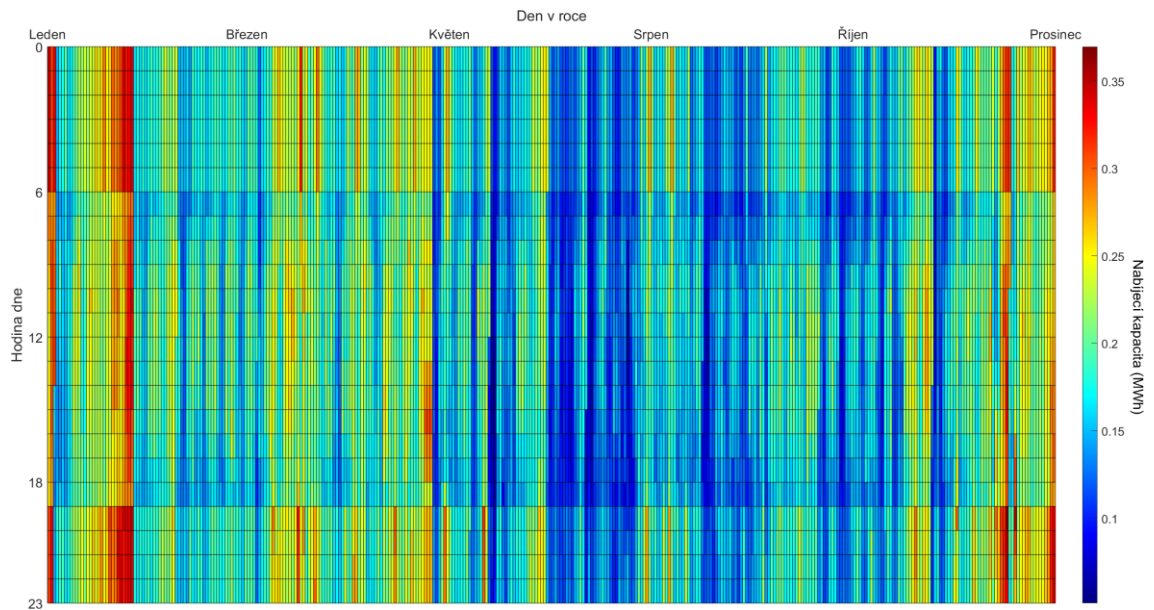
G.1 JD Parking – nabíjecí (V1G) kapacita



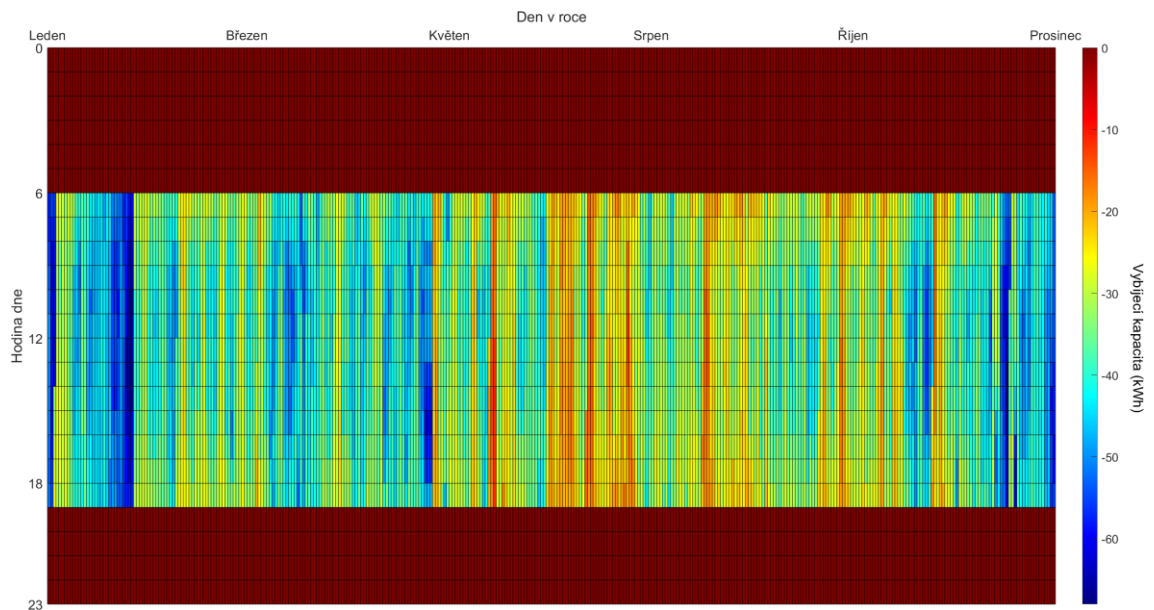
G.2 JD Parking – vybíjecí (V2G) kapacita



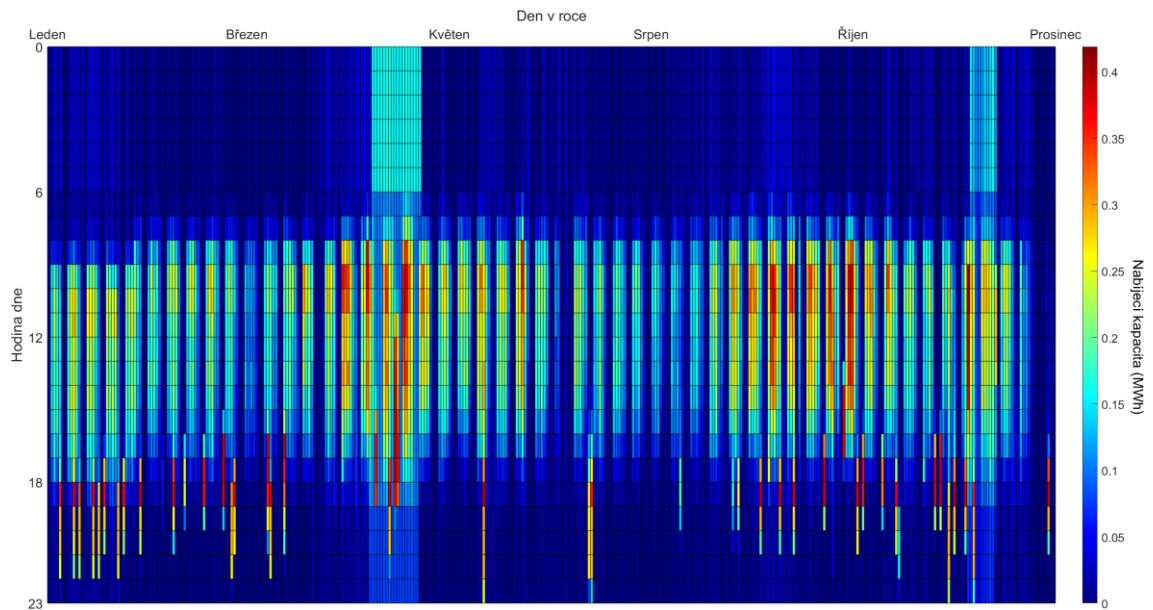
G.3 Pinki Park – nabíjecí (V1G) kapacita



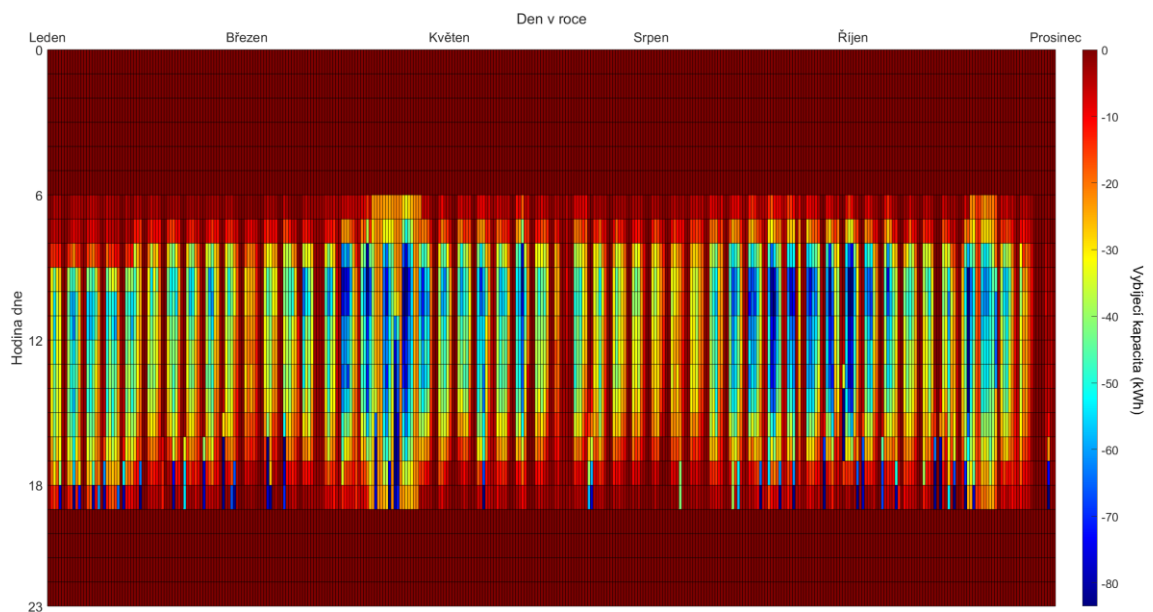
G.4 Pinki Park – vybíjecí (V2G) kapacita



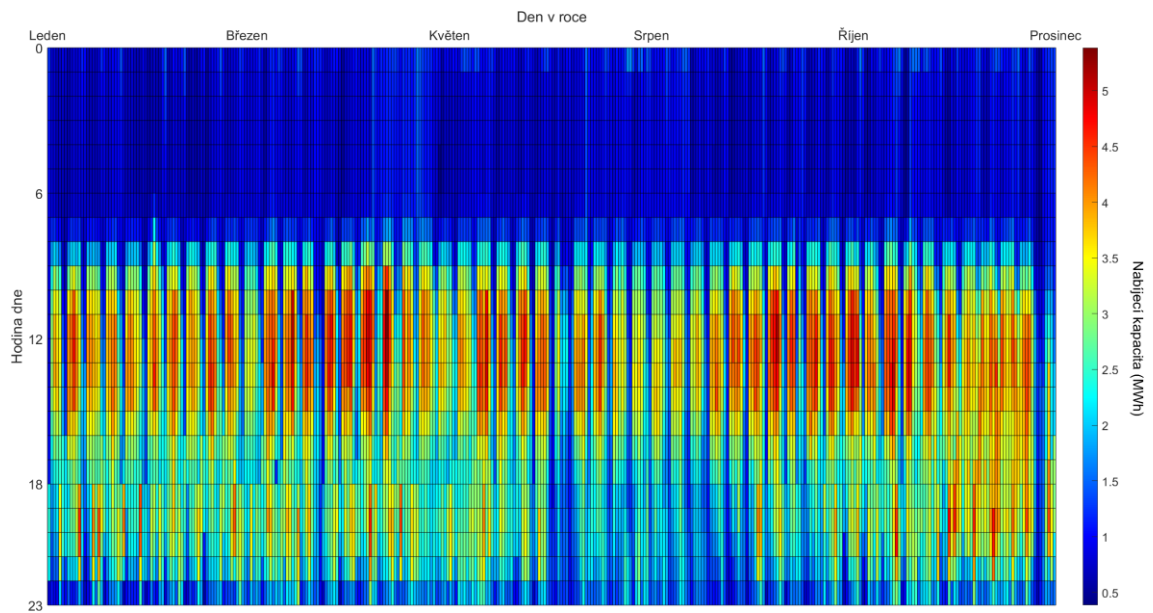
G.5 River Park – nabíjecí (V1G) kapacita



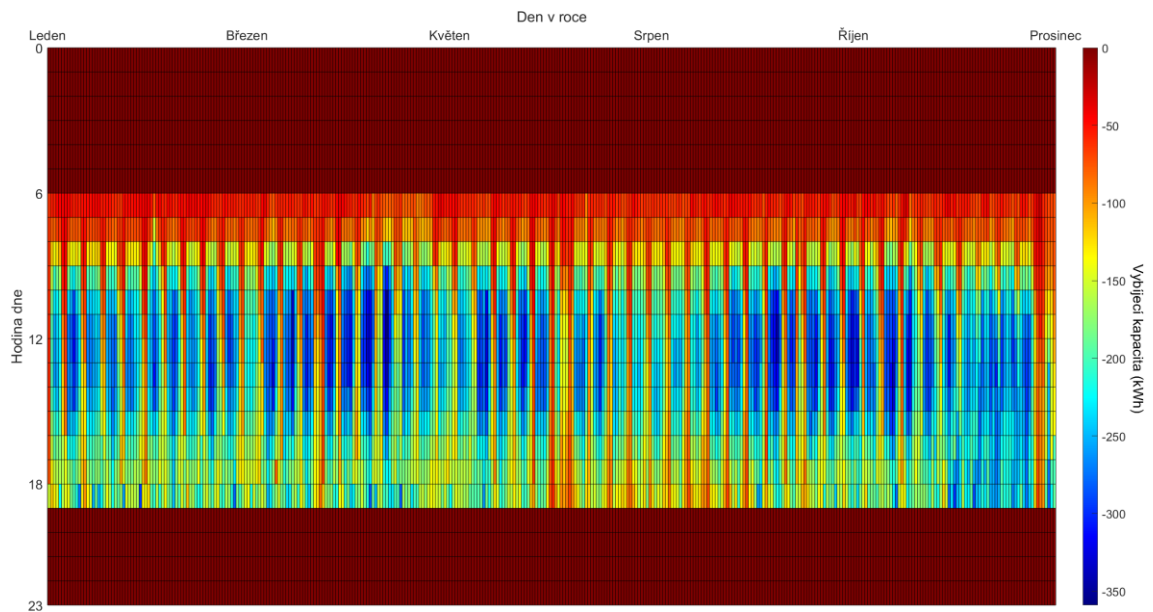
G.6 River Park – vybíjecí (V2G) kapacita



G.7 Kapacita všech PD dohromady – nabíjecí (V1G) kapacita

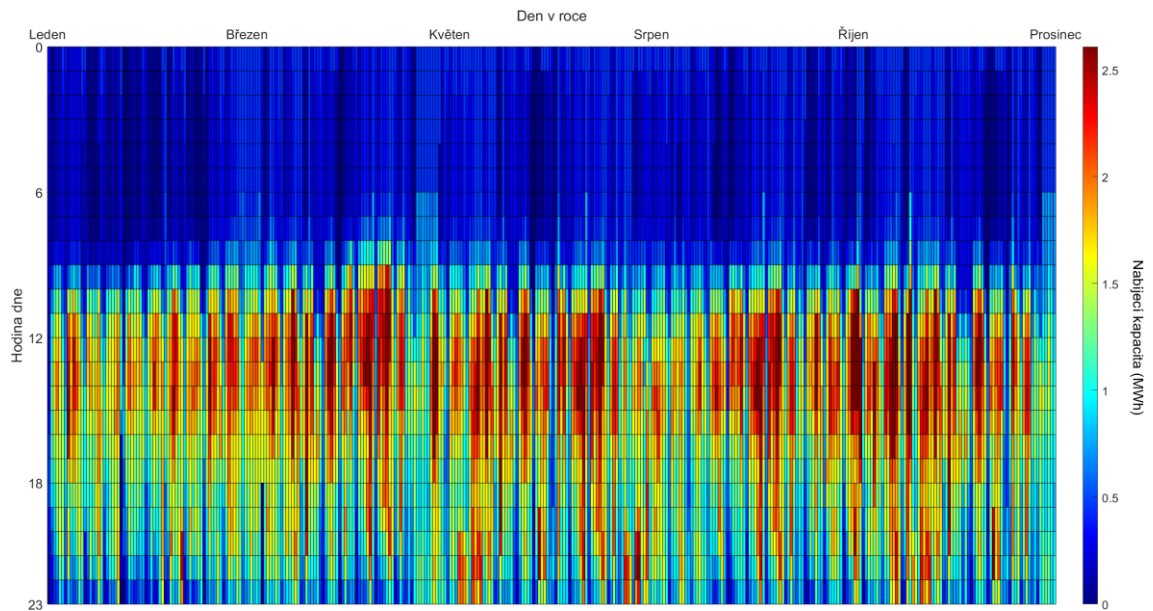


G.8 Kapacita všech PD dohromady – vybíjecí (V2G) kapacita

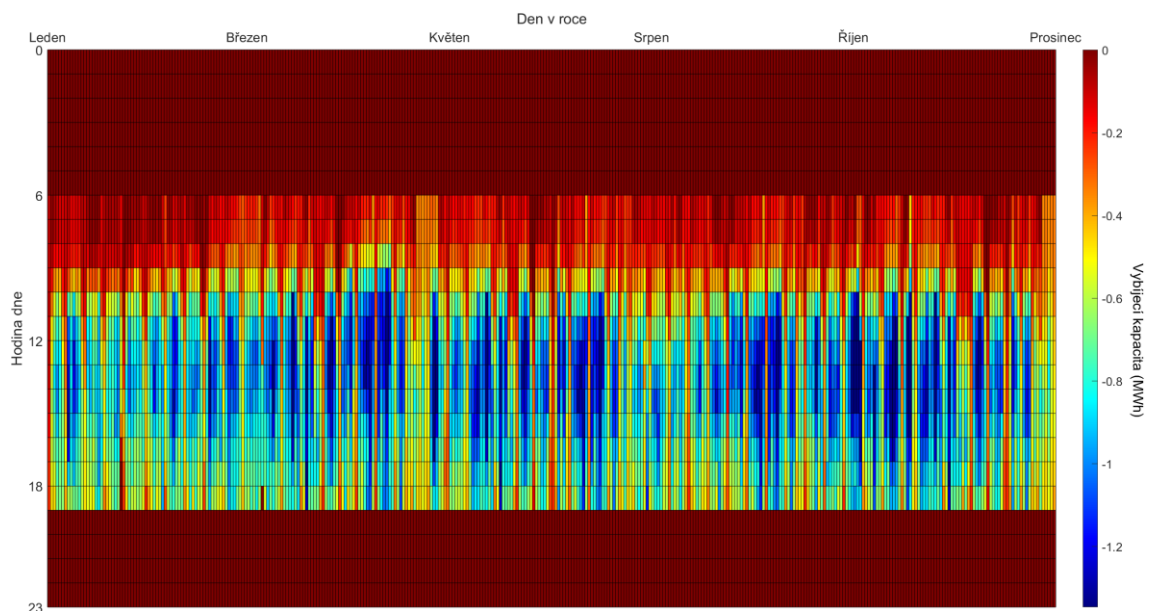


Příloha H - Scénáře pro rok 2035

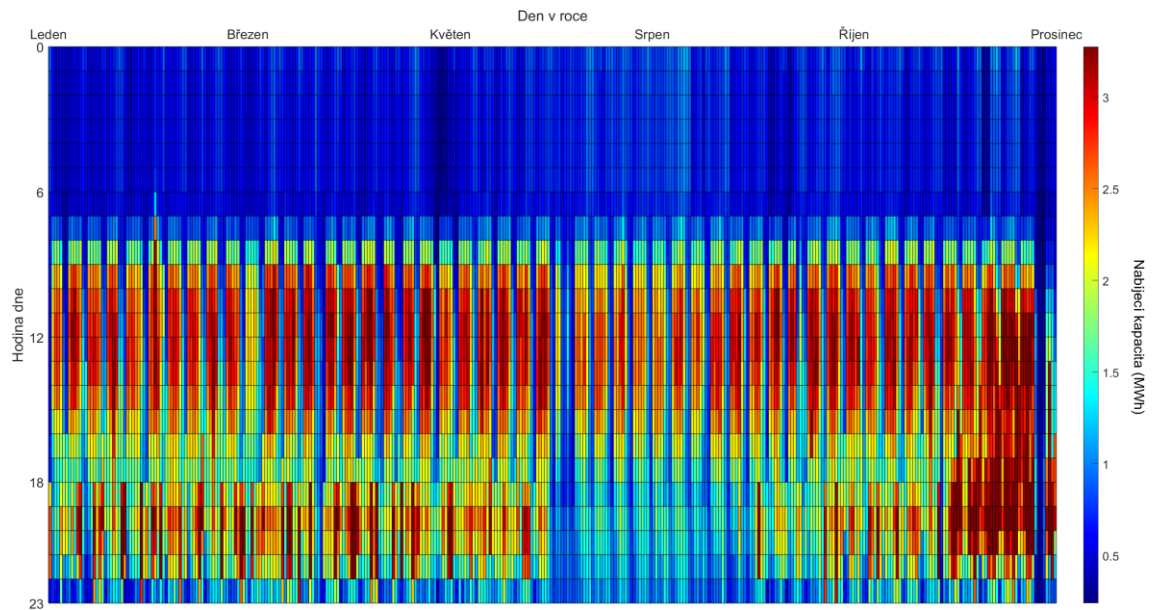
H.1 Domini Park – nabíjecí (V1G) kapacita



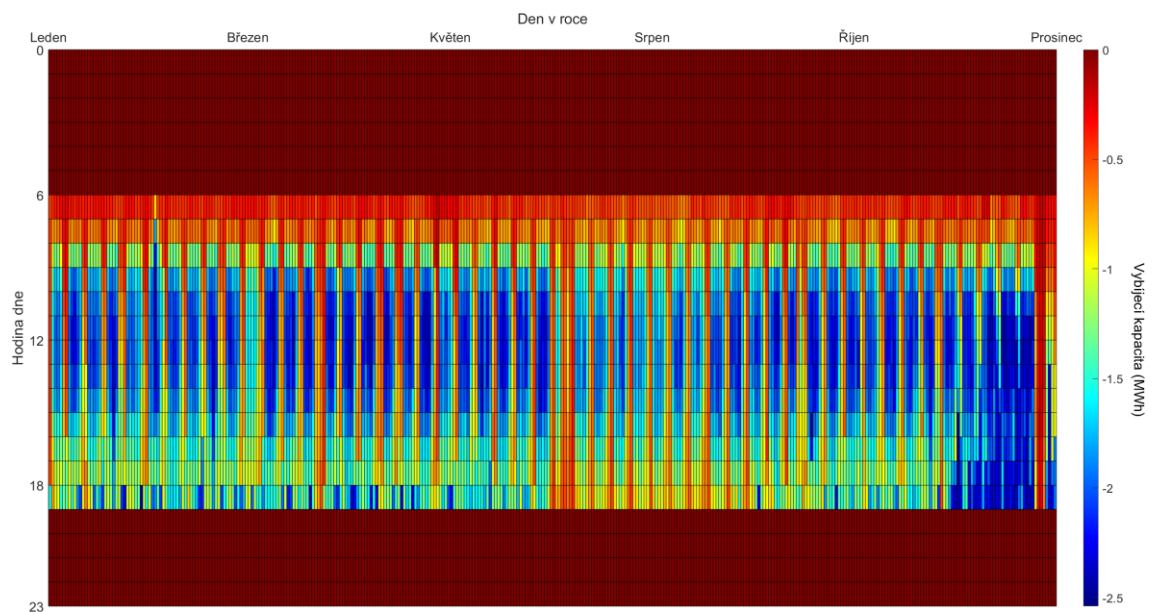
H.2 Domini Park – vybíjecí (V2G) kapacita



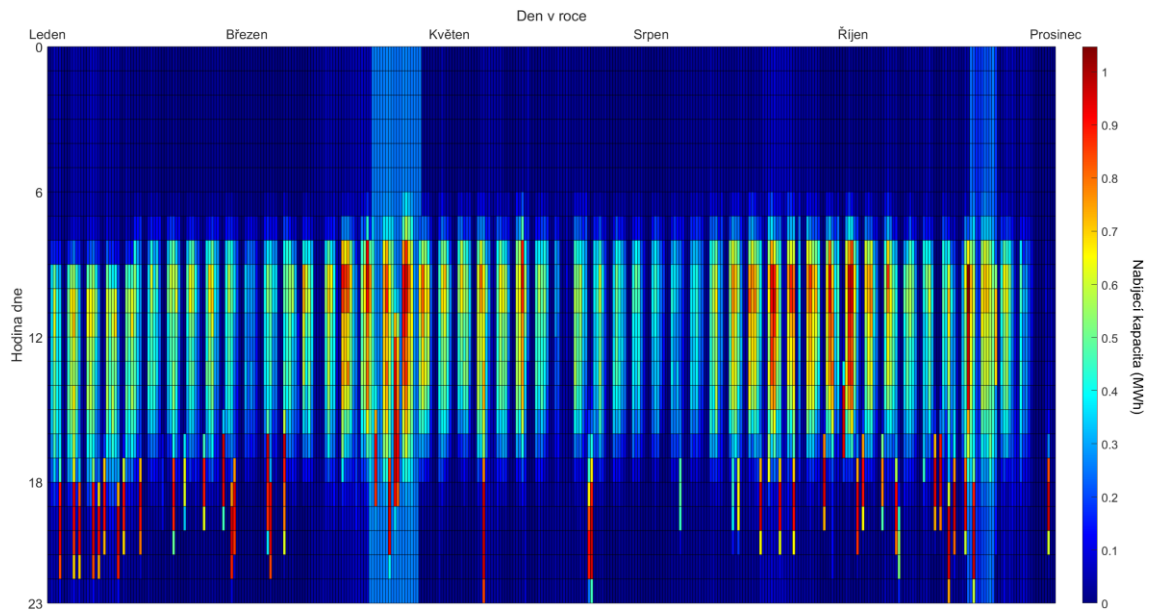
H.3 JD Parking – nabíjecí (V1G) kapacita



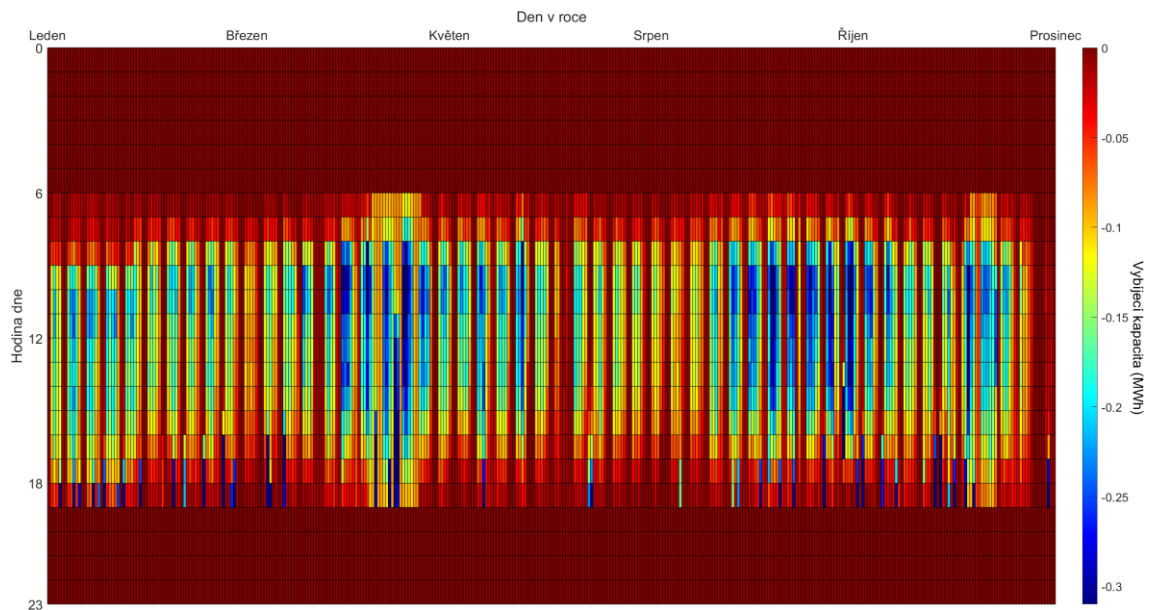
H.4 JD Parking – vybíjecí (V2G) kapacita



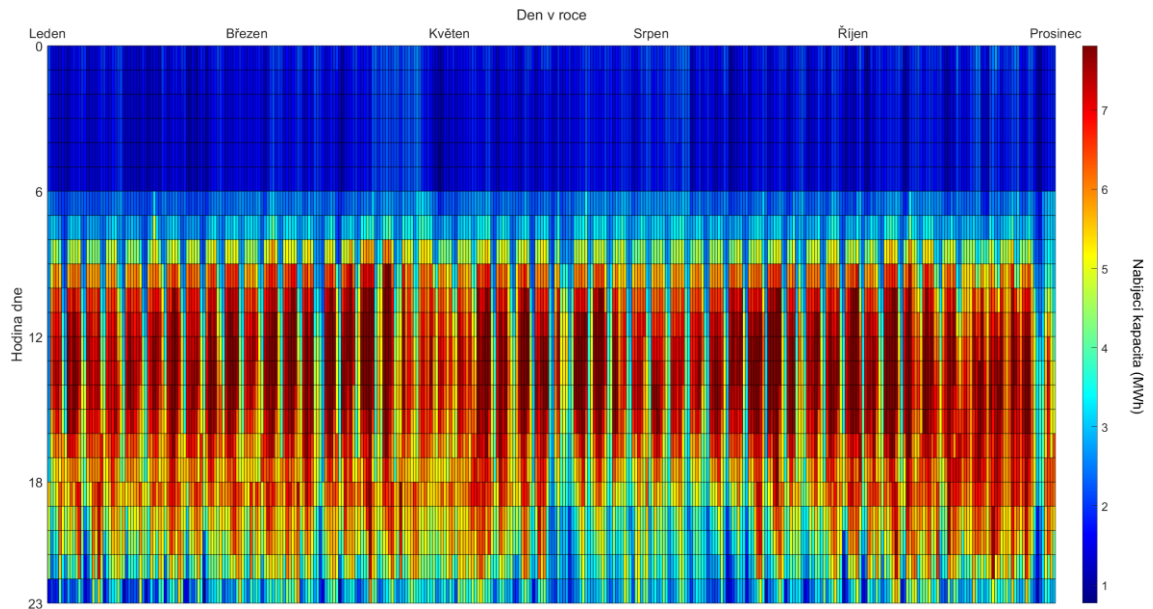
H.5 River Park – nabíjecí (V1G) kapacita



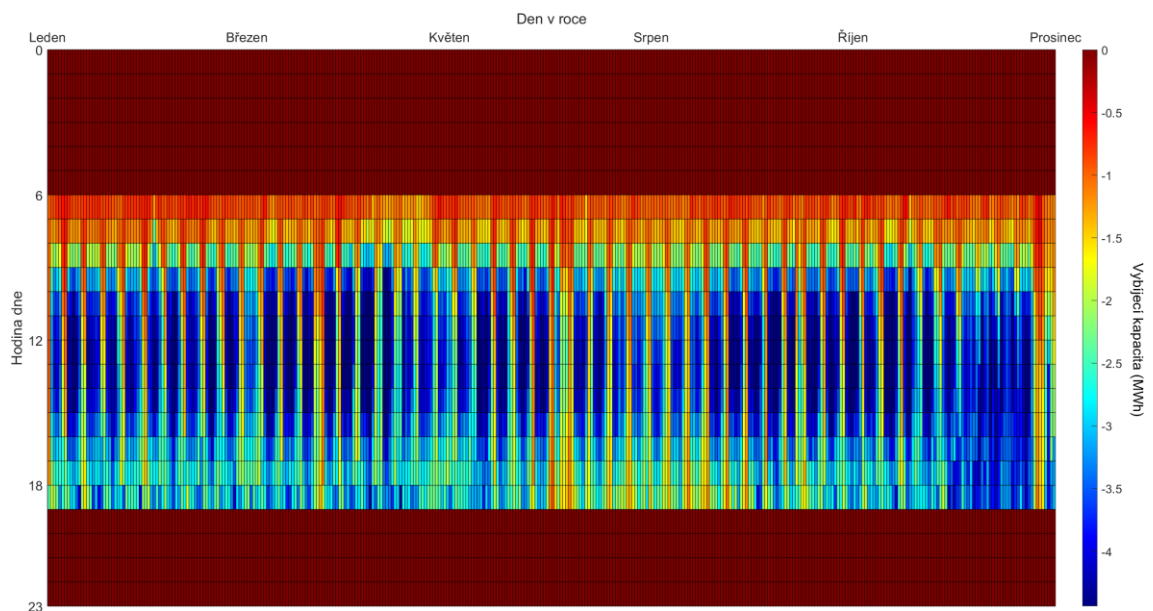
H.6 River Park – vybíjecí (V2G) kapacita



H.7 Kapacita všech PD dohromady – nabíjecí (V1G) kapacita

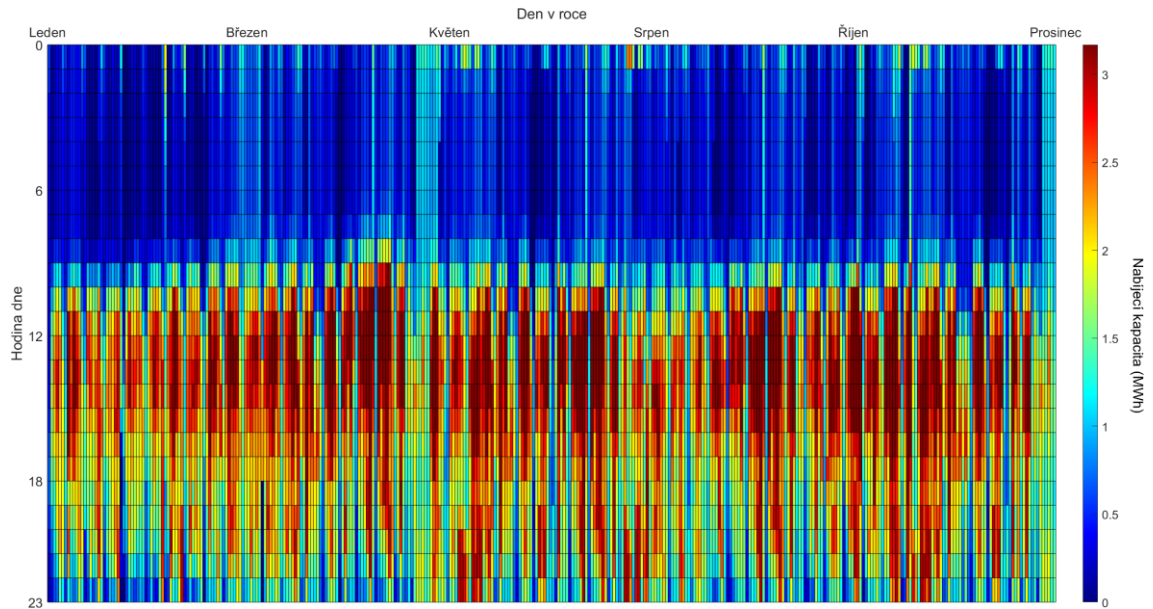


H.8 Kapacita všech PD dohromady – vybíjecí (V2G) kapacita

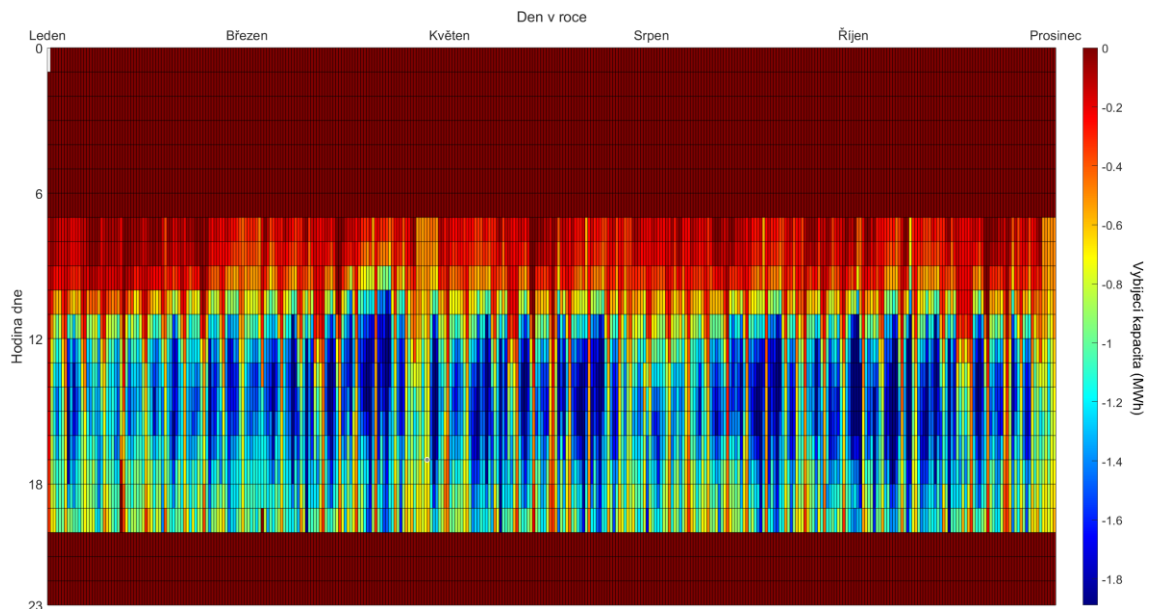


Příloha I - Scénáře pro rok 2040

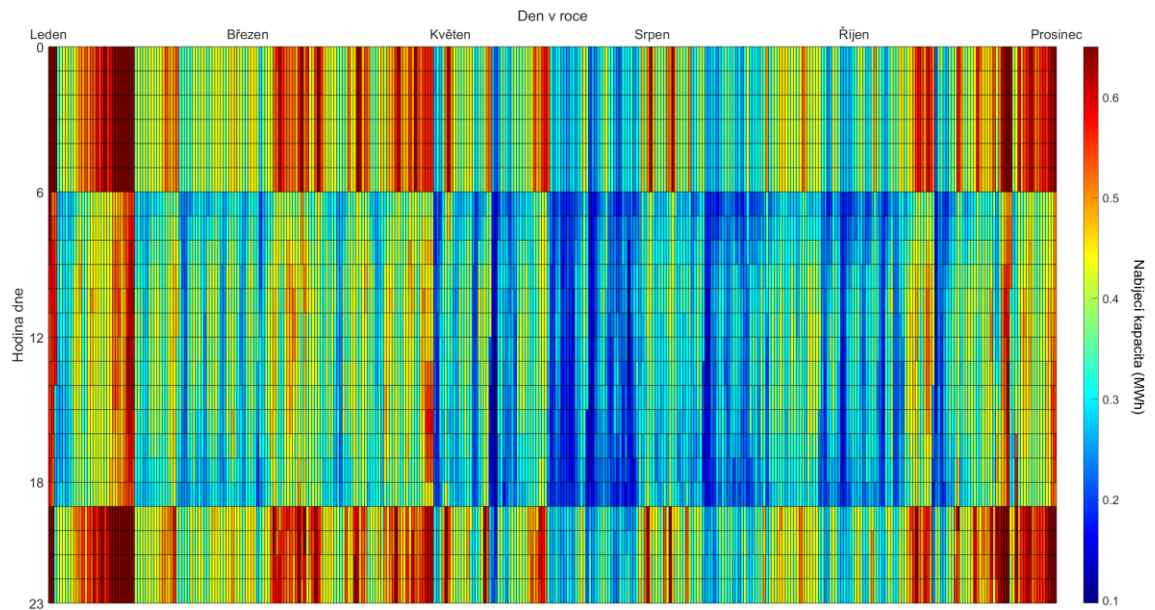
I.1 Domini Park – nabíjecí (V1G) kapacita



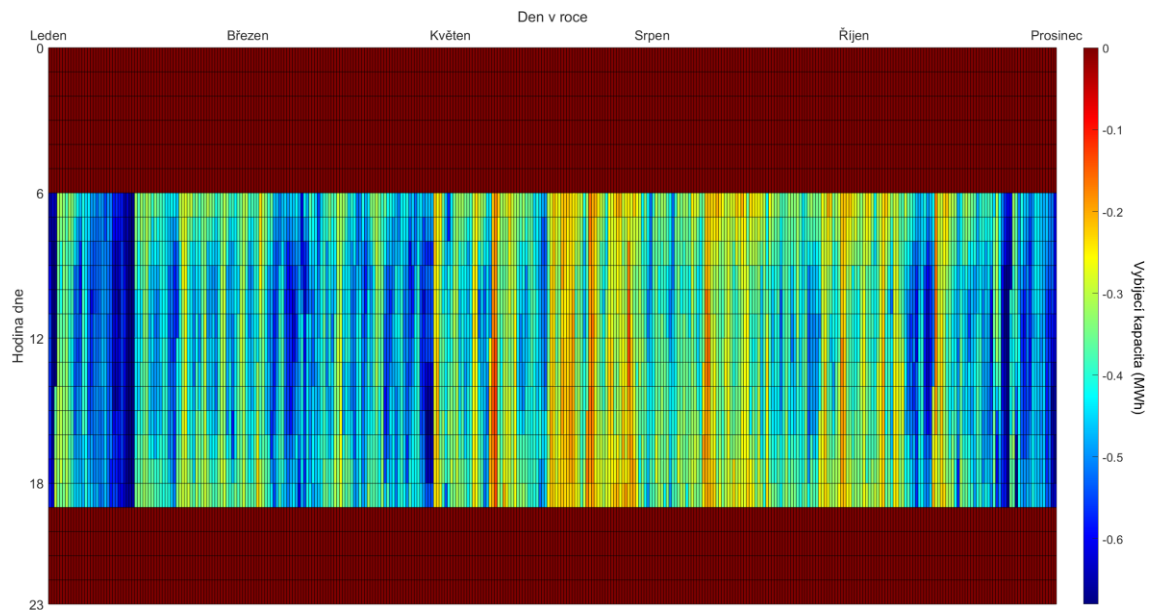
I.2 Domini Park – vybíjecí (V2G) kapacita



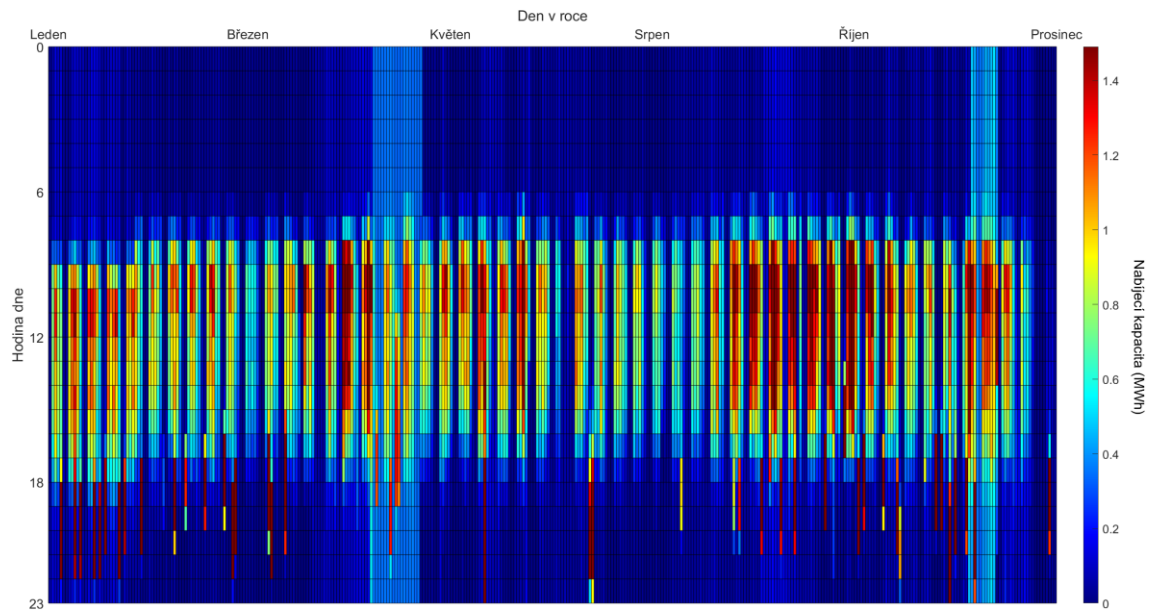
I.3 Pinki Park – nabíjecí (V1G) kapacita



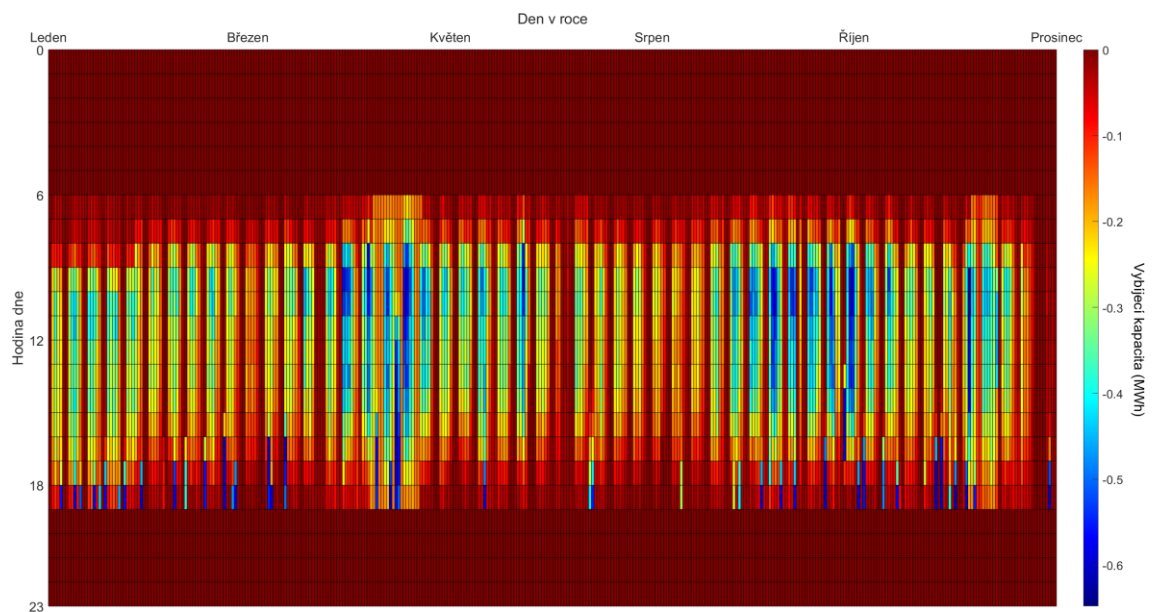
I.4 Pinki Park – vybíjecí (V2G) kapacita



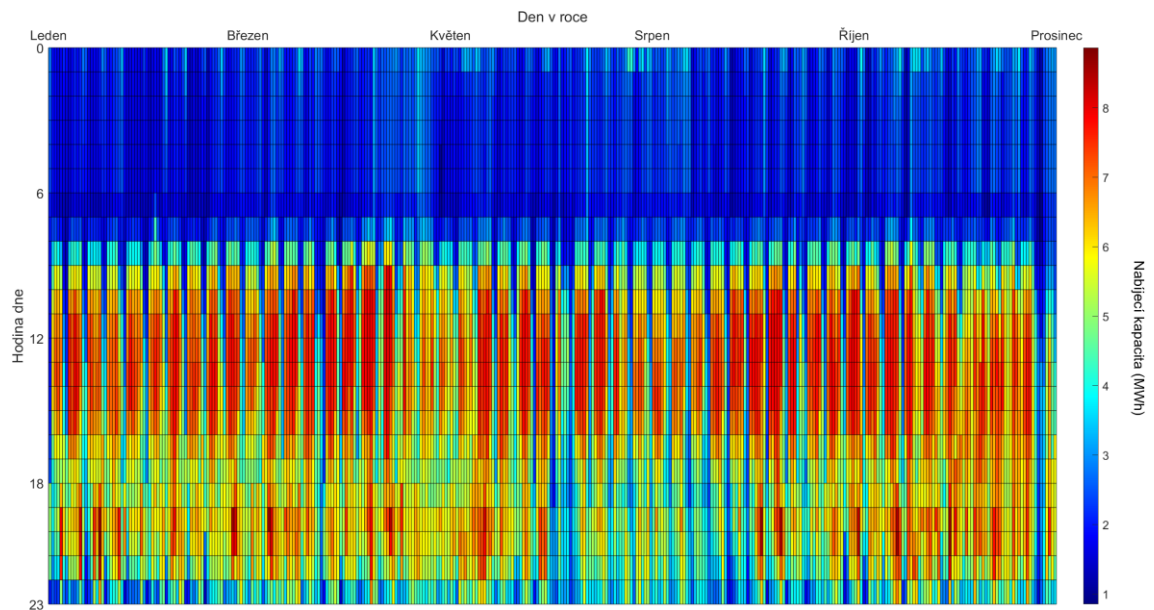
I.5 River Park – nabíjecí (V1G) kapacita



I.6 River Park – vybíjecí (V2G) kapacita



I.7 Kapacita všech PD dohromady – nabíjecí (V1G) kapacita



I.8 Kapacita všech PD dohromady – vybíjecí (V2G) kapacita

