

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza dat z jízd a nabíjení elektromobilů

Bakalářská práce

2023

Jakub Horák

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Horák**
Osobní číslo: **D20430**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Téma práce: **Analýza dat z jízd a nabíjení elektromobilů**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

Analyzujte data získaná z několika zimních jízd a nabíjení tří různých typů elektromobilů (Škoda Citigo-e iV, Hyundai Ioniq 28 kWh, Tesla Model S 90D). U každého vozidla se z nasbíraných dat pokuste vytěžit maximum informací. Porovnejte vozidla mezi sebou. Data z každého vozidla byla získávána komunikací s několika řídicími jednotkami přes diagnostickou zásuvku. Vozidla jezdila stejné trasy ve stejném období (leden/únor).

U každého vozidla určete minimálně:

- Spotřebu energie na různých typech tras.
- Množství energie odebrané a rekuperované z/do trakční baterie na různých typech tras.
- Průběh výkonu a teploty trakční baterie při DC nabíjení, energetickou účinnost DC nabíjení, porovnejte rychlost DC nabíjení.

U některých vozidel by mělo být možné zjistit i další zajímavé informace (např. odhad účinnosti trakčního pohonu, příkon el. topení, průběh trakční charakteristiky).

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Seznam doporučené literatury:

- [1] HAYES, John G. a Gordon A. GOODARZI. *Electric powertrain: energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles*. Hoboken [NJ, USA]: Wiley, 2018. ISBN 1119063647.
- [2] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2018]. ISBN 978-1-4987-6177-2.
- [3] SEDLÁČEK, Miloš a Radislav ŠMÍD. *MATLAB v měření*. 3., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05121-4.
- [4] Podklady poskytnuté vedoucím bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Analýza dat z jízd a nabíjení elektromobilů jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14.5.2023

Jakub Horák v.r.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Zdeňkovi Maškovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, podnětné rady, vstřícnost a všestrannou pomoc při tvorbě této práce. Velké poděkování patří mé snoubence, rodině, spolužákům a blízkým přátelům za jejich podporu a pochopení.

ANOTACE

Tato práce se zaměřuje na zpracování dat z jízd a nabíjení čtyř elektromobilů – Hyundai Ioniq, Hyundai Kona, Tesla model S a Škoda Citigo^e iV. Testování proběhlo v období ledna a února roku 2022. První část se věnuje stručnému přehledu stavu elektromobility v ČR a představení testovaných vozidel. Druhá část se již zabývá samotnou analýzou dat z testování a interpretací jejich výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

elektromobilita, Hyundai, Ioniq, Kona, Škoda, Citigo^e, Tesla, analýza, testování, nabíjení, spotřeba, energie, účinnost, baterie

TITLE

Analysis of data from driving and charging the electric cars

ANNOTATION

This bachelor's thesis focuses on processing data from the driving and charging of four electric vehicles – Hyundai Ioniq, Hyundai Kona, Tesla Model S and Škoda Citigo^e iV. The testing was conducted between January and February of 2022. The first part is devoted to a brief overview of the state of electromobility in the Czech Republic and an introduction of the tested vehicles. The second part deals with the analysis of the testing data and the interpretation of the results.

KEYWORDS

electromobility, Hyundai, Ioniq, Kona, Škoda, Citigo^e, Tesla, analysis, testing, charging, consumption, energy, efficiency, battery.

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK A GRAFŮ	8
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
TERMINOLOGIE	12
ÚVOD	13
1. STAV ELEKTROMOBILITY V ČR	14
2. SEZNÁMENÍ S AUTOMOBILY POUŽITÝMI K TESTOVÁNÍ	16
2.1 Hyundai Ioniq Electric modelový rok 2017	16
2.2 Škoda Citigo ^e iV modelový rok 2021	20
2.3 TESLA Model S 90D modelový rok 2016	23
2.4 Hyundai Kona EV PREM SE modelový rok 2020	26
3. PŘEDSTAVENÍ TRAS A PRŮBĚHU TESTOVÁNÍ	30
3.1 Sběr dat z jízd	30
3.2 Testovací trasy	33
3.2.1 Dálnice	33
3.2.2 Hory	34
3.2.3 Okresní silnice	35
3.2.4 Město	37
3.2.5 Společné jízdy vozidel	38
4. ANALÝZA DAT	39
4.1 Spotřeba energie na různých typech tras	39
4.1.1 Výpočty	39
4.1.2 Dálnice	39
4.1.3 Hory	40
4.1.4 Okresní silnice	40
4.1.5 Město	41
4.1.6 Grafická porovnání na různých trasách	41

4.2 DC nabíjení	45
4.2.1 Průběh výkonu a teploty trakční baterie	45
4.2.1 Účinnost DC nabíjení.....	51
4.3 Příkon 12 V palubní sítě a výhřevu HV baterie.....	52
4.4 Příkon topení.....	53
4.5 Dodatečné testy pouze pro Hyundai Kona	55
4.5.1 Nabíjení do SOC 100 %.....	55
4.5.2 Vliv teploty baterie na rychlost nabíjení.....	56
4.5.3 Trakční charakteristika vozidla.....	57
4.5.4 Vliv předtopení kabiny	59
ZÁVĚR	62
POUŽITÁ LITERATURA	64
SEZNAM PŘÍLOH.....	66

SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1: Vývoj registrací vozidel dle typu paliva a roku první registrace [5].....	14
Obrázek 2: Rozdělení jízd automobilem dle ujeté vzdálenosti [4].....	15
Obrázek 3: Veřejné dobíjecí stanice a body [5].....	15
Obrázek 4: Testovaný vůz Hyundai Ioniq Electric.....	16
Obrázek 5: Schéma vytápění kabiny pomocí tepelného čerpadla Hyundai Ioniq [10]	18
Obrázek 6: Vytápění HV baterie [11].....	19
Obrázek 7: Uspořádání elektrických systémů vozidla na platformě Hyundai Ioniq Electric [10]	19
Obrázek 8: Testovaný vůz Škoda Citigo ^e iV společně s vozem Hyundai Ioniq a Hyundai Kona při nabíjení v Osicích na D11	20
Obrázek 9: Schéma vytápění a chlazení Škoda Citigo ^e iV [13]	22
Obrázek 10: Schéma platformy s elektropohonem [13].....	22
Obrázek 11: Tesla model S, Hyundai Ioniq a Kona před laboratoří DFJP v Doubravicích.....	23
Obrázek 12: Schéma vytápění a chlazení Tesla model S 90D [14].....	25
Obrázek 13: Hyundai Kona při testovací jízdě ve městě Pardubice [15]	26

Obrázek 14: Schéma vytápění pomocí tepelného čerpadla [16].....	28
Obrázek 15: Schéma elektrických systémů u vozidla Hyundai Kona [16]	29
Obrázek 16: Sběr dat při testování [17]	30
Obrázek 17: Uživatelské rozhraní VBOX Test Suite	31
Obrázek 18: Datalogger MCR-4V a měřicí sondy [17].....	32
Obrázek 19: Trasa na dálnici D11	33
Obrázek 20: Trasa Deštné v O.h. – Osada Bedřichovka	34
Obrázek 21: Trasa Pardubice – Deštné v O.h.	36
Obrázek 22: Trasa Pardubice – Týnec n. Sázavou	37
Obrázek 23: Trasa linky MHD č.7.....	38
Obrázek 24: Výškový profil Deštné v O.h. - Osada Bedřichovka.....	40
Obrázek 25: Výškový profil Pardubice – Deštné v O.h.	41
Obrázek 26: Detail na vytápění HV baterie při nabíjení Tesly model S	48
Obrázek 27: Nabíjecí charakteristika typu IU [18].....	56
Obrázek 28: Průběh výkonu (tmavší průběh) a momentu (světlejší průběh) na otáčkách zážehového motoru Honda 2.0L [19]	58
Obrázek 29: Bez předtopení [17].....	60
Obrázek 30: S předtopením [17].....	60
Obrázek 31: Vyhřívání garáž [17].....	60
Tabulka 1: Technické parametry testovaného vozidla Hyundai Ioniq Electric z příručky výrobce.....	17
Tabulka 2: Technické parametry testovaného vozidla Škoda Citigo ^e iV z příručky výrobce ..	21
Tabulka 3: Technické parametry testovaného vozidla Tesla model S 90D.....	24
Tabulka 4: Technické parametry testovaného vozidla Hyundai Kona EV z příručky výrobce	27
Tabulka 5: Seznam vybavení použitý při testování. [17]	31
Tabulka 6: Souhrn vozidel na trase dálnice D11 pro rychlosti 90 a 130 km/h.....	34
Tabulka 7: Souhrn vozidel na trase Deštné v O.h. – osada Bedřichovka	35
Tabulka 8: Souhrn vozidel na trase Pardubice – Deštné v O.h. a zpět	36
Tabulka 9: Souhrn vozidel na trase Pardubice – Týnec n. Sázavou a zpět.....	37
Tabulka 10: Souhrn vozidel na trase linky MHD č.7	38
Tabulka 11: Společné jízdy vozidel.....	38
Tabulka 12: Porovnání DC nabíjení po trasách na dálnici D11 rychlostí 90 km/h seřazené podle doby nabíjení.....	45

Tabulka 13: Porovnání DC nabíjení po trasách na dálnici D11 rychlostí 130 km/h seřazené podle doby nabíjení.....	45
Tabulka 14: Část přílohy G pro porovnání účinnosti DC nabíjení.....	51
Tabulka 15: Část přílohy G pro porovnání procentuálních podílů vlastní spotřeby vozidla	52
Tabulka 16: Část přílohy I pro porovnání příkonů a spotřebované energie vlastní spotřeby vozidla.....	52
Tabulka 17: Procentuální spotřeba energie topení kabiny vůči celkové spotřebě energie na různých typech tras	53
Tabulka 18: Porovnání rychlosti nabíjení do 100 % SOC.....	55
Tabulka 19: Vliv teploty HV baterie na rychlost nabíjení.....	57
Graf 1: Grafické porovnání dojezdu na různých trasách	43
Graf 2: Grafické porovnání spotřeby energie na různých trasách	43
Graf 3: Grafické porovnání rekuperace na různých trasách	44
Graf 4: Grafické porovnání spotřeby na jednotku hmotnosti a 100 kilometrů na různých trasách	44
Graf 5: Průběhy veličin při nabíjení Hyundai Ioniq	46
Graf 6: Průběhy veličin při nabíjení Škody Citigo ^e iV	47
Graf 7: Průběhy veličin při nabíjení Tesly modelu S	48
Graf 8: Průběhy veličin při nabíjení Hyundai Kona	49
Graf 9: Průběhy ohřívání HV baterie Hyundai Kony, Ioniq a Škody Citigo ^e iV	50
Graf 10: Průběhy ohřívání HV baterie Hyundai Kony a Tesly modelu S	50
Graf 11: Porovnání příkonu topení na trase Pardubice – Týnec n. Sázavou	54
Graf 12: Porovnání příkonu topení na městské trase MHD č.7 v Pardubicích.....	54
Graf 13: Nabíjení Hyundai Kona do 100 % SOC.....	56
Graf 14: Vliv teploty HV baterie na nabíjecí výkon.....	57
Graf 15: Naměřená trakční charakteristika Hyundai Kona	59
Graf 16: Vliv předtopení kabiny vozidla na spotřebu energie topením v následující jízdě v závislosti na čase.....	60
Graf 17: Vliv předtopení kabiny vozidla na spotřebu energie topením v následující jízdě v závislosti na ujeté vzdálenosti.....	61

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

BEV – Battery Electric Vehicle – Elektrické akumulátorové vozidlo

MHEV – Mild Hybrid Electric Vehicle – Elektromotor napájen spalovacím motorem

HEV – Hybrid Electric Vehicle – Vozidlo s plně hybridním pohonem

FCBEV – Fuel Cell Battery Electric Vehicle – Elektrické akumulátorové vozidlo s palivovým článkem

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle – Vozidlo s plně hybridním pohonem a možností externího nabíjení

EV – Electric vehicle – Vozidlo s elektrickým pohonem

BiSG – Belt integrated Starter Generator – MHEV s 48 V startér/generátorem místo 12 V alternátoru a 48 V baterií

IMA – Integrated Motor Assist – MHEV s elektromotorem na převodovce

PTC – Positive temperature coefficient – Termistor s pozitivním teplotním koeficientem

ČEZ – České energetické závody, a.s.

PRE – Pražská energetika, a.s.

SOC – State of Charge – Stav nabití HV akumulátoru BEV v procentech

HV baterie – High Voltage – Vysokonapěťová (trakční) baterie vozidla

WLTP – Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure – celosvětově odsouhlasený testovací standard měření pro lehká užitková vozidla lépe reflektující reálný jízdní profil, ačkoliv stále velmi nedokonalý

NEDC – New European Driving Cycle – předchůdce metody WLTP do září roku 2017

OBD – On Board Charger – Palubní nabíječka vozidla, pro případy AC nabíjení

BMS – Battery Management System – Systém řízení baterie, který dohlíží například na teplotu a napětí článků.

TERMINOLOGIE

Dobíjecí stanice – zařízení vybavené jedním nebo více dobíjecími body, které mají stejného vlastníka jako toto zařízení.

Dobíjecí bod – zařízení, které umožňuje dobíjet v určitém okamžiku jedno elektrické vozidlo nebo u něhož je v určitém okamžiku možno provést výměnu baterie u jednoho elektrického vozidla, a jehož hlavním účelem je dobíjení elektrického vozidla.

Rekuperace – stav, kdy je elektrická energie vracena do HV baterie generátorickým režimem trakčního pohonu, který způsobuje brzdění elektrovozidla.

Wallbox – nástěnná nabíječka s nabíjecím konektorem Type 2 určená pro AC nabíjení vozidla.

Primárně pro domácí nabíjení a parkovací domy, kdy není třeba rychlonabíjení DC nabíječkou.

ÚVOD

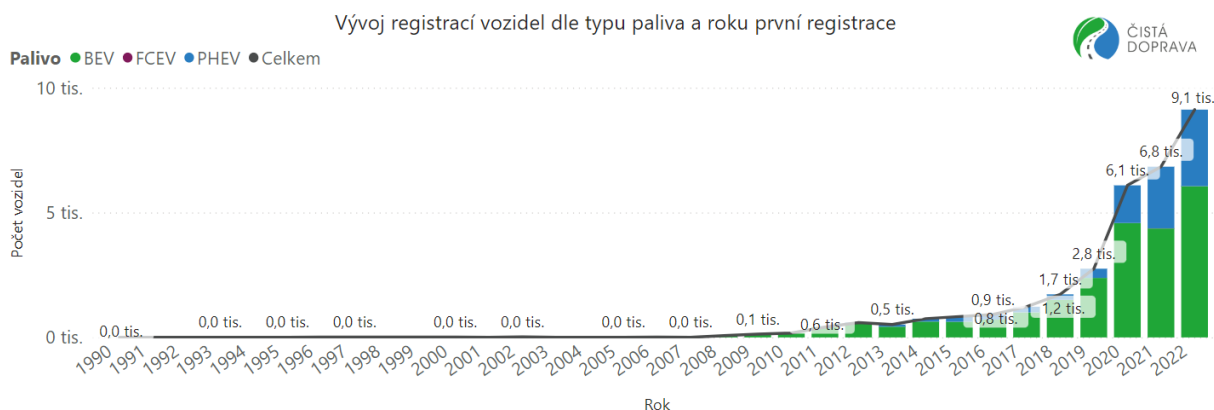
V dnešní době patří téma elektromobility k jednomu z nejvíce rozdělujících témat dopravy v očích běžné populace, protože je toto odvětví silně stigmatizováno a zatíženo spoustou nepravd. Na evropském kontinentu je toto odvětví podporováno především s ohledem na dopady životního prostředí a snahou dosáhnout cílů balíčku *Fit for 55*, mezi které se řadí mimo jiné i snaha zrušit prodej nových automobilů se spalovacími motory [1].

Těchto cílů lze v dnešní době dosáhnout pouze dvěma typy vozidel, a to plně elektrického akumulátorového vozidla BEV a elektrovozidel s palivovým článkem FCBEV. Dnes jsou ale realizována i vozidla s hybridním pohonem, který kombinuje elektromotory a spalovací motory dohromady. Tyto hybridy kombinují velký rozsah poměrů elektrický/spalovací motor, od MHEV typu BiSG, který ještě neumožňuje čistě elektrickou jízdu, přes IMA, která již má elektromotor na převodovce a blíží se schopností jet i pouze na elektrickou energii plným hybridům HEV [2]. Sekci hybridních elektromobilů zakončují Plug – in hybridy PHEV, jejichž vysokonapěťový akumulátor jde nabíjet i externě z napájecí sítě. Avšak tato kapacita nedosahuje velikostí akumulátorů BEV, a tak je zde opět spalovací motor ve funkci generátoru pro případ vybití baterie.

Tato práce se zabývá zpracováním údajů z reálných jízd elektromobilů právě z kategorie BEV, jejichž trasy byly vybrány tak, aby simulovaly různé varianty provozu a typů tras běžného uživatele. Veškeré jízdy byly realizovány v období ledna a února roku 2022 vedoucím mé bakalářské práce Ing. Zdeňkem Maškem, Ph.D. a kolektivem jeho spolupracovníků. V první části bude představena aktuální obecná situace okolo elektromobility v České republice a její předpokládaná budoucnost. Následovat bude představení samotných vozidel zapojených do testování a jednotlivých tras. V praktické části proběhne samotná analýza dat od spotřeby na různých typech tras, přes rozbor nabíjení jednotlivých vozidel a jejich porovnání, až k testům, které proběhly speciálně pouze na vozidle, které je oproti zadání navíc, a to Hyundai Kona.

1. STAV ELEKTROMOBILITY V ČR

V České republice je aktuální stav vozového parku z hlediska stáří jeden z nejhorších v Evropě [3]. Z tohoto důvodu je zde značně pomalejší přechod na elektromobilitu, než je průměr v Evropské unii. V roce 2020 byl podíl nově registrovaných BEV v ČR na celkový počet nově registrovaných automobilů 0,5 %, což je 11x méně než průměr EU [4]. Navzdory nízkému procentuálnímu podílu počet registrací elektrovozidel roste poměrně rychle, jak je vidět na grafu (Obrázek 1).

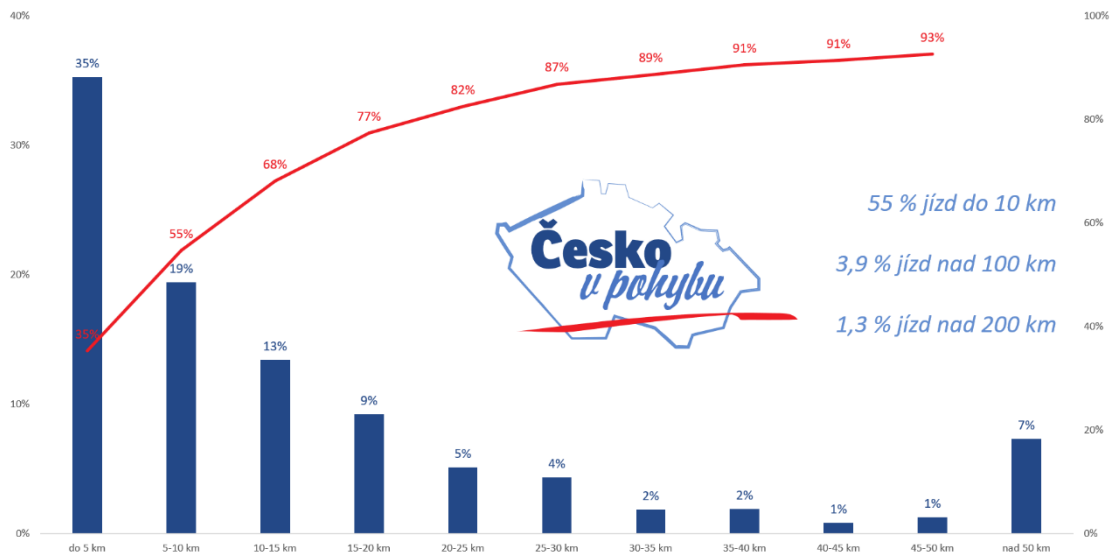


Obrázek 1: Vývoj registrací vozidel dle typu paliva a roku první registrace [5]

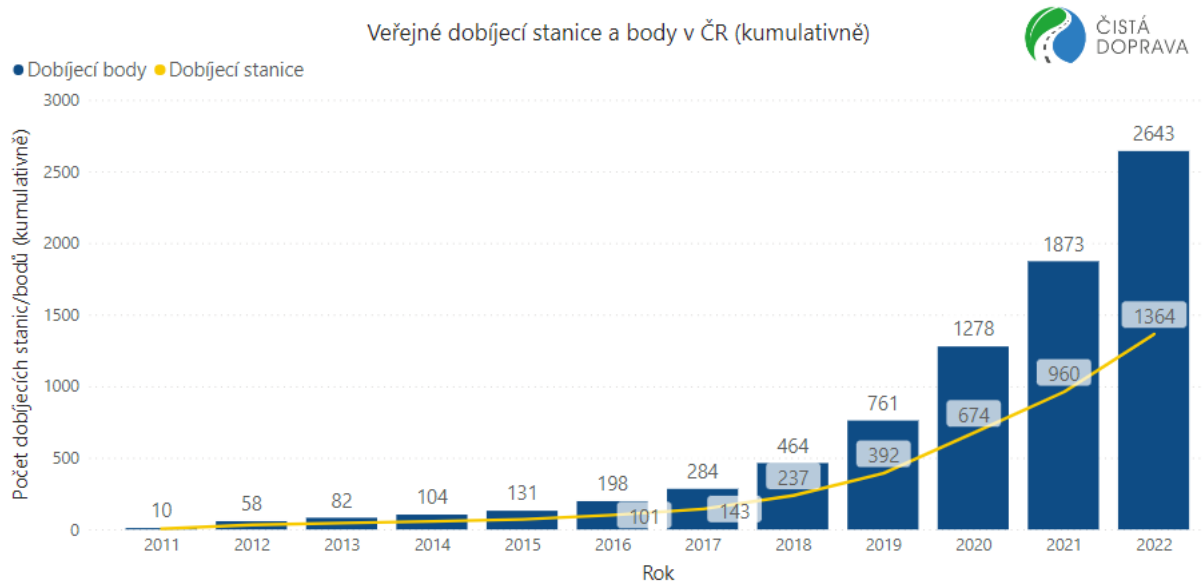
Nejčastější argument proti elektromobilitě je cena nového elektrovozidla, která je stále vyšší než ceny vozidel se spalovacím motorem, protože jde stále o menší trh. Nicméně z důvodu menších dlouhodobých nákladů na údržbu a rostoucích cen za fosilní paliva se může jednat v dlouhodobém měřítku o ekonomičtější variantu [6]. Jako druhý nejčastější problém s elektromobilitou je zmiňován dojezd. Dle prvního celostátního průzkumu dopravního chování *Česko v pohybu* [7] je až téměř 55 % jízd automobilem do vzdálenosti 10 km, což nekoreluje s obavami ohledně dojezdů EV (Obrázek 2).

Nabíjecí infrastruktura v ČR roste exponenciálně jako počet registrovaných EV, k datu 31.12.2022 je počet veřejných dobíjecích bodů 2643 (Obrázek 3). Česká legislativa je nyní již částečně připravena na budoucnost s elektromobilitou. V zákoně č. 283/2021 Sb. jsou běžné dobíjecí body považovány za drobné stavby, které lze realizovat bez povolení stavebního úřadu. Dále pro případ nové výstavby bytového domu s více jak 10 parkovacími místy je podle novely vyhlášky č. 268/2009 Sb. příkázána příprava pro pozdější montáž dobíjecí stanice pro každé místo. U nových nebytových staveb včetně změny dokončené stavby, která má více než 10 parkovacích míst je povinnost alespoň jedné dobíjecí stanice a přípravy pro každé 5. parkovací místo [8].

Rozdělení jízd automobilem dle ujeté vzdálenosti



Obrázek 2: Rozdělení jízd automobilem dle ujeté vzdálenosti [4]



Obrázek 3: Veřejné dobíjecí stanice a body [5]

2. SEZNÁMENÍ S AUTOMOBILY POUŽITÝMI K TESTOVÁNÍ

2.1 Hyundai Ioniq Electric modelový rok 2017

Uvedení modelu na trh proběhlo v roce 2016 a šlo o první automobil na světě prodáváný ve třech různých variantách elektrifikace HEV, PHEV a BEV [9]. Pro účely testování byla využita verze BEV.

Hyundai Ioniq Electric v modré barvě využita při testování je vidět na obrázku 4 při nabíjení u prodejny Lidl po jízdě do Dobrušky.

Pohotovostní hmotnost byla změřena v laboratoři DFJP bez řidiče a nákladu, pouze s povinnou výbavou a dodávanou 230 V nabíječkou. Naměřená hodnota byla 1480 kg, hodnota s připočtením standardizovaného řidiče (75 kg) překračuje technickou specifikaci provozní hmotnosti výrobcem o 5 kg (Tabulka 1).



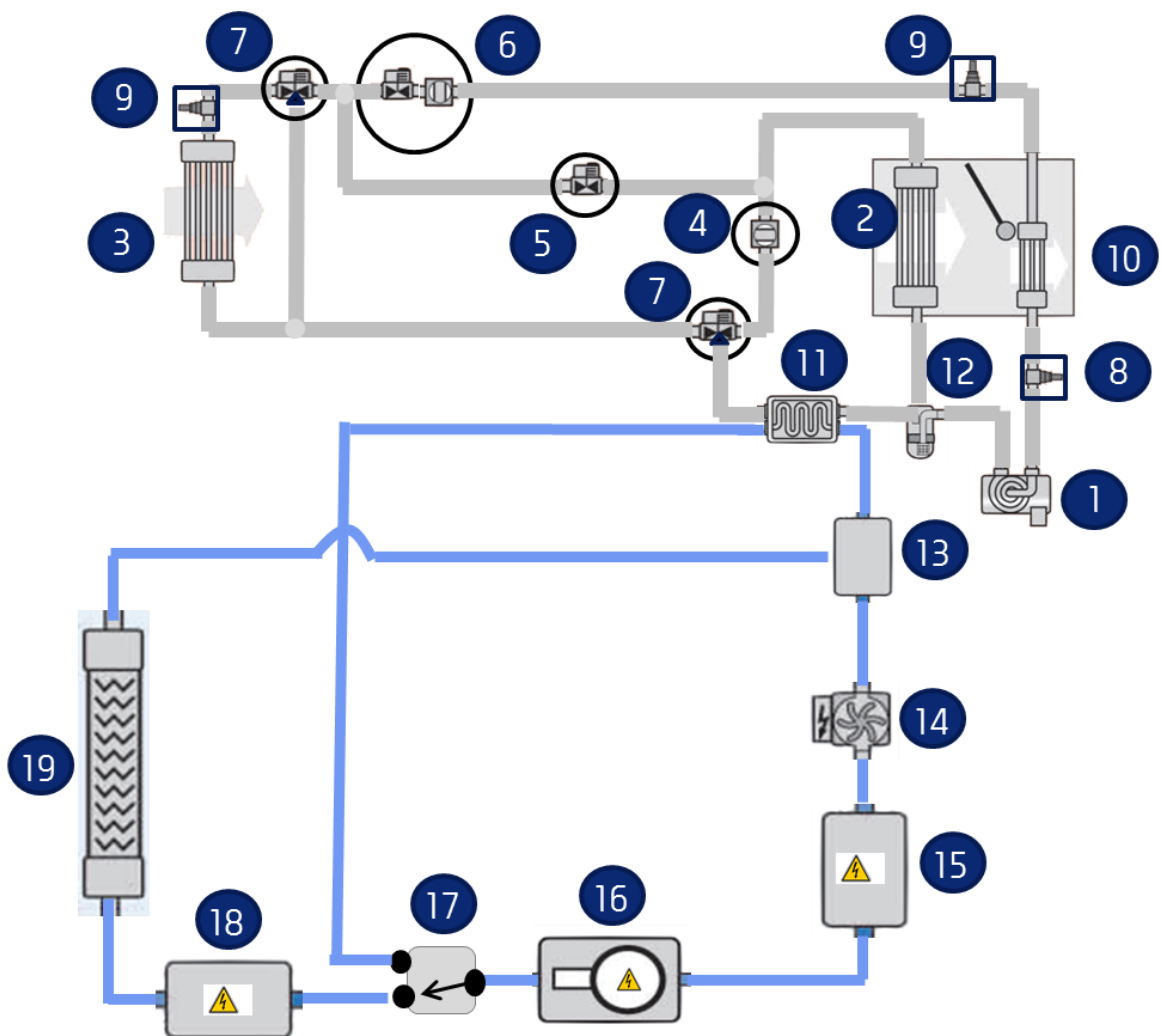
Obrázek 4: Testovaný vůz Hyundai Ioniq Electric

Tabulka 1: Technické parametry testovaného vozidla Hyundai Ioniq Electric z příručky výrobce

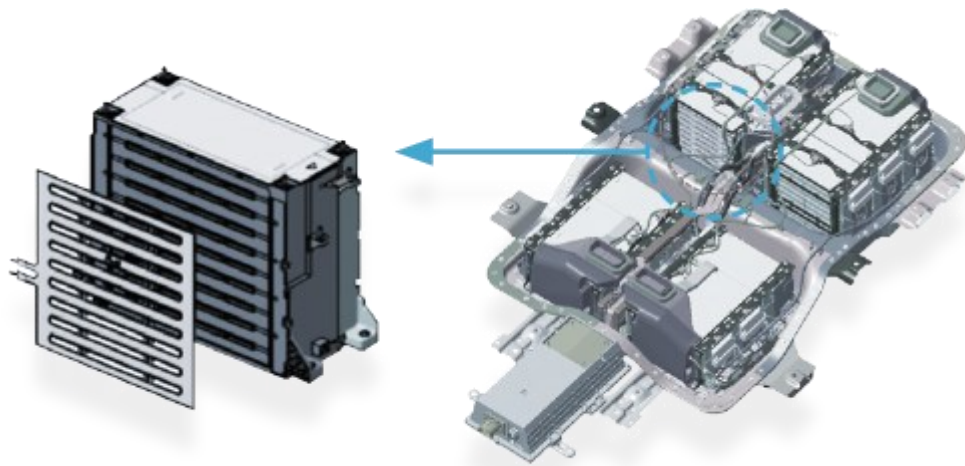
ELEKTROMOTOR	
Typ	synchronní motor s permanentním magnetem
Typ akumulátoru elektropohonu	lithium polymerová (Li-pol)
Kapacita akumulátoru elektropohonu jmenovitá/ využitelná (kWh)	35,5 / 28
Maximální výkon (kW/k.ot./min.)	88 / 120 / --
Maximální točivý moment (Nm.ot.min.)	295 / --
Příkon palubní nabíječky OBC při dobíjení střídavým proudem AC (kW)	6,6 (1x 230 VAC / 32 A)
Podpora rychlonabíjecích stanic stejnosměrným proudem DC (kW)	50 / 100 (maximální nabíjecí výkon je však 69 kW)
PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ	
Typ převodovky	stálý redukční převod (1:7,412)
Počet převodových stupňů	
DYNAMIKA	
Maximální rychlost (km/h)	165
Zrychlení 0-100 km/h (s)	9.9 / 10.2 (režim Sport/Normal)
SPOTŘEBA/DOJEZD	
Spotřeba elektrické energie (Wh/km)	115
Maximální dojezd (km)	280
HMOTNOSTI	
Provozní hmotnost (pohotovostní +75) (kg)	1495–1550
Největší technicky přípustná hmotnost (kg)	1880
Hmotnost brzděného a nebrzděného přívesu (kg)	0
Nosnost střechy (kg)	0
ROZMĚRY	
Celková délka (mm)	4470
Celková šířka (mm)	1820
Celková výška (mm)	1450
Rozvor (mm)	2700
Rozchod vpředu (mm)	1555
Rozchod vzadu (mm)	1564
Poloměr otáčení (m)	5,3
Minimální světlá výška (mm)	140
Obj. zavazadlového prostoru (l) základní / sklopená sedadla (dle VDA)	350 / 1410
PODVOZEK	
Přední náprava	typ McPherson se stabilizátorem
Zadní náprava	pevná
Přední / zadní brzdy	kotoučové s vnitřním chlazením / kotoučové
VYHŘÍVÁNÍ	
Topení kabiny	PTC + tepelné čerpadlo
Teplotní management HV baterie	výhřev / chlazení vzduchem
Možnost vytápět kabinu vozidla odpadním teplem z elektromotoru a výkonové elektroniky	Ano

Vytápění kabiny je realizováno díky tepelnému čerpadlu, které využívá odpadní teplo z elektrických systémů vozidla (DC-DC měnič, střídač, elektromotory atd.) (Obrázek 5). Oproti tomu vytápění HV baterie je realizováno pomocí odporového elektrického PTC topení a chlazená je pomocí vzduchu z kabiny vozidla, jak je vidět na obrázku 6. Díky využití tepelného čerpadla je dosažena přibližně o 19 % nižší spotřeba na topení/chlazení při porovnání se stejným vozidlem bez tepelného čerpadla. Tato úspora se rovná přibližně 13% prodloužení dojezdu oproti stejnému vozidlu bez tepelného čerpadla. Hodnoty porovnání vůči vozidlu bez tepelného čerpadla převzaty z SSP Hyundai Ioniq [10].

Vysvětlení popisků: 1 – Kompresor; 2 – Výparník; 3 – Kondenzátor; 4 – Expanzní ventil; 5 – Dvoucestný ventil; 6 – Dvoucestný ventil s integrovaným ústím; 7 – Třícestný ventil; 8 – Tlakový senzor; 9 – Teplotní senzory; 10 – Vnitřní kondenzátor; 11 – Výměník tepla; 12 – Akumulátor; 13 – Nádržka; 14 – Vodní pumpa; 15 – Řídicí jednotka; 16 – 3fázový motor; 17 – Třícestný ventil chladicí kapaliny; 18 – Palubní nabíječka; 19 – Radiátor

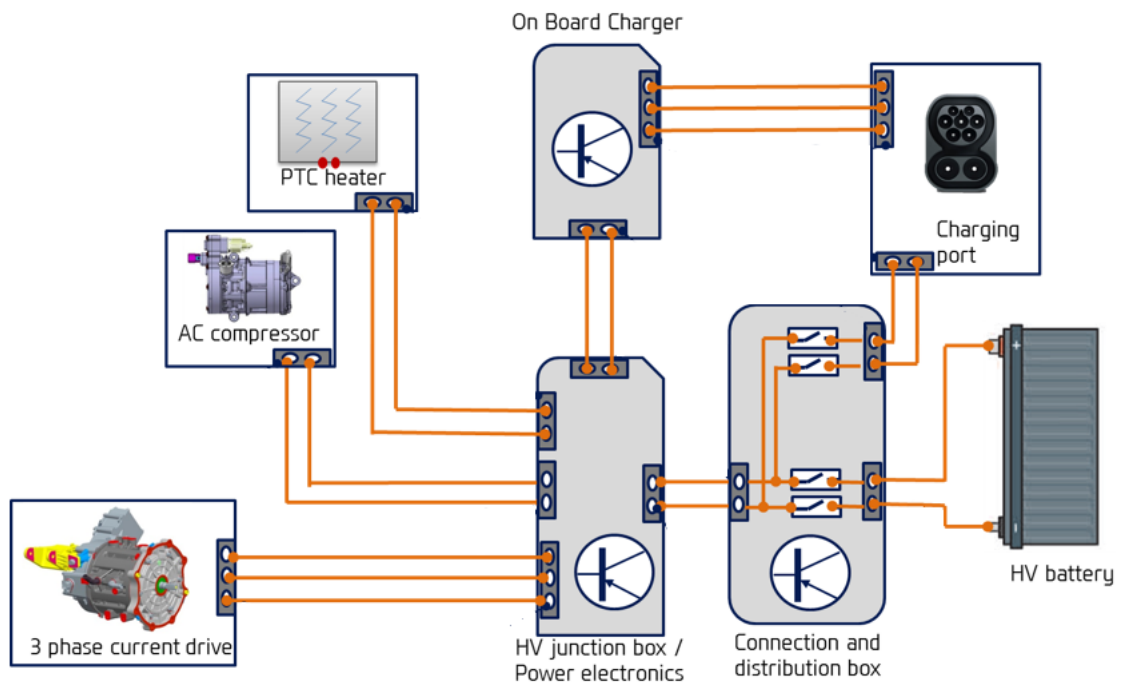


Obrázek 5: Schéma vytápění kabiny pomocí tepelného čerpadla Hyundai Ioniq [10]



Obrázek 6: Vytápění HV baterie [11]

Na obrázku 7 je vidět platforma Hyundai Ioniq Electric s hlavními elektrickými systémy, je zde řídicí jednotka, která obsahuje střídač pro elektromotory, DC-DC měnič pro palubní 12 V síť vozidla, usměrňovač a monitoruje trakční pohon. Také ovládá kompresor klimatizace/topení a výhřev baterie. Je zde vidět i cesta elektrické energie při nabíjení, pokud jde o střídavé nabíjení, pak je řízeno palubní nabíječkou a přes usměrňovač do HV baterie. Při stejnosměrném nabíjení je energie přepnuta rovnou do stejnosměrné HV baterie. Vysokonapěťová baterie je v tomto případě uložena pod zadními sedáčkami a kufrem vozidla.



Obrázek 7: Uspořádání elektrických systémů vozidla na platformě Hyundai Ioniq Electric [10]

2.2 Škoda Citigo^e iV modelový rok 2021

První sériově vyráběné plně elektrické vozidlo značky Škoda, jde o nástupce spalovací verze Škoda Citigo, malého městského hatchbacku. Kvůli dotacím v Německu na elektromobilitu však šel tento BEV model pořídit za cenu menší než v přepočtu 300 tisíc korun a automobilka musela ukončit prodej kvůli příliš velkému zájmu [12].

Škoda Citigo^e iV v bílé barvě využitá při testování je vidět na obrázku 8 nalevo při nabíjení v Osicích po jízdě na dálnici D11.

Pohotovostní hmotnost byla změřena v laboratoři DFJP bez řidiče a nákladu, pouze s povinnou výbavou a dodávanou 230 V nabíječkou. Naměřená hodnota byla 1180 kg, hodnota s připočtením standardizovaného řidiče (75 kg) souhlasí s provozní hmotností udávanou výrobcem.

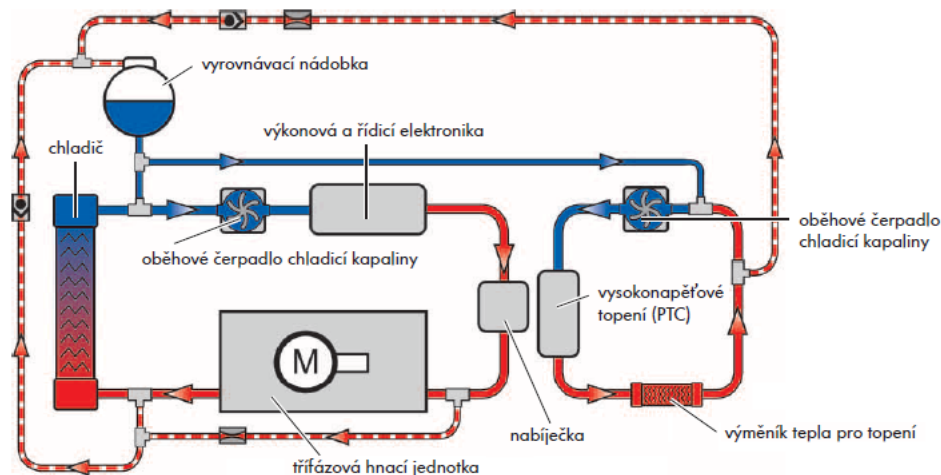


Obrázek 8: Testovaný vůz Škoda Citigo^e iV společně s vozem Hyundai Ioniq a Hyundai Kona při nabíjení v Osicích na D11

Tabulka 2: Technické parametry testovaného vozidla Škoda Citigo^e iV z příručky výrobce

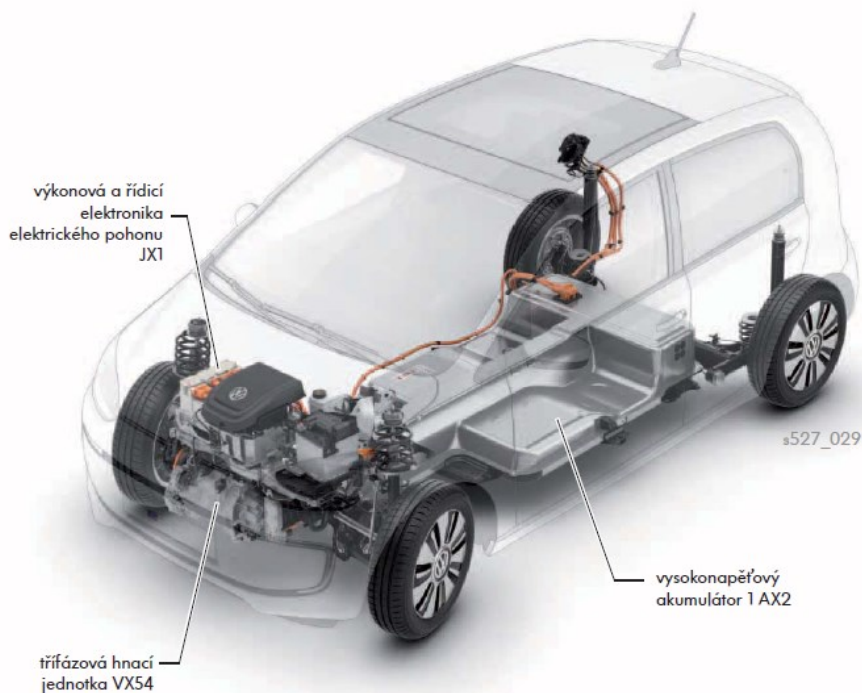
ELEKTROMOTOR	
Typ	synchronní motor s permanentním magnetem
Typ akumulátoru elektropohonu	Lithium-Iontový (Li-Ion)
Kapacita akumulátoru elektropohonu jmenovitá / využitelná (kWh)	36,8 / 32,3
Maximální výkon (kW)	61
Maximální točivý moment (Nm/ot.min.)	212 / 0-2750
Příkon palubní nabíječky OBC při dobíjení střídavým proudem AC (kW)	7,2 (2x 230 VAC / 16 A)
Podpora rychlonabíjecích stanic stejnosměrným proudem DC (kW)	50 (maximální nabíjecí výkon je však 40 kW)
PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ	
Typ převodovky	stálý redukční převod (5.176)
Počet převodových stupňů	1
DYNAMIKA	
Maximální rychlost (km/h)	130
Zrychlení 0-100 km/h (s)	12,3
SPOTŘEBA/DOJEZD	
Spotřeba elektrické energie (Wh/km)	-
Maximální dojezd (km)	257
HMOTNOSTI	
Provozní hmotnost (pohotovostní +75) (kg)	1235–1278
Největší technicky přípustná hmotnost (kg)	1530
Hmotnost brzděného a nebrzděného přívěsu (kg)	-
Nosnost střechy (kg)	-
ROZMĚRY	
Celková délka (mm)	3597
Celková šířka (mm)	1645
Celková výška (mm)	1481
Rozvor (mm)	2422
Rozchod vpředu (mm)	1428
Rozchod vzadu (mm)	1424
Poloměr otáčení (m)	9,8
Minimální světlá výška (mm)	141
Obj. zavazadlového prostoru (l) základní / sklopená sedadla (dle VDA)	250 / 923
PODVOZEK	
Přední náprava	typ McPherson se spodními trojúhelníkovými rameny
Zadní náprava	kliková s vlečenými rameny
Přední / zadní brzdy	kotoučové s vnitřním chlazením / bubnové
VYHŘÍVÁNÍ	
Topení kabiny	PTC
Teplotní management HV baterie	nemá
Možnost vytápět kabinu vozidla odpadním teplem z elektromotoru a výkonové elektroniky	Ne

Škoda Citigo^e iV má pouze odporové elektrické topení v chladicím okruhu, kompresor klimatizace pro chlazení kabiny (vozidlo není vybaveno funkcí tepelného čerpadla) a je bez tepelného řízení HV baterie. Schéma tohoto vytápění je na obrázku 9.



Obrázek 9: Schéma vytápění a chlazení Škoda Citigo^e iV [13]

Na obrázku 10 je dále vidět, že z důvodu menší velikosti vozidla je baterie v tomto případě umístěna již částečně pod sedačku řidiče a spolujezdce, opět je zde řídicí jednotka elektropohonu a samotný elektromotor. Vozidlo není vybaveno vyhříváním/chlazením HV baterie.



Obrázek 10: Schéma platformy s elektropohonem [13]

2.3 TESLA Model S 90D modelový rok 2016

Jediné vozidlo z celého testování se dvěma motory, jeden pro přední nápravu a druhý pro zadní nápravu, které má díky tomuto rozložení také jako jediné náhon na všechny 4 kola. Oproti běžnému vozidlu se spalovacím motorem, kde v případě pohonu všech kol jsou obě nápravy mechanicky spojeny, v případě Tesly jsou oba motory na sobě mechanicky nezávislé jednotky.

Tesla Model S v černé barvě využitá při testování je vidět na obrázku 11 uprostřed, mezi vozidly Hyundai Ioniq Electric a Hyundai Kona.

Pohotovostní hmotnost byla změřena v laboratoři DFJP bez řidiče a nákladu, pouze s povinnou výbavou a dodávanou 230 V nabíječkou. Naměřená hodnota byla 2210 kg, hodnota s připočtením standardizovaného řidiče (75 kg) překračuje hodnoty z technické tabulky, ale je nutné vzít v potaz, že zde není dán rozsah hmotností jako u ostatních aut.



Obrázek 11: Tesla model S, Hyundai Ioniq a Kona před laboratoří DFJP v Doubravících

Tabulka 3: Technické parametry testovaného vozidla Tesla model S 90D

ELEKTROMOTOR	
Typ	Asynchronní motory
Typ akumulátoru elektropohonu	Lithium-Iontový (Li-Ion)
Kapacita akumulátoru elektropohonu jmenovitelná / využitelná (kWh)	90 / 85,5 (neoficiální, výrobce neudává)
Maximální výkon (kW)	311
Maximální točivý moment (Nm/ot.min.)	660
Příkon palubní nabíječky OBC při dobíjení střídavým proudem AC (kW)	11 (3x 230 VAC / 16 A)
Podpora rychlonabíjecích stanic stejnosměrným proudem DC (kW)	50/100/150 (maximální nabíjecí výkon je však 120 kW)
PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ	
Typ převodovky	stálý redukční převod
Počet převodových stupňů	1
DYNAMIKA	
Maximální rychlost (km/h)	250
Zrychlení 0-100 km/h (s)	4,4
SPOTŘEBA/DOJEZD	
Spotřeba elektrické energie (Wh/km)	154
Maximální dojezd (km)	557
HMOTNOSTI	
Provozní hmotnost (pohotovostní +75) (kg)	2223
Největší technicky přípustná hmotnost (kg)	2640
Hmotnost brzděného a nebrzděného přívěsu (kg)	-
Nosnost střechy (kg)	75
ROZMĚRY	
Celková délka (mm)	4979
Celková šířka (mm)	1964
Celková výška (mm)	1445
Rozvor (mm)	2960
Rozchod vpředu (mm)	1662
Rozchod vzadu (mm)	1700
Poloměr otáčení (m)	11,3
Minimální světlá výška (mm)	117
Obj. zavazadlového prostoru (l) základní / sklopená sedadla (dle VDA)	746/1645
PODVOZEK	
Přední náprava	dvojitě příčné rameno, příčný stabilizátor, vzduch. odpružení
Zadní náprava	nezávislé víceprvkové zavěšení
Přední / zadní brzdy	Kotoučové chlazené vzduchem
VYHŘÍVÁNÍ	
Topení kabiny	PTC
Teplotní management HV baterie	výhřev / chlazení kapalinové
Možnost vytápět kabinu vozidla odpadním teplem z elektromotoru a výkonové elektroniky	Ne

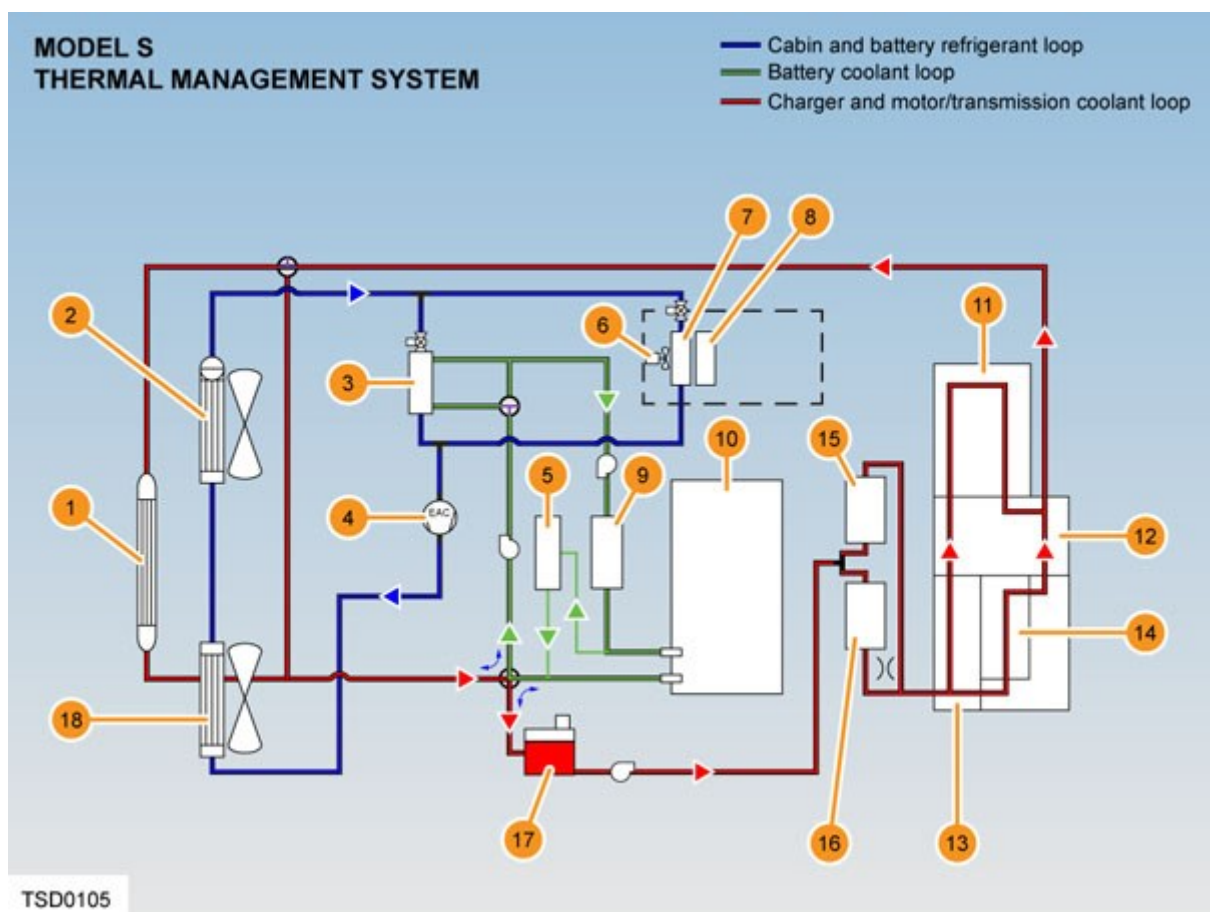
Tesla model S 90D disponuje pouze elektrickým odporovým PTC topením kabiny a HV baterie, celý teplotní management je zobrazen a vysvětlen na obrázku 12.

Vysvětlení popisků: 1 – Chladič chladicí kapaliny; 2 – Podchlazovací kondenzátor s větrákem; 3 – Chladič akumulátorového chladicího okruhu; 4 – Kompresor; 5 – DC-DC měnič; 6 – Větrák topení a klimatizace; 7 – Výparník; 8 – PTC topení; 9 – Ohřívač akumulátorového chladicího okruhu; 10 – HV akumulátor; 11 – Střídač elektromotoru; 12 – Převodovka; 13 – Stator elektromotoru; 14 – Rotor elektromotoru; 15 – Palubní Slave nabíječka; 16 – Palubní Master nabíječka; 17 – Nádržka chladicí kapaliny; 18 – Plynem chlazený kondenzátor a ventilátor

Modrý okruh: Chladicí okruh kabiny a akumulátorového chladiva

Zelený okruh: Chladicí okruh akumulátoru

Červený okruh: Chladicí okruh nabíječky, elektromotoru a převodovky



Obrázek 12: Schéma vytápění a chlazení Tesla model S 90D [14]

2.4 Hyundai Kona EV PREM SE modelový rok 2020

Tato práce měla v zadání zpracování dat ze 3 již představených vozidel, nicméně pro lepší porovnávací výstup této práce jsem se rozhodl přidat ještě Hyundai Konu, která byla ježděna zároveň s ostatními vozidly. Z důvodu, že toto vozidlo bylo zapůjčeno na nejdelší dobu a největší počet jízd, je z něj více dat, a to i taková, která nejsou změřena u ostatních vozidel, jako kupříkladu nabíjení vozidla do 100 % SOC nebo vliv teploty HV baterie na rychlost nabíjení, jež budou prezentována později v této práci.

Hyundai Kona EV ve žlutozelené barvě využitá při testování je vidět na obrázku 13 při jízdě Pardubicemi.

Pohotovostní hmotnost byla změřena v laboratoři DFJP bez řidiče a nákladu, pouze s povinnou výbavou a dodávanou 230 V nabíječkou. Naměřená hodnota byla 1720 kg, hodnota s připočtením standardizovaného řidiče (75 kg) souhlasí s provozní hmotností udávanou výrobcem. (Tabulka 4).



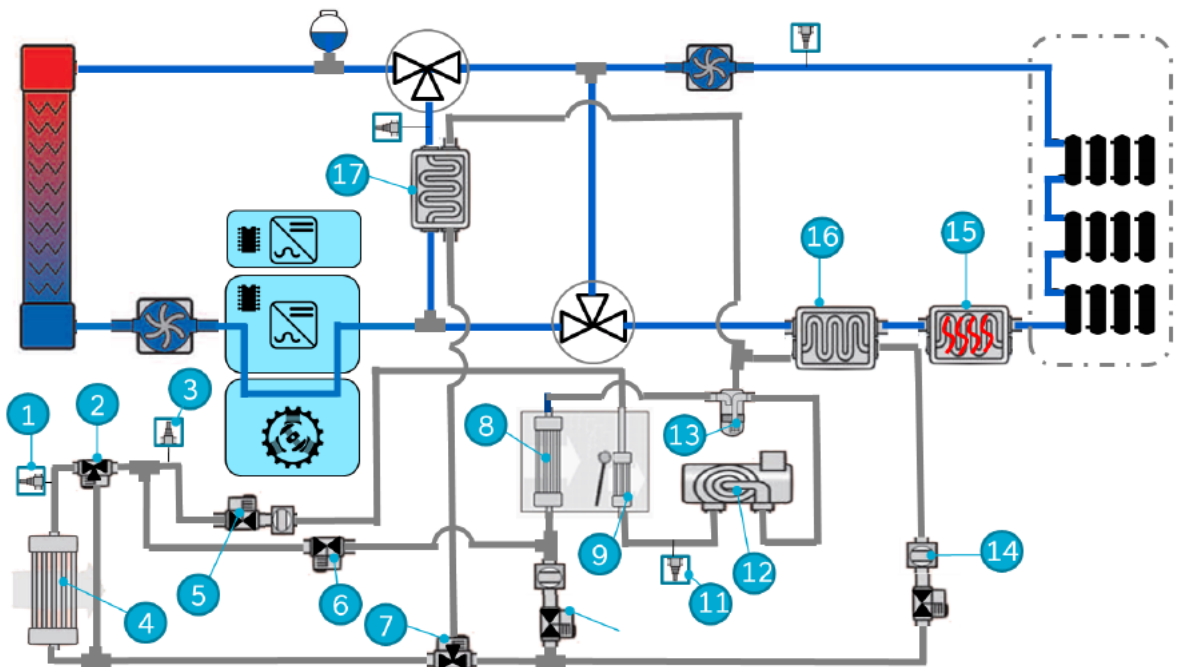
Obrázek 13: Hyundai Kona při testovací jízdě ve městě Pardubice [15]

Tabulka 4: Technické parametry testovaného vozidla Hyundai Kona EV z příručky výrobce

ELEKTROMOTOR	
Typ	synchronní motor s permanentním magnetem
Typ akumulátoru elektropohonu	lithium polymerová (Li-pol)
Kapacita akumulátoru elektropohonu jmenovitá/ využitelná (kWh)	67,5 / 64
Maximální výkon (kW/k.ot./min.)	150 / 204 / --
Maximální točivý moment (Nm/ot.min.)	395 / --
Příkon palubní nabíječky OBC při dobíjení střídavým proudem AC (kW)	7,2 (2x 230 VAC / 16 A) / 10,5 (3x 230 VAC / 16 A)
Podpora rychlonabíjecích stanic stejnosměrným proudem DC (kW)	50 / 100 (maximální nabíjecí výkon je však 77 kW)
PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ	
Typ převodovky	stálý redukční převod (1:7,981)
Počet převodových stupňů	
DYNAMIKA	
Maximální rychlost (km/h)	167
Zrychlení 0-100 km/h (s)	7,9
SPOTŘEBA/DOJEZD	
Spotřeba elektrické energie (Wh/km)	147
Maximální dojezd (km)	484
HMOTNOSTI	
Provozní hmotnost (pohotovostní +75) (kg)	1760–1818
Největší technicky přípustná hmotnost (kg)	2170
Hmotnost brzděného a nebrzděného přívěsu (kg)	300
Nosnost střechy (kg)	80
ROZMĚRY	
Celková délka (mm)	4205
Celková šířka (mm)	1800
Celková výška (mm)	1555 / (1570 se střešními ližinami)
Rozvor (mm)	2600
Rozchod vpředu (mm)	1564
Rozchod vzadu (mm)	1575
Poloměr otáčení (m)	5,2
Minimální světlá výška (mm)	158
Obj. zavazadlového prostoru (l) základní / sklopená sedadla (dle VDA)	332 / 1114
PODVOZEK	
Přední náprava	typ McPherson s příčným stabilizátorem
Zadní náprava	víceprvková
Přední / zadní brzdy	kotoučové s vnitřním chlazením / kotoučové
VYHŘÍVÁNÍ	
Topení kabiny	PTC + tepelné čerpadlo
Teplotní management HV baterie	výhřev / chlazení kapalínové
Možnost vytápět kabinu vozidla odpadním teplem z elektromotoru a výkonové elektroniky	Ano

Vytápění a chlazení kabiny a HV baterie je v případě Hyundai Kona nástupcem systému již představeného v kapitole 2.1 Hyundai Ioniq Electric, s tím vylepšením, že nyní již je do okruhu tepelného čerpadla přidáno i chlazení/vytápění HV baterie, takže lze využívat i její odpadní teplo.

Vysvětlení popisků: 1 – Teplotní senzor (vnější kondenzátor); 2 – Třícestný ventil; 3 – Teplotní senzor; 4 – Vnější kondenzátor; 5 – Dvoucestný ventil s integrovaným ústím; 6 – Dvoucestný ventil; 7 – Třícestný ventil; 8 – Výparník; 9 – Vnitřní kondenzátor; 10 – Expanzní ventil s řídicím solenoidem; 11 – Tlakový ventil; 12 – Kompresor; 13 – Akumulátor; 14 – Expanzní ventil s řídicím solenoidem; 15 – PTC ohřívač vody; 16 – Chladič baterie; 17 – Chladič s rekuperací odpadního tepla



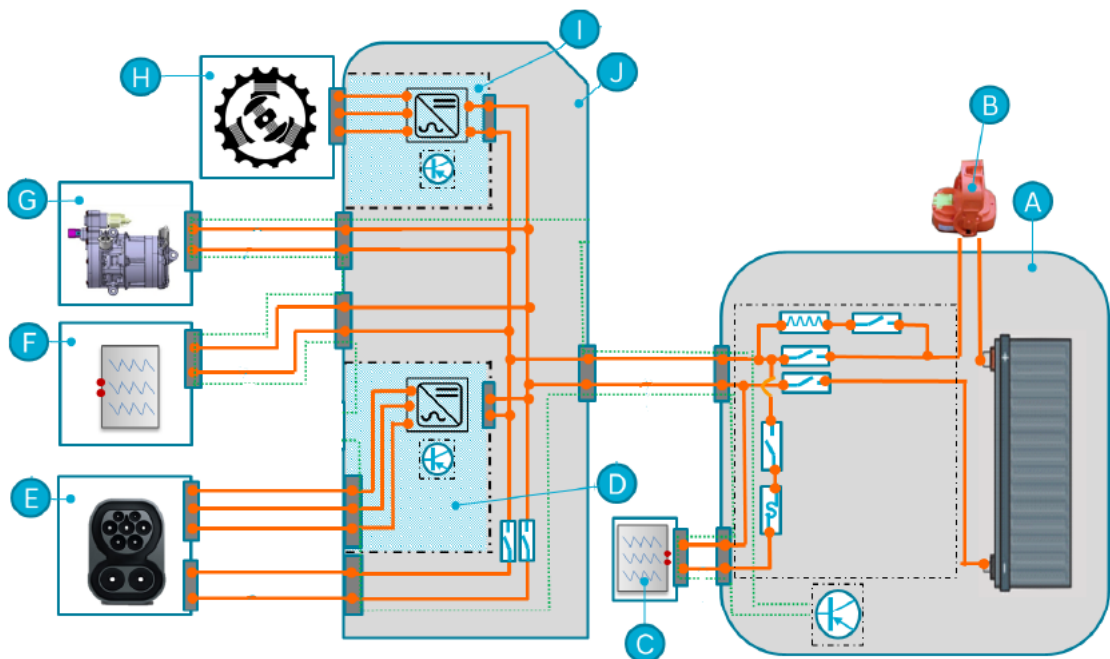
Obrázek 14: Schéma vytápění pomocí tepelného čerpadla [16]

Kvůli snížení rozsahu kabeláže, konektorů a elektrických ztrát z toho plynoucích je výkonová elektronika připojena ve vysokonapěťové rozvodnici pomocí elektrických přípojníc (bus-bar), v podobě větších měděných lišt. Tyto přípojnice spojují rozvodovou skříň s palubní nabíječkou, nebo řídicí jednotku s elektromotory.

Samotná řídicí jednotka elektroniky obsahuje 4 dílčí komponenty:

- Obousměrný DC/AC měnič, usměrňovač při rekuperaci / střídač pro pohon elektromotoru
- DC-DC měnič pro změnu vysokého napětí z HV baterie na 12 V palubní síť
- Řídicí jednotka motoru, která řídí otáčky, moment a rekuperaci elektromotoru
- Řídicí jednotka vozidla, která řídí všechny podsystemy ve vozidle

Vysvětlení popisků: A – HV baterie; B – Zástrčka údržby; C – PTC výhřev vodního okruhu HV baterie; D – Palubní nabíječka; E – Nabíjecí zásuvka; F – PTC vyhřívání kabiny; G – A/C kompresor; H – 3 fázový elektromotor; I – Řídicí jednotka; J – Vysokonapěťová rozvodná skříň



Obrázek 15: Schéma elektrických systémů u vozidla Hyundai Kona [16]

3. PŘEDSTAVENÍ TRAS A PRŮBĚHU TESTOVÁNÍ

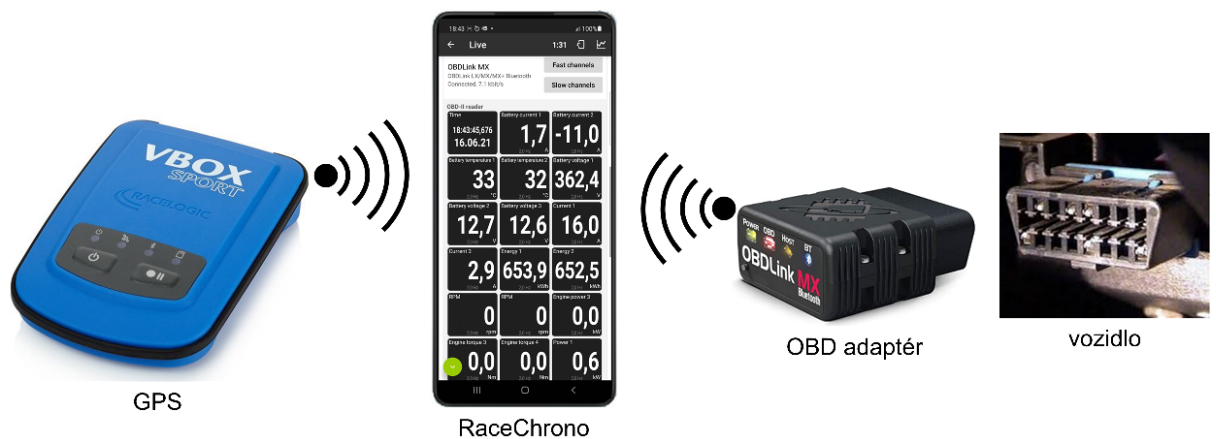
3.1 Sběr dat z jízd

Tato práce je zaměřena na zpracování výstupních dat z jízd a nabíjení, u kterých autor osobně nebyl a nerozhodoval o způsobu sběru dat a použitém vybavení, proto níže cituji z práce mého vedoucího práce.

„V rámci testování jsme chtěli být co nejvíce objektivní. Zamýšleli jsme například přímo měřit napětí a proudy v různých částech silového a 12 V el. obvodu vozidla. Přímé měření el. veličin v silové (trakční) části se však ukázalo jako nemožné vzhledem k zapouzdření případných měřících bodů. Měření napětí a proudu 12 V sítě možné bylo, alespoň tedy v určité části (na přívodu do pojistkového boxu a na 12 V baterii).

Hlavním zdrojem informací z battery managementu baterie (BMS), elektromotoru a dalších systémů tak byla diagnostická OBD zásuvka, tedy vyčítání těchto dat z příslušných řídicích jednotek vozidla. Naštěstí moderní vozidla obvykle poskytují velké množství informací na tomto rozhraní i s dostatečnou frekvencí. Stačí tedy mít k dispozici nástroj (HW+SW), pomocí kterého dokážeme informace z řídicích jednotek vyčítat.

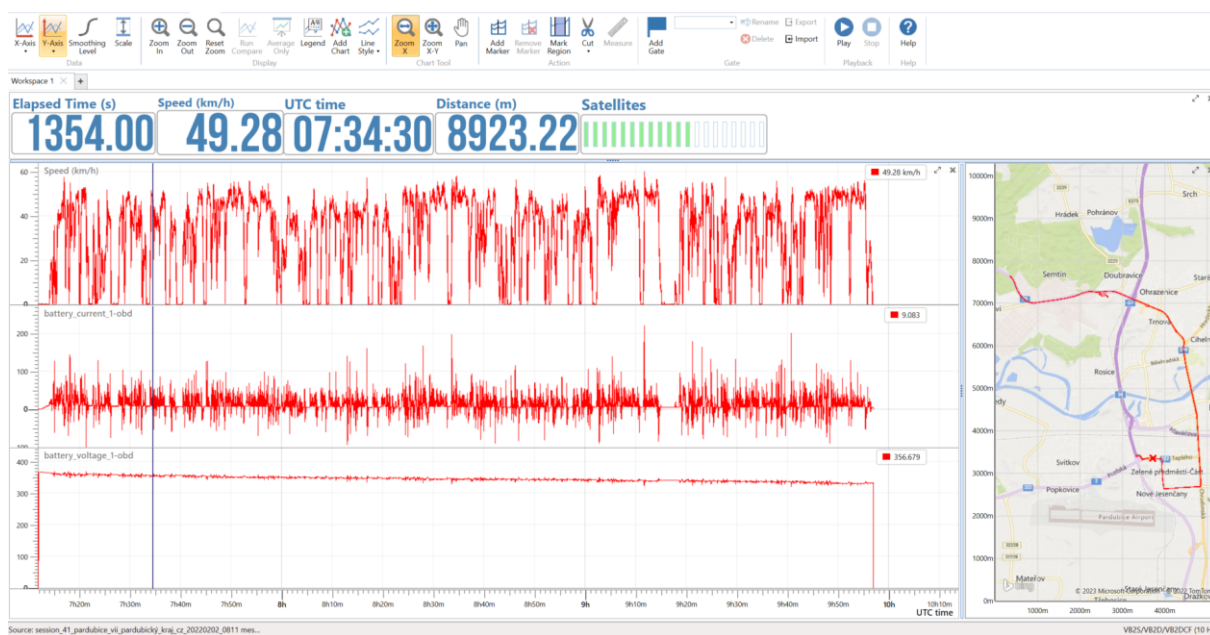
Pro nezávislé měření rychlosti, polohy a nadmořské výšky vozidla jsme používali 10 Hz GPS VBOX sport a Garmin GLO2.“ [17]



Obrázek 16: Sběr dat při testování [17]

Tabulka 5: Seznam vybavení použitý při testování. [17]

Zařízení	Účel
T&D Datalogger MCR-4V + aplikace T&D Graph	Šikovní malý 4-kanálový datalogger s bateriovým napájením s dlouhou výdrží pro záznam el. proudu a napětí 12 V palubní sítě vozidla na SD kartu. Měření el. veličin pomocí napěťových a proudových sond. Aplikace T&D Graph pro zobrazení záznamu a export dat do CSV.
OBDLink MX	Bluetooth adaptér pro čtení dat z OBD zásuvky vozidla po sběrnici CAN.
GPS VBOX Sport	10 Hz GPS od firmy Racelogic se záznamem na SD kartu a bluetooth komunikací, interní baterie s výdrží cca 10 h.
Garmin GLO2	10 Hz GPS s bluetooth komunikací, interní baterie s výdrží cca 10 h.
Smartphone Samsung Galaxy A52 s aplikací RaceChrono	Pro záznam dat z OBD zásuvky a GPS za jízdy. Aplikace RaceChrono umožňuje export záznamu do různých formátů, zejména VBO.
VBOX Test Suite	Aplikace od firmy Racelogic, kterou jsme použili na rychlé prohlížení záznamů ve formátu VBO (Obrázek 17)
Mathworks Matlab	Výpočetní nástroj, ve kterém byly záznamy následně zpracovány offline.



Obrázek 17: Uživatelské rozhraní VBOX Test Suite

„V několika jízdách jsme měřili přímo el. proud a napětí ve 12 V síti za účelem zjištění příkonu 12 V spotřebičů. Pro tento účel se skvěle hodil 4-kanálový datalogger MCR-4V, jehož malá velikost a bateriové napájení umožňovaly jeho umístění v motorovém prostoru.“ [17] (Obrázek 18)

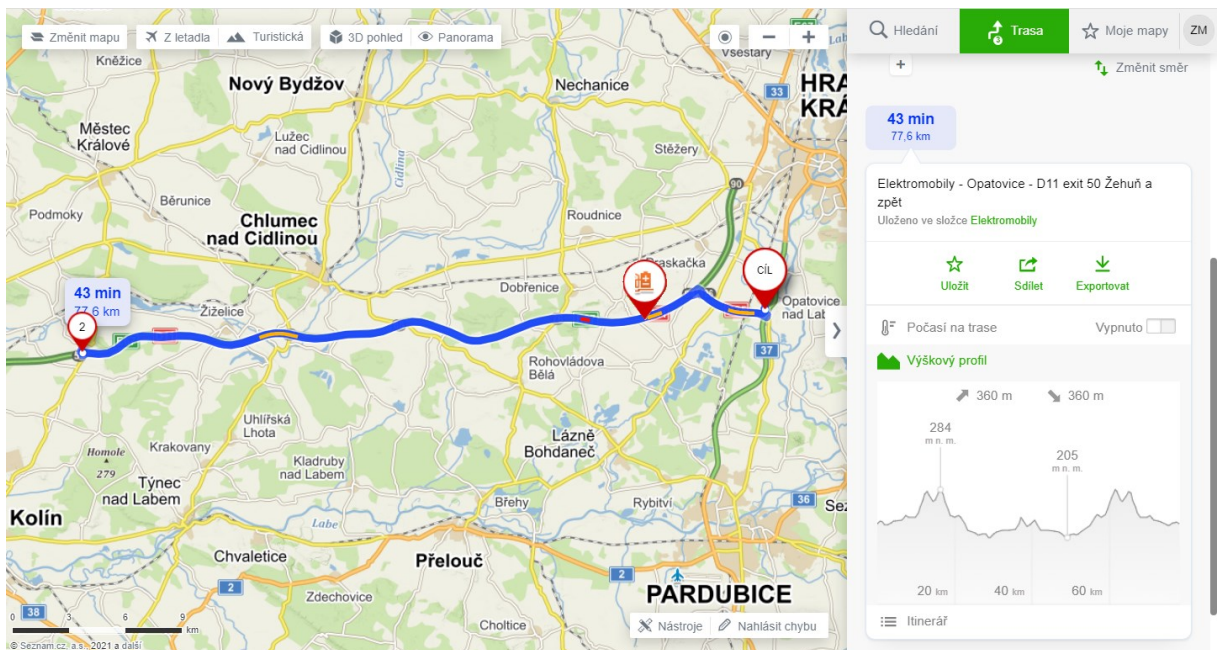


Obrázek 18: Datalogger MCR-4V a měřicí sondy [17]

3.2 Testovací trasy

3.2.1 Dálnice

Pro tyto jízdy byla využita blízká dálnice D11. Každá jízda začíná na čerpací stanici v Osicích ve směru na Hradec Králové, po nabíjení na veřejných DC nabíječkách společnosti ČEZ s nabíjecím výkonem 50 kW. Odtud byla cesta vedena na třípatrovou mimoúrovňovou dálniční křižovatku Opatovice, kde došlo k otočení a cestě ve směru na Prahu, druhé otočení proběhlo na Exitu 50 u obce Žehuň (Obrázek 19).



Obrázek 19: Trasa na dálnici D11

Jedna trasa z Osic zpět do Osic měří cca 71,1 km, s počtem 340 nastoupaných/naklesaných metrů na jednu jízdu. I zde byla již auta vytopena cestou z areálu DFJP v Doubravících na čerpací stanici, takže byla již pouze udržována na žádané teplotě 22 °C. Cesty proběhly na porovnání ve dvou různých rychlostech, a to 90 km/h a 130 km/h, s výjimkou Hyundai Ioniq Electric, která jela jízdy pouze s rychlostí 130 km/h. Průměrná rychlost opět zahrnuje i stání na začátku a konci jízdy.

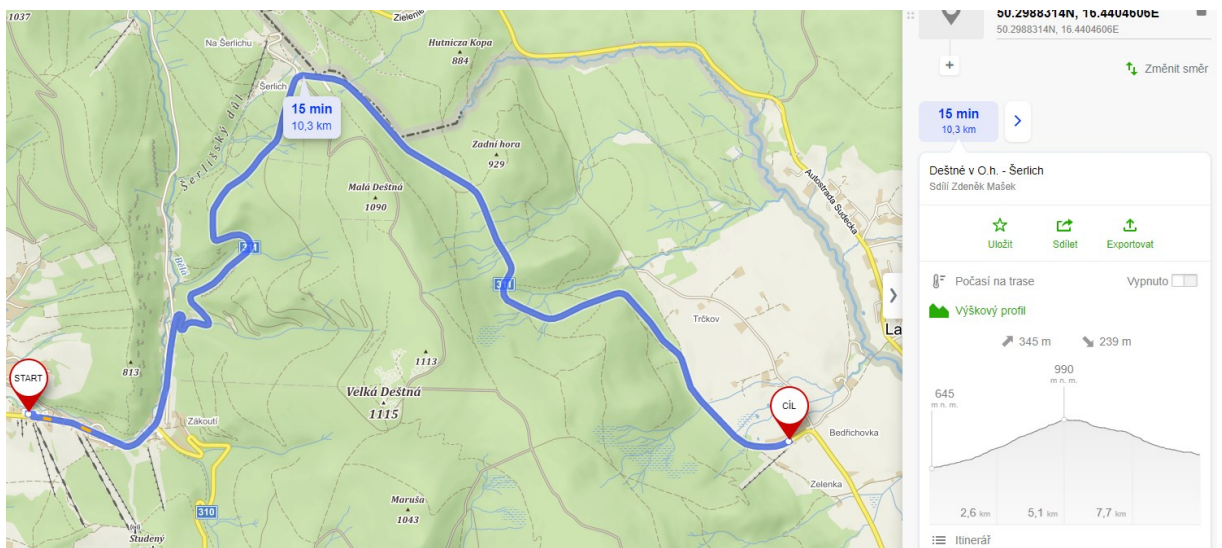
Tabulka 6: Souhrn vozidel na trase dálnice D11 pro rychlosti 90 a 130 km/h

Jízdy 90 km/h							
Vozidlo	Počet jízd	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	-	-	-	-	-	-	-
Škoda Citigo ^e iV	2	154,2	2,5	1 + 0 kg	80,6	0	ano
Tesla model S 90D	1	77,14	4,5	1 + 30 kg	85,3	standard	ano

Jízdy 130 km/h							
Vozidlo	Počet jízd	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	3	231,3	0,7	1 + 0 kg	111,2	0	ano
Škoda Citigo ^e iV	2	154,14	2,1	1 + 0 kg	111,9	0	ano
Tesla model S 90D	1	77,13	5	1 + 30 kg	110,5	standard	ano

3.2.2 Hory

Z důvodu toho, že okolí DFJP je poměrně plochá nížina, pro simulaci provozu vozidla v kopcovité oblasti se stoupáním bylo třeba vyrazit až do Orlických hor. Při této trase se vždy začínalo v obci Deštné v Orlických Horách, přejelo se sedlo Šerlichu a končilo v osadě Bedřichovka (Obrázek 20).



Obrázek 20: Trasa Deštné v O.h. – Osada Bedřichovka

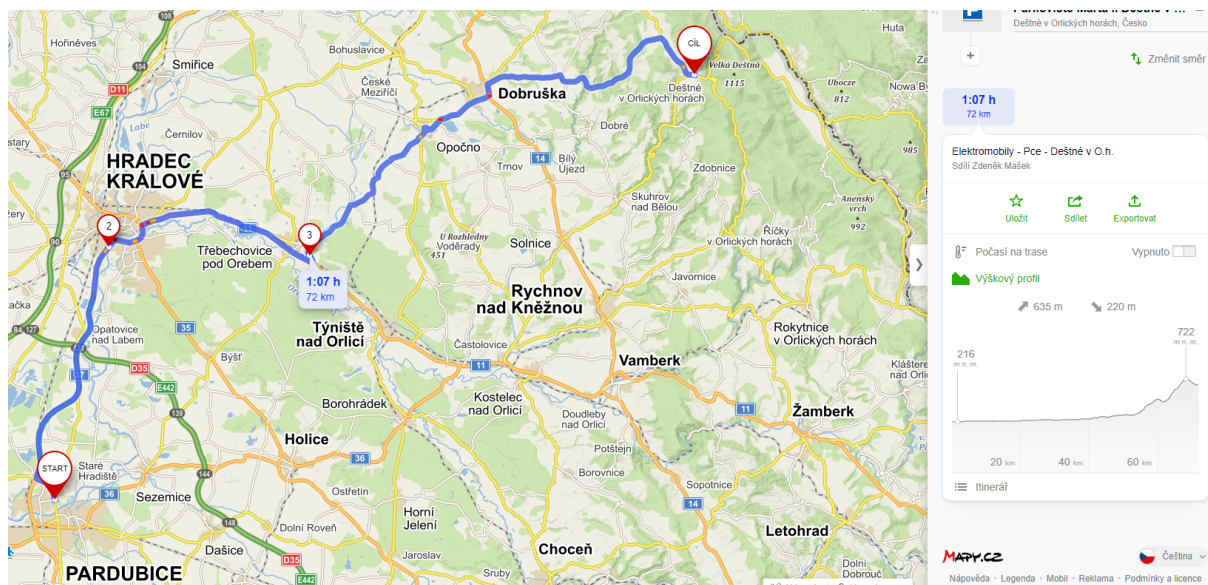
Celá trasa tam a zpět má 20,6 km, s počtem 585 nastoupaných/naklesaných metrů na jednu jízdu oběma směry. Při všech jízdách bylo již auto vytopeno z cesty Pardubice – Deštné v O.h., tudíž topení při jízdě již pouze udržovalo nastavenou teplotu 22 °C. Jízdy probíhaly na silnici pokryté souvislou vrstvou sněhu. Z tohoto důvodu byla značně snížena účinnost rekuperace, která se vypíná v případě prokluzu kol. V průměrných jízdách v tabulce 7 je zahrnuto i stání na začátku a konci záznamů. U Tesly není zaznamenáno, jak je nastaven tempomat. V případě Hyundai Ioniq Electric byla rekuperace při první jízdě vypnuta, při dalších již nastavena na stupeň 1.

Tabulka 7: Souhrn vozidel na trase Deštné v O.h. – osada Bedřichovka

Vozidlo	Počet jízd	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	3	61,43	0	1 + 0 kg	24,6	1	ne
Škoda Citigo ^e iV	3	61,59	-6,25	1 + 0 kg	32,1	0	ne
Tesla model S 90D	4	83,55	-2,5	1 + 30 kg	35,5	standard	?

3.2.3 Okresní silnice

Třetím typem trasy jsou okresní silnice, zaměřené primárně na silnice I. a II. třídy. První představená trasa vede z Pardubic do Deštné v Orlických horách (Obrázek 21) a jde o cestu, která předchází jízdě simulující jízdu na horách. Tato cesta měří obousměrně dohromady 143,3 km, s počtem 855 nastoupaných/naklesaných metrů. Nabíjení na této trase probíhalo vždy v Dobrušce na veřejné 50 kW nabíječe u supermarketu Lidl, a to v obou směrech jízdy. Jízda z Pardubic byla vždy s nevyhřátým vozidlem, vyjma Tesly, která přijela již vyhřátá, během jízdy bylo nastavené topení na 22 °C. Toto platí u obou jízd po okresních silnicích. Pro obě cesty platí, že se jely pouze jednou v obou směrech.

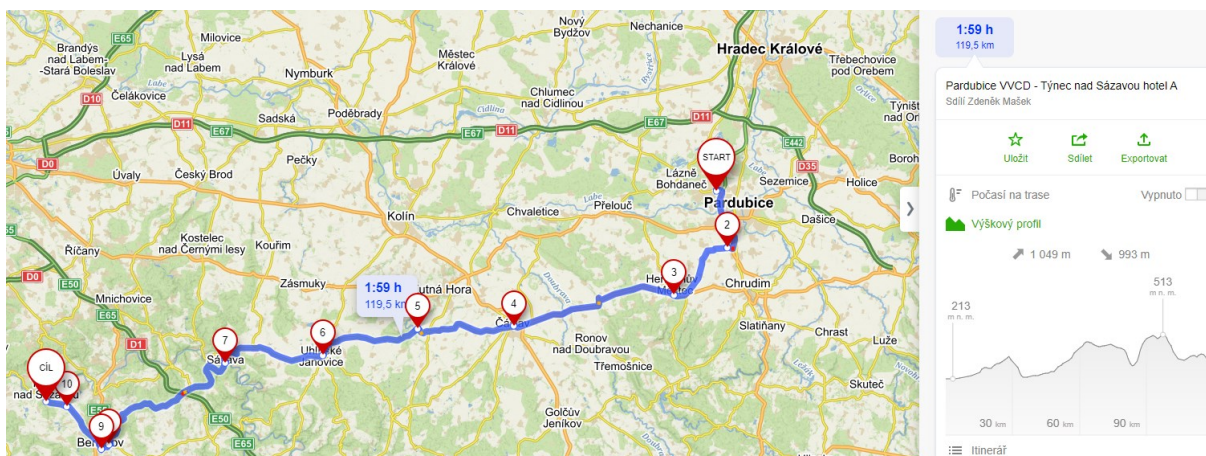


Obrázek 21: Trasa Pardubice – Deštné v O.h.

Tabulka 8: Souhm vozidel na trase Pardubice – Deštné v O.h. a zpět

Pardubice – Deštné v O.h. a zpět						
Vozidlo	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	143,28	3,8	1 + 0 kg	55,7	0	ano
Škoda Citigo ^e iV	143,38	-4,9	1 + 0 kg	46	0	ne
Tesla model S 90D	142,72	0	1 + 30 kg	53,5	standard	?

Druhá jízda je trasa z Pardubic do Týnce nad Sázavou (Obrázek 22). Při této trase docházelo vždy k nabíjení v Benešově na 50 kW veřejné nabíječe společnosti PRE. Délka této trasy je při sečtení cesty tam a zpět 239,5 km s počtem 2040 nastoupaných/naklesaných metrů. Škoda byla přes noc parkována v laboratoři bez nastaveného vytápění kabiny, zatímco Tesla již přijela s vytopenou kabinou vozidla na 22 °C.



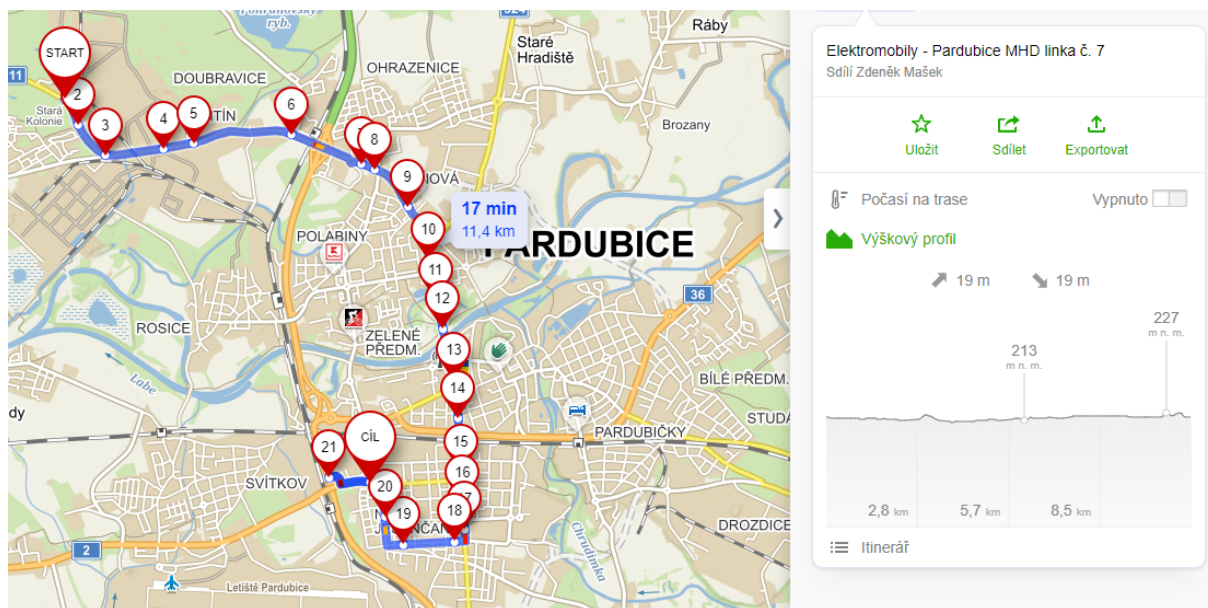
Obrázek 22: Trasa Pardubice – Týnec n. Sázavou

Tabulka 9: Souhrn vozidel na trase Pardubice – Týnec n. Sázavou a zpět

Pardubice – Týnec n. Sázavou a zpět						
Vozidlo	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	239,14	1,8	1 + 0 kg	52,2	0	ano
Škoda Citigo ^e iV	239,4	2,3	1 + 0 kg	55,9	0	ne
Tesla model S 90D	238,77	3,3	1 + 30 kg	53,4	standard	ano

3.2.4 Město

Poslední typ jízdy proběhl přímo v Pardubicích v městském provozu a kopíroval linku č.7 městské hromadné dopravy, která vede od Dopravního podniku města Pardubic skrze centrum až na konečnou „UMA točna“, kde došlo k otočení (Obrázek 23). Tato trasa byla vždy absolvována 4x s výjimkou Škody Citigo^e iV, která se dvakrát otáčela až v Lázních Bohdaneč, proto má větší nájezd oproti ostatním vozům. Všechny trasy proběhly dopoledne při ranní špičce. Parkování před laboratoří DFJP v Doubravicích přes noc, takže vozidla vyjízděla studená s nastaveným topením na 22 °C vyjma Tesly, která přijížděla ze Sezemic již alespoň částečně vytopená. Jedna jízda tam a zpět měří 22,7 km s počtem 38 nastoupaných/naklesaných metrů.



Obrázek 23: Trasa linky MHD č.7

Tabulka 10: Souhrn vozidel na trase linky MHD č.7

Vozidlo	Počet ujetých km	Průměrná okolní teplota [°C]	Posádka a náklad	Průměrná rychlost [km/h]	Stupeň rekuperace	Tempomat
Hyundai Ioniq Electric	85,76	3,5	1 + 0 kg	31,2	0	ne
Škoda Citigo ^e iV	93,8	2,5	1 + 0 kg	31,6	0	ne
Tesla model S 90D	86,6	4	1 + 0 kg	31,3	standard	ne

3.2.5 Společné jízdy vozidel

Vozidla nejezdila společně vždy najednou všechny jízdy, ale v různých kombinacích, které zobrazuje tabulka 11, proto jsou i různé jízdní podmínky pro zdánlivě stejné cesty, jako například okolní teplota.

Vysvětlení zkratk: K – Hyundai Kona, C – Škoda Citigo^e iV, I – Hyundai Ioniq Electric, T – Tesla model S

Tabulka 11: Společné jízdy vozidel

Trasa	Společná jízda		
Dálnice D11	K + C + I	K + T	
Hory	K + I	K + C	K + T
Okresky PCE – Deštné v O.h.	K + I	K + C	K + T
Okresky Pardubice – Týnec n. S.	K + T + I	K + C	
Město MHD linka č.7	K + T + I	K + C	

4. ANALÝZA DAT

4.1 Spotřeba energie na různých typech tras

V této kapitole se čtenář seznámí s analýzou první části dat, která se zaměřuje zejména na údaje získané během jízd. Budou zde prezentována témata jako například dosažená spotřeba vozidel při konkrétních trasách, jak rychlost ovlivňuje spotřebu na dálnici, které trasy jsou nejvhodnější pro rekuperaci, a jak se vozidla chovají při jízdě po horách. Vzhledem k rozsahu tabulek jsou k dispozici podrobné údaje v přílohách na konci této práce. V závěru kapitoly jsou k dispozici i grafická srovnání jednotlivých vozidel a tras pro snadné pochopení rozdílů mezi nimi.

4.1.1 Výpočty

$$\text{Spotřebovaná energie [kWh]} = \text{odebraná energie z HV baterie [kWh]} - \text{rekuperovaná energie do HV baterie [kWh]} \quad (1)$$

$$\text{Rekuperovaná energie [\%]} = 100 * \frac{\text{rekuperovaná energie do HV baterie [kWh]}}{\text{odebraná energie z HV baterie [kWh]}} \quad (2)$$

$$\text{Průměrná spotřeba vypočtená [kWh/100 km]} = 100 * \frac{\text{spotřebovaná energie [kWh]}}{\text{ujetá vzdálenost podle GPS [km]}} \quad (3)$$

$$\text{Teoretický dojezd [km] (z vypočtené spotřeby)} = 100 * \frac{\text{využitelná kapacita HV baterie [kWh]}}{\text{průměrná spotřeba vypočtená [kWh/100km]}} \quad (4)$$

4.1.2 Dálnice

Na datech z dálnice je nejvíce vidět vliv rychlosti na spotřebu, kdy rozdíl mezi jízdami rychlostí 130 km/h a 90 km/h vychází v průměru přibližně o 26,2 % vyšší spotřeba při vyšší rychlosti (Přílohy A a B). Tento rozdíl je největší (29,4 %) v případě Škody Citigo^e iV, která je výrobcem prezentována jako městské vozidlo s maximální rychlostí 130 km/h s horší aerodynamikou. Další nevýhodou provozování EV na dálnici je plynulost jízdy, při které dochází k minimální rekuperaci v jednotkách procent. Jde o jízdu ideální pro porovnání kvůli identickým časům jízdy a téměř identické ujeté vzdálenosti. Při obou typech jízd (130 a 90 km/h) vykazuje nejvyšší spotřebu, ale také i procento rekuperované energie Tesla model S. Bohužel u obou vozidel značky Hyundai nebyly logovány veličiny vztahující se k topení kabiny. Při jízdě rychlostí 130 km/h tvoří měrná spotřeba energie na topení kabiny u Škody i Tesly pouze přibližně 7 %, avšak u jízdy rychlostí 90 km/h už v případě Škody 15,7 % a u Tesly 11 %. Tento podíl je větší z důvodu, že jízda kvůli nižší rychlosti trvala déle, ale zároveň byla menší celková spotřeba, takže se v ní topení projevilo více.

4.1.3 Hory

V příloze C jsou vidět jízdní data z jízdy na horách. Z důvodu zhoršených jízdních podmínek (mlha, souvislý sníh na vozovce, velké nerovnosti na sněhu a ledu, závěje) je při této jízdě průměrná rychlost značně snížena pod maximální rychlost 50 km/h, také i z důvodu zvýšeného provozu na trase kvůli zimní sezóně. Při prokluzu kol se rekuperace sama vypíná, ale i tak kvůli kopcovitému rázu bylo větší procento rekuperované energie než v případě jízdy na dálnici. Důvodem, proč má zrovna Hyundai Ioniq téměř poloviční procento rekuperované energie oproti nejvíce rekuperující Tesle, je počasí, které v případě této jízdy bylo nejhorší ze všech (velmi kluzký povrch, závěje u kraje silnice, mlha na hoře). Celkově podle dat z tohoto typu trasy jde o trasu s nejmenším dopočteným teoretickým dojezdem, který při již zmíněném počasí vychází u Hyundai Ioniq na 105 km, což je méně než poloviční dojezd oproti dojezdu dopočítaném při jízdě po okresních silnicích, která této předchází (Pardubice – Deštné v O.h.).



Obrázek 24: Výškový profil Deštné v O.h. - Osada Bedřichovka

4.1.4 Okresní silnice

U jízdy z Pardubic do Deštné v O.h. (příloha D) je vidět velký vliv výškového profilu na spotřebu (Obrázek 25), v průměru až téměř o 31 % vyšší spotřeba při cestě do Deštné v O.h. než při cestě zpět do Pardubic. Samozřejmě s tímto lze sledovat i očekávané zvýšení rekuperované energie při cestě zpět.



Obrázek 25: Výškový profil Pardubice – Deštné v O.h.

Druhá jízda přes okresní silnice z Pardubic do Týnce nad Sázavou a zpět je vidět na příloze E. Při této jízdě je vypočtená spotřeba všech aut poměrně vyrovnaná vzhledem k pestrosti trasy jak ve výškovém profilu, tak úseků s vyšší/nížší rychlostí. Výjimkou je Tesla, která zde má nezanedbatelně vyšší spotřebu, jež by se ale dala vysvětlit hmotností vozidla. Ta je téměř o půl tuny větší než druhá nejtěžší Hyundai Kona a o více než tunu větší oproti Škodě Citigo^e iV. Nicméně má také největší kapacitu HV baterie ze všech vozidel, proto u ní i přes větší spotřebu energie došlo k druhému nejnižšímu poklesu SOC při této jízdě.

4.1.5 Město

Poslední trasa v dopolední špičce přímo v Pardubicích kopírující linku MHD č.7 (Příloha F). Tento typ trasy nejvíce vyhovoval vozidlům značky Hyundai, kdy Kona dosahovala procenta rekuperace 20 % vůči odebrané energii z HV baterie. Obdivuhodný je také dojezd, který se v případě Kony přibližuje 500 km. Překvapivě nejhorší podíl rekuperace (více než poloviční oproti oběma vozidlům značky Hyundai) zaznamenala Škoda, u které by bylo očekáváno, že na tento typ trasy je stavěna. I když drobné zkreslení do porovnání vnáší fakt, že Škoda se dvakrát otáčela až později v Lázních Bohdaneč.

4.1.6 Grafická porovnání na různých trasách

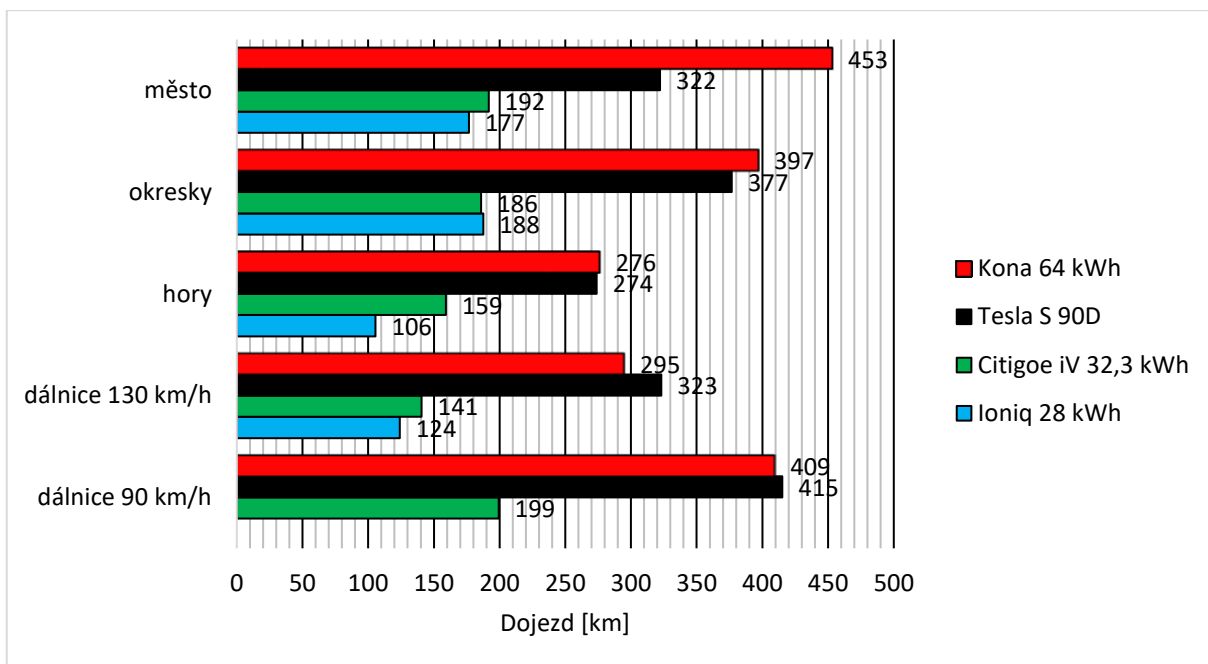
Ačkoliv jsou v této práci již přílohy s číselným vyjádřením, grafické znázornění pro všechna vozidla na všechny trasy najednou je pro porovnání názornější. Je nutné zdůraznit, že všechny hodnoty jsou pouze průměrné hodnoty, a navíc s výjimkou Hyundai Kona a dálničních jízd docházelo pouze k jedné cestě tam a jedné zpět, proto jsou tyto průměrné hodnoty zatíženy velkou nejistotou a je potřeba k nim takto i přistupovat. Další nezanedbatelnou věcí při interpretaci těchto dat je fakt, že zatímco většinou vyjížděla vozidla nevytopena se studenou

kabinou, Tesla vyjma městské jízdy vždy vyjížděla již vyhřátá na 22 °C, protože do výchozího bodu, ze kterého jízdy začínaly, dojížděla cca 14 km.

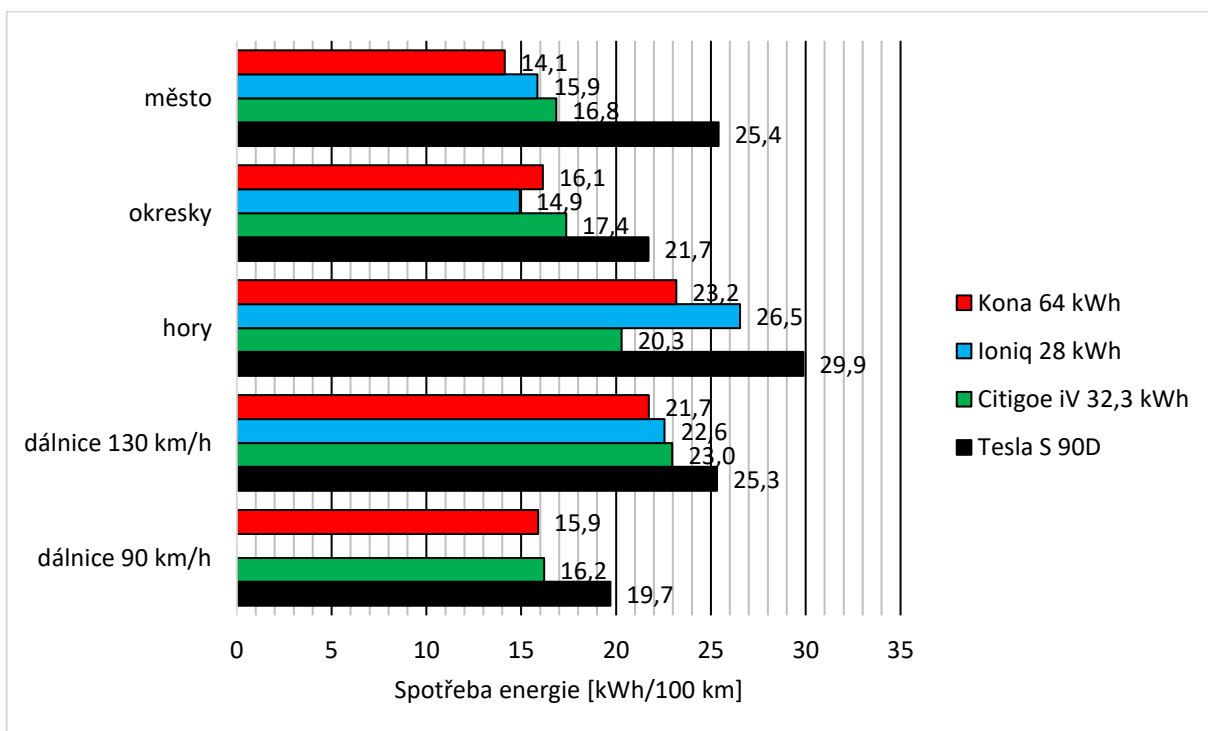
V grafu 7 je vidět rozdělení vozidel na dvě skupiny (Tesla + Kona a Citigo^e + Ioniq), protože co se kapacity HV baterie týče, jde mezi těmito dvěma skupinami o dvojnásobný skok v kapacitě HV baterie. Celkově jde vidět při porovnání, že ve všech grafech dosahuje nejlepších výsledků Hyundai Kona. Ve všech trasách konkuruje Tesle s největší kapacitou HV baterie (z testovaných vozidel) vyrovnaně v dojezdu, s výjimkou města, kde ji Kona překonává s teoretickou rezervou 131 km dojezdu, díky rekuperaci dosahující 20 %. U spotřeby energie vychází nejhůře právě Tesla ve všech typech tras, ale je nutno vzít v potaz, že jde o vozidlo oproti druhé Koně těžší téměř o půl tuny, což je negativní vlastnost při častých rozjezdech ve městě. I tak je spotřeba Tesly při jízdě městem překvapivá, protože se téměř rovná spotřebě při jízdě na dálnici rychlostí 130 km/h. Bohužel však záznam z této jízdy městem chybí, a proto nelze určit, čím je tato anomálie způsobena. Jako odhadované vysvětlení se jeví fakt, že tuto jízdu Tesla začínala bez vytopení a že Tesla disponuje pouze odporovým vytápěním s poměrně vysokým příkonem (viz kapitola 4.4).

Jak již bylo zmíněno dříve, Hyundai Ioniq se nezúčastnil jízdy na dálnici s maximální rychlostí 90 km/h, proto v této trase v grafech chybí. Jinak jde oproti Škodě Citigo^e iV o třídu větší vozidlo s hmotností o 300 kg větší a zároveň s menší kapacitou HV baterie. I přesto je v dojezdu Škodě Citigo^e iV rovnocenným konkurentem, kdy výrazně ztrácí pouze u jízdy na horách, ale zde je důvodem již zmíněné nesmírně špatné počasí během testovací jízdy, což koreluje se zvýšenou spotřebou energie v následujícím grafu 8. Celkově jsou obě vozidla značky Hyundai velmi úsporná a ve spotřebě energie vychází nejlépe.

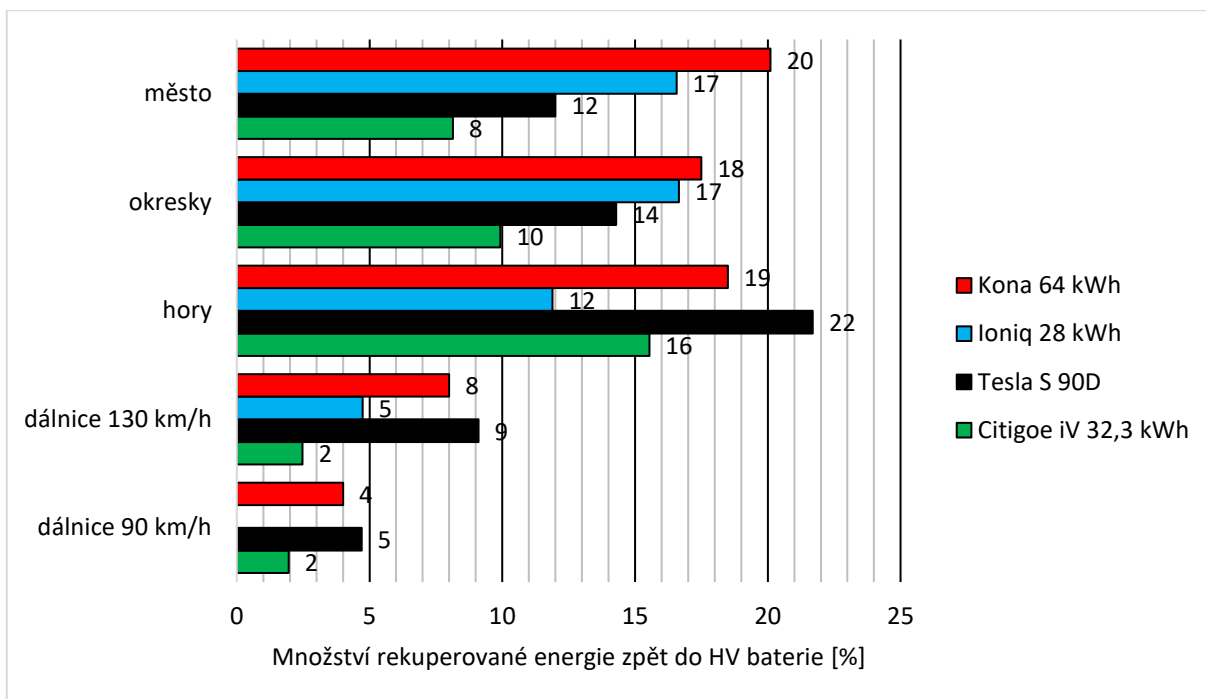
Zajímavé výsledky také přináší poslední graf 10, který zobrazuje měrnou spotřebu na 100 km vztaženou na kilogram provozní hmotnosti vozidla. Tato veličina je ukazatelem účinnosti elektrovýzbroje vozidla a pomocných spotřebičů. Čím nižší hodnota, tím je energie z HV baterie lépe vozidlem využívána. V tomto porovnání opět vítězí Kona a překvapivě s váhou vozidla je na druhém místě Tesla, která ale oproti Koně nedisponuje tepelným čerpadlem, které má standardně lepší účinnost. Opravdu nepříjemný je tento výsledek ale pro nejlhčí vozidlo z testování Škoda Citigo^e iV, která je (opět s výjimkou horské trasy) ve všech případech viditelně nejhorší, což dokazuje vliv odporového topení kabiny a celkově slabší rekuperace vozidla. [17]



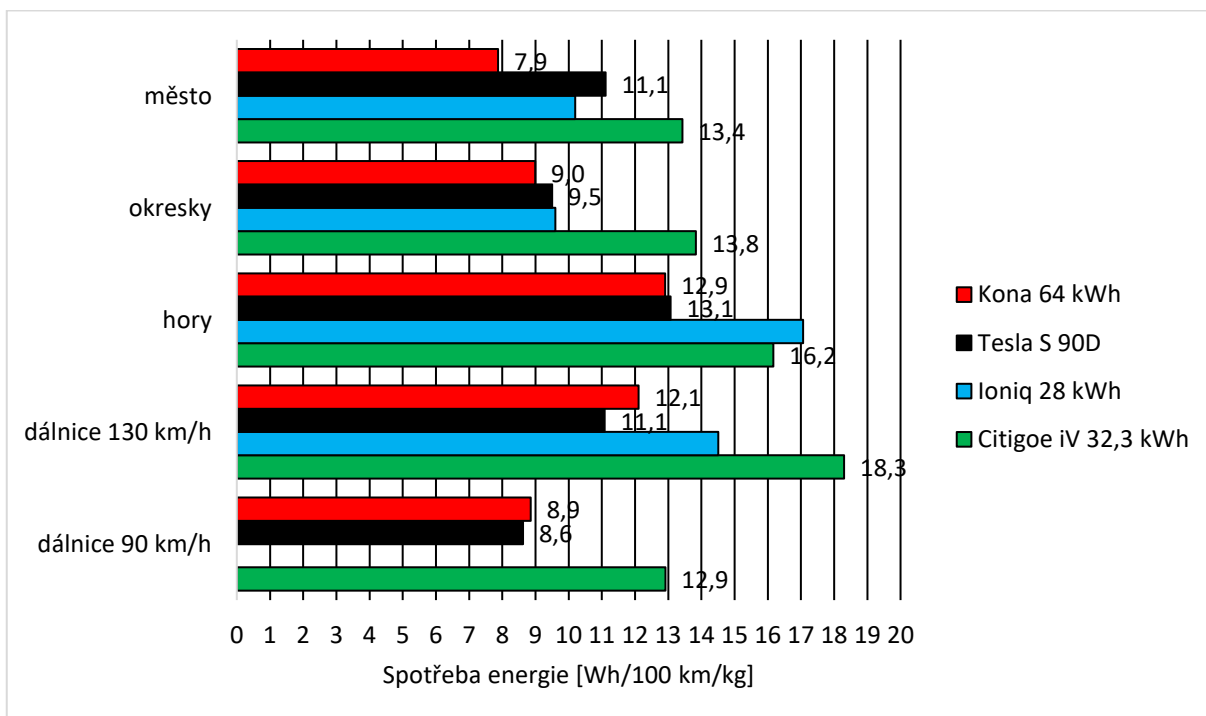
Graf 1: Grafické porovnání dojezdu na různých trasách



Graf 2: Grafické porovnání spotřeby energie na různých trasách



Graf 3: Grafické porovnání rekuperace na různých trasách



Graf 4: Grafické porovnání spotřeby na jednotku hmotnosti a 100 kilometrů na různých trasách

4.2 DC nabíjení

4.2.1 Průběh výkonu a teploty trakční baterie

Tato kapitola se zaměřuje na chování jednotlivých vozů při DC nabíjení, na průběhy nabíjecích výkonů a co tyto ovlivňuje. Dalším důležitým parametrem, kterému se bude věnovat, je teplota HV baterie a její ohřívání v průběhu testování při nabíjení, ale i samotné jízdě, protože teplota baterie vozidla je důležitým parametrem při rychlosti nabíjení.

Všechny výsledky v této kapitole vychází z trasy popsané v kapitole 3.2.1 Dálnice. Elektromobily byly vždy nabíjeny po ujetí vzdálenosti přibližně 77,1 km po dálnici D11 na veřejné DC dobíjecí stanici společnosti ČEZ s výkonem 50 kW. Tato stanice se nachází na odpočívadle Osice na dálnici D11 ve směru na Hradec Králové.

V následujících tabulkách jsou barevně vyznačeny jízdy, které jsou dále popsány v následujících podkapitolách 4.2.1.1-4.

Tabulka 12: Porovnání DC nabíjení po trasách na dálnici D11 rychlostí 90 km/h seřazené podle doby nabíjení

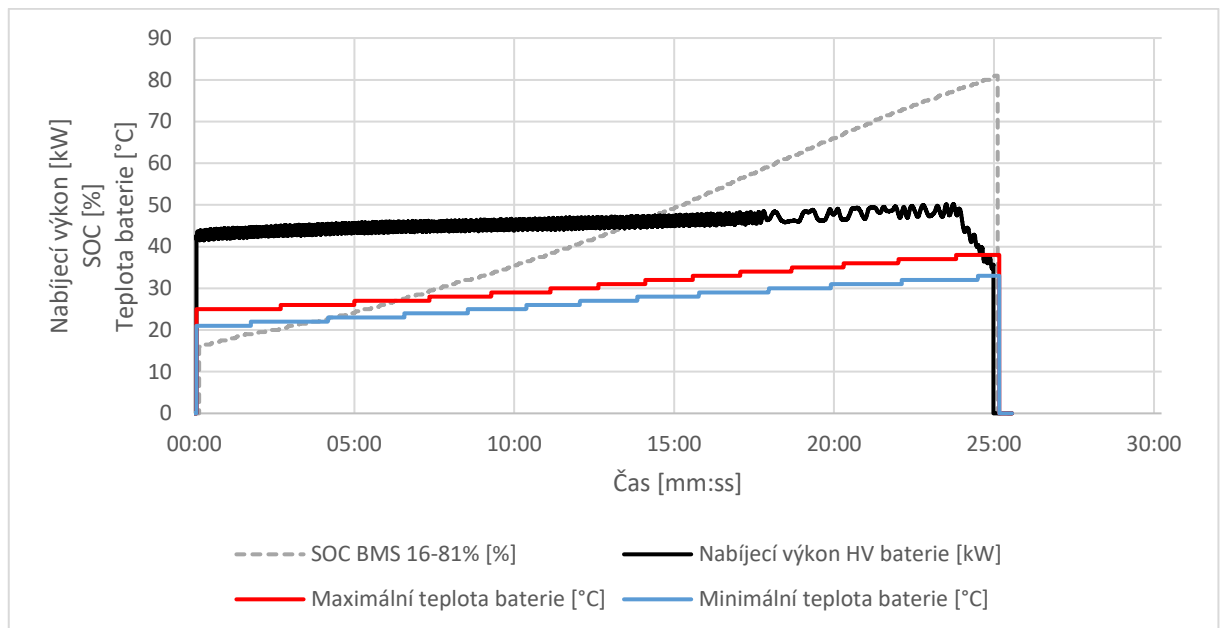
vozidlo	Minimální teplota HV baterie na začátku / konci nabíjení [°C]	Počáteční / koncové SOC [%]	Dobitá energie [kWh]	Průměrný nabíjecí výkon [kW]	Rychlost nabíjení [km/h]	Doba nabíjení [hh:mm:ss]
Kona 64 kWh	9 / 14	58 / 80	16,5	28,0	107,7	0:43:00
Citigo ^e iV 32,3 kWh	26 / ?	38 / 75	13	27,7	149,2	0:31:01
Tesla S 90D	30,2 / 32,2	59 / 80	16,2	41,0	191,5	0:24:10
Kona 64 kWh	14 / 17	52 / 70	12,4	40,9	205,4	0:22:33

Tabulka 13: Porovnání DC nabíjení po trasách na dálnici D11 rychlostí 130 km/h seřazené podle doby nabíjení

vozidlo	Minimální teplota HV baterie na začátku / konci nabíjení [°C]	Počáteční / koncové SOC [%]	Dobitá energie [kWh]	Průměrný nabíjecí výkon [kW]	Rychlost nabíjení [km/h]	Doba nabíjení [hh:mm:ss]
Citigo^e iV 32,3 kWh	32 / 38	22 / 75	19,3	26,0	102,0	0:45:24
Citigo ^e iV 32,3 kWh	23 / 31	24 / 77	18,4	24,9	107,4	0:43:05
Kona 64 kWh	15 / 19	53 / 80	19,3	34,8	121,7	0:38:04
Kona 64 kWh	20 / 24	55 / 80	18,1	39,2	148,0	0:31:18
Kona 64 kWh	18 / 23	56 / 80	17,5	39,3	152,2	0:30:26
Tesla S 90D	34,8 / 37,5	52 / 80	21,3	45,0	171,0	0:28:35
Kona 64 kWh	25 / 28	56 / 80	17,5	42,4	167,3	0:27:42
Ioniq 28 kWh	28 / 34	20 / 81	17,7	45,0	185,4	0:24:58
Ioniq 28 kWh	22 / 33	16 / 81	18,9	46,0	183,4	0:24:55
Ioniq 28 kWh	28 / 34	16 / 84	19,6	44,5	192,9	0:24:00

4.2.1.1 Hyundai Ioniq

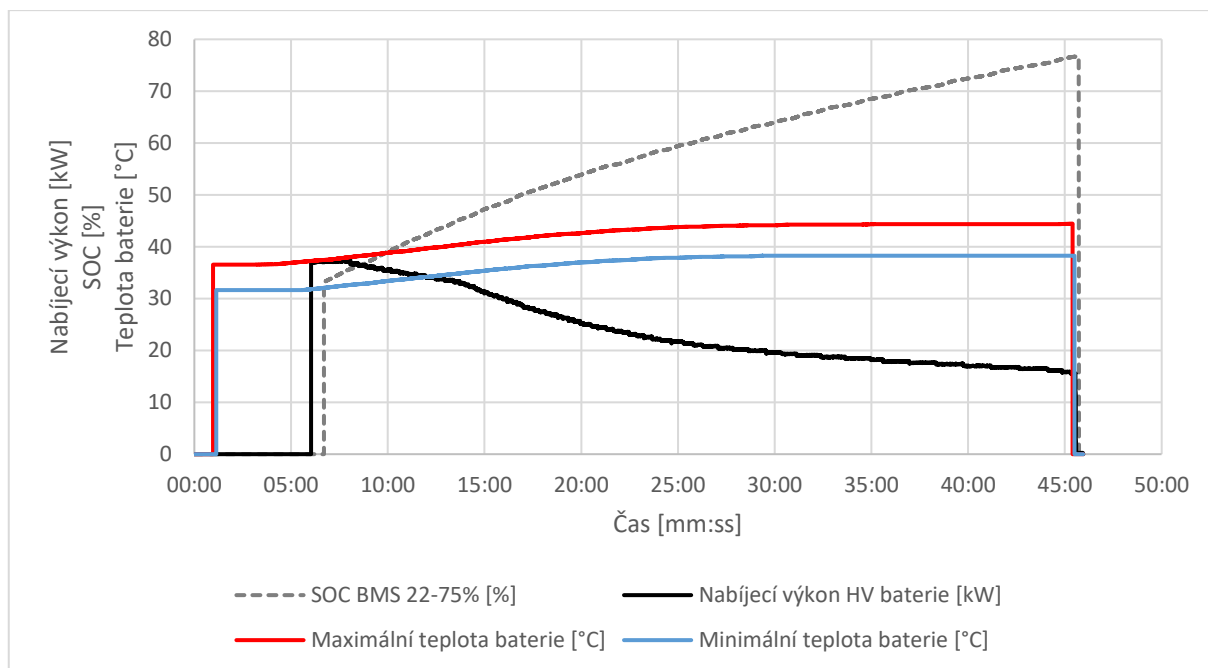
Na grafu 1 je vidět, že Ioniq má při nabíjení na veřejné 50 kW nabíjecí stanici velmi vysoký průměrný nabíjecí výkon, v průměru 46 kW. Je patrné, jak se tento výkon zvyšuje s teplotou baterie, až k maximálnímu výkonu, který dokáže daná nabíječka poskytnout. Nabíjecí výkon začne klesat až při cca 78 % SOC, což je také velmi pozitivní výsledek. Nemáme v případě Ioniq záznamy o teplotním managementu baterie, nicméně mezi 10. a 15. minutou je vidět velmi drobné zrychlení v oteplování baterie, takže je možné, že vozidlo pustilo přibližně v tomto čase krátkodobý PTC výhřev baterie. Jedná se však jen o domněnku autora.



Graf 5: Průběhy veličin při nabíjení Hyundai Ioniq

4.2.1.2 Škoda Citigo^e iV

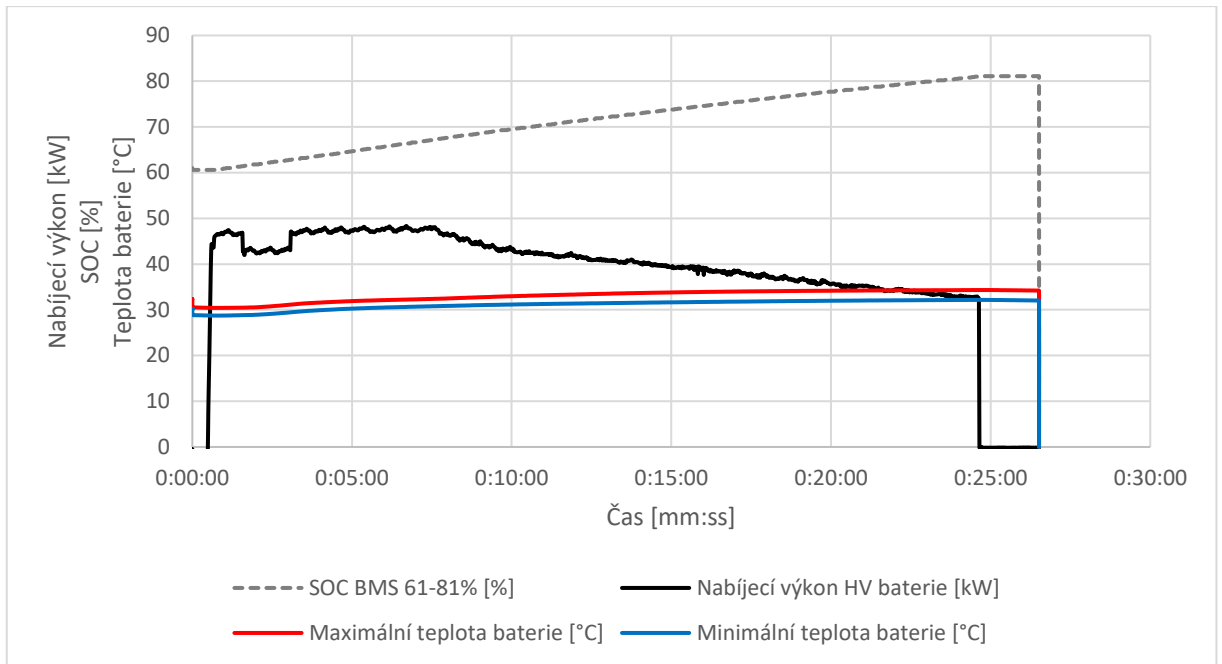
V případě Citigo^e iV již hodnoty nabíjecího výkonu tak příznivé nejsou, klesat začne již při hodnotě přibližně 35 % SOC (Graf 2). Tento slabší výsledek je způsoben kombinací menší kapacity HV baterie (vůči Hyundai Kona a Tesle S) a také z důvodu, že vozidlo nemá žádný tepelný management baterie, ale i bez výhřevu je kvůli malé velikosti akumulátoru vidět zvýšení teploty baterie. Avšak při takto sníženém výkonu je doba nabíjení úměrně dlouhá a srovnatelná s rychlostí nabíjení Hyundai Kona, která však disponuje téměř dvojnásobnou kapacitou HV baterie.



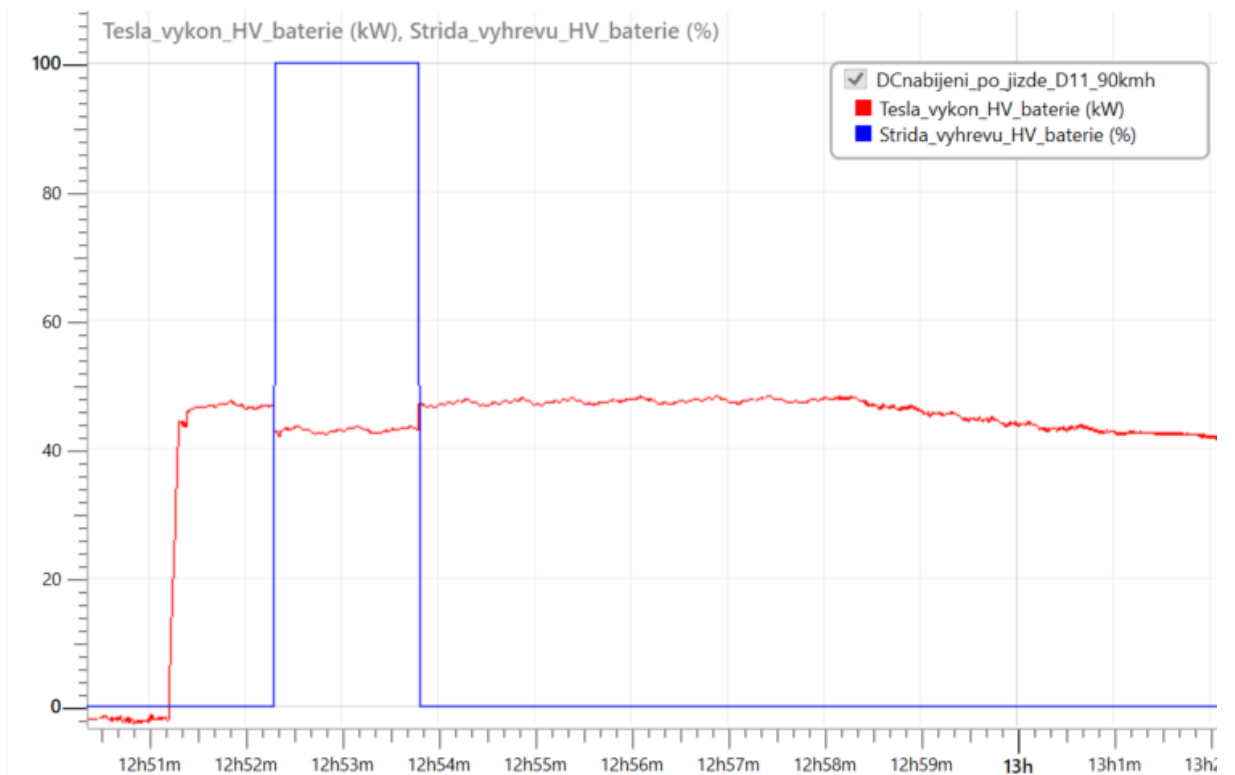
Graf 6: Průběhy veličin při nabíjení Škody Citigo^e iV

4.2.1.3 Tesla model S

Při nabíjení Tesly na grafu 3 je vidět vliv PTC vytápění HV baterie na samotné nabíjení, kdy na začátku dojde k poklesu nabíjecího výkonu baterie o přibližně 4 kW po dobu 1,5 minuty. Tato chvíle je blíže viditelná na obrázku 26 při porovnání proudu do HV baterie a procentuálního sepnutí výhřevu baterie. Od momentu vypnutí výhřevu baterie je vidět počátek růstu teploty, i když tato neroste tolik jako při nabíjení předchozích vozidel. Tesla nabíjí výkonem blízcím se maximálnímu výkonu nabíječky, nicméně začne výkon snižovat již při hodnotě 67 % SOC až na hodnotu 32,5 kW před vypnutím na 82 % SOC.



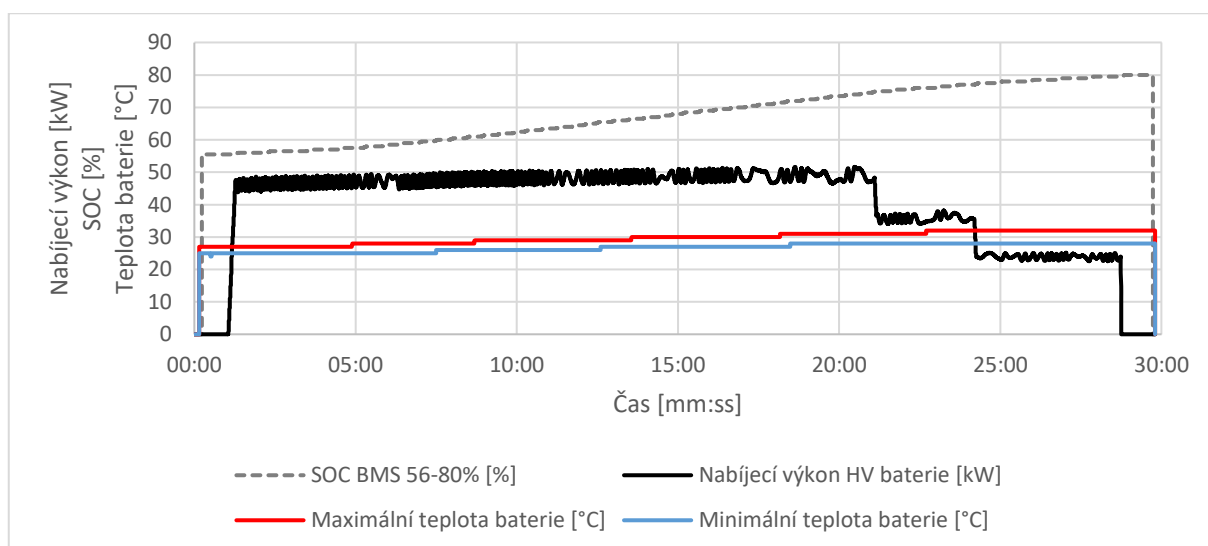
Graf 7: Průběhy veličin při nabíjení Tesly modelu S



Obrázek 26: Detail na vytápění HV baterie při nabíjení Tesly model S

4.2.1.4 Hyundai Kona

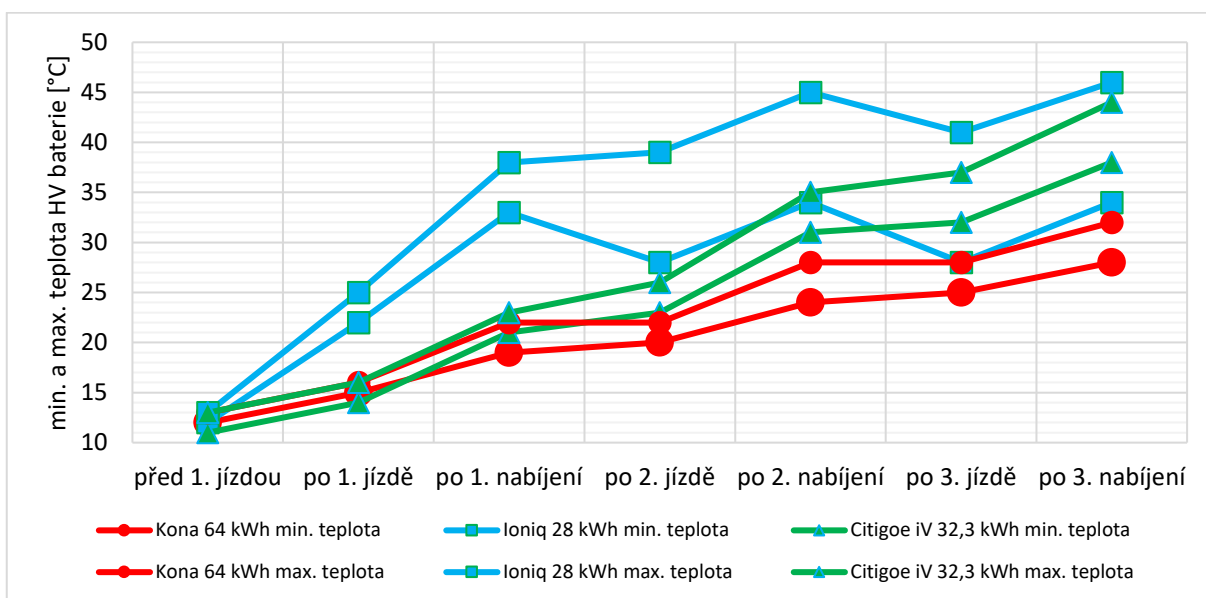
Na grafu 4 je vidět, že Kona začne využívat téměř od začátku skoro plný nabíjecí výkon, protože je již na začátku nabíjení ohřátá HV baterie na teplotu vyšší než 25 °C. Proto lze tento průběh považovat za ideální. Vliv teploty na rychlost nabíjení je blíže popsán v kapitole 4.5.2 a grafu 14. Nabíjecí výkon se s ohřívající HV baterií ještě zvyšuje, než se při 75 % SOC skokově sníží na hodnotu kolem 35 kW, další takové snížení proběhne ještě při 77 % SOC na hodnoty okolo 25 kW kvůli ochraně baterie před vyšším proudem. Jako v případě prvního vozu značky Hyundai nemáme logované veličiny teplotního managementu HV baterie, ale vzhledem k mírnému růstu teploty v tomto případě je domněnkou autora, že výhřev byl po dobu nabíjení v tomto případě vypnut.



Graf 8: Průběhy veličin při nabíjení Hyundai Kona

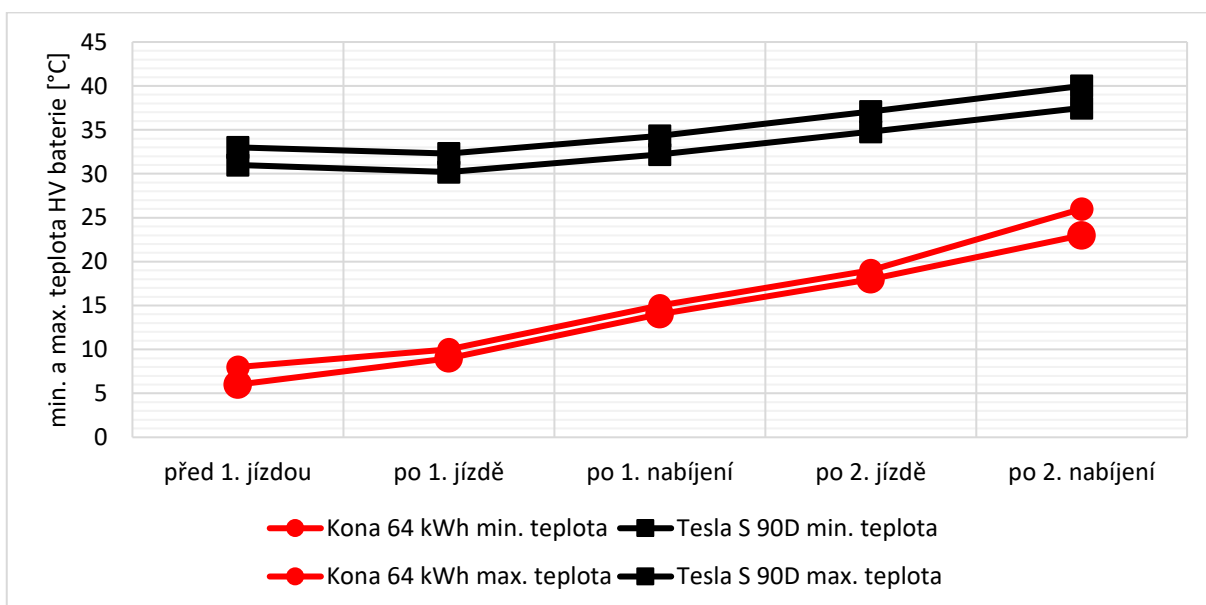
4.2.1.5 Porovnání ohřevu baterie za jízdy

V této kapitole jsou uvedeny teploty HV baterie v průběhu jízd a DC nabíjení. Všechna data v této kapitole jsou nasbírána během jízd na dálnici D11 (viz Kapitola 3.2.1) rychlostí 130 km/h a následném nabíjení na veřejné 50 kW DC nabíječe. Graf 5 znázorňuje 3 společné jízdy a následná nabíjení v kombinaci aut Hyundai Kona, Ioniq a Škoda Citigo° iV. Škoda před první jízdou nabíjela, ačkoliv to na výsledných datech není tolik poznat, Kona nenabíjela a u Ioniq nemáme jistotu, jestli proběhlo nebo neproběhlo nabíjení před první jízdou. Je viditelné, že největší zahřívání v tomto případě připadá na kapacitně nejmenší HV baterii. Teplotní rozdíl článků HV baterie v Hyundai Ioniq je překvapivě vysoký – po třech jízdách činí 13 °C mezi nejteplejším a nejchladnějším článkem. Toto vysoké rozdílné zahřívání a ochlazování může vést k různě rychlému stárnutí článků.



Graf 9: Průběhy ohřívání HV baterie Hyundai Kony, Ioniq a Škody Citigoe iV

Graf 10 zobrazuje jiný den, 2x jízdou po dálnici D11 s nabíjením, ale maximální rychlostí nejprve 90 km/h, poté 130 km/h, a v kombinaci Hyundai Kona a Tesla model S. Zde jdou vidět minimální teplotní rozdíly článků HV baterie oproti Ioniq v předchozím grafu. Důvodem, proč je baterie Tesly o tolik více zahřátá, je nabíjení před první jízdou na nabíjecí stanici v Osicích, při kterém bylo spuštěno její vytápění po cca 1/3 doby nabíjení.



Graf 10: Průběhy ohřívání HV baterie Hyundai Kony a Tesly modelu S

4.2.1 Účinnost DC nabíjení

V první části přílohy G (Tabulka 14) je porovnání základních parametrů při nabíjení. Tesla je zde uvedena dvakrát z důvodu toho, že při jednom nabíjení bylo spuštěno vytápění kabiny a v druhém výhřev HV baterie. Účinnost nabíjení je počítána podle vzorce (5) a je zde brána jako poměr energie spotřebované za jízdy a energie dodané nabíječkou pro nabití do stejného SOC jako před jízdou. V této hodnotě jsou započteny i ztráty přenosové cesty a ztráty na vodičích, ztráty přímo v baterii při nabíjení a vybíjení a také vnitřní spotřeby vozidla. Tento údaj je pro samotného uživatele důležitější, protože na základě této účinnosti poté ví, kolik ze zaplacené nabití energie přijde na ztráty.

Tabulka 14: Část přílohy G pro porovnání účinnosti DC nabíjení

Vozidlo	Účinnost DC nabíjení [%]	Round-trip účinnost HV baterie [%]	Teplota HV baterie na začátku/konci nabíjení [°C]	Počáteční/koncové SOC [%]	Průměrný nabíjecí výkon HV baterie [kW]	Doba nabíjení [hh:mm:ss]	Rychlost nabíjení [km/h]
Kona 64 kWh	95,9	96,3	25 / 28	56 / 80	42	0:27:42	167
Ioniq 28 kWh	91,20	92,59	22 / 33	16 / 81	46	0:24:55	186
Citigo ^e iV 32,3 kWh	92,00	93,78	32 / 38	22 / 75	26	0:45:24	102
Tesla S 90D 90 km/h	90,60	94,08	30,2 / 32,2	59 / 80	41	0:24:10	192
Tesla S 90D 130 km/h	87,3	91,83	34,8 / 37,5	52 / 80	45	0:28:35	171

$$\text{Účinnost DC nabíjení [\%]} = 100 * \frac{\text{Energie spotřebovaná jízdou [kWh]}}{\text{Energie dodaná nabíječkou [kWh]}} \quad (5)$$

Round-trip účinnost HV baterie (rovnice 6) je vypočítána z hodnot spotřebované energie předchozí jízdou a energie dodané následným nabíjením do baterie. V této účinnosti je zahrnuta pouze účinnost baterie, proto je vždy o něco vyšší než účinnost nabíjení zmíněná výše a nemají na ní vliv vlastní spotřeby vozidla při nabíjení (např. ohřev HV baterie/kabiny, spotřebu 12 V sítě). Ztráty v baterii způsobuje především vnitřní odpor baterie, který záleží na SOC, teplotě a stáří baterie. V neposlední řadě také na nabíjecím proudu.

$$\text{Round-trip účinnost HV baterie [\%]} = 100 * \frac{\text{Energie spotřebovaná jízdou [kWh]}}{\text{Energie dodaná do HV baterie [kWh]}} \quad (6)$$

Ve sloupci průměrného napájecího výkonu jsou průměrné hodnoty nabíjecích výkonů na veřejné 50 kW DC nabíječe, které korespondují s grafy 1-4. Je jasné vidět, jak moc špatných hodnot dosahuje Škoda Citigo^e iV při porovnání s ostatními vozidly, jak bylo již popsáno v kapitole 4.3.3.

Rychlost nabíjení je udána v km/h, tedy kolik kilometrů jízdy je teoreticky možné nabít za jednu hodinu nabíjení takovýmto výkonem. Tato rychlost nabíjení je počítána pro

definovanou spotřebu kWh/100 km v jízdě. V tomto případě to platí pro jízdu po dálnici. Při jízdě třeba ve městě by rychlost nabíjení v km/h vyšla vyšší jen díky tomu, že spotřeba ve městě [kWh/100 km] je nižší.

4.3 Příkon 12 V palubní sítě a výhřevu HV baterie

Dále je v tabulce 15 procentuální zastoupení jednotlivých elektrických systémů vozidla při samotném nabíjení. Citigo^e iV výhřevem baterie nedisponuje, u obou vozů značky Hyundai nebylo spuštění výhřevu HV baterie zaznamenáno. Je zde i vidět již zmíněný důvod, proč je v tabulce Tesla 2x, a to proto, že při jednom nabíjení se spustil výhřev HV baterie (na 1,5 minuty) a při druhém byl spuštěn výhřev kabiny na 22 °C, tudíž aby bylo možné porovnat jejich vliv na samotné nabíjení.

Tabulka 15: Část přílohy G pro porovnání procentuálních podílů vlastní spotřeby vozidla

Vozidlo	Podíl výhřevu HV baterie [%]	Podíl topení kabiny [%]	Podíl 12 V sítě vozidla [%]	Podíl celkové vlastní spotřeby vozidla [%]
Kona 64 kWh	0,00	0,00	0,25	0,25
Ioniq 28 kWh	0,00	0,00	0,28	0,28
Citigo ^e iV 32,3 kWh	0,00	0,08	1,55	1,63
Tesla S 90D 90 km/h	0,58	0,00	0,36	0,94
Tesla S 90D 130 km/h	0,00	3,18	0,59	3,78

V příloze I jsou konkrétní hodnoty výkonů a energií, které se vztahují právě k procentuálnímu zastoupení spotřeby energie elektrických systémů vozidla v první části. Poslední dva sloupce označené zeleným pozadím jsou důkazem, že pokud sečteme vlastní spotřebu vozidla při nabíjení a energii dodanou do HV baterie při nabíjení, tak se dostáváme na hodnotu energie dodané nabíječkou podle faktury, a to s odchylkou do 1 %. Tím pádem lze konstatovat, že nedocházelo k žádné další nezjištěné spotřebě energie při nabíjení.

Tabulka 16: Část přílohy I pro porovnání příkonů a spotřebované energie vlastní spotřeby vozidla

Vozidlo	Průměrný výhřev HV baterie [kW]	Energie spotřebovaná na výhřev baterie [kWh]	Průměrný příkon topení kabiny [kW]	Energie spotřebovaná na topení kabiny [kWh]	Průměrný příkon 12 V soustavy [kW]	Energie spotřebovaná 12 V soustavou [kWh]
Kona 64 kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,05
Ioniq 28 kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,05
Citigo ^e iV 32,3 kWh	0,00	0,00	0,02	0,02	0,40	0,30
Tesla S 90D 90 km/h	0,11	0,10	0,00	0,00	0,15	0,06
Tesla S 90D 130 km/h	0,00	0,00	1,32	0,71	0,28	0,13

4.4 Příkon topení

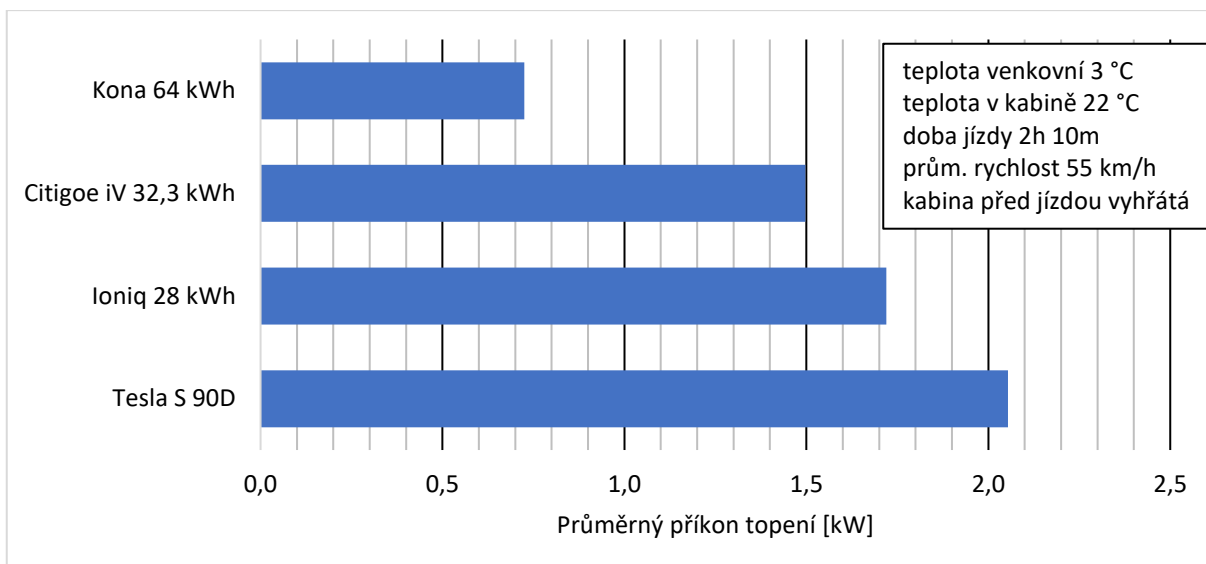
Na grafech 11 a 12 jsou vidět průměrné hodnoty příkonu topení kabiny ve vozidlech, v prvním případě jde o trasu z Pardubic do Týnce nad Sázavou, v druhém o trasu simulující městský provoz. Je důležité zmínit, že data ohledně spotřeby topení a 12 V sítě nebyla v případě obou vozidel značky Hyundai logována a vychází se pouze z fotek palubní obrazovky s hodnotou spotřeby. Ačkoliv byla vybrána data z městské trasy, kdy docházelo k nejčastějšímu záznamu obrazovky, data jsou i tak zatížena velikou nejistotou. Navíc výsledky poukázaly na blíže nespecifikovaný problém s Hyundai Ioniq, protože ačkoliv oproti Škodě má tepelné čerpadlo pro vytápění kabiny, její data dopadla hůře než právě odporové topení Škody. Velký podíl viny nese právě menší „vzorkování“ dat focením, ale je možné, že vozidlu částečně chyběla náplň v okruhu klimatizace. Navíc log z jízd městem pro Teslu chybí, proto její data nejsou ani v případě grafu 12 ani v příloze H, která graficky navazuje na zmíněný graf.

Na datech je vidět jaký rozdíl udělá tepelné čerpadlo na vytápění kabiny, kterým disponuje Hyundai Kona, a odporové topení kabiny, které má Tesla, protože konečný průměrný příkon dosahuje více než dvojnásobku.

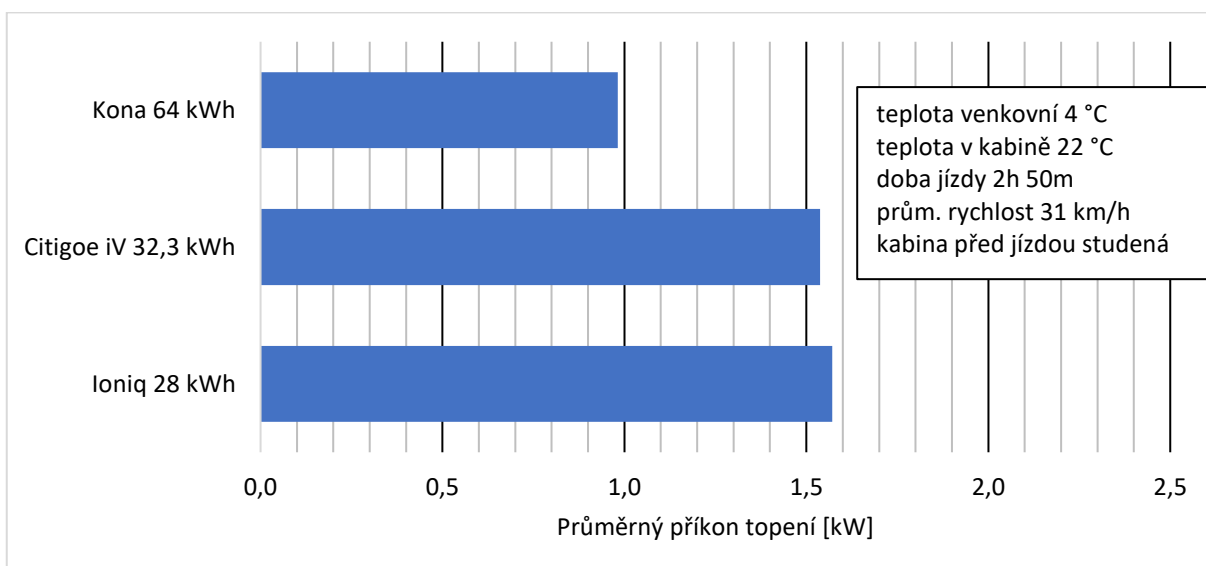
V příloze H jsou vidět konkrétní průběhy topení a 12 V palubní sítě při jízdě ve městě. V případě topení je vždy vidět velký počáteční příkon, kdy je snaha o co nejrychlejší vytopení kabiny na požadovanou teplotu. Až přibližně po 50 minutách se příkon ustálí na nižší průměrné hodnotě, která je v případě Citigo^e iV přibližně 1,4 kW, u Ioniq přibližně 1,3 kW (tato vysoká hodnota již byla vysvětlena výše) a Kony přibližně 0,75 kW. Z těchto dat vyplývá, že topení není v zimních měsících zanedbatelnou položkou ve spotřebě a v případě nabíjení z domácího wallboxu a předtopení je možnost ušetření velkého množství energie z baterie vozidla, jak je blíže popsáno v kapitole 4.5.4. Oproti tomu spotřeba 12 V sítě je v případě všech stabilní již od začátku a poměrně vyrovnaná napříč vozidly.

Tabulka 17: Procentuální spotřeba energie topení kabiny vůči celkové spotřebě energie na různých typech tras

Typ trasy	Hyundai Kona	Tesla model S	Škoda Citigo ^e iV
Dálnice 90 km/h	7,00	9,19	15,72
Dálnice 130 km/h	4,00	6,74	7,27
Hory	15,00	19,88	29,49
Okresky	11,42	16,52	20,47
Město	19,22	-	28,87



Graf 11: Porovnání příkonu topení na trase Pardubice – Týnec n. Sázavou



Graf 12: Porovnání příkonu topení na městské trase MHD č.7 v Pardubicích

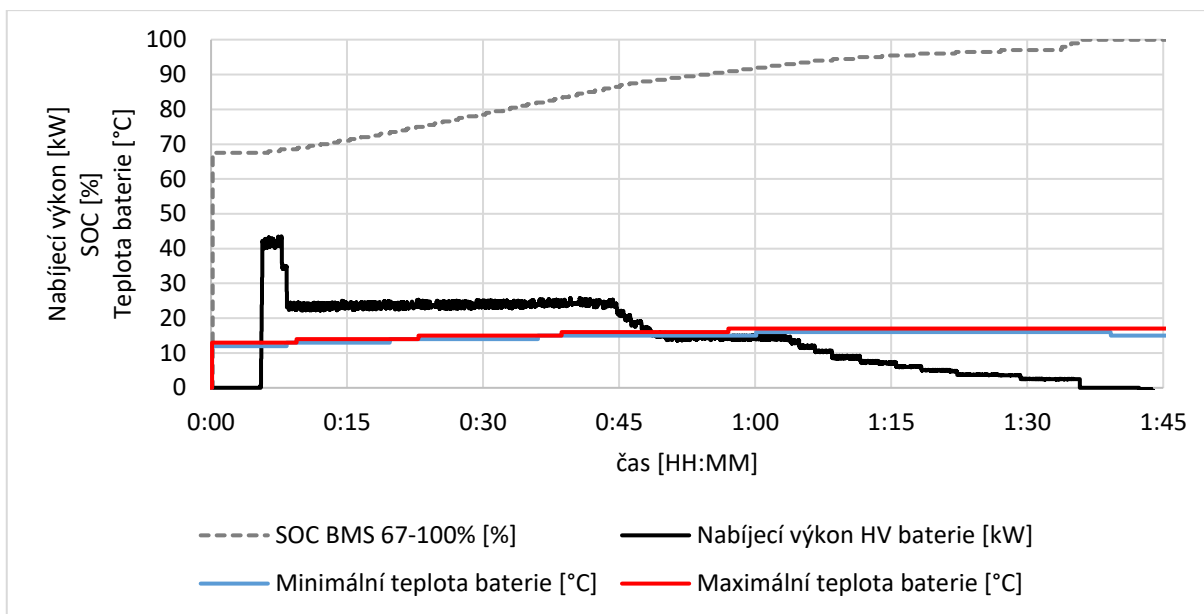
4.5 Dodatečné testy pouze pro Hyundai Kona

4.5.1 Nabíjení do SOC 100 %

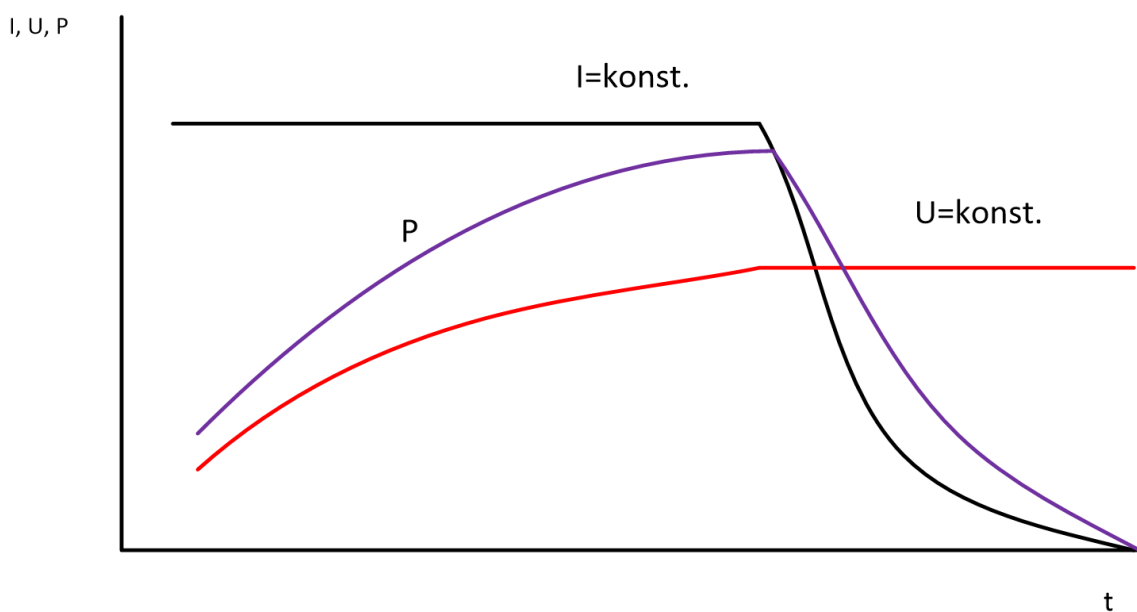
Tato kapitola je zde pro vysvětlení, proč všechna nabíjení na veřejných 50 kW DC nabíječkách v předchozích kapitolách končí přibližně na hodnotě 80 % SOC. Stejně tak pokud se zájemce o nové elektrovozidlo podívá na stránky výrobce na rychlost nabíjení, tak se vždy setká s dobou nabíjení do hodnoty 80 % SOC. Důvod je vidět v tabulce 18 a grafu 13. Se zvyšující se hodnotou SOC (v případě zde testované Hyundai Kony jde o hodnotu cca 86 % SOC) dochází k výraznému omezení nabíjecího výkonu do HV baterie. To je způsobeno tím, že akumulátory v EV se nabíjejí podle nabíjecí charakteristiky typu UI (Obrázek 27), takže ke konečnému dobíjení na 100% kapacitu je snaha již udržovat napětí na konstantní úrovni, tím pádem musí klesat proud, a z toho důvodu i nabíjecí výkon. Toto snížení je tak razantní, že ke konci nabíjení je již nižší než výkon 3-fázové AC nabíječky (10,5 kW), se kterou je počítáno pro pomalé nabíjení v domácích podmínkách. V tabulce 18 lze zjistit, že doba nabíjení posledních 10 % SOC trvala déle než dobíjení ze 70 % na 90 % SOC. Přesně z tohoto důvodu je doporučeno při rychlém nabíjení na veřejných nabíječkách dosahovat hodnot pouze okolo 80 % a dobíjení na 100 % SOC ponechat pro domácí pomalé nabíjení, kupříkladu přes noc.

Tabulka 18: Porovnání rychlosti nabíjení do 100 % SOC

čas 70 -> 80 % SOC [hh:mm:ss]	0:20:11
čas 80 -> 90 % SOC [hh:mm:ss]	0:21:25
čas 90 -> 100 % SOC [hh:mm:ss]	0:42:07
Průměrný nabíjecí výkon [kW]	16,2



Graf 13: Nabíjení Hyundai Kona do 100 % SOC



Obrázek 27: Nabíjecí charakteristika typu IU [18]

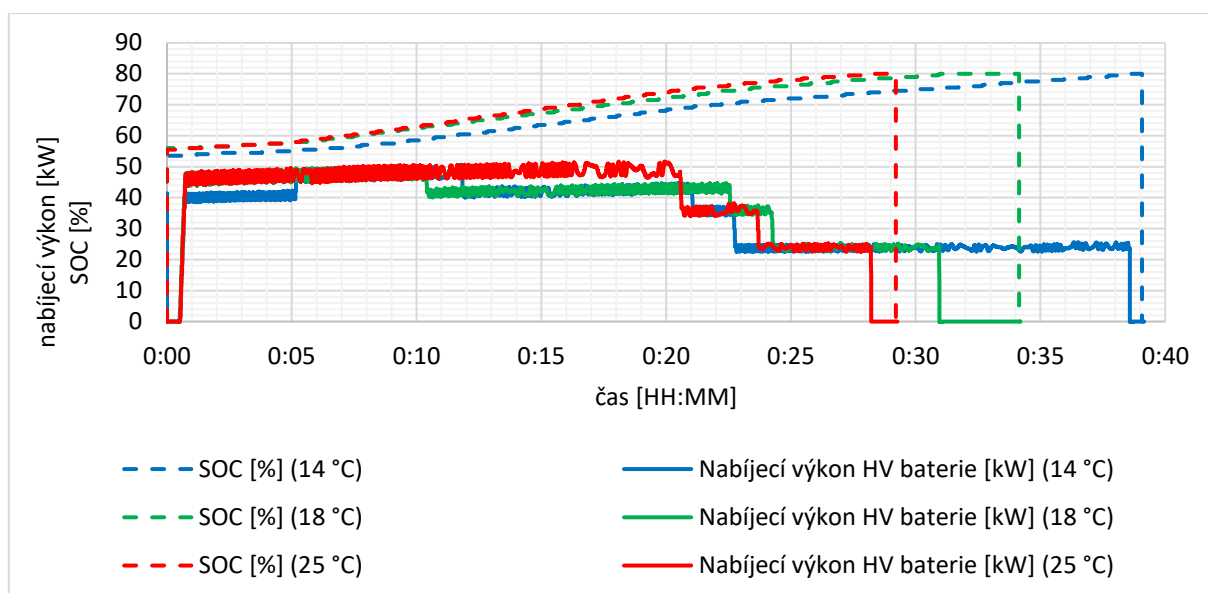
4.5.2 Vliv teploty baterie na rychlost nabíjení

Další kapitola věnovaná pouze datům z nabíjení Hyundai Kona se zaměřuje na předvedení vlivu teploty HV baterie (resp. článku baterie s nejnižší teplotou) na velikost nabíjecího výkonu a tím i rychlosti nabíjení. Všechna tři nabíjení probíhala po jízdě rychlostí 130 km/h na dálnici D11 (kapitola 3.2.1) na veřejné DC nabíjecí stanici 50 kW v Osicích. Všechny trasy měly přibližně stejnou spotřebu energie, což je vidět na podobném stavu SOC

na začátku nabíjení, proto rozdíly v době nabíjení jsou dány právě teplotou HV baterie. Na grafu 14 je poté i graficky vidět, jak je nabíjení vlivem teploty prodlouženo a že je opravdu nabíjeno nižším výkonem než v případě červeného průběhu (25 °C). [17]

Tabulka 19: Vliv teploty HV baterie na rychlost nabíjení

	Min. teplota HV baterie na začátku nabíjení [°C]	Počáteční / koncové SOC [%]	Průměrný nabíjecí výkon [kW]	Doba nabíjení [hh:mm:ss]	Rychlost nabíjení [km/h]
1. nabíjení	14	53 / 80	35	0:38:37	120
2. nabíjení	18	56 / 80	39	0:30:26	152
3. nabíjení	25	55 / 80	42	0:27:42	167

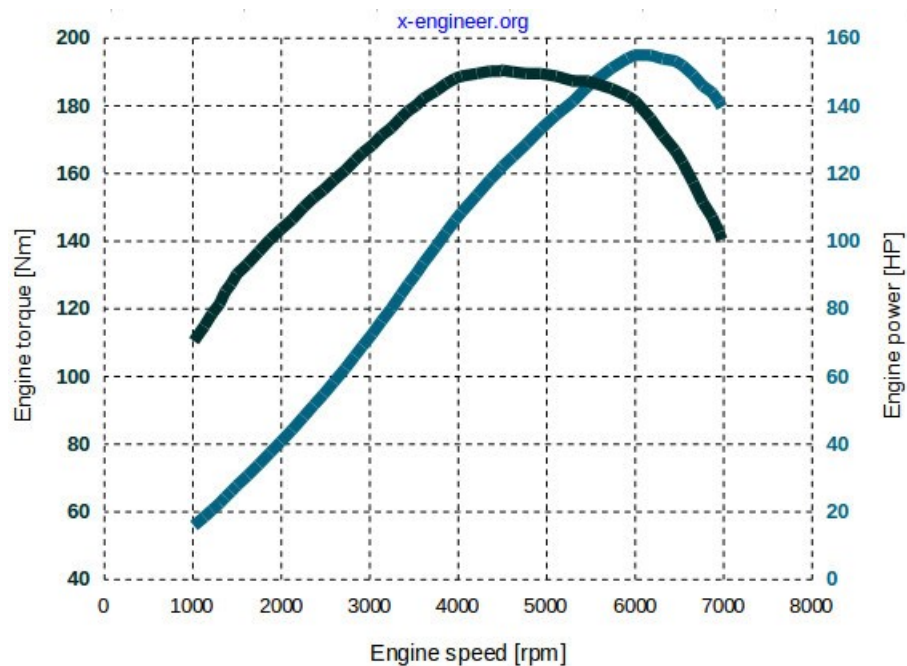


Graf 14: Vliv teploty HV baterie na nabíjecí výkon

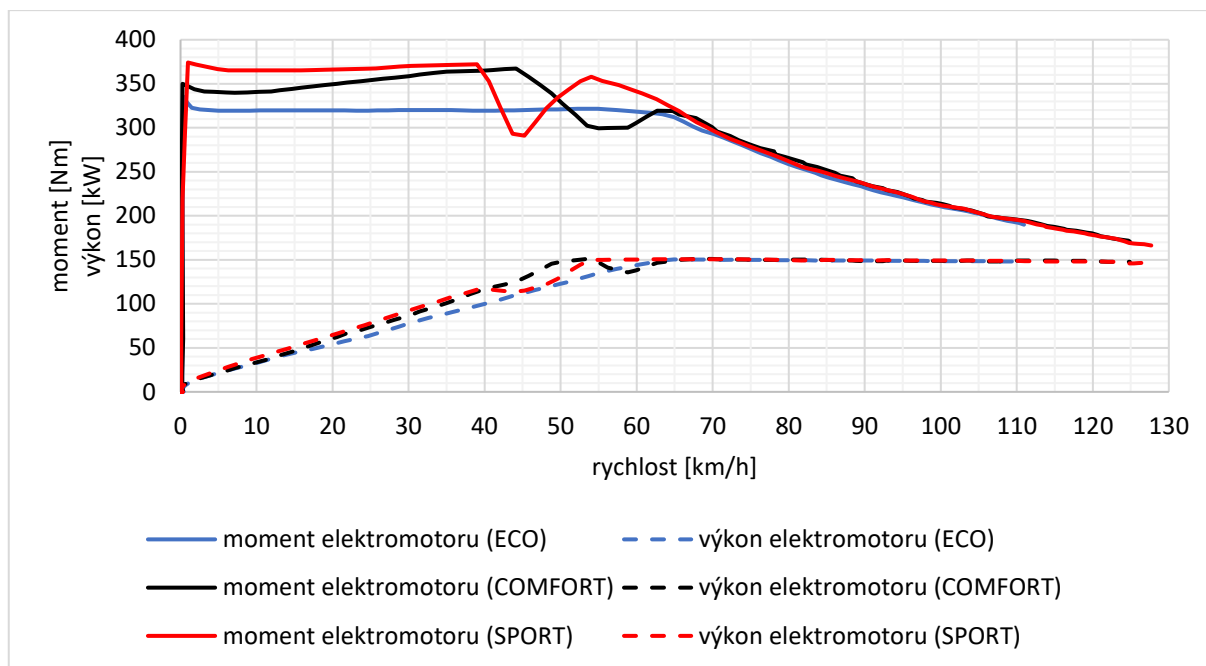
4.5.3 Trakční charakteristika vozidla

Jednou z výhod BEV oproti automobilům se spalovacím motorem je právě trakční charakteristika. Na obrázku 28 je momentová a výkonová charakteristika zážehového dvoulitrového motoru Honda, kdy největší moment má motor až přibližně při 4500 ot/min. Pro ideální dynamiku jízdy je potřeba při rozjezdu pro překonání tření a pro akceleraci plný moment již od počátečního sešlápnutí plynového pedálu. Naopak pokud je již automobil rozjetý a má díky své váze určitou setrvačnost, již není potřeba takový moment, protože již většinou nedochází k tak náhlé změně rychlosti. Momentová křivka spalovacího vozu nereflkuje takovéto potřeby, proto je potřeba využít převodových stupňů, aby se momentová charakteristika alespoň přiblížila ideální. Oproti tomu elektromotor se této křivce přibližuje (Graf 15). Hyundai Kona obsahuje 3 různé jízdní profily: ECO, COMFORT, SPORT. V režimu

ECO je vidět omezení momentu na cca 320 Nm a pomalejší náběh výkonu do hodnoty 150 kW, která je stejná pro všechny režimy a udává ji i výrobce. Při testování režimů COMFORT a SPORT bohužel byla mokrá vozovka a došlo k prokluzu hnaných kol. Tento prokluz je viditelný na příslušných křivkách momentu i výkonu v rychlostech 40–60 km/h náhlým poklesem momentu elektromotoru. V případě režimu SPORT lze pozorovat nejvyšší nárůst momentu a delší přidržení na maximální hodnotě, tím pádem i dynamičtější rozjezd vozidla, částečně korespondující s očekáváním podle názvu jízdního režimu. Ještě je nutno dodat, že hodnoty SOC byly ve všech 3 případech nad 85 %.



Obrázek 28: Průběh výkonu (tmavší průběh) a momentu (světlejší průběh) na otáčkách zážehového motoru Honda 2.0L [19]



Graf 15: Naměřená trakční charakteristika Hyundai Kona

4.5.4 Vliv předtopení kabiny

Jak již bylo dříve zmíněno, tak topení u elektrovozidel není zanedbatelná složka spotřeby, a navíc oproti spalovacím motorům je tato spotřeba závislá na okolní teplotě, protože zde není takový zdroj ztrátového tepla, jako je spalovací motor. Ale protože už z principu je topení v BEV nezávislé a nejčastější plánovaná forma nabíjení je přes domácí wallbox, pak není problém této spotřebě vlivem vytápění předejít naplánováním předehřevu. Proto se tato kapitola zaměřuje právě na testování vlivu předtápění a případně parkování ve vyhřáté laboratoři DFJP (v grafech a dále v textu uvedeno jako „vyhřátá garáž“). Jak již bylo zmíněno, tak u vozidel značky Hyundai nebylo možné logovat veličiny vztahující se k topení, takže výsledky jsou zkuseně nepravdělným „vzorkováním“ ve formě focení displeje infotainmentu.

Nicméně dle výsledků (Graf 16) je viditelné, že při přibližně 2h 45min trvající jízdě po městě bylo ušetřeno díky předtápění 1,35 kWh a v případě parkování ve vyhřáté garáži dokonce 1,54 kWh. Tento graf platí pro tuto konkrétní jízdu. Při jízdě na jinou vzdálenost nebo při jízdě mimo město by vyšel jiný, protože se změní poměr mezi energií spotřebovanou pro topení kabiny a celkovou spotřebovanou energií. Ale další bod nejistoty je v tomto případě přidán teplotou okolí, kdy při jízdě bez předtopení byla okolní teplota pouze cca 4 °C a v dalších 2 případech s předehřevem již teplota 8 °C, takže dochází ke zkreslení v neprospěch jízd bez předtopení, protože jak již bylo řečeno, spotřeba topení BEV je závislá na okolní teplotě.

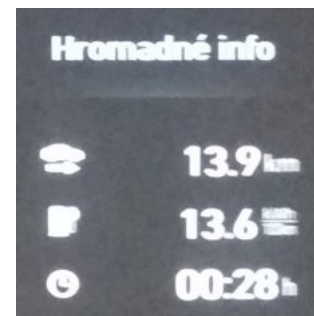
Z grafu je viditelné, že největší vliv předtopení na spotřebu bude mít kratší jízda kupříkladu 30 minut do práce. Naopak při delší jízdě se tyto rozdíly už postupně smazávají, protože vliv spotřeby elektromotorů proti topení je stále natolik výraznější, že právě u delších tras drobný rozdíl z počáteční větší spotřeby topení zastíní. Protože je tento test zatížen velkým množstvím nejistot, je potřeba ho brát pouze informativně co se absolutních čísel týče. Nicméně jako další referenční důkaz může být trojice obrázků 29-31 s fotografií spotřeby při jednotlivých případech po cca 28 minutách jízdy, kdy je opravdu vidět nepřehlédnutelné rozdíly v hodnotách spotřeby kWh/100 km. [17]



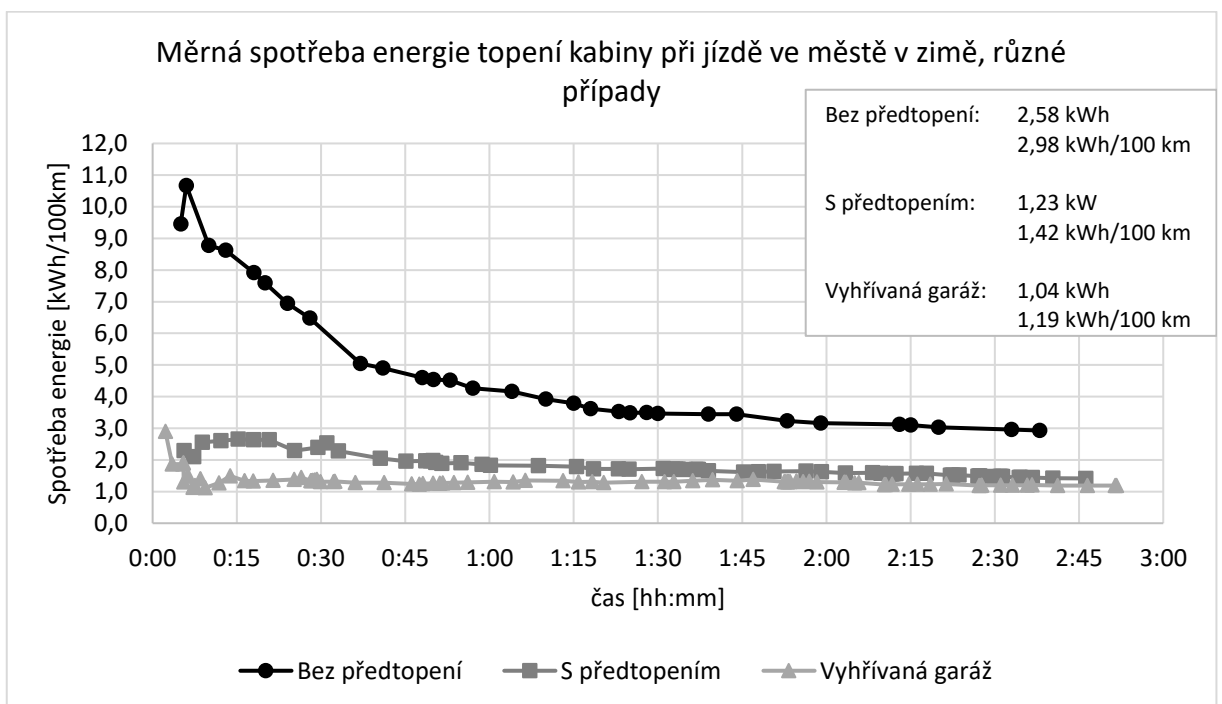
Obrázek 29: Bez předtopení [17]



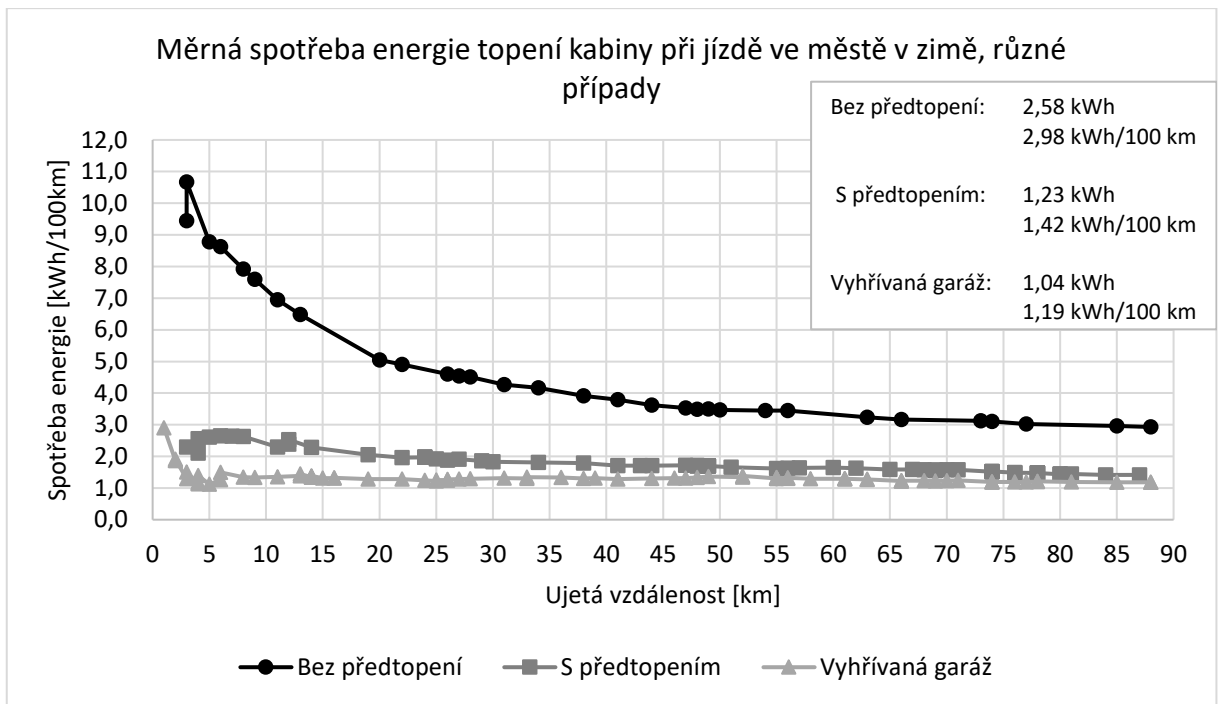
Obrázek 30: S předtopením [17]



Obrázek 31: Vyhřívání garáž [17]



Graf 16: Vliv předtopení kabiny vozidla na spotřebu energie topením v následující jízdě v závislosti na čase



Graf 17: Vliv předtopení kabiny vozidla na spotřebu energie topením v následující jízdě v závislosti na ujeté vzdálenosti

ZÁVĚR

Byla vypracována analýza dat z jízd a DC nabíjení několika bateriových elektromobilů. Co se měrné spotřeby energie na 100 km týče, vyšlo z celého testování nejlépe vozidlo Hyundai Kona následované Hyundai Ioniq, dá se tudíž hovořit o poměrně solidní úspornosti vozů značky Hyundai. Celkově lze z dat vyzorovat, že vozidlům nejvíce svědčí městský provoz, při kterém mohou díky nízké rychlosti a časté rekuperaci snížit svou průměrnou spotřebu energie, a to i navzdory zimnímu období. V případě Hyundai Kona bylo dokonce u průměrné spotřeby energie dosaženo lepšího výsledku oproti deklarované hodnotě WLTP o 4 % (Příloha J) a teoretický dojezd byl snížen pouze o 6 %. Naopak vozidla stále nejsou ideální variantou pro zimní provoz v horském prostředí, kdy dojezdy vozidlům klesaly přibližně až o 40 % oproti hodnotám uvedeným z měření metodami WLTP/NEDC. Je velmi na škodu, že horská data pro Hyundai Ioniq jsou zatížena extrémně nepříznivým vlivem počasí (nárůst spotřeby o 130 %), a tím pádem je lze v kontextu ostatních aut velmi špatně porovnávat. Co se dálnice týče, pak toto prostředí vyhovuje nejvíce Tesle. Ačkoliv i zde má Tesla největší spotřebu energie, vzhledem k velikosti využitelné kapacity baterie větší o cca 20 kWh oproti Hyundai Kona dosahuje lepších teoretických dojezdů. Celkově je ale prostředí dálnice pro elektrovozidla náročné, jelikož se zvyšující se rychlostí dochází k velkému nárůstu spotřeby. Rozdíl ve spotřebě energie při testovací rychlosti 90 a 130 km/h dosahuje 40 a více procent.

Nejhorších výsledků napříč testováním dosahovala Škoda Citigo^e iV. Kupříkladu při spotřebě energie na kilogram hmotnosti vozu oproti ostatním vozidlům velice zaostává. Při porovnání s Hyundai Kona ve městě jde až o 70 % vyšší spotřebu energie na jednotku hmotnosti a 100 km. Bohužel i podíl rekuperace v případě Škody Citigo^e iV nedosahuje hodnot ostatních vozidel.

Na datech z DC nabíjení lze opět pozorovat příznivé průběhy nabíjení vozidel značky Hyundai, které se drží, poměrně k době nabíjení, nejdelsí dobu na téměř maximální hodnotě 50 kW veřejné nabíječky. Účinnosti DC nabíjení (poměr energie spotřebované v jízdě a energie dodané do vozidla následným DC nabíjením) se ve všech případech drží nad 90 %.

Dále bylo dokázáno, že vlastní spotřeba vozidla při DC nabíjení maximálním výkonem 50 kW je zanedbatelná, pohybuje se do 1 % z celkového množství energie dodané DC nabíječkou. Výjimkou jsou Škoda Citigo^e iV, která dosahuje hodnoty 1,63 %, a Tesla, jež se při jednom nabíjení kvůli spuštěnému vytápění kabiny odporovým topením během nabíjení dostala až na 3,78 % vlastní spotřeby vzhledem k energii dodané do vozidla.

Nejmenší spotřebou energie na topení kabiny překonává ostatní vozidla v testování opět Hyundai Kona, kdy lze vidět, jak velkou výhodou je použití tepelného čerpadla u BEV. Z tohoto důvodu se toto řešení dnes již běžně uplatňuje v moderních BEV. Tímto také odpadají obavy mnohých odpůrců elektromobility, že si v zimě nebudou moci ani zatopit. Konkrétně v případě Hyundai Kona se procentuální spotřeba energie na topení kabiny vůči celkové spotřebě energie pohybovala od 3–5 % při trasách na dálnici až po 12–24 % při jízdě ve městě, při které bylo procento spotřeby topení kabiny nejvyšší.

Závěrem této bakalářské práce lze konstatovat, že analýza technických dat z jízd a nabíjení elektromobilů poskytuje cenné poznatky a přínosy reálných dat z užívání elektromobilů. Práce byla zaměřena na zkoumání a hodnocení různých technických aspektů elektromobilů, jako je účinnost nabíjení, dojezd a spotřeba energie.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Balíček „Fit for 55“. Evropská rada [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [2] Types of Mild Hybrid Electric Vehicles (MHEV). X-engineer.org [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicles-mhev-types/>
- [3] DITTRICH, Lukáš. ČESKÁ REPUBLIKA MÁ POŘÁD TĚMĚŘ NEJSTARŠÍ VOZOVÝ PARK V EVROPĚ. HLAVNÍ PŘÍČINA ZŮSTÁVÁ STEJNÁ. Autobible.euro.cz [online]. 16.12.2019 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/clanky/ceska-republika-ma-porad-temer-nejstarsi-vozovy-park-v-evrope-hlavni-pricina-zustava-stejna/>
- [4] KADULA, Lukáš a Petr KOUŘIL. Rozvoj elektromobility v ČR. Silniční obzor. Praha: Česká silniční společnost, 2021, 82(3), 78-81. ISSN 0322-7154.
- [5] Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM. Čistá doprava [online]. Centrum dopravního výzkumu, 2021 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/>
- [6] How much do electric cars cost?. Energysage [online]. 2019 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/costs-and-benefits-evs/electric-car-cost/>
- [7] KOUŘIL, Petr, Michal ŠIMEČEK a Zdeněk DYTRT. Česko v pohybu. Metodika a základní výsledky celostátního průzkumu dopravního chování [online]. In: . Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2022 [cit. 2023-04-10]. ISBN 978-80-88074-96-0. Dostupné z: <https://www.ceskovpohybu.cz/>
- [8] POJAR, Petr. Budeme se na sídlištích prodírat lesem kabelů natažených z oken a balkonů k elektromobilům? [online]. 2023, 5.3.2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/budeme-se-na-sidlistich-prodirat-lesem-kabelu-natazenych-z-oken-a-balkonu-k-elektromobilum-31791.html>
- [9] Loučení se skutečným průkopníkem: Hyundai ukončí výrobu první modelové řady IONIQ. Hyundai [online]. Tisková zpráva [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.hyundai.news/cz/articles/press-releases/hyundai-ukonci-vyrobu-prvni-modelove-rady-ioniq.html>
- [10] Self-study program Hyundai Ioniq. Hyundai Motor Europe GmbH, 2016.
- [11] Features: Explore the features of the new Hyundai IONIQ Electric. Hyundai [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/eu/models/ioniq-electric/Features.html#tab-normal-charging>
- [12] Elektrický vůz Škoda Citigoe již nejde objednat. Model je zcela vyprodaný, firma příští rok ukončí výrobu. Irozhlas.cz [online]. 18.9.2020 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zivotni-styl/auto/skoda-citigoe-elektromobil-prodej-objednavka_2009181409_tzr

- [13] Samostudijní program VW e-up! 527. Volkswagen AG, 2014.
- [14] Servisní příručka k vozům Tesla.
- [15] Dopravní technika: Elektromobilita. Univerzita Pardubice [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://dfjp.upce.cz/dt/elektromobilita>
- [16] Self-study program Hyundai Kona. Hyundai Motor Europe GmbH, 2018.
- [17] MAŠEK, Zdeněk, Ondřej SADÍLEK a Michal ZÁVODNÍK. Zimní testování elektromobilu Hyundai Kona electric 64 kWh modelový rok 2020 na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Univerzita Pardubice, DFJP, KEEZ, 2022.
- [18] SADÍLEK, Ondřej. Studijní materiály PZEOP, 2022
- [19] Power vs. Torque. X-engineer.org [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/power-vs-torque/>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Spotřeby při jízdách na dálnici 130 km/h.....	67
Příloha B: Spotřeby při jízdách na dálnici 90 km/h.....	68
Příloha C: Spotřeby při jízdách na horách	69
Příloha D: Spotřeby při jízdách Pardubice – Deštné v O.h.	70
Příloha E: Spotřeby při jízdách Pardubice – Týnec n. Sázavou	71
Příloha F: Spotřeby při jízdách ve městě	72
Příloha G: Porovnání hodnot spotřeb elektrických systémů při DC nabíjení na nabíjecím stojanu 50 kW.....	73
Příloha H: Průběh příkonu topení a 12 V sítě vozidla při jízdě ve městě.....	74
Příloha I: Porovnání hodnot výkonů a spotřeb energií elektrických systémů vozidla při DC nabíjení na nabíjecím stojanu 50 kW.....	75
Příloha J: Porovnání zimní spotřeby elektrické energie a dojezdu vozidel vůči testovacím normám WLTP a NEDC.....	76

Příloha A: Spotřeby při jízdách na dálnici 130 km/h

Dálnice 130km/h	Hyundai Ioniq				Škoda Citigo ^o iV			Tesla model S		Hyundai Kona				
	1. jízda	2. jízda	3. jízda	průměr	2. jízda	3. jízda	průměr	1. jízda	průměr	1. jízda	2. jízda	3. jízda	4. jízda	průměr
řidič	Jakub	Jakub	Jakub		Pavel	Pavel		Petr		Zdeněk	Zdeněk	Zdeněk	Ondra	
počet osob ve vozidle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
náklad v kufru [kg]	0	0	0	0	0	0	0	30	30	5	5	5	2	4,25
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	0	0	1	0,3	3	1,5	2,3	5	5,0	1	1	2	5	2,3
teplota okolí na konci jízdy [°C]	0	1	2	1,0	1	3	2,0	5	5,0	1	2	3	5	2,8
průměrná teplota okolí [°C]	0	0,5	1,5	0,7	2	2,25	2,1	5	5,0	1	1,5	2,5	5	2,5
délka záznamu z GPS [HH:MM]	0:41	0:41	0:41	0:41	0:42	0:40	0:41	0:41	0:41	0:40	0:39	0:40	0:41	0:40
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	78	78	78	78,0	78	11	44,5	77	77,0	78	78	78	78	78,0
ujetá vzdálenost z GPS [km]	77,1	77,1	77,1	77,1	77,14	77,00	77,1	77,13	77,1	77,18	77,20	77,20	77,20	77,2
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	110,8	111,1	111,8	111,2	110,0	113,7	111,9	110,5	110,5	114,9	116,0	115,5	111,5	114,5
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	12	33	34	26,3	17	31	24,0	30	30	12	19	24	14	17
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	13	38	45	32,0	19	35	27,0	32	32	13	22	28	15	20
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	22	28	28	26,0	23	32	27,5	35	35	15	20	25	18	20
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	25	39	41	35,0	26	37	31,5	37	37	16	22	28	19	21
změna SOC display [%]	-65	-65	-64	-64,7	-51	-53	-52,0	-28	-28,0	-27	-25	-24	-24	-25,0
změna SOC BMS [%]	-62	-61	-60	-61,0	-52	-54	-53,0	-24,5	-24,5	-26	-24	-24	-22	-24,0
odebraná energie z HV bat. [kWh]	18,4	18,1	18,3	18,3	17,7	18,6	18,2	21,5	21,5	19,2	18,0	18,4	17,3	18,2
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	0,9	0,7	1	0,9	0,4	0,5	0,5	1,957	2,0	1,3	1,1	1,9	1,5	1,5
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	17,5	17,4	17,3	17,4	17,3	18,1	17,7	19,535	19,5	17,9	16,9	16,5	15,8	16,8
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	4,9	3,9	5,5	4,7	2,3	2,7	2,5	9,1	9,1	6,8	6,1	10,3	8,7	8,0
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	21,4	21,8	21,4	21,5	23	22,5	22,8	25,2	25,2	24,7	24,9	24,2	23,9	24,4
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	22,7	22,6	22,4	22,6	22,4	23,5	23,0	25,3	25,3	23,2	21,9	21,4	20,5	21,7
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	123,4	124,1	124,8	124,1	144,0	137,4	140,6	323,0	323,0	276,0	292,3	299,4	312,7	294,5
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	-	-	-	-	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	0,9	0,7	0,5	0,6	0,7
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	-	-	-	-	1,8	1,6	1,7	1,7	1,7	1,2	0,9	0,6	0,8	0,9
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	-	-	-	-	0,3	0,2	0,2	0,9	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4

Příloha B: Spotřeby při jízdách na dálnici 90 km/h

Dálnice 90km/h	Škoda Citigo ^o iV			Tesla model S		Hyundai Kona			
	1. jízda	2. jízda	průměr	1. jízda	průměr	1. jízda	2. jízda	3. jízda	průměr
řidič	Pavel	Pavel		Petr		Zdeněk	Zdeněk	Ondra	
počet osob ve vozidle	1	1	1	1	1	1	1	1	1
náklad v kufru [kg]	0	0	0	30	30	5	5	2	4
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22	22	22	22	22	22	22
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	3,5	3	3,3	4	4,0	3	2	4	3,0
teplota okolí na konci jízdy [°C]	2	1,5	1,8	5	5,0	2	2	5	3,0
průměrná teplota okolí [°C]	2,75	2,25	2,5	4,5	4,5	2,5	2	4,5	3,0
délka záznamu z GPS [HH:MM]	0:57	0:56	0:57	0:54	0:54	0:54	0:55	0:55	0:55
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	78	78	78,0	78	78,0	78	79	79	78,7
ujetá vzdálenost z GPS [km]	77,1	77,1	77,1	77,14	77,1	77,19	77,19	77,18	77,2
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	79,9	81,3	80,6	85,3	85,3	84,3	84,2	83,9	84,1
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	29	30	29,5	31	31	17	17	6	13
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	37	38	37,5	33	33	19	19	8	15
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	26	27	26,5	30	30	14	13	9	12
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	34	34	34,0	31	31	15	14	10	13
změna SOC display [%]	?	-39	-39,0	-22	-22,0	-18	-15	-22	-18,3
změna SOC BMS [%]	-35	-37	-36,0	-18,9	-18,9	-17,5	-14,5	-21	-17,7
odebraná energie z HV bat. [kWh]	12,8	12,7	12,8	15,95	16,0	12,6	11	14,7	12,8
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	0,3	0,2	0,2	0,75	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	12,5	12,5	12,5	15,2	15,2	12,1	10,5	14,2	12,3
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	2,3	1,6	2,0	4,7	4,7	4,0	4,5	3,4	4,0
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	15	15,5	15,3	?	?	15,4	16,3	16,8	16,2
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	16,2	16,2	16,2	19,7	19,7	15,7	13,6	18,4	15,9
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	199,3	199,3	199,3	415,1	415,1	408,3	470,5	347,9	408,9
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	2,1	1,9	2,0	1,7	1,7	0,8	0,8	0,9	0,8
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	2,7	2,4	2,5	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,1
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	0,5	0,5	0,5	1,1	1,1	0,6	0,5	0,6	0,6

Příloha C: Spotřeby při jízdách na horách

Hory	Hyundai Ioniq		Škoda Citigo ^e iV		Tesla model S		Hyundai Kona			
	1. jízda	průměr	1. jízda	průměr	1. jízda	průměr	1. jízda	2. jízda	3. jízda	průměr
řidič	Jakub		Pavel		Petr		Ondra	Ondra	Ondra	
počet osob ve vozidle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
náklad v kufříku [kg]	0	0	0	0	30	30	5	5	2	4
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	0	0,0	-6,5	-6,5	-2	-2,0	-6	0	-2	-2,7
teplota okolí na konci jízdy [°C]	0	0,0	-6	-6,0	-3	-3,0	-5	0	-2	-2,3
průměrná teplota okolí [°C]	0	0,0	-6,25	-6,3	-2,5	-2,5	-5,5	0	-2	-2,5
délka záznamu z GPS [HH:MM]	2:29	2:29	1:55	1:55	2:22	2:22	1:56	2:16	2:26	2:13
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	65	65,0	65	65,0	87	87,0	65	86	87	79,3
ujetá vzdálenost z GPS [km]	61,43	61,4	61,59	61,6	83,55	83,5	63,50	84,52	84,13	77,4
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	24,6	24,6	32,1	32,1	35,2	35,2	32,7	37,0	34,5	34,8
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	17	17,0	7	7,0	26	25,6	2	8	13	7,7
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	19	19,0	9	9,0	27	27,4	5	10	14	9,7
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	13	13,0	9	9,0	33	32,9	4	10	10	8,0
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	19	19,0	11	11,0	35	35,1	8	13	13	11,3
změna SOC display [%]	-60	-60,0	-43	-43,0	-35	-35,0	-23	-29	-30	-27,3
změna SOC BMS [%]	-56	-56,0	-38	-38,0	-32,6	-32,6	-21	-27	-29	-25,7
odebraná energie z HV bat. [kWh]	18,5	18,5	14,8	14,8	31,875	31,9	17,9	23,8	24,4	22,0
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	2,2	2,2	2,3	2,3	6,915	6,9	3,2	4,5	4,6	4,1
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	16,3	16,3	12,5	12,5	24,96	25,0	14,7	19,3	19,8	17,9
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	11,9	11,9	15,5	15,5	21,7	21,7	17,9	18,9	18,9	18,5
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	22,5	22,5	18,2	18,2	?	?	22,3	19,4	20,8	20,8
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	26,5	26,5	20,3	20,3	29,9	29,9	23,2	22,8	23,5	23,2
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	105,5	105,5	159,2	159,2	273,8	273,8	276,5	280,3	271,9	276,2
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	-	-	3,7	3,7	5,0	5,0	2,8	2,3	2,8	2,6
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	-	-	6,0	6,0	6,0	6,0	4,4	2,7	3,3	3,5
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	-	-	0,7	0,7	1,0	1,0	0,9	1,4	1,2	1,1
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	-	-	2,2	2,2	3,6	3,6	1,4	1,6	1,4	1,5

Príloha D: Spotřeby při jízdách Pardubice – Deštné v O.h.

Okresní silnice Pardubice - Deštné v O.h.	Hyundai Ioniq			Škoda Citigo ^e iV			Tesla model S			Hyundai Kona						
	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	2. den tam	2.den zpět	4. den tam	4.den zpět	průměr
řidič	Jakub	Jakub		Pavel	Pavel		Petr	Petr		Ondra	Ondra	Ondra	Ondra	Zdeněk	Zdeněk	
počet osob ve vozidle	1	1	1,0	1	1	1,0	1	1	1,0	1	1	1	1	1	1	1,0
náklad v kufru [kg]	0	0	0,0	0	6	3,0	30	30	30,0	6	6	5	5	2	2	4,3
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22,0	22	22	22,0	22	22	22,0	22	22	22	22	22	22	22,0
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	4	2	3,0	-3	-6,5	-4,8	2	-3	-0,5	-2	-5	3	0	4	3	0,5
teplota okolí na konci jízdy [°C]	3	6	4,5	-6,5	-3,5	-5,0	-2	3	0,5	-6	0	0	3	4	7	1,3
průměrná teplota okolí [°C]	3,5	4	3,8	-4,75	-5	-4,9	0	0	0,0	-4	-2,5	1,5	1,5	4	5	0,9
délka záznamu z GPS [HH:MM]	1:17	1:17	1:17	1:42	1:26	1:34	1:26	1:14	1:20	1:46	1:24	1:22	1:16	1:17	1:15	1:23
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	72	73	72,5	72	73	72,5	72	71	71,5	73	73	73	73	54	73	69,8
ujetá vzdálenost z GPS [km]	71,66	71,62	71,6	71,63	71,75	71,7	71,47	71,25	71,4	71,86	71,81	71,73	71,77	71,89	71,81	71,8
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	55,8	55,6	55,7	42,0	50,0	46,0	49,8	57,1	53,5	40,5	50,8	51,9	56,0	55,9	57,0	52,0
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	5	21	13,0	0	9	4,5	23	33	27,9	0	2	5	11	5	8	5,2
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	6	26	16,0	2	11	6,5	26	35	30,4	5	5	7	14	9	11	8,5
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	9	21	15,0	7	14	10,5	26	33	29,5	4	5	8	11	7	9	7,3
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	10	27	18,5	9	17	13,0	27	35	31,4	8	8	10	14	10	12	10,3
změna SOC display [%]	-31	-28	-29,5	-43	?	-43,0	-26	-18	-22,0	-21	-19	-19	-16	-19	-14	-18,0
změna SOC BMS [%]	-30	-26	-28,0	-42	-34	-38,0	-21,9	-17,3	-19,6	-21	-18	-17	-15	-18	-15	-17,3
odebraná energie z HV bat. [kWh]	13,8	10,1	11,9	15,6	12,2	13,9	20,711	15,293	18,0	16,1	13,4	15,1	12,3	15,7	12,5	14,2
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	1,7	2,6	2,2	0,6	1,0	0,8	2,371	3,113	2,7	1,1	4,1	2,1	2,1	1,8	2,5	2,3
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	12,1	7,5	9,8	15	11,1	13,1	18,34	12,18	15,3	15	9,3	13	10,2	13,9	10	11,9
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	12,3	25,7	19,0	3,8	8,4	6,1	11,4	20,4	15,9	6,8	30,6	13,9	17,1	11,5	20,0	16,6
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	18,2	12,6	15,4	19,0	14,7	16,8	?	16,9	16,9	19,4	15,7	20,0	13,6	19,4	13,8	17,0
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	16,9	10,5	13,7	20,9	15,5	18,2	25,7	17,1	21,4	20,9	13,0	18,1	14,2	19,3	13,9	16,6
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	165,8	267,4	204,7	154,2	208,1	177,2	318,8	478,5	382,6	306,6	494,2	353,1	450,3	331,0	459,6	394,9
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	-	-	-	4,1	2,5	3,3	2,7	2,3	2,5	1,9	1,3	1,4	1,1	2,1	1,0	1,5
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	-	-	-	5,7	3,4	4,6	3,7	2,3	3,0	2,7	1,8	2,0	1,6	2,9	1,4	2,1
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	-	-	-	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	0,6
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	-	-	-	1,6	1,0	1,3	2,1	1,4	1,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,2	0,8	0,9

Příloha E: Spotřeby při jízdách Pardubice – Týnec n. Sázavou

Okresní silnice Pardubice - Týnec n. Sázavou	Hyundai Ioniq			Škoda Citigo ^o iV			Tesla model S			Hyundai Kona				
	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	průměr	1. den tam	1.den zpět	2. den tam	2.den zpět	průměr
řidič	Jakub	Jakub		Pavel	Pavel		Petr	Petr		Zdeněk	Zdeněk	Ondra	Ondra	
počet osob ve vozidle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
náklad v kufru [kg]	0	0	0	0	0	0	30	30	30	5	5	2	2	3,5
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	4	2	3,0	2	4,5	3,3	7	3	5,0	2	3	5	3	3,3
teplota okolí na konci jízdy [°C]	1	0	0,5	1	1,5	1,3	2	1	1,5	2	2	2	3	2,3
průměrná teplota okolí [°C]	2,5	1	1,8	1,5	3	2,3	4,5	2	3,3	2	2,5	3,5	3	2,8
délka záznamu z GPS [HH:MM]	2:14	2:20	2:17	2:02	2:14	2:08	2:10	2:18	2:14	2:02	2:09	2:26	2:29	2:16
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	122	121	121,5	121	123	122,0	121	120	120,5	121	124	122	121	122,0
ujetá vzdálenost z GPS [km]	119,95	119,19	119,6	118,7	120,7	119,7	119,94	118,83	119,4	119,27	118,28	120,01	119,4	119,2
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	53,4	50,9	52,2	58,1	53,7	55,9	55,3	51,6	53,4	58,3	54,9	49,3	48,5	52,8
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	6	20	13,0	23	24	23,5	27	33	30,0	17	10	20	13	15,0
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	7	29	18,0	26	29	27,5	29	35	32,1	19	12	19	11	15,3
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	12	17	14,5	22	22	22,0	28	30	29,2	13	12	12	13	12,5
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	16	26	21,0	26	27	26,5	30	32	31,2	14	14	13	10	12,8
změna SOC display [%]	77	63	70,0	-59	-60	-59,5	-42	-36	-39,0	-27	-31	-28	-29	-28,8
změna SOC BMS [%]	72	58	65,0	-54	-57	-55,5	-37,7	-25,1	-31,4	-26	-32	-26	-28	-28,0
odebraná energie z HV bat. [kWh]	24	21,1	22,5	22,2	23,6	22,9	32,684	27,735	30,2	23,6	25,6	23,1	22,6	23,7
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	3,1	3,3	3,2	2,8	3,5	3,2	4,898	2,871	3,9	5,4	5,6	3,5	3,5	4,5
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	20,9	17,8	19,4	19,4	20,1	19,7	27,786	24,864	26,3	18,2	20	19,6	19,1	19,2
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	12,9	15,6	14,3	12,6	14,8	13,7	15,0	10,4	12,7	22,9	21,9	15,2	15,5	18,8
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	16,1	14,7	15,4	15,2	15,3	15,2	23,3	?	23,3	15,9	17,6	16,5	14,8	16,2
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	17,4	14,9	16,2	16,3	16,7	16,5	23,2	20,9	22,0	15,3	16,9	16,3	15,8	16,1
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	160,7	187,5	173,1	197,6	194,0	195,8	353,1	390,9	371,1	419,4	378,5	391,9	405,4	398,2
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	-	-	-	3,0	3,4	3,2	6,1	6,1	6,1	1,6	2,2	1,8	2,5	2,0
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	-	-	-	2,6	2,9	2,7	5,1	5,2	5,1	1,4	1,9	1,5	2,1	1,7
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	-	-	-	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,0	1,3	1,1
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	-	-	-	1,2	1,5	1,4	1,6	1,7	1,7	0,8	1,0	0,8	1,1	0,9

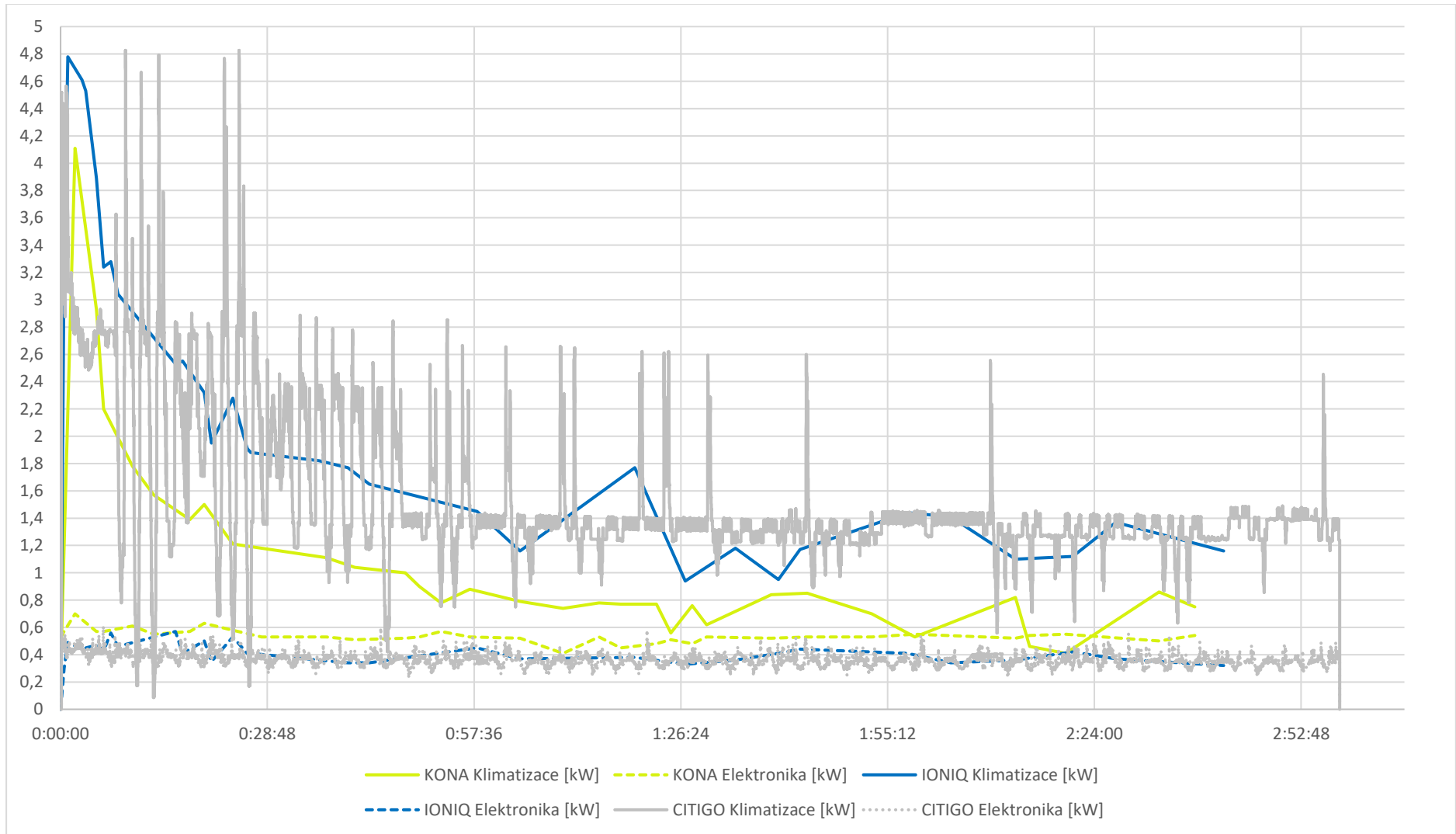
Příloha F: Spotřeby při jízdách ve městě

Město MHD linka č.7	Hyundai Ioniq		Škoda Citigo ^o iV		Tesla model S		Hyundai Kona				
	1. den	průměr	1. den	průměr	1. den	průměr	1. den	2. den	3. den	4.den	průměr
řidič	Jakub		Pavel		Petr		Ondra	Ondra	Zdeněk	Ondra	
počet osob ve vozidle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0
náklad v kufru [kg]	0	0,0	0	0	0	0,0	0	5	0	2	1,8
klimatizace [VYP/°C]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22,0
teplota okolí na začátku jízdy [°C]	4	4,0	1,5	1,5	4	4,0	2	2	3	4	2,8
teplota okolí na konci jízdy [°C]	3	3,0	3,5	3,5	4	4,0	4	2	4	4	3,5
průměrná teplota okolí [°C]	3,5	3,5	2,5	2,5	4	4,0	3	2	3,5	4	3,1
délka záznamu z GPS [HH:MM]	2:45	2:45	2:58	2:58	2:46	2:46	3:00	2:42	2:38	2:47	2:47
ujetá vzdálenost z palub. poč. [km]	87	87,0	96	96,0	87	87,0	96	87	88	87	89,5
ujetá vzdálenost z GPS [km]	85,76	85,8	93,8	93,8	86,6	86,6	94,8	86,1	86,5	86,0	88,3
průměrná rychlost zahrnující stání na začátku a konci záznamu [km/h]	31,2	31,2	31,6	31,6	31,3	31,3	31,5	31,8	32,8	30,8	31,7
min. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	4	4,0	7	7,0	7	7,0	5	3	4	5	4,3
max. teplota trakční baterie před jízdou [°C]	4	4,0	9	9,0	8	8,0	9	4	6	8	6,8
min. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	8	8,0	9	9,0	22	22,0	5	4	6	6	5,3
max. teplota trakční baterie po jízdě [°C]	10	10,0	11	11,0	23	23,3	8	7	7	8	7,5
změna SOC display [%]	51	51,0	-47	-47,0	-29	-29,0	-18	-16	-17,5	-16	-16,9
změna SOC BMS [%]	48	48,0	-44	-44,0	-25,5	-25,5	-18	-15	-17	-14	-16,0
odebraná energie z HV bat. [kWh]	16,3	16,3	17,2	17,2	25	25,0	15,1	14,4	16,3	13,5	14,8
rekuperovaná energie do HV bat. [kWh]	2,7	2,7	1,4	1,4	3	3,0	2,8	3	3,5	2,6	3,0
spotřebovaná energie z HV. bat [kWh]	13,6	13,6	15,8	15,8	22	22,0	12,3	11,4	12,8	10,9	11,9
procento rekuperované energie do HV. bat [%] (z odebrané)	16,6	16,6	8,1	8,1	12,0	12,0	18,5	20,8	21,5	19,3	20,0
prům. spotřeba z palub. poč. [kWh/100km]	15,1	15,1	15,4	15,4	24,1	24,1	15,2	13,8	15,6	14,8	14,9
prům. spotřeba vypočtená [kWh/100km]	15,9	15,9	16,8	16,8	25,4	25,4	13,0	13,2	14,8	12,7	13,4
teoretický dojezd [km] (z vypočtené prům. spotřeby)	176,6	176,6	191,7	191,7	322,0	322,0	493,0	483,2	432,3	504,9	476,7
spotřeba energie na topení kabiny [kWh]	-	-	4,6	4,6	-	-	3,0	2,4	2,8	2,4	2,6
měrná spotřeba energie na topení kabiny [kWh/100km]	-	-	4,9	4,9	-	-	3,1	2,8	3,3	2,8	3,0
spotřeba energie 12 V sítě [kWh]	-	-	1,1	1,1	-	-	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4
měrná spotřeba energie 12 V sítě [kWh/100km]	-	-	3,4	3,4	-	-	1,4	1,6	1,6	1,5	1,5

Příloha G: Porovnání hodnot spotřeb elektrických systémů při DC nabíjení na nabíjecím stojanu 50 kW

Vozidlo	Účinnost DC nabíjení [%]	Round-trip účinnost HV baterie [%]	Teplota HV baterie na začátku/konci nabíjení [°C]	Počáteční/koncové SOC [%]	Průměrný nabíjecí výkon HV baterie [kW]	Doba nabíjení [hh:mm:ss]	Rychlost nabíjení [km/h]	Podíl výhřevu HV baterie [%]	Podíl topení kabiny [%]	Podíl 12 V sítě vozidla [%]	Podíl celkové vlastní spotřeby vozidla [%]
Kona 64 kWh	95,90	96,3	25 / 28	56 / 80	42	0:27:42	167	0,00	0,00	0,25	0,25
Ioniq 28 kWh	91,20	92,59	22 / 33	16 / 81	46	0:24:55	186	0,00	0,00	0,28	0,28
Citigo ^e iV 32,3 kWh	92,00	93,78	32 / 38	22 / 75	26	0:45:24	102	0,00	0,08	1,55	1,63
Tesla S 90D 90 km/h	90,60	94,08	30,2 / 32,2	59 / 80	41	0:24:10	192	0,58	0,00	0,36	0,94
Tesla S 90D 130 km/h	87,30	91,83	34,8 / 37,5	52 / 80	45	0:28:35	171	0,00	3,18	0,59	3,78

Příloha H: Průběh příkonu topení a 12 V sítě vozidla při jízdě ve městě



Příloha I: Porovnání hodnot výkonů a spotřeb energií elektrických systémů vozidla při DC nabíjení na nabíjecím stojanu 50 kW

Vozidlo	Kona 64 kWh	Ioniq 28 kWh	Citigo ^e iV 32,3 kWh	Tesla S 90D 90 km/h	Tesla S 90D 130 km/h
Energie spotřebovaná předchozí jízdou [kWh]	16,50	17,50	18,10	15,20	19,54
Průměrný výhřev HV baterie [kW]	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Energie spotřebovaná na výhřev baterie [kWh]	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
Průměrný příkon topení kabiny [kW]	0,00	0,00	0,02	0,00	1,32
Energie spotřebovaná na topení kabiny [kWh]	0,00	0,00	0,02	0,00	0,71
Průměrný příkon 12 V soustavy [kW]	0,11	0,13	0,40	0,15	0,28
Energie spotřebovaná 12 V soustavou [kWh]	0,05	0,05	0,30	0,06	0,13
Vlastní spotřeba vozidla celkem [kW]	0,11	0,13	0,42	0,26	1,60
Vlastní spotřeba vozidla celkem [kWh]	0,05	0,05	0,32	0,16	0,85
Energie dodaná do HV baterie [kWh]	19,60	18,91	19,40	16,47	21,35
Energie dodaná nabíječkou [kWh] vypočtená	19,65	18,96	19,72	16,63	22,20
Energie dodaná nabíječkou [kWh] z faktury	19,69	19,18	19,68	16,78	22,38

Spotřeba elektrické energie vozidlem dle norem WLTP a NEDC vůči vypočítané spotřebě				
	Kona 64 kWh	Ioniq 28 kWh ¹	Citigo ^e iV 32,3 kWh	Tesla S 90D ¹
WLTP/NEDC spotřeba [kWh/100 km]	14,7	11,5	14,5	15,4
Dálnice 90 km/h [kWh/100 km]	15,9	-	16,2	19,7
Rozdíl proti WLTP/NEDC spotřebě [%]	+8 %	-	+12 %	+28 %
Dálnice 130 km/h [kWh/100 km]	21,7	22,6	23	25,3
Rozdíl proti WLTP/NEDC spotřebě [%]	+48 %	+97 %	+59 %	+64 %
Hory [kWh/100 km]	23,2	26,5	20,3	29,9
Rozdíl proti WLTP/NEDC spotřebě [%]	+58 %	+130 %	+40 %	+94 %
Okresky [kWh/100 km]	16,2	15,0	17,4	21,7
Rozdíl proti WLTP/NEDC spotřebě [%]	+10 %	+30 %	+20 %	+41 %
Město [kWh/100 km]	14,1	15,9	16,8	25,4
Rozdíl proti WLTP/NEDC spotřebě [%]	-4 %	+38 %	+16 %	+65 %

Dojezd vozidla dle norem WLTP a NEDC vůči vypočtenému teoretickému dojezdu z vypočítané spotřeby				
	Kona 64 kWh	Ioniq 28 kWh ¹	Citigo ^e iV 32,3 kWh	Tesla S 90D ¹
WLTP/NEDC dojezd [km]	484	280	257	557
Dálnice 90 km/h [km]	408,9	-	199,3	415,1
Rozdíl proti WLTP/NEDC dojezdu [%]	-16 %	-	-22 %	-25 %
Dálnice 130 km/h [km]	294,5	124,1	140,6	323
Rozdíl proti WLTP/NEDC dojezdu [%]	-39 %	-56 %	-45 %	-42 %
Hory [km]	276,2	105,5	159,2	273,8
Rozdíl proti WLTP/NEDC dojezdu [%]	-43 %	-62 %	-38 %	-51 %
Okresky [km]	396,6	188,9	186,5	376,9
Rozdíl proti WLTP/NEDC dojezdu [%]	-18 %	-33 %	-27 %	-32 %
Město [km]	454,8	176,6	191,7	322
Rozdíl proti WLTP/NEDC dojezdu [%]	-6 %	-37 %	-25 %	-42 %

Zdroj hodnot pro normy WLTP/NEDC: www.ev-database.org

¹Hyundai Ioniq a Tesla model S bohužel data z testovací normy WLTP nemají, protože tato norma byla zavedena až v září roku 2017. Proto data zde uvedená se vztahují k normě NEDC, která je předchůdcem WLTP.