

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

# ANALÝZA ENERGETICKÝCH TOKŮ ELEKTROMOBILU

Diplomová práce

2023

Bc. Vojtěch Zimmer, Dis.

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

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Zimmer, DiS.**  
Osobní číslo: **D21517**  
Studijní program: **N0788A040001 Dopravní technika**  
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**  
Téma práce: **Analýza energetických toků elektromobilu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

## Zásady pro vypracování

Ná valcové zkušebně analyzujte výkonové a energetické toky konkrétního elektromobilu během jízdy a při následném nabíjení. Využijte sériovou diagnostiku pro vyčítání dat z řídicích jednotek vozidla přes diagnostickou zásuvku. Uveďte jaké funkce nabízí sériová diagnostika pro kontrolu funkce systémů vozidla a vyhledávání závad na vozidle.

Z naměřených dat stanovte:

- Spotřebu energie v definovaném jízdním cyklu.
- Množství odebrané a množství rekuperované energie z/do trakční baterie.
- Účinnost el. pohonu v několika pracovních bodech.
- Účinnost AC a DC nabíjení.
- Účinnost DC-DC měniče 12 V palubní sítě (pokud to bude proveditelné).
- Příkon el. topení a energii spotřebovanou pro vyhřátí studené kabiny vozidla na definovanou teplotu.

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

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] Podklady od firmy ŠKODA AUTO a.s.  
[4] Podklady poskytnuté vedoucím diplomové práce.

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

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2022**  
Termín odevzdání diplomové 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 energetických toků elektromobilu 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 30.8.2023

Vojtěch Zimmer v. r.

Rád bych na tomto místě velice poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňkovi Maškovi, Ph.D. za ochotu a cenné rady při vedení mé diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni za podporu během celého studia. Velké poděkování také patří mému odbornému konzultantovi Jiřímu Štěpánovi i společnosti Škoda Auto a.s., která mi poskytla potřebné podklady, prostory, samotný elektromobil a vybavení potřebné k realizaci měření.

V Pardubicích dne 30.8.2023

Vojtěch Zimmer v. r.

## **ANOTACE**

Cílem této diplomové práce je provést vybraná měření na elektromobilu s následnou analýzou energetických toků. V první části je uveden popis vozidla a přípravy válcového dynamometru na měření. Druhá část se zabývá již konkrétním měřením na jedoucím i stojícím vozidle. Zároveň je vytvořen i matematický model vozidla pro porovnání naměřených hodnot s teoreticky vypočtenými.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

elektromobil, Škoda Enyaq, WLTP, válcový dynamometr, spotřeba energie, nabíjení

## **TITLE**

Analysis of energy flows in battery electric vehicle

## **ANNOTATION**

The aim of the diploma thesis is to perform certain measurements on electronic vehicle with subsequent analysis of energy flows in the electronic vehicle. The first chapter contains description of the vehicle and description of the preparation of the roll brake for taking measurements. The second chapter deals with particular measurements on moving and stationary vehicle. The diploma thesis also contains mathematical model of vehicle to compare measured data with theoretical.

## **KEYWORDS**

electric vehicle, Škoda Enyaq, WLTP, roll brake, consumption energy, charging

## Obsah

Seznam ilustrací, grafů a tabulek .....	- 11 -
Seznam zkratek a značek .....	- 14 -
Úvod.....	- 16 -
1. Testované vozidlo.....	- 17 -
1.1. Technické parametry testovaného vozidla .....	- 18 -
1.2. MEB .....	- 23 -
1.3. Hlavní součásti vysokonapětového systému vozidla.....	- 25 -
1.3.1. Vysokonapětová baterie .....	- 26 -
1.3.2. Výkonová a řídicí elektronika elektromotoru pro zadní nápravu .....	- 28 -
1.3.3. Elektromotor zadní nápravy.....	- 29 -
1.3.4. 12 V DC/DC měnič.....	- 30 -
1.3.5. Palubní nabíječka .....	- 31 -
1.3.6. Nabíjecí zásuvka .....	- 33 -
1.3.7. Kompresor klimatizace .....	- 34 -
1.3.8. PTC vzduchové topení.....	- 34 -
1.3.9. PTC topení pro VN baterii.....	- 35 -
2. Nastavení válcového dynamometru .....	- 36 -
2.1. Jízdní odpory vozidla .....	- 37 -
2.1.1. Výběhová zkouška vozidla .....	- 38 -
2.1.2. Výpočet koeficientů jízdních odporů.....	- 41 -
2.2. Metodika NEDC.....	- 44 -
2.3. Celosvětový testovací standard WLTP .....	- 46 -
2.4. Nastavení WLTC jízdní křivky na válcovém dynamometru .....	- 49 -
3. Měření na vozidle .....	- 53 -
3.1. Použité přístroje pro získání měřených hodnot.....	- 55 -
3.1.1. ODIS Engineering.....	- 55 -
3.1.2. FCD TEXVIK DS.....	- 56 -
3.1.3. Proudové kleště Fluke i30s .....	- 57 -

3.1.4.	Termický anemometr testo 405i .....	- 58 -
3.2.	Měrná spotřeba elektrické energie .....	- 60 -
3.2.1.	Cíl měření .....	- 60 -
3.2.2.	Průběh měření .....	- 60 -
3.2.3.	Zjištěné hodnoty měřením .....	- 62 -
3.2.4.	Porovnání výsledků.....	- 63 -
3.2.5.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 64 -
3.3.	Vliv tlaku pneumatik na spotřebu .....	- 66 -
3.3.1.	Cíl měření .....	- 66 -
3.3.2.	Postup měření .....	- 67 -
3.3.3.	Zjištěné hodnoty měřením .....	- 67 -
3.3.4.	Porovnání výsledků.....	- 68 -
3.3.5.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 69 -
3.4.	Vliv sklonu vozovky na spotřebu.....	- 71 -
3.4.1.	Cíl měření .....	- 71 -
3.4.2.	Postup měření během jízdního cyklu WLTC .....	- 73 -
3.4.3.	Zjištěné hodnoty měřením během jízdního cyklu WLTC .....	- 73 -
3.4.4.	Porovnání výsledků jízdního cyklu WLTC .....	- 74 -
3.4.5.	Postup měření při konstantní rychlosti .....	- 75 -
3.4.6.	Zjištěné hodnoty měřením při konstantní rychlosti .....	- 76 -
3.4.7.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 79 -
3.5.	AC nabíjení .....	- 81 -
3.5.1.	Cíl měření .....	- 81 -
3.5.2.	Postup měření .....	- 81 -
3.5.3.	Nabíjení pomocí wallboxu eVolve .....	- 82 -
3.5.4.	Nabíjení pomocí 1f nabíjecího setu .....	- 84 -
3.5.5.	Účinnost AC nabíjení.....	- 87 -
3.5.6.	Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla .....	- 90 -



3.6.	DC nabíjení .....	- 94 -
3.6.1.	Cíl měření .....	- 94 -
3.6.2.	Postup měření .....	- 94 -
3.6.3.	Nabíjecí stanice Siemens .....	- 95 -
3.6.4.	Nabíjecí stanice Nikola .....	- 97 -
3.6.5.	Účinnost DC nabíjení.....	- 102 -
3.6.6.	Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla .....	- 103 -
3.7.	Úplné vybití VN baterie vozidla s následným nabitím .....	- 107 -
3.7.1.	Cíl měření .....	- 107 -
3.7.2.	Postup měření .....	- 107 -
3.7.3.	Zjištěné hodnoty měřením .....	- 109 -
3.7.4.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 111 -
3.8.	Vyhřívání kabiny.....	- 114 -
3.8.1.	Cíl měření .....	- 115 -
3.8.2.	Postup měření .....	- 115 -
3.8.3.	První měření.....	- 115 -
3.8.4.	Druhé měření .....	- 118 -
3.8.5.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 122 -
3.9.	Vyhřívání sedadla řidiče .....	- 124 -
3.9.1.	Cíl měření .....	- 124 -
3.9.2.	Postup měření .....	- 124 -
3.9.3.	Zjištěné hodnoty měřením .....	- 126 -
3.9.4.	Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 130 -
3.10.	Vyhřívání věnce volantu .....	- 131 -
3.10.1.	Cíl měření .....	- 131 -
3.10.2.	Postup měření .....	- 131 -
3.10.3.	Zjištěné hodnoty měřením .....	- 131 -
3.10.4.	Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla .....	- 132 -

3.11. Účinnost DC/DC měniče.....	- 134 -
3.11.1. Cíl měření .....	- 134 -
3.11.2. Postup měření .....	- 134 -
3.11.3. Zjištěné hodnoty měřením .....	- 135 -
3.11.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 136 -
3.12. Test tachometru .....	- 137 -
3.12.1. Cíl měření .....	- 137 -
3.12.2. Postup měření .....	- 137 -
3.12.3. Zjištěné hodnoty měřením .....	- 138 -
3.12.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla.....	- 140 -
3.13. Vlastní spotřeba vozidla .....	- 141 -
3.13.1. Postup měření .....	- 141 -
3.13.2. Zjištěné hodnoty měřením .....	- 141 -
3.13.3. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla .....	- 142 -
3.14. Účinnost pohonu .....	- 143 -
3.14.1. Postup měření .....	- 143 -
3.14.2. Zjištěné hodnoty .....	- 143 -
3.14.3. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla .....	- 145 -
4. Matematický model vozidla .....	- 146 -
5. Sériová diagnostika elektropohonu .....	- 149 -
5.1. Měřené hodnoty .....	- 149 -
Závěr .....	- 151 -
Zdroje.....	- 153 -
Přílohy.....	- 156 -

## Seznam ilustrací, grafů a tabulek

Obrázek 1 – Měření hmotnosti vozu Enyaq Coupé iV .....	21 -
Obrázek 2 – Váha vozidla Enyaq Coupé iV 80 .....	22 -
Obrázek 3 – Modulární systém MEB .....	23 -
Obrázek 4 – Blokové schéma vysokonapěťového systému .....	25 -
Obrázek 5 – Části vysokonapěťové baterie AX2.....	26 -
Obrázek 6 – Jednotka BMS z vozidla Volkswagen ID.3.....	27 -
Obrázek 7 – Blokové schéma výkonové elektroniky z vozidla Volkswagen ID.3 .....	28 -
Obrázek 8 – Elektromotor zadní nápravy VX54 společně s výkonovou a řídicí elektronikou JX1 .....	29 -
Obrázek 9 – 12 V DC/DC měnič A19 .....	30 -
Obrázek 10 – Palubní nabíječka AX4.....	31 -
Obrázek 11 – Blokové schéma palubní nabíječky z vozidla Volkswagen ID.3.....	32 -
Obrázek 12 – Piny konektoru Mennekes Typ 2 a CCS Typ 2 .....	33 -
Obrázek 13 – Kompresor klimatizace VX81 .....	34 -
Obrázek 14 – PTC vzduchové topení ZX17 .....	34 -
Obrázek 15 – PTC topení pro VN baterii Z132 .....	35 -
Obrázek 16 – Jízdní cyklus NEDC .....	44 -
Obrázek 17 – Snímek z monitoru dynamometru během jízdní křivky WLTC .....	49 -
Obrázek 18 – Nastavení jízdní křivky.....	50 -
Obrázek 19 – Enyaq na válcovém dynamometru .....	53 -
Obrázek 20 – Nastavení Režimu válcové zkušební stolice pomocí ODISu.....	54 -
Obrázek 21 – Využití FCD TEXVIK DS během měření.....	56 -
Obrázek 22 – Využití proudových kleští Fluke i30s během měření .....	57 -
Obrázek 23 – Anemometr testo 405i a ukázka aplikace testo Smart App .....	58 -
Obrázek 24 – Využití anemometru testo 405i během měření.....	59 -
Obrázek 25 – Štítek s tlakem pneumatik .....	60 -
Obrázek 26 – Data s informacemi o jízdě z infotainmentu.....	61 -
Obrázek 27 – Vliv podhuštění pneumatik na jejich valivý odpor.....	69 -
Obrázek 28 – Měřené hodnoty v ODISu během měření měrné spotřeby při konstantní rychlosti.....	76 -
Obrázek 29 – Nabíjení vozidla Enyaq z wallboxu eVolve Smart T .....	82 -
Obrázek 30 – Nabíjení vozidla Enyaq na nabíjecí stanici Siemens .....	95 -
Obrázek 31 – Nabíjení vozidla Enyaq na nabíjecí stanici NIKOLA .....	97 -
Obrázek 32 – Informace o nízké stavu nabití baterie na kombi přístroji .....	107 -
Obrázek 33 – Nabíjení Enyaqu pomocí 1f nabíjecího setu .....	108 -
Obrázek 34 – Zasněžený Enyaq na začátku 2. měření.....	114 -
Obrázek 35 – Blokové schéma vysokonapěťového systému .....	114 -
Obrázek 36 – Vnitřek vozidla během 2. měření vyhřívání kabiny .....	119 -
Obrázek 37 – Měření vyhřívání sedadla řidiče s využitím osciloskopu TEXVIK.....	125 -
Obrázek 38 – Elektrické schéma vyhřívání sedadla řidiče .....	126 -

Obrázek 39 – Měření účinnosti DC/DC měniče .....	- 134 -
Obrázek 40 – Výpis měřených hodnot z dynamometru během testu tachometru .....	- 138 -
Obrázek 41 – Přednastavené seznamy měřených hodnot v ODISu .....	- 149 -
Obrázek 42 – Příklad měřených hodnot pomocí ODISu.....	- 150 -
Graf 1 – Jízdní odpory .....	- 42 -
Graf 2 – Úplný jízdní cyklus WLTP 3b.....	- 48 -
Graf 3 – Jízdní křivka WLTP 3b.....	- 52 -
Graf 4 – AC nabíjení z eVolve Smart T (5–100 %).....	- 83 -
Graf 5 – AC nabíjení - výkonová bilance .....	- 84 -
Graf 6 – AC nabíjení 1f nabíjecím setem .....	- 85 -
Graf 7 – Vstupní výkon palubní nabíječky .....	- 86 -
Graf 8 – DC nabíjení ze Siemens CPC 50 (5–100 %) .....	- 96 -
Graf 9 – DC nabíjení z Nikola DC150 - 200 A (5–100 %).....	- 98 -
Graf 10 – DC nabíjení z Nikola DC150 - 400 A (5–100 %).....	- 99 -
Graf 11 – Napětí a teplota článků baterie během nabíjení .....	- 100 -
Graf 12 – Porovnání AC a DC nabíjení (5–100 %) .....	- 101 -
Graf 13 – AC nabíjení 0–100 % .....	- 110 -
Graf 14 – Vyhřívání kabiny (1. měření) .....	- 116 -
Graf 15 – Součinnost PTC a klimatizace na vyhřívání kabiny (1. měření).....	- 117 -
Graf 16 – Vyhřívání kabiny (2. měření) .....	- 119 -
Graf 17 – Součinnost PTC a klimatizace na vyhřívání kabiny (2. měření).....	- 120 -
Graf 18 – Měřené hodnoty ODISem během vyhřívání sedadla řidiče .....	- 127 -
Graf 19 – Vyhřívání sedadla řidiče TEXVIK .....	- 129 -
Graf 20 – Měřené hodnoty během vyhřívání věnce volantu .....	- 132 -
Graf 21 – Účinnost zatíženého DC/DC měniče .....	- 135 -
Graf 22 – Vyčítaná rychlost vozidla z tachometru a dynamometru.....	- 139 -
Tabulka 1 – Technické údaje vozidla Enyaq Coupé iV 80 .....	- 20 -
Tabulka 2 – Použité pneumatiky na testovaném vozidle .....	- 37 -
Tabulka 3 – Hodnota $C_x$ a koeficienty jízdních odporů vozidla .....	- 38 -
Tabulka 4 – Parametry pro výpočet vlastního odporu válcového dynamometru .....	- 39 -
Tabulka 5 – Koeficienty jízdních odporů a jízdní odpory .....	- 42 -
Tabulka 6 – Hodnoty koeficientů jízdních odporů .....	- 43 -
Tabulka 7 – Srovnání parametrů metody NEDC a WLTP .....	- 46 -
Tabulka 8 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby .....	- 62 -
Tabulka 9 – Tlak pneumatik .....	- 67 -
Tabulka 10 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby s podhuštěnými pneumatikami.....	- 68 -
Tabulka 11 – Příklad vybraných tras ve východních Čechách .....	- 71 -
Tabulka 12 – Hodnoty koeficientů v závislosti na velikosti sklonu vozovky .....	- 72 -

Tabulka 13 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby s různým sklonem vozovky.....	- 74 -
Tabulka 14 – Naměřené hodnoty s různým sklonem vozovky při konstantní rychlosti (do kopce a rovina) ...	- 77 -
Tabulka 15 – Naměřené hodnoty s různým sklonem vozovky při konstantní rychlosti (z kopce) .....	- 79 -
Tabulka 16 – Účinnost 3f AC nabíjení .....	- 89 -
Tabulka 17 – Účinnost DC nabíjení.....	- 102 -
Tabulka 18 – Naměřené hodnoty během vyhřívání kabiny .....	- 121 -
Tabulka 19 – Tabulka změřených a vypočítaných hodnot rychlosti .....	- 138 -
Tabulka 20 – Převodní tabulka mezi rychlostí vozidla dle tachometru a monitoru dynamometru .....	- 140 -
Tabulka 21 – Hodnoty pro matematický model vozidla .....	- 146 -
Tabulka 22 – Tabulka naměřených a vypočtených hodnot spotřebované energie .....	- 147 -

## Seznam zkratek a značek

a.s.	Akciová společnost
AC	Alternating Current
ASR	Anti-Slip Regulation
BMS	Battery Management System
BNC	Bayonet Neill Concelman
CCS	Combined Charging System
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
CSV	Comma-separated values
DC	Direct Current
EHK OSN	Evropská hospodářská komise OSN
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
ES	Evropská společenství
ESP	Electronic Stability Program
EU	Evropská unie
CHAdEMO	CHARge de Move
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Rransistor
ISO	International Organization for Standardization
Li-Ion	Lithium-Ion
MEB	Modularer E-Antriebs-Baukasten
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NEDC	New European Driving Cycle
NTC	Negative Temperature Coeficient
OBD-II	On-Board Diagnostics

ODIS	Offboard Diagnostic Information System
OSN	Organizace spojených národů
PC	Personal Computer
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PTC	Positive Temperature Coefficient
PWM	Pulse Width Modulation
RDE	Real Driving Emission
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
SOC	State Of Charge
SUV	Sport Utility Vehicle
USB	Universal Serial Bus
VN	Vysoké Napětí
VVCD DFJP	Výukové a výzkumné centru v dopravě Dopravní fakulty Jana Pernera
WiFi	Wireless Fidelity
WLTC	World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures
ZN	Zadní náprava

## Úvod

Cílem mé diplomové práce je měření a následná analýza energetických toků v elektromobilu během jízdy, stání vozidla a nabíjení. Zjištěné hodnoty porovnáám s hodnotami, které uvádí výrobce ve specifikaci vozidla. Reálná jízda vozidla bude simulována na válcovém dynamometru.

V první části mé diplomové práce se budu zabývat popisem technické stránky testovaného elektromobilu Škoda Enyaq Coupé iV 80, na kterém budou prováděna všechna měření. Zmíním se zároveň o hlavních komponentech vysokonapěťového systému, které jsou společné v rámci koncernové platformy pro elektromobily MEB.

Ve druhé části popíšu nastavení válcového dynamometru, na kterém budu simulovat jízdu po komunikaci. Dále zde uvedu, dle jakého standardu je měřena měrná spotřeba a jak se vypočtou koeficienty jízdních odporů, které jsou potřebné pro simulaci reálné jízdy.

V nejrozsáhlejší kapitole, tedy ve třetí části, se budu zabývat již samotným měřením, kde popíšu cíl, postup a měřené hodnoty během jednotlivých měření. Zároveň zde budou naměřené a vypočtené hodnoty vyhodnoceny, případně porovnány s hodnotami, které uvádí výrobce.

V předposlední části diplomové práce vytvořím matematický model vozidla, díky kterému budu schopen vypočítat měrnou spotřebu vozidla, kterou budu moci následně porovnat s hodnotou měrné spotřeby, kterou naměřím během měření při jízdě na válcovém dynamometru.

V poslední části popíšu možnosti sériové diagnostiky elektropohonu, kterou poskytuje používaný diagnostický program.



# 1. Testované vozidlo

Model, který jsem měl k dispozici pro mé měření, je Škoda Enyaq Coupé iV 80 od společnosti Škoda Auto a.s. Jedná se o mladší karosářskou verzi modelu Enyaq iV, která měla světovou premiéru 31. ledna 2022 v Praze.<sup>1</sup> Škoda Enyaq iV, v sériové výrobě od 25. listopadu 2020, je prvním čistě elektrickým vozidlem společnosti Škoda Auto a.s. postaveným na modulární platformě pro elektromobily MEB (z němčiny Modularer E-Antriebs-Baukasten) koncernu Volkswagen.<sup>2</sup> Nejedná se ovšem o zcela první vyráběný elektromobil automobilky, jelikož na konci roku 2019 byla zahájena sériová výroba elektromobilu Citigo<sup>e</sup> iV, který byl ovšem jen upravenou verzí modelu Citigo se spalovacím motorem. Citigo<sup>e</sup> iV je malý městský elektromobil s elektromotorem o výkonu 61 kW pohánějící přední nápravu a baterií o kapacitě 36,8 kWh, díky které je možné s vozidlem na jedno nabití ujet vzdálenost až 252 km dle cyklu WLTP.<sup>3</sup>

Modely Enyaq iV a Enyaq Coupé iV se pro český trh vyrábějí převážně s pohonem zadní nápravy, případně s pohonem zadní i přední nápravy, tedy 4x4. Jsou vybaveny jednou ze dvou dostupných vysokonapěťových baterií o kapacitě 58 kWh a 77 kWh.<sup>4</sup>

Model Enyaq Coupé iV se po představení vyráběl pouze ve vrcholném výbavovém stupni RS. Vozidlo v této výbavě je vybaveno dvěma elektromotory (pohánějící přední a zadní nápravu) o maximálním výkonu 220 kW a baterií o kapacitě 77 kWh, která je schopna poskytnout energii k jízdě na vzdálenost 518 km dle cyklu WLTP. Následovala verze SportLine vyráběná jednak s pohonem zadních kol, jednak s pohonem 4x4. V polovině května roku 2023 v nabídce přibyl i výbavový stupeň Clever iV 80, tedy přesně ten model, na kterém jsem provedl všechna měření.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> V hlavním výrobním závodě společnosti ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi byla zahájena sériová výroba modelu ŠKODA ENYAQ COUPÉ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 14. 2. 2022 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/v-hlavnim-vyrobnim-zavode-spolocnosti-skoda-auto-v-mlade-boleslavi-byla-zahajena-seriova-vyroba-modelu-skoda-enyaq-coupe-iv/>

<sup>2</sup> ŠKODA AUTO zahajuje v hlavním závodě v Mladé Boleslavi sériovou výrobu modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 25.11.2020 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/skoda-auto-zahajuje-v-hlavnim-zavode-v-mlade-boleslavi-seriovou-vyrobu-modelu-enyaq-iv/>

<sup>3</sup> ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> iV nabízí dojezd až 252 km v cyklu WLTP a jízdu bez emisí. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 25.11.2019 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-citigo%e1%b5%89-iv-skoda-superb-iv-tiskova-mapa/skoda-citigo%e1%b5%89-iv-nabizi-dojezd-az-252-km-v-cyklu-wltp-a-jizdu-bez-emisi/>

<sup>4</sup> Rodina Enyaq Coupé iV. Škoda Auto [online]. [cit. 2023-06-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-coupe-iv>

<sup>5</sup> Tamtéž.

## 1.1. Technické parametry testovaného vozidla

Testované vozidlo Enyaq Coupé iV, ve výbavovém stupni Clever, bylo vyrobeno dne 27.1.2022 v takzvané nulté sérii. Tato auta se využívají ke zkoušení zavedených systémů a technologií ještě v době před uvedením modelu do sériové výroby. Konkrétně na našem testovaném vozidle bylo po 6 měsících od jeho vyrobení naježděno přes 70 tisíc kilometrů. Informace ohledně konkrétních testů prováděných na vozidle jsem bohužel nedohledal.

V následující tabulce jsou technické údaje našeho vozidla. Enyaq je vybaven synchronním elektromotorem s permanentními magnety o maximálním výkonu 150 kW, který pohání kola zadní nápravy. Vysokonapěťová baterie, technologie Li-Ion, je umístěna pod celou podlahou vozidla a má celkovou kapacitu 82 kWh, z níž využitelná kapacita činí 77 kWh. Průměrná kombinovaná spotřeba, změřena na základě WLTP cyklu, dosahuje rozmezí hodnot 15,5–16,6 kWh/100km a na jedno nabití baterie může vozidlo ujet až 551 km.<sup>6</sup> Provozní vlastnosti, tedy kombinovaná spotřeba, dojezd vozidla a rychlost AC a DC nabíjení, byly součástí měření a budu se jimi zabývat v samostatných kapitolách.

---

<sup>6</sup> Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>

Technické údaje – Enyaq Coupé iV 80	
Motor	
Motor	synchronní elektromotor s permanentními magnety
Maximální výkon [kW]	150
Maximální točivý moment [Nm]	310
Kapacita baterie celková (využitelná) [kWh]	82 (77)
Typ baterie	Li-Ion (vysokonapěťová) s nominálním napětím 355 V <sup>7</sup>
Pohon	
Pohon	pohon zadních kol
Převodovka	jednostupňová
Stálý převod	4,389
Celkový převod (převodovka + diferenciál)	12,976 <sup>8</sup>
Podvozek	
Přední náprava	zavěšení MacPherson se spodními trojúhelníkovými rameny a příčným zkrutným stabilizátorem
Zadní náprava	víceprvkové zavěšení s pěti příčnými rameny a zkrutným stabilizátorem
Odpružení	vinutými pružinami s teleskopickými tlumiči, vzadu s tlumiči vně pružin
Brzdy	kapalinové dvouokruhové, diagonálně propojené s elektromechanickým posilovačem
Brzdy vpředu	kotoučové, s kotouči s vnitřním chlazením a jednopístovými plovoucími třmeny
Brzdy vzadu	bubnové
Parkovací brzda	elektromechanická na zadní kola
Řízení	hřebenové přímočinné s elektromechanickým posilovačem
Pneumatiky letní	vpředu – BRIDGESTONE TURANZA ECO, 235/45 R21 101T vzadu – BRIDGESTONE TURANZA ECO, 255/40 R21 102T energetická účinnost pneumatik – A <sup>9</sup>
Pneumatiky zimní	vpředu – Michelin PILOT ALPIN 5 SUV, 235/55 R19 105V vzadu – Michelin PILOT ALPIN 5 SUV, 255/50 R19 107V energetická účinnost pneumatik – C <sup>10</sup>
Karoserie	
Karoserie	pětidveřová, pětimístná, dvouprostorová
Součinitel odporu vzduchu $c_x$	s disky pro letní pneumatiky – 0,271 s disky pro zimní pneumatiky – 0,245

<sup>7</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>8</sup> Tamtéž.

<sup>9</sup> Pneumatiky: Bridgestone 28772. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/1398096?navigatingfrom=gr>

<sup>10</sup> Pneumatiky: MICHELIN 631659. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/411386?navigatingfrom=gr>

Vnější rozměry	
Délka [mm]	4 653
Šířka [mm]	1 879
Výška (při pohotovostní hmotnosti) [mm]	1 621
Rozvor (při pohotovostní hmotnosti) [mm]	2 765
Světlá výška (při pohotovostní hmotnosti) [mm]	193
Výška nákladové hrany (při pohotovostní hmotnosti) [mm]	793
Rozchod kol vpředu [mm]	1 587
Rozchod kol vzadu [mm]	1 565
Vnitřní rozměry	
Šířka v loktech na předních sedadlech [mm]	1 506
Šířka v loktech na zadních sedadlech [mm]	1 488
Efektivní prostor pro hlavu vpředu [mm]	1 095
Efektivní prostor pro hlavu vzadu [mm]	990
Objem zavazadlového prostoru [l]	570
Objem zavazadlového prostoru – při sklopených opěradlech zadních sedadel [l]	1 610
Hmotnosti	
Pohotovostní hmotnost – s řidičem 75 kg [kg]	2 246
Užitečné zatížení – s řidičem 75 kg [kg]	429
Celková hmotnost [kg]	2 600
Maximální zatížení střechy [kg]	75
Maximální hmotnost přípojného vozidla nebrzděného [kg]	750
Maximální hmotnost přípojného vozidla brzděného – stoupání 12 % [kg]	1 000
Maximální hmotnost přípojného vozidla brzděného – stoupání 8 % [kg]	1 200
Maximální svislé zatížení tažného zařízení [kg]	75
Vyhřívání	
Topení kabiny	PTC + tepelné čerpadlo
Teplotní management VN baterie	výhřev / chlazení kapalinové
Možnost vytápět kabinu vozidla odpadním teplem z elektromotoru a výkonové elektroniky	ne
Provozní vlastnosti	
Maximální rychlost [km/h]	160
Zrychlení 0–100 km/h [s]	8,5
Spotřeba – kombinovaná (zjištěna na základě mého měření dle WLTP) [kWh/100 km]	s letními pneumatikami – 12,366 se zimními pneumatikami – 14,397
Emise CO <sub>2</sub> [g/km]	0
Dojezd (WLTP) [km]	551
AC nabíjení (0–100 %) – výkon/čas (podle typu kabelu)	11 kW/7 h 30 min
DC nabíjení (10–80 %) – výkon/čas	135 kW/29 min
Vnější průměr zatáčení – stopový [m]	9,3

Tabulka 1 – Technické údaje vozidla Enyaq Coupé iV 80<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>



*Obrázek 1 – Měření hmotnosti vozu Enyaq Coupé iV*

Jednou z důležitých hodnot pro budoucí výpočty je váha vozidla, která se odvíjí od výbavy vozidla. Proto je v technické dokumentaci uvedeno rozmezí hodnot od 2 119 kg do 2 250 kg. V této uvedené hodnotě je zahrnuta i hmotnost normovaného řidiče, který má váhu 75 kg.<sup>12</sup> Pro zvážení vozidla byly použity průmyslové váhy od firmy METTLER TOLEDO. Jedná se o čtyřbodovou váhu zapuštěnou v zemi, která měří zatížení každého kola. Každá plotna váhy je schopna vážit od hmotnosti 0,2 kg až do hmotnosti 1 200 kg, tedy celková hmotnost vozidla může dosahovat až 4 800 kg za předpokladu, že je váha vozidla rozdělena na každé kolo stejně. Přesnost vah je uvedena v kalibračním protokolu z května 2023, kde je pro 50 % zatížení desky uvedena přesnost měření 0,11 %. Vychází tedy, že odchylka během našeho měření mohla být maximálně 2,39 kg. Celková hmotnost testovaného vozidla Enyaq Coupé iV 80 byla změřena 2 171 kg. Přičteme-li hmotnost normovaného řidiče, tedy 75 kg, dostaneme váhu 2 246 kg, což odpovídá rozmezí hodnot z technické dokumentace vozidla. Moje tělesná váha odpovídá hmotnosti normovaného řidiče, proto pro budoucí výpočty je použita právě váha vozu s normovaným řidičem 2 246 kg.

---

<sup>12</sup> Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>

Typ vozu: SK316/6 Uloženo: 19.07.2023 14:55:26 Škoda Auto Kvasiny  
 Zkušebna GQK

VIN: NF025313

Technik: Zimmer

Datum měření: 19.07.2023

Poznámka:  
 ENYAQ COUPE IV

Tip: Pro nový řádek použijte kombinaci Cr-Enter

**METTLER TOLEDO**

**Váha vozu**

LP [kg]	515.8	PP [kg]	511.0
LZ [kg]	575.4	PZ [kg]	568.8

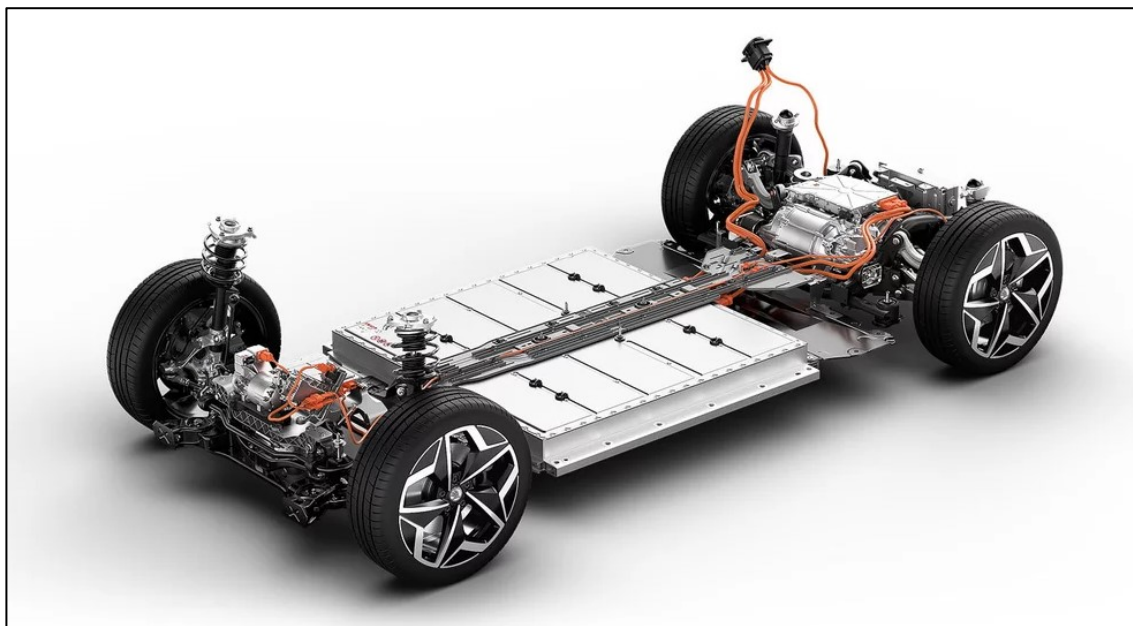
PN [kg]	1,026.8
ZN [kg]	1,144.2
Celkem	2,171.0

19.07.2023 14:55:26 1296; 776 | V1.0.1.0

Obrázek 2 – Váha vozidla Enyaq Coupé iV 80

## 1.2. MEB

Architektura MEB (z německého Modularer E-Antriebs-Baukasten) je modulární automobilová platforma, kterou vyvinul výrobce automobilů Volkswagen pro svá vozidla z elektrické rodiny ID. Platforma je navržena pro čistě elektrická vozidla a je využívána v rámci celého koncernu Volkswagen Group, tedy především u značek Volkswagen, Škoda, Seat a Audi.<sup>13</sup> V rámci spolupráce Volkswagenu se značkou Ford by měla být údajně v budoucnu využita tato platforma i pro vozidla značky Ford.<sup>14</sup>



Obrázek 3 – Modulární systém MEB<sup>15</sup>

Základní, zároveň největší a nejtěžší částí platformy je masivní hliníkový rám vysokonapěťové baterie. Ten tvoří jednak podlahu samotného vozidla, jednak přispívá k větší tuhosti karoserie. Ta i v tomto případě zůstává samonosného typu stejně jako u vozidel se spalovacím motorem. Hliníkový rám baterie je dostupný ve dvou velikostech a lze do něho poskládat až 12 bateriových modulů, kdy každý modul obsahuje 24 bateriových článků. Nejmenší baterie, která má 8 bateriových modulů, má hmotnost 345 kg a její kapacita činí 55 kWh (využitelná kapacita 52 kWh). Baterie střední velikosti, obsahující 9 bateriových modulů o celkové kapacitě 62 kWh (využitelná kapacita 58 kWh), váží 376 kg. Největší baterie, která je v testovaném vozidle Enyaq Coupé iV 80, má 12 bateriových modulů o celkové

<sup>13</sup> Modular electric drive matrix (MEB). Volkswagen Newsroom [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/modular-electric-drive-matrix-meb-3677>

<sup>14</sup> Tajemství platformy MEB: Škoda odhaluje detaily techniky pro elektromobily. Auto.cz [online]. 09.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/tajemstvi-platformy-meb-skoda-odhaluje-detaily-techniky-pro-elektromobily-136345>

<sup>15</sup> Tamtéž.

kapacitě 82 kWh (využitelných 77 kWh) a její hmotnost dosahuje 493 kg, což je přibližně 23 % hmotnosti celého vozidla (počítáme-li z navážené hmotnosti 2 171 kg testovaného Enyaqu Coupé iV 80). Díky tomu, že je baterie o takovéto hmotnosti uložena ve středu vozidla a poměrně nízko nad vozovkou, u Enyaqa je to přibližně 20 centimetrů, dojde tím ke zlepšení stability vozu a jízdních vlastností. V rámci této platformy se můžeme setkat s několika výkony elektropohonů. Převážně se jedná o pohon zadní nápravy, kde výkon elektromotoru může dosahovat 109, 132 nebo 150 kW v závislosti na řídicí jednotce motoru. Elektromotor váží přibližně 90 kg a dosahuje velice malých rozměrů a neubírá tak místo v zavazadlovém prostoru. V případě pohonu i přední nápravy je opět pouze jeden elektromotor, který je schopen pomáhat zadnímu elektromotoru ve dvou úrovních. Systémový výkon je pak schopen zvýšit na 195 nebo až 220 kW, což je například ve výbavovém stupni RS modelu Enyaq a Enyaq Coupé.<sup>16</sup> Pro přední nápravu je použit asynchronní motor, protože se jedná pouze o pomocnou pohonnou jednotku, a v případě nečinnosti se rotor otáčí bez nutnosti odběru elektřiny z vysokonapěťové baterie. V případě elektromotoru pro zadní nápravu je použit synchronní elektromotor s permanentními magnety.<sup>17</sup> Elektromotory jsou chlazeny chladicí kapalinou s klasickým chladičem na přední vozu. Standardizovaná je i vysokonapěťová nabíječka, která podporuje nabíjení střídavým proudem v režimu Mode 2 (výkonem 2,3 kW z domácích jednofázových zásuvek pomocí příslušného nabíjecího setu) a Mode 3 (výkon 7,2 a 11 kW z třífázové zásuvky pomocí domácího wallboxu, či z veřejných AC nabíjecích stanic). Platforma podporuje i nabíjení v režimu Mode 4, tedy rychlonabíjení stejnosměrným proudem, které může dosahovat nabíjecího výkonu 50, 100 nebo až 125 kW. Standardizována je i řídicí a výkonová elektronika, která je uložena na elektromotoru zadní nápravy a stará se především o dodávku energie do, v případě rekuperace z, pohonu. Velkou výhodou modulární platformy je to, že z jednotlivých standardizovaných komponentů lze vytvořit vozidla různých rozměrů a kategorií. Platformu tak lze použít pro vozidla kategorie kompaktní vozy, SUV či dodávky.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 08.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>

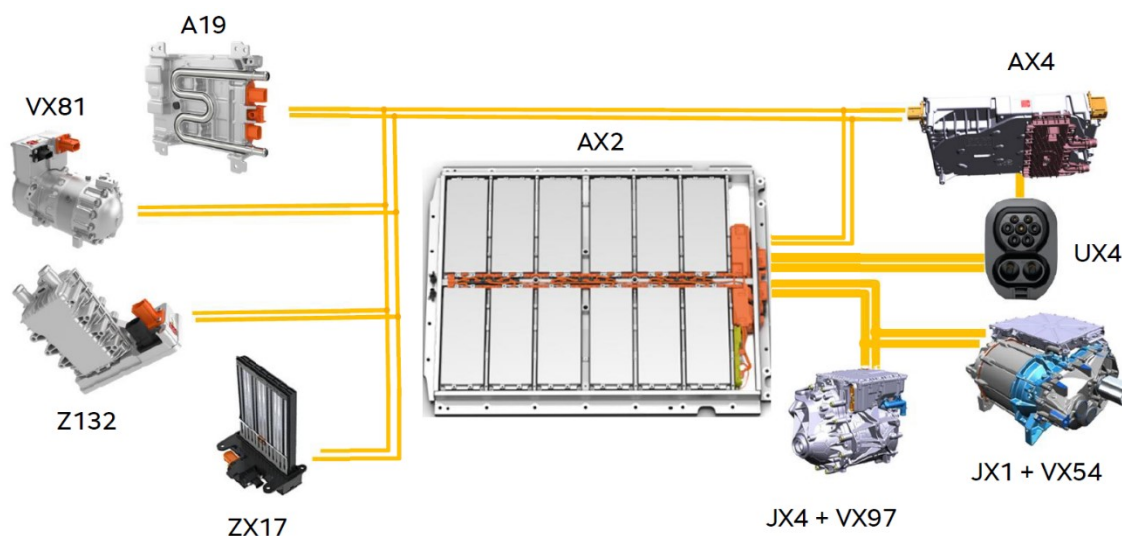
<sup>17</sup> Tajemství platformy MEB: Škoda odhaluje detaily techniky pro elektromobily. Auto.cz [online]. 09.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/tajemstvi-platformy-meb-skoda-odhaluje-detaily-techniky-pro-elektromobily-136345>

<sup>18</sup> Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 08.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>



### 1.3. Hlavní součásti vysokonapěťového systému vozidla

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, Enyaq je postaven na koncernové platformě MEB a většina komponent vysokonapěťového systému je tak shodná u všech vozidel postavených na této platformě. Na následujícím obrázku je blokové schéma všech vysokonapěťových komponentů vozu Enyaq Coupé iV v provedení s baterií o nejvyšší kapacitě 82 kWh a pohonem přední i zadní nápravy. Testovaný Enyaq Coupé iV má pouze pohon zadní nápravy, proto elektromotor VX97 s řídicí elektronikou elektromotoru JX4 se v našem vozidle nenacházejí.



Obrázek 4 – Blokové schéma vysokonapěťového systému<sup>19</sup>

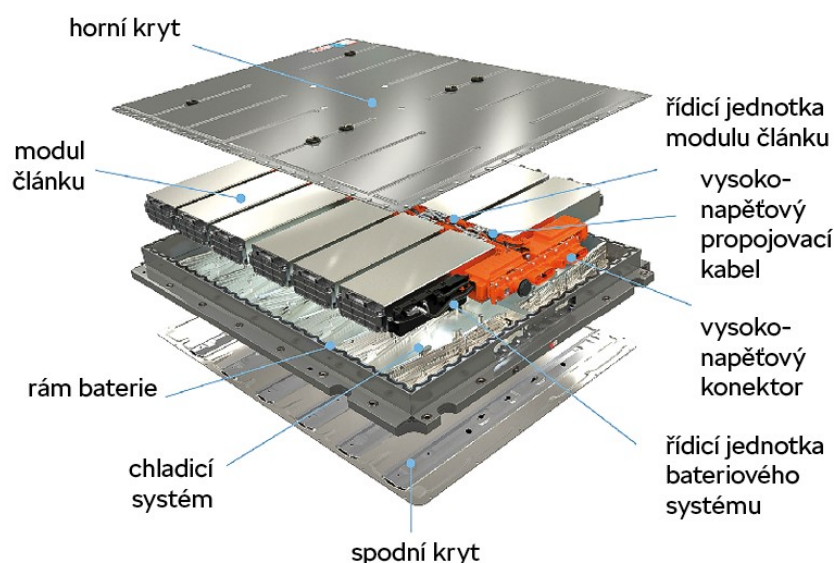
- AX2 – vysokonapěťová baterie
- JX1 – výkonová a řídicí elektronika elektromotoru pro zadní nápravu
- VX54 – elektromotor zadní nápravy
- JX4 – řídicí elektronika elektromotoru pro přední nápravu
- VX97 – elektromotor přední nápravy
- A19 – 12 V DC/DC měnič
- AX4 – palubní nabíječka
- UX4 – nabíjecí zásuvka
- VX81 – kompresor klimatizace
- Z132 – PTC topení pro VN baterii
- ZX17 – PTC vzduchové topení<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>20</sup> Tamtéž.

### 1.3.1. Vysokonapěťová baterie

Vysokonapěťová baterie (typu Li-Ion) testovaného vozu má celkovou kapacitu 82 kWh, uživatel vozidla má ovšem k dispozici pro jízdu jen 77 kWh. Rozdíl, přibližně 5 kWh, má VN systém rezervován pro svou vlastní spotřebu pro případ, kdy dojde k úplnému vybití baterie. Baterie se skládá celkem z 12 bateriových modulů, kdy jeden samotný bateriový modul váží přibližně 30 kg. V každém bateriovém modulu je 24 bateriových článků zapojených sérioparalelně, v tomto případě je vždy 8 článků zapojeno v sérii ve 3 paralelních větvích. Nominální napětí jednoho modulu je tedy přibližně 29,6 V a v případě celé baterie je to 355 V. O chlazení akumulátoru se stará kapalina, která je naplněna v chladicím systému baterie a je případně ohřívána PTC topením pro VN baterii. Uvnitř najdeme i dvě sady stykačů, které připojují kladný a záporný konektor baterie k vodičům VN systému, nebo k vodičům od DC kontaktů nabíjecí zásuvky. V případě poruchy VN baterie lze veškeré díly (článek, řídicí jednotku, BMS modul) za dodržení daných bezpečnostních podmínek vyměnit, čímž se především zlevní náklady na opravu, a nedochází tak k zahození stále ještě funkčních dílů baterie.<sup>21</sup>



Obrázek 5 – Části vysokonapěťové baterie AX2<sup>22</sup>

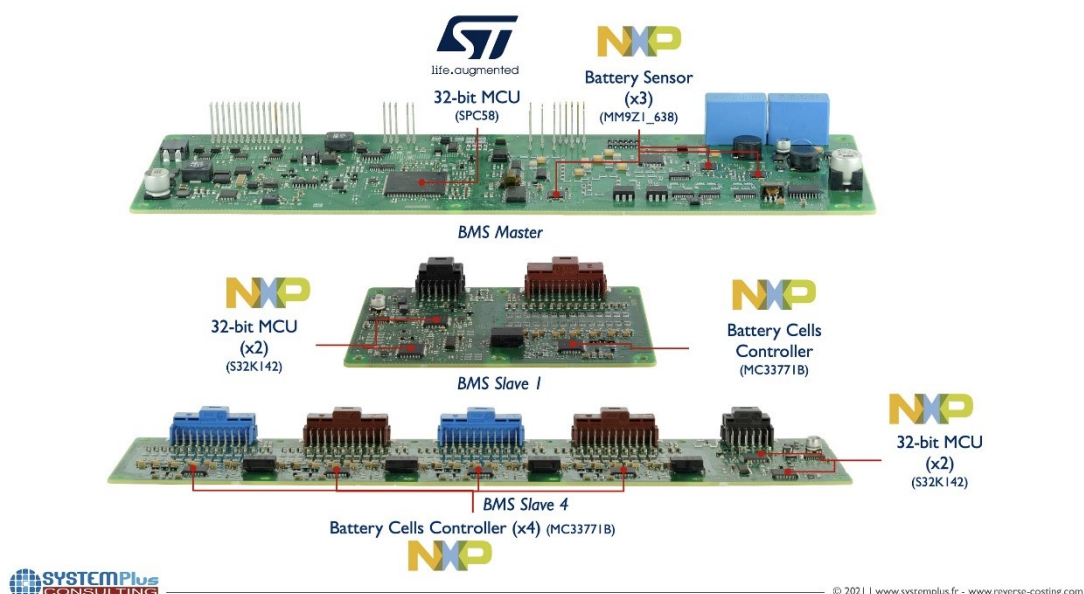
<sup>21</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>22</sup> Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 08.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>

Uvnitř nalezneme i tři řídicí jednotky bateriových modulů, takzvané BMS (Battery management system), které se starají o jednotlivé moduly během nabíjení a sledují jejich teplotu a napětí. Jeden modul je vždy připojen ke 4 článkům a obsahuje 4 podřízené a jeden hlavní BMS modul. Na následujícím obrázku je zachycen jeden bateriový modul bez ochranného krytu z vozidla Volkswagen ID.3, které se vyrábí od roku 2020 a je postaveno na koncernové platformě MEB. Jelikož je zde použita stejná VN baterie, modul bude stejný jako v testovaném vozidle Enyaq.<sup>23</sup>

## Volkswagen ID.3 battery management system (BMS)

(Source: Automotive Teardown Track, Volkswagen ID.3 modules - System Plus Consulting, 2021)



Obrázek 6 – Jednotka BMS z vozidla Volkswagen ID.3<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*1a48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjczODA0MS4xNjkwMTExOTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*1a48kca*_ga*MTcyNjczODA0MS4xNjkwMTExOTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA)

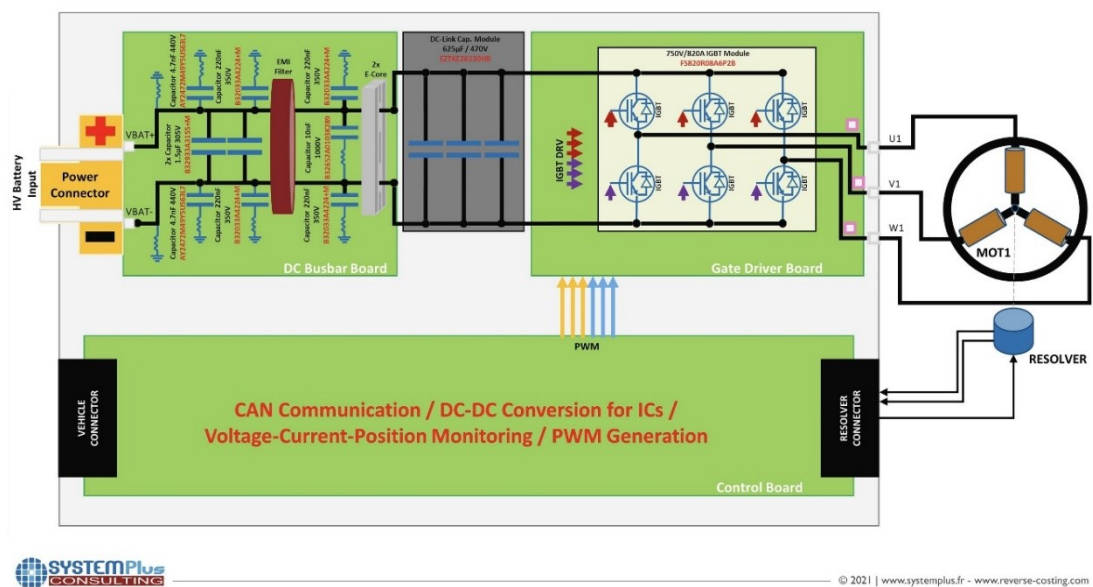
<sup>24</sup> Tamtéž.

### 1.3.2. Výkonová a řídicí elektronika elektromotoru pro zadní nápravu

Výkonová elektronika má několik částí, které se starají o důležité funkce. Mezi základní funkce patří přeměna vysokonapěťového DC napětí z VN baterie na střídavé třífázové napětí pro elektromotor zadní nápravy, případně během rekuperace k přeměně AC na DC napětí. Zároveň se stará o zajištění elektromagnetické kompatibility pomocí EMC prvků a odrušovacích filtrů. Funkce řídicí elektroniky spočívá především v implementaci požadavků řidiče, dále ve snímání otáček a polohy rotoru či monitorování teploty elektromotoru zadní nápravy. Výkonová a řídicí elektronika jsou v jednom celistvém celku, který je umístěn přímo na obale elektromotoru zadní nápravy. O chlazení komponent se stará kapalina chladicího vysokonapěťového okruhu.<sup>25</sup>

#### Volkswagen ID.3 inverter block diagram

(Source: Automotive Teardown Track, Volkswagen ID.3 modules - System Plus Consulting, 2021)



Obrázek 7 – Blokové schéma výkonové elektroniky z vozidla Volkswagen ID.3<sup>26</sup>

Na obrázku č. 7 (rovněž v příloze A) můžeme vidět blokové schéma výkonové elektroniky z vozidla Volkswagen ID.3. Z blokového schématu je patrné, že se modul skládá ze 3 stupňů, kterými jsou: DC vstupní stupeň, DC/DC měnič a samotný IGBT střídač. DC vstupní stupeň přivádí DC napětí z VN baterie na DC/DC měnič a skládá se z několika

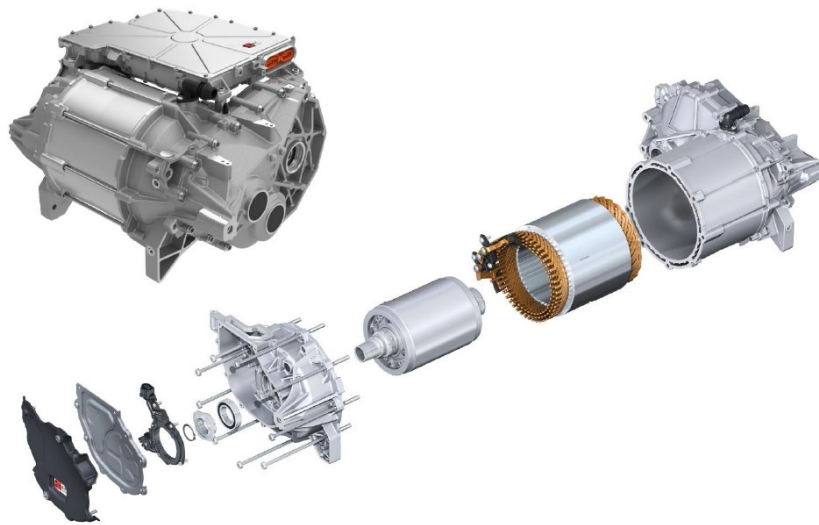
<sup>25</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>26</sup> Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*1a48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjcjZDA0MS4xNjkwMTEwOTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*1a48kca*_ga*MTcyNjcjZDA0MS4xNjkwMTEwOTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA)

kondenzátorů a EMI filtru (nejčastěji s proudově kompenzovanou tlumivkou). V druhém stupni, tedy v DC/DC měniči, se vyhlazuje pomocí stejnosměrných kondenzátorů vstupní DC napětí, jelikož IGBT tranzistory v posledním stupni vytvářejí značné zvlnění odebíraného napětí. V posledním stupni dochází k přeměně stejnosměrného napětí na třífázové střídavé napětí pomocí šesti IGBT sad od výrobce Infineon s označením FS820R08A6P2B (820 A / 750 V), které jsou optimalizovány pro 150kW měniče. Dále si můžeme povšimnout, že poloha rotoru je snímána resolverem. Údajná cena modulu výkonové elektroniky je okolo 335 \$, tedy v přepočtu přibližně 7 348 Kč.<sup>27</sup>

### 1.3.3. Elektromotor zadní nápravy

Zadní náprava je poháněna synchronním elektromotorem s permanentními magnety o maximálním výkonu 150 kW a kroutícím momentu 310 Nm. V případě vozidla s nižším výkonem je elektromotor stále stejný, pouze dojde k softwarovému omezení výkonu. Elektromotor je schopen se otáčet rychlostí až 16 000 ot/min. Součástí pohonné jednotky je i jednostupňová převodovka se stálým převodovým poměrem 4,389. Celkový převodový poměr mezi rotorem elektromotoru a poloosami na zadní nápravě je 12,976.<sup>28</sup>



Obrázek 8 – Elektromotor zadní nápravy VX54 společně s výkonovou a řídicí elektronikou JX1<sup>29</sup>

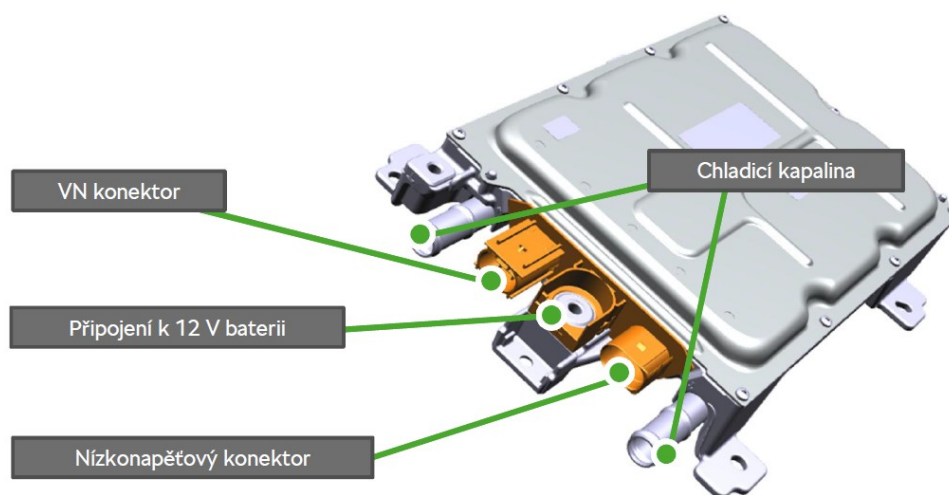
<sup>27</sup> Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*Ia48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjczODA0MS4xNjkwMTEwOTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*Ia48kca*_ga*MTcyNjczODA0MS4xNjkwMTEwOTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA)

<sup>28</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>29</sup> Tamtéž.

### 1.3.4. 12 V DC/DC měnič

Jedná se o obousměrný měnič, který mění napětí z VN baterie na stejnosměrné 12 V napětí palubní sítě a naopak. Nahrazuje tedy činnost alternátoru, který u elektromobilů není. Další jeho důležitou funkcí je přednabití vysokonapěťového systému před sepnutím stykačů ve VN baterii. Měnič tedy vytvoří z napětí 12 V baterie, zajišťující stejně jako u vozidel se spalovacím motorem chod palubní sítě, napětí pro vysokonapěťový systém. To zajistí, že na obou kontaktech stykačů ve VN baterii je po jejich sepnutí stejný potenciál. Maximální výstupní výkon měniče, na straně 12 V palubní sítě, je 3 kW. Měnič je chlazen kapalinou z chladicího vysokonapěťového okruhu a je umístěn pod kapotou vozidla, případně společně s palubní nabíječkou pod zadním nárazníkem u verze s pohonem zadní i přední nápravy.<sup>30</sup>



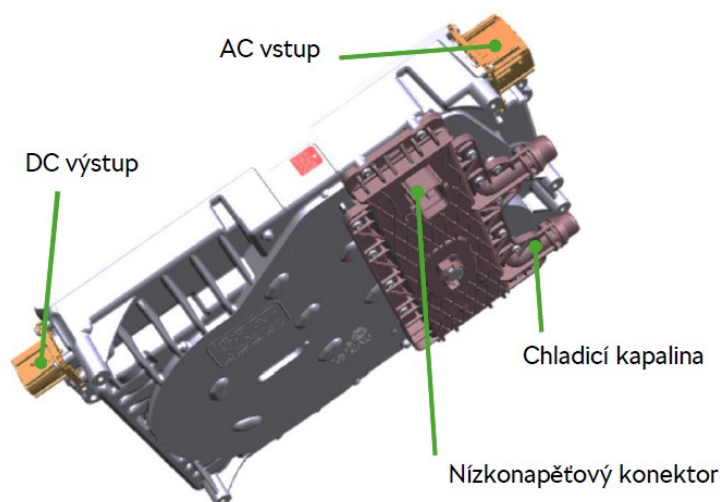
Obrázek 9 – 12 V DC/DC měnič A19<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>31</sup> Tamtéž.

### 1.3.5. Palubní nabíječka

Palubní nabíječka slouží k převodu střídavého síťového napětí na stejnosměrné napětí pro nabíjení VN baterie. Podporováno je jak jednofázové, tak třífázové nabíjení, ovšem dle počtu fází na vstupu nabíječky se odvíjí dobíjecí výkon, který může být maximálně 11 kW, a výstupní napětí je udáváno v rozsahu 220–470 V. Účinnost nabíječky je udávána 94 %. K této hodnotě jsem došel i během měření na vozidle. Nabíječka je chlazená kapalinou z chladicího vysokonapěťového okruhu a je umístěna v oblasti pod zadním nárazníkem.<sup>32</sup>



Obrázek 10 – Palubní nabíječka AX4<sup>33</sup>

Na následujícím **obrázku č. 11** (rovněž v **příloze B**) je blokové schéma palubní nabíječky opět z vozidla Volkswagen ID.3. Nabíječka se skládá z několika částí, mezi které patří vstupní obvod, zajišťující zpracování vstupního jednofázového nebo třífázového AC napětí s odrušením pomocí EMI filtru a následuje část AC/DC měniče, kde jsou využity MOSFET tranzistory. Na výstupu nabíječky je vysokonapěťový výstupní obvod, který je velice podobný vstupnímu obvodu modulu výkonové elektroniky pro zadní pohon a obsahuje opět soustavu několika kondenzátorů a dva EMI filtry.<sup>34</sup>

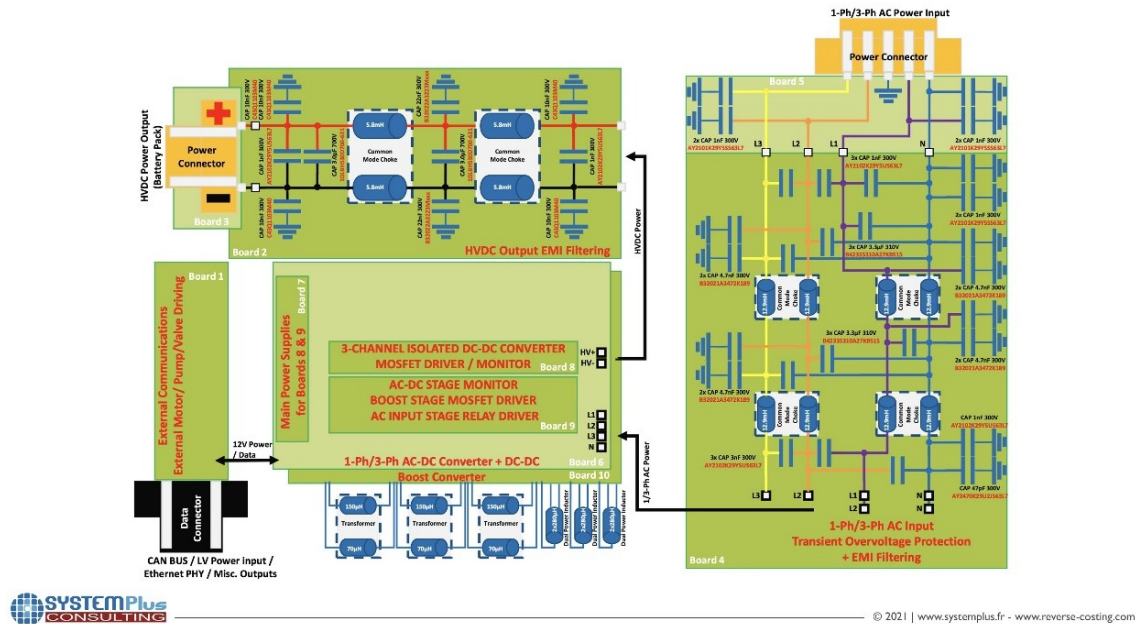
<sup>32</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>33</sup> Tamtéž.

<sup>34</sup> Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*1a48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjc4ODA0MS4xNjkwMTEyOTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*1a48kca*_ga*MTcyNjc4ODA0MS4xNjkwMTEyOTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA)

# Volkswagen ID.3 On-Board charger block diagram

(Source: Automotive Teardown Track, Volkswagen ID.3 modules - System Plus Consulting, 2021)



SYSTEMPlus  
CONSULTING

© 2021 | www.systemplus.fr - www.reverse-costing.com

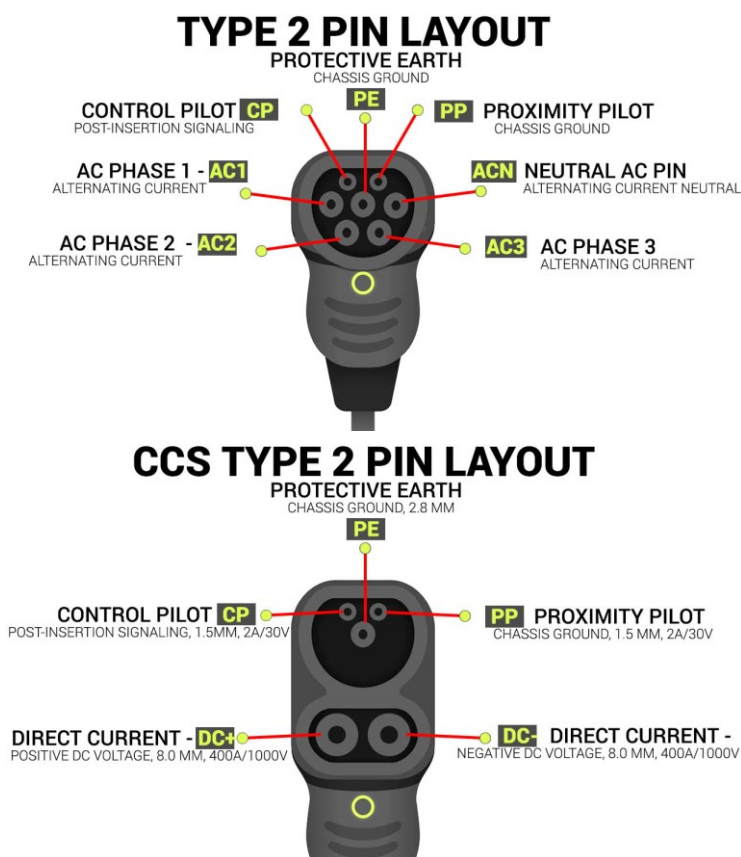
Obrázek 11 – Blokové schéma palubní nabiječky z vozidla Volkswagen ID.3<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*1a48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjc2ODA0MS4xNjkwMTEwOTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*1a48kca*_ga*MTcyNjc2ODA0MS4xNjkwMTEwOTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDE5MDMzOS40LjAuMTY5MDE5MDMzOS4wLjAuMA)



### 1.3.6. Nabíjecí zásuvka

Nabíjecí zásuvka CCS (Combined Charging System) Typ 2 kombinuje konektor pro AC i DC nabíjení VN baterie vozu. Předchozí verze CCS Typ 1 dokázala během nabíjení pracovat pouze s jednou fází, na rozdíl od typu 2, který dokáže pracovat s jednou ale i se třemi fázemi. Tento konektor prohlásila Evropská komise jako oficiální standard nabíjení pro evropské elektromobily již v roce 2013. Jak můžete vidět na obrázku č. 12, pro AC nabíjení jsou využity piny v horní části konektoru, tedy piny třech fází, pin nulového vodiče, ochranného vodiče a dva komunikační piny. V případě DC nabíjení jsou využity dva piny z dolní části konektoru a k tomu i dva komunikační piny a ochranný vodič z horní části. V případě AC nabíjení lze místo zástrčky CCS Typ 2 využít AC zástrčku Mennekes Typ 2. Nabíjecí zásuvku nalezneme v místě klasického tankovacího hrdla vozidel se spalovacím motorem.<sup>36</sup>



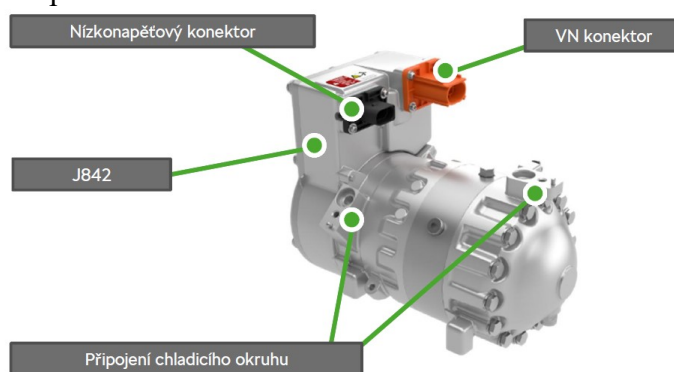
Obrázek 12 – Piny konektoru Mennekes Typ 2 a CCS Typ 2<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě. EVEXPERT Vše pro nabíjení elektromobilů [online]. [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>

<sup>37</sup> Konektor CCS typu 2 pro nabíjecí stanice rychlých elektrických automobilů DC. Midapower [online]. [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.midapower.com/cs/project/ccs-type-2-connector-for-dc-fast-electric-car-charging-station/>

### 1.3.7. Kompresor klimatizace

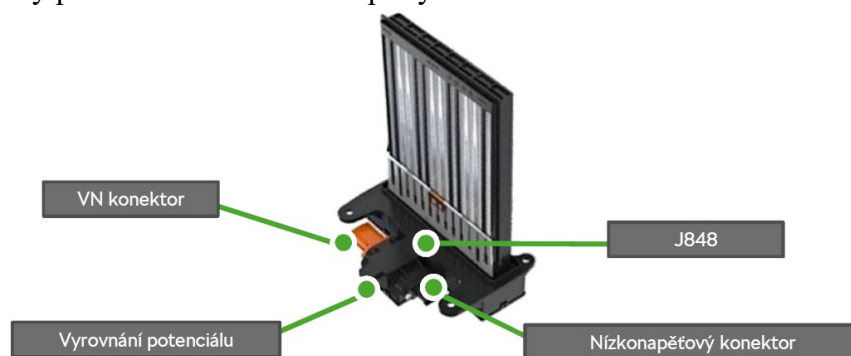
Kompresor klimatizace je dodáván ve dvou variantách, a to v závislosti na tom, zda je vozidlo vybaveno tepelným čerpadlem, či nikoli. V obou případech se jedná o spirálový kompresor s integrovaným elektromotorem, který má provozní otáčky v rozsahu od 600 do 8 600 ot/min. Jeho maximální příkon může být až 5,5 kW. V testovaném vozidle je v obvodu klimatizace i tepelné čerpadlo, takže klimatizace je schopna interiér vozu chladit, nebo naopak při nízkých venkovních teplotách interiér vozu ohřívat a ušetřit elektrickou energii, kterou by spotřebovalo PTC topení.<sup>38</sup>



Obrázek 13 – Kompresor klimatizace VX81<sup>39</sup>

### 1.3.8. PTC vzduchové topení

PTC vzduchové topení je umístěno v rozvodu vzduchu pro vytápění interiéru vozu. Jelikož pro vytápění interiéru není využito odpadní teplo z vodního okruhu, má poměrně vysoký maximální výkon, který činí 6 kW. Ovšem po vyhřátí interiéru na požadovanou teplotu dokáže snížit topný výkon pomocí PWM regulace, v rozsahu 0–100 %, na dostačující úroveň, který je potřebný pro udržení nastavené teploty.<sup>40</sup>



Obrázek 14 – PTC vzduchové topení ZX17<sup>41</sup>

<sup>38</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

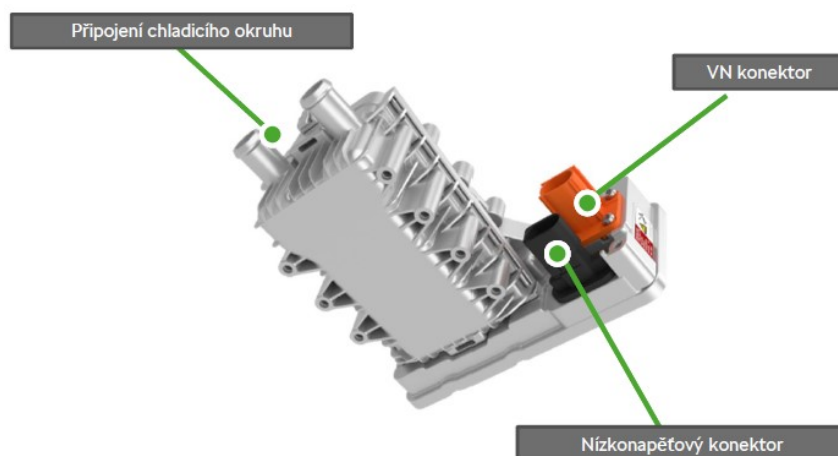
<sup>39</sup> Tamtéž.

<sup>40</sup> Tamtéž.

<sup>41</sup> Tamtéž.

### 1.3.9. PTC topení pro VN baterii

PTC topení pro VN baterii ohřívá médium vodního okruhu VN baterie a reguluje tak její teplotu v závislosti na okolních podmínkách, provozu vozidla a teplotě samotné VN baterie. Topný výkon je, stejně jako u PTC vzduchového topení, řízeno PWM regulací v rozsahu 0–100 % a při maximální střídě má topný výkon hodnotu až 5,5 kW. Topení je umístěno v přední části vozidla, vedle kompresoru klimatizace.<sup>42</sup>



Obrázek 15 – PTC topení pro VN baterii Z132<sup>43</sup>

<sup>42</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>43</sup> Tamtéž.

## 2. Nastavení válcového dynamometru

Pro měření během dynamických zkoušek jsem používal válcový dynamometr, který je umístěn na hale Řízení kvality firmy Škoda Auto a.s. v závodě Kvasiny. Jedná se o zařízení od výrobce BEP Europe z Belgie, jež bylo instalováno v roce 2019. Zde na hale Řízení kvality slouží pro kontrolní testování sériových a předsériových vozidel (zkouší se zde např.: brzdné síly jednotlivých kol, difference brzd, správné zapojení brzdového systému, funkce parkovací brzdy a parkovacího zámku u automatické převodovky, správné spínání Haldex spojky, test správného zobrazování aktuální rychlosti vozidla na tachometru nebo zda má motor po projetí daného jízdního profilu správnou teplotu, otáčky či hladinu motorového oleje, rekuperace u vozidel s hybridním pohonem PHEV), odlaďování zkušebních programů pro výrobu, případně jako náhradní technologie při výpadku válcového dynamometru ve výrobní lince.

Dynamometr disponuje čtyřmi motory značky Siemens o maximálním výkonu 4 x 41 kW, které jsou schopny pohánět každé kolo zvlášť. Na rozdíl od přesných laboratorních dynamometrů, kdy připadá na každé kolo jeden válec, se kterým je kolo v dotyku v nejvyšším bodě válce, má tento dynamometr na každé kolo válce dva. Znamená to tedy, že po najetí vozidla je každé kolo umístěno mezi dvěma válci. Maximální rychlost je stanovena výrobcem na hodnotě 200 km/h. Dynamometr disponuje možností proměnlivého rozvoru a lze jej ovládat dvěma způsoby. První je pomocí průmyslového počítače, který přes diagnostickou zásuvku OBD-II komunikuje s řídicími jednotkami vozidla a zároveň bezdrátově komunikuje s dynamometrem. Druhý způsob je přes PC, ve kterém lze pomocí speciálního programu spouštět vybrané testy, u nichž lze nastavovat různé parametry.

Jak již bylo zmíněno výše, nejedná se o přesné laboratorní zařízení určené k přesnému měření v laboratorních podmínkách. Během měření, především v závislosti na ohřátí komponent dynamometru, či teplotě vzduchu v místnosti, nemusela být zátěž od motorů konstantní po celou dobu jízdy.

## 2.1. Jízdní odpory vozidla

Během jízdy po vozovce působí na vozidlo několik negativních odporů. Mezi ty základní, které jsou závislé na konstrukčním provedení vozidla, patří valivý odpor, odpor tření a odpor vzduchu. Valivý odpor je po celou dobu jízdy konstantní, odpor tření je závislý na rychlosti vozidla a odpor vzduchu je závislý na kvadrátu rychlosti vozidla. Tyto tři odpory lze shrnout do jedné rovnice, kde jsou pro zjednodušení použity koeficienty jízdních odporů  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , kde  $k$  představuje číslo vzorku. Přesně v této podobě lze zadat do programu válcového dynamometru jízdní odpory pro simulaci reálné jízdy.

$$F(k)[N] = A [N] + B [N/(km/h)] \times v(k) [km/h] + C [N/(km/h)^2] \times v^2(k) [km/h] \quad (1)$$

Na testovaném vozidle byly během měření letní i zimní pneumatiky. V následující tabulce je jejich označení, rozměry, hmotnostní a rychlostní index a třída energetické účinnosti.

		označení pneumatik	rozměr	hmotnostní a rychlostní index	energetická účinnost <sup>44 45</sup>
letní	vpředu	BRIDGESTONE TURANZA ECO	235/45 R21	101 T	třída A
	vzadu		255/40 R21	102 T	
zimní	vpředu	Michelin PILOT ALPIN 5 SUV	235/55 R19	105 V	třída C
	vzadu		255/50 R19	107 V	

Tabulka 2 – Použité pneumatiky na testovaném vozidle

Na základě výbavy testovaného vozidla, jeho modelové verzi, skutečné hmotnosti a osazených pneumatikách s disky mi kolegové z oddělení EBW – Aerodynamika vozu vypočítali hodnotu součinitele odporu vzduchu, která je uvedena v **tabulce č. 3** (dle tabulky s technickými údaji vozidla je dle výrobce hodnota  $C_x$  v rozmezí 0,240 až 0,271)<sup>46</sup>. Enyaq Coupé iV ve výbavovém stupni RS má hodnotu součinitele odporu vzduchu až 0,234.<sup>47</sup> Na základě této hodnoty mi následně kolegové z oddělení EGN – Technika vozu vypočetli požadovanou hodnotu koeficientů jízdních odporů, uvedené v téže tabulce. Součinitel odporu vzduchu i koeficienty jízdních odporů musely být počítány jak pro letní, tak pro zimní pneumatiky.

<sup>44</sup> Pneumatiky: Bridgestone 28772. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/1398096?navigatingfrom=gr>

<sup>45</sup> Pneumatiky: MICHELIN 631659. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/411386?navigatingfrom=gr>

<sup>46</sup> Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>

<sup>47</sup> ŠKODA ENYAQ COUPÉ iV: mistr aerodynamiky. ŠKODA Storyboard [online]. 15. 12. 2021 [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/skoda-enyaq-coupe-iv-mistr-aerodynamiky/>

Hodnota součinitele odporu vzduchu a koeficienty jízdních odporů			
pneumatiky		letní	zimní
součinitel odporu vzduchu	$C_x [-]$	0,271	0,245
koeficienty jízdních odporů vozidla	A [N]	133,1	182,4
	B [N/(km/h)]	0,51	0,51
	C [N/(km/h) <sup>2</sup> ]	0,028614	0,029630

Tabulka 3 – Hodnota  $C_x$  a koeficienty jízdních odporů vozidla

### 2.1.1. Výběhová zkouška vozidla

Jelikož program dynamometru nepočítá s vlastním odporem válců, bylo zapotřebí tento odpor zjistit a následně jej odečíst od jízdních odporů vozidla. Vlastní odpor válců dynamometru byl vypočten na základě výběhové zkoušky, během které jsou v programu dynamometru nastaveny hodnoty koeficientů jízdních odporů A, B, C na hodnotu 0. Před samotným najetím vozidla na válcový dynamometr bylo ještě zapotřebí aktivovat „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupu*. Zároveň došlo ke spuštění záznamu měřených hodnot rychlosti vozidla, otáček a momentu elektromotoru (z jednoty č. 51 - *Elektrický pohon*). Po zrychlení na rychlost 140 km/h se nastavil volič rychlosti do polohy N a vozidlo se nechalo bez brždění dojet až do zastavení.

Pro následné výpočty, které byly poskytnuty od vedoucího práce<sup>48</sup>, bylo zapotřebí dále zjistit informace ohledně průměru a ekvivalentní hmotnosti válců dynamometru, průměru a celkového momentu setrvačnosti kol vozidla, momentu setrvačnosti rotoru elektromotoru a převodového poměru zadního pohonu. Průměr a hmotnost válců dynamometru byly zjištěny z kalibračního protokolu z února 2022 pro zimní pneumatiky a z června 2023 pro letní pneumatiky. Průměr kola byl změřen na rovinném stání (po správném natlakování pneumatik) pomocí nádrhu. Moment setrvačnosti kol byl odhadnut na základě předchozích měření na kolech s podobnými rozměry, které byly provedeny ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě Dopravní fakulty Jana Pernera (VVCD DFJP).<sup>49</sup> Převodový poměr zadního pohonu je uveden v **tabulce č. 1** s technickými údaji vozidla a byl získán z podkladů od výrobce.<sup>50</sup> Vzhledem k tomu, že hodnota momentu setrvačnosti rotoru testovaného vozidla nebyla dohledatelná, byla použita hodnota z jiného vozidla, a to z modelu Tesla model S.<sup>51</sup>

<sup>48</sup> MAŠEK, Zdeněk. Výběhová zkouška Škoda Enyaq Coupé iV. 2023.

<sup>49</sup> MAŠEK, Zdeněk. Moment setrvačnosti kola. 2022.

<sup>50</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>51</sup> SIEKLUCKI, Grzegorz. An Investigation into the Induction Motor of Tesla Model S Vehicles [online]. 2018 [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Grzegorz-Sieklucki/publication/327191420\\_An\\_Investigation\\_into\\_the\\_Induction\\_Motor\\_of\\_Tesla\\_Model\\_S\\_Vehicle/links/5e2c370ba6fdcc70a14a9cfe/An-Investigation-into-the-Induction-Motor-of-Tesla-Model-S-Vehicle.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Grzegorz-Sieklucki/publication/327191420_An_Investigation_into_the_Induction_Motor_of_Tesla_Model_S_Vehicle/links/5e2c370ba6fdcc70a14a9cfe/An-Investigation-into-the-Induction-Motor-of-Tesla-Model-S-Vehicle.pdf)

Parametry pro výpočet vlastního odporu válcového dynamometru			
pneumatiky		letní	zimní
průměr válců dynamometru	$d_V$ [m]	0,5	
ekvivalentní hmotnost 1. válce dynamometru	$m_{V1}$ [kg]	326	328
ekvivalentní hmotnost 2. válce dynamometru	$m_{V2}$ [kg]	326	328
ekvivalentní hmotnost 3. válce dynamometru	$m_{V3}$ [kg]	322	323
ekvivalentní hmotnost 4. válce dynamometru	$m_{V4}$ [kg]	319	319
průměr kola	$d_K$ [m]	0,727	0,723
celkový moment setrvačnosti kol vozidla	$J_K$ [kg*m <sup>2</sup> ]	8	
moment setrvačnosti rotoru elektromotoru	$J_R$ [kg*m <sup>2</sup> ]	0,06	
převodový poměr zadního pohonu	$p$ [-]	12,976	

Tabulka 4 – Parametry pro výpočet vlastního odporu válcového dynamometru

Na základě těchto vstupních parametrů byly vypočteny následující hodnoty.

- ekvivalentní hmotnost válců dynamometru

$$m_V [kg] = m_{V1} [kg] + m_{V2} [kg] + m_{V3} [kg] + m_{V4} [kg] \quad (2)$$

- ekvivalentní hmotnost kol

$$m_K [kg] = \frac{J_K [kg \cdot m^2]}{\left(\frac{d_K [m]}{2}\right)^2} \quad (3)$$

- moment setrvačnosti rotoru elektromotoru vzadu přepočtený na osu kola

$$J_{RpK} [kg \cdot m^2] = J_R [kg \cdot m^2] \times p^2 [-] \quad (4)$$

- ekvivalentní hmotnost elektromotoru vzadu

$$m_P [kg] = \frac{J_{RpK} [kg \cdot m^2]}{\left(\frac{d_K [m]}{2}\right)^2} \quad (5)$$

- celková ekvivalentní hmotnost

$$m_C [kg] = m_V [kg] + m_K [kg] + m_P [kg] \quad (6)$$

- moment setrvačnosti válců dynamometru

$$J_V [kg \cdot m^2] = m_V [kg] \times \left(\frac{d_V [m]}{2}\right)^2 \quad (7)$$

- moment setrvačnosti kol vozidla přepočtený na osu válců

$$J_{KpV} [kg \cdot m^2] = m_K [kg] \times \left(\frac{d_V [m]}{2}\right)^2 \quad (8)$$

- moment setrvačnosti rotoru elektromotoru vzadu přepočtený na osu válců

$$J_{RpV} [kg \cdot m^2] = m_P [kg] \times \left(\frac{d_V [m]}{2}\right)^2 \quad (9)$$

- celkový moment setrvačnosti všech rotujících dílů přepočtený na osu válců

$$J_C [kg * m^2] = J_V [kg * m^2] + J_{KpV} [kg * m^2] + J_{RpV} [kg * m^2] \quad (10)$$

Otáčky elektromotoru  $n(k)$  změřené během výběhové zkoušky sériovou diagnostikou ODIS byly převedeny pomocí převodového poměru  $p$  a průměru kola  $d_k$  na rychlost (vzorec č. 11), protože takto vypočtená rychlost není zaokrouhlena na celá čísla, a je tak vhodnější pro následný výpočet zrychlení  $a$ , tedy v našem případě se jedná o zpomalení (vzorec č. 12).

$$v(k) [km/h] = 3,6 \times \frac{\pi \times d_k [m] \times \frac{n(k) [1/min]}{p [-]}}{60} \quad (11)$$

$$a(k) [m/s^2] = \frac{v(k) [km/h] - v(k-1) [km/h]}{(t(k) [s] - t(k-1) [s]) \times 3,6} \quad (12)$$

Z vypočtených hodnot zrychlení následně vypočteme průměrnou hodnotu zrychlení  $a(v)$  pro rychlosti 10, 20, 30, až 130 km/h, kdy hodnota zrychlení  $a(v)$  představuje průměrné zrychlení v rozsahu rychlostí  $v \pm 5$  km/h (např.  $a(50 \text{ km/h})$  vypočteme jako průměrné zrychlení v rozsahu rychlostí od 45 do 55 km/h). Z takto získaných průměrných hodnot zrychlení vypočteme pomocí vzorce č. 13 síly na kolech v absolutní hodnotě při odpovídající rychlosti  $v$ .

$$F(v) [N] = |a(v) [m/s^2] \times m_c [kg]| \quad (13)$$

Obdobným způsobem lze vypočítat sílu na kole přes úhlové zrychlení válců dynamometru.

$$\omega_V(k) [rad/s] = \frac{v(k) [km/h] \times 2}{3,6 \times d_V [m]} \quad (14)$$

$$\varepsilon(k) [rad/s^2] = \frac{\omega_V(k) [rad/s] - \omega_V(k-1) [rad/s]}{(t(k) [s] - t(k-1) [s])} \quad (15)$$

Z vypočtených hodnot úhlového zrychlení stejným způsobem jako u zrychlení vypočteme průměrnou hodnotu úhlového zrychlení  $\varepsilon(v)$  pro rychlosti 10, 20, 30, až 130 km/h, kdy hodnota úhlového zrychlení  $\varepsilon(v)$  představuje průměrné úhlové zrychlení v rozsahu rychlostí  $v \pm 5$  km/h (např.  $\varepsilon(100 \text{ km/h})$  vypočteme jako průměr úhlového zrychlení u rychlostí od 95 do 105 km/h). Z takto získaných průměrných hodnot úhlového zrychlení vypočteme pomocí vzorců č. 16 a 17 sílu na kolech v absolutní hodnotě při odpovídající rychlosti  $v$ .

$$M(v) [Nm] = \varepsilon(v) [rad/s^2] \times J_C [kg * m^2] \quad (16)$$

$$F(v) [N] = \left| \frac{M(v) [Nm]}{\left(\frac{d_V [m]}{2}\right)} \right| \quad (17)$$

Hodnoty síly působící na kolech vozidla vypočtené pomocí vzorců č. 13 a 17 musí být shodné. Výsledná hodnota představuje sílu, kterou dynamometr ve výběhové zkoušce brzdí kola vozidla při dané rychlosti.



### 2.1.2. Výpočet koeficientů jízdních odporů

Při jízdě vozidla po komunikaci jsou jízdní odpory  $F_{vozidla}$  jiné než při jízdě vozidla na válcovém dynamometru  $F_{válců}$ , proto koeficienty jízdních odporů vozidla (získané od kolegů z oddělení EGN) jsou použitelné pouze při jízdě vozidla po komunikaci. Je tedy nutné nastavit dynamometr tak, aby brzdil vozidlo takovými jízdními odpory  $F_C$ , které zaručí, aby vozidlo mělo na válcové dynamometru stejné jízdní odpory jako při jízdě po komunikaci. Dynamometr tedy musí kompenzovat rozdíl mezi jízdními odpory vozidla na komunikaci a na válcovém dynamometru, kde není vozidlo dynamometrem poháněno ani brzděno.

Během odlaďování programu před zahájením měření bylo zjištěno, že program válcového dynamometru nepočítá jízdní odpor ze všech tří koeficientů jízdních odporů A, B a C, ale pouze z koeficientů  $A_{lin}$  a  $B_{lin}$ . Bylo tedy potřeba přepočítat koeficienty jízdních odporů vypočtené kolegy z oddělení EGN pouze na koeficienty  $A_{lin}$  a  $B_{lin}$ , tedy vytvořit z parabolického průběhu závislosti síly na rychlosti pouze závislost lineární. Pomocí vzorce č. 18 byly vypočteny hodnoty jízdních odporů vozidla při daných rychlostech  $v$  (1. sloupec spodní části **tabulky č. 5**). Z těchto hodnot byly získány pomocí lineární aproximace koeficienty A a B, z nichž byly vypočteny pomocí vzorce č. 19 opět hodnoty jízdních odporů vozidla (2. sloupec následující tabulky). Ve 3. sloupci se nacházejí hodnoty odporů samotného válcového dynamometru vypočtené v předchozí podkapitole. Z těchto hodnot opět pomocí lineární aproximace získáme dva koeficienty, ze kterých vypočteme pomocí vzorce č. 19 odpory válcového dynamometru.

$$F(k)[N] = A[N] + B[N/(km/h)] \times v(k)[km/h] + C[N/(km/h)^2] \times v^2(k)[km/h] \quad (18)$$

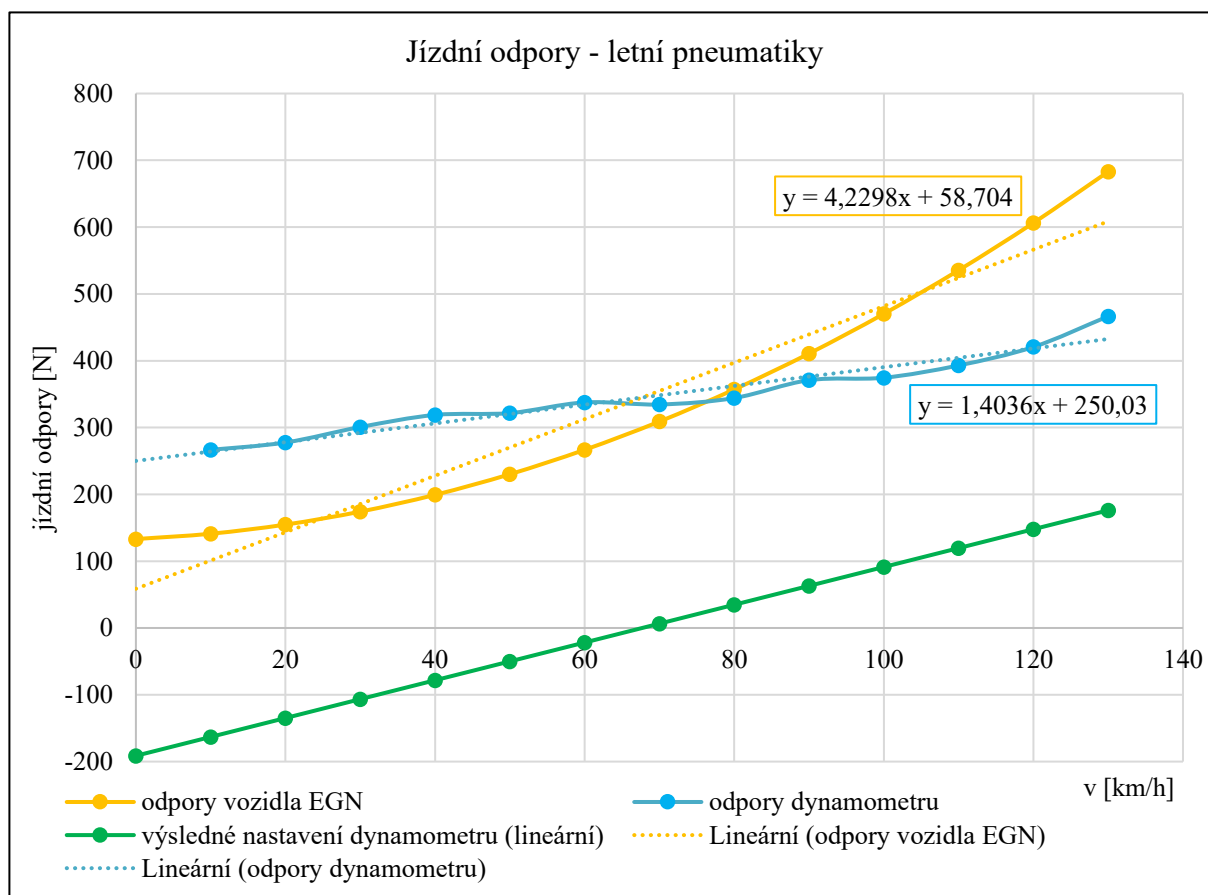
$$F(k)[N] = A_{lin}[N] + B_{lin}[N/(km/h)] \times v(k)[km/h] \quad (19)$$

Pro získání výsledných koeficientů jízdních odporů, které se zadají do programu dynamometru, se odečtou hodnoty jízdních odporů vozidla na dynamometru  $F_{válcůlin}$  od hodnot odporů vozidla  $F_{vozidla lin}$  a z výsledných odporů válců  $F_C$  dostaneme opět lineární aproximaci výsledné koeficienty jízdních odporů, které se zadávají do programu dynamometru, pouze s obráceným znaménkem.

$$F_C(k)[N] = F_{vozidla lin}(k)[N] - F_{válců lin}(k)[N] \quad (20)$$

letní pneumatiky	koefficienty jízdnicích odporů a odpory vozidla EGN	koefficienty jízdnicích odporů a odpory vozidla EGN (lineární)	odpory válcového dynamometru	koefficienty jízdnicích odporů a odpory válcového dynamometru (lineární)	výsledné nastavení dynamometru (lineární)
A [N]	133,1	58,7		250,0	-191,3
B [N/(km/h)]	0,51	4,230		1,404	2,826
C [N/(km/h) <sup>2</sup> ]	0,028614	0		0	0
v [km/h]	F <sub>vozidla</sub> [N]	F <sub>vozidla lin</sub> [N]	F <sub>válců</sub> [N]	F <sub>válců lin</sub> [N]	F <sub>C</sub> [N]
0	133,1	58,7		250,0	-191,3
10	141,1	101,0	266,7	264,1	-163,1
20	154,7	143,3	277,6	278,1	-134,8
30	174,2	185,6	300,8	292,1	-106,5
40	199,3	227,9	318,9	306,2	-78,3
50	230,1	270,2	321,7	320,2	-50,0
60	266,7	312,5	337,6	334,3	-21,8
70	309,0	354,8	334,5	348,3	6,5
80	357,0	397,1	344,2	362,3	34,8
90	410,8	439,4	370,9	376,4	63,0
100	470,2	481,7	374,6	390,4	91,3
110	535,4	524,0	393,0	404,4	119,6
120	606,3	566,3	420,6	418,5	147,8
130	683,0	608,6	466,5	432,5	176,1

Tabulka 5 – Koefficienty jízdnicích odporů a jízdnicí odpory



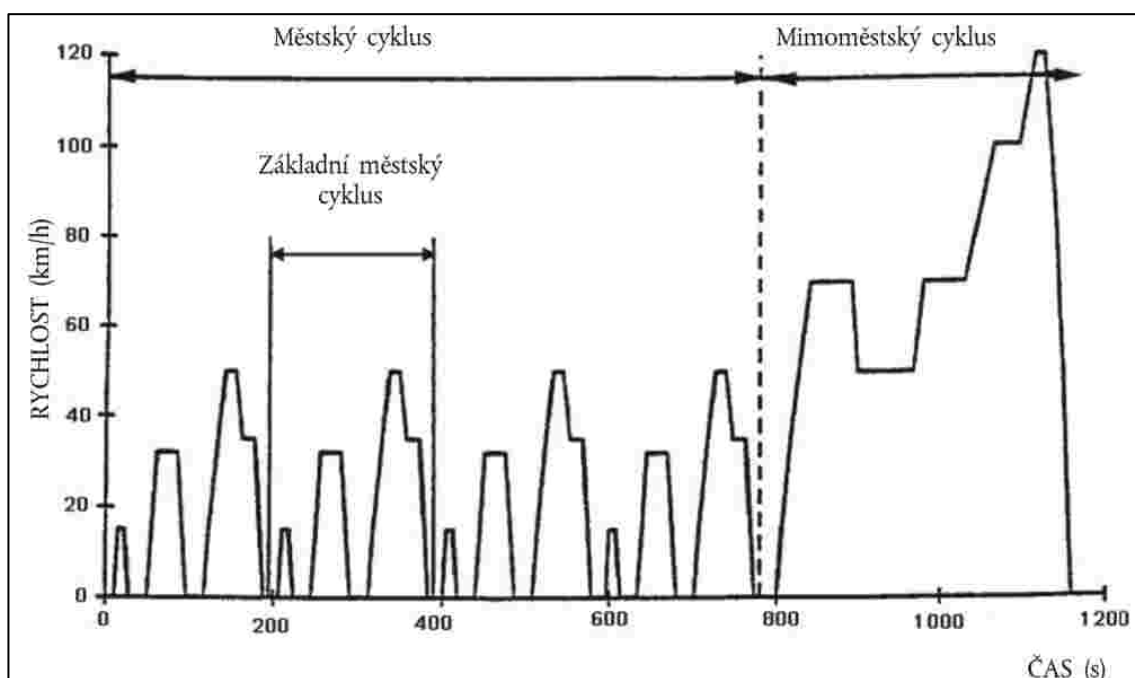
Graf 1 – Jízdnicí odpory

Hodnoty koeficientů jízdních odporů			
pneumatiky		letní	zimní
koeficienty jízdních odporů vozidla (vypočtené z EGN)	A [N]	133,1	182,4
	B [N/(km/h)]	0,51	0,51
	C [N/(km/h) <sup>2</sup> ]	0,028614	0,029630
koeficienty jízdních odporů zadávané do válcového dynamometru	A <sub>in</sub> [N]	+191,3	+296,3
	B <sub>in</sub> [N/(km/h)]	-2,826	-2,445
	C <sub>in</sub> [N/(km/h) <sup>2</sup> ]	0	0

*Tabulka 6 – Hodnoty koeficientů jízdních odporů*

## 2.2. Metodika NEDC

Normovaný jízdní cyklus NEDC (New European Driving Cycle), který byl zaveden Evropskou unií v roce 1992, je předepsaný jízdní cyklus, během něhož je měřena průměrná spotřeba a množství emisí všech osobních automobilů a lehkých užitkových vozů v laboratorním prostředí. Díky nutnosti dodržování daných podmínek během jízdního cyklu se jedná o parametr, s jehož pomocí lze jednotlivá vozidla mezi sebou porovnávat. Veškeré informace s postupem, podmínkami či jízdním profilem jsou uvedeny v předpisu Evropské hospodářské komise EHK OSN č. 101 – „Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorií M 1 a N 1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu“.<sup>52</sup>



Obrázek 16 – Jízdní cyklus NEDC<sup>53</sup>

Jízdní cyklus se skládá ze čtyř základních městských jízdních cyklů (4 x 195 sekund) a jednoho mimoměstského cyklu (400 sekund) a trvá celkem 1 180 sekund, tedy 19 minut

<sup>52</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>

<sup>53</sup> Předpis Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN) č. 101 ze dne 9. prosince 2010: Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorií M1 a N1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu. 2010.

a 40 sekund. Vozidlo během cyklu ujede celkovou vzdálenost 11 kilometrů průměrnou rychlostí 33 km/h. V závěru mimoměstského cyklu dosáhne rychlosti až 120 km/h. Je-li testované vozidlo vybaveno manuální převodovkou, jsou okamžiky řazení přesně definovány. Rozdílná dodatečná výbava vozidla, či aktivace klimatizace nejsou u této metody zohledňovány.<sup>54</sup>

---

<sup>54</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>

### 2.3. Celosvětový testovací standard WLTP

Celosvětový testovací standard WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures) je nový celosvětový testovací standard pro měření spotřeby a emisí CO<sub>2</sub>, který od 1. září 2017 nahradil předchozí metodiku NEDC. Ta dle průběžných přezkumů již neposkytovala skutečné informace o emisích a spotřebě paliva.<sup>55</sup> Metodika WLTP se skládá ze dvou druhů testovacích standardů, a to WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle) a RDE (Real Driving Emission).<sup>56</sup>

Parametr	NEDC	WLTP
doba jízdního cyklu [s]	1 180	1 800
ujetá vzdálenost [km]	10,9314	23,266
doba stání [s]	267	242
doba stání [%]	25	13
průměrná rychlost [km/h]	43,1	47
maximální rychlost [km/h]	120	131,3
nejvyšší zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	1,042	1,58
části cyklu	2 části (4x městská a 1x mimoměstská část)	4 části (Low, Medium, High, Extra-high)
okamžiky řazení	přesně definovány	řešeno individuálně
doplňková výbava	nezohledňuje se	zohledňuje se

Tabulka 7 – Srovnání parametrů metody NEDC a WLTP<sup>57 58 59</sup>

WLTC se provádí stejně jako NEDC na válcovém dynamometru, ovšem jízda probíhá dle zcela nových jízdních profilů. Ty byly vytvořeny na základě statické analýzy jízdních dat z celého světa a tedy více odpovídají běžnému silničnímu provozu.<sup>60</sup> V *NARÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017, kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady*

<sup>55</sup> NARÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. 2017.

<sup>56</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>

<sup>57</sup> ECE 15 + EUDC / NEDC. DieselNet: Engine & Emission Technology Online [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)

<sup>58</sup> Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). DieselNet: Engine & Emission Technology Online [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>

<sup>59</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>

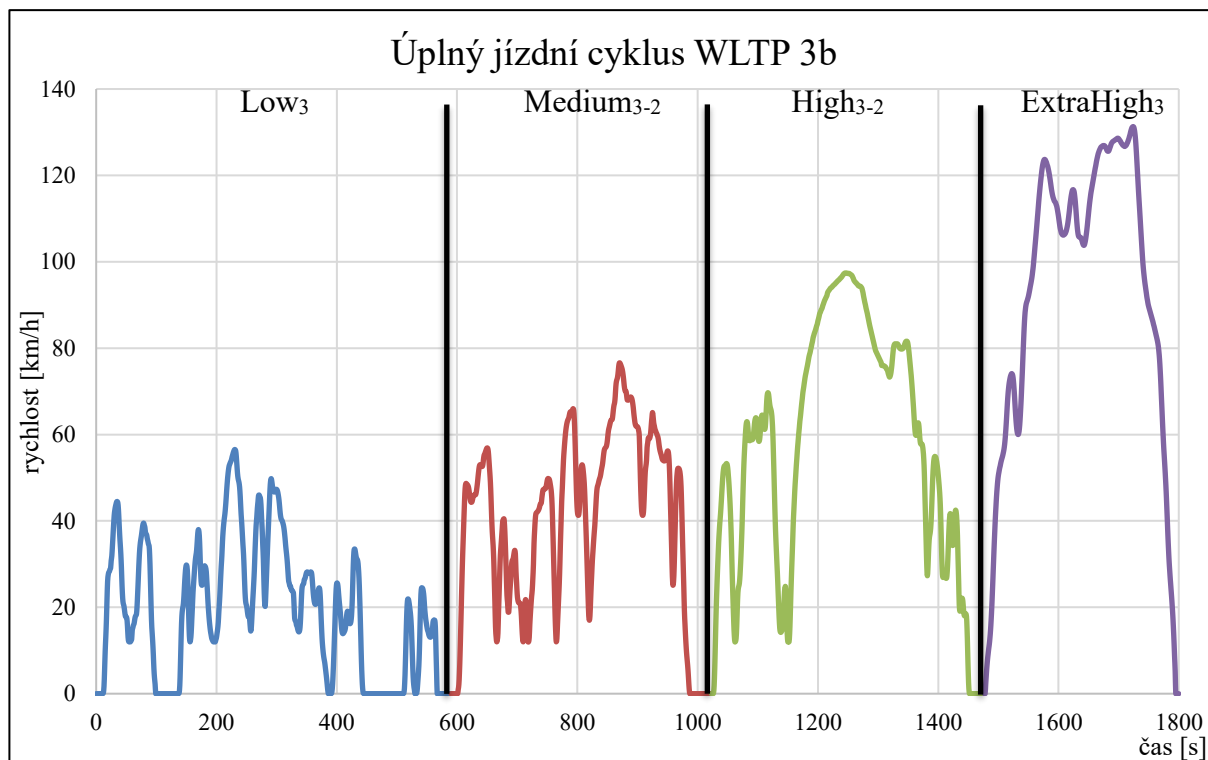
<sup>60</sup> Tamtéž.

2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008 nalezneme všechny potřebné informace, podmínky a postupy celého testovacího procesu. Jednou z podmínek je například to, že teplota v místnosti s válcovým dynamometrem je stanovena na 23 °C, s povolenou odchylkou ±5 °C. Dále tam nalezneme i klíč, dle kterého se testované vozidlo zařadí do jedné ze tří klasifikačních tříd dle poměru výkonu ku provozní hmotnosti vozu. U vozidel spadajících do třídy 1, kde je poměr menší nebo roven 22 W/kg, se úplný jízdní cyklus skládá z fáze s nízkou rychlostí (Low<sub>1</sub>), střední rychlostí (Medium<sub>1</sub>) a znovu z fáze s nízkou rychlostí (Low<sub>1</sub>). U vozidel spadajících do třídy 2, kdy poměr spadá do intervalu 22–34 W/kg, se úplný jízdní cyklus skládá z fáze s nízkou rychlostí (Low<sub>2</sub>), střední rychlostí (Medium<sub>2</sub>), následuje fáze s vysokou rychlostí (High<sub>2</sub>) a na závěr fáze s mimořádně vysokou rychlostí (Extra High<sub>2</sub>). U vozidel 3. třídy, kde je poměr vyšší než 34 W/kg, se vozidla dále dělí do dvou podskupin dle jejich maximální rychlosti. Podskupina 3a je pro vozidla s maximální rychlostí do 120 km/h a podskupina 3b je pro vozidla s maximální rychlostí větší nebo rovno 120 km/h. Úplný jízdní cyklus je u těchto dvou podskupin téměř shodný, tedy fáze s nízkou rychlostí (Low<sub>3</sub>), střední rychlostí (Medium<sub>3-1</sub> nebo Medium<sub>3-2</sub>), vysokou rychlostí (High<sub>3-1</sub> nebo High<sub>3-2</sub>) a mimořádně vysokou rychlostí (Extra High<sub>3</sub>). Všechny fáze mají stejnou délku jízdy, tedy fáze Low trvá vždy 589 sekund, Medium 433 sekund, High 455 sekund a ExtraHigh 323 sekund.<sup>61</sup> Úplný jízdní cyklus pro vozidla podskupiny 3b, do které spadá i náš Enyaq, trvá celkově 1800 sekund a vozidlo ujede dráhu přibližně 23,266 km, tedy téměř dvojnásobnou vzdálenost oproti jízdnímu cyklu v metodice NEDC, průměrnou rychlostí 47 km/h. Průběh tohoto jízdního cyklu je zobrazen na **grafu č. 2**, kde jsou použity hodnoty rychlostí z NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151. Jelikož je u této metodiky zohledňována nejen hmotnost vozidla, různé kombinace pohonného agregátu a převodovky, ale i například stupeň výbavy či prvky doplňkové výbavy, jedná se o poměrně časově náročný proces.<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. 2017.

<sup>62</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>



Graf 2 – Úplný jízdní cyklus WLTP 3b<sup>63</sup>

RDE se provádí během jízdy v reálném provozu, kdy jsou měřeny emise pomocí přenosného systému pro měření emisí, který je připevněn na vozidle. Během testu musí být dodrženy předepsané podmínky, například že trasa musí z jedné třetiny vést po městských komunikacích, z jedné třetiny po komunikacích mimo město, konečně poslední třetina trasy musí vést po dálnici. Ke každé části trasy je dána průměrná a maximální rychlost. Tato jízda trvá od 90 do 120 minut.<sup>64</sup>

Pro měření závislosti měrné spotřeby energie jsem použil právě metodu WLTP, tedy pouze její část, a to úplný jízdní cyklus WLTC. Tento jízdní cyklus je dobře reprodukovatelný, vystihuje běžný silniční provoz ve městě, mimo město a po dálnici a naměřené hodnoty lze porovnat například s hodnotami udávanými výrobcem.

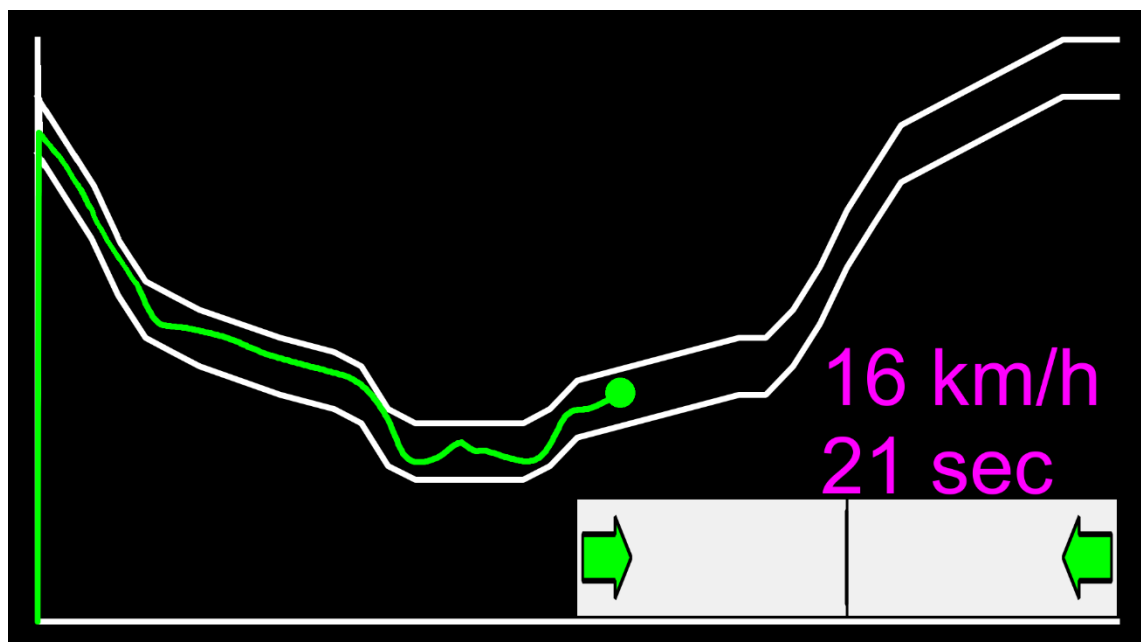
<sup>63</sup> NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. 2017.

<sup>64</sup> WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>



## 2.4. Nastavení WLTC jízdní křivky na válcovém dynamometru

Náš válcový dynamometr na hale Řízení kvality disponuje možností definovat jakýkoliv průběh jízdní křivky. Mohl jsem tedy zadat přesný průběh úplného jízdního cyklu WLTP 3b dle tabulky A1/7, A1/9, A1/11 a A1/12 z Nařízení komise 2017/1151. V této tabulce je ke každé sekundě přiřazena přesná rychlost, kterou má vozidlo v aktuální sekundě jízdy jet. Průběh jízdní křivky je zobrazován na monitoru před vozidlem. Úplný jízdní cyklus jsem musel rozdělit do několika jízdních křivek, zpravidla po 40 sekundách, aby byla jízdní křivka dobře čitelná, protože je na monitoru zobrazena vždy celá jízdní křivka a nedochází k jejímu postupnému posouvání.



Obrázek 17 – Snímek z monitoru dynamometru během jízdní křivky WLTC

Parametry, které bylo zapotřebí zadat do programu dynamometru, jsou následující:

- OutOfRangeTime – čas, po který může být skutečná rychlost mimo toleranční pásmo. Zde jsem zvolil raději maximální možnou hodnotu, tedy 40 000 ms, aby náhodou nedošlo k ukončení jízdy ani při jízdě mimo toleranční pásmo po celou dobu jízdní křivky. Tato situace naštěstí nikdy nenastala. Občas jsem sice na okamžik vyjel z tolerančního pásma, ale vcelku lehce bylo možné se do tolerančního pásma vrátit zpět.
- AccelerationCurve – číslo příslušné jízdní křivky, která se definuje v podokně programu, kde je zadána ke každé sekundě požadovaná rychlost. Úplná jízdní křivka byla rozdělena celkem na 42 jízdních křivek, převážně dlouhých 40 sekund.

- Tolerance – tento parametr je zmíněn v Nařízení komise 2017/1151, v bodu č. 1.2.6.6. *Dovolené odchylky od křivky rychlosti*, kde je psáno:
  - „a) horní mez: o 2,0 km/h vyšší než nejvyšší bod křivky v rozmezí ±1,0 sekundy od daného bodu v čase;
  - b) dolní mez: o 2,0 km/h nižší než nejnižší bod křivky v rozmezí ±1,0 sekundy od daného času.“<sup>65</sup>

S menším zjednodušením a přihlédnutím na možnosti nastavení dynamometru tedy mohu říct, že rozdíl mezi skutečnou a požadovanou rychlostí nesmí být větší než 2 km/h.

- Road simulation settings – koeficienty A a B jízdních odporů, které byly vypočteny na základě odporů samotného vozidla, tak válcového dynamometru v kapitole 2.1. *Jízdní odpory vozidla*.

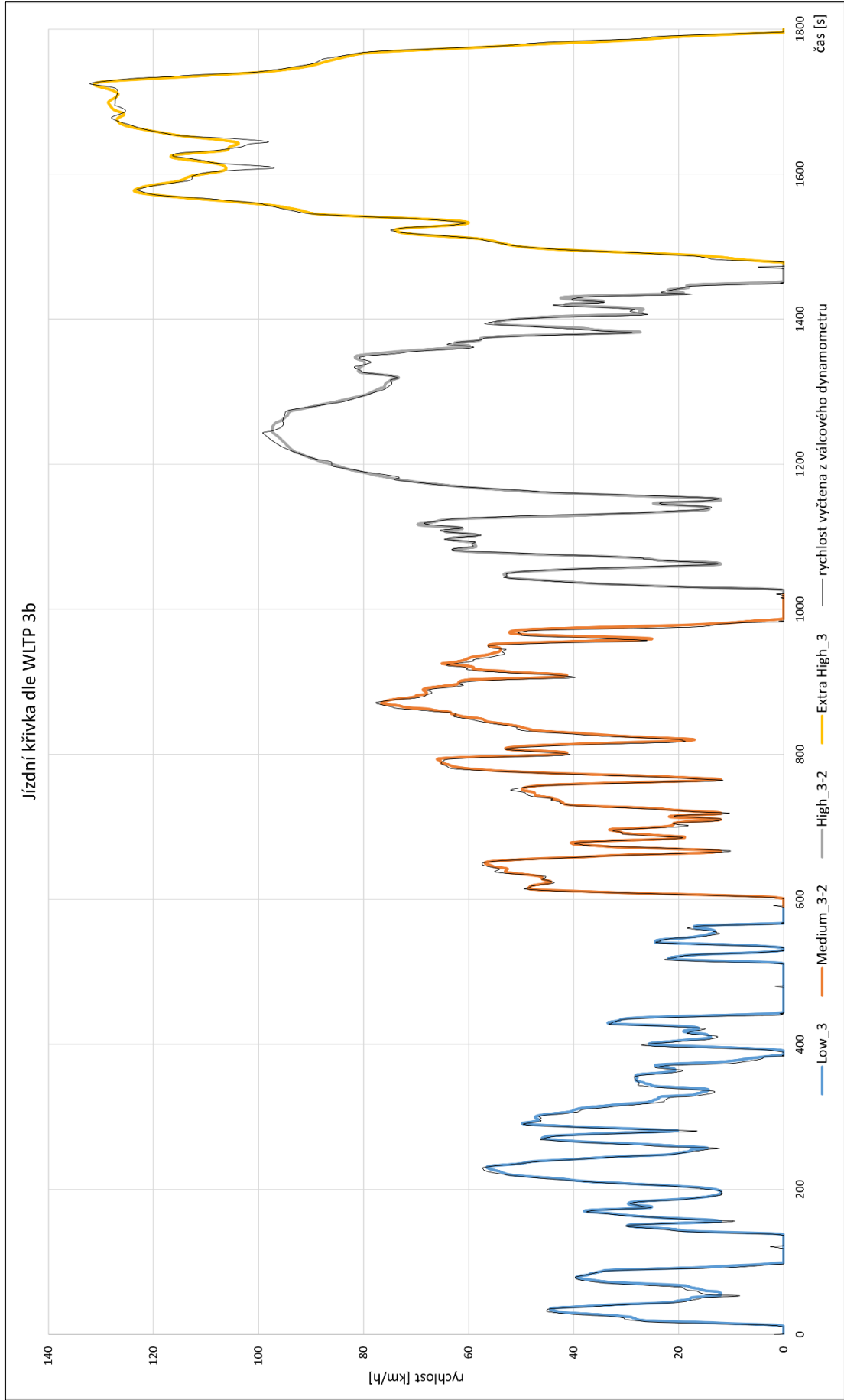
ID	OutOfRangeTime	AccelerationCurve	Tolerance	A	B	C
200_wLTC_3_ExtraHigh3_01	400000	71	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_ExtraHigh3_02	400000	72	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_ExtraHigh3_03	400000	73	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_ExtraHigh3_04	400000	74	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_ExtraHigh3_05	400000	75	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_ExtraHigh3_06	400000	76	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_01	400000	51	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_02	400000	52	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_03	400000	53	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_04	400000	54	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_05	400000	55	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_06	400000	56	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_07	400000	57	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_08	400000	58	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_09	400000	59	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_10	400000	60	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_High3b_11	400000	61	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_Low3_01	400000	10	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_Low3_02	400000	11	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_Low3_03	400000	12	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000
200_wLTC_3_Low3_04	400000	13	2.000000000	191.300000000	-2.826000000	0.000000000

Obrázek 18 – Nastavení jízdní křivky

V následujícím **grafu č. 3** je přesný průběh úplného jízdního cyklu WLTP 3b z Nařízení komise 2017/1151 a zaznamenaný průběh jedné jízdní křivky. Tyto hodnoty jsou vyčteny přímo z hodnot, co si zaznamenává dynamometr. V grafu si můžeme všimnout, že se na 6 místech

<sup>65</sup> NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. 2017.

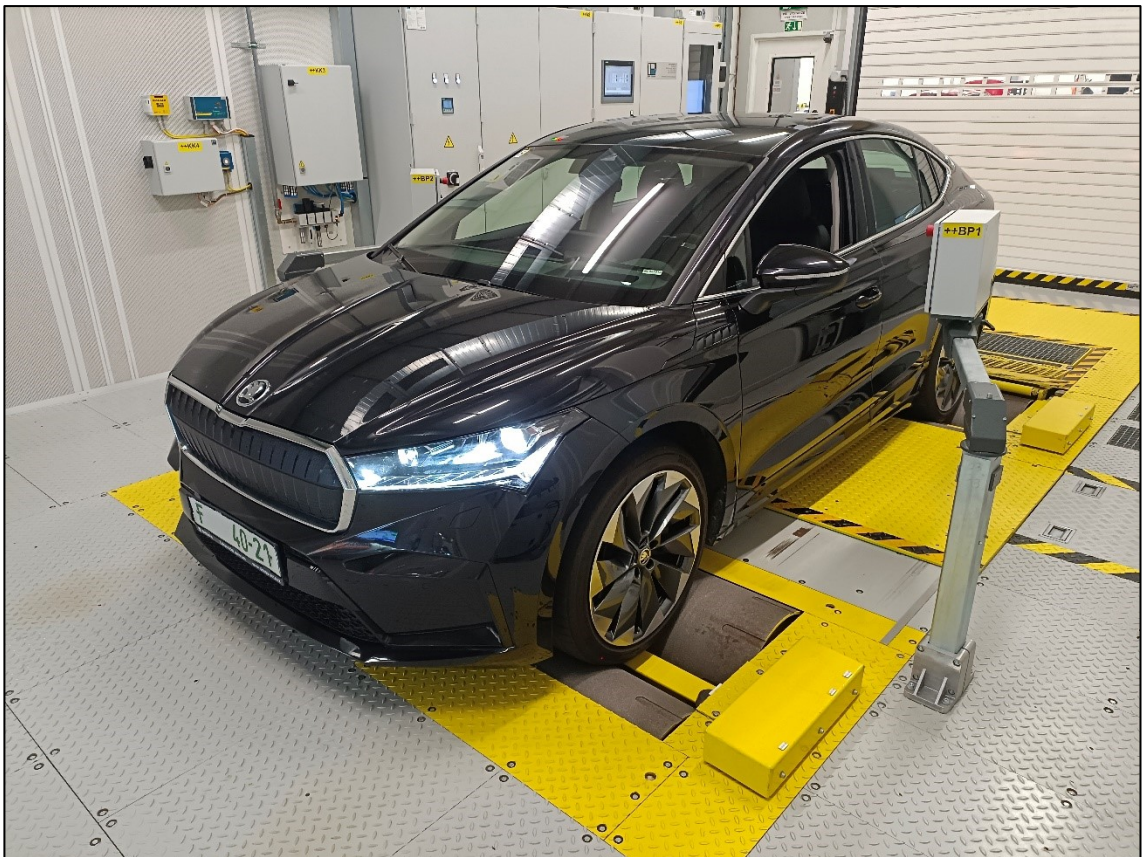
u nulové rychlosti hodnoty liší. To je způsobeno tím, že v případě, kdy jízdní křivka začíná v rychlosti 0 km/h, je potřeba dát dynamometru signál, že jízda může začít. Jako spouštěcí signál je požadováno pootočení kol vozidla, tedy chvilkové rozjetí vozidla na rychlost cca 2 km/h. Dále lze zpozorovat, že na dvou místech, v 1 610 a 1 645 sekundě, jsou znovu rychlosti výrazně odlišné. To je opět způsobeno omezeným intervalem rychlosti pro spouštěcí signál, který má nejen dolní mez, ale i horní. Spouštěcí signál akceptovatelný naším válcovým dynamometrem je v intervalu  $0 < v \leq 100$  km/h. Znamená to tedy, že v místě, kdy vyšla rychlost na začátku jízdní křivky vyšší než 100 km/h, musela být rychlost snížena na horní hranici intervalu za předpokladu potřebného reálného zpomalení, či zrychlení na předepsanou rychlost.



Graf 3 – Jízdní křivka WLTP 3b

### 3. Měření na vozidle

Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, měření probíhalo na elektromobilu Škoda Enyaq Coupé iV 80. Všechna měření proběhla na hale Řízení kvality Škoda Auto, protože s elektromobilem nebylo možné opustit výrobní závod a provádět tak měření na veřejné pozemní komunikaci. Převážná většina měření tak probíhala na válcovém dynamometru, který nám simuloval jízdu po pozemní komunikaci. Zároveň je výhodou to, že měření na válcovém dynamometru je reprodukovatelné a bylo možné dodržet shodný jízdní profil, počáteční podmínky i podmínky okolní. Ostatní měření probíhala na hale, případně před halou Řízení kvality, kde jsou umístěny DC nabíjecí stanice pro elektromobily.



*Obrázek 19 – Enyaq na válcovém dynamometru*

Protože má Enyaq několik asistenčních či bezpečnostních systémů, které hlídají okolí vozidla nebo například kontrolují shodné otáčky kol během akcelerace nebo brždění (systém ASR a ESP), je potřeba u těchto systémů jejich funkci omezit, případně je zcela deaktivovat. K tomu slouží funkce „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupů*, který je navržen přímo pro takoveto situace, kdy je vozidlo umístěno na válcovém dynamometru a probíhají na něm různá měření a zkoušky.

Přizpůsobení/parametry	RDID	Aktuální hodnota	Zadání	Jedno...
Režim válcové zkušební stolice, funkční	S04FB	aktivováno	aktivováno	
Výrobní režim	S04FE			
Deaktivace výrobního režimu	S04FC			
Aktivace a deaktivace všech vývojových odezví	S0902			
Statická kalibrace, příprava	S0A78			
Statická kalibrace, následná příprava	S47C1			
Volba základního nastavení vzdálenosti	S2575			
Priorizované zobrazení cílového objektu	S2AC0			
Změna vzdálenosti prostřednictvím nastavení rychlosti	S2ABF			
prediktivní regulace limitu rychlosti	S0B73			
[VO] Monitoring and FRKL masking	S0501			
Funkce aktivních účastníků aktivována	S0C92			
Korekční úhel	S0500			
korekční úhel poslední události	S49D8			
snížený výkon radaru	S0BCB			
Ochrana komponent, klíč SHE	S02C5			
Klíč IKA	S00BE			

Obrázek 20 – Nastavení Režimu válcové zkušební stolice pomocí ODISu

### 3.1. Použité přístroje pro získání měřených hodnot

Pro získávání téměř všech potřebných hodnot byla využívána sériová diagnostika ODIS Engineering. Tabulku těchto hodnot nalezneme v **příloze C**, kde je uveden celý název měřené hodnoty v ODISu, dále případný výpočet či popis veličiny a veličina která byla vyčítáním, případně výpočtem, získána. V tabulce jsou i některé veličiny, které během měření nebyly použity, ale uznal jsem za vhodné je v tabulce uvést. V ojedinělých případech, během měření v kapitole **3.9. Vyhřívání sedadla řidiče**, byla využita paralelní diagnostika v podobě automobilového osciloskopu TEXVIK společně s proudovými klešti Fluke i30s. Dále byl během dvou měření použit termický anemometr testo 405i, kterým byla měřena teplota.

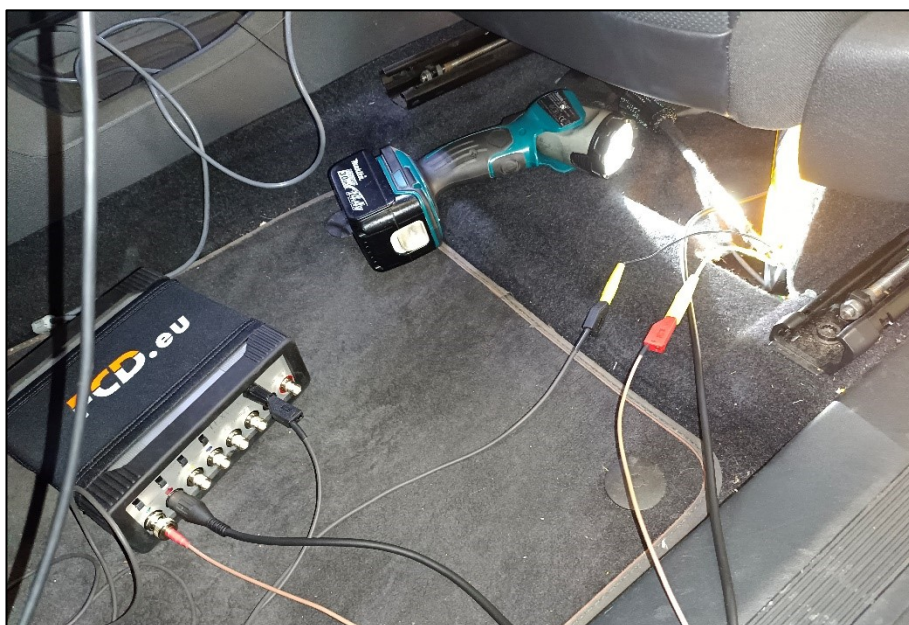
#### 3.1.1. ODIS Engineering

ODIS Engineering (Offboard Diagnostic Information System Engineering) je sériová diagnostika využívaná pro vozidla v rámci koncernu Volkswagen. Počítač, na kterém je diagnostický program nainstalován, se s vozidlem propojuje přes diagnostickou hlavu VAS 6154 zapojenou ve standardizované diagnostické zásuvce OBD-II, která je umístěna u nohou řidiče uvnitř vozu. Propojení počítače a diagnostické hlavy lze dvojnásobným způsobem, tedy pomocí USB kabelu, nebo bezdrátové technologie WiFi. Ovšem u modelu Enyaq iV a Enyaq Coupé iV je při použití diagnostické hlavy VAS 6154 podporováno pouze propojení pomocí USB kabelu. Diagnostiku je možné použít pouze pro vozidla v rámci výroby, případně vozidla nulté série, protože pro vozidla v rámci prodejní a servisní sítě je určena jiná verze programu s názvem ODIS Service. Diagnostikou lze provádět základní diagnostické funkce, tedy například: vyčítání a mazání paměti závad, vyčítání měřených hodnot, testy akčních členů, základní nastavení jednotek, identifikace řídicích jednotek. Lze provádět i pokročilé diagnostické funkce, jako například kódování, přizpůsobení či flash řídicích jednotek.

Během měření na diplomové práci byl ODIS Engineering využíván především k vyčítání a záznamu měřených hodnot z několika jednotek. Vzorkovací frekvence vyčítání měřených hodnot nebyla stále stejná a odvíjela se nejen od množství měřených hodnot, ale i od toho, z kolika řídicích jednotek byly hodnoty vyčítány.

### 3.1.2. FCD TEXVIK DS

Automobilový osciloskop TEXVIK od firmy FCD slouží ke sledování, záznamu a následné analýze analogového signálu. Záznam probíhá přes nainstalovaný program SRecorder na počítači připojeném přes USB k osciloskopu. Pro měření lze využít až osm analogových vstupů, u kterých je maximální vzorkovací frekvence 12,5 MHz na jeden kanál. První 4 vstupy jsou doplněny přepínatelným vstupním děličem mezi 1:1 a 1:10, který je schopen, z původní maximální amplitudy vstupního impulsu  $\pm 6 \text{ V} / \pm 30 \text{ V}$  s krokem 7,3 mV, posunout maximální amplitudu vstupního signálu o jeden řád nahoru, tedy  $\pm 60 \text{ V} / \pm 300 \text{ V}$  s krokem 73 mV. Vstupní odpor jednotlivých vstupů má hodnotu 1 M $\Omega$ . Během měření lze využít režim synchronizace k libovolnému kanálu osciloskopu.<sup>66</sup>



Obrázek 21 – Využití FCD TEXVIK DS během měření

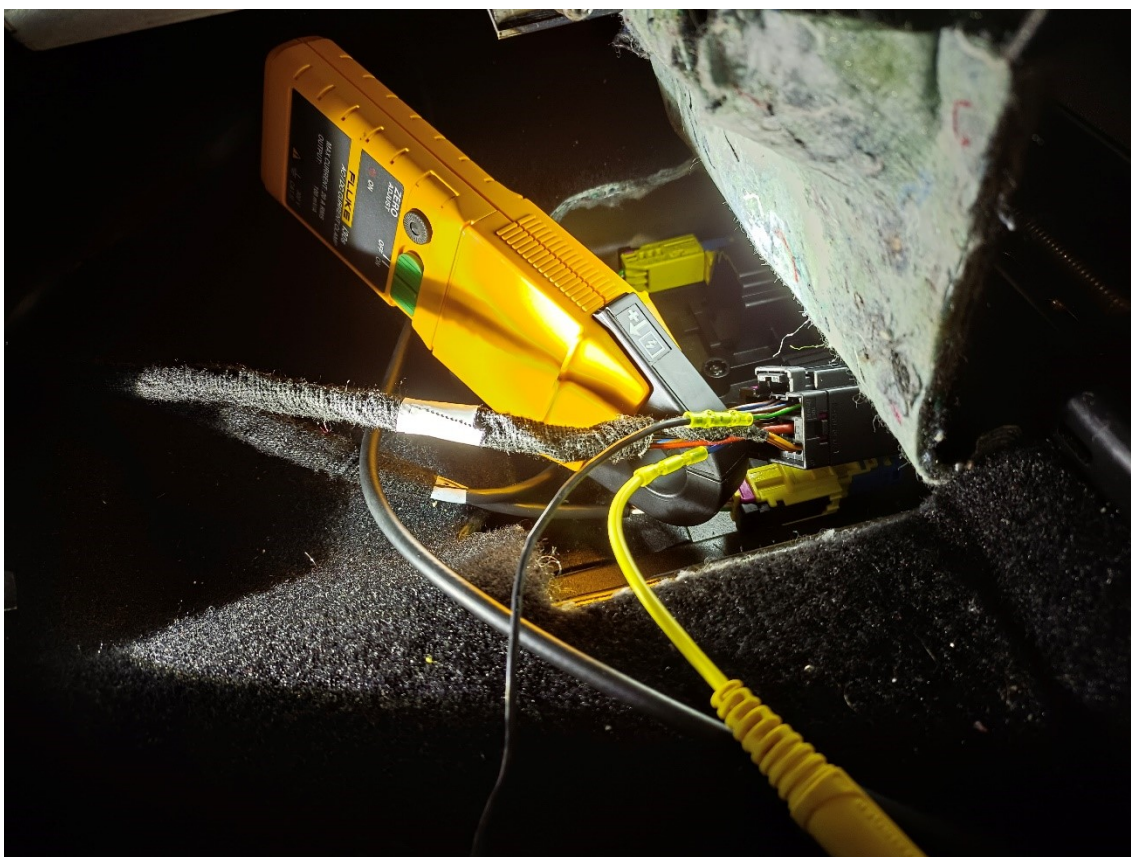
TEXVIK byl použit během měření v kapitole 3.9. *Vyhřívání sedadla řidiče*, kde se pomocí napichovacích konektorů měřilo napětí a za pomoci proudových kleští Fluke i30s proud tekoucí do vyhřívání sedadla řidiče.

<sup>66</sup> IHR TECHNIKA s.r.o. Signal Recorder TEXVIK: Návod k použití. 2011.



### 3.1.3. Proudové kleště Fluke i30s

Proudové kleště Fluke i30s jsou určeny k měření střídavého i stejnosměrného proudu (až do frekvence 100 kHz), který teče izolovaným vodičem. Pro měření je využit princip Hallova jevu, proto nedochází k rozpojení měřeného obvodu. Proudové kleště lze připojit k libovolnému osciloskopu pomocí konektoru BNC, kde je citlivost na výstupu 100 mV/A. Jmenovité hodnoty proudového rozsahu jsou 30 mA až 30 A pro stejnosměrný proud a 30 mA až 20 A pro efektivní hodnotu střídavého proudu. Přesnost během měření DC proudu má být  $\pm 1\%$  z měřené hodnoty  $\pm 2$  mA. Během měření AC proudu je přesnost měření obdobná, tedy  $\pm 0,5$  dB z měřené hodnoty  $\pm 2$  mA. Všechny hodnoty jsou vyčítány s rozlišením  $\pm 1$  mA. O napájení Hallova snímače se stará 9 V alkalická baterie.<sup>67</sup>

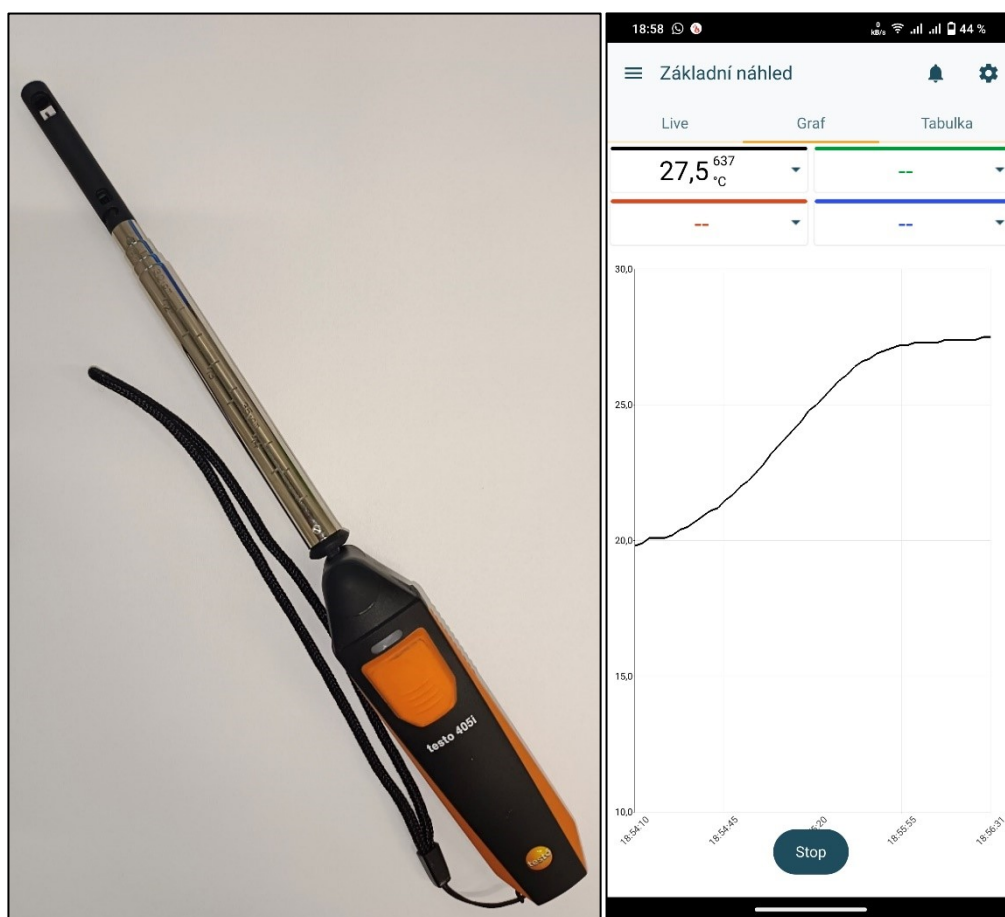


Obrázek 22 – Využití proudových kleští Fluke i30s během měření

<sup>67</sup> TECHNICKÉ ÚDAJE: Proudové kleště Fluke i30s AC/DC. Měřicí přístroje Fluke [online]. 2023 [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/flk-230019-cs-naam-i30s-current-clamp-ds-w.pdf?iBTsYA8gmb9W1uhTM5sUp2NHuuUMDKf3>

### 3.1.4. Termický anemometr testo 405i

Termický anemometr testo 405i disponuje měřením rychlosti proudění, teploty a objemového průtoku vzduchu. Tělo sondy, vážící 119 g, je se snímačem spojeno pomocí teleskopické tyčky, kterou lze roztáhnout až na 400 mm. Pro měření rychlosti proudění vzduchu je využit žhavicí drátek, který je schopen měřit v rozsahu rychlostí od 0 až do 30 m/s. V případě měření teploty vzduchu je využita technologie NTC (Negative Temperature Coefficient) termistoru, který je schopen měřit teplotu s přesností  $\pm 0,5$  °C, a to v rozsahu od -20 do +60 °C. Jelikož anemometr nemá žádný displej, lze ho připojit k mobilnímu telefonu či tabletu pomocí bezdrátové technologie Bluetooth, ve kterém jsou aktuální měřené hodnoty zobrazovány a případně zaznamenávány do paměti mobilního zařízení. Je ovšem zapotřebí mít v mobilním zařízení nainstalovanou aplikaci testo Smart App. Měřené hodnoty jsou vyhodnocovány 1x za sekundu s rozlišovací schopností 0,1 °C pro teplotu a 0,01 m/s pro rychlost. Záznam se ukládá ve formátu .csv.<sup>68</sup>



Obrázek 23 – Anemometr testo 405i a ukázka aplikace testo Smart App

<sup>68</sup> Testo 405i – termický anemometr ovládaný chytrým telefonem. Testo, s.r.o. [online]. [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-405i/p/0560-1405>

Anemometr byl použit během měření v kapitole 3.8. *Vyhřívání kabiny*, kdy jím byla měřena teplota uvnitř kabiny. Dále byl využit pro doplňkové měření teploty pneumatik během měření vlivu tlaku pneumatik na spotřebu elektrické energie v kapitole 3.3. *Vliv tlaku pneumatik na spotřebu*.



Obrázek 24 – Využití anemometru testu 405i během měření

## 3.2. Měrná spotřeba elektrické energie

### 3.2.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jaká je měrná spotřeba elektrické energie elektromobilu Enyaq Coupé iV během jízdy v jízdním cyklu dle WLTP na válcovém dynamometru a porovnat tyto hodnoty s hodnotami měrné spotřeby udávané výrobcem. Jelikož měření probíhalo v zimních i letních měsících, bylo možné měrnou spotřebu změřit pro letní i zimní pneumatiky.

### 3.2.2. Průběh měření

Měření probíhalo převážně v ranních hodinách, kdy byl elektromobil i válcový dynamometr přes noc v nečinnosti, a bylo tak možné dodržet shodné počáteční podmínky. Předchozí den před odchodem z práce a před začátkem měření byl zkontrolován tlak v pneumatikách pomocí vzduchové pistole s manometrem, zda odpovídá požadovanému tlaku udávanému výrobcem elektromobilu. Ten je uveden na štítku nalepeném na B sloupku na straně řidiče, který je viditelný po otevření dveří. Pro naše měření byly použity hodnoty z prvního a třetího řádku prvních dvou sloupců, tedy ne plně zatížené vozidlo. Tlak pneu je pro zimní i letní pneumatiky totožný, ačkoli byly použity pneumatiky o jiných rozměrech.

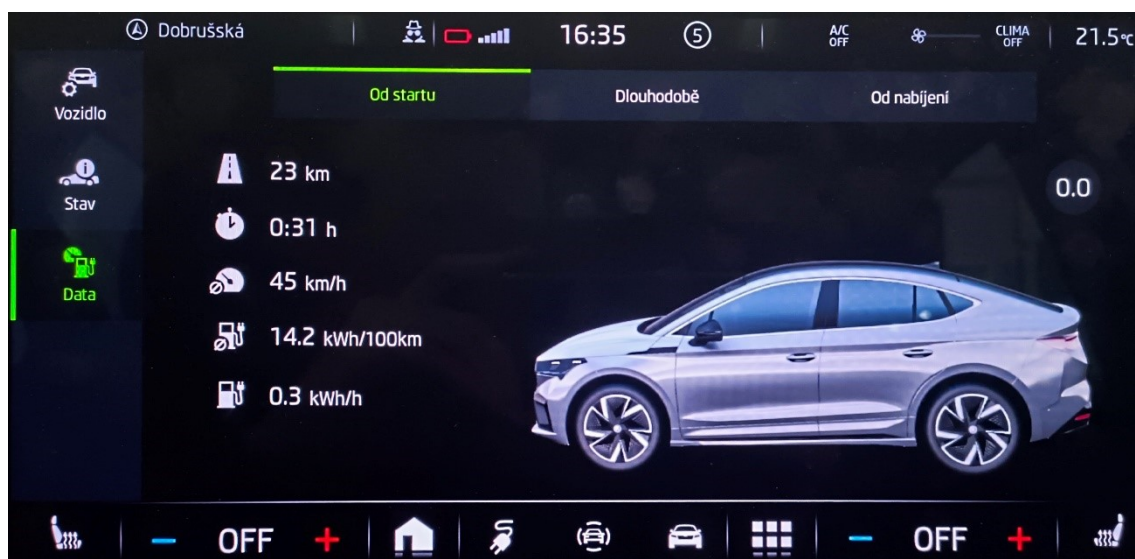
	bar / бар		145/80 R19 3,2 bar/бар	
	[2 people]		[4 people]	
R19	2,5	2,7	3,0	3,5
R20	2,5	2,7	2,7	3,3
R21	2,5	2,7	2,7	3,1

SKODA AUTO a.s. 5LA.010.000.K

Obrázek 25 – Štítek s tlakem pneumatik

Před najetím na válcový dynamometr bylo ještě zapotřebí deaktivovat klimatizaci vozidla přes infotainment a aktivovat „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupu*. Následně mohla být spuštěna zahřívací jízda v podobě jízdy konstantní rychlostí 50 km/h na válcovém dynamometru po dobu 30 minut. I když vozidlo disponuje adaptivním tempomatem, který by si hlídal nastavenou rychlost 50 km/h,

na válcovém dynamometru ho využít nelze, a to kvůli aktivovanému režimu válcové zkušební stolice. Vyřešil jsem to tedy tím způsobem, že jsem si nastavil omezovač rychlosti na rychlost 54 km/h (rychlost odpovídající rychlosti 50 km/h v řídicí jednotce vozidla i rychlosti zobrazené na monitoru válcového dynamometru), a po celou dobu zahřívací jízdy jsem měl plynový pedál sešlápnutý zhruba v polovině své dráhy. Tímto způsobem si vozidlo drželo stálou konstantní rychlost a nemusel jsem rychlost regulovat plynovým pedálem. Časová délka zahřívací jízdy byla nastavena v programu válcového dynamometru, proto po uplynutí 30 minut se program sám ukončil a vyzval mě k zastavení vozidla. Následovala 15minutová bezpečnostní pauza, jelikož 30minutová jízda konstantní rychlostí na válcovém dynamometru je poměrně únavná. Po uplynutí této bezpečnostní pauzy přišlo to hlavní, tedy projetí úplné jízdní křivky dle WLTP 3b (**graf č. 3**). Po spuštění programu a najetí na válcový dynamometr byly pomocí ODISu vyčteny z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla* hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení a byla vynulována data měření spotřeby a ujeté vzdálenosti od startu v infotainmentu vozidla. Zároveň byl spuštěn záznam měřených hodnot proudu a napětí na VN baterii (z jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*), otáček a momentu elektromotoru (z jednotky č. 51 - *Elektrický pohon*) a proudu a napětí v meziobvodu z téže jednotky Elektrického pohonu. Záznam těchto měřených hodnot byl ukončen až po projetí úplné jízdní křivky WLTP 3b (**graf č. 3**). Zároveň byly znovu vyčteny z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla* hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení a zaznamenána data z infotainmentu o průměrné spotřebě, délce trasy a průměrné rychlosti.



Obrázek 26 – Data s informacemi o jízdě z infotainmentu

### 3.2.3. Zjištěné hodnoty měření

Naměřené hodnoty měrné spotřeby								
pneumatiky	Měrná spotřeba [kWh/100km]				Odebraná energie z VN baterie [kWh]		Dodaná energie do VN baterie [kWh]	
	z počítadel energií	UxI VN baterie	Ø předchozích dvou sloupců	infotainment	z počítadel energií	UxI VN baterie	z počítadel energií	UxI VN baterie
Zimní	14,639	14,202	14,421	14,500	4,424	4,301	1,018	0,996
	15,005	15,114	15,059	14,800	4,476	4,388	0,985	0,872
	14,394	14,211	14,303	14,200	4,418	4,344	1,069	1,037
	14,351	14,585	14,468	14,200	4,361	4,324	1,022	0,931
	Prům. měrná spotřeba:			14,397 kWh/100km	Prům. podíl rekuperované energie		23,2 %	
Letní	12,654	12,820	12,737	12,500	4,293	4,226	1,349	1,243
	12,404	12,520	12,462	12,300	4,261	4,245	1,375	1,332
	12,022	11,800	11,911	12,000	4,159	4,079	1,362	1,333
	12,447	12,260	12,354	12,300	4,260	4,176	1,364	1,324
	Prům. měrná spotřeba:			12,366 kWh/100km	Prům. podíl rekuperované energie		31,7 %	

Tabulka 8 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby

V tabulce č. 8 jsou naměřené hodnoty měrné spotřeby během jízd dle úplné jízdní křivky WLTP 3b s vypnutou klimatizací a s nastavením jízdních odporů odpovídajícím jízdě po rovině. Celkem jsem zajel 4 jízdy se zimními a 4 jízdy s letními pneumatikami. V případě zimních pneumatik vyšla v druhém měření měrná spotřeba z neznámého důvodu výrazně vyšší, proto jsem toto měření do celkové průměrné spotřeby nezahrnul.

Během každé jízdy jsem získal celkem tři hodnoty měrné spotřeby, a to jednu hodnotu zobrazenou v infotainmentu vozidla a dvě hodnoty vypočtené z hodnot získaných z jednotek vozidla pomocí výpočtu dle vzorce č. 25 a 26. Pro získání průměrné měrné spotřeby jsem vypočítal průměrnou hodnotu ze dvou různě vypočítaných hodnot měrné spotřeby z každé jízdy (hodnoty z 1. a 2. sloupce tabulky č. 8) dle vzorce č. 21. Průměrná měrná spotřeba u vozidla Enyaq Coupé iV vyšla 14,397 kWh/100km při použití zimních pneumatik a 12,366 kWh/100km při použití letních pneumatik. Je zde tedy výrazný nárůst spotřeby o 2,031 kWh/100km, přibližně o 16 %, při použití zimních pneumatik, oproti použití pneumatik letních. Zde je názorný příklad, že při dojíždění zimních pneumatik v létě je spotřeba výrazně vyšší. U elektromobilů se nám tak zhruba o 16 % snižuje dojezd. Mimo jiné se snižuje i bezpečnost jízdy z důvodu menší přilnavosti zimních pneumatik v teplém počasí. Hlavní důvod nárůstu spotřeby je způsoben tím, že letní pneumatiky mají oproti zimním pneumatikám výrazně nižší hodnotu valivého odporu. Tuto skutečnost dokazuje i zařazení letních pneumatik

z hlediska energetické účinnosti do třídy A, na rozdíl od zimních pneumatik, které jsou zařazeny do třídy C.

$$\begin{aligned} \text{průměrná měrná spotřeba [kWh/100km]} &= \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{měrná spotřeba (z počítadel energií)}_i \text{ [kWh/100km]} + \text{měrná spotřeba (z Uxi VN baterie)}_i \text{ [kWh/100km]})}{2 \times n} \end{aligned} \quad (21)$$

V **tabulce č. 8** jsou zobrazeny i hodnoty elektrické energie odebrané z baterie a hodnoty elektrické energie dodané do baterie rekuperací, které byly vypočteny opět ze dvou různých měřených hodnot (napětí a proud na VN baterii a hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení). Hodnoty energie odebrané se v závislosti na použití měřených hodnot liší v průměru o 1,6 % a hodnoty dodané energie se liší v průměru o 4,3 %. V obou případech ale platí, že energie vypočtená z čítačů je větší než energie vypočtená z proudu a napětí na VN baterii. Množství rekuperované energie během jízdy, vypočtené ze součtu hodnot energie dodané ku součtu hodnot energie odebrané (vzorec č. 22), vyšla v případě jízdy se zimními pneumatikami 23,2 % a v případě jízdy s letními pneumatikami 31,7 %. Tyto hodnoty odpovídají tomu, že při zpomalování docházelo u zimních pneumatik k většímu překonání jízdních odporů a zbylo tak méně energie pro zpětnou rekuperaci do baterie.

$$\begin{aligned} \text{průměrný podíl rekuperované energie [%]} &= \\ &= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (\text{dodaná energie (z počítadel energií)}_i \text{ [kWh/100km]} + \text{dodaná energie (z Uxi VN baterie)}_i \text{ [kWh/100km]})}{\sum_{i=1}^n (\text{odebraná energie (z počítadel energií)}_i \text{ [kWh/100km]} + \text{odebraná energie (z Uxi VN baterie)}_i \text{ [kWh/100km]})} \end{aligned} \quad (22)$$

### 3.2.4. Porovnání výsledků

V tabulce s technickými údaji vozidla, ze které jsou čerpány informace pro **tabulku č. 1**, je uvedena kombinovaná spotřeba v rozmezí od 15,5 do 16,6 kWh/100km. Naměřené hodnoty jsou ovšem o 1,103 kWh/100km v případě zimních pneumatik a o 3,134 kWh/100km v případě letních pneumatik nižší než udávaná spodní mez výrobcem. Na tomto rozdílu spotřeb má určitý podíl to, že vozidlo bylo před jízdou zahřáté, jelikož měření dle WLTP se provádí na studeném vozidle. Nedokážu si také ověřit, zda byly správně určené koeficienty jízdních odporů zadávaných do programu dynamometru, které byly vypočteny v kapitole **2.1. Jízdní odpory vozidla**. Dále má na přesnost vliv i způsob, jakým se do programu dynamometru zadávají koeficienty jízdních odporů. Dynamometr počítá pouze s koeficienty A a B a jízdní odpory jsou tak reprezentovány přímkou namísto paraboly. Zároveň má na velkém rozdílu podíl i to, že válcový dynamometr není určen pro laboratorní měření a hodnoty jízdních odporů se zřejmě vlivem zahřívání měnily.

V **tabulce č. 8** (ve 4. sloupci) je hodnota měrné spotřeby z infotainmentu vozidla. Tato hodnota byla průměrně o 1,8 % nižší než průměrná hodnota dvou různě vypočítaných hodnot měrné spotřeby dané jízdy, tedy než hodnota ve třetím sloupci této tabulky. Pouze v jednom případě ukazoval infotainment hodnotu vyšší o 0,55 %, tedy o 0,079 kWh/100km.

### 3.2.5. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 1,338 s:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet odebíraného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) \text{ [kW]} = \frac{\text{proud VN baterie } (k) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k) \text{ [V]}}{1000} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) \text{ [kWh]} &= \frac{(t(k) \text{ [ms]} - t(k-1) \text{ [ms]})}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k) \text{ [V]}) + (\text{proud VN baterie } (k-1) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k-1) \text{ [V]})}{2} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie [kWh]} = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) \text{ [kWh]} \quad (25)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

$$\begin{aligned} \text{celková změna energie VN baterie [kWh]} &= \\ &= (\text{Čítače vybíjení}_{po} \text{ [kWh]} - \text{Čítače vybíjení}_{před} \text{ [kWh]}) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} \text{ [kWh]} \\ &\quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} \text{ [kWh]}) \end{aligned} \quad (26)$$

- otáčky elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota/[LO]\_Absolut\_value\_RPM\_e-machine



- točivý moment elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Točivý moment, skutečná hodnota/[LO]\_Actual\_mechanical\_torque\_calculated
  
- proudu a napětí meziobvodu pro výpočet příkonu DC meziobvodu pohonu zadní nápravy
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Proud vloženého okruhu/[LO]\_DC\_link\_current
  - název veličiny – 51/Napětí vloženého obvodu/[LO]\_DC\_link\_voltage

$$\text{příkon DC meziobvodu ZN } (k)[kW] = \frac{\text{proud DC meziobvodu } (k) [A] \times \text{napětí DC meziobvodu } (k) [V]}{1000} \quad (27)$$

### 3.3. Vliv tlaku pneumatik na spotřebu

Jelikož jsem měření závislosti tlaku pneu na měrnou spotřebu energie realizoval jako první měření, pak jsem jednu z podmínek pro WLTC cyklus, že vozidlo nesmí být před začátkem zkoušky zahřáté, nemohl dodržet. Valivý odpor pneumatik, který má všeobecně velký vliv na měrnou spotřebu vozidla, se totiž během zahřívání mění. V prospektu zaměřeném na valivý odpor a možnosti úspory paliva od výrobce pneumatik Michelin je uvedeno, že valivý odpor pneumatik je ve studeném stavu přibližně o 35 % vyšší než po jejich zahřátí. Na základě těchto svých poznatků výrobce doporučuje, aby se před měřením pneumatiky zahřály, a to jízdou konstantní rychlostí po dobu 30 minut. Rychlost je volena dle rychlosti následného testu. Po této době se totiž valivý odpor pneumatik ustálí na hodnotě, kterou právě udává výrobce. Tato podmínka je zřejmě zanesena i do normy ISO 18164:2005 z roku 2005, která určuje podmínky a metodiku měření valivého odporu pneumatik motocyklů, osobních a nákladních aut. Do normy jsem bohužel neměl možnost nahlédnout, ale výňatek z normy předchozí (ISO 8767) je právě v prospektu firmy Michelin.<sup>69</sup> Na základě těchto informací jsem si tedy stanovil podmínku, že před jízdou WLTC budu dělat vždy zahřívací jízdu. Ta bude trvat 30 minut a pojedou konstantní rychlostí 50 km/h, což přibližně odpovídá průměrné rychlosti úplné jízdny křivky WLTP 3b, která činí 47 km/h. Mezi zahřívací jízdou a jízdou WLTC jsem si ještě stanovil pauzu dlouhou 15 minut. Tato pauza má převážně bezpečnostní charakter, jelikož 30minutová jízda konstantní rychlostí na válcovém dynamometru, kdy sledujete jen příčné umístění kol vozidla na válcích dynamometru, je poměrně unavující.

#### 3.3.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jak velký má vliv podhuštění pneumatik na celkovou spotřebu elektrické energie vozidla během jízdy v jízdou WLTP na válcovém dynamometru. Měření proběhlo pouze na vozidle se zimními pneumatikami.

---

<sup>69</sup> The tyre: Rolling resistance and fuel saving. Università di Pisa [online]. MICHELIN, 2003 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: [http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf)

### 3.3.2. Postup měření

Postup měření je shodný s postupem měření uvedeným v podkapitole 3.2.2. *Postup měření* pro zjištění měrné spotřeby energie, pouze s tím rozdílem, že při kontrole tlaku pneumatik před jízdou nebyl tlak kontrolován dle hodnoty uváděné na štítku vozidla. Během těchto měření byly pneumatiky podhuštěné a tlak v pneumatikách byl v prvním případě nižší o 0,3 baru a v druhém případě nižší o 1,0 baru, jak je uvedeno v tabulce č. 9. Tyto hodnoty podhuštění byly zvoleny na základě zkušebního měření uvedeného v prospektu od výrobce pneumatik Michelin, aby bylo možné následně naměřené hodnoty porovnat.

Po zahřívací jízdě byl tlak pneumatik změřen znovu a průměrně docházelo ke zvýšení tlaku vlivem ohřátí vnitřního vzduchu o 0,2 baru. Vlivem následné jízdy dle WLTP došlo k následnému zvýšení tlaku ještě o 0,1 baru. Zároveň byla měřena i teplota pneumatik, kdy vlivem zahřívací jízdy a WLTP jízdy došlo k ohřátí pneumatiky průměrně o 13 °C.

Tlak pneumatik [baru]			
tlak dle výrobce		levé kolo	pravé kolo
	přední	2,5	2,5
	zadní	2,7	2,7
podhuštění o 0,3 baru		levé kolo	pravé kolo
	přední	2,2	2,2
	zadní	2,4	2,4
podhuštění o 1,0 baru		levé kolo	pravé kolo
	přední	1,5	1,5
	zadní	1,7	1,7

Tabulka 9 – Tlak pneumatik

### 3.3.3. Zjištěné hodnoty měřením

V následující **tabulce č. 10** jsou naměřené hodnoty měrné spotřeby při podhuštěných pneumatikách o 0,3 a 1,0 baru. Pro každou hodnotu podhuštění jsem provedl dvě jízdy s měřením, kdy jsem opět z každé jízdy získal 3 hodnoty měrné spotřeby. Pro získání průměrné měrné spotřeby jsem vypočítal průměrnou hodnotu ze dvou různě vypočítaných hodnot měrné spotřeby z každé jízdy (hodnoty z 1. a 2. sloupce **tabulky č. 10**) dle vzorce č. 28.

V tabulce jsou zobrazeny i hodnoty energie odebrané z baterie a hodnoty energie dodané do baterie rekuperací, znovu vypočteny na základě dvou různých vyčtených hodnot během každé jízdy. Platí zde opět to, že energie vypočtená z čítačů je větší než energie vypočtená z proudu a napětí na VN baterii. Množství rekuperované energie během jízdy s podhuštěnými

pneumatikami vyšlo v obou případech téměř shodně, tedy 22,1 % v případě podhuštění o 0,3 baru a 21,8 % v případě podhuštění pneumatik o 1,0 baru z odebrané energie během příslušné jízdy.

Naměřené hodnoty měrné spotřeby s podhuštěnými pneumatikami								
podhuštění o [baru]	Měrná spotřeba [kWh/100km]				Odebraná energie z VN baterie [kWh]		Dodaná energie do VN baterie [kWh]	
	z počítadel energií	UxI VN baterie	Ø předchozích dvou sloupců	infotainment	z počítadel energií	UxI VN baterie	z počítadel energií	UxI VN baterie
0,3	14,807	14,736	14,772	14,600	4,455	4,378	1,010	0,949
	14,850	14,803	14,827	14,600	4,459	4,395	1,004	0,951
	Prům. měrná spotřeba: 14,799 kWh/100km				Prům. podíl rekuperované energie		22,1 %	
1,0	15,168	15,375	15,272	14,700	4,576	4,530	1,047	0,953
	15,190	15,187	15,188	14,700	4,543	4,477	1,009	0,943
	Prům. měrná spotřeba: 15,230 kWh/100km				Prům. podíl rekuperované energie		21,8 %	

Tabulka 10 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby s podhuštěnými pneumatikami

průměrná měrná spotřeba [kWh/100km] =

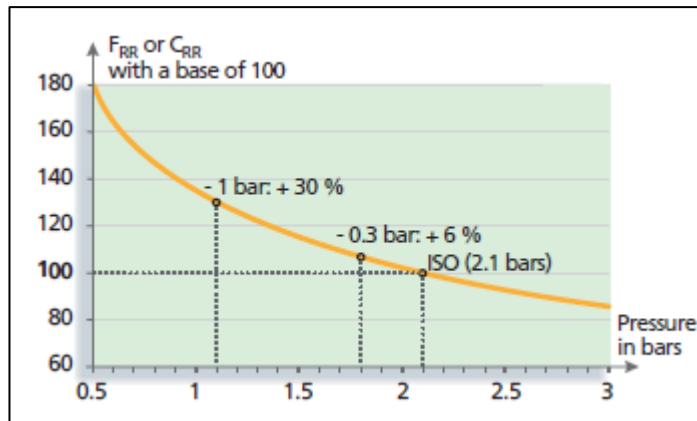
$$= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{měrná spotřeba (z počítadel energií)}_i [\text{kWh}/100\text{km}] + \text{měrná spotřeba (z UxI VN baterie)}_i [\text{kWh}/100\text{km}])}{2 \times n} \quad (28)$$

### 3.3.4. Porovnání výsledků

Pro porovnání, o kolik procent se zvýšila měrná spotřeba elektrické energie během jízdy dle WLTP vlivem podhuštění pneumatik, jsem použil měrnou spotřebu se zimními pneumatikami naměřenou v kapitole 3.2. **Měrná spotřeba energie**, tedy hodnotu 14,397 kWh/100km. Při podhuštění pneumatik vozidla o 0,3 baru tak vychází, že se měrná spotřeba zvýší na hodnotu 14,799 kWh/100km, tedy o 2,65 %. V případě podhuštění pneumatik o 1,0 baru dojde ke zvýšení měrné spotřeby na hodnotu 15,230 kWh/100km, tedy o 5,79 % oproti jízdě se správně natlakovanými pneumatikami.

V již zmíněném prospektu zaměřeném na valivý odpor a možnosti úspory paliva od výrobce pneumatik Michelin je uvedeno, že při podhuštění pneumatik u osobních automobilů o 0,3 baru dojde ke zvýšení hodnoty valivého odporu pneumatiky o 6 % a při podhuštění pneumatiky o 1,0 baru dojde ke zvýšení valivého odporu až o 30 %, viz **obrázek č. 27**. Při takovémto navýšení valivého odporu údajně dochází k navýšení spotřeby paliva o 3–5 %.<sup>70</sup> Podobná hodnota byla zjištěna i během mého měření, kdy při podhuštění pneumatik o 1,0 baru došlo k navýšení spotřeby o 5,79 %.

<sup>70</sup> The tyre: Rolling resistance and fuel saving. Università di Pisa [online]. MICHELIN, 2003 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: [http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf)



Obrázek 27 – Vliv podhuštění pneumatik na jejich valivý odpor<sup>71</sup>

### 3.3.5. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 1,338 s:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet odebíraného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) \text{ [kW]} = \frac{\text{proud VN baterie } (k) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k) \text{ [V]}}{1000} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) \text{ [kWh]} &= \frac{(t(k) \text{ [ms]} - t(k-1) \text{ [ms]})}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k) \text{ [V]}) + (\text{proud VN baterie } (k-1) \text{ [A]} \times \text{napětí VN baterie } (k-1) \text{ [V]})}{2} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie [kWh]} = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) \text{ [kWh]} \quad (31)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

<sup>71</sup> The tyre: Rolling resistance and fuel saving. Università di Pisa [online]. MICHELIN, 2003 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: [http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf)

$$\begin{aligned}
& \text{celková změna energie VN baterie [kWh]} = \\
& = (\text{Čítače vybíjení}_{po} \text{ [kWh]} - \text{Čítače vybíjení}_{před} \text{ [kWh]}) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} \text{ [kWh]} \\
& \quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} \text{ [kWh]})
\end{aligned}
\tag{32}$$

- otáčky elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota/[LO]\_Absolut\_value\_RPM\_e-machine
  
- točivý moment elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Točivý moment, skutečná hodnota/[LO]\_Actual\_mechanical\_torque\_calculated
  
- proudu a napětí meziobvodu pro výpočet příkonu DC meziobvodu pohonu zadní nápravy
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Proud vloženého okruhu/[LO]\_DC\_link\_current
  - název veličiny – 51/Napětí vloženého obvodu/[LO]\_DC\_link\_voltage

$$\text{příkon DC meziobvodu } ZN(k) [kW] = \frac{\text{proud DC meziobvodu } (k) [A] \times \text{napětí DC meziobvodu } (k) [V]}{1000}
\tag{33}$$

### 3.4. Vliv sklonu vozovky na spotřebu

#### 3.4.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jak velký vliv má sklon vozovky na celkovou spotřebu elektrické energie vozidla během jízdy v jízdním cyklu dle WLTP na válcovém dynamometru. Dále jsem měřením zjišťoval, jaký vliv má sklon vozovky na měrnou spotřebu energie při jízdě konstantní rychlostí 50 a 90 km/h. Sklon vozovky byl volen dle vybraných tras na větší kopce ve východních Čechách, příklady jsou uvedeny v tabulce č. 11, a sklon byl vypočten dle vzorce č. 34. Na základě těchto vypočtených hodnot byl vybrán sklon  $\pm 4\%$  a  $\pm 8\%$ . Měření proběhlo pouze na vozidle s letními pneumatikami.

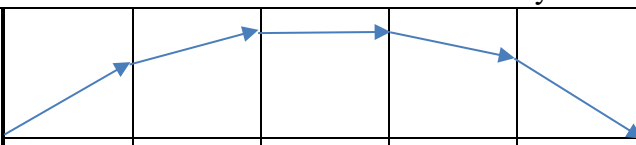
$$\text{sklon vozovky } [\%] = 100 \times \frac{\text{převýšení } [m]}{\text{vodorovná vzdálenost } [m]} \quad (34)$$

Příklad vybraných tras ve východních Čechách				
trasa		vodorovná vzdálenost [m]	převýšení [m]	sklon vozovky [%]
z	do			
Deštné v Orł.h., odbočka na Luisino Údolí	Šerlich	3 900	294	7,5
Deštné v Orł.h., odbočka na Luisino Údolí	Luisino Údolí	2 900	205	7,1
Ústí n. Orł., odbočka na Řetůvku	Andrlův chlum	4 000	234	5,9
Lanškroun, Albrechtice	silnice č.43, odbočka na Mezilesí	4 700	236	5,0
Říčky v Orł.h., Chalupa U Potoka	Říčky v Orł.h., Mezivrší	6 000	293	4,9
Orlické Záhoří, Bedřichovka	Šerlich	5 500	264	4,8
Mohelnice, čerpací stanice MOL	Studená Loučka, čerpací stanice GOLD	6 900	288	4,2
Červená voda, Léčebný ústav	Červenovodské sedlo	6 700	278	4,1
silnice č.11, odbočka na Čenkovice	Červenovodské sedlo	2 700	109	4,0

Tabulka 11 – Příklad vybraných tras ve východních Čechách<sup>72</sup>

<sup>72</sup> Mapy.cz. Mapy.cz [online]. [cit. 2023-08-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.4629405&y=50.0409774&z=10>

Hodnoty koeficientů jízdních odporů pro tato měření jsou uvedeny v následující tabulce č. 12. Odpor stoupání byl vypočten dle vzorců č. 35 a 36, kde je za váhu vozidla dosazena hodnota 2 246 kg (váha vozidla 2 171 kg + váha řidiče 75 kg) a za hodnotu tíhového zrychlení  $g$  hodnota  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Jelikož do programu nelze zadat sklon ani odpor sklonu, lze to vyřešit tak, že vypočtený odpor stoupání odečteme od původní hodnoty koeficientu A, který nezávisí na rychlosti a platí pro nulový sklon (vzorec č. 37), který je vypočten v kapitole 2.1. **Jízdní odpory vozidla** a odpovídá nulovému sklonu vozovky. Do programu dynamometru se zapisují hodnoty koeficientů s příslušným znaménkem tak, jak jsou uvedeny v následující tabulce č. 12 (je-li koeficient s kladným znaménkem, dynamometr vozidlo pohání, je-li koeficient se záporným znaménkem, dynamometr vozidlo brzdí).

Hodnoty koeficientů v závislosti na velikosti sklonu vozovky						
sklon [%]						
		8	4	0	-4	-8
odpor stoupání [N]		1757,0	880,6	0,0	-880,6	-1757,0
hodnoty koeficientů které se zadávají do programu dynamometru	A	-1565,7	-689,3	191,3	1072,0	1948,4
	B	-2,826	-2,826	-2,826	-2,826	-2,826

Tabulka 12 – Hodnoty koeficientů v závislosti na velikosti sklonu vozovky

$$\alpha [^\circ] = \tan^{-1} \left( \frac{\text{sklon} [\%]}{100} \right) \quad (35)$$

$$\text{odpor stoupání} [N] = \text{váha vozidla} [kg] \times g [m/s^2] \times \sin \alpha [^\circ] \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \text{hodnota koeficientu } A_{\alpha=x} [-] &= \\ &= \text{hodnota koeficientu } A_{\alpha=0} [-] - \text{hodnota koeficientu } A_{\alpha=x} [-] \end{aligned} \quad (37)$$

Příklad výpočtu pro sklon +8 %:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{+8\%}{100} \right) = 0,0798^\circ \quad (38)$$

$$\text{odpor stoupání} = 2\,246 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \sin 0,0798^\circ = 1\,757,0 \text{ N} \quad (39)$$

$$\text{hodnota koeficientu } A_{\alpha=+8\%} = 191,3 - 1\,757,0 = -1\,565,7 \quad (40)$$



### 3.4.2. Postup měření během jízdního cyklu WLTC

Postup měření je shodný jako postup měření uvedený v podkapitole 3.2.2. *Postup měření* pro zjištění měrné spotřeby energie. Rozdíl byl pouze v nastavení jízdních odporů během jízdního cyklu WLTC, kde byla simulována jízda z/do kopce se sklonem  $\pm 4\%$  (hodnoty koeficientů pro nastavení jízdních odporů pro tato měření jsou ve 2. a 4. sloupci **tabulky č. 12**). Aby bylo možné měrné spotřeby mezi sebou porovnávat, hodnoty jízdních odporů během zahřívací jízdy byly totožné jako při jízdě po rovině.

### 3.4.3. Zjištění hodnoty měření během jízdního cyklu WLTC

V následující tabulce č. 13 jsou naměřené hodnoty měrné spotřeby při sklonu vozovky  $\pm 4\%$ . Pro každý sklon jsem provedl tři jízdy s měřením (stejně jako u měření měrné spotřeby v kapitole 3.2. *Měrná spotřeba energie*), kdy jsem opět z každé jízdy získal 3 hodnoty měrné spotřeby. Pro získání průměrné měrné spotřeby jsem, stejně jako u měření v předchozích kapitolách, vypočítal průměrnou hodnotu ze dvou různě vypočítaných hodnot měrné spotřeby z každé jízdy (hodnoty z 1. a 2. sloupce **tabulky č. 13**) dle vzorce č. 41.

$$\begin{aligned} \text{průměrná měrná spotřeba [kWh/100km]} &= \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{měrná spotřeba (z počítadel energií)}_i \text{ [kWh/100km]} + \text{měrná spotřeba (z Uxi VN baterie)}_i \text{ [kWh/100km]})}{2 \times n} \quad (41) \end{aligned}$$

V posledních čtyřech sloupcích **tabulky č. 13** jsou zobrazeny hodnoty energie odebrané z baterie a hodnoty energie dodané do baterie rekuperací. Zde je poměrně zajímavé, že se hodnoty odebrané energie počítané z počítadel energií a z napětí a proudu VN baterie liší v průměru o 0,5 % u jízdy do kopce a o 8,1 % při jízdě z kopce. Tento velký rozdíl mezi průměry je zřejmě způsoben tím, že během jízdy z kopce byla velikost odebrané energie poměrně malá, takže se hodně projevila nepřesnost měřených hodnot. Obdobný problém je i u hodnot rekuperované energie, kde jsou naopak malé hodnoty u jízdy do kopce. Zde je rozdíl mezi vypočtenými hodnotami 9,1 % v případě jízdy do kopce a 1,2 % v případě jízdy z kopce. Množství rekuperované energie během jízdy do kopce bylo pouze 4,9 %. Rekuperace zde probíhala pouze při intenzivním brzdění. Ovšem během jízdy z kopce tvořila rekuperovaná energie 331,2 % energii odebrané, protože docházelo k rekuperaci nejen během intenzivního brzdění, ale i během jízdy ustálenou rychlostí nebo jízdy s menší hodnotou zrychlení.

Naměřené hodnoty měrné spotřeby s různým sklonem vozovky během jízdního cyklu WLTC								
sklon	Měrná spotřeba [kWh/100km]				Odebraná energie z VN baterie [kWh]		Dodaná energie do VN baterie [kWh]	
	z počítadel energií	UxI VN baterie	Ø předchozích dvou sloupců	infotainment	z počítadel energií	UxI VN baterie	z počítadel energií	UxI VN baterie
+4 % do kopce	38,163	38,055	38,109	38,000	9,368	9,309	0,489	0,455
	37,806	37,921	37,864	37,400	9,287	9,245	0,491	0,422
	38,008	37,907	37,958	37,400	9,302	9,249	0,459	0,430
	Prům. měrná spotřeba: 37,977 kWh/100km				Prům. podíl rekuperované energie		4,9 %	
-4 % z kopce	-11,880	-12,149	-12,015	-11,900	1,226	1,155	3,990	3,981
	-11,588	-11,955	-11,772	-11,400	1,281	1,145	3,977	3,927
	-11,957	-12,020	-11,989	-11,900	1,244	1,148	4,026	3,944
	Prům. měrná spotřeba: -11,925 kWh/100km				Prům. podíl rekuperované energie		331,2 %	

Tabulka 13 – Naměřené hodnoty měrné spotřeby s různým sklonem vozovky

#### 3.4.4. Porovnání výsledků jízdního cyklu WLTC

Pro porovnání, o kolik procent se zvýšila měrná spotřeba elektrické energie během jízdy dle WLTP vlivem sklonu vozovky, jsem použil měrnou spotřebu vozidla s letními pneumatikami naměřenou v kapitole 3.2. *Měrná spotřeba energie*, tedy hodnotu 12,366 kWh/100km. Při jízdě vozidla do kopce se sklonem 4 %, odpovídající například jízdě po silnici č. 11 z Červené vody na Červenovodské sedlo, se měrná spotřeba zvýšila na hodnotu 37,977 kWh/100km, což představuje zvýšení spotřeby o 207,11% oproti jízdě po rovině. Spotřeba je tedy v tomto případě téměř trojnásobná.

$$\text{měrná spotřeba}_{\pm\alpha} [\text{kWh}/100\text{km}] = \frac{\text{měrná spotřeba}_{+\alpha} [\text{kWh}/100\text{km}] + \text{měrná spotřeba}_{-\alpha} [\text{kWh}/100\text{km}]}{2} \quad (42)$$

Vypočteme-li pomocí vzorce č. 42 měrnou spotřebu z jízdy do kopce a jízdy z kopce se shodným sklonem (4 %) a trasou, dostaneme měrnou spotřebu 13,026 kWh/100km. Takto vypočtená měrná spotřeba vzrostla pouze o 5,3 % od měrné spotřeby po rovině, tedy 12,366 kWh/100km. Rekuperovaná energie během jízdy z kopce tedy téměř zcela pokryla energii, která byla odebrána z baterie pro překonání jízdních odporů stoupání. Sečteme-li průměrnou spotřebovanou energii z obou jízd (10,493 kWh) a průměrnou rekuperovanou energii z obou jízd (4,432 kWh), vyjde nám prům. podíl rekuperované energie o velikosti 41,2 %, který je oproti podílu rekuperované energie při jízdě po rovině vyšší (během jízdy po rovině s letními pneumatikami je podíl rekuperované energie 31,7 %).

### 3.4.5. Postup měření při konstantní rychlosti

Jelikož jsou hodnoty měrné spotřeby zjištěné tímto měřením porovnávány pouze v rámci této podkapitoly, byla vynechána zahřívací jízda. Pro sklon vozovky byly vybrány hodnoty  $\pm 8\%$ ,  $\pm 4\%$  a  $0\%$ , tedy rovina.

Měření probíhalo tak, že před najetím na válcový dynamometr bylo zapotřebí deaktivovat klimatizaci vozidla přes infotainment a aktivovat „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupu*. Po spuštění programu, kde se měnila hodnota koeficientů jízdních odporů dle požadovaného sklonu vozovky (hodnoty koeficientů pro nastavení jízdních odporů pro tato měření jsou v **tabulce č. 12**) a najetí na válcový dynamometr, byl v ODISu spuštěn záznam měřených hodnot proudu a napětí na VN baterii (z jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*), otáček a momentu elektromotoru (z jednotky č. 51 - *Elektrický pohon*) a proudu a napětí v meziobvodu z téže jednotky Elektrického pohonu. Zároveň byly do záznamu zahrnuty i hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*, aby bylo možné následně vypočítat hodnotu měrné spotřeby opět ze dvou rozdílných měřených hodnot. Po zrychlení na rychlost 50 km/h na monitoru dynamometru byl pro udržení konstantní rychlosti použit omezovač s nastavenou rychlostí 54 km/h a po ustálení rychlosti na této hodnotě byla vynulována data měření spotřeby a ujeté vzdálenosti od startu v infotainmentu vozidla. Zároveň jsem deaktivoval vyčítání hodnot čítačů vybíjení a nabíjení (na **obrázku č. 28** červená šipka), i když záznam ostatních hodnot běžel dál. Jízda konstantní rychlostí většinou trvala přibližně 4 minuty. Po uplynutí této doby, která byla zobrazena na monitoru dynamometru, jsem opět aktivoval vyčítání hodnot čítačů vybíjení a nabíjení a zároveň si poznamenal data z infotainmentu o průměrné spotřebě, délce trasy a průměrné rychlosti. Následně mohlo dojít ke zrychlení na rychlost 90 km/h dle monitoru dynamometru a nastavení omezovače na rychlost 96 km/h, odpovídající rychlosti 90 km/h v řídicí jednotce vozidla i rychlosti zobrazené na monitoru válcového dynamometru. Po ustálení rychlosti na této hodnotě jsem opět vynuloval data měření spotřeby a ujeté vzdálenosti od startu v infotainmentu vozidla a deaktivoval vyčítání hodnot čítačů vybíjení a nabíjení. Jízda konstantní rychlostí trvala přibližně 4 minuty a po uplynutí této doby jsem znovu aktivoval vyčítání hodnot čítačů vybíjení a nabíjení, poznamenal si data z infotainmentu o průměrné spotřebě, délce trasy a průměrné rychlosti a mohl zastavit vozidlo a tím ukončit test.

Projekt vozidla: SKE31 (Engineering) Označení vozidla: Spojení s vozidlem: DoIP  
 ID vozidla: TMBEC9NY6NF025313 Stav vozidla: SV15 14,48 V

**Naměřené hodnoty - Zobrazit naměřené hodnoty**

Název naměřené hodnoty	RDID	Hodnota	Načíst	Adr.
[LO]_Actual_mechanical_torque_calculated		10,498 Nm	<input type="checkbox"/>	
▼ <b>Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota</b>	\$4659		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_Absolut_value_RPM_e-machine		4 717,924 1/min		
▼ <b>Proud vloženého okruhu</b>	\$3E98		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_DC_link_current		13,385 A		
▼ <b>Napětí vloženého obvodu</b>	\$3E93		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_DC_link_voltage		385,325 V		
▼ <b>proud vysokonapětového / hybridního akumulátoru</b>	\$1E3D		<input checked="" type="checkbox"/>	008C
▼ [LO]_Pack_current, Case 0		-16,300 A		
▼ [LO]_pack_current_temp, Case 0		20 °C		
▼ <b>napětí vysokonapětového akumulátoru</b>	\$1E3B		<input checked="" type="checkbox"/>	008C
▼ [LO]_High_Voltage_Battery_Total_Voltage, Case 0		384,000 V		
▼ <b>Vysokonapětový/hybridní akumulátor, data historie 1</b>	\$1E32		<input checked="" type="checkbox"/>	008C
Čítače nabíjení, ampérhodiny		53 502,945 Ah		
Čítače vybití, ampérhodiny		-53 287,414 Ah		
Čítače nabíjení, kilowatthodiny		20 079,562 kWh		
Čítače vybití, kilowatthodiny		-19 210,781 kWh		

Aktualizovat: nyní  
 cyklicky  
 Zaznamenat:

MW1

Obrázek 28 – Měřené hodnoty v ODISu během měření měrné spotřeby při konstantní rychlosti

Deaktivace vyčítání hodnot čítačů vybití a nabíjení byla provedena především z toho důvodu, aby byla vyšší frekvence vyčítání hodnot proudu a napětí na VN baterii.

Vzdálenost ujeté dráhy  $s$  během jízdy konstantní rychlostí  $v$  byla vypočtena z časové hodnoty v záznamu měřených hodnot, jelikož vždy na začátku měřeného úseku v čase  $t_{start}$  bylo deaktivováno vyčítání hodnoty čítačů nabíjení a vybití a na konci měřeného úseku v čase  $t_{end}$  bylo vyčítání opět aktivováno. Dráha tedy byla vypočtena pomocí vzorce č. 43.

$$s [m] = \frac{v [km/h]}{3,6} \times \frac{t_{end} [ms] - t_{start} [ms]}{1000} \quad (43)$$

### 3.4.6. Zjištěné hodnoty měřením při konstantní rychlosti

V následující **tabulce č. 14** lze vidět vypočtené hodnoty měrné spotřeby během jízd po rovině a do kopce se sklonem 4 a 8 % při rychlostech 50 a 90 km/h. Pro každý sklon jsem provedl tři jízdy s měřením (stejně jako u měření měrné spotřeby v kapitole 3.2. **Měrná spotřeba energie**), kdy jsem opět z každé jízdy získal 3 hodnoty měrné spotřeby. Pro získání průměrné měrné spotřeby jsem, stejně jako u měření v předchozích podkapitolách, vypočítal průměrnou hodnotu ze dvou různě vypočítaných hodnot měrné spotřeby z každé jízdy (hodnoty z 1. a 2. sloupce **tabulky č. 14** a **tabulky č. 15**) dle vzorce č. 44.

$$\begin{aligned} \text{průměrná měrná spotřeba [kWh/100km]} &= \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{měrná spotřeba (z počítadel energií)}_i [\text{kWh}/100\text{km}] + \text{měrná spotřeba (z UxI VN baterie)}_i [\text{kWh}/100\text{km}])}{2 \times n} \quad (44) \end{aligned}$$

Během jízdy do kopce a po rovině měrná spotřeba vlivem zrychlení vzrostla, a to o 24,5 % u jízdy po rovině, 5,5 % u jízdy do kopce s 4 % sklonem a pouze o 1,9 % v případě kopce se sklonem 8 %. To je způsobeno tím, že při takto velkém sklonu převažuje velikost odporu stoupání několikanásobně jízdní odpor, který je závislý na rychlosti vozidla, a celkový odpor se tak zrychlováním razantně nemění. V opačném případě, tedy při jízdě po rovině, je odpor stoupání nulový, takže celkový odpor závisí pouze na rychlosti a s přibývajícím rychlostí je rozdíl znatelný. Při porovnání navýšení průměrné spotřeby vlivem zvyšování sklonu vozovky jsem vypočítal, že u jízdy do kopce se sklonem 4 % vzrostla spotřeba průměrně o 250 % a u jízdy se sklonem 8 % až o 510 %, tedy až šestkrát větší spotřeba oproti jízdě po rovině.

Naměřené hodnoty měrné spotřeby s různým sklonem vozovky během jízdy konstantní rychlostí						
sklon [%]	rychlost [km/h]	Měrná spotřeba [kWh/100km]				
		z počítadel energií	UxI VN baterie	Ø předchozích dvou sloupců	infotainment	
+8 do kopce	50	62,462	62,661	62,561	62,400	
		64,456	64,842	64,649	64,700	
		65,176	65,637	65,407	63,800	
		Prům. měrná spotřeba: 64,206 kWh/100km				
	90	64,279	64,831	64,555	64,200	
		65,781	66,459	66,120	65,500	
		65,239	65,874	65,556	64,800	
		Prům. měrná spotřeba: 65,411 kWh/100km				
	+4 do kopce	50	35,956	35,995	35,975	35,900
			36,001	36,089	36,045	36,100
			36,702	36,893	36,798	36,900
			Prům. měrná spotřeba: 36,273 kWh/100km			
90		37,621	37,857	37,739	37,700	
		38,133	38,423	38,278	38,000	
		38,788	38,771	38,779	38,600	
		Prům. měrná spotřeba: 38,266 kWh/100km				
rovina		50	9,407	9,526	9,467	9,500
			9,460	9,532	9,496	9,500
			9,760	9,770	9,765	9,800
			Prům. měrná spotřeba: 9,576 kWh/100km			
	90	11,617	11,810	11,713	11,700	
		11,911	12,091	12,001	11,900	
		11,891	12,219	12,055	11,900	
		Prům. měrná spotřeba: 11,923 kWh/100km				

Tabulka 14 – Naměřené hodnoty s různým sklonem vozovky při konstantní rychlosti (do kopce a rovina)

V **tabulce č. 15** lze vidět vypočtené hodnoty měrné spotřeby během jízd z kopce se sklonem 4 a 8 % při rychlostech 50 a 90 km/h. Do této tabulky byly zároveň doplněny hodnoty průměrné rekuperované energie (průměrná hodnota vypočtené rekuperované energie z proudu a napětí na VN baterii a z čítačů vybíjení a nabíjení). Dále jsou v tabulce hodnoty energie, která byla dodána od válcového dynamometru na kola vozidla. Hodnotu energie lze vypočítat ze síly od válců  $F_{v\acute{a}lc\acute{u}}$ , která pohání kola vozidla konstantní rychlostí  $v$  po trase dlouhé  $s$  (vzorec č. 43). Pro výpočet síly od válců je potřeba znát koeficienty jízdních odporů A a B pro odpovídající sklon vozovky, které jsou uvedeny v **tabulce č. 12**.

$$F_{v\acute{a}lc\acute{u}} [N] = A [N] + v [km/h] \times B [N/(km/h)] \quad (45)$$

$$E_{v\acute{a}lc\acute{u}} [kWh] = \frac{F_{v\acute{a}lc\acute{u}} [N] \times s [m]}{3,6 \times 1000000} \quad (46)$$

*Příklad výpočtu pro sklon - 4 % a rychlost 90 km/h, při kterém byla ujeta vzdálenost 5 394 m:*

$$F_{v\acute{a}lc\acute{u}} = 1\,072\,N + 90\,km/h \times (-2,826\,N/(km/h)) = 817,66\,N \quad (47)$$

$$E_{v\acute{a}lc\acute{u}} = \frac{817,66\,N \times 5\,394\,m}{3,6 \times 1000000} = 1,225\,kWh \quad (48)$$

$$E_{bat.rec} [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie}_+ (k) [kWh] \quad (49)$$

$$\eta_{rec} [\%] = 100 \times \frac{E_{bat.rec} [kWh]}{E_{v\acute{a}lc\acute{u}} [kWh]} \quad (50)$$

Na základě těchto dopočítaných hodnot dodané energie od válců  $E_{v\acute{a}lc\acute{u}}$  a hodnoty rekuperované energie  $E_{bat.rec}$  (vzorec č. 52 a 49) bylo možné vypočítat dle vzorce č. 50 účinnost rekuperace vozidla  $\eta_{rec}$ , která se v závislosti na rychlosti jízdy příliš neměnila. Byla především závislá na samotném sklonu vozovky. Takto vypočtená účinnost rekuperace je ovšem nepřesná, jelikož hodnota rekuperované energie je snížena o energii spotřebovanou příkonem spotřebičů vozidla. Skutečná účinnost je tedy o několik procent vyšší. U hodnot měrné spotřeby si lze všimnout, že na rozdíl od jízdy po rovině či do kopce, kdy měrná spotřeba s přibývajícím rychlostí roste, zde měrná spotřeba s přibývajícím rychlostí klesá. To je v tomto případě způsobeno zvyšujícím se jízdním odporem (na válcovém dynamometru lineárně závislý na rychlosti), který tak ubírá kinetickou energii vozidla, která by mohla být rekuperována.

Naměřené hodnoty měrné spotřeby s různým sklonem vozovky během jízdy konstantní rychlostí (z kopce)								
sklon [%]	rychlost [km/h]	Měrná spotřeba [kWh/100km]				Ø rekuperovaná energie [kWh]	E <sub>válců</sub> [kWh]	účinnost rekuperace [%]
		z počítadel energií	UxI VN baterie	Ø předchozích dvou sloupců	infotainment			
-4 z kopce	50	-14,503	-14,410	-14,457	-14,500	0,433	0,774	55,97
		-14,900	-14,922	-14,911	-14,900	0,448	0,777	57,64
		-14,162	-14,295	-14,229	-14,200	0,415	0,754	55,05
		Prům. měrná spotřeba: -14,532 kWh/100km				Ø účinnost rekuperace		56,22 %
	90	-12,731	-12,874	-12,802	-12,900	0,712	1,263	56,37
		-13,071	-12,956	-13,013	-13,000	0,702	<u>1,225</u>	57,31
		-12,386	-12,552	-12,469	-12,400	0,664	1,210	54,87
		Prům. měrná spotřeba: -12,762 kWh/100km				Ø účinnost rekuperace		56,18 %
-8 z kopce	50	-36,431	-36,816	-36,623	-36,700	1,081	1,481	72,98
		-36,916	-37,000	-36,958	-37,000	0,894	1,214	73,63
		-35,460	-35,721	-35,590	-35,700	0,971	1,369	70,93
		Prům. měrná spotřeba: -36,391 kWh/100km				Ø účinnost rekuperace		72,51 %
	90	-35,380	-35,283	-35,331	-35,300	1,876	2,499	75,07
		-34,451	-34,575	-34,513	-34,700	2,037	2,777	73,36
		-34,699	-34,959	-34,829	-34,700	1,790	2,418	74,03
		Prům. měrná spotřeba: -34,891 kWh/100km				Ø účinnost rekuperace		74,15 %

Tabulka 15 – Naměřené hodnoty s různým sklonem vozovky při konstantní rychlosti (z kopce)

Během měření v této kapitole jsem zároveň zjistil, že při nabití vozidla nad 90 % je omezena rekuperace energie a vozidlo tak využívá při brzdění více mechanické brzdy. Proto měření měrné spotřeby při jízdě z kopce bylo prováděno při nabití vozidla okolo 70 %.

### 3.4.7. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 1,338 s:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet odebíraného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) [kW] = \frac{\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]}{1000} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]) + (\text{proud VN baterie } (k-1) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (52)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie } [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] \quad (53)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

celková změna energie VN baterie [kWh] =

$$= (\text{Čítače vybíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače vybíjení}_{před} [kWh]) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače nabíjení}_{před} [kWh]) \quad (54)$$

- otáčky elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota/[LO]\_Absolut\_value\_RPM\_e-machine
- točivý moment elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Točivý moment, skutečná hodnota/[LO]\_Actual\_mechanical\_torque\_calculated
- proudu a napětí meziobvodu pro výpočet příkonu DC meziobvodu pohonu zadní nápravy
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Proud vloženého okruhu/[LO]\_DC\_link\_current
  - název veličiny – 51/Napětí vloženého obvodu/[LO]\_DC\_link\_voltage

$$\text{příkon DC meziobvodu } ZN (k) [kW] = \frac{\text{proud DC meziobvodu } (k) [A] \times \text{napětí DC meziobvodu } (k) [V]}{1000} \quad (55)$$



### 3.5. AC nabíjení

Jedná se o poměrně pomalý způsob nabíjení VN baterie, kdy je přímo do vozidla z nabíjecí stanice, wallboxu, či nabíjecího setu, dodáváno AC napětí. Nabíjení probíhá v režimu Mode 3, případně Mode 2, při využití nabíjecího setu. Enyaq disponuje 11 kW palubní nabíječkou, která mění vstupní jednofázové nebo třífázové napětí na stejnosměrné napětí stejné jako má VN baterie. Přeměna střídavého na stejnosměrné nabíjecí napětí se tedy uskutečňuje přímo ve vozidle.

#### 3.5.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jaký průběh má nabíjecí výkon během nabíjení z AC nabíjecích stanic a jak dlouho samotné nabíjení trvá. Nabíjení probíhalo vždy z hodnoty stavu na kombi přístroji z 5 na 100 %.

#### 3.5.2. Postup měření

Měření bylo realizováno na téměř vybitém vozidle, kdy hodnota stavu baterie na infotainmentu a kombi přístroji ukazovala 5 %. Při této hodnotě ukazuje hodnota stavu nabití baterie v ODISu 10,4 %. Kromě stavu nabití baterie byly vyčítány z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla* hodnoty napětí a proudu VN baterie, hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení, teplota a napětí jednotlivých článků, napětí a proudu PTC vytápění VN baterie. Dále z jednotky č. C6 - *Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů* se jednalo o hodnoty napětí, proudu a výkonu na vstupu nabíječky, napětí a proudu na výstupu nabíječky a její účinnost. Dále hodnoty vstupního a výstupního napětí a proudu na DC/DC měniči z jednotky č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*, a z jednotky č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení* se jednalo o hodnoty napětí a proudu PTC vytápění kabiny, příkon klimatizace a vnitřní a vnější teplota.

Mezi další hodnoty, které byly vyčítány z jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*, ale následně nebyly použity k žádným výpočtům, byl režim VN baterie, stav stykače VN baterie, stav volnosti napětí či stav jističe nabíjení. Režim VN baterie poskytuje informaci o tom, v jakém režimu se aktuálně VN baterie nachází, tedy zda je v režimu jízda, Standby režim, Externí nabíjení stejnosměrné nebo Externí nabíjení střídavé. Informace ohledně stavu stykače VN baterie (zavřená/otevřená) může sloužit například během diagnostiky pro určení, zda je VN obvod odpojen od VN baterie či nikoli. Ke stejné informaci slouží

i hodnota stavu volnosti napětí (Beznapěťový stav VN zjištěn/ Beznapěťový stav VN nezjištěn). Stav jističe nabíjení (zavřená/otevřená) zase informuje o tom, zda je sepnut jistič mezi kontakty VN baterie a kontakty nabíjecího konektoru pro DC nabíjení.

### 3.5.3. Nabíjení pomocí wallboxu eVolve

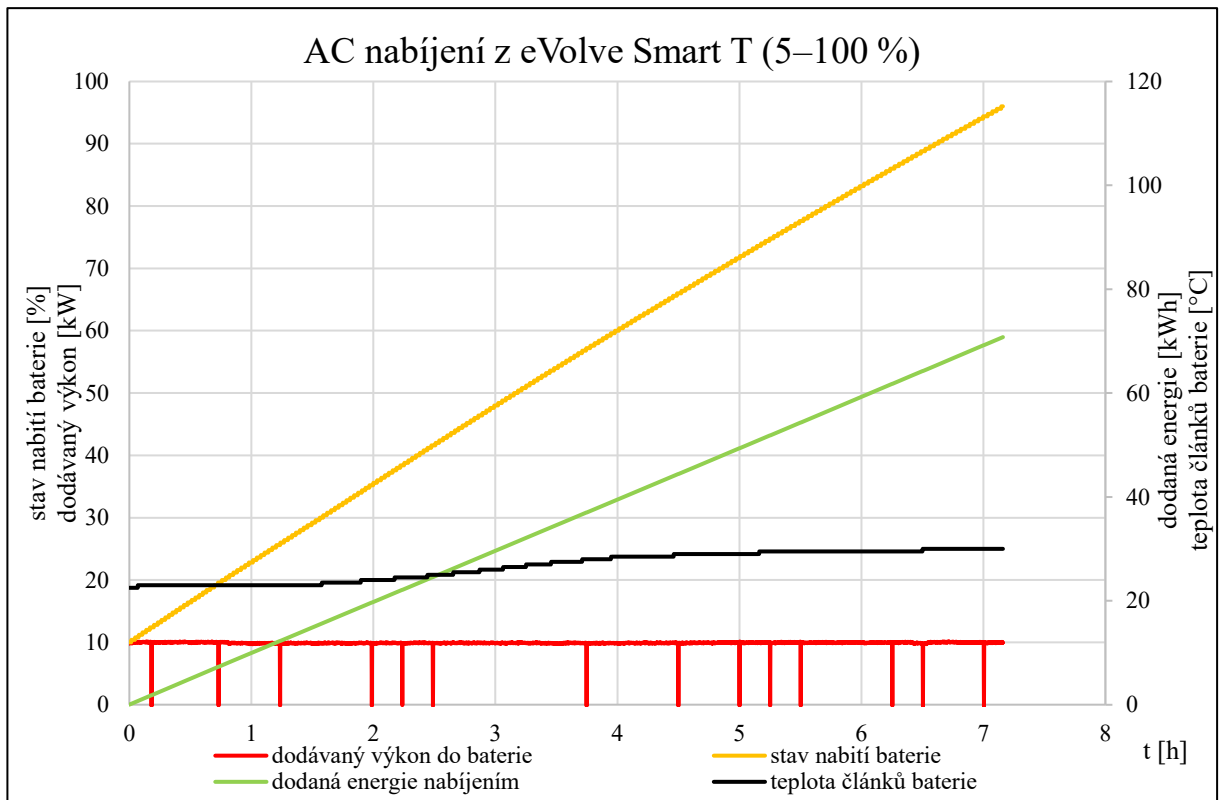
Nabíjecí wallbox je v podstatě chytrý box na zeď, který umožňuje nabíjet elektromobil v pohodlí domova. Samotný wallbox může i nemusí mít pevně připojený kabel s nabíjecím konektorem pro připojení do vozidla. Na základě komunikace wallboxu a palubní nabíječky vozidla wallbox připojí vodiče kabelu na síťové napětí.



Obrázek 29 – Nabíjení vozidla Enyaq z wallboxu eVolve Smart T

Měření probíhalo při nabíjení z wallboxu eVolve Smart T od firmy Circontrol, který disponuje maximálním výkonem 2 x 22 kW (maximální proud 2 x 32 A) a palubní nabíječku tak napájí ze všech třech fází. Pro připojení nabíjecích kabelů jsou k dispozici dvě zásuvky s konektorem Mennekes Typ 2.<sup>73</sup>

<sup>73</sup> eVolve Smart. Circontrol [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://circontrol.com/datasheets/evolvesmart-eng.pdf>



Graf 4 – AC nabíjení z eVolve Smart T (5–100 %)

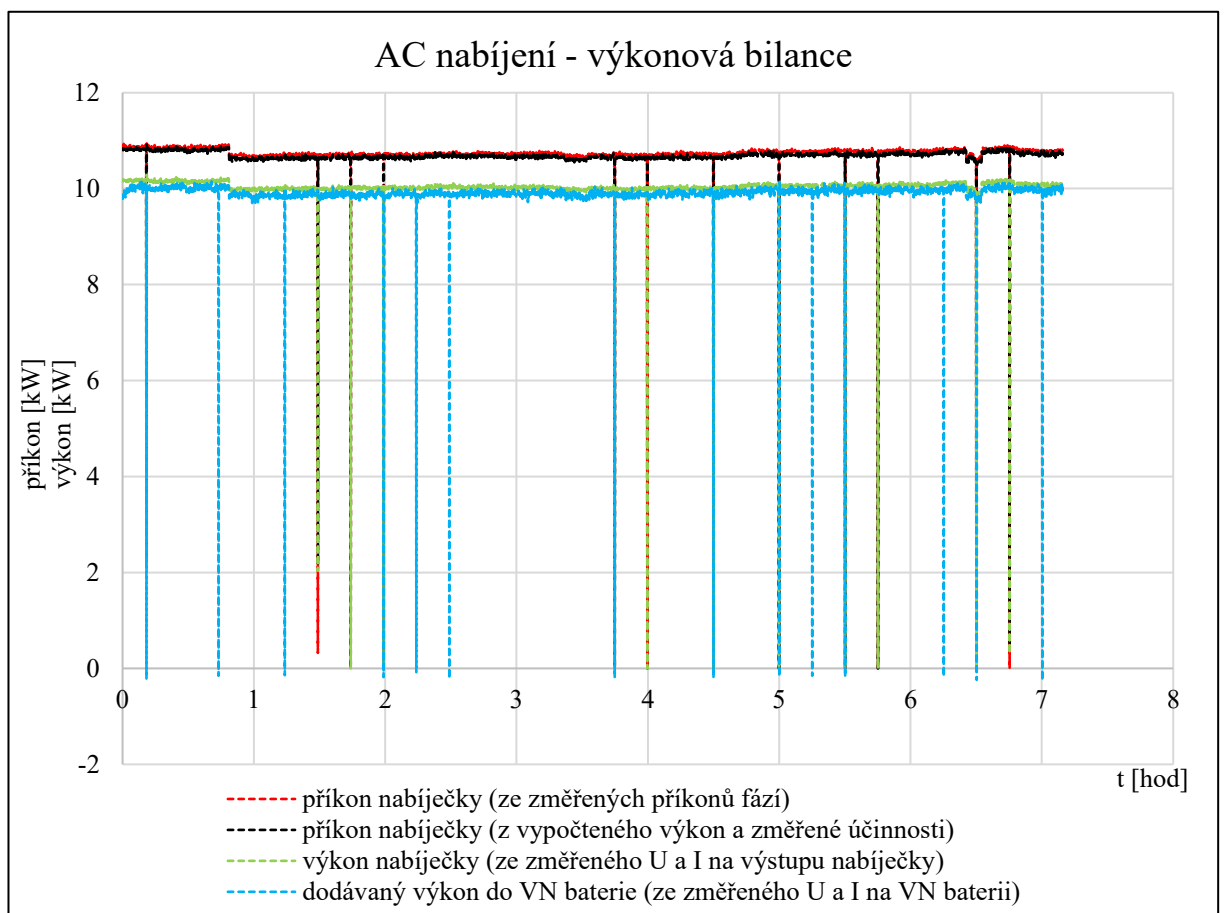
Graf č. 4 zobrazuje průběh nabíjecího výkonu, energie, teploty a stavu nabití baterie během nabíjení wallboxem eVolve Smart T, které trvalo 7 hodin 10 minut. Nabíjecí výkon je po celou dobu téměř konstantní a pohybuje se kolem hodnoty 9,88 kW. Lze si povšimnout nepravidelného přerušování nabíjení, kdy dodávaný proud, a tedy i dodávaný výkon do baterie, klesne na nulovou hodnotu. Pokles dodávaného výkonu je zřejmý i na vstupní straně nabíječky. Toto přerušování netrvá delší dobu než dvě vzorkovací periody, tedy maximálně 2 x 8,8 sekund. Tyto výpadky se vyskytovaly během každého AC nabíjení. Celková energie dodaná do baterie během nabíjení byla 70,759 kWh (energie vypočtená z napětí a proudu na VN baterii a hodnoty čítačů vybití a nabíjení se lišily pouze o 0,010 kWh, tedy o 0,01 %). Z energie, která byla dodána do vozidla, se dále napájel DC/DC měnič pro napájení vlastní elektroniky a odebral tak 2,249 kWh. Jedná se o poměrně velkou hodnotu energie, což je způsobeno tím, že se odvíjí od délky nabíjení. Teplota baterie se vlivem nabíjení zvýšila z 22,5 na 30 °C.

Jelikož lze na základě měřených hodnot zjistit příkon a výkon palubní nabíječky a výkon který je dodáván do VN baterie, lze si ověřit, zda odpovídá výkonová bilance nabíjení. Dodaný výkon do palubní nabíječky lze spočítat dvěma způsoby, a to pomocí hodnot vstupního proudu a napětí jednotlivých fází (vzorec č. 67) nebo ze součtu výkonů jednotlivých fází na vstupu palubní nabíječky (vzorec č. 68). Výstupní výkon se počítá z proudu a napětí na výstupu

nabíječky (vzorec č. 69), případně s využitím vypočteného příkonu  $P'$  (pomocí vzorce č. 67 nebo 68) a naměřené hodnoty účinnosti palubní nabíječky  $\eta$  a využití vzorce č. 56. Dodaný výkon do VN baterie se následně vypočítá dle vzorce č. 63. Účinnost palubní nabíječky lze najít mezi měřenými hodnotami, ale lze ji i vypočítat jako poměr výkonu  $P$  (vzorec č. 69) a činného příkonu  $P'$  (vzorec č. 67) palubní nabíječky, tedy dosazením do vzorce č. 57. Výsledná účinnost byla během tohoto měření vypočtena na 94 %. Tuto hodnotu lze přímo vyčíst i diagnostikou ODIS a je uvedena i v materiálech od výrobce.<sup>74</sup>

$$P(k) [W] = \frac{P'(k) [W] \times \eta(k) [\%]}{100} \quad (56)$$

$$\eta(k) [\%] = \frac{P(k) [W]}{P'(k) [W]} \times 100 \quad (57)$$



Graf 5 – AC nabíjení - výkonová bilance

### 3.5.4. Nabíjení pomocí 1f nabíjecího setu

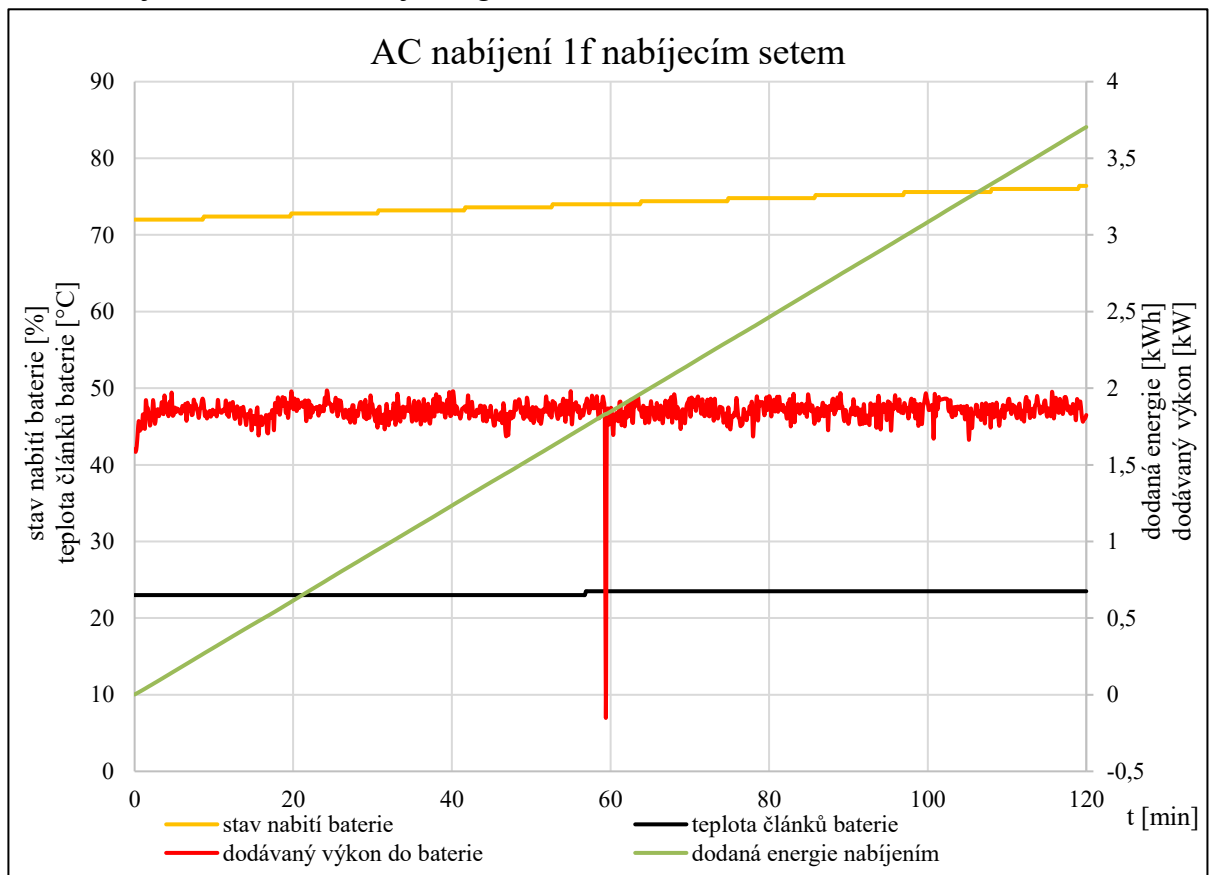
Jedná se o originální jednofázový nabíjecí set, který se dodává k hybridním vozidlům Škoda či vozidlům v rámci koncernu. Ačkoli je určen převážně pro hybridní vozidla,

<sup>74</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

elektromobily s ním lze také nabíjet. Avšak je potřeba počítat s poměrně dlouhou dobou nabíjení. Nabíjecí set vyrábí firma ETE a kusovníkové označení má 12E971675BS. Zapojuje se do běžné jednofázové zásuvky a je schopen dodávat maximální nabíjecí proud 10 A, tedy nabíjecí výkon dosahuje maximálně 2,3 kW. Výpočtem z dobíjecího výkonu  $P$ , kapacity baterie  $K$  a účinnosti palubní nabíječky  $\eta$  (měřením ověřená hodnota udávaná výrobcem 94 %), lze jednoduchým vzorcem č. 58 vypočítat přibližnou dobu nabíjení kapacity baterie o velikosti 70,364 kWh (průměrná energie dodaná během měření nabíjení z 5 na 100 % stavu nabití baterie). Vypočtená doba nabíjení činí přibližně 32,5 hodiny.

$$t_{\text{nabíjení}} [h] = \frac{K [kWh]}{P [kW] \times \eta [\%]} \times 100 \quad (58)$$

Jelikož by toto měření trvalo tak dlouhou dobu, nabíjení z 5 na 100 % jsem v tomto případě neprováděl, ovšem provedl jsem zkušební nabíjení s měřením po dobu 2 hodin, ze kterého je záznam v následujícím grafu.

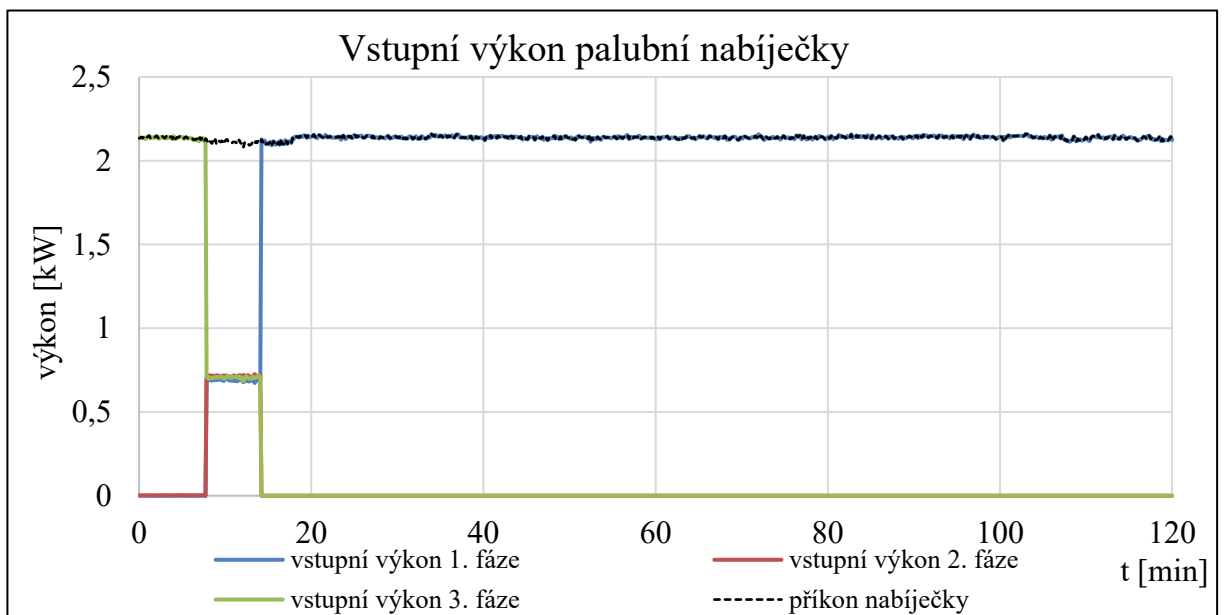


Graf 6 – AC nabíjení 1f nabíjecím setem

Skutečný dodávaný výkon do baterie je průměrně 1,85 kW a za 2 hodiny nabíjení dotekla do baterie energie o velikosti 3,704 kWh. Znamená to tedy, že nabíječka nabíjí rychlostí 1,852 kWh za jednu hodinu, takže čas nabití z 5 na 100 % by byl přibližně 38 hodin.

$$t_{\text{nabíjení}} [h] = \frac{K [kWh]}{P_{\text{nab}} [kW]} \quad (59)$$

Stav nabití akumulátoru se dle hodnoty vyčtené pomocí ODISu zvedl ze 72 na 76,4 %. I když byla palubní nabíječka napájena pouze z jedné fáze, její průměrná účinnost byla 93,66 %. Je zároveň zajímavé při pozorování vstupního výkonu na palubní nabíječce, že nabíjecí set přibližně po 7 minutách nabíjení změnil fázi, přes kterou dodával nabíjecí výkon. Na začátku nabíjení dodával výkon přes 3. fázi a po změně se jednalo o 1. fázi. Zřejmě takto nabíjecí set střídá fáze, aby docházelo k přibližně stejnému vytěžování součástí palubní nabíječky všech fází, a ne pouze součástí jedné fáze.



Graf 7 – Vstupní výkon palubní nabíječky

### 3.5.5. Účinnost AC nabíjení

Během tohoto měření jsem zjišťoval jednak účinnost AC nabíjení, jednak energetickou (round-trip) účinnost VN baterie. Účinnost AC nabíjení udává kolik procent energie dodané nabíječkou do vozidla, je reálně spotřebováno jízdou a počítá se pomocí vzorce č. 60. Energetická (round-trip) účinnost VN baterie udává kolik procent energie dodané přímo do baterie nabíjením, je reálně spotřebováno jízdou (vzorec č. 61). Na rozdíl od účinnosti AC nabíjení zde nejsou zahrnuty ztráty palubní nabíječky, vlastní spotřeba vozidla během nabíjení či ztráty vedení.<sup>75</sup>

$$\text{účinnost AC nabíjení [\%]} = 100 \times \frac{\text{energie spotřebovaná z baterie jízdou [kWh]}}{\text{energie dodaná do vozidla během nabíjení [kWh]}} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} \text{energetická (round - trip) účinnost VN baterie [\%]} &= \\ &= 100 \times \frac{\text{energie spotřebovaná z baterie jízdou [kWh]}}{\text{energie dodaná do baterie během nabíjení [kWh]}} \end{aligned} \quad (61)$$

Měření jsem realizoval celkem dvakrát, poprvé se zimními pneumatikami a podruhé s letními. Odebraná energie jízdou je tedy rozdílná, ovšem na výpočet účinností nemá vliv. Měřené hodnoty potřebné pro výpočet obou účinností jsou totožné, pouze při výpočtu samotné účinnosti se využije hodnota energie zobrazené na dobíjecí stanici v případě počítání účinnosti AC nabíjení, nebo hodnota vypočtené energie dodané do akumulátoru v případě výpočtu energetické (round-trip) účinnosti VN baterie. Před samotnou vybíjecí jízdou jsem vždy vozidlo nabil na 80 % kapacity baterie (78 % dle hodnoty stavu nabití baterie v ODISu). Takto bylo zaručeno, že před vybíjecí jízdou a po následném nabíjení bude stav nabití baterie stejný. Pro vybíjecí jízdu jsem zvolil jízdu na válcovém dynamometru konstantní rychlostí 130 km/h (jedná se o skutečnou rychlost vozidla, která byla udržována pomocí omezovače s nastavenou rychlostí 138 km/h v kombi přístroji). Jízdní odpory byly nastaveny pro simulaci jízdy po rovině. Během jízdy trávající 40 minut byla zapnuta klimatizace na udržování teploty 22 °C.

Během vybíjecí jízdy byly vyčítány pomocí ODISu stejné hodnoty jako při měření měrné spotřeby v kapitole 3.2. **Měrná spotřeba elektrické energie**, tedy hodnoty proudu a napětí na VN baterii (z jednoty č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*), otáček a momentu elektromotoru (z jednoty č. 51 - *Elektrický pohon*) a proudu a napětí v meziobvodu z těžké jednotky Elektrického pohonu. Zároveň na začátku vybíjecí jízdy a po zaparkování vozidla u nabíječky bylo zapotřebí vyčíst z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru*

---

<sup>75</sup> 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, 16.6.2022.

*hybridního vozidla* hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení. Po vybíjecí jízdě tedy následovalo nabíjení na AC wallboxu eVolve Smart T, kde před spuštěním byla nastavena v infotainmentu vozidla požadovaná hodnota nabití baterie, tedy 80 % (u vozidla Enyaq lze nastavit hodnotu po 10 % a to v rozmezí od 50 do 100 %). Během nabíjení docházelo k vyčítání stejných hodnot jako v případě AC nabíjení, tedy hodnoty napětí a proudu VN baterie, hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení, stav nabití baterie, teplota a napětí jednotlivých článků, napětí a proud PTC vytápění VN baterie (vše z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*). Z jednotky č. C6 - *Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů* se jednalo o hodnoty napětí, proudu a výkonu na vstupu nabíječky, napětí a proudu na výstupu nabíječky a její účinnost. Dále hodnoty vstupního a výstupního napětí a proudu na DC/DC měniči z jednotky č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*, a z jednotky č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení* hodnoty napětí a proudu PTC vytápění kabiny, příkon klimatizace a vnitřní a vnější teplota. Po nabití baterie na požadovaný procentuální stav se nabíjení samo ukončilo. Mohl jsem tedy vypočítat hodnotu energie spotřebovanou vybíjecí jízdou a hodnotu energie dodanou do baterie během nabíjení použitím vzorců č. 65 a 66 (výpočet ze změřených hodnot napětí a proudu na VN baterii a z čítačů nabíjení a vybíjení). Výpočty jsem tedy získal dvě hodnoty spotřebované a dvě hodnoty dodané energie, ze kterých jsem pro následné výpočty použil jejich průměr. Zároveň jsem musel kontaktovat zaměstnance firmy ŠKO-ENERGO, s.r.o., která má ve správě všechny nabíječky v závodech Škoda Auto, aby mi sdělil hodnotu dodané energie, kterou změřil wallbox či nabíjecí stanice integrovaným elektroměrem. Po získání těchto třech hodnot lze pomocí vzorců č. 60 a 61 vypočítat hodnotu účinnosti AC nabíjení a energetické (round-trip) účinnosti, které jsou zobrazeny v **tabulce č. 16**. V tabulce je i informace o vlastní spotřebě vozidla během nabíjení. Protože během nabíjení nedošlo k aktivaci vyhřívání kabiny ani VN baterie, jedná se o hodnotu energie spotřebovanou pouze DC/DC měničem vypočtenou z napětí a proudu na vstupu měniče pomocí vzorce č. 72. Z vlastní spotřeby vozidla během nabíjení lze vypočítat pomocí vzorce č. 62 průměrný příkon vlastní spotřeby vozidla během nabíjení.

$$\text{příkon vlastní spotřeby vozidla při nabíjení [W]} = \frac{\text{celková dodaná energie do DC/DC měniče [kWh]}}{\text{čas nabíjení [h]}} \times 1000 \quad (62)$$



Účinnost 3f AC nabíjení		1. měření	2. měření
energie spotřebovaná jízdou z VN baterie	z počítadel energií	12,925 kWh	10,421 kWh
	z UxI na VN baterii	12,940 kWh	10,433 kWh
	průměr	<b>12,932 kWh</b>	<b>10,427 kWh</b>
energie dodaná do VN baterie během nabíjení	z počítadel energií	13,252 kWh	10,616 kWh
	z UxI na VN baterii	13,446 kWh	10,596 kWh
	průměr	<b>13,349 kWh</b>	<b>10,606 kWh</b>
energie dodaná do vozidla během nabíjení		<b>14,400 kWh</b>	<b>11,530 kWh</b>
průměrný nabíjecí výkon		<b>10,118 kW</b>	<b>10,118 kW</b>
čas nabíjení		<b>1:20 hod</b>	<b>1:03 hod</b>
SOC baterie	na začátku nabíjení	<b>62,4 %</b>	<b>65,2 %</b>
	na konci nabíjení	<b>78 %</b>	<b>78 %</b>
účinnost AC nabíjení		<b>89,81 %</b>	<b>90,43 %</b>
energetická (round-trip) účinnost VN baterie		<b>96,88 %</b>	<b>98,31 %</b>
vlastní spotřeba vozidla při nabíjení		<b>0,462 kWh</b>	<b>0,358 kWh</b>
prům. příkon vlastní spotřeby vozidla při nabíjení		<b>346,7 W</b>	<b>341,3 W</b>

*Tabulka 16 – Účinnost 3f AC nabíjení*

Výsledná hodnota účinnosti AC nabíjení vyšla během obou měření velice podobná, rozdíl 0,62 %. Určitý vliv na rozdílnou účinnost bude mít o trochu vyšší průměrný příkon vlastní spotřeby během nabíjení. V případě energetické (round-trip) účinnosti VN baterie je již procentuální rozdíl větší (1,43 %). Na základě tohoto měření je tedy zřejmé, že během AC nabíjení se přibližně 10 % dodané energie z nabíjecího wallboxu či nabíjecí stanice ztratí především ve vlastní spotřebě vozidla (3,2 %) a v důsledku účinnosti palubní nabíječky (7 %).

### 3.5.6. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 8,823 s během nabíjení a 1,338 s během vybíjení:

- proud a napětí na VN baterii pro výpočet dodaného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –

8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---

- název veličiny –

8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) [kW] = \frac{\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]}{1000} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]) + (\text{proud VN baterie } (k-1) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (64)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie } [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] \quad (65)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

celková změna energie VN baterie [kWh] =

$$\begin{aligned} &= (\text{Čítače vybíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače vybíjení}_{před} [kWh]) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} [kWh] \\ &\quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} [kWh]) \end{aligned} \quad (66)$$

- napětí a proud na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu
    - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
    - název veličiny –
- C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 1/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
- název veličiny –
- C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 2/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
- název veličiny –
- C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 3/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert

- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
  - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
  - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- příkon nabíječky (k)[kW] =**
- $$= \frac{(\text{proud } 1. f(k) [A] \times \text{napětí } 1. f(k) [V] + \text{proud } 2. f(k) [A] \times \text{napětí } 2. f(k) [V] + \text{proud } 3. f(k) [A] \times \text{napětí } 3. f(k) [V])}{1000}$$

( 67 )

- **výkon jednotlivých fází na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu**
    - **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
- příkon nabíječky (k)[kW] =**
- $$= \frac{(\text{vstupní výkon } 1. f(k) [W] + \text{vstupní výkon } 2. f(k) [W] + \text{vstupní výkon } 3. f(k) [W])}{1000}$$

( 68 )

- **napětí a proud na výstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího výkonu**
    - **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
    - **název veličiny** –  
C6/Vysokonapětová nabíječka - aktuální výstupní napětí/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Voltage Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 1/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 2/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 3/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- výkon nabíječky (k)[kW] =**
- $$= \frac{(\text{proud snímače } 1 (k) [A] + \text{proud snímače } 2 (k) [A] + \text{proud snímače } 3 (k) [A]) \times \text{výstupní napětí } (k) [V]}{1000}$$

( 69 )

- účinnost palubní nabíječky
  - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
  - název veličiny – C6/nabíječka vysokonapěťových akumulátorů, účinnost/---/[LO]\_Wert/[LO]\_Wert
- napětí a proud na vstupu DC/DC měniče pro výpočet příkonu a odebrané energie
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, napětí trakční sítě/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 1/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 2/---

$$\text{vstupní proud měniče } (k) [A] = \text{vstupní proud } 1(k) [A] + \text{vstupní proud } 2(k) [A] \quad (70)$$

$$\begin{aligned} \text{dodaná energie do DC/DC měniče } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{vstupní proud měniče } (k) [A] \times \text{napětí měniče } (k) [V]) + (\text{vstupní proud měniče } (k-1) [A] \times \text{napětí měniče } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (71)$$

$$\text{celková dodaná energie do DC/DC měniče } [kWh] = \sum \text{dodaná energie do DC/DC měniče } i [kWh] \quad (72)$$

- příkon kompresoru klimatizace
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny –  
08/monitor systému, kompresor klimatizace EKK4/Příkon kompresoru klimatizace, skutečná hodnota

$$\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [kW] = \frac{\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [W]}{1000} \quad (73)$$

- napětí a proud PTC vysokonapěťového topení pro výpočet jeho příkonu
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Proud, skutečná hodnota
  - název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Vysokonapěťové napájecí napětí

$$\text{příkon VN PTC topení } (k) [kW] = \frac{\text{proud PTC topení } (k) [A] \times \text{napětí PTC topení } (k) [V]}{1000} \quad (74)$$

- napětí a proud PTC topení VN baterie pro výpočet jeho příkonu
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/napětí ve VN systému/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru  
za jističi/[LO]\_Case\_HighVoltaBatteContaVoltaCase0/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru  
za jističi
  - název veličiny – 8C/Proud topení PTC VN akumulátoru/---/[LO]\_ptc\_hv\_i\_ist, Case 0/---

$$\text{příkon PTC topení VN baterie } (k) [kW] =$$

$$= \frac{\text{proud PTC topení VN baterie (k) [A]} \times \text{napětí PTC topení VN baterie (k) [V]}{1000}$$

( 75 )

- stav nabití VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/stav nabití akumulátoru/---/[LO]\_State of charge, Case 0/---
  
- teplota akumulátoru
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/teplota akumulátoru/---/[LO]\_battery temperature, Case 0/---

### 3.6. DC nabíjení

Pro rychlé nabíjení VN baterie vozu je lepší využít stejnosměrné DC nabíjení, kdy se o přeměnu ze střídavého na stejnosměrné nabíjecí napětí stará přímo nabíjecí stanice. Jedná se o režim nabíjení Mode 4. Do vozidla je tedy dodáváno stejnosměrné napětí o stejné velikosti jako je ve VN baterii a nemusí tak docházet k další úpravě napětí ve vozidle. Toto nabíjení je velice rychlé a nabíjení celé kapacity baterie vozu může trvat i necelou hodinu.

#### 3.6.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jaký průběh má nabíjecí výkon během nabíjení z DC nabíjecích stanic, a jak dlouho samotné nabíjení trvá v závislosti na použití tří různě výkonných nabíjecích výstupů. Stejně jako v předchozí kapitole **3.5. AC nabíjení** probíhalo vždy nabíjení z 5 na 100 %.

#### 3.6.2. Postup měření

Během měření průběhu nabíjení VN baterie byly vyčítány pomocí diagnostiky ODIS stejné hodnoty jako během AC nabíjení, pouze s tím rozdílem, že zde nebyly vyčítány hodnoty ohledně palubní nabíječky. Vyčítány byly tedy hodnoty napětí a proudu VN baterie, hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení, stav nabití baterie, teplota a napětí jednotlivých článků či napětí a proud PTC vytápění VN baterie (vše z řídicí jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*). Dále byly vyčítány hodnoty vstupního a výstupního napětí a proudu na DC/DC měniči z řídicí jednotky č. 8105 - *Měnič napětí 12 V* a z jednotky č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení* hodnoty napětí a proudu PTC vytápění kabiny, příkon klimatizace a vnitřní a vnější teplota. Průměrná vzorkovací perioda zde byla 6,585 s, ovšem v případě nabíjení k rychlým změnám měřených hodnot nedochází.

### 3.6.3. Nabíjecí stanice Siemens

Nabíjecí stanice Siemens CPC 50 disponuje AC i DC nabíjením. K dispozici jsou celkem tři rozdílné nabíjecí konektory, tedy pro DC nabíjení jsou to CCS Typ 2 a CHAdeMO a pro AC nabíjení konektor Mennekes Typ 2. Maximální dobíjecí výkon stanice je pro DC výstup 50 kW a výstupní proud tak může dosahovat až 125 A. Pro AC výstup je maximální dobíjecí výkon 22 kW a dobíjecí proud dosahuje až 3 x 32 A.<sup>76</sup>

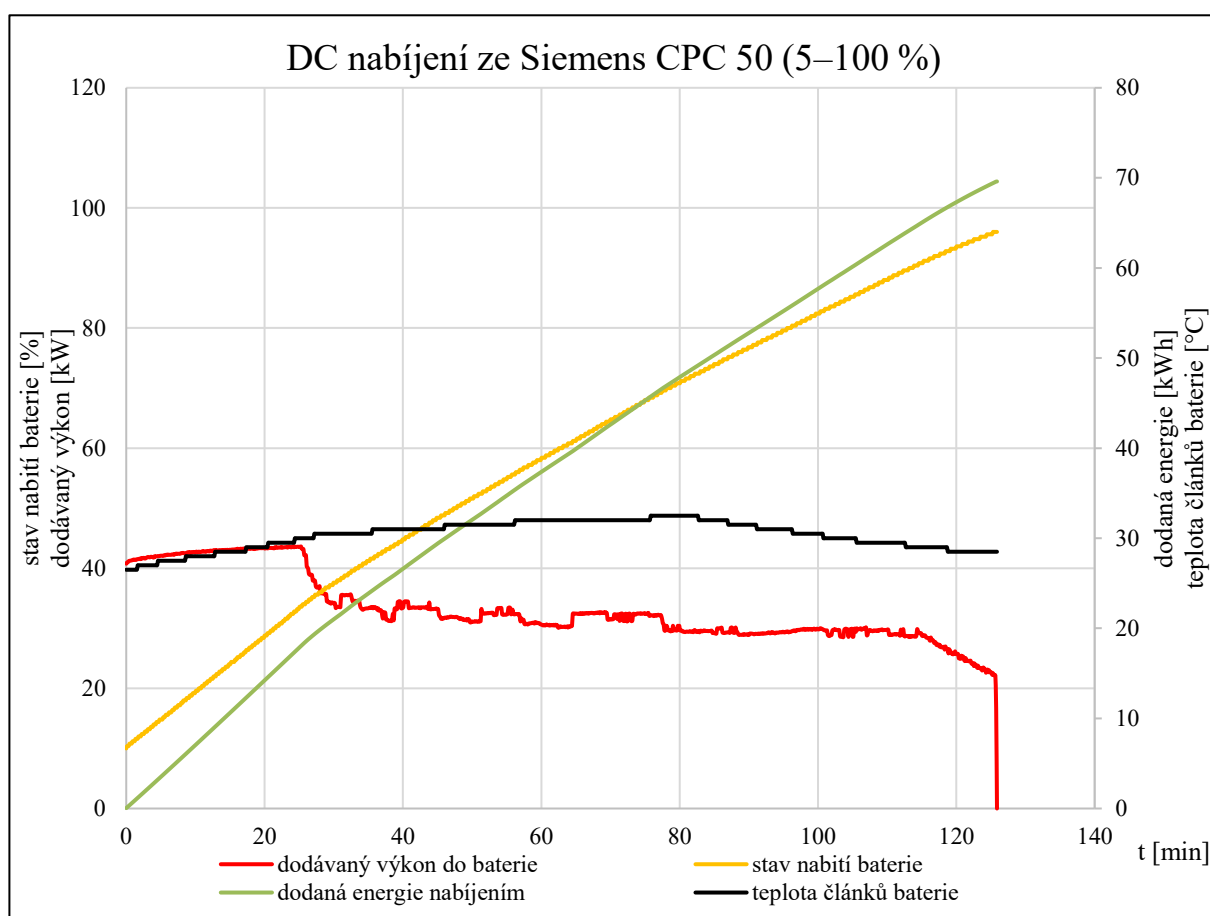


Obrázek 30 – Nabíjení vozidla Enyaq na nabíjecí stanici Siemens

Na **grafu č. 8** je znázorněn průběh dodávaného výkonu, dodané energie, teploty článků a stav nabití VN baterie během nabíjení. Oproti měření v předchozí kapitole **3.5. AC nabíjení** lze na první pohled vidět zásadní rozdíl v průběhu dodávaného výkonu, kdy u AC nabíjení je dodáván konstantní nabíjecí výkon po celou dobu nabíjení. U DC nabíjení je nabíjecí výkon proměnlivý, zpravidla ze začátku dosahuje maximálních výkonů a ke konci nabíjení se výkon snižuje. Maximální dobíjecí výkon při tomto měření měl hodnotu 43,68 kW a to po 24 minutách od začátku nabíjení, kdy byl stav nabití baterie na 32,4 %. Následně došlo ke snížení dobíjecího výkonu přibližně na hodnotu 32 kW a tímto výkonem, který se velice pomalu snižoval k hodnotě 29 kW, probíhalo nabíjení až do stavu 91 % nabití baterie. Posledních 10 minut nabíjení se nabíjecí výkon opět snižoval až k hodnotě 22 kW, kdy po 125 minutách (2 hodiny

<sup>76</sup> Rychlonabíjecí stanice CPC 50 kW. Siemens.com [online]. 2020 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:200cd5d7-7b65-4a7f-958a-69f3482e64b9/50kw-2020.pdf>

a 5 minut) bylo nabíjení ukončeno. Stav nabití baterie byl stejně jako u AC nabíjení na hodnotě 96 %, ale na kombi přístroji a infotainmentu bylo 100 %. Během nabíjení byla do VN baterie dodána energie o velikosti 69,579 kWh (energie vypočtená z hodnot napětí a proudu na VN baterii a hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení se lišily pouze o 0,042 kWh, tedy o 0,06 %). Z energie, která byla dodána do vozidla, se dále napájel DC/DC měnič pro napájení vlastní elektroniky či dobítí 12 V baterie, který celkem spotřeboval energii 0,989 kWh. Další energii o velikosti 35 Wh si odebralo vyhřívání kabiny. Jedná se ovšem o velice malou energii, která by vnitřní teplotu žádným způsobem neovlivnila. Během celého procesu nabíjení nedošlo k nucenému vyhřívání baterie pomocí PTC topení. Celkově tedy nabíjecí stanice dodala do vozidla energii o velikosti 70,624 kWh.



Graf 8 – DC nabíjení ze Siemens CPC 50 (5–100 %)

Ze zaznamenaných hodnot lze dále určit, že při průměrném odběru 470 W byla průměrná účinnost DC/DC měniče 85 %. Nejnižší teplota článku byla naměřena 26,00 °C a nejvyšší 32,63 °C, což zhruba odpovídá i teplotě celé baterie, jejíž průběh je zobrazen v grafu. Naměřené hodnoty poskytují i informace o nejnižším a nejvyšším napětí na jednotlivých článcích, které bylo během tohoto měření 3,48 V a 4,17 V.



### 3.6.4. Nabíjecí stanice Nikola

Ultra rychlodobíjecí stanice Nikola DC 150kW disponuje maximálním nabíjecím výkonem až 150 kW (3x větší než u nabíjecí stanice Siemens). Stanice má dva DC nabíjecí konektory typu CCS Typ 2, kdy je jeden konektor přizpůsoben pro maximální nabíjecí proud 200 A. Druhý konektor, který má přídavné chlazení vodičů kabelu a konektoru, může dodávat maximální dobíjecí proud až 400 A.<sup>77</sup> Na stránce Media Room – Škoda Storyboard je uveden maximální dobíjecí výkon platformy MEB při DC nabíjení 125 kW<sup>78</sup>, odpovídající dobíjecímu proudu 352 A při nominálním napětí 355 V, ovšem v tabulce s technickými údaji vozidla od výrobce je uveden u času DC nabíjení výkon 135 kW<sup>79</sup>, tedy proud 380 A. Tyto hodnoty tak nejsou shodné. Maximální nabíjecí výkon stanice je vyšší, proto během měření bude zjištěno, která hodnota dobíjecího výkonu je u testovaného vozidla správná.

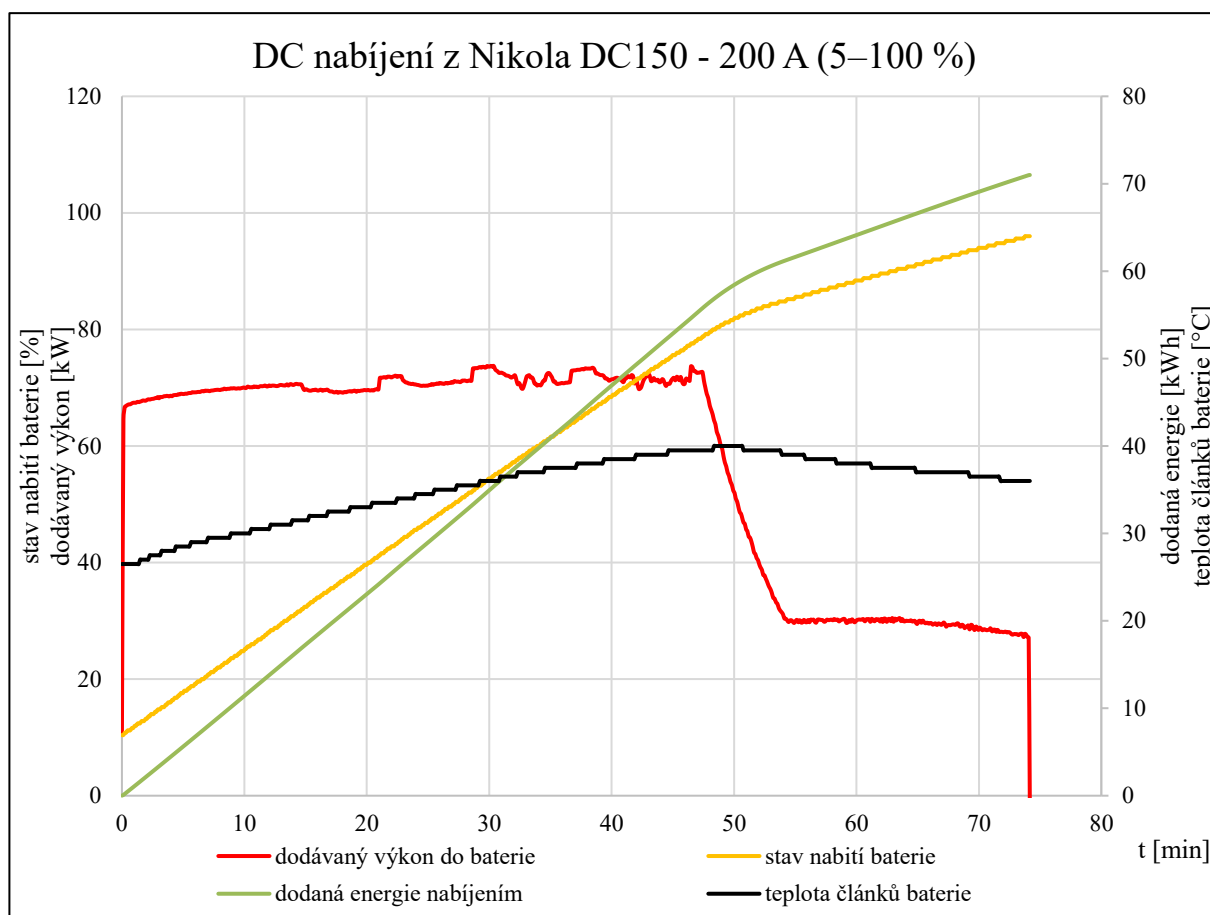


Obrázek 31 – Nabíjení vozidla Enyaq na nabíjecí stanici NIKOLA

<sup>77</sup> DC rychlodobíjecí stanice. Nikola [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://nikola-evc.cz/#products>

<sup>78</sup> Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 08.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>

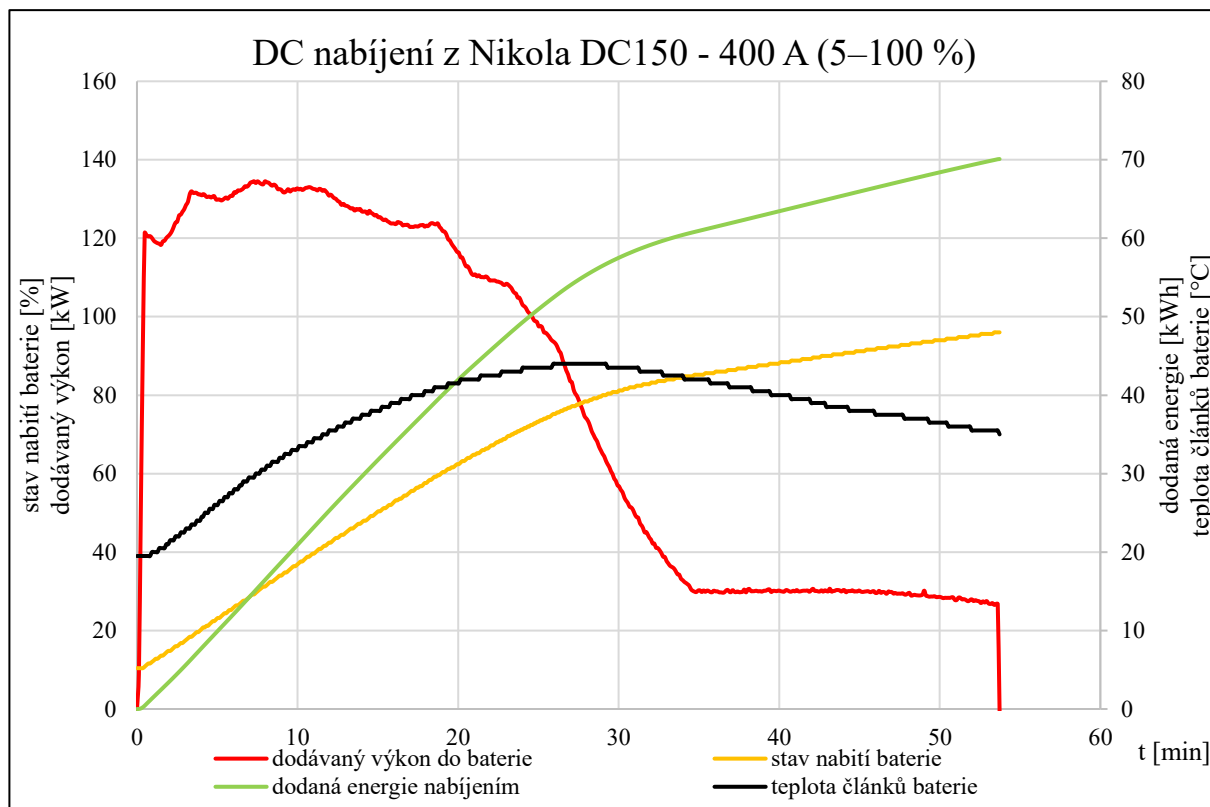
<sup>79</sup> Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>



*Graf 9 – DC nabíjení z Nikola DC150 - 200 A (5–100 %)*

Z grafu č. 9 je zřejmé, že nabíjecí výkon se po zahájení nabíjení pohyboval kolem 70,43 kW, a to až do 80 % stavu nabití baterie. V tento okamžik se nabíjecí výkon pomalu snížil (přibližně za 7 minut) na 30 kW, kde setrval až do nabití do 96 % stavu nabití VN baterie. Nabíjení se opět zastavilo na stejné úrovni jako během předchozích AC i DC nabíjení na hodnotě 96 % dle hodnoty z ODISu, tedy na 100 % zobrazených na infotainmentu a kombi přístroji. Celkem tedy nabíjení do plné kapacity baterie trvalo 74 minut (1 hodina a 14 minut), ovšem pro nabití na hodnotu 80 % stavu baterie dle infotainmentu stačilo 47 minut. Celková energie dodaná do baterie činila 71,013 kWh (rozdíl mezi energií vypočtenou z napětí a proudu na VN baterii a hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení se opět lišila pouze o 0,03 %). Během nabíjení si z nabíjecího výkonu odebral DC/DC měnič energii o velikosti 595 Wh a vyhřívání kabiny opět minimální hodnotu energie o velikosti 62 Wh. Během celého procesu nabíjení nedocházelo k nucenému vyhřívání baterie pomocí PTC topení.

Při nabíjení došlo již k výraznějšímu ohřátí baterie až na teplotu 40 °C (teplota na začátku tohoto nabíjení i předchozího nabíjení na nabíjecí stanici Siemens byla 26,5 °C).

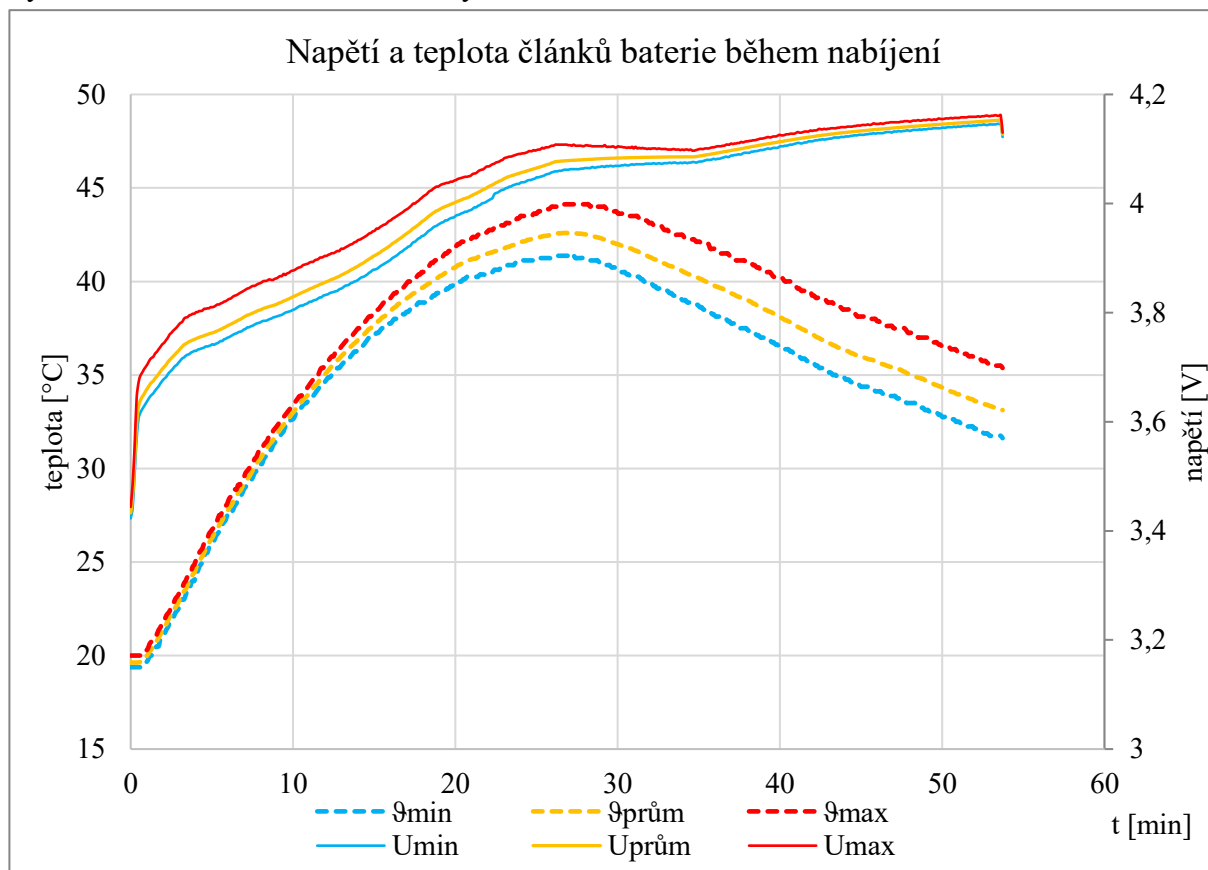


Graf 10 – DC nabíjení z Nikola DC150 - 400 A (5–100 %)

Nabíjení s využitím nabíjecího konektoru pro maximální dobíjecí proud 400 A je zobrazeno na grafu č. 10. Nabíjecí výkon zde dosahoval velice krátkou dobu až hodnoty 134,53 kW, kdy do baterie tekla proud 368,58 A. S takto vysokým dobíjecím výkonem, okolo 132 kW, byla ovšem baterie nabíjena pouze po dobu cca 8 minut. V důsledku vysokého nabíjecího proudu totiž docházelo k prudkému ohřívání baterie. Přibližně po 18 minutách od zahájení nabíjení (kdy byl stavu nabití baterie v ODISu na hodnotě 60 %) začal klesat nabíjecí výkon k hodnotě 30 kW, kdy následně tímto výkonem stanice dobila posledních 12 % kapacity baterie, než se nabíjení ukončilo na hodnotě 96 % stavu nabití v ODISu. Celkem tedy nabíjení do plné kapacity baterie trvalo 44 minut. Celkem bylo nabíjením do VN baterie dodáno 70,122 kWh (diference mezi energií vypočtenou z napětí a proudu a energií z čítačů zde byla 0,08 %). Při tomto nabíjení si kromě DC/DC měniče (0,495 kWh) a vyhřívání kabiny (0,098 kWh) vzalo část dodané energie i PTC vyhřívání baterie (0,181 kWh). To se aktivovalo po 35 sekundách od zahájení nabíjení a téměř maximálním výkonem 5 kW (dle výrobce je maximální topný výkon 5,5 kW<sup>80</sup>) ohřívalo chladicí médium VN baterie po dobu 2,5 minuty. Za tuto dobu se teplota baterie zvýšila z teploty 19,5 na teplotu 23 °C, ale je samozřejmé, že zahřáté chladicí médium pomohlo i s následným ohříváním článků baterie. Původní teplota

<sup>80</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

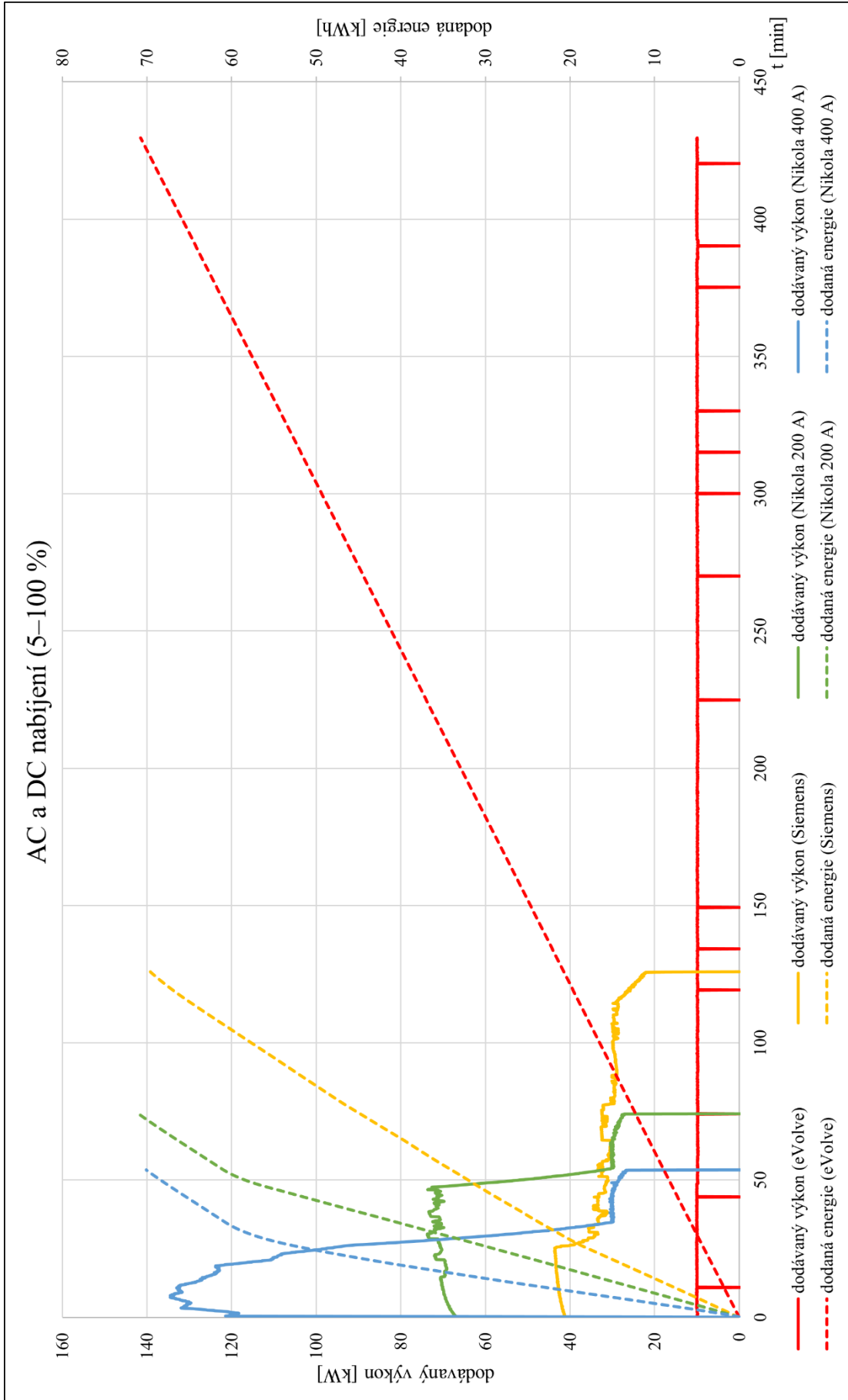
baterie byla zřejmě pro nabíjení příliš nízká. V **tabulce č. 1** s technickými údaji vozidla je uvedena doba DC nabíjení z 10 na 80 % kapacity baterie pomocí dobíjecího výkonu 135 kW (odpovídající nabíjení pomocí 400 A nabíjecího konektoru) 29 minut, ovšem dle zjištěných výsledků měření stačí 25,5 minuty.



Graf 11 – Napětí a teplota článků baterie během nabíjení

Během celého nabíjení dosáhla teplota až na hodnotu 44 °C (některé články dosáhly maximální teploty 44,13 °C) s tím, že teplota na začátku nabíjení byla již zmíněných 19,5 °C. V grafu č. 11 je minimální, maximální a průměrná teplota ze všech 24 snímačů teploty v baterii (2 snímače teploty na 1 bateriový modul), kdy ke konci nabíjení dosahoval rozdíl mezi bateriovými moduly s nejnižší a nejvyšší teplotou hodnoty až 3,88 °C. V případě rozdílného napětí článků, kde je dostupná hodnota o napětí všech článků (96 hodnot napětí), je nejvyšší rozdíl 0,075 V, a to v čase, kdy byl do baterie dodáván maximální nabíjecí výkon.

Na následujícím **grafu č. 12** je porovnání průběhu nabíjecího výkonu a dodané energie z AC wallboxu eVolve a DC nabíjecích stanic Siemens a Nikola. Je zde vidět, jak je dobíjecí výkon wallboxu výrazně nižší než dobíjecí výkon DC nabíjecích stanic a jak se razantně prodlouží doba nabíjení. Zároveň lze i vizuálně porovnat množství dodané energie, které je během všech nabíjení velice podobné.



Graf 12 – Porovnání AC a DC nabíjení (5–100 %)

### 3.6.5. Účinnost DC nabíjení

Měření a výpočty účinnosti DC nabíjení a energetické (round-trip) účinnosti VN baterie při nabíjení z DC nabíjecí stanice probíhalo stejným způsobem jako u měření účinnosti při AC nabíjení v předchozí podkapitole **3.5.5. Účinnost AC nabíjení**. Pro nabíjení vozidla byla využita nabíjecí stanice Siemens 50 kW a opět jsem provedl celkem 2 měření.

Účinnost DC nabíjení (stojan 50 kW)		1. měření	2. měření
energie spotřebovaná jízdou z VN baterie	z počítadel energií	13,294 kWh	13,532 kWh
	z UxI na VN baterii	13,240 kWh	13,460 kWh
	průměr	<b>13,267 kWh</b>	<b>13,496 kWh</b>
energie dodaná do VN baterie během nabíjení	z počítadel energií	13,688 kWh	13,830 kWh
	z UxI na VN baterii	13,681 kWh	13,814 kWh
	průměr	<b>13,685 kWh</b>	<b>13,822 kWh</b>
energie dodaná do vozidla během nabíjení		<b>14,155 kWh</b>	<b>14,219 kWh</b>
průměrný dobíjecí výkon		<b>39,016 kW</b>	<b>36,712 kW</b>
čas nabíjení		<b>0:21 hod</b>	<b>0:22 hod</b>
SOC baterie	na začátku nabíjení	<b>61,6 %</b>	<b>61,6 %</b>
	na konci nabíjení	<b>78 %</b>	<b>78 %</b>
účinnost nabíjení		<b>93,73 %</b>	<b>94,92 %</b>
energetická (round-trip) účinnost VN baterie		<b>96,95 %</b>	<b>97,64 %</b>
vlastní spotřeba vozidla při nabíjení		<b>0,187 kWh</b>	<b>0,152 kWh</b>
prům. příkon vlastní spotřeby vozidla při nabíjení		<b>535,0 W</b>	<b>406,2 W</b>

Tabulka 17 – Účinnost DC nabíjení

V tabulce č. 17 lze porovnat mezi sebou hodnoty změřené a vypočtené během vybíjecí jízdy a následného nabíjení. Energie spotřebovaná a energie dodaná nabíjením jsou velice podobné, to platí i o hodnotě dodané energie z nabíječky, která nabíjela vozidlo i téměř stejně dlouhou dobu. Účinnost DC nabíjení je zde v porovnání s AC nabíjením větší o 4 %, jelikož se zde neuplatňují ztráty v palubní nabíječce. Energetická (round-trip) účinnost VN baterie vyšla téměř shodná jako u AC nabíjení. Ta tedy není ovlivněna druhem energie (AC nebo DC), která je do vozidla během nabíjení dodávána, protože přímo do baterie je v obou případech dodávána energie DC napětím. V případě příkonu vlastní spotřeby jsou hodnoty poměrně rozdílné, a to o 129 W. Během prvního nabíjení sice došlo k sepnutí vyhřívání prostoru kabiny, ale byla odebrána zcela minimální hodnota energie o velikosti pouze 1 Wh. Aktivace vyhřívání tedy neměla na vyšší příkon žádný vliv. Je ovšem zajímavé, že vlastní spotřeba vyšla v případě

DC nabíjení přibližně o 36 % vyšší než během AC nabíjení, i když byly dodrženy shodné podmínky během všech nabíjení.

### 3.6.6. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 6,585 s během nabíjení a 1,338 s během vybíjení:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet dodaného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) [kW] = \frac{\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]}{1000} \quad (76)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]) + (\text{proud VN baterie } (k-1) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (77)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie } [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] \quad (78)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

$$\begin{aligned} \text{celková změna energie VN baterie } [kWh] &= \\ &= (\text{Čítače vybíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače vybíjení}_{před} [kWh]) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} [kWh] \\ &\quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} [kWh]) \end{aligned} \quad (79)$$

- napětí a proud na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu
  - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
  - název veličiny –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 1/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
  - název veličiny –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 2/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert

- **název veličiny** –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 3/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert

**příkon nabíječky (k) [kW] =**

$$= \frac{(\text{proud } 1. f (k) [A] \times \text{napětí } 1. f (k) [V] + \text{proud } 2. f (k) [A] \times \text{napětí } 2. f (k) [V] + \text{proud } 3. f (k) [A] \times \text{napětí } 3. f (k) [V])}{1000}$$

( 80 )

- **výkon jednotlivých fází na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu**

- **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
- **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert

**příkon nabíječky (k) [kW] =**

$$= \frac{(\text{vstupní výkon } 1. f (k) [W] + \text{vstupní výkon } 2. f (k) [W] + \text{vstupní výkon } 3. f (k) [W])}{1000}$$

( 81 )

- **napětí a proud na výstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího výkonu**

- **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
- **název veličiny** –  
C6/Vysokonapětová nabíječka - aktuální výstupní napětí/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Voltage Wert
- **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 1/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 2/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 3/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert

**výkon nabíječky (k)[kW] =**

$$= \frac{(\text{proud snímače } 1 (k) [A] + \text{proud snímače } 2 (k) [A] + \text{proud snímače } 3 (k) [A]) \times \text{výstupní napětí } (k) [V]}{1000}$$

( 82 )



- účinnost palubní nabíječky
  - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
  - název veličiny – C6/nabíječka vysokonapěťových akumulátorů, účinnost/---/[LO]\_Wert/[LO]\_Wert
- napětí a proud na vstupu DC/DC měniče pro výpočet příkonu a odebrané energie
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, napětí trakční sítě/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 1/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 2/---

$$\text{vstupní proud měniče } (k) [A] = \text{vstupní proud } 1(k) [A] + \text{vstupní proud } 2(k) [A] \quad (83)$$

$$\begin{aligned} \text{dodaná energie do DC/DC měniče } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{vstupní proud měniče } (k) [A] \times \text{napětí měniče } (k) [V]) + (\text{vstupní proud měniče } (k-1) [A] \times \text{napětí měniče } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (84)$$

$$\text{celková dodaná energie do DC/DC měniče } [kWh] = \sum \text{dodaná energie do DC/DC měniče}_i [kWh] \quad (85)$$

- příkon kompresoru klimatizace
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny –  
08/monitor systému, kompresor klimatizace EKK4/Příkon kompresoru klimatizace, skutečná hodnota

$$\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [kW] = \frac{\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [W]}{1000} \quad (86)$$

- napětí a proud PTC vysokonapěťového topení pro výpočet jeho příkonu
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Proud, skutečná hodnota
  - název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Vysokonapěťové napájecí napětí

$$\text{příkon VN PTC topení } (k) [kW] = \frac{\text{proud PTC topení } (k) [A] \times \text{napětí PTC topení } (k) [V]}{1000} \quad (87)$$

- napětí a proud PTC topení VN baterie pro výpočet jeho příkonu
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/napětí ve VN systému/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru  
za jističi/[LO]\_Case\_HighVoltaBatteContaVoltaCase0/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru  
za jističi
  - název veličiny – 8C/Proud topení PTC VN akumulátoru/---/[LO]\_ptc\_hv\_i\_ist, Case 0/---

$$\begin{aligned}
 \text{příkon PTC topení VN baterie (k)[kW]} &= \\
 &= \frac{\text{proud PTC topení VN baterie (k) [A]} \times \text{napětí PTC topení VN baterie (k) [V]}}{1000}
 \end{aligned}
 \tag{88}$$

- stav nabití VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/stav nabití akumulátoru/---/[LO]\_State of charge, Case 0/---
  
- teplota akumulátoru
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/teplota akumulátoru/---/[LO]\_battery temperature, Case 0/---

## 3.7. Úplné vybití VN baterie vozidla s následným nabitím

### 3.7.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, kolik elektrické energie dodá nabíječka VN baterii po jejím úplném vybití na hodnotu 0 %. Tímto způsobem zjistíme, kolik činí využitelná kapacita baterie.

### 3.7.2. Postup měření

Pro úplné vybití vozidla na hodnotu 0 % jsem ve válcovém dynamometru nastavil volnou jízdu s jízdními odpory simulujícími jízdu po rovině. První upozornění pro řidiče se zobrazí při stavu nabití baterie na hodnotě 15 %, kdy se na displeji kombi přístroje rozsvítí oranžová ikonka baterie a na displeji infotainmentu se zobrazí upozornění s textem: „Nabijte



Obrázek 32 – Informace o nízké stavu nabití baterie na kombi přístroji

prosím své vozidlo.“ Tento text se zobrazuje v pravidelných intervalech i na kombi přístroji až do doby, kdy stav nabití klesne na hodnotu 0 %. Při této hodnotě má vyčtená hodnota stavu baterie v ODISu (vyčtena z jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*) hodnotu 5,6 %, která odpovídá hodnotě SOC. V této chvíli se text upozornění změní a zobrazí se nové upozornění s textem „Žádný zbývající dojezd. Nyní nabijte vozidlo.“ I přesto jsem následně ujel ještě dalších 21 kilometrů, než se na displeji kombi přístroje zobrazil oranžový symbol želvy a na displeji infotainmentu se zobrazilo upozornění s textem „Jízdní výkon je omezený. Přečtěte si prosím palubní knihu.“ V tuto chvíli měl vyčtený stav baterie hodnotu 2,4 %. Po následné jízdě vozidla s výrazně sníženým výkonem trávající zhruba 3 minuty se zobrazil symbol červené želvy s textem „Možné je jen manévrování! Nabijte vozidlo. Přečtěte si palubní knihu.“ V tento okamžik již vozidlo téměř nereagovalo na plynový pedál a musel jsem tedy zastavit. Výkon elektromotoru byl ovšem tak omezen, že ani nebylo možné vyjet z dynamometru. Vyčtený stav baterie měl hodnotu 2,0 %. O sníženém výkonu je řidič informován i pomocí zeleného indikátoru na kombi přístroji pod ukazatelem dojezdu.



Obrázek 33 – Nabíjení Enyaqu pomocí 1f nabíjecího setu

Jelikož s vozidlem nešlo z dynamometru vyjet a v potřebném dosahu se nenacházela žádná nabíjecí stanice ani wallbox, musel jsem použít jednofázový nabíjecí set, který nabíjel

vozidlo průměrným výkonem 1,8 kW. Takto jsem nabil vozidlo přibližně za půl hodiny z již zmíněných 2 % na 3,2 % stavu baterie, kdy již nebyl výkon elektromotoru razantně omezen a mohl jsem přejet přibližně 20 metrů k wallboxu. Ten následně vozidlo nabil průměrným výkonem 10 kW na hodnotu stavu nabití baterie 96 % (hodnota odpovídající 100 % nabití baterie dle ukazatele na tachometru a infotainmentu) za 7,5 hodiny, což je i hodnota uvedená v **tabulce č. 1** s technickými údaji vozidla.

Během nabíjení byly vyčítány stejné hodnoty jako při měření v kapitole **3.5. AC nabíjení**, tedy hodnoty napětí a proudu VN baterie, hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení, stav nabití baterie, teplota a napětí jednotlivých článků, napětí a proud PTC vytápění VN baterie (vše z řídicí jednotky č. *8C - Správa akumulátoru hybridního vozidla*). Z jednotky č. *C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů* se jednalo o hodnoty napětí, proudu a výkonu na vstupu nabíječky, napětí a proudu na výstupu nabíječky a její účinnost. Dále hodnoty vstupního a výstupního napětí a proudu na DC/DC měniči z jednotky č. *8105 - Měnič napětí 12 V* a z jednotky č. *08 - Elektronika klimatizace/topení* hodnoty napětí a proudu PTC vytápění kabiny, příkon klimatizace a vnitřní a vnější teplota.

### 3.7.3. Zjištěné hodnoty měřením

Vybitím baterie jsem dosáhl její nejnižší možné úrovně nabití, kdy byl již provoz vozidla značně omezen pouze na nejnútnejší funkce jako zastavení vozidla, zatáčení, funkci bezpečnostních systémů či svícení světel. Následným nabitím do nejvyšší možné úrovně jsem zjistil, kolik energie lze z akumulátoru využít právě pro provoz vozidla bez omezení. Na základě měření a následného výpočtu vyšlo, že dodaná energie do baterie byla 75,911 kWh. V tomto případě se hodnota energie vypočtená z proudu a napětí a z čítačů energií liší pouze o 0,001 kWh, což je zcela zanedbatelná hodnota. Zjištěná využitelná kapacita baterie představuje 98,6 % z hodnoty uvedené v tabulce s technickými údaji vozidla, tedy z hodnoty 77 kWh. Tento rozdíl může být způsoben přerušením procesu nabíjení, případně i použitím rozdílného postupu výpočtu kapacity u mě a ve vývoji. Vezmeme-li vypočtenou měrnou spotřebu během měření v kapitole **3.2. Měrná spotřeba elektrické energie**, tedy hodnotu 12,366 kWh/100km v případě použití letních pneumatik, a využitelnou kapacitu baterie zjištěnou během měření v této kapitole, vychází dojezd na jedno nabití 614 km. V případě použití zimních pneumatik, kde byla změřena měrná spotřeba 14,397 kWh/100km, se dojezd snížil na vzdálenost 527 km. V porovnání s dojezdem udávaným výrobcem (v tabulce s technickými



být 80,757 kWh. V porovnání s celkovou kapacitou baterie udávanou výrobcem (v **tabulce č. 1** s technickými údaji vozidla je uvedena kapacita 82 kWh) činí vypočtená kapacita 98,5 %.

### 3.7.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 8,823s:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet dodaného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) [kW] = \frac{\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]}{1000} \quad (89)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]) + (\text{proud VN baterie } (k-1) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (90)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie } [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] \quad (91)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

$$\begin{aligned} \text{celková změna energie VN baterie } [kWh] &= \\ &= (\text{Čítače vybíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače vybíjení}_{před} [kWh]) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} [kWh] \\ &\quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} [kWh]) \end{aligned} \quad (92)$$

- napětí a proud na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu
  - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
  - název veličiny –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 1/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
  - název veličiny –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 2/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert

- **název veličiny** –  
C6/Síťové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 3/[LO]\_Wert/[LO]\_AC\_voltage\_actual\_value Wert
  - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
  - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
  - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, proud AC 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- příkon nabíječky (k) [kW] =**
- $$= \frac{(\text{proud } 1. f (k) [A] \times \text{napětí } 1. f (k) [V] + \text{proud } 2. f (k) [A] \times \text{napětí } 2. f (k) [V] + \text{proud } 3. f (k) [A] \times \text{napětí } 3. f (k) [V])}{1000}$$

( 93 )

- **výkon jednotlivých fází na vstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího příkonu**
    - **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
    - **název veličiny** –  
C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Power Wert
- příkon nabíječky (k)[kW] =**
- $$= \frac{(\text{vstupní výkon } 1. f (k) [W] + \text{vstupní výkon } 2. f (k) [W] + \text{vstupní výkon } 3. f (k) [W])}{1000}$$

( 94 )

- **napětí a proud na výstupu palubní nabíječky pro výpočet jejího výkonu**
    - **řídící jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapětových akumulátorů**
    - **název veličiny** –  
C6/Vysokonapětová nabíječka - aktuální výstupní napětí/---/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Voltage Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 1/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 2/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
    - **název veličiny** –  
C6/vysokonapětové hodnoty proudu DC/snímač 3/[LO]\_Wert/[LO]\_DSP Current Wert
- výkon nabíječky (k)[kW] =**
- $$= \frac{(\text{proud snímače } 1 (k) [A] + \text{proud snímače } 2 (k) [A] + \text{proud snímače } 3 (k) [A]) \times \text{výstupní napětí } (k) [V]}{1000}$$

( 95 )



- účinnost palubní nabíječky
  - řídicí jednotka – C6 - Nabíječka vysokonapěťových akumulátorů
  - název veličiny – C6/nabíječka vysokonapěťových akumulátorů, účinnost/---/[LO]\_Wert/[LO]\_Wert

- příkon kompresoru klimatizace

- řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
- název veličiny –

08/monitor systému, kompresor klimatizace EKK4/Příkon kompresoru klimatizace, skutečná hodnota

$$\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [kW] = \frac{\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [W]}{1000} \quad (96)$$

- napětí a proud PTC vysokonapěťového topení pro výpočet jeho příkonu

- řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
- název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Proud, skutečná hodnota
- název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Vysokonapěťové napájecí napětí

$$\text{příkon VN PTC topení } (k) [kW] = \frac{\text{proud PTC topení } (k) [A] \times \text{napětí PTC topení } (k) [V]}{1000} \quad (97)$$

- napětí a proud PTC topení VN baterie pro výpočet jeho příkonu

- řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
- název veličiny –

8C/napětí ve VN systému/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru za jističi/[LO]\_Case\_HighVoltaBatteContaVoltaCase0/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru za jističi

- název veličiny – 8C/Proud topení PTC VN akumulátoru/---/[LO]\_ptc\_hv\_i\_ist, Case 0/---

$$\begin{aligned} \text{příkon PTC topení VN baterie } (k) [kW] = \\ = \frac{\text{proud PTC topení VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí PTC topení VN baterie } (k) [V]}{1000} \end{aligned} \quad (98)$$

- stav nabití VN baterie

- řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
- název veličiny – 8C/stav nabití akumulátoru/---/[LO]\_State of charge, Case 0/---

- teplota akumulátoru

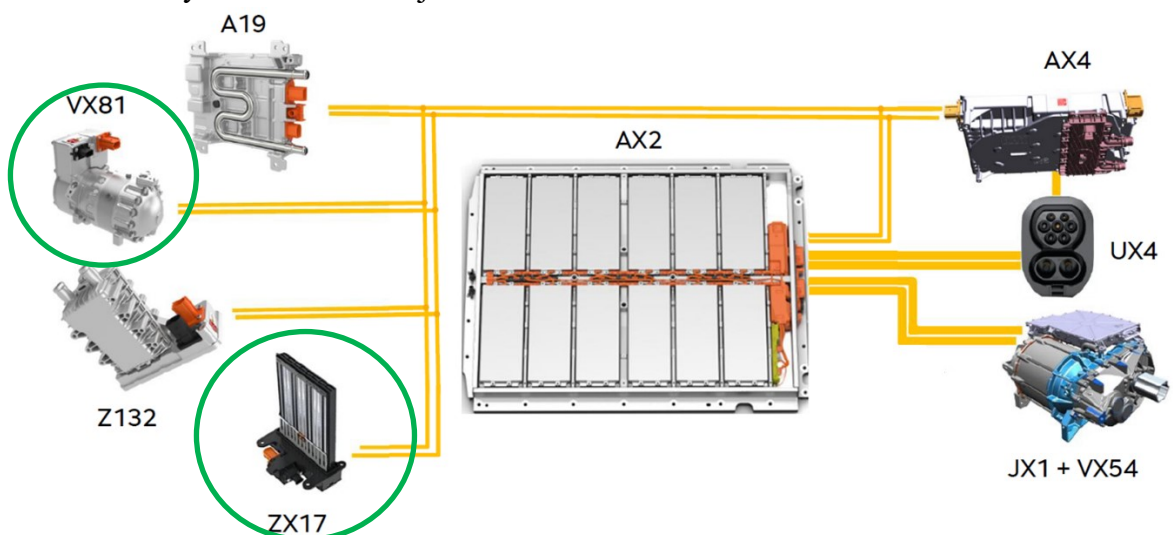
- řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
- název veličiny – 8C/teplota akumulátoru/---/[LO]\_battery temperature, Case 0/---

### 3.8. Vyhřívání kabiny



Obrázek 34 – Zasněžený Enyaq na začátku 2. měření

Vozidlo Enyaq využívá pro výhřev prostoru kabiny dva nezávisle na sobě pracující systémy. Prvním systémem je vysokonapětové topení, využívající PTC termistory (teplotně závislý odpor s pozitivní teplotní závislostí), a druhým je vysokonapětová klimatizace, která je zároveň v tomto vozidle doplněna o tepelné čerpadlo šetřící energii právě při topení. Oba systémy jsou napájeny vysokým stejnosměrným napětím, jak je vidět v blokovém schématu VN systému na následujícím obrázku.<sup>82</sup>



Obrázek 35 – Blokové schéma vysokonapětového systému<sup>83</sup>

<sup>82</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

<sup>83</sup> Tamtéž.

### 3.8.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jak spolupracuje vysokonapěťové PTC topení a klimatizace při vytápění promrzlého vozidla, kolik je potřeba elektrické energie k vytopení vozidla na nastavenou teplotu a následně k udržení nastavené teploty. Poslední situaci můžeme přirovnat k delšímu stání v koloně.

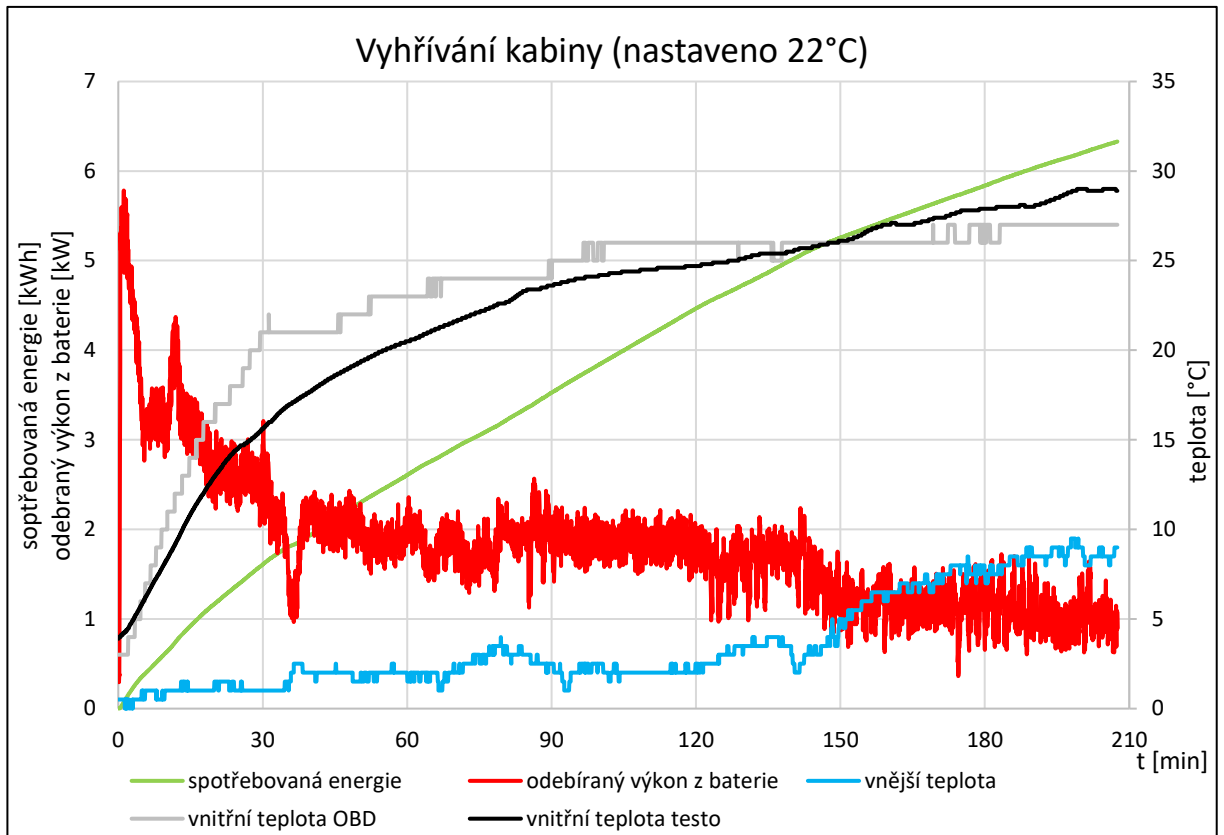
### 3.8.2. Postup měření

Měření bylo realizováno celkem dvakrát, a to v polovině a na konci března. V obou případech bylo vozidlo odvezeno ven z haly den předem, aby došlo k řádnému promrznutí celého vozidla. Samotné měření bylo realizováno další den v ranních hodinách. Pro vyčítání hodnot z jednotky vozidla, především z řídicí jednotky Climatronicu (jednotka č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení*), byla použita sériová diagnostika ODIS. Z jednotky Elektroniky klimatizace/topení byly vyčítány hodnoty vnitřní a vnější teploty, příkon klimatizace a napětí a proud PTC topení. Dále byly vyčítány hodnoty proudu a napětí VN baterie a hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení z jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*. Pro měření teploty uvnitř vozidla byl zároveň použit i elektronický termický anemometr testo 405i. V nastavení climatronicu v infotainmentu vozidla byl výhřev nastaven do režimu AUTO, kdy si řídicí jednotka klimatizace/topení sama řídí výkon jednotlivých topných systémů a určuje směr a rychlost proudu ohřátého vzduchu. Požadovaná teplota ve vozidle byla zvolena 22 °C a během celého měření vozidlo stálo, ve vozidle se nikdo nenacházel, takže vnitřní teplota nebyla ovlivněna tělesnou teplotou posádky, ani ochlazována proudem okolního vzduchu způsobeného jízdou vozidla. Jelikož jsou všechna sedadla vybavena snímačem zatížení, který zjišťuje obsazení všech pěti sedadel, a v případě jejich obsazení kontroluje zapnutí bezpečnostních pásů, bylo zapotřebí umístit na sedadlo řidiče závaží, aby nedošlo k vypnutí vozidla během měření.

### 3.8.3. První měření

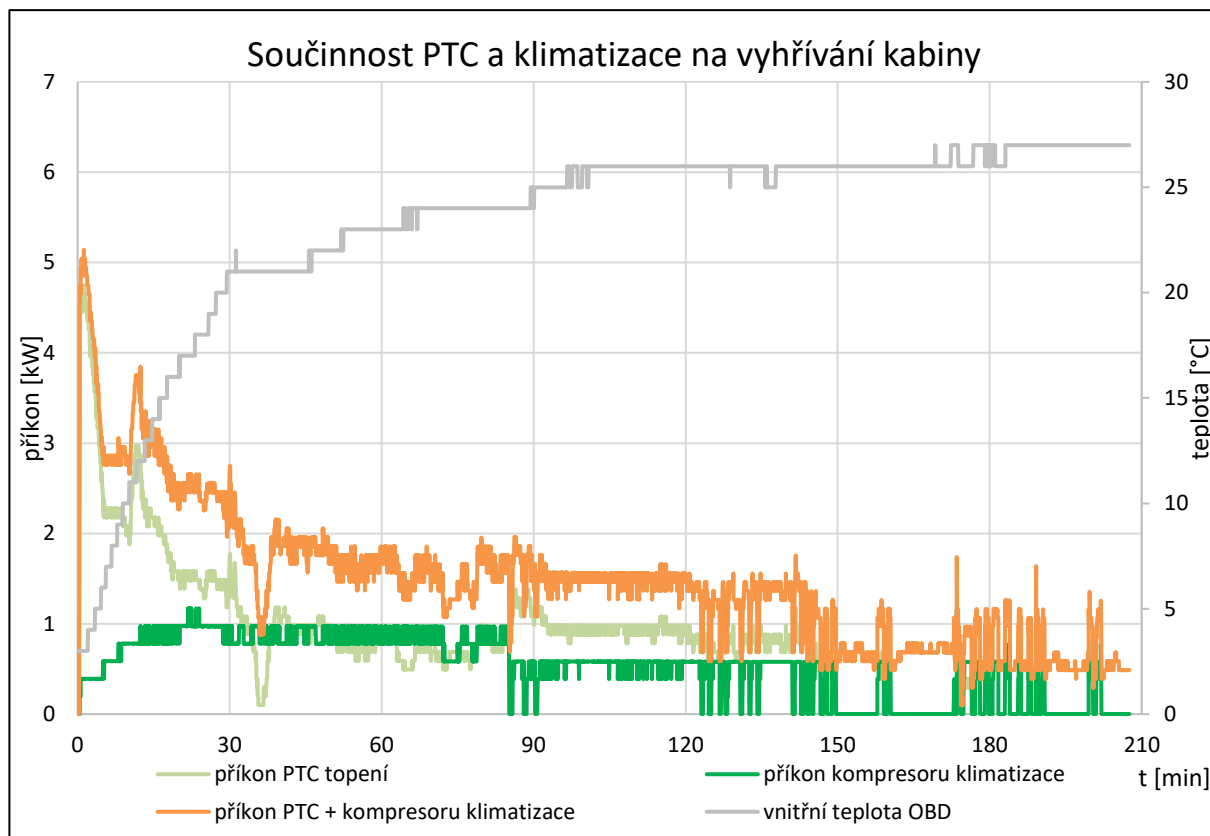
Při prvním měření dosahovala venkovní teplota během předchozího dne přibližně 5 °C, noční okolo -5,5 °C. V době začátku měření (7:30) byla ve vozidle teplota 4 °C, venkovní teplota 0,5 °C a po dokončení měření (v 11 hodin) bylo ve vozidle 28,9 °C (dle elektronického teploměru testo), venkovní teplota 9,5 °C. Během měření tedy došlo k výraznému nárůstu venkovní teploty, o 9 °C, a docházelo zároveň k ohřívání vnitřního prostoru vlivem záření

slunečních paprsků na čelní sklo. Měření tedy bylo zčásti ovlivněno vlivy venkovní teploty, přesto lze v některých částech sledovat shodu s naměřenými hodnotami z druhého měření.



Graf 14 – Vyhřívání kabiny (1. měření)

Graf č. 14 zobrazuje, jak se měnil odebraný výkon z VN baterie v závislosti na teplotě uvnitř kabiny. Odebraný výkon se skládá z příkonu vysokonapěťového PTC topení, kompresoru klimatizace a vlastní spotřeby vozidla, tedy především DC/DC měniče, který tvořil přibližně 350 W. Po zapnutí výhřevu měl odebraný výkon hodnotu 5,66 kW, protože PTC termistor v topení byl studený a měl tak malý odpor. Obvodem tedy protékal vysoký proud, který se ohříváním termistoru zmenšoval. Přibližně po dobu 3 minut výkon pozvolna klesal k hodnotě 3 kW a následující půl hodinu výkon pomalu se vzrůstající teplotou klesal k hodnotě 2 kW. V tomto okamžiku byla teplota (dle snímače teploty pro OBD) na hodnotě 21 °C, odebraný výkon se ustálil a docházelo tak pouze k udržování teploty. Po necelých dvou a půl hodinách od zahájení vyhřívání kabiny odebraný výkon klesl na polovinu, tedy k hodnotě 1 kW, a to zřejmě z důvodu, že venkovní teplota stoupla a do auta se začínalo více opírat slunce a docházelo tak přes čelní sklo k částečnému ohřívání vzduchu uvnitř kabiny. Výkon pro udržení konstantní teploty stačil tedy nižší.



Graf 15 – Součinnost PTC a klimatizace na vyhřívání kabiny (1. měření)

V grafu č. 15 je porovnání příkonů obou systémů, jak se se zvyšující vnitřní teplotou podílí na vyhřívání prostoru kabiny. Oproti **grafu č. 14** zde není zobrazen průběh odebíraného výkonu z VN baterie, ale pouze součet příkonů PTC topení a kompresoru klimatizace. Z naměřených hodnot a grafu je patrné, že kompresor klimatizace odebíral po celou dobu výhřevu konstantní příkon 975 W a po vyhřátí vnitřních prostor na požadovanou teplotu se snížil příkon na hodnotu 776 W. Ke konci měření docházelo dokonce i ke krátkodobé deaktivaci klimatizace. U běžných vozidel je během vyhřívání klimatizace deaktivována a klimatizace nemá žádný příkon, ale v našem případě, kdy je součástí systému klimatizace tepelné čerpadlo, musí být klimatizace aktivována. Průběh příkonu samotného PTC topení následuje průběh celkového příkonu obou systémů vyhřívání. Po spuštění vyhřívání dosahoval krátkodobě příkonu 4,75 kW, po ustálení teploty byl příkon pro udržení nastavené teploty okolo hodnoty 2 kW, ovšem s prudkým nárůstem venkovní teploty ke konci měření se příkon snížil na 1 kW.

Během celého měření je viditelný rozdíl mezi teplotou měřenou pomocí elektronického anemometru testu a snímačem v přístrojové desce, ovšem chyba měření obou zařízení není tak velká, aby pokryla daný rozdíl, takže teplota dosahovala opravdu takto rozdílných hodnot. Jednou z příčin je jistě to, že po dokončení měření bylo zjištěno, že výhřev v režimu AUTO,

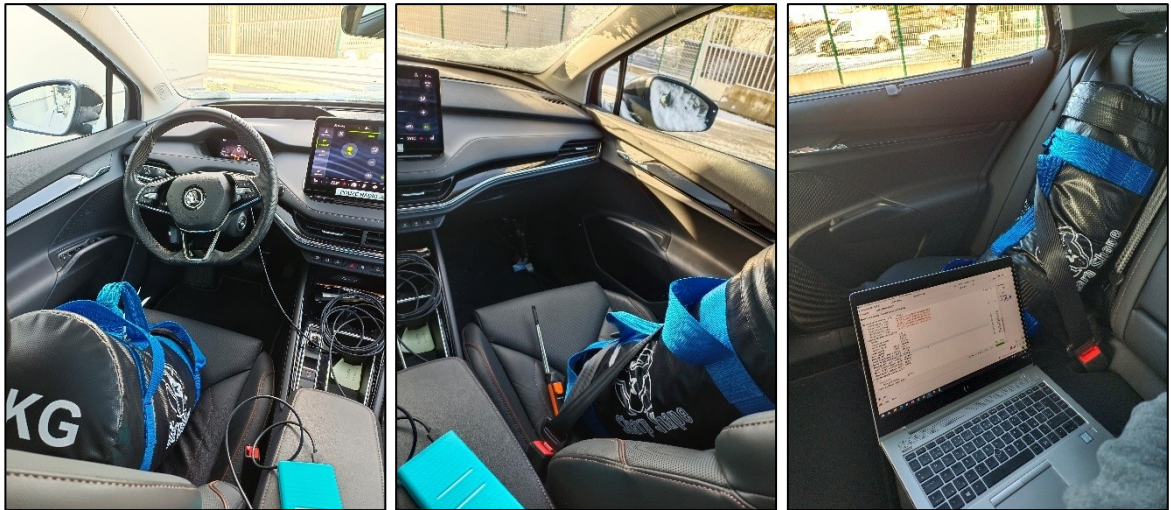
jelikož se jedná o třízónovou klimatizaci, sám nastavuje nejen směr a rychlost toku ohřátého vzduchu, ale podle informace od snímačů obsazenosti sedadel volí i zóny, které je potřeba vytápět, případně chladit. V našem případě bylo zatíženo pouze sedadlo řidiče, takže teploty v ostatních zónách nebyly přesně regulovány na požadovanou teplotu. Docházelo tak k přehřívání zóny spolujezdce a zadní řady sedadel nad požadovanou teplotu. Tomu nahrává i samotné umístění teploměrů, protože elektronický anemometr testu je umístěn na sedadle spolujezdce, ale snímač vnitřní teploty se nachází v obložení sloupku řízení, tedy u nohou řidiče. Umístění elektronického anemometru bylo takto zvoleno z toho důvodu, aby bylo možné naměřené výsledky porovnat s výsledky měření, které proběhlo v minulosti na elektromobilu Hyundai Kona ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě Dopravní fakulty Jana Pernera (VVCD DFJP). Netuším, zda i Hyundai Kona hlídáním obsazenosti vyhříváných zón disponuje.

Dle snímače teploty v přístrojové desce byla ustálená teplota po vyhřátí vozidla na hodnotě 27 °C, i když byla v infotainmentu nastavena žádaná teplota 22 °C. Tato měřená hodnota je jedinou dostupnou hodnotou, která je poskytována řídicí jednotce Climatronicu, a dle které by tak měla jednotka určovat teplotu, směr a sílu teplého vzduchu. Zde byl ale rozdíl mezi požadovanou a měřenou hodnotou 5 °C.

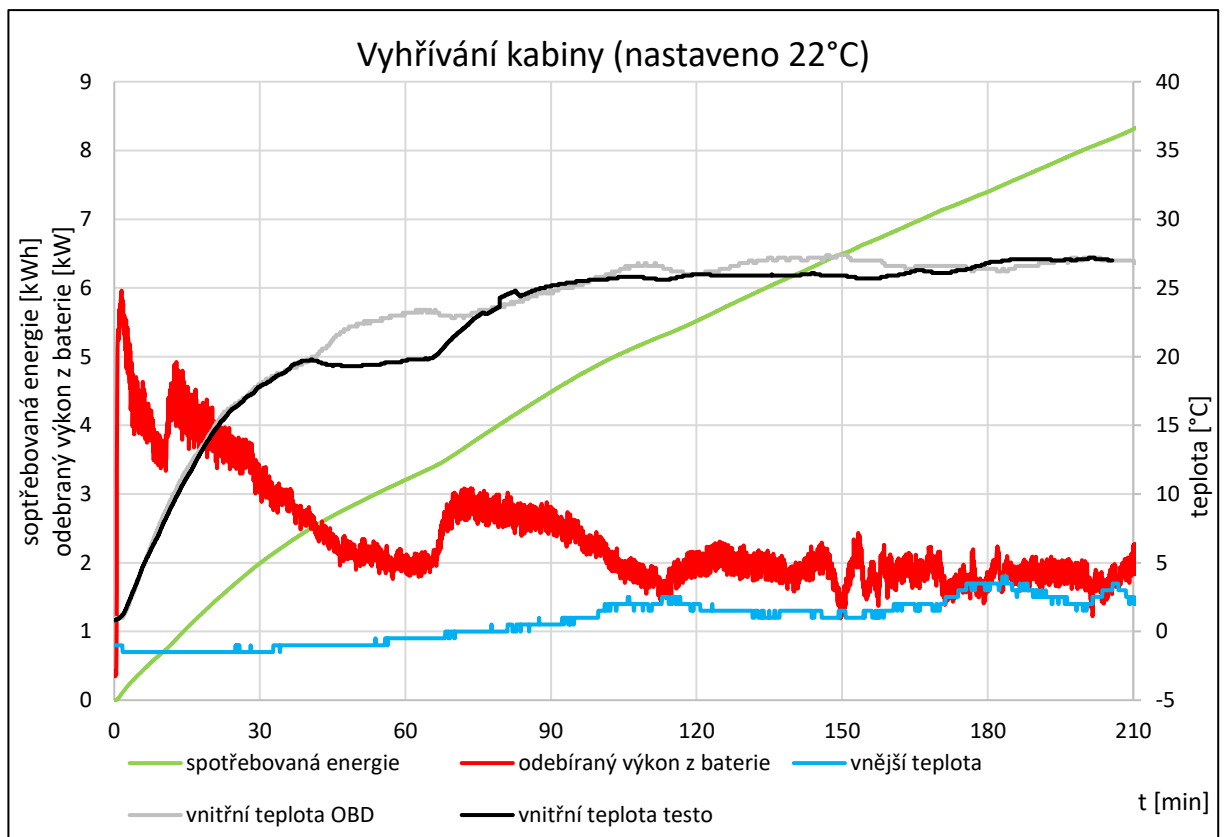
Měření trvalo celkem 3 hodiny a 27 minut a kapacita baterie klesla o 8 % SOC. Rozdíl mezi hodnotou spotřebované energie vypočtené z napětí a proudu na VN baterii (6,328 kWh) a z čítačů vybíjení (6,318 kWh) byl 10 Wh, tedy 0,16 %.

#### **3.8.4. Druhé měření**

Během druhého měření dosahovala venkovní teplota předchozího dne přibližně 3 °C, noční okolo -2 °C. V době začátku měření (7:30) byla ve vozidle teplota 0,8 °C, venkovní teplota -1 °C a po dokončení měření (po 11. hodině) bylo ve vozidle 27,1 °C (dle elektronického teploměru testu), venkovní teplota 2 °C. Venkovní teplota se tedy po celou dobu měření změnila pouze o 3 °C, zároveň na vozidlo nesvítilo slunce a nedocházelo tak k nechtěnému ohřívání vozidla jako při prvním měření. Zároveň byly zohledněny poznatky z prvního měření, takže aby klimatizace hlídala všechny tři zóny, bylo doplněno závaží na sedadlo spolujezdce a sedadlo zadní řady.



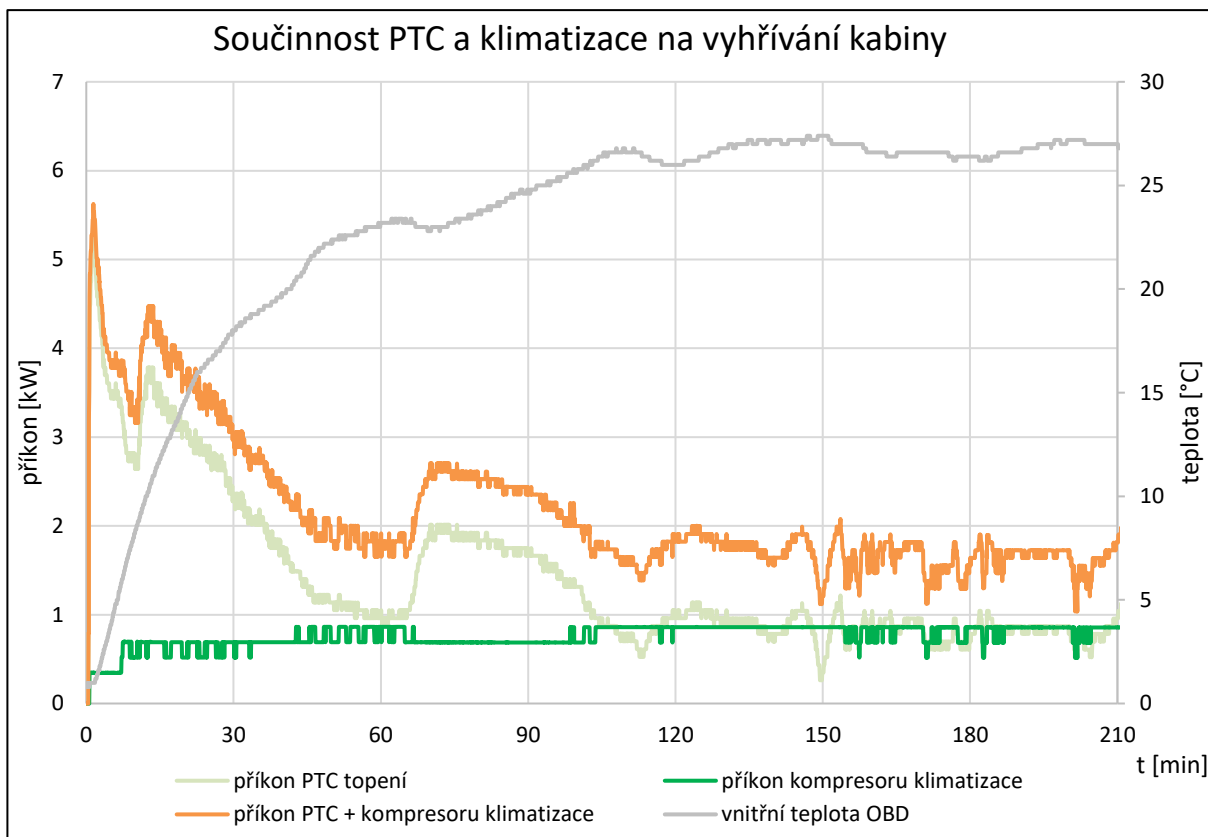
Obrázek 36 – Vnitřek vozidla během 2. měření vyhřívání kabiny



Graf 16 – Vyhřívání kabiny (2. měření)

V grafu č. 16, zobrazujícího závislost odebíraného výkonu z VN baterie, odebrané energie a teplot uvnitř a vně vozidla na čase, je vidět podobný průběh jako u prvního měření. Po zapnutí vyhřívání byl krátkodobý odebíraný výkon 5,9 kW, jenž následující hodinu klesal k hodnotě 2 kW, kolem které se až do konce měření pohyboval. Dále si můžeme všimnout dvou bodů, kolem 11. a 67. minuty, kdy došlo k prudkému nárůstu odebíraného příkonu na PTC topení, a to v obou případech přibližně o 1 kW. Z jakého důvodu došlo k tomuto nárůstu se mi bohužel zjistit nepodařilo. U prvního měření je kolem 12. minuty také zřetelný prudký nárůst

odebíraného příkonu PTC topením, ovšem tam je, oproti tomuto případu, návrat k předešlé hodnotě rychlejší.



Graf 17 – Součinnost PTC a klimatizace na vyhřívání kabiny (2. měření)

V grafu č. 17 jsou opět zobrazeny naměřené hodnoty příkonu PTC topení, kompresoru klimatizace a součet těchto příkonů. Kompresor klimatizace měl v tomto případě v první polovině příkon 688 W, v druhé polovině měření se příkon mírně zvýšil na hodnotu 860 W. To je zcela obráceně než v předchozím měření, kdy po ustálení teploty došlo ke snížení příkonu. Příkon PTC topení opět následuje hodnotou celkového příkonu topných systémů. Po zapnutí výhřevu dosahuje hodnoty 5,28 kW, přibližně o 0,5 kW více než u prvního měření. Následuje postupné snižování až k hodnotě příkonu, který je shodný s příkonem kompresoru klimatizace, tedy 860 W.

Hodnoty vnitřní teploty ze snímače v přístrojové desce a z elektronického anemometru testu byly téměř po celou dobu měření totožné. Jistě k tomu přispělo to, že si jednotka Climatronicu regulovala teplotu ve všech třech zónách, a nedocházelo tak k přehřátí některých zón, jak tomu bylo v prvním měření. Znatelný rozdíl byl pouze mezi 40. a 75. minutou, kdy elektronický anemometr ukazoval až o 3 stupně méně než snímač v přístrojové desce. Zde se jednalo zřejmě o delší setrvání teploty na sedadle spolujezdce, jelikož takové nepřesnosti anemometr a ODIS nedosahují.



Vyhřívání kabiny			
		1. měření	2. měření
čas měření		3:27	3:31
pokles kapacity		8 %	12 %
spotřebovaná energie	UxI z baterie	6,328 kWh	8,365 kWh
	čítače energie	6,318 kWh	8,356 kWh
maximální příkon		4,75 kW	5,28 kW
příkon po ustálení teploty (26 °C uvnitř, 2 °C venku)		2,00 kW	2,00 kW
teplota na začátku měření	vnitřní	4,0 °C	0,8 °C
	vnější	0,5 °C	-1,0 °C
teplota na konci měření	vnitřní	28,9 °C	27,1 °C
	vnější	9,5 °C	2,0 °C
vyhřívání zóny		zóna řidiče	všechny zóny

*Tabulka 18 – Naměřené hodnoty během vyhřívání kabiny*

Měření trvalo celkem 3 hodiny a 31 minut (o 4 minuty déle než první měření) a kapacita baterie klesla o 12 % SOC. Rozdíl mezi hodnotou spotřebované energie vypočtené z napětí a proudu na VN baterie (8,365 kWh) a z čítačů vybíjení (8,356 kWh) byl 0,009 kWh, tedy 0,1 %. Vyšší spotřeba energie (oproti prvnímu měření) je způsobena tím, že teploty venku i uvnitř vozidla byly nižší a zároveň nedocházelo k ohřívání vnitřního prostoru přes čelní sklo. Určitou roli na vyšší spotřebě má i to, že byl řízeně vyhříván celý prostor vozidla. Ovšem i přesto, že je spotřebovaná energie během druhého měření vyšší, po ustálení vnitřní teploty na hodnotě 26 °C a venkovní teplotě okolo 2 °C, má odebíraný výkon z VN baterie stejnou hodnotu, a to přibližně 2 kW. Na základě tohoto poznatku tak můžeme říct, že Enyaq dokáže udržovat nastavenou teplotu uvnitř kabiny na hodnotě 22 °C přibližně po dobu 34 hodin za předpokladu, že je vozidlo na požadovanou teplotu vyhřáté, nabito alespoň na 90 % (kapacita baterie 75,911 kWh) a venkovní teplota je okolo 2 °C.

### 3.8.5. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 3,951 s:

- proudu a napětí na VN baterii pro výpočet odebíraného výkonu a změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –

8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---

- název veličiny –

8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

$$\text{výkon VN baterie } (k) [kW] = \frac{\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]}{1000} \quad (99)$$

$$\begin{aligned} \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{1000 \times 3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{proud VN baterie } (k) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k) [V]) + (\text{proud VN baterie } (k-1) [A] \times \text{napětí VN baterie } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (100)$$

$$\text{celková změna energie VN baterie } [kWh] = \sum_{k=1}^n \text{změna energie VN baterie } (k) [kWh] \quad (101)$$

- hodnoty čítačů vybíjení a nabíjení pro výpočet změny energie VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny
  - název veličiny – 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny

celková změna energie VN baterie [kWh] =

$$\begin{aligned} &= (\text{Čítače vybíjení}_{po} [kWh] - \text{Čítače vybíjení}_{před} [kWh]) - (\text{Čítače nabíjení}_{po} [kWh] \\ &\quad - \text{Čítače nabíjení}_{před} [kWh]) \end{aligned} \quad (102)$$

- vnější teplota
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Vnější teplota/---
- vnitřní teplota
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Snímač teploty v přístrojové desce/Snímač teploty 1, teplota

- příkon kompresoru klimatizace

- řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení

- název veličiny –

08/monitor systému, kompresor klimatizace EKK4/Příkon kompresoru klimatizace, skutečná hodnota

$$\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [kW] = \frac{\text{příkon kompresoru klimatizace } (k) [W]}{1000} \quad (103)$$

- napětí a proud PTC vysokonapěťového topení pro výpočet jeho příkonu

- řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení

- název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Proud, skutečná hodnota

- název veličiny – 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Vysokonapěťové napájecí napětí

$$\text{příkon VN PTC topení } (k) [kW] = \frac{\text{proud PTC topení } (k) [A] \times \text{napětí PTC topení } (k) [V]}{1000} \quad (104)$$

### 3.9. Vyhřívání sedadla řidiče

Sedadlo řidiče i spolujezdce je vybaveno vyhříváním sedáku i části opěradla. V případě sedadel zadní řady jsou vytápěny pouze sedáky krajních sedadel. Výchřev lze nastavit u sedadel přední i zadní řady ve třech úrovních, kdy se nastavuje požadovaná teplota.

#### 3.9.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jaký je příkon výhřevu sedadla řidiče při jednotlivých úrovních vyhřívání, na jakou teplotu lze vyhřát topný člen sedadla a jakým způsobem probíhá regulace topného výkonu.

#### 3.9.2. Postup měření

Měření probíhalo jednak pomocí vyčítání hodnot z řídicích jednotek pomocí diagnostiky ODIS, jednak pomocí automobilového osciloskopu TEXVIK s využitím proudových kleští Fluke i30s. Obě měření probíhala zároveň, proto lze naměřené hodnoty mezi sebou porovnávat.

V případě vyčítání hodnot z řídicích jednotek byly vyčítány hodnoty výstupního napětí z DC/DC měniče (jednotka č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*), dále požadovaná a skutečná teplota sedáku, efektivní hodnota proudu, střída vyhřívání a nastavený stupeň vyhřívání sedadla (jednotka č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení*). Hodnoty byly vyčítány s průměrnou vzorkovací periodou 1,351 s.

U měření pomocí automobilového osciloskopu TEXVIK se bylo potřeba napojit na příslušné vodiče, které zajišťují napájení výhřevu sedadla i opěradla současně. Svorkovnice, kde jsou tyto vodiče přístupné, se nachází schovaná pod kobercem podlahy u vnější ližiny pro posun sedadla a ve schématu na **obrázku č. 38** má označení TSVL. Dle schématu má vyhřívání sedadla řidiče (označení ZX15) jeden snímač teploty v sedáku (označení G59) a jeden topný člen v sedáku (označení Z6) a druhý v opěradle (označení Z7). Pro měření napětí jsem se tedy připojil pomocí dvou napichovacích hrotů na svorkovnici ke dvěma napájecím vodičům žluto-červené a bílo-hnědé barvy (ve svorkovnici TSVL se jedná o pin 17 a 16). Jelikož bílo-hnědý vodič vede na spojení 639, které je označeno jako ukostřovací bod na sloupku A, jedná se o záporný pól napájení vyhřívání. V případě žluto-červeného vodiče, který vede do řídicí jednotky topení a klimatizace (označení jednotky J979), se jedná o kladný

pól napájení.<sup>84</sup> Na žluto-červený vodič jsem zároveň nasadil proudové kleště Fluke pro měření proudu. Proudové kleště i vodiče z pinů 16 a 17 jsem připojil k osciloskopu TEXVIK, kde po spuštění programu TEXVIK signal recorder v připojeném notebooku bylo potřeba provést základní nastavení vstupů. U obou vstupů jsem tedy nastavil děličku na hodnotu 30 V, dále pro měření napětí rozsah 1 V/dílek a pro měření proudu 100 mV/dílek.

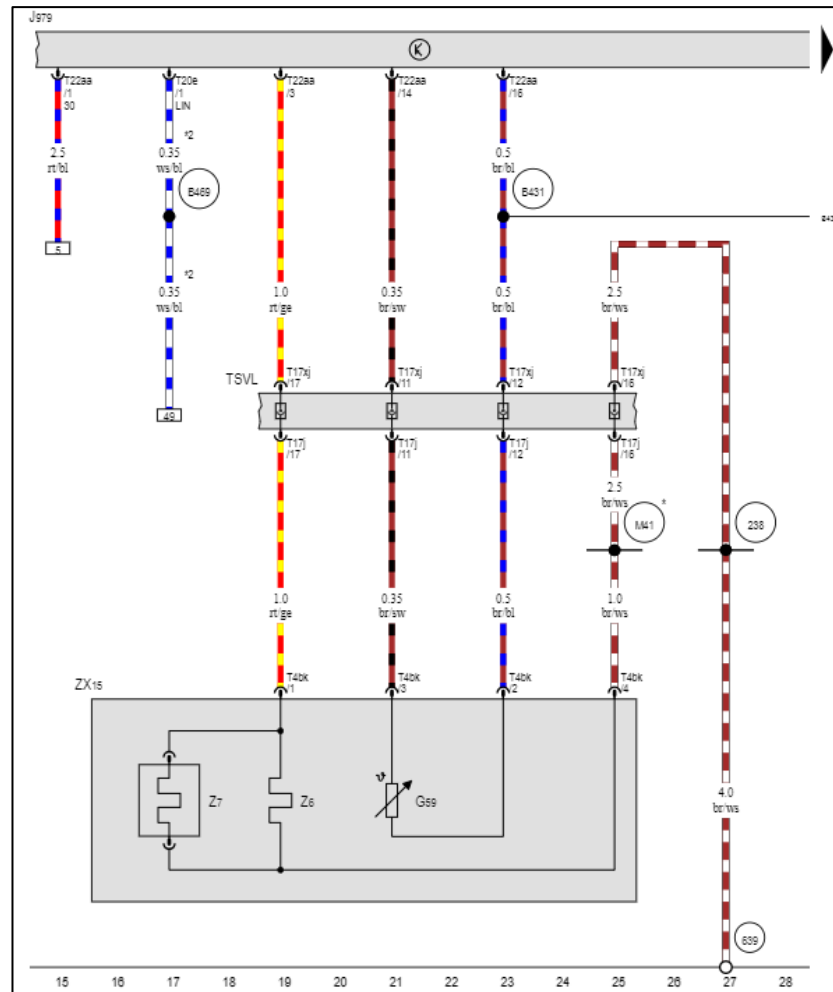


*Obrázek 37 – Měření vyhřívání sedadla řidiče s využitím osciloskopu TEXVIK*

Po spuštění záznamu na obou notebookech jsem zapnul vyhřívání sedadla od úrovně 1 až na úroveň 3. Na každé úrovni jsem nechal vyhřívání zapnuté po dobu 5 minut.

---

<sup>84</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.



Obrázek 38 – Elektrické schéma vyhřívání sedadla řidiče<sup>85</sup>

- J979 – řídicí jednotka topení a klimatizace
- TSVL – spojovací místo levého předního sedadla
- ZX15 – vyhřívání sedadla, strana řidiče
- Z6 – vyhřívání sedadla řidiče
- Z8 – vyhřívání opěradla sedadla řidiče
- G59 – teplotní snímač sedadla řidiče
- 639 – ukostřovací bod na sloupku A vlevo<sup>86</sup>

### 3.9.3. Zjištěné hodnoty měřením

Na základě zjištěných dat z ODISu je teplota topného členu nastavována od úrovně 3 s teplotou 51 °C, přes úroveň 2 s teplotou 41 °C až na úroveň 1, kdy je teplota sedáku udržována

<sup>85</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

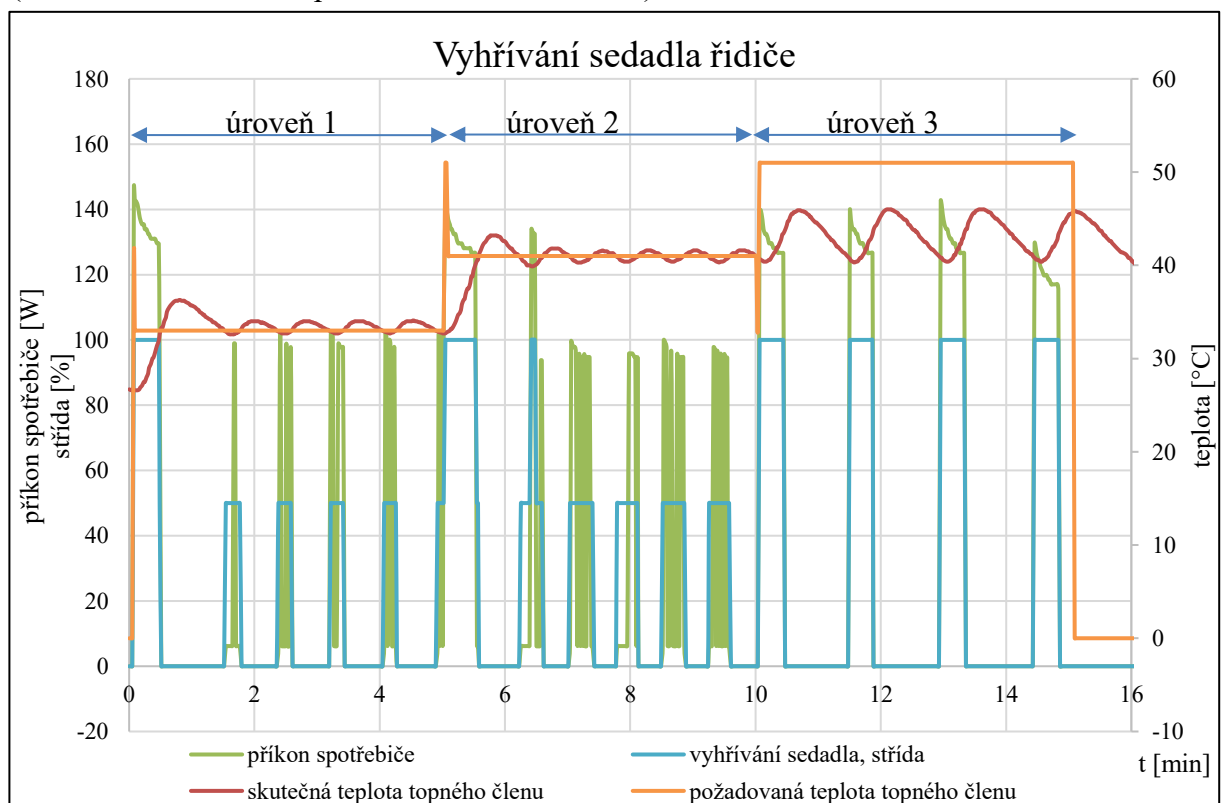
<sup>86</sup> Tamtéž.

na teplotě 33 °C. Regulace topného výkonu je realizována pomocí střída o hodnotě 0, 50 a 100 %. Jak je vidět v grafu č. 18, pro výhřev je využívána střída 100 %, pro regulaci teploty na 1. a 2. úrovni je využívána střída 50 % a pro regulaci teploty na 3. úrovni je využita opět střída 100 %. Příkon je vypočtený dle vzorce č. 105 na základě vyčtených hodnot efektivní hodnoty proudu vyhřívání  $I_{ef}$ , střídý  $D$  a napětí na výstupu DC/DC měniče  $U_{DC/DC}$ . Maximální příkon má vyhřívání při přepnutí úrovně na vyšší a během udržování teploty na 3. úrovni, tedy při střídě 100 %, a dosahuje hodnoty 142 W. Během udržování teploty na 1. úrovni je průměrný příkon 9,37 W, na 2. úrovni je průměrný příkon přibližně 19,82 W a na 3. úrovni je to 33,47 W (vypočteno pomocí vzorec č. 106, kde *průměrný výkon při ohřevu* představuje hodnotu průměrného výkonu ve fázi ohřevu trvající časový úsek  $t_{ohřev}$  a *průměrný výkon při chlazení* představuje hodnotu průměrného výkonu ve fázi chlazení, tedy 0 W, trvající časový úsek  $t_{chlazení}$ ).

$$P(k) [W] = I_{ef}(k) [A] \times \left( U_{DC/DC}(k) [V] \times \sqrt{D(k) [\%]/100} \right) \quad (105)$$

$$P_{avg} [W] = \frac{\text{průměrný výkon při ohřevu [W]} \times t_{ohřev} [\text{min}] + \text{průměrný výkon při chlazení [W]} \times t_{chlazení} [\text{min}]}{(t_{ohřev} [\text{min}] + t_{chlazení} [\text{min}])} \quad (106)$$

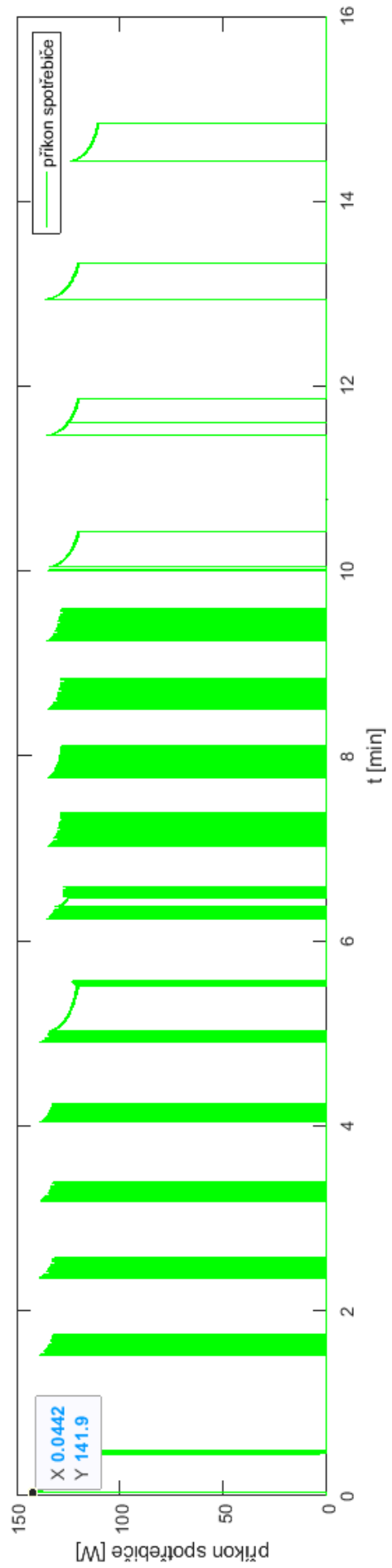
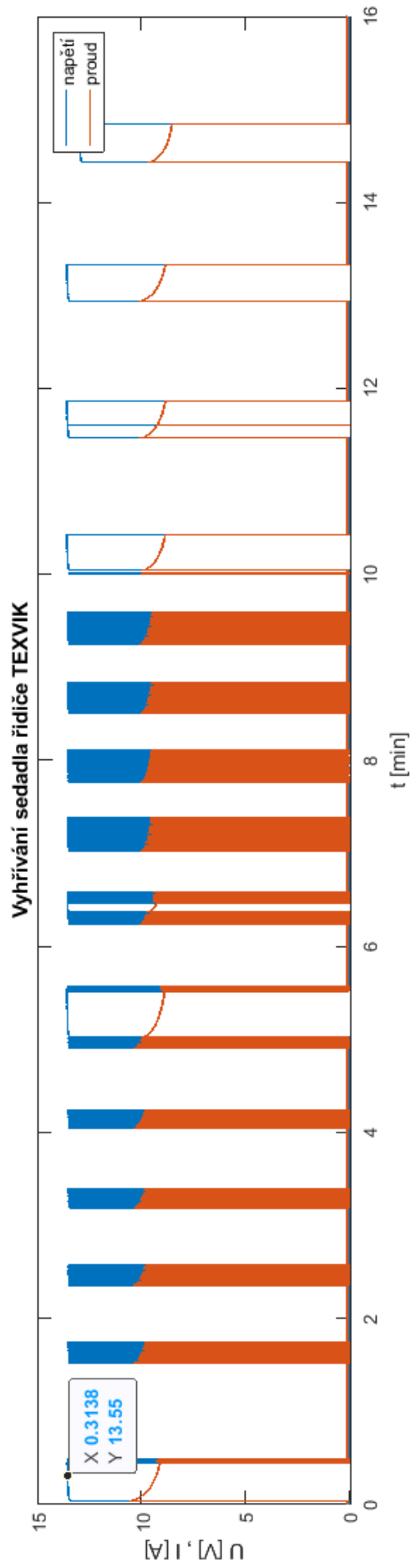
Je zvláštní, že na 1. a 2. úrovni se skutečná teplota pohybovala okolo teploty požadované, ovšem na 3. úrovni skutečná teplota ani hranici požadované teploty nedosáhla (maximální dosažená teplota měla hodnotu 46 °C).



Graf 18 – Měřené hodnoty ODISem během vyhřívání sedadla řidiče

Na následující stránce je průběh napětí a proudu zaznamenaný pomocí automobilového osciloskopu TEXVIK, který měřil napětí a proud topného členu sedadla pomocí napichovacích hrotů a proudových kleští. Maximální dosažený výkon byl naměřen 141,9 W, tedy shodný výkon jako u hodnoty výkonu vypočteného z vyčtených hodnot pomocí ODISu. Výkon ovšem dosahuje stále stejných hodnot, tedy i když je teplota pouze udržovaná a stačí tak nižší topný výkon. To je ovšem způsobeno tím, že při jeho výpočtu není zohledněna aktuální regulační střída.





Graf 19 – Vyhřívání sedadla řidiče TEXVIK

### 3.9.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 1,351 s:

- napětí na výstupu DC/DC měniče
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/---
  
- efektivní hodnota proudu vyhřívání sedadla
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny –  
08/Vyhřívání levého předního sedadla/Vyhřívání sedáku, odběr proudu (efektivní hodnota)
  
- střída vyhřívání sedadla
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Vyhřívání opěradla, buzení
  
- požadovaná teplota sedáku
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Požadovaná teplota sedáku
  
- skutečná teplota sedáku
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Skutečná teplota sedáku
  
- aktuální aktivovaná úroveň vyhřívání
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Nastavení

### 3.10. Vyhřívání věnce volantu

Výhřev věnce volantu lze nastavit stejně jako u sedadel ve třech úrovních, kdy je nastavována požadovaná teplota.

#### 3.10.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jaký výkon odebírá výhřev věnce volantu, na jakou teplotu lze ohřát topný člen a jakým způsobem probíhá regulace topného výkonu.

#### 3.10.2. Postup měření

Pro zjištění příkonu vyhřívání věnce volantu jsem využil pouze vyčítání hodnot pomocí ODISu, jelikož se svorkovnice pro připojení výhřevu nachází pod volantovým airbagem. Z řídicích jednotek byly vyčítány hodnoty výstupního napětí a proudu z DC/DC měniče (jednotka č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*), dále skutečná teplota sedáku, střída vyhřívání a nastavený stupeň vyhřívání věnce volantu (jednotka č. 08 - *Elektronika klimatizace/topení*). U tohoto měření neposkytuje jednotka Elektroniky klimatizace/topení informaci o požadované teplotě ani o efektivní hodnotě proudu, jak tomu bylo u měření vyhřívání sedadla řidiče. Proud tedy musel být vypočten z hodnoty výstupního proudu DC/DC měniče, od kterého se odečetla průměrná hodnota proudu, který odebírá palubní elektronika při vypnutém vyhřívání věnce volantu. Tyto hodnoty proudu palubní elektroniky jsem změřil na začátku a na konci měření, když bylo vyhřívání vypnuté a proud měl hodnotu 39,99 A.

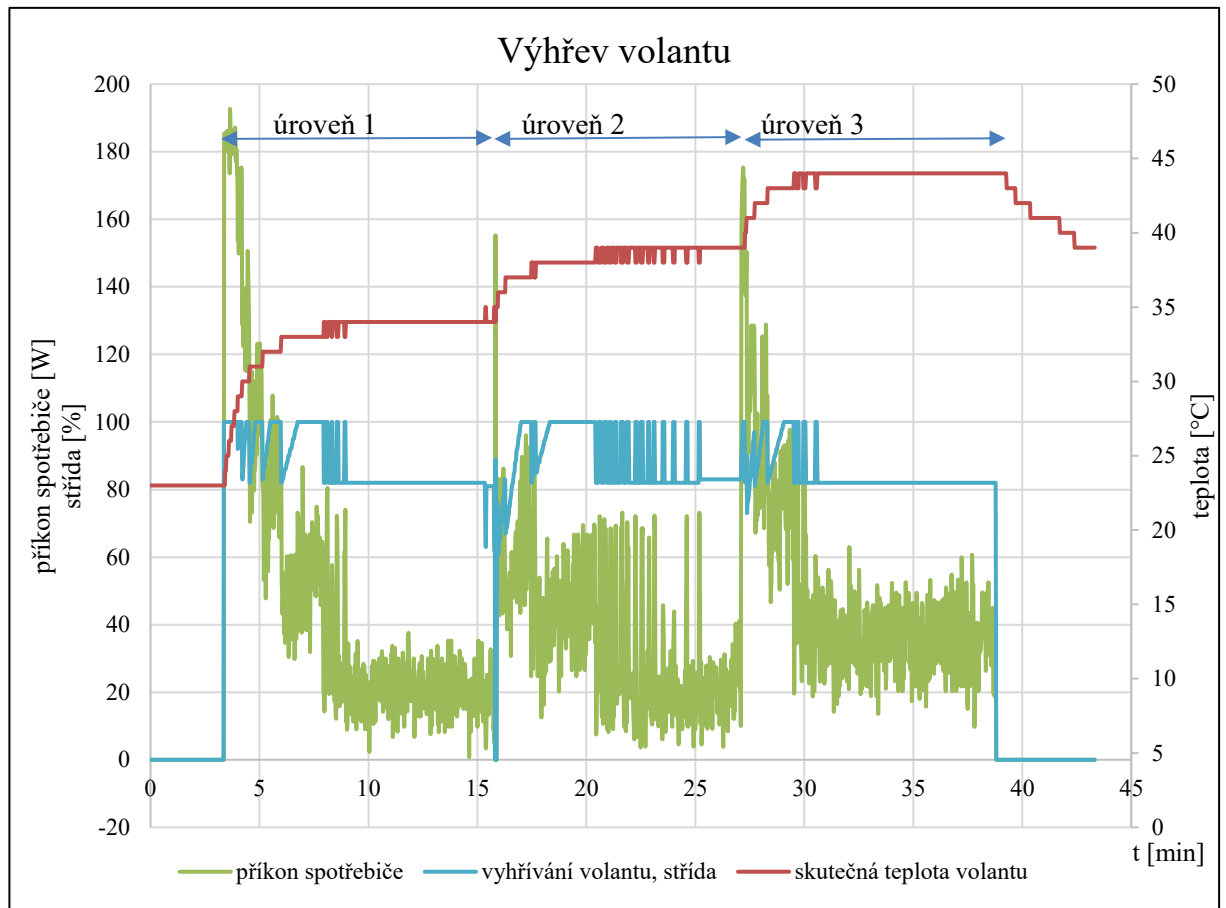
#### 3.10.3. Zjištěné hodnoty měřením

Na základě zjištěných dat z ODISu se teplota topného členu ustálila u 3. úrovně na teplotě 44 °C, u 2. úrovně na teplotě 39 °C a u 1. úrovně na teplotě 34 °C. Regulace topného výkonu je zde realizována opět pomocí střídavy, která ovšem nabývá hodnoty 82 – 100 %, případně 0 %. Jak je zřejmé z **grafu č. 20**, během vyhřívání je střída v rozmezí hodnot 82 až 100 % a pro následné udržení teploty má střída hodnotu 82 nebo 83 %. Je-li tedy vyhřívání zapnuté, příkon je odebírán neustále. Příkon, jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, je vypočten pomocí vzorce č. 107 z rozdílu celkového výstupního proudu DC/DC měniče  $I_{DC/DC}$  a průměrného proudu odebíraného palubní elektronikou  $I_{prim}$ , dále ze střídavy  $D$  a napětí na výstupu DC/DC měniče  $U_{DC/DC}$ . Maximální příkon, který je dosažen převážně

v počátečních zapnutí vyhřívání, má hodnotu 187 W. Pro udržení teploty na 1. úrovni je průměrný příkon 21,06 W, na 2. úrovni 21,09 W a na 3. úrovni 36,44 W.

$$P(k)[W] = \left( (I_{DC/DC}(k)[A] - I_{prům}[A]) \times \sqrt{D(k)[\%]/100} \right) \times \left( U_{DC/DC}(k)[V] \times \sqrt{D(k)[\%]/100} \right)$$

(107)



Graf 20 – Měřené hodnoty během vyhřívání věnce volantu

### 3.10.4. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly, mimo jiné, vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 1,378 s:

- napětí a proud na výstupu DC/DC měniče
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 1 sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 2 sv. 30/---

$$\begin{aligned} \text{výstupní proud měniče } (k) [A] &= \\ &= \text{výstupní proud } (k) [A] + \text{výstupní proud 1 } (k) [A] + \text{výstupní proud 2 } (k) [A] \end{aligned} \quad (108)$$

- střída vyhřívání volantu
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/vyhřívání volantu/Hodnota PŠM
  
- skutečná teplota volantu
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/vyhřívání volantu/snímač teploty
  
- aktuální aktivovaná úroveň vyhřívání
  - řídicí jednotka – 0008 - Elektronika klimatizace/topení
  - název veličiny – 08/vyhřívání volantu/tlačítko vyhřívání volantu

## 3.11. Účinnost DC/DC měniče

### 3.11.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, jakou má účinnost DC/DC měnič pro 12 V síť, když je zatížen maximálním výstupním výkonem, případně když je výkon ještě vyšší nebo nižší.

### 3.11.2. Postup měření

Jak je uvedeno v podkapitole **1.3.4. 12 V DC/DC měnič**, jeho maximální výkon na 12 V straně je 3 kW. V ODISu byly nastaveny k vyčítání pouze hodnoty vstupního a výstupního proudu a napětí měniče, které jsou vyčítány z řídicí jednotky č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*. Pro zatížení DC/DC měniče je potřeba zapnout co nejvíce spotřebičů 12 V sítě, proto po spuštění měření bylo zapnuto vyhřívání všech 4 sedadel, výhřev věnce volantu, výhřev předního a zadního okna a spuštěn ofuk čelního skla na nejvyšší stupeň. K tomu byl v zavazadlovém prostoru, kde se nachází 12 V zásuvka, zapojen externí DC/AC měnič z 12 na 230 V, který dokáže dodávat na výstupu výkon až 300 W. Do něho byla zapojena nabíječka baterií pro AKU vrtačku odebírající maximální výkon 240 W. Takto zatížený měnič byl zatížen výstupním výkonem o velikosti 3,42 kW, tedy o 0,42 kW větším, než udává výrobce.



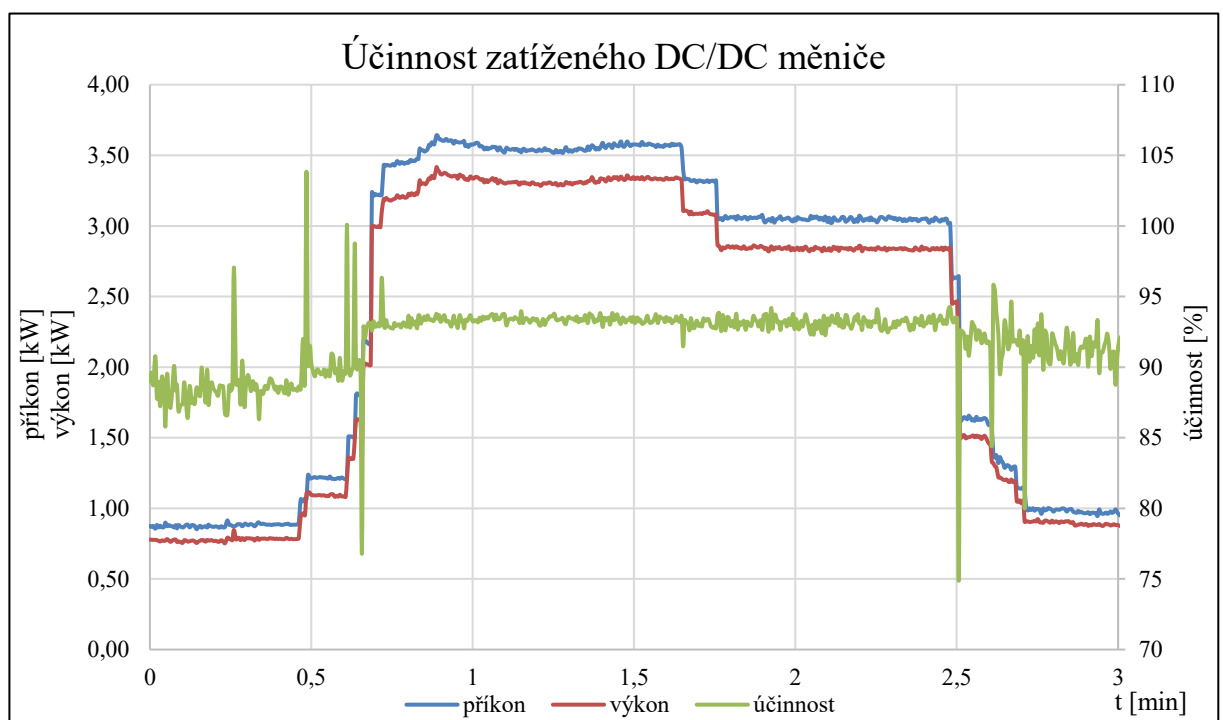
Obrázek 39 – Měření účinnosti DC/DC měniče

### 3.11.3. Zjištěné hodnoty měření

Z vyčtených hodnot během měření pomocí ODISu byl s využitím vzorce č. 109 vypočítán příkon a výkon měniče a následně se z těchto hodnot vypočítala účinnost měniče jako poměr příkonu  $P'$  a výkonu  $P$  (vzorec č. 110). Na základě těchto vypočítaných hodnot byl sestaven graf č. 21, kde je zobrazen příkon, výkon a procentuální účinnost DC/DC měniče. Před zapnutím všech spotřebičů, kdy byl výkon měniče okolo 0,78 kW, byla účinnost 88,48 %. Se zvyšujícím se zatížením účinnost rostla, takže při maximálním odebíraném výkonu 3,42 kW byla účinnost 93,78 %. Téměř shodné účinnosti (93,16 %) bylo dosaženo i při snížení výkonu na hodnotu 2,84 kW. Lze si povšimnout, že v některých místech dosahovala účinnost hodnoty vyšší jak 100 %. To je způsobeno tím, že došlo v okamžiku mezi vyčtením hodnot na vstupu a výstupu k sepnutí dalšího odběru, i když je průměrná vzorkovací perioda během tohoto měření poměrně malá (v průměru 301 ms). Je zajímavé, že dle výrobce má udávaný maximální výkon hodnotu 3 kW, ovšem my jsme ho zatížili výkonem 3,42 kW. To může být způsobeno tím, že měřené hodnoty nezobrazují přesnou hodnotu proudu či napětí, případně že byla zvolena špatná hodnota pro vyčítání z jednotky. Zároveň může mít měnič výkonovou rezervu, která pokryje případný krátkodobý vyšší odběr.

$$P(k) [W] = U(k) [V] \times I(k) [A] \quad (109)$$

$$\mu(k) [\%] = 100 \times \frac{P'(k) [W]}{P(k) [W]} \quad (110)$$



Graf 21 – Účinnost zatíženého DC/DC měniče

### 3.11.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 301 ms:

- napětí a proud na vstupu DC/DC měniče
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, napětí trakční sítě/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 1/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 2/---
$$\text{vstupní proud měniče } (k) [A] = \text{vstupní proud } 1(k) [A] + \text{vstupní proud } 2(k) [A] \quad (111)$$

- napětí a proud na výstupu DC/DC měniče
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 1 sv. 30/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 2 sv. 30/---
$$\begin{aligned} \text{výstupní proud měniče } (k) [A] = \\ = \text{výstupní proud } (k) [A] + \text{výstupní proud } 1 (k) [A] + \text{výstupní proud } 2 (k) [A] \end{aligned} \quad (112)$$



### 3.12. Test tachometru

Tímto testem se zabývá Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 39 – *Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel, pokud jde o rychloměrné zařízení včetně jeho montáže*. Zde jsou uvedeny podmínky, jako například:

- teplota ve zkušební místnosti  $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ;
- minimální průměr válce 0,4 m v případě zkoušky na válcovém dynamometru (naš dynamometr má průměr válce 0,5 m);
- v pneumatikách vozidla musí být standardní provozní tlak dle stanovení výrobce vozidla;
- přesnost zařízení pro měření skutečné rychlosti vozidla musí být  $\pm 0,5\%$  (dle kalibračního protokolu z června 2023 je snímání rychlosti s maximální chybou 0,08 %).

Vozidla se zkouší v předpisech stanovených rychlostech, které se určují dle maximální konstrukční rychlosti vozidla uvedené výrobcem. Pro naše testované vozidlo, kde je maximální rychlost stanovena na 160 km/h, jsou zkušební rychlosti 40, 80 a 120 km/h. Zobrazená rychlost na tachometru vozidla  $v_1$  a zjištěná skutečná rychlost  $v_2$  se následně vloží do vztahu č. 113, kde musí být dodržena udávaná rovnost vztahu. Ze vztahu je i zřejmé, že rychlost zobrazená na tachometru vozidla nesmí být menší než rychlost skutečná.<sup>87</sup>

$$0 \leq (v_1 - v_2) \leq 0,1 \times v_2 + 4 \text{ km/h} \quad (113)$$

#### 3.12.1. Cíl měření

Cílem tohoto měření je zjistit, zda odpovídá rychlost vozidla zobrazená na tachometru kombi přístroje vozidla s reálnou rychlostí vozidla, která je změřena a zobrazena na monitoru dynamometru. Toto měření je pouze doplňkové, jelikož během některých měření je zapotřebí použít skutečnou rychlost vozidla.

#### 3.12.2. Postup měření

Válcový dynamometr disponuje funkcí Test tachometru, kdy po ustálení rychlosti na požadované hodnotě řidič aktivuje dálková světla, čímž se dá povel dynamometru k odečtení

---

<sup>87</sup> Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 39 – *Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel, pokud jde o rychloměrné zařízení včetně jeho montáže*. 2010.

aktuální rychlosti na válcích. I přesto jsem během jízdy z řídicí jednotky č. 51 - *Elektrický pohon* vyčítal hodnoty aktuální rychlosti vozidla a otáčky elektromotoru.

Před najetím a spuštěním dynamometru je potřeba aktivovat „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupu*. Následně se zrychluje dle tachometru vozidla na požadovanou rychlost, která je zobrazena na monitoru dynamometru. Po ustálení rychlosti se aktivují dálkové světlomety a na monitoru dynamometru se zobrazí skutečná rychlost vozidla odečtená dynamometrem. Takto se postupně zrychluje na požadované rychlosti, v našem případě 40, 80, 120 a 130 km/h. První tři rychlosti jsou dány předpisem EHK OSN č.39, poslední rychlost 130 km/h jsem si doplnil do zkušebních rychlostí sám, jelikož tato rychlost je použita během vybíjení při měření účinnosti nabíjení. Po dokončení testu lze odečtené rychlosti zobrazit v programu dynamometru (obrázek č. 40), kde je vidět dolní a horní mez (NÍZKÁ a VYSOKÁ), ve které se má měřená hodnota dle EHK předpisu nacházet a skutečná hodnota rychlosti (HODNOT). Výsledky nám potvrzují, že vozidlo EHK předpis splňuje.

OK car				
BEP R&B				
po srp 7 2023 17:51:43				
VIN: ENYAQ EH				
Car Type: ENYAQ				
Barcode: ENYAQ EHKTACHOMETR				
CYCLE NR 2084 - 231 sec				
COMPLETE TEST : OK				
POLOŽKA	NÍZKÁ	VYSOKÁ	HODNOT	JEDNO
ACCEL	0	40	24	sec
SPEEDOMETER	33	40	36	Y/N
SPEEDOMETER	70	80	75	Y/N
SPEEDOMETER	106	120	113	Y/N
SPEEDOMETER	106	130	123	Y/N

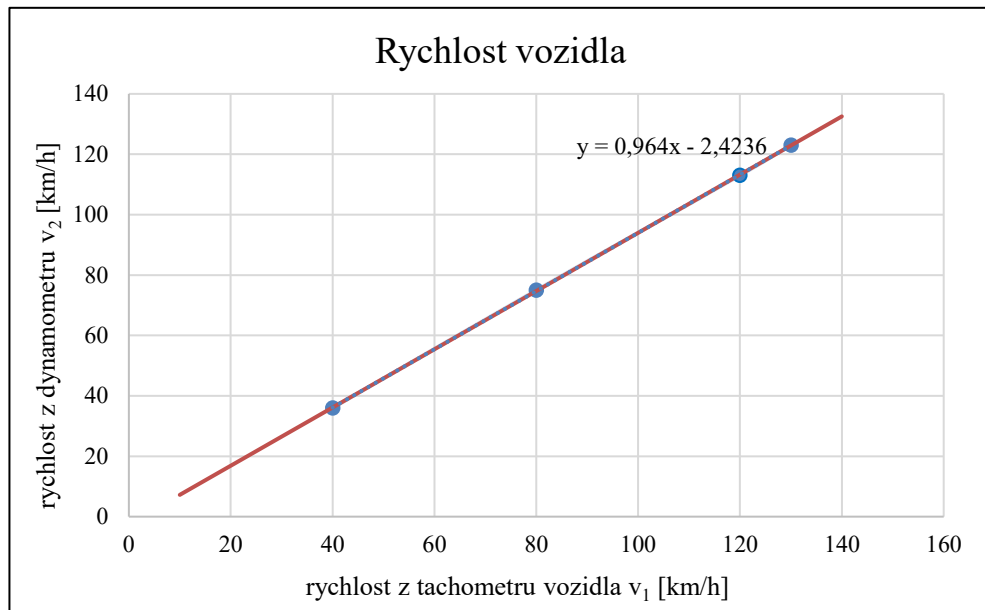
Obrázek 40 – Výpis měřených hodnot z dynamometru během testu tachometru

### 3.12.3. Zjištění hodnoty měřením

Rychlost vozidla				
z tachometru vozidla [km/h]	z dynamometru [km/h]	z měřených hodnot v ODISu [km/h]	otáčky elektromotoru v ODISu [1/min]	vypočtená rychlost z otáček [km/h]
v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	-	n	-
40	36	36	3 452,1	36,5
80	75	75	7 078,7	74,8
120	113	113	10 718,6	113,2
130	123	123	11 623,9	122,8

Tabulka 19 – Tabulka změřených a vypočítaných hodnot rychlosti

Změřené hodnoty rychlostí z tachometru a dynamometru byly zaneseny do grafu č. 22, kde jsem pomocí lineární spojnice trendu získal lineární funkci závislosti skutečné rychlosti vozidla  $v_2$  na vyčítané rychlosti z tachometru  $v_1$  (vzorec č. 115).



Graf 22 – Vyčítaná rychlost vozidla z tachometru a dynamometru

Hodnoty skutečné rychlosti byly ověřeny i z měřené hodnoty otáček elektromotoru pomocí vzorce 114. K výpočtu bylo potřeba využít hodnotu celkového převodového poměru  $p = 12,976$  (uvedena v **tabulce č. 1**)<sup>88</sup> a průměru použitých kol  $d = 0,727$  m, který byl změřen nádrhem při správném nahuštění pneumatik. V **tabulce č. 19** je porovnání hodnot skutečné rychlosti získané z dynamometru, diagnostiky ODIS a pomocí výpočtu ze změřených otáček elektromotoru.

$$v [km/h] = 3,6 \times \frac{\pi \times d [m] \times \frac{n [1/min]}{p [-]}}{60} \quad (114)$$

V následující **tabulce č. 20** je přepočítání mezi rychlostí zobrazenou na tachometru a rychlostí z dynamometru, i obrácený převod.

<sup>88</sup> Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.

Tabulka přepočtu rychlostí			
z nastavené rychlosti na tachometru [km/h]		z nastavené rychlosti na monitoru dynamometru [km/h]	
tachometr vozidla $v_1$	monitor dynamometru $v_2$	monitor dynamometru $v_2$	tachometr vozidla $v_1$
10	7,2	10	12,9
20	16,9	20	23,3
30	26,5	30	33,6
40	36,1	40	44,0
50	45,8	50	54,4
60	55,4	60	64,8
70	65,1	70	75,1
80	74,7	80	85,5
90	84,3	90	95,9
100	94,0	100	106,2
110	103,6	110	116,6
120	113,3	120	127,0
130	122,9	130	137,4
140	132,5	140	147,7
$v_2 = v_1 \times 0,964 - 2,4236 ( 115 )$		$v_1 = v_2 \times 1,0373 + 2,5141 ( 116 )$	

Tabulka 20 – Převodní tabulka mezi rychlostí vozidla dle tachometru a monitoru dynamometru

### 3.12.4. Seznam vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek vozidla byla vyčítána pouze následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 191 ms:

- rychlost vozidla
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/rychlost vozidla/[LO]\_Vehicle speed
  
- rychlost vozidla
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/rychlost vozidla/---
  
- otáčky elektromotoru
  - řídicí jednotka – 0051 - Elektrický pohon
  - název veličiny – 51/Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota/[LO]\_Absolut\_value\_RPM\_e-machine

$$rychlost (k) [km/h] = 3,6 \times \frac{\pi \times \text{průměr kola [m]} \times \frac{\text{otáčky elektromotoru (k) [1/min]}{\text{celkový převodový poměr [-]}}}{60} \quad (117)$$

### 3.13. Vlastní spotřeba vozidla

Hodnota vlastní spotřeby vozidla je hodnota příkonů pomocných pohonů a může být rozdílná během jízdy, zastavení či pouze při aktivovaném zapalování. Tímto měřením byla zjišťována hodnota při jízdě dle WLTP pro použití v matematickém modelu vozidla v kapitole 4. *Matematický model vozidla*.

#### 3.13.1. Postup měření

Měření probíhalo na válcovém dynamometru s nastavenými jízdními odpory simulujícími jízdu po rovině. Jelikož vlastní spotřeba není nijak vázána na měrné spotřebě, vynechal jsem pro toto měření zahřívací jízdu. Po aktivaci „Režim válcové zkušební stolice, funkční“ v přizpůsobení v jednotce č. 13 - *Regulace odstupu* jsem zapnul záznam měřených hodnot, kde bylo nastaveno pouze napětí a proud na vstupu DC/DC měniče z jednotky č. 8105 - *Měnič napětí 12 V*. Během jízdy byly dodrženy stejné podmínky jako během jízdy dle WLTP, tedy kompletně vypnutá klimatizace včetně ventilátoru, vypnuté osvětlení kabiny, světla vozidla v režimu AUTO a zapnuté rádio. Příkon DC/DC měniče tedy tvořil jedinou vlastní spotřebu vozidla.

#### 3.13.2. Zjištěné hodnoty měřením

Ze zaznamenaných hodnot během projetí křivky WLTP byl vypočten pomocí vzorce č. 120 průměrný příkon DC/DC měniče z celé jízdní křivky, který vyšel 649,456 W. Tato hodnota byla ověřena i výpočtem celkového přírůstku energie měniče o velikosti 330 Wh (vzorec č. 122), která byla následně vydělena celkovou dobou trvání jízdní křivky.

$$\text{průměrný příkon pomocných pohonů [W]} = \frac{\text{celkový přírůstek energie měniče [Wh]}}{\frac{(t_{\text{end}} [\text{ms}] - t_{\text{start}} [\text{ms}])}{3600 \times 1000}} \quad (118)$$

Takto vypočtený průměrný příkon měl hodnotu 649,303 W.

### 3.13.3. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 292 ms:

- napětí a proud na vstupu DC/DC měniče
  - řídicí jednotka – 8105 - Měnič napětí 12 V
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, napětí trakční sítě/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 1/---
  - název veličiny – 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 2/---

$$\text{vstupní proud měniče } (k) [A] = \text{vstupní proud } 1(k) [A] + \text{vstupní proud } 2(k) [A] \quad (119)$$

$$\text{příkon DC/DC měniče } (k) [W] = \text{vstupní proud měniče } (k) [A] \times \text{vstupní napětí měniče } (k) [V] \quad (120)$$

$$\begin{aligned} \text{přírůstek energie měniče } (k) [Wh] &= \frac{(t(k) [ms] - t(k-1) [ms])}{3600000} \times \\ &\times \frac{(\text{vstupní proud měniče } (k) [A] \times \text{vstupní napětí měniče } (k) [V]) + (\text{vstupní proud měniče } (k-1) [A] \times \text{vstupní napětí měniče } (k-1) [V])}{2} \end{aligned} \quad (121)$$

$$\text{celkový přírůstek energie měniče } [Wh] = \sum \text{přírůstek energie měniče}_i [Wh] \quad (122)$$

### 3.14. Účinnost pohonu

Cílem tohoto měření je určit účinnost pohonu během tahu a rekuperace vozidla. Účinnost pohonu představuje, jak je schopen pohon společně s DC/AC měničem přeměnit energii z baterie na energii na kolech v případě tahu vozidla, a naopak jak dokáže energii dodanou od válcového dynamometru na kola vozidla přeměnit na elektrickou energii a uložit ji do VN baterie během rekuperace. Výsledná hodnota je využita pro matematický model vozidla v kapitole 4. *Matematický model vozidla*.

#### 3.14.1. Postup měření

Měření pro zjištění účinnosti pohonu probíhalo stejným způsobem jako měření měrné spotřeby během jízdy dle WLTP pouze s tím rozdílem, že z jednotky vozidla byly vyčítány pouze hodnoty proudu a napětí na VN baterii (jednotky č. 8C - *Správa akumulátoru hybridního vozidla*). Rychlost vozidla, která je potřebná k výpočtům, jsem získal ze záznamu válcového dynamometru. Tím jsem razantně zkrátil vzorkovací periodu vyčítání hodnot z jednotky vozidla z 1 257 ms (v případě vyčítání napětí a proudu na VN baterii společně s vyčítáním rychlosti vozidla) na 178 ms, protože rychlost vozidla je vyčítána z jednotky Elektrický pohon, tedy z jiné jednotky než napětí a proud na VN baterii. Měření bylo provedeno během jízdy dle WLTP po zahřívací jízdě, aby byly zachovány totožné počáteční podmínky jako během měření měrné spotřeby.

#### 3.14.2. Zjištěné hodnoty

Výkon, který byl dodán od válcového dynamometru na kola vozidla, byl vypočten pomocí následujících vzorců, kde byly použity koeficienty jízdních odporů vozidla  $A$ ,  $B$ , a  $C$  vypočtené od kolegů z oddělení EGN – Technika vozu (v **tabulce č. 3**), dále rychlost vozidla  $v$  ze záznamu průběhu jízdní křivky dle WLTP z válcového dynamometru a váha vozu  $s$  posádkou  $m$ . Pro úhel  $\alpha$  zde byla zvolena hodnota  $0^\circ$ , tedy že vozidlo jelo po rovině.

$$\Delta t(k) [s] = t(k) [s] - t(k - 1) [s] \quad (123)$$

$$a(k) [m/s^2] = \frac{v(k) [km/h] - v(k-1) [km/h]}{\Delta t(k) [s] \times 3,6} \quad (124)$$

$$F_0(k) [N] = A [N] \times \cos(\alpha [^\circ]) + B [N/(km/h)] \times v(k) [km/h] + C [N/(km/h)^2] \times v^2(k) [km/h] + m [kg] \times g [m/s^2] \times \sin(\alpha [^\circ]) + m [kg] \times a(k) [m/s^2] \quad (125)$$

$$P_0(k) [W] = F_0(k) [N] \frac{v(k) [km/h]}{3,6} \quad (126)$$

Z poslední rovnice č. 126 vyšla hodnota kladného nebo záporného výkonu na kolech. Kladný výkon představuje dodávaný výkon  $P_{0+}$  během tahu vozidla a záporný výkon  $P_{0-}$  představuje výkon během brždění, tedy rekuperace vozidla. Z těchto výkonů jsem pomocí odpovídající lichoběžníkové metody integrace vypočetl a sečetl energie  $E_{0+}$  a  $E_{0-}$  na kolech vozidla.

$$E_{0+} [kWh] = \sum \frac{P_{0+}(k) [W] + P_{0+}(k-1) [W]}{2} \times \frac{\Delta t(k) [s]}{3600000} \quad (127)$$

$$E_{0-} [kWh] = \sum \frac{P_{0-}(k) [W] + P_{0-}(k-1) [W]}{2} \times \frac{\Delta t(k) [s]}{3600000} \quad (128)$$

Z vyčtených hodnot napětí a proudu na VN baterii jsem vypočítal pomocí vzorce č. 129 odebranou nebo dodanou energii do baterie. Vyšla-li energie kladná, jednalo se o energii odebranou vlivem tahu vozidla  $E_{BAT+}$ , a v případě energie záporné se jednalo o energii dodávanou během rekuperace do baterie  $E_{BAT-}$ .

$$\Delta E_{BAT}(k) [kWh] = \frac{U(k) [V] \times I(k) [A] + U(k-1) [V] \times I(k-1) [A]}{2} \times \frac{t(k) [s] - t(k-1) [s]}{3600} \quad (129)$$

$$E_{BAT+} [kWh] = \sum \Delta E_{BAT}(k) [kWh] \quad \text{pro } E_{BAT} > 0 \quad (130)$$

$$E_{BAT-} [kWh] = \sum \Delta E_{BAT}(k) [kWh] \quad \text{pro } E_{BAT} < 0 \quad (131)$$

Z těchto čtyř hodnot energií  $E_{0+}$ ,  $E_{0-}$ ,  $E_{BAT+}$ ,  $E_{BAT-}$  lze následně vypočítat požadovanou účinnost pohonu v tahu  $\eta_+$  a během rekuperace  $\eta_-$ .

$$\eta_+ [-] = \frac{E_{0+} [kWh]}{E_{BAT+} [kWh]} \quad (132)$$

$$\eta_- [-] = \frac{E_{0-} [kWh]}{E_{BAT-} [kWh]} \quad (133)$$

Výsledná účinnost pohonu v tahu vyšla 0,9270 a účinnost během rekuperace vyšla 0,8724. Takto naměřená a vypočtená hodnota účinnosti je závislá na velikosti vlastní spotřeby vozidla, tedy na příkonu pomocných pohonů, kdy při zvýšení příkonu účinnost v tahu i během rekuperace klesá. Vlastní spotřeba sice během tohoto měření nebyla měřena, ale v předchozí kapitole (**3.13. Vlastní spotřeba vozidla**) ano. Průměrný příkon pomocných pohonů byl měřen za stejných podmínek během jízdy dle WLTP a jeho hodnota byla 649,303 W. Aby nebylo během jízdy při měření vlastní spotřeby a účinnosti pohonu množství rekuperované energie systémově omezeno (k systémovému omezení rekuperované energie dochází při nabití vozidla nad 90 % kapacity baterie), byla před jízdou pro měření vlastní spotřeby kapacita baterie 58 % a při měření účinnosti pohonu 51 %. V obou případech došlo jízdou k poklesu kapacity baterie o 5 %.



### 3.14.3. Seznam měřených hodnot z řídicích jednotek vozidla

Z jednotek byly vyčítány následující hodnoty s průměrnou vzorkovací periodou 178 ms:

- proud a napětí na VN baterii pro výpočet výkonu do/z VN baterie
  - řídicí jednotka – 008C - Správa akumulátoru hybridního vozidla
  - název veličiny –  
8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]\_Pack\_current, Case 0/---
  - název veličiny –  
8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]\_High\_Voltage\_Battery\_Total\_Voltage, Case 0/---

## 4. Matematický model vozidla

Jedná se o teoretický model vozidla, dle kterého lze na základě rychlostního profilu jízdy vypočítat spotřebovanou energii, a tedy i měrnou spotřebu vozidla. Model je schopen reagovat na váhu samotného vozidla, počet osob ve vozidle i na procentuální sklon celé dráhy. Pro matematický model jsou potřebné hodnoty zobrazené v následující tabulce č. 21.

Tabulka základních hodnot matematického modelu vozidla Škoda Enyaq Coupé iV 80, letní pneumatiky			
jízdni odpory	A	133,1	[N]
	B	0,51	[N/(km/h)]
	C	0,028614	[N/(km/h) <sup>2</sup> ]
váha	vozu	2 171	kg
	posádky	75	kg
	celkem $m$	2 246	kg
příkon pomocných pohonů $P_{pp}$		649,380	W
účinnost pohonu $v$	tahu $\eta_+$	0,9270	
	rekuperaci $\eta_-$	0,8724	
účinnost pom.pohonů $\eta_{pp}$		0,9	
tíhové zrychlení $g$		9,81	m/s <sup>2</sup>
sklon vozovky $\alpha$		0	%

Tabulka 21 – Hodnoty pro matematický model vozidla

$$\Delta t(k) [s] = t(k) [s] - t(k - 1) [s] \quad (134)$$

$$a(k) [m/s^2] = \frac{v(k) [km/h] - v(k-1) [km/h]}{\Delta t(k) [s] \times 3,6} \quad (135)$$

$$\alpha [^\circ] = \tan^{-1} \left( \frac{\alpha [\%]}{100} \right) \quad (136)$$

$$F(k) [N] = A \times \cos(\alpha [^\circ]) + B \times v(k) [km/h] + C \times v^2(k) [km/h] + m [kg] \times g [m/s^2] \times \sin(\alpha [^\circ]) + m [kg] \times a(k) [m/s^2] \quad (137)$$

$$P_{wh}(k) [W] = F(k) [N] \times \frac{v(k) [km/h]}{3,6} \quad (138)$$

Pomocí vzorce č. 138 jsem zjistil, jaký výkon je při dané rychlosti a zrychlení na kolech v daný moment  $k$ . Pro následný výpočet potřebné energie je zapotřebí určit, zda aktuálně je pohon v tahu či rekuperuje. To se zjistí dle hodnoty výkonu na kolech  $P_{wh}$ , kdy při kladné hodnotě je pohon v tahu a při záporné hodnotě pohon rekuperuje.

$$\eta_p(k) [-] = \eta_+ \quad \text{při } P_{wh} > 0 \quad (139)$$

$$\eta_p(k) [-] = \frac{1}{\eta_-} \quad \text{při } P_{wh} < 0 \quad (140)$$

Následně stačí vypočítat pomocí lichoběžníkové metody integrace přírůstek odebrané či dodané energie z/do VN baterie a sečtením těchto přírůstků dostaneme teoreticky vypočtenou hodnotu spotřebované energie z VN baterie.

$$E [kWh] = \sum \frac{\frac{P_{wh(k)} [W]}{\eta_p(k) [-]} + \frac{P_{pp(k)} [W]}{\eta_{pp} [-]} + \frac{P_{wh(k-1)} [W]}{\eta_p(k-1) [-]} + \frac{P_{pp(k-1)} [W]}{\eta_{pp} [-]}}{2} \times \frac{\Delta t(k) [s]}{3600000} \quad (141)$$

Chceme-li ještě vypočítat měrnou spotřebu, použijeme délku ujeté dráhy  $s$ , v našem případě je délka dráhy při jízdě dle WLTP rovná hodnotě 23,266 km.

$$\text{měrná spotřeba [kWh/100km]} = \frac{100 \times E [kWh]}{s [km]} \quad (142)$$

Na základě těchto výpočtů, které byly odvozeny z odborného článku poskytnutého od vedoucího práce<sup>89</sup>, jsem vypočítal spotřebovanou energii během jízdy dle WLTP po rovině, se sklonem +4 % a -4 % (následující tabulka č. 22, 2. sloupec). Jako rychlostní profil jsem použil záznam reálné jízdy ze zaznamenaných hodnot válcového dynamometru. Spotřebovanou energii během reálné jízdy s tímto sklonem jsem měřil v rámci kapitoly 3.2. **Měrná spotřeba elektrické energie** a 3.4. **Vliv sklonu vozovky na spotřebu** a hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce v 1. sloupci. Zároveň je ve 3. sloupci uvedena procentuální diference, o kolik se změřená a vypočtená hodnota liší.

účinnost pohonu v	reálná jízda	matematický model					
	spotřebovaná energie z VN baterie	spotřebovaná energie z VN baterie	diference	spotřebovaná energie z VN baterie	diference	spotřebovaná energie z VN baterie	diference
tahu	---	0,9270		0,9700		0,9610	
rekuperaci		0,8724		0,9657		0,9645	
rovina	2,877 kWh	3,217 kWh	11,82 %	2,879 kWh	0,06 %	2,919 kWh	1,45 %
sklon +4 %	8,836 kWh	9,150 kWh	3,56 %	8,677 kWh	-1,80 %	8,761 kWh	-0,85 %
sklon -4 %	-2,774 kWh	-2,329 kWh	-16,04 %	-2,798 kWh	0,87 %	-2,782 kWh	0,29 %

Tabulka 22 – Tabulka naměřených a vypočtených hodnot spotřebované energie

Aby byly hodnoty vypočtené a naměřené spotřebované energie co nejpřesnější a model vozidla bylo možné použít i pro počítání jiných rychlostních profilů, musel jsem upravit koeficienty účinnosti pohonu. Postupnou úpravou hodnoty účinnosti v tahu a během rekuperace jsem našel celkem dvě kombinace, při kterých byla maximální odchylka +0,87 % a -1,80 % u první kombinace, nebo +1,45 % a -0,85 % u druhé kombinace (4.–7. sloupec předchozí tabulky č. 22). Upravením koeficientů došlo poměrně k velkému zvýšení hodnoty teoretické

<sup>89</sup> MAŠEK, Zdeněk. BEV energy consumption estimation for route planning. 2023.

účinnosti, tedy v případě účinnosti v tahu došlo k navýšení až o 0,043 a v případě účinnosti při rekuperaci dokonce o 0,0933. I celková účinnost okolo 0,96 je poměrně vysoká hodnota, především v případě účinnosti rekuperace. Vzniklá chyba může být způsobena opět špatně vypočtenými jízdními odpory vozidla, nebo s větší pravděpodobností tím, že skutečná hodnota zátěže od dynamometru neodpovídá hodnotě, která je vypočtena na základě koeficientů v programu dynamometru a aktuální rychlosti vozidla.

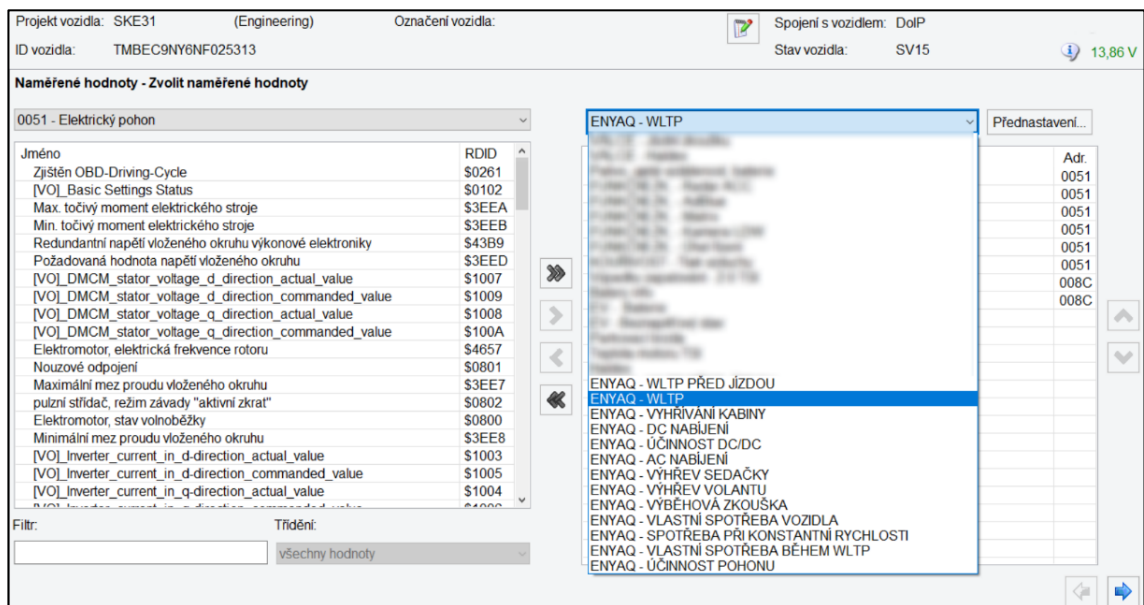
## 5. Sériová diagnostika elektropohonu

Sériová diagnostika ODIS Engineering příliš možností pro diagnostiku elektropohonu v testovaném vozidle nenabízí. Všeobecně lze u každé jednotky vozidla provést její identifikaci, vyčtení paměti závad, vyčtení měřených hodnot, diagnostiku akčních členů, základní nastavení a přizpůsobení. Při zvolení funkce diagnostika akčních členů se bohužel zobrazí upozornění, že tato funkce není řídicí jednotkou podporována.

Funkcí identifikace se zobrazí informace ohledně řídicí jednotky pohonu, tedy například kusovníkové označení jednotky či jaká je v jednotce aktuálně nahrána verze softwaru. Funkce vyčtení paměti závad zobrazuje sporadické i aktivní závady, které jednotka rozpoznala. Tyto závady lze samozřejmě z jednotky smazat, pakliže je závada stále aktivní, zobrazí se znovu.

Ve funkci základní nastavení a přizpůsobení je pouze několik aktivních funkcionalit, které lze přenastavit. Ovšem nedokážu z jejich názvu rozpoznat, k čemu je konkrétní funkcionalita určena a co dělá. Jediná funkcionalita, se kterou jsem se již v minulosti setkal na jiných vozidlech, je funkce takzvaného produkčního módu, která funguje podobně jako režim válcové zkušební stolice, tedy že omezí vybrané funkce vozidla.

### 5.1. Měřené hodnoty



Obrázek 41 – Přednastavené seznamy měřených hodnot v ODISu

Během měření na vozidle Enyaq Coupé iV jsem využíval pouze tuto funkci, díky které jsem získával potřebné měřené hodnoty z příslušných jednotek, tedy i z jednotky č. 51 - Elektrický pohon. Velice užitečná je možnost přednastavit a uložit si seznam vybraných

měřených hodnot. Tím se velmi usnadní práce během měření, zamezí se tím možnosti zapomenutí některé měřené hodnoty a hodnoty jsou stále ve stejném pořadí v případě jejich záznamu. Jednotka je schopna sdělit až 280 různých měřených hodnot, a to mechanického, elektrického i logického (podporovaný/nepodporovaný, aktivní/neaktivní, zapnuto/vypnuto) charakteru. Mezi hodnoty mechanického charakteru patří například rychlost vozidla, moment a otáčky elektromotoru, úhel natočení elektromotoru, ujetá vzdálenost vozidla či teploty různých komponent elektromotoru i výkonové elektroniky meziobvodu. Hodnoty elektrického charakteru jsou především napětí a proud jednotlivých napájecích fází, napětí a proud meziobvodu či napětí svorky 30 na výkonové elektronice. K některým měřeným hodnotám jsou dostupné i hodnoty požadované, maximální a minimální. Na následujícím obrázku jsou měřené hodnoty, které jsou vyčítány během měření měrné spotřeby vozidla, tedy kromě hodnoty rychlostí, u kterých je během měření načítání deaktivováno. V posledním sloupečku s označením Adr. se nachází adresa příslušné řídicí jednotky, ze které je vyčítána měřená hodnota, jelikož lze vyčítat měřené hodnoty z různých řídicích jednotek najednou.

Název naměřené hodnoty	RDID	Hodnota	<input checked="" type="checkbox"/> Načíst	Adr
▼ rychlost vozidla	\$2B16		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_Vehicle speed		37,00 km/h		
<b>rychlost vozidla</b>	\$F40D	<b>37 km/h</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	0051
▼ Točivý moment, skutečná hodnota	\$3EE9		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_Actual_mechanical_torque_calculated		177,001 Nm		
▼ Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota	\$4659		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_Absolut_value_RPM_e-machine		3 589,762 1/min		
▼ Proud vloženého okruhu	\$3E98		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_DC_link_current		193,779 A		
▼ Napětí vloženého obvodu	\$3E93		<input checked="" type="checkbox"/>	0051
[LO]_DC_link_voltage		372,503 V		
▼ proud vysokonapětového / hybridního akumulátoru	\$1E3D		<input checked="" type="checkbox"/>	008C
▼ [LO]_Pack_current, Case 0				
---		-209,600 A		
▼ [LO]_pack_current_temp, Case 0				
---		28 °C		
▼ napětí vysokonapětového akumulátoru	\$1E3B		<input checked="" type="checkbox"/>	008C
▼ [LO]_High_Voltage_Battery_Total_Voltage, Case 0				
---		371,500 V		

Jsou načítány naměřené hodnoty : (25%)

Obrázek 42 – Příklad měřených hodnot pomocí ODISu

## Závěr

V mé diplomové práci na téma Analýza energetických toků elektromobilu jsem se zabýval měřením a následnou analýzou toků elektrické energie ve vozidle Škoda Enyaq Coupé iV 80. Měření bylo realizováno během jízdy vozidla na válcovém dynamometru, při stání či nabíjení vozidla. Cíle stanovené v úvodu práce jsem úspěšně realizoval.

V teoretické části jsem popsal samotné vozidlo a uvedl, jaké technické parametry udává výrobce. Některé z těchto parametrů byly v praktické části porovnány s hodnotami zjištěnými na základě uskutečněných měření. Dále jsem uvedl komponenty vysokonapěťového systému a popsal jejich hlavní funkci a parametry.

Dále jsem popsal výpočet koeficientů jízdních odporů vozidla, které je zapotřebí zadat do programu válcového dynamometru, aby došlo k simulaci reálné jízdy po vozovce. Jelikož bylo zjištěno, že válcový dynamometr nepočítá s vlastním odporem válců, musel jsem tyto odpory změřit a vypočítat pomocí výběhové zkoušky. Dle naměřených hodnot jsem následně upravil koeficienty jízdních odporů vozidla, které byly vypočítány přímo pro naše testované vozidlo Enyaq Coupé iV 80. Zároveň jsem popsal celosvětový testovací standard WLTP, pomocí kterého výrobci zjišťují měrnou spotřebu vozidel. Tento testovací standard jsem nasimuloval na válcovém dynamometru, proto jsem mohl naměřené hodnoty měrné spotřeby porovnat s hodnotami uváděnými výrobcem.

V praktické části, kterou se zabývá třetí kapitola, jsem popsal všechna realizovaná měření. Na začátku kapitoly jsou popsány měřicí přístroje s jejich parametry, které jsem během měření využíval. U každého měření jsem uvedl cíl a postup měření, popsal naměřené a vypočtené hodnoty, které jsem případně porovnal s hodnotami uvedenými výrobcem. Na závěr každého měření je i soupis všech vyčítaných hodnot z řídicích jednotek vozidla s příslušnými vzorci. Během jednotlivých měření jsem zjistil měrnou spotřebu vozidla v závislosti na použití letních a zimních pneumatik, či jak se mění měrná spotřeba v závislosti na podhuštění pneumatik nebo sklonu vozovky. Dále jsem realizoval měření během nabíjení pomocí AC nabíječek a DC nabíjecích stanic, vždy s použitím dvou různých nabíjecích zařízení. V rámci tohoto měření jsem zjistil i účinnost AC a DC nabíjení. Velice zajímavé měření bylo vybití baterie vozidla do 0 % kapacity s následným nabitím do 100 %, kdy jsem s nulovým dojezdem a zbývající kapacitou baterie ujel ještě dalších 25 kilometrů do zastavení vozidla. V dalších měřeních jsem naměřil, kolik elektrické energie je potřeba pro vyhřátí promrzlé kabiny vozidla, či jaký příkon má vyhřívání sedadla řidiče nebo věnce volantu. V dalším měření jsem zjišťoval účinnost DC/DC měniče při jeho maximálním zatížení.

Jako doplňkové měření, kdy jsem naměřené hodnoty použil pro odvození reálné rychlosti vozidla, byl test tachometru vozidla, kde jsem porovnával hodnoty rychlosti zjištěné z dynamometru a z tachometru vozidla. Vypočtené hodnoty z posledních dvou měření, tedy měření vlastní spotřeby vozidla a účinnosti pohonu, byly použity pro matematický model vozidla v závěrečné části práce.

Mezi porovnávané parametry vozidla patří například hodnoty měrné spotřeby elektrické energie, využitelná kapacita vysokonapěťové baterie, maximální dojezd vozidla, čas nabíjení pomocí AC nabíječky a DC nabíjecí stanice, nebo věrohodnost zobrazené měrné spotřeby v infotainmentu vozidla s hodnotou reálné spotřeby. Například doba nabíjení pomocí AC wallboxu se zcela shodovala s hodnotou zjištěnou měřením a v případě DC nabíjení byla zjištěná doba nabíjení dokonce o 3,5 minuty kratší. Zobrazená měrná spotřeba v infotainmentu vozidla byla ze všech uskutečněných jízd průměrně o 0,41 % nižší než skutečná naměřená hodnota měrné spotřeby, tedy hodnota je velice věrohodná a vždy ukazuje hodnotu nižší.

Na závěr práce jsem vytvořil matematický model vozidla, kde jsem schopen na základě vypočtených koeficientů jízdních odporů, hmotnosti vozidla, změřeného příkonu pomocných pohonů a účinnosti pohonu v tahu a při rekuperaci, vypočítat spotřebu elektrické energie během jízdy dle jakéhokoliv rychlostního profilu. Zároveň může být zohledňován i sklon vozovky, který má značný vliv na spotřebu energie. Dosazením naměřené a vypočtené hodnoty byly hodnoty spotřebované energie vypočtené a naměřené během jízdy na válcovém dynamometru poměrně rozdílné, proto jsem musel hodnoty účinnosti pohonu upravit. Po úpravě se hodnoty lišily maximálně o  $\pm 2$  %. Zmínil jsem se také o možnostech diagnostiky elektropohonu pomocí diagnostického programu pro sériovou diagnostiku ODIS, kde jsem okrajově popsal možnosti, které program nabízí, především tedy možnosti vyčítání měřených hodnot.



## Zdroje

- 1) V hlavním výrobním závodě společnosti ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi byla zahájena sériová výroba modelu ŠKODA ENYAQ COUPÉ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 14. 2. 2022 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/v-hlavnim-vyrobnim-zavode-spolocnosti-skoda-auto-v-mlade-boleslavi-byla-zahajena-seriova-vyroba-modelu-skoda-enyaq-coupe-iv/>
- 2) ŠKODA AUTO zahajuje v hlavním závodě v Mladé Boleslavi sériovou výrobu modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 25.11.2020 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/skoda-auto-zahajuje-v-hlavnim-zavode-v-mlade-boleslavi-seriovou-vyrobu-modelu-enyaq-iv/>
- 3) ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> iV nabízí dojezd až 252 km v cyklu WLTP a jízdu bez emisí. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 25.11.2019 [cit. 2023-06-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-citigo%e1%b5%89-iv-skoda-superb-iv-tiskova-mapa/skoda-citigo%e1%b5%89-iv-nabizi-dojezd-az-252-km-v-cyklu-wltp-a-jizdu-bez-emisi/>
- 4) Rodina Enyaq Coupé iV. Škoda Auto [online]. [cit. 2023-06-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-coupe-iv>
- 5) Enyaq. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 13.02.2023 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-model/enyaq-iv/>
- 6) Interní podklady společnosti Škoda Auto a.s.
- 7) Pneumatiky: Bridgestone 28772. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/1398096?navigatingfrom=gr>
- 8) Pneumatiky: MICHELIN 631659. EPREL – Evropský rejstřík výrobků pro označování energetickými štítky [online]. [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/411386?navigatingfrom=gr>
- 9) Modular electric drive matrix (MEB). Volkswagen Newsroom [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/modular-electric-drive-matrix-meb-3677>
- 10) Tajemství platformy MEB: Škoda odhaluje detaily techniky pro elektromobily. Auto.cz [online]. 09.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/tajemstvi-platformy-meb-skoda-odhaluje-detaily-techniky-pro-elektromobily-136345>
- 11) Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. Media Room – Škoda Storyboard [online]. 08.10.2020 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>
- 12) Under the Hood: the ID.3 and VW's electrification platform. EE Times – Connecting The Global Electronics Community [online]. 08.08.2021 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?\\_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&\\_gl=1\\*1a48kca\\*\\_ga\\*MTcyNjc3ODA0MS4xNjkwMTE5OTM5\\*\\_ga\\_ZLV02RYCZ8\\*MTY5MDM5MDMzOS40LjAuMTY5MDM5MDMzOS4wLjAuMA](https://www.eetimes.com/under-the-hood-the-id-3-and-vws-electrification-platform/?_ga=2.28811448.582046745.1690111939-1726738041.1690111939&_gl=1*1a48kca*_ga*MTcyNjc3ODA0MS4xNjkwMTE5OTM5*_ga_ZLV02RYCZ8*MTY5MDM5MDMzOS40LjAuMTY5MDM5MDMzOS4wLjAuMA)
- 13) Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě. EVEXPERT Vše pro nabíjení elektromobilů [online]. [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>

- 14) Konektor CCS typu 2 pro nabíjecí stanici rychlých elektrických automobilů DC. Midapower [online]. [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.midaevse.com/cs/project/ccs-type-2-connector-for-dc-fast-electric-car-charging-station/>
- 15) ŠKODA ENYAQ COUPÉ iV: mistr aerodynamiky. ŠKODA Storyboard [online]. 15. 12. 2021 [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/skoda-enyaq-coupe-iv-mistr-aerodynamiky/>
- 16) MAŠEK, Zdeněk. Výběhová zkouška Škoda Enyaq Coupé iV. 2023.
- 17) MAŠEK, Zdeněk. Moment setrvačnosti kola. 2022.
- 18) SIEKLUCKI, Grzegorz. An Investigation into the Induction Motor of Tesla Model S Vehicles [online]. 2018 [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Grzegorz-Sieklucki/publication/327191420\\_An\\_Investigation\\_into\\_the\\_Induction\\_Motor\\_of\\_Tesla\\_Model\\_S\\_Vehicle/links/5e2c370ba6fdcc70a14a9cfe/An-Investigation-into-the-Induction-Motor-of-Tesla-Model-S-Vehicle.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Grzegorz-Sieklucki/publication/327191420_An_Investigation_into_the_Induction_Motor_of_Tesla_Model_S_Vehicle/links/5e2c370ba6fdcc70a14a9cfe/An-Investigation-into-the-Induction-Motor-of-Tesla-Model-S-Vehicle.pdf)
- 19) WLTP: Nové standardy pro spotřebu. Volkswagen Česká republika [online]. [cit. 2023-07-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/technologie/wltp/nefz-und-wltp>
- 20) Předpis Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN) č. 101 ze dne 9. prosince 2010: Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorií M1 a N1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu. 2010.
- 21) NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/1151 ze dne 1. června 2017: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. 2017.
- 22) ECE 15 + EUDC / NEDC. DieselNet: Engine & Emission Technology Online [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
- 23) Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). DieselNet: Engine & Emission Technology Online [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- 24) IHR TECHNIKA s.r.o. Signal Recorder TEXVIK: Návod k použití. 2011.
- 25) TECHNICKÉ ÚDAJE: Proudové kleště Fluke i30s AC/DC. Měřicí přístroje Fluke [online]. 2023 [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/flk-230019-cs-naam-i30s-current-clamp-ds-w.pdf?iBTsYA8gmb9W1uhTM5sUp2NHuuUMDKf3>
- 26) Testo 405i – termický anemometr ovládaný chytrým telefonem. Testo, s.r.o. [online]. [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-405i/p/0560-1405>
- 27) The tyre: Rolling resistance and fuel saving. Università di Pisa [online]. MICHELIN, 2003 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: [http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf)
- 28) Mapy.cz. Mapy.cz [online]. [cit. 2023-08-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.4629405&y=50.0409774&z=10>

- 29) eVolve Smart. Circontrol [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://circontrol.com/datasheets/evolvesmart-eng.pdf>
- 30) 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, 16.6.2022.
- 31) Rychlonabíjecí stanice CPC 50 kW. Siemens.com [online]. 2020 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:200cd5d7-7b65-4a7f-958a-69f3482e64b9/50kw-2020.pdf>
- 32) DC rychlonabíjecí stanice. Nikola [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://nikola-evc.cz/#products>
- 33) MAŠEK, Zdeněk. BEV energy consumption estimation for route planning. 2023.
- 34) Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 39 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel, pokud jde o rychloměrné zařízení včetně jeho montáže. 2010.

## **Přílohy**

Příloha A: Blokové schéma výkonové elektroniky z vozidla Volkswagen ID.3.....	- 157 -
Příloha B: Blokové schéma palubní nabíječky z vozidla Volkswagen ID.3 .....	- 158 -
Příloha C: Tabulka měřených hodnot pomocí ODIS.....	- 159 -





Příloha C: Tabulka měřených hodnot pomocí ODIS

Veličina	Výpočet / popis	Název v ODISu	Měření průměrné spotřeby	AC nabíjení	DC nabíjení	Účinnost AC dobíjení	Účinnost DC dobíjení	Vyhřívání kabiny	Vyhřívání sedadla	Vyhřívání volantu	Účinnost DC/DC měniče	Test tachometru	Vlastní spotřeba vozidla
Rychlost vozidla [km/h]	---	51/rychlost vozidla/[LO]_Vehicle speed										X	
		51/rychlost vozidla/---											
Otáčky elektromotoru [ot/min]	---	51/Otáčky elektromotoru, skutečná hodnota/[LO]_Absolut_value_RPM_e-machine	X			X	X					X	
Točivý moment elektromotoru [Nm]	---	51/Točivý moment, skutečná hodnota/[LO]_Actual_mechanical_torque_calculated	X			X	X						
Režim VN baterie	<i>jízda / Režim Standby / Externí nabíjení, stejnosměrné napětí / Externí nabíjení, střídavé napětí</i>	8C/režim vysokonapěťového akumulátoru, skutečná hodnota/---		X	X	X	X						
Stav nabití VN baterie [%]	---	8C/stav nabití akumulátoru/---/[LO]_State of charge, Case 0/---		X	X	X	X						
Beznapěťový stav VN systému	<i>Beznapěťový stav VN nezjištěn / nezjištěn</i>	8C/Stav volnosti napětí/---		X	X	X	X						
Stav stykače VN baterie	<i>zavřená / otevřená</i>	8C/stykač na kladném pólu vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/--- 8C/stykač na záporném pólu vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---		X	X	X	X						
Stav jističe nabíjení	<i>zavřená / otevřená</i>	8C/stav nabíjecího jističe, kladný kontakt/--- 8C/stav nabíjecího jističe, záporný kontakt/---		X	X	X	X						
Výkon VN baterie [kW]	(proud VN baterie * napětí VN baterie) /1000	8C/proud vysokonapěťového / hybridního akumulátoru/---/[LO]_Pack_current, Case 0/--- 8C/napětí vysokonapěťového akumulátoru/---/[LO]_High_Voltage_Battery_Total_Voltage, Case 0/---	X	X	X	X	X	X					
Energie odebraná z / dodaná do VN baterie [kWh]	[Čítače vybíjení (po) - Čítače vybíjení (před)] - [Čítače nabíjení (po) - Čítače nabíjení (před)]	8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače nabíjení, kilowatthodiny 8C/Vysokonapěťový/hybridní akumulátor, data historie 1/Čítače vybíjení, kilowatthodiny	X	X	X	X	X	X					
Účinnost palubní nabíječky [%]	---	C6/nabíječka vysokonapěťových akumulátorů, účinnost/---/[LO]_Wert/[LO]_Wert		X		X							

Veličina	Výpočet / popis	Název v ODISu	Měření průměrné spotřeby	AC nabíjení	DC nabíjení	Účinnost AC dobíjení	Účinnost DC dobíjení	Vyhřívání kabiny	Vyhřívání sedadla	Vyhřívání volantu	Účinnost DC/DC měniče	Test tachometru	Vlastní spotřeba vozidla
Příkon meziobvodu střídače pro elektromotor zadní nápravy [kW]	(proud DC meziobvodu * napětí DC meziobvodu) /1000	51/Proud vloženého okruhu/[LO]_DC_link_current	X										
		51/Napětí vloženého obvodu/[LO]_DC_link_voltage											
Příkon na vstupu palubní nabíječky [kW]	(sít'ové napětí AC fáze 1 * proud AC 1 + sít'ové napětí AC fáze 2 * proud AC 2 + sít'ové napětí AC fáze 3 * proud AC 3) /1000	C6/Sít'ové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 1/[LO]_Wert/[LO]_AC_voltage_actual_value Wert C6/Sít'ové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 2/[LO]_Wert/[LO]_AC_voltage_actual_value Wert C6/Sít'ové napětí AC, skutečná hodnota na fázi/Fáze 3/[LO]_Wert/[LO]_AC_voltage_actual_value Wert C6/výkonový korekční faktor, proud AC 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert C6/výkonový korekční faktor, proud AC 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert C6/výkonový korekční faktor, proud AC 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert		X		X							
		vstupní výkon 1 + vstupní výkon 2 + vstupní výkon 3	C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 1 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Power Wert C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 2 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Power Wert C6/výkonový korekční faktor, vstupní výkon 3 (efektivní hodnota)/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Power Wert		X		X						
Výkon na výstupu palubní nabíječky [kW]	[(proud 1 + proud 2 + proud 3 na výstupu palubní nabíječky) * napětí na výstupu palubní nabíječky] /1000	C6/vysokonapět'ové hodnoty proudu DC/snímač 1/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert C6/vysokonapět'ové hodnoty proudu DC/snímač 2/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert C6/vysokonapět'ové hodnoty proudu DC/snímač 3/[LO]_Wert/[LO]_DSP Current Wert C6/Vysokonapět'ová nabíječka - aktuální výstupní napětí/---/[LO]_Wert/[LO]_DSP Voltage Wert		X		X							
		(příkon na vstupu palubní nabíječky [kW] * Účinnost palubní nabíječky [%]) /100	---		X		X						



Veličina	Výpočet / popis	Název v ODISu	Měření průměrné spotřeby	AC nabíjení	DC nabíjení	Účinnost AC dobíjení	Účinnost DC dobíjení	Vyhřívání kabiny	Vyhřívání sedadla	Vyhřívání volantu	Účinnost DC/DC měniče	Test tachometru	Vlastní spotřeba vozidla
Příkon PTC vytápění VN baterie [kW]	(napětí * proud) /1000	8C/napětí ve VN systému/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru za jističi/[LO]_Case_HighVoltaBatteContaVoltaCase0/Napětí vysokonapěťového / hybridního akumulátoru za jističi 8C/Proud topení PTC VN akumulátoru/---/[LO]_ptc_hv_i_ist, Case 0/---		X	X	X	X						
Teplota PTC vytápění VN baterie [°C]	---	8C/Teplota 1/---/[LO]_ptc_hv_heizmedium_sensor_1, Case 0/--- 8C/Teplota 2/---/[LO]_ptc_hv_heizmedium_sensor_2, Case 0/---		X	X	X	X						
Příkon DC/DC měniče [kW]	(napětí trakční sítě * (transformační proud 1 + transformační proud 2)) /1000	8105/Měnič DC/DC, napětí trakční sítě/--- 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 1/--- 8105/Měnič DC/DC, transformační proud 2/---		X	X	X	X	X			X		X
Výkon DC/DC měniče [kW]	[regulované výstupní napětí *(výstupní proud sv. 30 + výstupní proud 1 + výstupní proud 2)] /1000	8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 1 sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 2 sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud sv. 30/---		X	X	X	X	X			X		
Účinnost DC/DC měniče [%]	(100 * výkon na výstupu DC/DC měniče) / příkon na vstupu DC/DC měniče	---									X		
Příkon vyhřívání kabiny VN topením [kW]	(vysokonapěťové napájecí napětí * proud) /1000	08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Vysokonapěťové napájecí napětí 08/vysokonapěťové vzduchové topení, stav interní/Proud, skutečná hodnota		X	X	X	X	X					
Příkon vyhřívání kabiny klimatizací [kW]	(příkon kompresoru) /1000	08/monitor systému, kompresor klimatizace EKK4/Příkon kompresoru klimatizace, skutečná hodnota		X	X	X	X	X					

Veličina	Výpočet / popis	Název v ODISu	Měření průměrné spotřeby												
				AC nabíjení	DC nabíjení	Účinnost AC dobíjení	Účinnost DC dobíjení	Vyhřívání kabiny	Vyhřívání sedadla	Vyhřívání volantu	Účinnost DC/DC měniče	Test tachometru	Vlastní spotřeba vozidla		
Příkon výhřevu sedadla [W]	(regulované výstupní napětí*(buzení/100) * proud	8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/--- 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Vyhřívání sedáku, odběr proudu (efektivní hodnota) 08/Vyhřívání levého předního sedadla/Vyhřívání opěradla, buzení									X				
Příkon výhřevu volantu [W]	[(výstupní proud sv. 30 + výstupní proud 1 + výstupní proud 2) - (běžná spotřeba palubní sítě, cca 40A)] * regulované výstupní napětí	8105/Měnič DC/DC, regulované výstupní napětí sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 1 sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud 2 sv. 30/--- 8105/Měnič DC/DC, výstupní proud sv. 30/---									X				
Teploty [°C]	<i>vnitřní</i>	08/Snímač teploty v přístrojové desce/Snímač teploty 1, teplota		X	X	X	X	X							
	<i>vnější</i>	08/Vnější teplota/---													
	<i>akumulátoru</i>	8C/teplota akumulátoru/---/[LO]_battery temperature, Case 0/---		X	X	X	X								
	<i>chlazení VN baterie - přívod</i>	8C/chalici teplota VN/hybridního akumulátoru/Přívod		X	X	X	X								
	<i>chlazení VN baterie - odvod</i>	8C/chalici teplota VN/hybridního akumulátoru/Odvod		X	X	X	X								
	<i>snímač Xté skupiny článků (1 - 26)</i>	8C/Snímač teploty X/---/[LO]_Temp_sensor, Case 0/---		X	X	X	X								
	<i>požadovaná teplota výhřevu sedáku</i>	08/Vyhřívání levého předního sedadla/Požadovaná teplota sedáku									X				
	<i>skutečná teplot sedáku</i>	08/Vyhřívání levého předního sedadla/Skutečná teplota sedáku													
	<i>skutečná teplot volantu</i>	08/vyhřívání volantu/snímač teploty									X				
Součet napětí všech článků [V]	---	8C/součet napětí všech článků akumulátoru/---		X	X	X	X								
Napětí jednotlivých článků [V]	<i>článek X (1 - 108)</i>	8C/článek X/---/[LO]_Cell_voltage, Case 0/---		X	X	X	X								
	<i>maximální napětí článku</i>	8C/maximální napětí článků akumulátoru/Hodnota		X	X	X	X								
	<i>minimální napětí článku</i>	8C/minimální napětí článků akumulátoru/Hodnota		X	X	X	X								