

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Diplomová práce

**Řízení vnitřního prostředí kabiny elektrického osobního
vozidla s ohledem na ekonomiku jízdy**

Tomáš Biksadský

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Biksadský

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Řízení vnitřního prostředí kabiny elektrického osobního vozidla s ohledem na ekonomiku jízdy

Název anglicky

Management of the interior environment of an electric passenger car cab with respect to driving economy

Cíle práce

Cílem práce bude posoudit vliv řízení vnitřního prostředí v kabině osobního elektrického vozidla s ohledem na roční období a vnější podmínky. Sekundárním cílem práce bude posoudit vliv řízení vnitřního prostředí v kabině elektrického vozidla na ekonomiku provozu a dojezd vozidla v reálném provozu.

Metodika

Autor by měla popsat základní systémy řízení vnitřního prostředí kabiny osobních vozidel a jejich účinnost v závislosti na roční období a vnější podmínky. Autor by měla provést měření na elektrickém osobním vozidle v reálném provozu, pro ověření funkčnosti konkrétního systému, s ohledem na další parametry. Očekává se statistické vyhodnocení získaných údajů a následné vyvození validních závěrů.

Doporučený rozsah práce

50 stran, včetně příloh

Klíčová slova

ovládání, vnitřní systémy, elektrické vozidlo, dojezd, ekonomika

Doporučené zdroje informací

BHISE, Vivek D. Ergonomics in the automotive design process. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012. ISBN 14-398-4210-8

Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2012. ISBN 978-0-470-52838-9.
CHUNDELA, L. : ERGONOMIE. ČVUT, Praha 2001, ISBN-80-01-02301-X



Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Michal Hruška, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2024

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2024

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Řízení vnitřního prostředí kabiny elektrického osobního vozidla s ohledem na ekonomiku jízdy" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Michalu Hruškovi, Ph.D. za pomoc při výběru tématu, trpělivost, odborné vedení práce, a především za cenné poznatky. Dále bych rád poděkoval panu Petru Kořínkovi a ostatním specialistům z Centra analýz funkčních zkoušek vozů firmy Škoda Auto a.s., za poskytnutí naměřených dat, věnování času a energie této práci a za sdílení odborných znalostí. Nakonec bych rád vyjádřil svou vděčnost rodině, která mi během studia poskytovala neustálou podporu a povzbuzení.

Řízení vnitřního prostředí kabiny elektrického osobního vozidla s ohledem na ekonomiku jízdy

Abstrakt

Tato diplomová práce vyhodnocuje dopad venkovní teploty a vnějších podmínek na řízení vnitřního prostředí v kabině elektrického osobního vozidla. V úvodní části je pozornost věnována teoretickým poznatkům zabývajícím se elektromobilitou a konstrukcím řešení bateriových elektrických vozidel. Dále zahrnuje problematiku řízení vnitřního prostředí kabiny vozidla a vývoj klimatizačních systémů v současných elektromobilech. Praktická část popisuje metodiku měření, stanovuje podmínky měření a porovnává naměřená data. Výsledkem praktické části jsou dva typy měření. První typ měření ověřuje funkci testované klimatizace a druhý typ měření zaznamenává spotřebu klimatizačního systému moderního elektromobilu v různých podmínkách venkovního prostředí s ohledem na ekonomiku provozu. Výsledky měření poskytují přehled o zkoumané problematice a jsou z nich vyvozené validní závěry s doporučením.

Klíčová slova: ovládání, vnitřní systémy, elektrické vozidlo, dojezd, ekonomika

Management of the interior environment of an electric passenger car cab with respect to driving economy

Abstract

This thesis evaluates the impact of outdoor temperature and external conditions on the control of the indoor environment in the cabin of an electric passenger vehicle. In the introductory part, attention is paid to the theoretical knowledge dealing with electromobility and the design of battery electric vehicle solutions. It also covers the issues of controlling the internal environment of the vehicle cabin and the development of air conditioning systems in current electric vehicles. The practical part describes the measurement methodology, establishes the measurement conditions and compares the measured data. The practical part results in two types of measurements. The first type of measurements verifies the function of the tested air conditioning system and the second type of measurements records the consumption of the air conditioning system of a modern electric vehicle in different outdoor environmental conditions with respect to the economy of operation. The measurement results provide an overview of the investigated issue and valid conclusions with recommendations are drawn from them.

Keywords: control, interior systems, electric vehicle, range, economy

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Teoretická východiska	2
2.1 Elektromobilita.....	2
2.2 Rozdělení elektrických vozidel	4
2.2.1 BEV – Čistě elektrická vozidla.....	4
2.2.2 PHEV – Plug-in hybridní elektrická vozidla	5
2.2.3 HEV – Hybridní elektrická vozidla	5
2.2.4 EREV – Rozšířená rozsahová elektrické vozidla	5
2.3 Konstrukce elektromobilu BEV	5
2.3.1 Pohon	7
2.3.2 Elektromotor a převodovka	9
2.3.3 Baterie	12
2.4 Řízení vnitřního prostředí kabiny vozidla	16
2.4.1 Ergonomie.....	16
2.4.2 Prostor kabiny	17
2.4.3 Větrání	17
2.4.4 Vytápění	19
2.4.5 Klimatizace	19
2.4.6 Součásti klimatizace	21
2.4.7 Rozdělení klimatizačních systémů.....	25
2.5 Termomanagement elektromobilů	27
2.5.1 Klimatizační systém s topným článkem	28
2.5.2 Klimatizační systém s tepelným čerpadlem.....	28
2.5.3 Klimatizační systém s jiným zdrojem energie	29
3 Cíle práce a metodika	31
3.1 Cíl práce	31
3.2 Metodika	31
3.2.1 Představení testovaného vozidla.....	31
3.2.2 Popis měření	34
3.2.3 Podmínky měření.....	37
3.3 Praktická část práce.....	38
3.3.1 Měření ověřující funkčnost Climatronicu při -12 °C.....	38
3.3.2 Měření ověřující funkčnost Climatronicu při 21 °C.....	40
3.3.3 Měření č. 1 – při vnější teplotě -12 °C.....	42
3.3.4 Měření č. 2 – při vnější teplotě -8 °C.....	44

3.3.5	Měření č. 3 – při vnější teplotě 0 °C	45
3.3.6	Měření č. 4 – při vnější teplotě 21 °C	47
3.4	Zhodnocení výsledků	49
4	Diskuse	52
5	Závěr	54
6	Seznam použitých zdrojů	56
6.1	Seznam obrázků	60
6.2	Seznam grafů	61
6.3	Seznam tabulek	61
7	Přílohy	62

Seznam použitých zkratek

AC – Nízkonapěťové dobíjení střídavým proudem

BEV – *Battery Electric Vehicles* Bateriová elektrická vozidla

BMS – *Battery Management Systém* jednotka monitorující stav stavu akumulátoru v elektromobilech

BTMS – *Battery Thermal Management System* Systém teplotního řízení baterie

CO₂ – Oxid uhličitý

ČEZ – Česká Energetické Závody, distributor elektrické energie na českém trhu

ČSN – označení českých statistických norem

DC – Vysokonapěťové dobíjení stejnosměrným proudem

DPH – Daň z přidané hodnoty

E-REV – *Extended Range Electric Vehicles* Elektrická vozidla s prodlouženým dojezdem

E.ON – *Electricity and Gas Distribution*, distributor elektrické energie na českém trhu

HEV – *Hybrid Electric Vehicles* Hybridní elektrická vozidla

HPC – Super rychlé vysokonapěťové dobíjení stejnosměrným proudem

LCO – Oxid lithno-kobaltní

LMO – Oxid lithno-manganový

MEB – *Modularer E-Antriebs-Baukasten* Elektrická platforma koncernu Volkswagen

MQB – *Modularer Querbaukasten* Platforma pro konvenční pohon koncernu Volkswagen

NCA – Oxid lithno-kobalt-hlinitý

NiCD – Nikl-kadmiový akumulátor

NiMH – Nikl-metal hydridový akumulátor

NMC – Oxid lithno-nikl-manganový

PHEV – *Plugin-hybrid Electric Vehicles* Plugin hybridní elektrická vozidla

PRE – Pražská energetika, distributor elektrické energie na českém trhu

SOC – *State of charge* Stav nabití baterie

1 Úvod

V době, kdy otázky ekologické udržitelnosti a snaha o omezení používání fosilních paliv získávají na významu, se elektromobily rychle stávají populární volbou v osobní dopravě. Přejít k elektromobilitě přináší řadu výzev, včetně otázek týkajících se efektivity, provozních nákladů a výstavby infrastruktury pro nabíjení. Tyto výzvy vyžadují inovativní přístupy a řešení, aby bylo možné elektromobily efektivně integrovat do každodenního života a maximalizovat jejich přínos pro životní prostředí. Současně je důležité informovat veřejnost o výhodách a potenciálních omezeních elektromobilů, podporovat jejich širší přijetí a přispět tak k udržitelnější budoucnosti dopravy. Jedním z klíčových aspektů, který má zásadní dopad na dojezd a celkovou energetickou efektivitu elektromobilu, je používání klimatizačního systému v různých teplotách venkovního prostředí. Tato diplomová práce si klade za cíl podrobně prozkoumat a zhodnotit, v jaké míře energetická náročnost klimatizace ovlivňuje spotřebu elektromobilů v závislosti na teplotních podmínkách.

Práce je rozdělena do dvou částí. První část práce poskytuje komplexní přehled teoretických poznatků týkajících se konstrukce a problematiky elektromobilů. Zabývá se jak základními principy, tak specifickými vlastnostmi a technologiemi používanými v současných elektromobilech. Dále je rozšířena o téma klimatizačních systémů. Závěr teoretické části tedy zahrnuje popis konstrukce klimatizačních systémů používaných v moderních elektromobilech.

Druhá část práce představuje metodiku měření a praktické zkoumání. Jsou zde představené měřicí přístroje a detailně popsány postupy jednotlivých způsobů měření, stejně jako technické parametry testovaného vozidla a podmínky měření. Praktická část práce se věnuje dvěma typům měření. Měření ověřující funkčnost chytrého klimatizačního systému Climatronic, které je následně vyhodnoceno podle průběhu zaznamenaných teplotních křivek. A primárnímu měření, kterým bylo zkoumáno působení vnějšího okolního prostředí s vlivem na řízení vnitřního prostředí kabiny moderního elektromobilu. Tímto měřením byla sledovaná a následně vyhodnocená energetická náročnost používaného klimatizačního zařízení. Závěr praktické části poskytuje ekonomické vyhodnocení spotřebované energie v přepočtu na ujetý kilometr a zkoumá náklady spojené s nabíjením na domácích a veřejných nabíjecích stanicích.

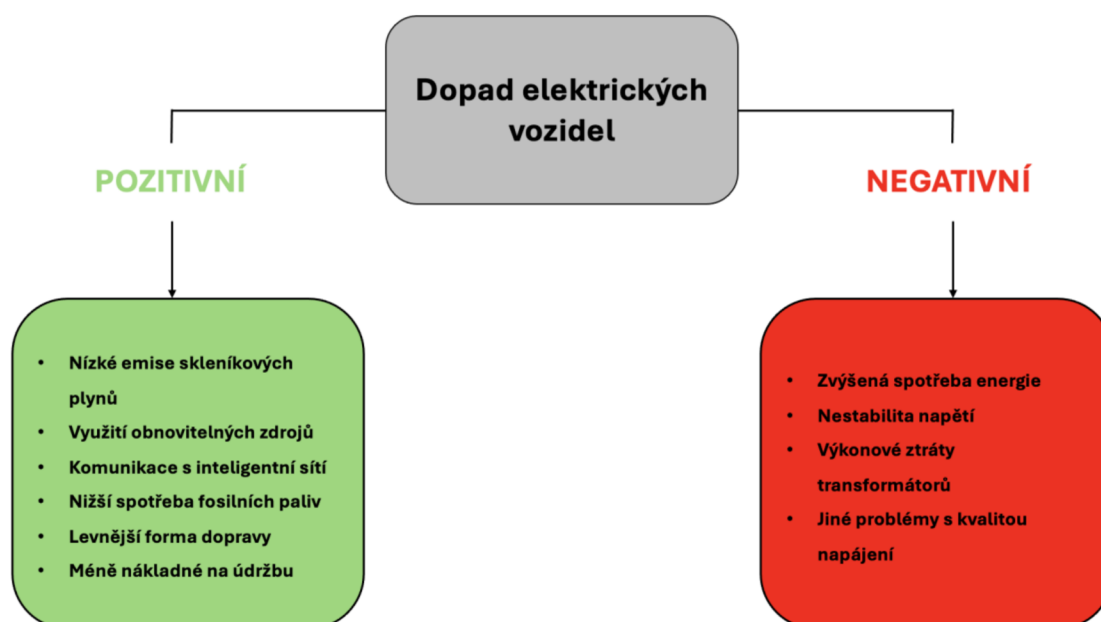
2 Teoretická východiska

Teoretická východiska zahrnují základní přehled a uvedení čtenáře do dané problematiky. Obsahují teoretické poznatky zabývající se probíranou tématikou konstrukce elektromobilů a klimatizačního zařízení v elektromobilech včetně jejich prvků. Tyto informace napomůžou k představení konstrukčního uspořádání testovaného elektromobilu.

2.1 Elektromobilita

Elektrické pohony nabízejí řešení, kterými se lze vyvarovat emisím znečišťujících látek a hluku vycházejícím z vozidel s konvenčními spalovacími motory. Už před několika desetiletími došlo k elektrifikaci vlaků, tramvají a metra a v raných fázích motorizace byly běžné i elektricky poháněné automobily. Příkladem může být rok 1914, kdy 2,4 % vozového parku v Nizozemsku tvořily vozy na bateriový pohon (1). Po počáteční vlně popularity elektrifikace došlo z důvodu ekonomického i technického hlediska k jejímu dočasnému upozadění. Automobily s elektrickým pohonem se potýkaly s omezeným dojezdem a jejich baterie byly nejen velké a těžké, ale i finančně nákladné. Výhodnější ropa poskytovala dostatečnou energetickou hustotu, a především byla cenově dostupnější (2; 3). V dnešní době, díky pokrokům v elektrotechnice a vývoji baterií, jsou elektromobily schopné dojet na jedno nabití 500 km. Tuto vzdálenost potvrzuje výzkumná studie na britském trhu. Například průměrný dojezd deseti nejlépe prodávaných elektromobilů dosáhl 491 km s minimálním dojezdem 350 km a maximálním 610 km (4). Absence výfukových emisí a hluku motoru u elektromobilů přináší výhody pro lokální kvalitu ovzduší a životní prostředí (5). V případě využití obnovitelných zdrojů energie, může být míra emisí v celém dodavatelském řetězci a při výrobě elektrické energie minimální či dokonce nulová. Pokud je elektrická energie pro pohon elektromobilů vyráběna z jinak získaných, než obnovitelných zdrojů energie (např. spalováním tuhých paliv), jejich celkový vliv na životní prostředí je podle studie přesto příznivější než u vozidel s tradičním spalovacím motorem (6; 7). Veřejné dobíjecí stanice v řadě zemí poskytují elektřinu získanou z obnovitelných zdrojů, jako jsou vodní, solární a větrná energie, díky čemuž mohou být elektromobily v těchto případech považovány za vozidla s nulovými emisemi. Elektromobily jsou rovněž vnímány jako potenciální zásobníky energie, které mohou podporovat stabilitu sítě při výkyvech v produkci energie z obnovitelných zdrojů. (8; 9)

Vliv elektromobility na elektrickou distribuční síť představuje problémy jako je nestabilní napětí, narůstající špičková zátěž (vyvolanou poptávkou) a další problémy týkající se kvality dodávané energie, které je nutné řešit (10). Při nabíjení elektrických vozidel s čistě bateriovým pohonem a plug-in hybridních elektromobilů, jsou vozidla vnímána, jako zátěž veřejné elektrické distribuční sítě. Nicméně, zátěž není jediným prvkem ovlivňujícím snížení kvality elektrické energie. Rozsáhlé nasazení nabíjecích stanic pro elektromobily, využívajících technologie výkonového dobíjení, generují harmonické rušení, které ovlivňuje napěťový profil, a nakonec má vliv na kvalitu dodávané elektrické energie. Provoz těchto nabíječek se projevuje poklesem účinnosti střídavého napětí elektrické sítě, což se stává předmětem zájmu energetických společností (11; 12). Na obrázku 1 jsou zobrazeny jak pozitivní, tak negativní vlivy elektromobilů na veřejnou elektrickou síť.

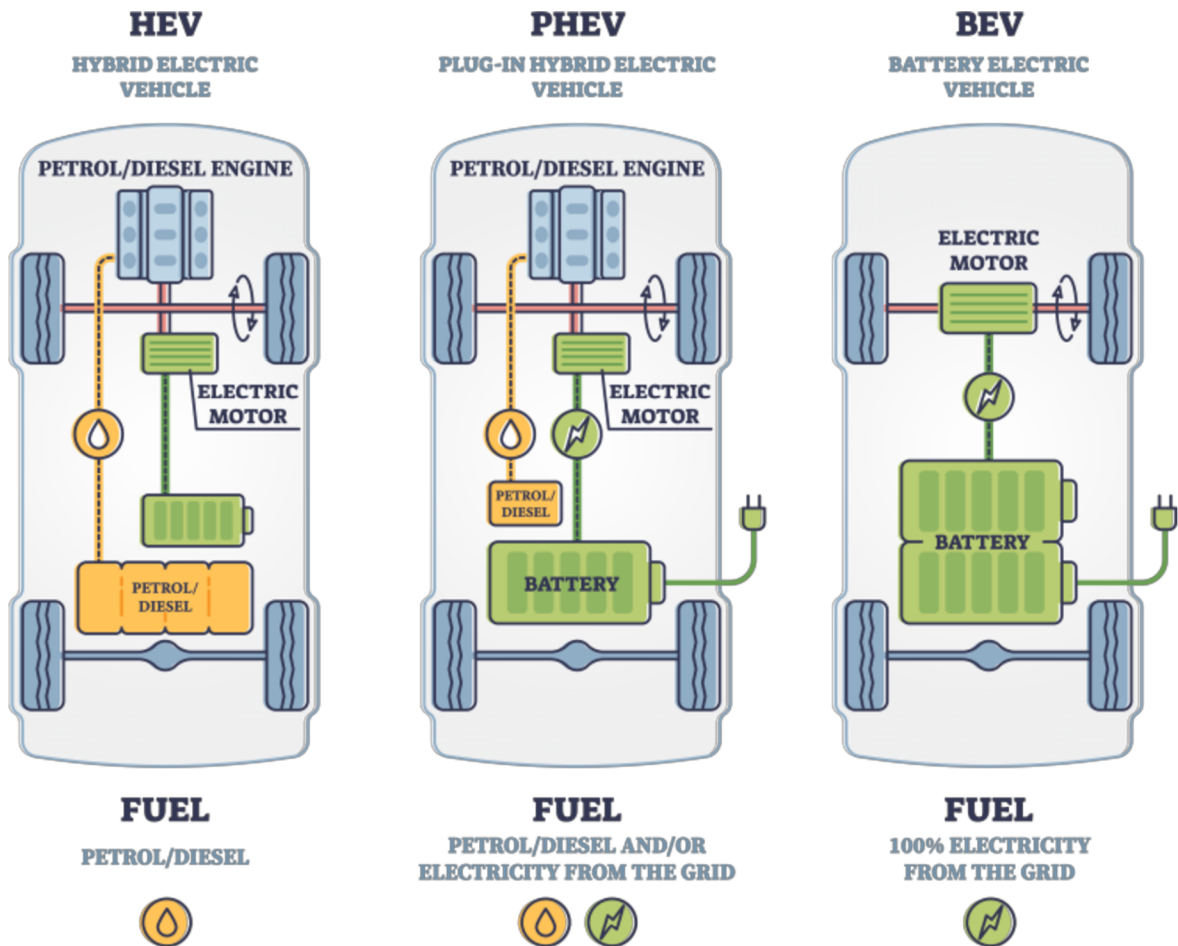


Obrázek 1 Dopad elektrických vozidel na veřejnou elektrickou rozvodnou síť (13)

I přes tyto negativní aspekty nabíjecích stanic elektrifikace, automatizace a koncept sdílené ekonomiky, představují klíčové faktory, které mohou výrazně přispět k udržitelnosti automobilového průmyslu díky využití obnovitelných zdrojů energie (14; 15). Transformace v automobilovém sektoru by měla vést k pozitivním výsledkům jak pro životní prostředí, tak pro ekonomiku (16). Přijetí změn společně s rozvojem technologií, hraje klíčovou roli v procesu této transformace. Rozhodnutí veřejnosti netolerování negativního dopadu dopravy na ekologii často vede k otevření cesty pro nové přístupy a řešení (17; 18; 19; 20).

2.2 Rozdělení elektrických vozidel

Kategorie pohonů elektromobilů se dělí na základě toho, jakým způsobem vozidla využívají elektrickou energii a kombinují ji s tradičními pohonnými systémy viz. rozdělení pohonů na obrázku 2. Toto rozdělení pomáhá lepšímu porozumění technologiím, které stojí za jednotlivými typy vozidel, a nabízí přehled o výhodách a nevýhodách každé kategorie.



Obrázek 2 Základní rozdělení pohonu elektromobilů, (21)

2.2.1 BEV – Čistě elektrická vozidla

BEV (Battery Electric Vehicles) jsou vozidla poháněná výhradně elektrickou energií uloženou v bateriích. Neobsahují tradiční spalovací motor a jsou známá svou tichostí, vysokou efektivitou a nulovými lokálními emisemi. BEV se nabíjejí připojením k externím zdrojům energie, jako jsou domácí nabíjecí stanice nebo veřejné nabíjecí stanice (22).

2.2.2 PHEV – Plug-in hybridní elektrická vozidla

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles) kombinují elektrický pohon s tradičním spalovacím motorem. Tyto vozidla mohou být nabíjeny z externího zdroje a využívat elektrickou energii pro krátké jízdy, zatímco pro delší cesty mohou spoléhat na spalovací motor. To jim umožňuje využívat výhody elektromotoru, aniž by řidiči museli mít obavy z omezeného dojezdu (23).

2.2.3 HEV – Hybridní elektrická vozidla

HEV (Hybrid Electric Vehicles) mají jak elektrický motor, tak spalovací motor, ale na rozdíl od PHEV se nejdou nabíjet z externího zdroje. Elektrická energie je generována regenerativním brzděním a při jízdě spalovacím motorem. HEV automaticky přepínají mezi elektrickým motorem a spalovacím motorem na základě podmínek jízdy, aby maximalizovaly účinnost a minimalizovaly spotřebu paliva (23).

2.2.4 EREV – Rozšířená rozsahová elektrická vozidla

EREV (Extended Range Electric Vehicles) jsou podobné PHEV, ale s tím rozdílem, že spalovací motor se používá výhradně k výrobě elektrické energie pro elektrický motor, nikoli k přímému pohonu kol. To znamená, že i když má vozidlo spalovací motor, veškerý pohon je zajištěn elektrickým motorem (24).

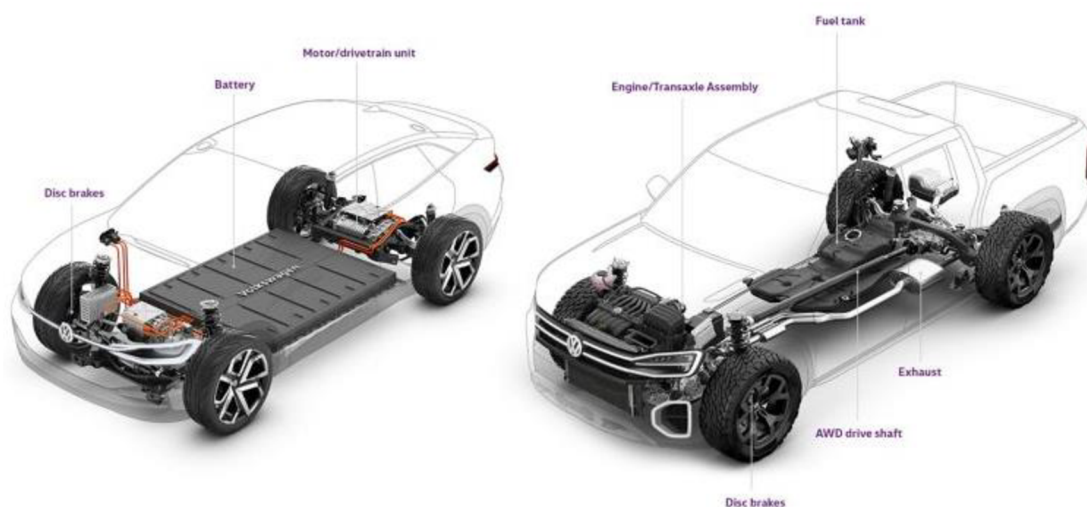
Každá z těchto kategorií přináší specifické výhody pro různé typy uživatelů a použití, od těch, kteří hledají vozidla s nulovými emisemi pro městskou jízdu, až po ty, kteří potřebují vozidlo na delší cesty bez nutnosti častého nabíjení. Pro účely měření v této diplomové práci, byla zvolena kategorie čistě elektrických vozidel (BEV) (25).

2.3 Konstrukce elektromobilu BEV

Konstrukce bateriového elektromobilu se odlišuje od vozidel s tradičním spalovacím motorem hlavně použitím elektrického pohonu. Hlavním prvkem elektromobilu je trakční baterie, která poskytuje energii elektromotoru. Elektromobily využívají regenerační brzdění (rekuperaci) pro získání části energie zpět při zpomalování. Řídicí jednotka koordinuje všechny tyto procesy, zajišťuje efektivní využití energie a optimalizuje výkon (26; 27).

Pro účely této diplomové práce, je potřeba se seznámit s konstrukčním řešením testovaného vozidla, aby došlo k porozumění uspořádání jednotlivých komponentů

elektromobilu (viz. obrázek 3). Testované vozidlo se vyrábí na platformě MEB. Koncept stojící za MEB (Modularer E-Antriebs-Baukasten) je identický s principem, který definuje MQB (Modularer Querbaukasten). Jedná se o modulární systém, který díky rozmanitým kombinacím komponent umožňuje jeho využití v různých koncernových modelech. Hlavní rozlišovací prvek oproti MQB (a její modernizované verzi MQB Evo) spočívá v adaptaci platformy na vozidla s elektrickým pohonem (28).

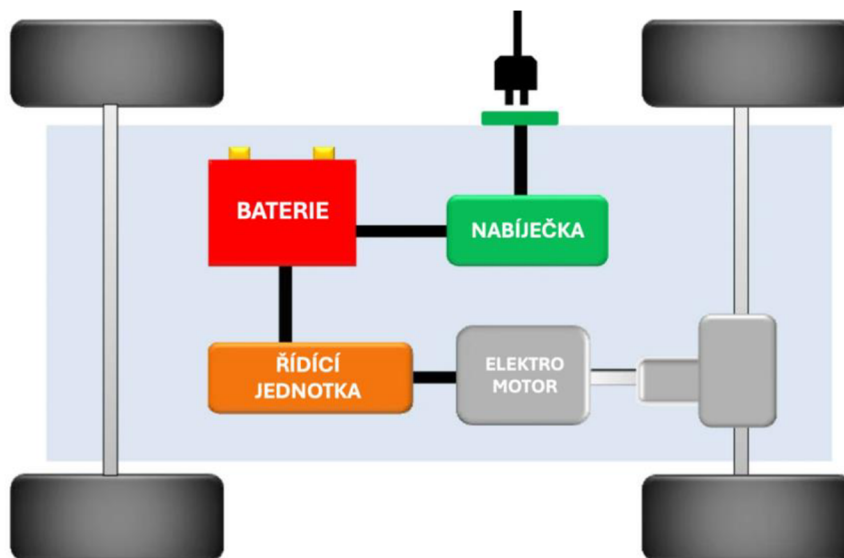


Obrázek 3 Rozdíl mezi platformou MEB (vlevo) a MQB (vpravo), (29)

V porovnání s vozidly se spalováním motorem je konstrukce bateriových elektromobilů jednodušší, nepotřebují startér, výfukový systém, systém mazání, často ani převodovku a někdy se obejdou i bez chlazení (30).

Hlavní komponenty elektromobilu (obr. 4) tvoří podle Larminieho a Lawryho (31):

1. **Elektrická baterie**
2. **Elektromotor**
3. **Výkonová elektronika**



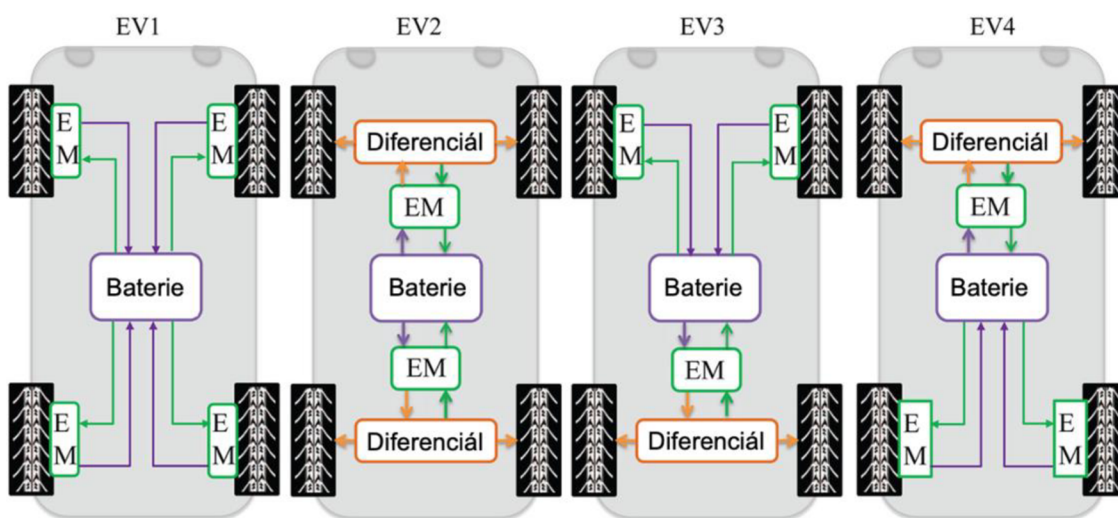
Obrázek 4 Základní rozdělení pohonu elektrických vozidel, (30)

2.3.1 Pohon

Elektrický pohon se charakterově výrazně liší od tradičního konvenčního pohonu, který obvykle zahrnuje velký a těžký motor. Výhoda elektrických pohonů je v jednoduchosti přenášení výkonu na kola. Místo několika stupňové převodovky se použije jednostupňová, při pohonu 4x4 je možné elektromotory umístit a rozdělit na každou nápravu zvlášť (absence kardanové tyče, mezinápravového diferenciálu apod.). V případě elektromobilů je způsob pohonu kol (zadní, přední nebo 4x4) podobný jako u vozidel s tradičním pohonem, což znamená, že si zachovávají obvyklé výhody a nevýhody v přenosu síly na silnici, jako je trakce nebo sklon k přetáčivosti či nedotáčivosti. Avšak elektromobily přináší nový prvek do realizace pohonu kol. Díky tomu, že elektromotory jsou značně lehčí a kompaktnější než spalovací motory s porovnatelným výkonem, je možné v elektromobilech použít více motorů, které jsou propojeny s pohonným systémem pouze elektrickými kabely. V automobilech tak mohou být umístěny dva, tři nebo dokonce čtyři trakční elektromotory (32).

Pan doktor Hromádka ve své naučné publikaci uvádí, že výhodný elektrický pohon vozidla má i svá úskalí (33): „*Elektrický pohon vozidel je jednou z možností alternativního pohonu. Prakticky neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku, ale na druhou stranu má menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu, případně větší nebezpečí při havárii*“

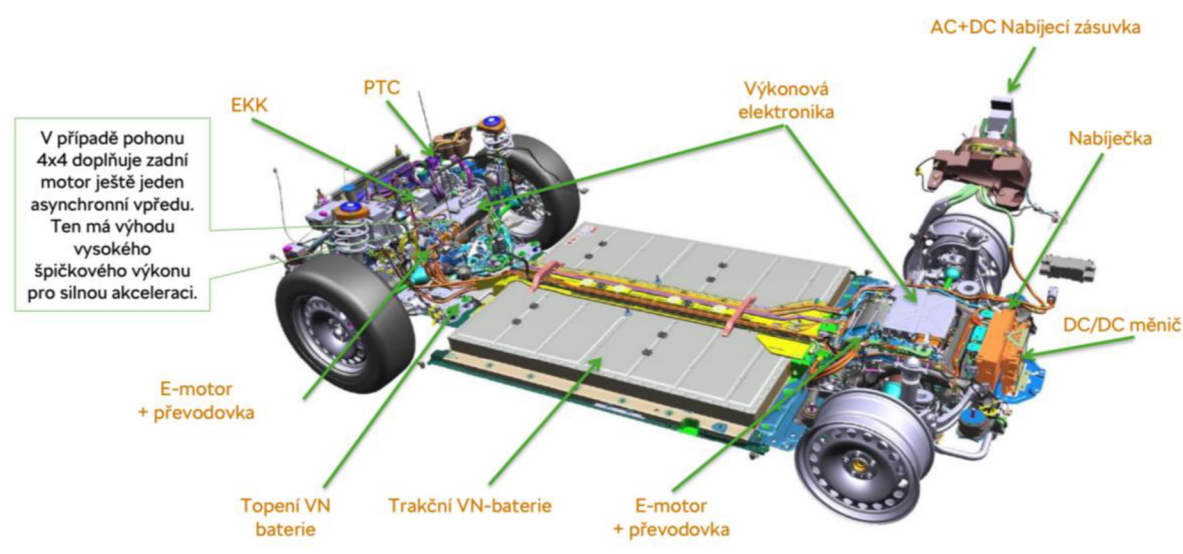
Uspořádání pohonu elektrických vozidel, je u výrobce automobilů řešeno individuálně podle koncepce elektromobilu a požadavků na pohon. Základní rozdělení pohonu se liší ve způsobu umístění elektromotorů. Na obrázku 5 si lze všimnout 4 typů základních uspořádání elektromotorů. Pohon EV1 je řešen s umístěním elektromotorů pro každé kolo zvlášť, výhodou tohoto pohonu je absence diferenciálu. V pohonu EV2 jsou elektromotory 2 z toho každý pohání svou nápravu a přenášení točivého momentu na kola je řešeno diferenciálem na každé nápravě. EV3 pohon v tomto případě je řešen umístěním jednoho elektromotoru na zadní nápravu využívá na té nápravě i diferenciál a další elektromotory jsou umístěné na přední nápravě pro každé kolo zvlášť. Pohon EV4 je řešen podobným způsobem, jako pohon EV3, akorát místo umístění elektromotoru s diferenciálem na zadní nápravu, je tato dvojice komponentů umístěna na přední nápravě a jednotlivé motory pohání každé kolo zvlášť na zadní nápravě (34).



Obrázek 5 Způsob umístění pohonu kol, (34)

K dispozici jsou různé modely konfigurací elektrických bateriových vozidel, přičemž každý typ uspořádání pohonu má za specifických okolností své přednosti a slabiny. Ve studii zabývající se optimalizací pohonu elektrických vozidel byl zkoumán vliv uspořádání pohonných systémů s ohledem na výsledné technické parametry elektromobilu. Byly navrženy čtyři konfigurace uspořádání pohonu pro optimalizaci točivých momentů elektromotorů a určení nejefektivnější konfigurace s nejnižším vybíjením baterie. Výsledek optimalizace ukázal, že nejlepším řešením byly konfigurace EV1 se čtyřmi elektromotory v kolech a konfigurace EV3/EV4, které kombinují dva elektromotory v kolech na jedné nápravě a elektromotor + diferenciál a na druhé nápravě. Tyto konfigurace vykazovaly lepší výkon a SOC baterie než konfigurace EV2, která na obou nápravách používá elektromotor + diferenciál (34).

Pohon v testovaném vozidle je řešen způsobem varianty EV2 (viz. obrázek 6). Na přední nápravě se nachází jeden slabší asynchronní motor a na zadní nápravě výkonnější elektromotor s permanentním magnetem. Oba motory mají svou převodovku, každý si nezávisle na sobě reguluje přenos výkonu na kola sám podle potřeby.



Obrázek 6 Platforma MEB Enyaq 4x4 (baterie 82 kWh), (35)

2.3.2 Elektromotor a převodovka

Elektromotor na rozdíl od spalovacího motoru se v jednom aspektu výrazně odlišuje a nabízí značnou výhodu. Již od nízkých otáček je k dispozici jeho maximální točivý moment, který pak s rostoucími otáčkami jen lehce ubývá. Naproti tomu spalovací motor

dosahuje svého maximálního točivého momentu v poměrně omezeném rozsahu otáček v porovnání s elektromotorem. Pro kompenzaci tohoto rozdílu se využívá převodovka, jež umožňuje přizpůsobit točivý moment aktuální rychlosti a otáčkám motoru změnou převodového poměru, což vozidlu umožňuje například efektivně zrychlit nebo udržet efektivní otáčky pro lepší výkon (36).

V konstrukci elektromotorů lze uplatnit mnoho osvědčených principů, které najdou své uplatnění zejména v trakčních pohonech. U trakčních elektromotorů je klíčovým faktorem hodnota točivého momentu, zatímco na výkon jsou kladené menší nároky. Je zásadní, aby byla konstrukce motoru spolehlivá a zajišťovala dostatečný výkon při širokém spektru otáček. Motor by měl být navržen tak, aby byl kompaktní a efektivní s nízkou hmotností, aby umožňoval krátkodobé přetížení, byl tichý, vyžadoval minimální údržbu a byl z hlediska nákladů na konstrukci cenově přijatelný (33).

Rozdělení stejnosměrných a střídavých motorů používaných v elektromobilech (33):

- Stejnosměrné motory s cizím buzením

Motor synchronní stejnosměrný s cizím buzením se vyznačuje dobrou tahovou charakteristikou, umožňuje snadnou regulaci otáček v širokém rozsahu a plynulý přechod mezi jízdou a brzděním. Dále je možné tyto e-motory napájet přímo z trakční baterie. Konstrukce tohoto typu je výhodná a dlouhodobě je využívána v elektrických vozidlech. Motory jsou technicky vyzrálé a cenově výhodné, i když mají větší nároky na údržbu komutátoru a kartáčů (33).

- Stejnosměrné motory bez kartáčů

Bezkartáčový synchronní stejnosměrný motor má v porovnání s motorem s cizím buzením výměnné pozice statoru a rotoru. Motor tedy nepoužívá žádné rotující elektrické součástky. Regulace otáček je v celém rozsahu dokonalá a jednoduchá. Vzhledem k desetinásobnému zvětšení výkonu oproti motoru s cizím buzením, je potřeba statorové vinutí chladit chladicí kapalinou. Motor bez kartáčů má 4x menší hmotnost oproti motoru s cizím buzením (33).

- Asynchronní motory

V současné době dochází v oblasti elektromobilů k postupnému nahrazování stejnosměrných motorů střídavými motory. Jednou z hlavních předností třífázového asynchronního střídavého motoru je absence vinutí rotoru komutátoru. Ve srovnání se stejnosměrnými motory je asynchronní motor při srovnatelném výkonu výrazně kompaktnější a lehčí, robustnější, bezúdržbový, silně přetížitelný a má jednodušší konstrukci. Jedinou nevýhodou této konstrukce je přivedený elektrický proud z baterie přeměnit na střídavý (33).

- Řízené reluktanční motory

Reluktanční motory pracují na principu reluktančních křemkových motorů, lze je jednoduše a levně vyrobit. Reluktanční motor se rozbíhá asynchronně a poté běží synchronně. Mají vysoký točivý moment v nízkých otáčkách, malé náklady na údržbu a výhodnou cenu. Mají bohužel nevýhody v podobě nerovnoměrného vytváření točivého momentu a jsou hlučné (33).

V současné době se do sériově vyráběných elektrických vozidel nemontují vícestupňové převodovky. Výjimkou jsou pouze dva modely elektrických vozidel, do kterých se montuje převodovka se dvěma převodovými stupni, pouze za účelem zlepšení jejich akcelerace a dosažení vyšších maximálních rychlostí než za účelem efektivity, a těmi jsou BMW i8 a Porsche Taycan. V budoucích letech je možné, že se vícestupňové převodovky objeví, i v cenově dostupnějších sériově vyráběných elektromobilech. Rozhodnutí implementace více stupňových převodovek záleží pouze na tom, zda se ukáže, že jejich vliv na snížení dojezdu a zvýšení výkonu dokáže ospravedlnit vyšší cenu, váhu a celkově náročnost jejich konstrukce. Pokud se vývoj elektrických motorů a napěťových měničů, bude rychle posouvat dopředu, nebude potřeba implementovat více stupňové převodovky do elektricky sériově vyráběných vozidel. Nicméně u těžkých vozidel (autobusů nebo nákladní automobilů), které kvůli své velké hmotnosti potřebují vysoký točivý moment pro zrychlení, je vysoký potenciál aplikování vícestupňových převodovek, které by se mohly stát nezbytností pro efektivní využití menších elektromotorů s nižším točivým momentem (37).

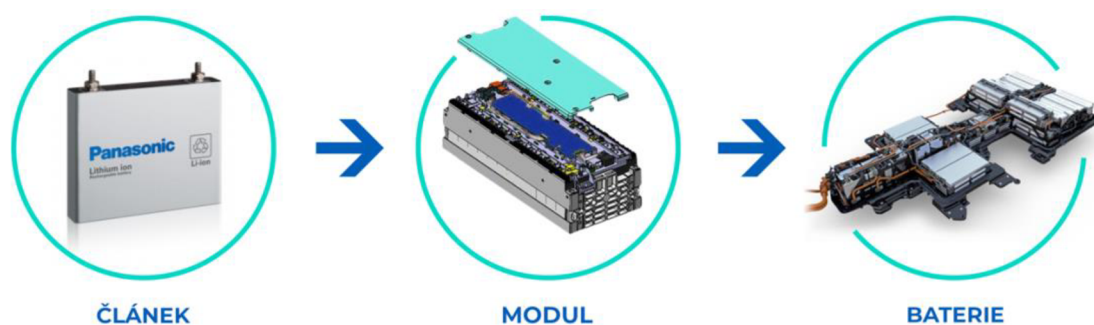
U použitého testovaného elektromobilu přenos točivého momentu z elektromotoru na kola se neuskutečňuje přímou cestou, ale je přenášen prostřednictvím jednoduché

jednostupňové převodovky. U vozidel jako je Enyaq s maximální rychlostí 160 km/h je běžný převodový poměr zhruba 1:10, přičemž snížení točivého momentu na kola je realizováno skrze dvě menší ozubené kola. Zajímavostí je, že pro použití zpátečky není potřeba zařadit rychlost v převodové skříně (jako u vozidel s konvenčním pohonem) – elektromotor to umožňuje jednoduchou změnu směru otáčení. Vzhledem k tomu, že elektromotor poskytuje konstantní točivý moment (až do 310 Nm), není nutná klasická převodovka s více stupni pro řazení, aby se optimalizoval přenos síly – stačí právě tento jednoduchý systém. Výsledkem je, že převodovka je velice kompaktní a spolu s elektromotorem tvoří jeden integrovaný modul (22).

2.3.3 Baterie

Elektrická baterie v elektromobilech pracuje jako úložiště elektrické energie, které je navrženo k poskytování energie pro pohon elektromotoru vozidla. Dle Jiřího Vršínského (38): „*To, čemu většina z nás říká baterie (např. tužkové baterie), jsou ve skutečnosti články. Baterii označujeme teprve soustavu elektricky propojených článků.*“

Baterie se tedy skládá z cylindrických nebo prizmatických článků. Tyto články znázorněné na obrázku 7 jsou uloženy v bateriových modulech a bateriové moduly tvoří bateriový box elektromobilu. Výsledné parametry bateriového boxu jsou ovlivněny počtem použitých modulů.



Obrázek 7 Konstrukce baterie, (39)

Základní parametry baterie tvoří (39):

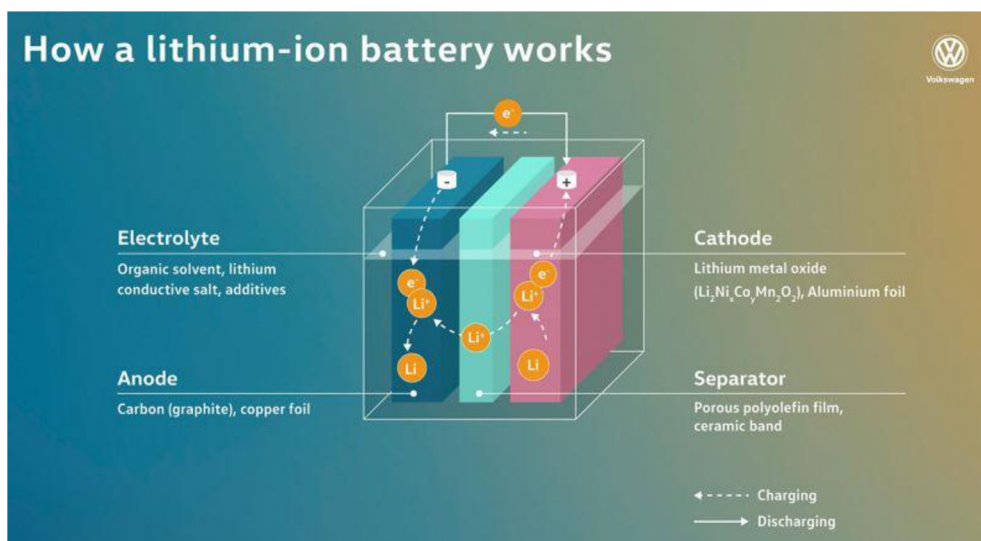
- Napětí [V] – minimální a maximální napětí baterie musí mít stanovené hranice, jinak při jejichž překročení dochází k poškození baterie
- Kapacita [kWh] – parametr který stanovuje množství energie, jenž lze do baterie uložit
- Vnitřní odpor [Ω] – ovlivňuje, jak velké výkony lze z baterie získat

Kapacita akumulátoru je klíčovým faktorem ovlivňujícím dojezd elektromobilu. Udává se v kilowatthodinách (kWh) nebo ampérhodinách (Ah) a určuje možnou dojezdovou vzdálenost – čím vyšší bude kapacita baterie tím delší bude dojezd elektromobilu. Výkon baterie závisí na jejím vnitřním odporu, nižší odpor značí vyšší výkon. Vnitřní odpor také omezuje maximální rychlost nabíjení a vybíjení baterie. Pokud je v baterii silný vnitřní odpor, produkuje větší ztráty a při provozu se více zahřívá (39).

Teplota okolního prostředí má také významný dopad na dojezd elektromobilu. Je možné vypořadovat, že v zimních měsících se obvykle dojezd zkracuje. S poklesem teploty dochází ke zpomalení chemických reakcí v palivových článcích baterie. Tento jev způsobuje zvýšení vnitřního odporu baterie, což má za následek vyšší energetické ztráty. Při velmi nízkých teplotách, okolo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, dochází k natolik výraznému nárůstu vnitřního odporu, že baterie může mít problém i s nabíjecí či vybíjecí funkcí. Proto se výrobci uchylují k různým opatřením, jako je aktivní ohřev baterie nebo její chlazení, aby se zabránilo dosažení nebezpečných teplot a minimalizovalo se riziko poškození. Teplota má klíčový význam i pro celkovou životnost baterie, její překročení může vést k trvalému poškození baterie (39).

Testované vozidlo bylo osazeno bateriovým boxem (modulovou vanou) koncernové platformy MEB. Tato platforma využívá bateriové moduly skládající se z Lithium-iontových bateriových článků. Bateriové články využívají chemické reakce (znázorněné v obrázku 8) objevené Alessandrem Voltou v roce 1799, k vytváření elektrického proudu. Obsahují dvě elektrody: kladnou (katodu) a zápornou (anodu), mezi nimiž se nachází chemická látka elektrolyt.

Elektrony se pohybují od anody ke katodě, zatímco ionty putují opačným směrem, což vytváří elektrický proud. U dobíjecích baterií je tento proces opačný (40).



Obrázek 8 Popis chemické reakce Lithium-iontové baterie, (40)

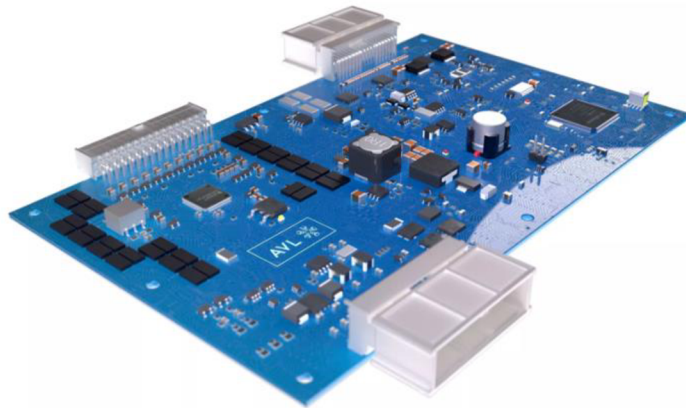
Lithiové baterie představují v současné době nejběžnější typ používaných baterií. Oproti starším typům baterií, jako jsou například NiCD a NiMH, přinesly lithium-iontové baterie řadu vylepšení – snížení hmotnosti na polovinu, redukci samo vybíjecího efektu, zvýšení počtu možných nabíjecích a vybíjecích cyklů a výrazné omezení paměťového efektu. Avšak v porovnání s předcházejícími Ni bateriemi mají li-iontové baterie nižší proudové hodnoty. Katody těchto baterií jsou vyrobeny z kovových oxidů, anody z uhlíku a jako elektrolyt slouží lithiová sůl rozpuštěná v organickém rozpouštědle. Současné elektrické vozy jsou vybaveny čipy pro řízení nabíjení a vybíjení, čímž se zvyšuje jejich efektivita a bezpečnost. Li-iontové baterie se dále dělí dle typu použitých materiálů, jako je LCO (oxid lithno-kobaltní), LMO (oxid lithno-manganový, například v Nissan Leaf), NMC (oxid lithno-nikl-mangan-kobaltní) nebo NCA (oxid lithno-kobalt-hlinitý, který používá Tesla) (32).

Baterie v elektromobilech je propojena s dalším důležitým komponentem řídicí jednotkou managementu bateriového systému (BMS). Management bateriového systému v elektromobilech má na starosti zajištění bezpečného a efektivního fungování bateriového úložiště. Řídicí jednotka BMS (viz. obr. 9 na následující straně) monitoruje údaje o napětí, proudu a teplotě akumulátoru, což umožňuje optimalizaci jeho výkonu a prodloužení životnosti. Dále chrání baterii před nadměrným nabíjením, vybíjením nebo přehřátím

a komunikuje s dalšími součástmi systému pro optimalizaci celkového výkonu. Tato ochrana bateriových modulů je velice důležitá, jinak by bez ní mohlo dojít k systémové nestabilitě a v krajním případě k poškození jednotlivých článků (41).

Základní funkce BMS jednotky v elektrických vozidlech (42):

- Řízení parametrů baterie – Cílem je monitorování a regulace klíčových parametrů baterie, včetně napětí, proudu, teploty a stavu nabití.
- Vyrovnávání nabíjení článků – Cílem vyvažování baterií je zajistit, aby všechny články v bateriovém packu měly stejnou kapacitu a napětí během nabíjení a vybíjení.
- Správa informací o baterii – Cílem je stanovení současného stavu kapacity baterie.
- Tepelná správa baterie – Cílem je sledování a nepovolení přehřátí či podchlazení baterie (BMS komunikuje s jednotkou řídicí chladicí okruh baterie)



Obrázek 9 BMS řídicí jednotka od firmy AVL, (43)

2.4 Řízení vnitřního prostředí kabiny vozidla

Tato část teorie se věnuje popisu řízení vnitřního prostředí kabiny moderního elektromobilu. Teoretická východiska jsou primárně převzata z mé bakalářské práce. Použitá převzatá témata slouží k porozumění požadavků na vytápění/ochlazování kabiny a důvodům řízení toku vzduchu v kabině vozidla. Témata v této práci jsou použita a rozšířena, za účelem představení konstrukce klimatizačního zařízení moderního elektromobilu. V diplomové práci se s pojmy „klimatizační zařízení/systém“ nebo „klimatizace“ uvažuje, jako o celku zajišťujícím řízení vytápění či ochlazování kabiny vozidla.

2.4.1 Ergonomie

Pracuje s lidskými vlastnostmi a omezeními. Navrhuje neoptimálnější způsoby úchopů při manipulaci, ovládání strojů nebo užívání jakéhokoliv předmětu, tak aby lidský subjekt nebyl omezován. Neergonomické prvky mají zásadní vliv na pohodlí, výkon nebo bezpečnost uživatelů, cílem ergonomie je tyto prvky eliminovat (44).

Ergonomii lze obecně porozumět, jako vědní disciplíně zabývající se přizpůsobením techniky ovládané člověkem v pracovním prostředí. Přesnější definici popisuje ve své publikaci prof. Ing. Lubor Chundela (45):

„Ergonomie je interdisciplinární systémový vědní obor, který komplexně řeší činnost člověka i jeho vazby s technikou a prostředím, s cílem optimalizovat jeho psychofyzickou zátěž a zajistit rozvoj jeho osobnosti“.

Automobilový průmysl ergonomii zaznamenal v době 70. letech 20. stol. Při zasažení světa energetickou krizí. Tato krize měla vliv na zvýšení důrazu vůči aerodynamice automobilů, kvůli snižování spotřeby paliva a na ergonomii za účelem zvýšení komfortu a bezpečí automobilů (44).

V aktuální době je řízení náročnou činností, provoz se zrychluje a přibývají nové ovládací systémy. Řidič je relativně v malém prostoru kabiny vozidla obklopen různými ovládacími prvky, každý tento prvek by měl být navržen, tak aby umožnil řidiči, nejjednodušší způsob ovládání s nejmenší možnou dávkou pozornosti při řízení vozidla (46).

2.4.2 Prostředí kabiny

V dnešní době hektického provozu se kladou na řidiče velké nároky z hlediska fyziologického. K udržení dostatečné pozornosti řidiče motorového vozidla má velký vliv neustále se zvyšující intenzita silničního provozu. Pro vytvoření ideálního prostředí v kabině vozidla tzv. mikroklimatu je potřeba zajistit přijatelné odvětrávání kabiny. Dle odborné encyklopedie (47), lze mikroklima obecně definovat jako „*Teplný a vlhkostní stav prostředí daný teplotou vzduchu, účinnou teplotou okolních ploch, rychlostí proudění vzduchu a relativní vlhkostí vzduchu. Spolu s metabolickým teplem a tepelným odporem oděvu rozhoduje o tepelném pocitu člověka (stavu tepelné pohody) v daném prostředí*“

Bez ohledu na budoucí směřování automobilového průmyslu zůstává interiér vozidla tvořen kombinací konstrukčních a dekorativních prvků, které oddělují kontrolované vnitřní klima od vnějšího okolního prostředí. Z tohoto úhlu pohledu je cílem prostředí kabiny vozidla zajistit komplexní pohodlí pro cestující, a to nejen udržováním optimálních klimatických podmínek pro pohodlnou jízdu, ale také poskytnutím příjemného prostředí. Hlavním cílem designu interiéru vozidla z hlediska tepelného managementu je dosažení minimální energetické náročnosti při zachování vysoké úrovně tepelného komfortu pro cestující (48).

Podle studie Lim, J. R a dalších. Zajištění tepelného komfortu pro cestující je velice důležité pro jejich dobrý psychický a fyzický stav během každé jízdy, kterou absolvují bez ohledu na venkovní počasí (49).

Prostředí mikroklimatu vozidla se určuje prostřednictvím (50):

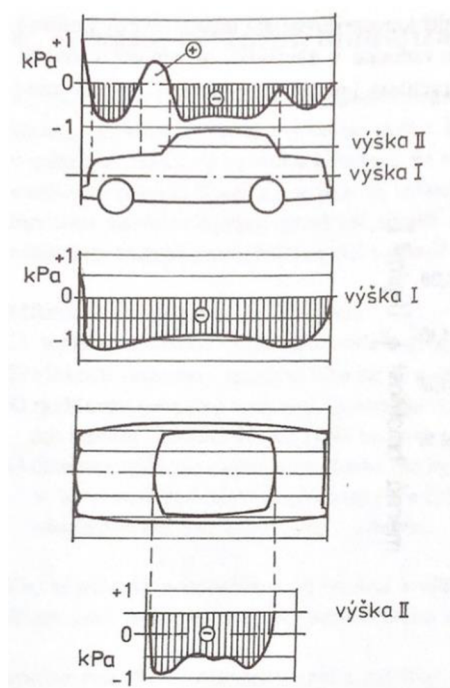
- a) Teploty vzduchu – optimální teplota je 18–22 °C
- b) Vlhkosti vzduchu – relativní vlhkost se pohybuje v mezích 40–60 %
- c) Rychlostním prouděním vzduchu – optimální rychlost je 0,1 – 0,4 m/s
- d) Čistotou vzduchu – výměna vzduchu má být 0,6 – 0,35 m³/min na osobu

2.4.3 Větrání

Větrací soustava musí zajistit dokonalou výměnu vzduchu v interiéru vozidla. Prostor pro cestující se po určité době zaplní CO₂, vlhkostí z úst posádky nebo různými zápachy

např. kouřem z cigaret, proto je nezbytné pro bezpečnost posádky i okolí, odstranit tyto nežádoucí vlivy pro mikroklima. Pokud jsou mikroklimatické podmínky v autě špatné, cestující mohou pocítit nepohodu, která se u řidiče může projevit sníženou výkonností, nedostatkem soustředění a únavou při dlouhých jízdách. Kvalitní mikroklima je proto klíčové pro bezpečné řízení. K zajištění optimální výměny vzduchu je potřeba 45 m³/h dávky čerstvého vzduchu na osobu u stojícího či jedoucího vozidla. Soustava výměny vzduchu nesmí překročit hranici bezprůvanového větrání dosahující vyšší hodnoty maximální rychlosti proudění vzduchu, než je 0,5 m/s, pokud není možné rychlost a směr regulovat. Dále je nutno zajistit přetlakový (přibližně 30 Pa) větrací systém, přetlak zamezí vnikání prachu, pachů a studeného vzduchu v zimním období.

Větrací soustava čerpá čerstvý vzduch z vnějšího prostředí, který je třeba vyčistit přes kabinový filtr od prachu, pachu a škodlivých látek (51).



Obrázek 10 Rozložení tlaku vzduchu působícího na karoserii osobního vozidla, (51)

Otvory pro přívod vzduchu se nachází v prostoru největšího přetlaku (u osobních vozidel před čelním sklem) viz. obrázek 10. Otvory pro odvod vzduchu se zpravidla nachází v místech podtlaku, které najdeme v zadní části automobilu. Správné rozmístění přívodů a odvodů vzduchu by mělo splňovat požadavky na rovnoměrné a laminární proudění

vzduchu, tak aby zamezilo víření prachu z podlahy v kabině. Dopad špatného vyústění výdechů popisuje František Vlk ve své publikaci (50): „*Výdechové otvory musí být umístěny tak, aby vzduch nevnikal do rukávů a k límci, protože pak jsou ovívány citlivé části jako loket, ramenní kloub a krční páteř. Hlava a krk se přizpůsobují okolí velmi málo, a proto je tyto části těla, podobně jako ruce, zápěstí a nohy, omývat vzduchem o malé rychlosti a chránit. Naproti tomu by měl být vzduch přiveden intenzivně na hrudník, který je méně citlivý na vliv rychlosti vzduchu*“.

2.4.4 Vytápění

Vytápění zajišťuje ve vnitřním prostoru vozidla optimum tepelné pohody, s ohledem na vyprodukované teplo posádky vozidla. Vyprodukované teplo posádky zásadně ovlivňuje tělesná váha a fyzická aktivita každého cestujícího. V případě nesprávně fungujícího vytápěcího systému může dojít k situaci nepříznivých vlivů představujících podchlazení či přehřátí organismu člověka, jenž zásadně může ovlivnit bezpečnost dopravy (51).

Požadavky na vytápění (51):

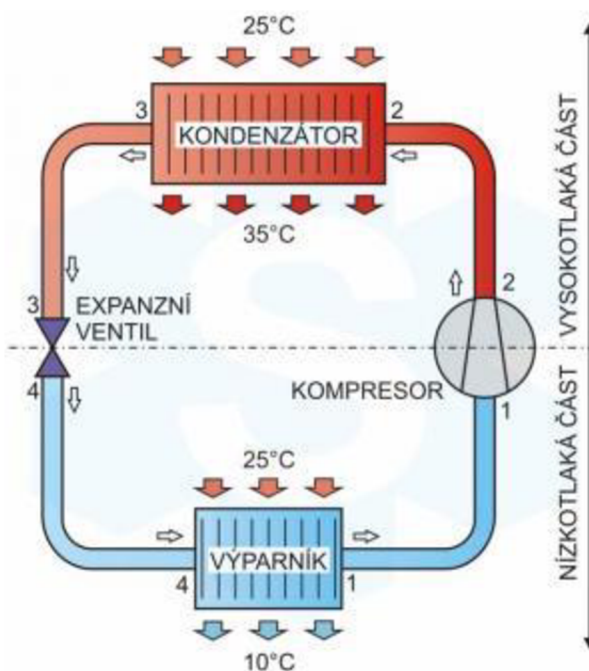
- U všech automobilů musí v kabině zajistit teplotu + 18 °C při vnější teplotě – 5 °C
- Přiváděný vzduch v místech výdechů nesmí přesáhnout teplotu 40 °C
- Teplý vzduch musí být přiváděn zejména na spodní část těla, hlavně na nohy, nikoliv do dýchací zóny, kde může způsobovat vysokou teplotu v oblasti hlavy
- Topné systémy musí splňovat požadavky příslušné normy ČSN 30 0535
- Rovnoměrné rozdělení tepla po celém prostoru kabiny
- Jednoduchost v ovládání vytápěcího systému

2.4.5 Klimatizace

Zařízení, jenž umožňuje v případě velkého tepelného vnějšího vlivu, ochladit prostředí kabiny na požadovanou teplotu. Klimatizační zařízení, lze využít ke snížení vlhkosti v kabině, napomáhá k odmlžování oken, udržení tepelné pohody řidiče a tím pádem se stává dalším prvkem aktivní bezpečnosti vozidla (46).

Udržování optimálních podmínek v kabině vozidla nejenže snižuje stres řidiče, ale rovněž zlepšuje viditelnost tím, že předchází zamlžení čelního skla, což celkově přispívá i k bezpečné jízdě. Klimatizaci lze v elektromobilech považovat, jako další prvek aktivní bezpečnosti (52).

Jednoduše lze funkci klimatizačního zařízení přirovnat k principu chlazení ledničky, která se nachází v každé domácnosti. Klimatizace přesouvá teplo (viz. znázorněný proces v obrázku 11) z jednoho prostředí do druhého prostřednictvím vlastností chladicího média. Chladicí médium přeměňuje své skupenství závislé na tlaku a teplotě mezi kapalným a plynným stavem média. Při stlačení média vysokým tlakem dochází k jeho zkapalnění, které se musí ochladit v kondenzátoru klimatizace. Tím je předáno teplo okolí a chladicí médium přechází zpět do kapalného stavu. V kapalném stavu se dostane do výparníku a mění se do plynného stavu, přičemž výrazně klesá teplota. Tento pokles teploty je využíván k ochlazení vzduchu ve vnitřním prostředí kabiny vozidla (53).



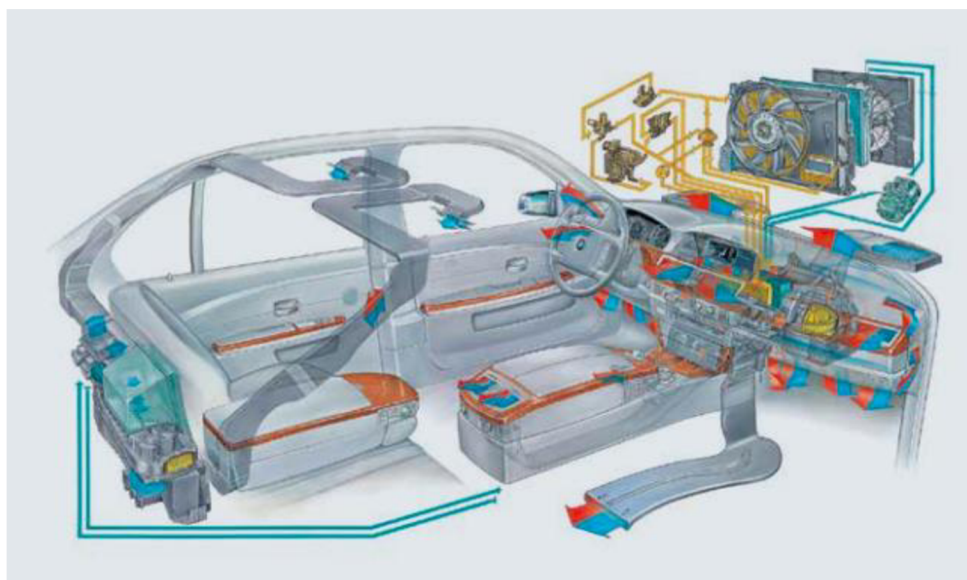
Obrázek 11 Schéma oběhu chladicího média, (53)

Na klimatizační zařízení jsou kladeny vysoké nároky. Od tohoto převratného zařízení je vyžadováno, aby vzduch ve vnitřním prostředí kabiny vozidla byl ohřátý nebo ochlazený za nejkratší možnou časovou dobu, dále aby byl přiváděný vzduch z okolního prostředí zbaven nečistot i vlhkosti a aby byla klimatizace šetrná k životnímu prostředí (54).

V aktuální době obsah základní výbavy vozidel nižší třídy často tvoří pouze manuální klimatizace, ovšem je možné do konfigurace vozidla za příplatek zakomponovat automatickou klimatizaci. U vozů vyšší třídy je automatická klimatizace naprosto běžnou součástí všech výbavových stupňů vozidel, za příplatek je možné zvolit způsob regulace vzduchu jednozónově nebo vícezónově (46).

2.4.6 Součásti klimatizace

Celou koncepci klimatizačního kruhu (obrázek 12) propojují vysokotlaké hadice a hliníková potrubí, která jsou součástí uzavřeného přetlakového systému. O cirkulaci protékajícího chladiva s rozprašeným olejem uvnitř systému se stará kompresor (46).



Obrázek 12 Schéma koncepce klimatizačního okruhu konvenčního vozidla, (50)

2.4.6.1 Expanzní ventil

Kapalné skupenství chladicího média procházející kondenzátorem přes vysoušeč proudí expanzním (škrťícím) ventilem, který jej vstříkne do výparníku. Odpařováním chladiva dochází k poklesu teploty a uvolnění chladu. Expanzní ventil (obr. 13) slouží i jako regulátor průtoku chladiva v závislosti na teplotě. Při zvyšující se teplotě chladiva se na konci výparníku chladivo v expanzním ventilu rozpíná a zvyšuje se průtok vstříkovaného množství k výparníku.

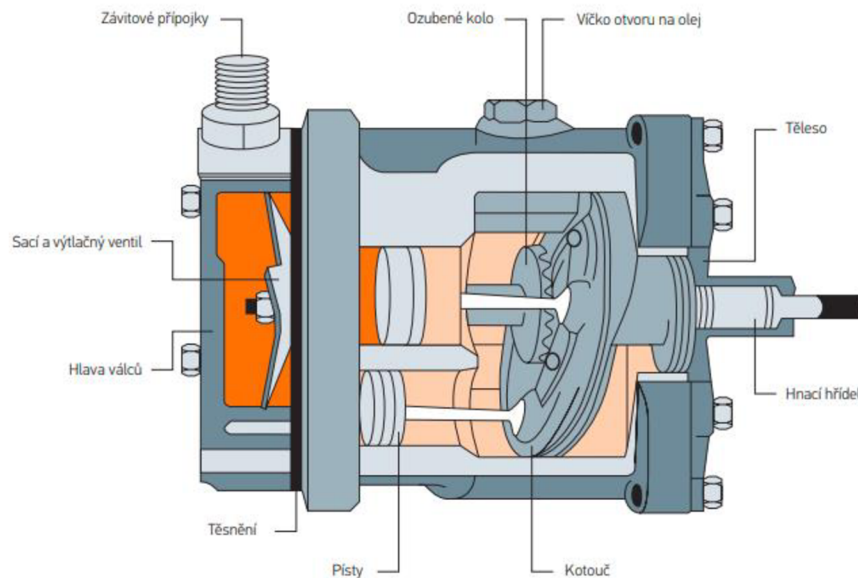
Naopak při poklesu teploty chladivo zmenší svůj objem v expanzním ventilu a expanzní ventil sníží průtok chladiva (55).



Obrázek 13 Expanzní ventil Škoda Octavia, (56)

2.4.6.2 Kompresor

Principem funkce kompresoru je stlačování a cirkulování přehřátého média v plynném stavu systému. Chladivo dále prochází pod vysokým tlakem a vysokou teplotou do kondenzátoru. Existují různá provedení kompresoru lišící se velikostí, hmotností, rychlostí, směrem otáčení a designem. Kompresor je poháněn klínovým žebrovaným řemenem od rozvodového ústrojí pohonné jednotky nebo elektrickým pohonem. Nejpoužívanějšími automobilovými klima kompresory jsou pístové kompresory s kyvnou deskou (obr. 14) (55).



Obrázek 14 Schéma pístového kompresoru, (55)

2.4.6.3 Kondenzátor

Úkolem kondenzátoru (obr.15) je ochlazení zahřátého chladiva stlačeného kompresorem. Horké plynné skupenství chladiva proudí do kondenzátoru a přes potrubí i lamely přenáší teplo do okolí. Ochlazováním se plynné médium chladiva přeskupí do kapalného skupenství a proudí z dolní přípojky kondenzátoru v kapalném stavu. Kondenzátor je potřeba udržovat v čistotě, aby nebyla snížena průchodnost vzduchu lamelami, která má vliv na výkonost klimatizační soustavy (57).



Obrázek 15 Kondenzátor Audi A1, (58)

2.4.6.4 Vysoušeč

Odstraňuje cizí tělesa a vlhkost z chladiva klimatizačního systému. Vysoušečem (obr.16) protéká chladivo kapalného skupenství. Horní část vysoušeče tvoří kompenzační prostor a spodní část vyrovnává nerovnoměrný tlak v systému – princip zásobníku (55).



Obrázek 16 Vysoušeč vzduchu, (59)

2.4.6.5 Výparník

Výparník (obr. 17) z chladiva (přivedeného expanzním ventilem) v procesu vypařování odebírá teplo a vzniklý chlad. Ventilátor vychlazený vzduch vhání přes velkou plochu výparníku do vnitřního prostředí kabiny vozidla. Zkondenzovaná voda z výparníku je odváděna dospod vozidla. Z kondenzátoru je chladicí médium dále vstřikováno expanzním ventilem prochází do kompresoru (53).



Obrázek 17 Výparník BMW E92, (59)

2.4.6.6 Systém regulace teploty

Systém upravuje a reguluje průtok vzduchu na základě informací ze snímačů teploty vzduchu v kabině, teploty odpařování a teploty kondenzace. Řídící jednotka porovnává skutečnou teplotu s požadovanou. Získané informace slouží k regulaci výkonu topení, množství proudícího vzduchu a teploty vzduchu (54).

2.4.6.7 Kabinový filtr

Kabinový filtr zachycuje z okolního prostředí, pyly, kouř vznikající spalováním paliva, bakterie, asfaltový prach. Většinu těchto nečistot kabinový filtr zachytí, dále filtr napomáhá vzniku nečistot zevnitř čelního, tudíž vzniká méně mastných usazenin snižující výhled řidiči (46).

- **Standardní kabinové filtry**

Zachycují uvolněné částičky ze spalin, z prachu nebo z jiných nečistot. Vzduch prochází skrze celulósový papírový filtr (obr. 8), který může být pro zlepšení účinnosti odpuzení vody obohacen o impregnaci epoxidovou pryskyřicí nebo o mikrovláknové rouno (60).

- **Filtry s aktivním uhlím**

Jedná se o nejdokonalejší filtry (obr. 18) obohacené o vrstvu uhlíku mezi filtračními vrstvami, které dokážou zlikvidovat nebezpečné výfukové a ozonové plyny (60).



Obrázek 18 Filtr s aktivním uhlím, (61)

2.4.7 Rozdělení klimatizačních systémů

U automobilů se rozlišují tři základní druhy klimatizačních zařízení podle způsobu regulace (54):

- Manuální
- Poloautomatické
- Automatické

2.4.7.1 Manuální klimatizace

Jedná se o nejstarší způsob řízení klimatizace. Manuální klimatizace dokáže pouze zchladit vzduch. Teplotu a proudění vzduchu si upravuje sám řidič, který si volí poměr teplého se studeným vzduchem. Dnes se prakticky používá pouze v nízkých výbavových stupních malých vozidel. Klimatizace při zapnutí neustále běží na plný výkon, bez ohledu na teplotu a zvyšuje se tím spotřeba (54).

2.4.7.2 Poloautomatické klimatizace

U poloautomatické klimatizace si řidič nastaví požadovanou teplotu a systém klimatizace si sám upravuje poměr teplého a studeného vzduchu. Teplotu v kabině automobilu nehlídá a stále si ji musí řidič upravovat sám (54).

2.4.7.3 Automatické klimatizace

Automatická klimatizace řídí systém výměny vzduchu na základě snímaných údajů z teplotního čidla snímajícího teplotu prostředí kabiny vozidla a z teplotního čidla snímajícího okolní teplotu, tudíž se klimatizaci spouští a vypíná podle potřeby. Tato funkce se zásadně promítá na úspoře průměrné spotřeby paliva. Systém automatické regulace se zapíná tlačítkem Auto. Řidič si zvolí teplotu, která je systémem po celou dobu konstantě udržována. Řídící jednotka proudění vzduchu rovnoměrně rozděluje po celé kabině automobilu (54).

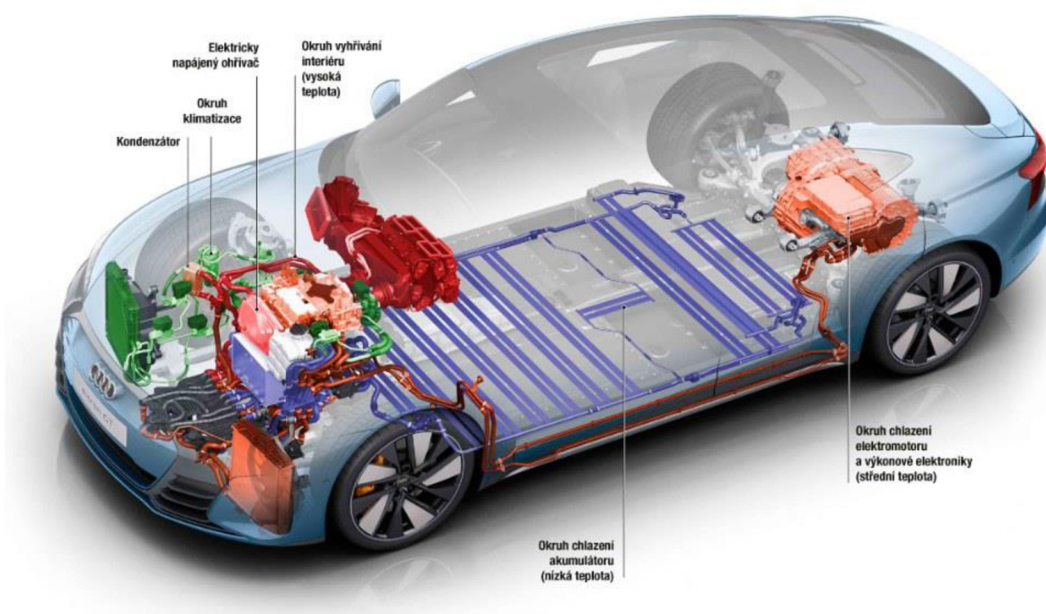
Jednozónová klimatizace – Jednozónová klimatizace umožňuje nastavení stejné teploty pro celý interiér vozidla, na rozdíl od vícezónových systémů, které nabízí individuální nastavení pro různé části auta. Je to jednodušší a levnější řešení, často používané ve střední třídě vozidel.

Dvouzónová klimatizace – Dvouzónová klimatizace umožňuje nezávislé nastavení teploty pro řidiče a spolujezdce, poskytující tak individualizovaný komfort pro přední část vozidla. Tento systém nabízí flexibilitu v regulaci teploty, umožňující různé preference pro obě strany. Je běžnou výbavou v novějších a vyšších modelech aut.

Vícezónové klimatizace – Kabina je v případě více zónových klimatizací rozdělena na více částí. Například u třízónové klimatizace regulace průtoku a teploty vzduchu je umožněna cestujícím na předních sedačkách každému zvlášť a cestujícím v zadní části automobilu také zvlášť. Tento způsob proudění vzduchu je použit v testovacím vozidlem. Vyvíjený systém Climatronic v elektrických vozidlech platformy MEB, funguje na principu směru toku vzduchu v zónách kabiny podle obsazených míst pasažéry. Každé sedadlo v elektromobilu má zaintegrováný zátěžový snímač a pokud bude ve vozidle např. sedět sám řidič bez posádky, směr toku vzduchu bude upraven čistě na jeho zónu.

2.5 Termomanagement elektromobilů

Termomanagement elektromobilu zajišťuje optimální provozní teploty důležitých komponentů vozidla znázorněných v obrázku 19, jako jsou baterie, elektromotory a elektronické řídicí jednotky. Jeho hlavním úkolem je udržovat tyto komponenty v ideálním teplotním rozmezí, aby se maximalizovala jejich efektivita, výkon, bezpečnost a životnost.



Obrázek 19 Termomanagement Audi E-Tron, (62)

Základní funkce termomanagementu je:

1. Chlazení baterie – správné chlazení je zásadní zejména při vysokém výkonu nebo v horkém klimatu
2. Ohřev baterie – v chladném počasí zajišťuje zahřátí baterií, což umožňuje lepší výkon, rychlejší nabíjení a dojezd vozidla
3. Řízení teploty elektromotoru a řídicích jednotek – elektromotory a elektronika generují teplo, které je třeba efektivně odvádět, aby se předešlo přehřátí a zajistila stabilní funkčnost
4. Komfort cestujících – termomanagement také zahrnuje systémy vytápění, ventilace a klimatizace, které udržují pohodlnou teplotu a kvalitu vzduchu v interiéru vozidla

Energetická náročnost systémů pro vytápění, ventilaci a klimatizaci představuje značnou část energie spotřebované z motoru nebo z baterie vozidla. Mezi vozidly s konvenčním pohonem a elektrickými vozidly existuje zásadní rozdíl ve fungování klimatizačního systému. Ve vozidlech se spalovacím motorem je možné efektivně využít zbytkové teplo produkované motorem pro ohřev interiéru v zimním období, což eliminuje potřebu vytvářet teplo a odebírat energii přímo z baterie – tím i snižovat dojezd elektromobilu. V praxi to znamená, že za jízdy během běžného provozu je pro vozidlo se spalovacím motorem udržení tepelného komfortu v kabině většinou potřeba pouze energie pro ventilátor, který rozvádí ohřátý vzduch (48; 63).

Základní rozdělení klimatizačních systémů v používaných v elektromobilech (64):

- Klimatizační systém s topným článkem
- Klimatizační systém s tepelným čerpadlem
- Klimatizační systém s jiným zdrojem energie

2.5.1 Klimatizační systém s topným článkem

Jedná se o nejlevnější typ používaného konstrukčního řešení v klimatizačních zařízeních aktuálních elektromobilů. Klimatizační systém s topným článkem se skládá z elektrického klima kompresoru, prvků používaných v klimatizačním okruhu a elektrického topného článku s výkonem do 5kW. I když se jedná o poměrně jednoduché a levné řešení použití elektrických topných článků může vést ke zvýšení spotřeby energie z baterie, což může ovlivnit celkový dojezd elektromobilu.

Ohřev vzduchu v kabině vozidla pouze prostřednictvím odporového drátu podle studie Torregrosa snižuje dojezd elektromobilu až o 24 % při plně nabitě baterii (65).

2.5.2 Klimatizační systém s tepelným čerpadlem

Ohřev kabiny elektromobilu pomocí klimatizačního systému s tepelným čerpadlem představuje efektivní metodu zajištění tepelného komfort v interiéru vozidla při minimálním dopadu na dojezd. Tepelné čerpadlo je schopné přeměnit nízko potenciální teplo z okolního prostředí na vysoko potenciální teplo pro vytápění kabiny, což znamená, že může pracovat s výrazně vyšší energetickou efektivitou ve srovnání s tradičními elektrickými ohříváči.

Tepelné čerpadlo tímto způsobem umožňuje udržet dostatečnou teplotu v kabině bez zbytečného odběru energie z trakční baterie. Toto konstrukční řešení je v aktuálních elektromobilech nejvíce používáno.

Jak již bylo zmíněno tepelné čerpadlo v elektromobilech využívá energii z okolního vzduchu pro vytápění, přičemž jeho efektivita závisí pouze na venkovní teplotě. Čerpadlo je schopné efektivně vytápět kabinu i při nízkých teplotách, díky nízkému bodu varu použitého chladiva, nicméně jeho účinnost se rapidně zmenšuje a klesá, pokud bude používáné v teplotách hluboko pod bodem mrazu. Oproti tradičnímu elektrickému vytápění, které z 1 kW energie vytvoří 0,95 kW tepla, tepelné čerpadlo může z 1 kW energie získat 1,5 až 3 kW tepla, což zdánlivě představuje účinnost 150 až 300 %. Pro zajištění dostatečného vytápění i v teplotách hluboko pod bodem mrazu, bývá tato koncepce doplněna o další komponenty generující teplo nejčastěji o přídatný elektrický topný článek (může být i jiný zdroj energie), s cílem zlepšení účinnosti tepelného čerpadla v extrémně chladných podmínkách (62).

Klimatizační systém s tepelným čerpadlem se skládá z klima kompresoru a prvků používaných v klimatizačním okruhu a elektrického topného článku. V elektromobilech jsou okruhy chlazení elektromotoru, akumulátoru a vyhřívání interiéru propojené, což umožňuje efektivní využití tepla. Elektromotor může předávat teplo do okruhu akumulátoru i do systému pro vyhřívání interiéru, čímž se zajišťuje jeho chlazení a efektivní využití odpadního tepla. Pro ohřívání interiéru je nutný samostatný okruh, který může zahrnovat výměník pro ohřev vzduchu proudícího do kabiny. Tento vzduch může být ohříván odpadním teplem z pohonu, elektrickými ohříváči, nebo tepelným čerpadlem (62).

2.5.3 Klimatizační systém s jiným zdrojem energie

Systém je konstrukčně podobný, jako v předchozích konstrukčních řešení. Změna tu nastává pouze v použití jiného zdroje energie vytápění. Palivové topení se často používá v automobilech se spalovací motorem jako doplňkový zdroj tepla s vysokou tepelnou účinností. Tento systém na fosilní palivo, může svým minimálním množstvím spáleného paliva přeměněného na teplo přispět k fungování klimatizačního systému (64). Toto řešení není pro běžné využití v bateriových elektrických vozidlech, šťastným řešením, nejen kvůli

propagaci užívání elektromobilů s nízkou uhlíkovou stopou, ale i kvůli jeho neefektivnímu využití v letních podmínkách oproti tepelnému čerpadlu.

3 Cíle práce a metodika

3.1 Cíl práce

Cílem této práce je posouzení vlivu venkovní teploty a vnějších podmínek okolí na řízení vnitřního prostředí kabiny osobního elektrického vozidla s ohledem na ekonomiku provozu. Pro posouzení je využito praktické měření v reálném provozu vozidla. Z praktického měření se získá a vyhodnotí velký objem zaznamenaných dat. Nasbíraná data poslouží k zodpovězení výzkumné otázky: „Jak zásadně ovlivní venkovní teplota spotřebu energie u elektrického vozu?“.

3.2 Metodika

Pro zjištění potřebných výsledků bylo potřebné použít metodu praktického měření. Metodika měření se skládá z několika podtémat věnujících se představení technologie zkoušeného vozidla, způsobu měření, podmínek měření, představení naměřených výsledků, zhodnocení výsledků a jejich porovnání.

3.2.1 Představení testovaného vozidla

K výzkumným účelům bylo použito nejmodernější sériově vyráběné vozidlo z portfolia výrobce automobilů Škoda Auto a.s. Výrobce na trhu v segmentu elektrických automobilů aktuálně nabízí několik karosářských provedení vozidla Škoda Enyaq na sdílené MEB platformě koncernu Volkswagen (znázornění platformy na obrázku 20).



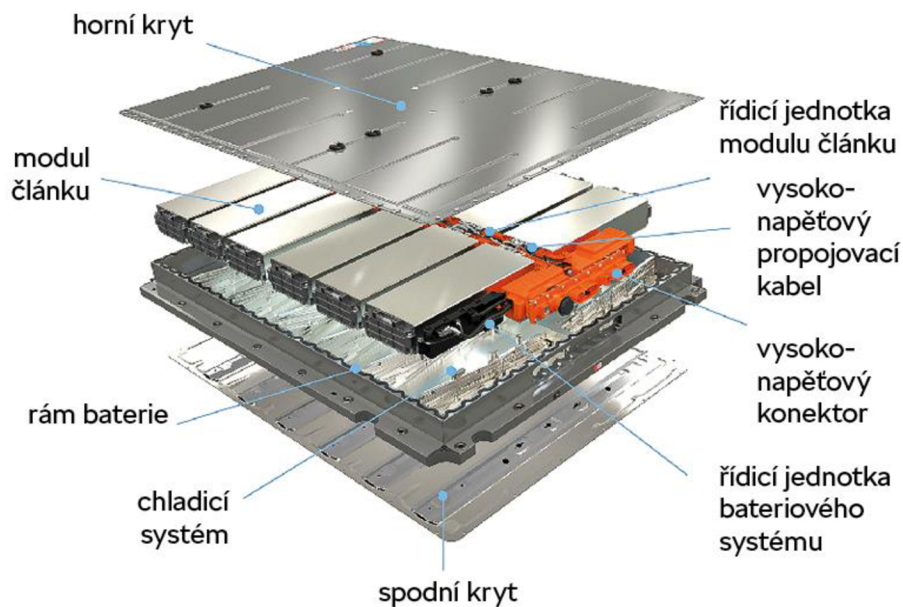
Obrázek 20 MEB platforma elektrických automobilů, (22)

Pro účely měření bylo zvoleno elektrické bateriové vozidlo Škoda Enyaq RS Coupé v karosářské variantě SUV kupé, které se řadí do kategorie elektrických bateriových vozidel (BEV). Enyaq RS Coupé se vyrábí ve variantě s pohonem všech kol. Elektromotory jsou umístěny nachází nezávisle na sobě na každé nápravě zvlášť. Výsledkem použití dvou elektromotorů je kromě pohonu všech kol a zlepšení přenášení točivého momentu na kola zajímavý souhrnný výkon 220 kW a točivý moment 460 Nm. Pohotovostní hmotnost testovaného vozidla dosahuje 2 255 kg a vozidlo s touto hmotností dokáže zrychlit z 0 na 100 km/h za 6,5 s. Technické parametry testovaného vozidla jsou v milimetrech [mm] zobrazeny v obrázku 21. Šířka Enyaqu dosahuje 2 148 mm, délka 4 653 mm a výška 1 607 mm.



Obrázek 21 Technické rozměry Škody Enyaq RS Coupé, (66)

V této specifikaci je použita baterie s nejvyšší kapacitou 82 kWh, která při nabití na 100 % kapacity baterie umožňuje vozidlu dojezd 545 km. Na obrázku 22 jsou znázorněné jednotlivé komponenty, které tvoří celek baterie.



Obrázek 22 Baterie Škody Enyaq Iv pro MEB platformu, (22)

Bateriové moduly jsou osazeny v hliníkové vaně. O komunikaci mezi jednotlivými bateriovými moduly se stará řídící jednotka modulů a řídící jednotka bateriového managementu (BMS). BMS řídící jednotka neustále vyhodnocuje a shromažďuje informace o stavu nabíjení či vybíjení modulů. Podle oficiálních parametrů baterie o kapacitě 82 kWh s dvanácti moduly v testovaném vozidle dosahuje hmotnosti 493 kg.

Požizovací cena testovaného elektromobilu (viz. obrázek vozidla 23) v této výbavě podle aktuálních v konfigurátoru Škoda Auto a.s. vychází na 1 791 000 Kč.



Obrázek 23 Škoda Enyaq RS Coupé, (67)

Řízení vzduchu v interiéru vozidla obstarává tři zónová klimatizační jednotka Climatronic. U testovaného vozidla byl pro účely měření využíván automatický režim řízení vzduchu v kabině s nastavenou střední intenzitou proudění vzduchu. Regulace vzduchu v interiéru probíhala na základě vyhodnocování výsledků z různých čidel např. od zátěžového čidla sedaček po čidla sledující vlhkost vnitřního prostředí.

3.2.2 Popis měření

Na testovaném vozidle byla provedena měření zaznamenávající změnu vnitřního prostředí v kabině moderního elektrického automobilu a vliv úpravy vnitřního prostředí na celkový dojezd automobilu. Podmínky měření byly definované tak, aby simulovaly jízdu prvních 30 minut v běžném provozu a poté 15minutové stání se zapnutým zapalováním, které simulovalo silnou dopravní komplikaci, tudíž výsledkem je celkový měřicí čas 45 minut. Zkušební jízdy se uskutečnily v reálném provozu a ve statické válcové zkušebně. Pro oba způsoby zkušebních jízd bylo použito stejné testovací vozidlo, se stejnou velikostí kol a stejným způsobem usazením dvou lidí na přední sedačky.

Měření se uskutečnila, která se uskutečnila v reálném provozu nebo byla realizována v testovací válcové zkušebně. Měření započalo usednutím posádky do vozidla, zapnutím přístrojů pro zaznamenávání hodnot a uvedením vozidla do provozního režimu s následným

ověřením korektního aktivování funkcí řízení vnitřního prostředí kabiny elektromobilu a případně komfortních spotřebičů, podle stanovených parametrů měření (vysvětleno detailněji v další kapitole). Zapnutím měřících přístrojů se aktivoval proces zaznamenávání hodnot. O sledování signálů z řídicích jednotek automobilu se staralo zařízení Datalogger GL 5370 (viz. obrázek 24). Toto zařízení dokáže sledovat a zaznamenávat signály z řídicích jednotek v reálném čase. Prostřednictvím Dataloggeru byly zaznamenávány signály monitorující spotřebu klimatizace, spotřebu komfortních spotřebičů, stav napětí baterie a průběh změny vnější i vnitřní teploty.

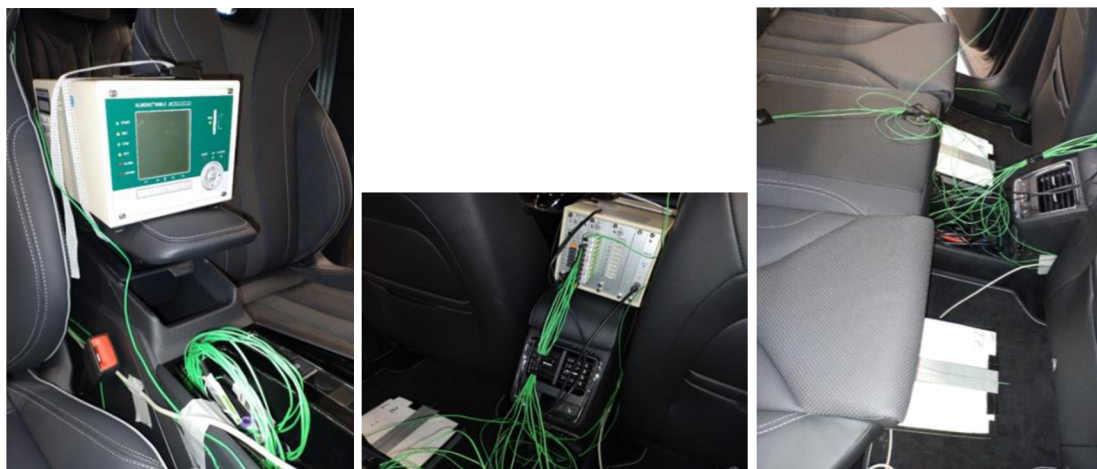


Obrázek 24 Datalogger GL 5370 připojení k sběrnici Enyaqu, (vlastní zdroj)

Po každém měření tato velkoobjemová data byla z přístroje vyjmuta a převedena do formátu xls. Následovalo jejich vyfiltrování na dvouminutový interval zaznamenávání a dále následovalo jejich převedení do grafické podoby (viz. níže uvedené grafy pro každé měření). Následně data byla vyhodnocena, porovnána a na jejich základech proběhlo vyhodnocení výsledků a stanovení validních závěrů.

Prostřednictvím druhého přístroje Alhorn 5690-2 (viz. obrázek 25) s teplotními senzory ZA90-20 FS R2E4 byl zaznamenáván přívod vzduchu z výdechů do kabiny elektromobilu od systému klimatizační jednotky. V kabině zkušební vozidla se teplotní senzory

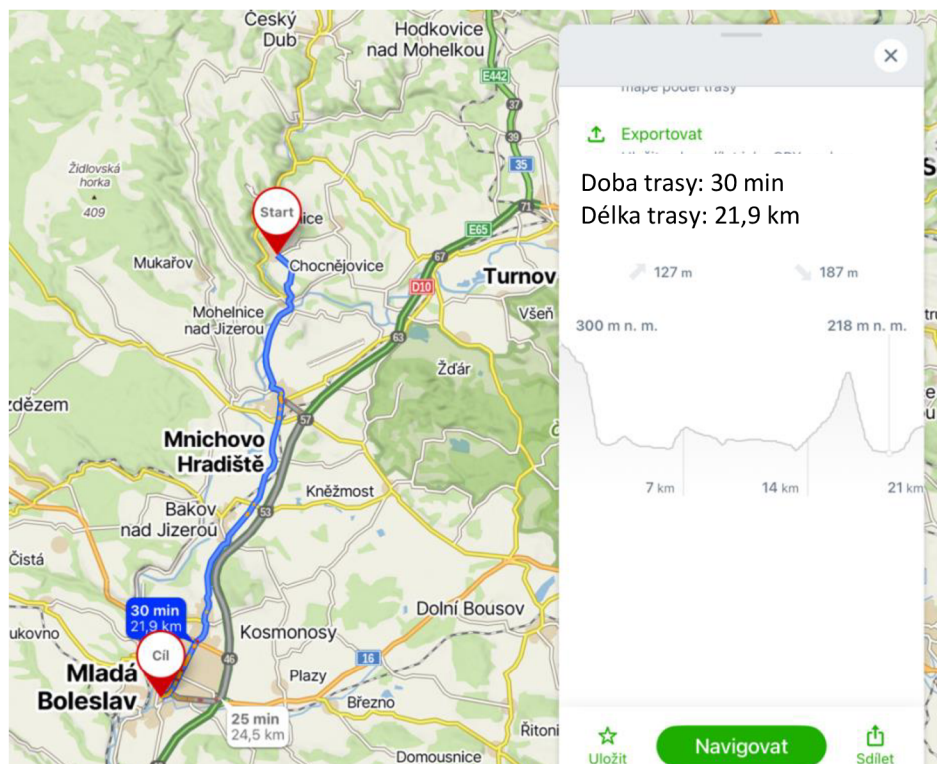
rozmístily dle interních předpisů Škoda Auto a.s. na místa v oblastech hlavy pasažérů a na místa v oblastech nohou pasažérů (těsně nad podlahou).



Obrázek 25 Měřicí přístroj Alhborn 5690-2 s rozmístěnými teplotními senzory, (vlastní zdroj)

Zaznamenaná data byla ze zařízení vyjmuta a vyexportována do podoby grafů znázorňujících teplotní křivky z vývoje teplot jednotlivých snímačů (viz. grafy ověřující funkčnost Climatronicu). Následovalo jejich porovnání za účelem ověření funkčnosti klimatizačního zařízení používaného v testovaném vozidle Climatronic za různých teplotních venkovních podmínek.

Měření v reálném provozu se uskutečnilo v časech s nízkou vytižeností silnic z důvodu snížení negativního vlivu dopravy na výsledky měření. Testovací vozidlo se pohybovalo po vyznačené trase (obr. 26). Trasa byla vedena vždy z areálu automobilky Škoda Auto, podél řeky Jizery až do obce Chocnějovice. Po příjezdu do obce vozidlo zastavilo a měření bylo zakončeno po 15minutovém stání.



Obrázek 26 Trasa pro měření v provozu, (vlastní zdroj)

Statické měření probíhalo v testovací válcové zkušebně. Vstupní podmínky na statických zkušebních válcích byly nastaveny podle silničního módu zkušebny pro plošné testování vozidel Enyaq s konstantní zátěží – ostatní odpory, váhové ztráty a rotační hmoty nebyly uvažovány. Cílem tohoto měření bylo nasimulovat letní teplotu bez působení slunečního svitu. Kabina vozidla byla s předstihem vytemperována podle dílenské 21 °C.

3.2.3 Podmínky měření

Vozidlo před každým měřením bylo dostatečně s předstihem vytemperováno na teplotu vnějšího prostředí. Kabina elektromobilu nebyla nezávislým topením v žádném z případů predehřata. Měření neprobíhala za žádných ztížených podmínek, ať už podmínek týkajících se ztíženého provozu, nebo ztížených podmínek venkovního prostředí silného větru nebo špatného počasí (déšť nebo sněhová bouře).

Teplota na klimatizační jednotce byla nastavena v automatickém režimu na 22 °C se zapnutou klimatizací při všech měřeních (viz. souhrnný přehled z Tabulky 1). Průtok vzduchu si po dobu měření podle potřeby řídila automaticky řídicí jednotka Climatronic. Pouze při 1. měření byly z komfortních spotřebičů zapnuty výhřevy zrcátek, výhřev čelního a zadního okna, výhřev volantu a výhřev sedačky řidiče. Intenzita ventilátoru při všech měřeních byla taktéž nastavena na stejnou hodnotu – střední intenzitu. Rychlost vozidla na zvolené trase v součtu odpovídala podobnému průměru s menšími odchylkami. Vstupní podmínky na statických zkušebních válcích byly nastaveny podle silničního módu pro plošné testování vozidel Enyaq s konstantní zátěží – ostatní odpory, váhové ztráty a rotační hmoty nebyly uvažovány.

Vstupní podmínky	Číslo měření			
	1	2	3	4
Venkovní teplota	-12 °C	-8 °C	0 °C	22 °C
Nastavení klimatizace	Auto 22	Auto 22	Auto 22	Auto 22
Intenzita ventilátoru	Střední	Střední	Střední	Střední
Komfortní spotřebiče	Zapnuté	Vypnuté	Vypnuté	Vypnuté
Místo měření	V provozu	V provozu	V provozu	Ve zkušebně
Silniční provoz	Mírný	Mírný	Mírný	Statické posouzení

Tabulka 1 Souhrnný přehled podmínek měření, (vlastní zdroj)

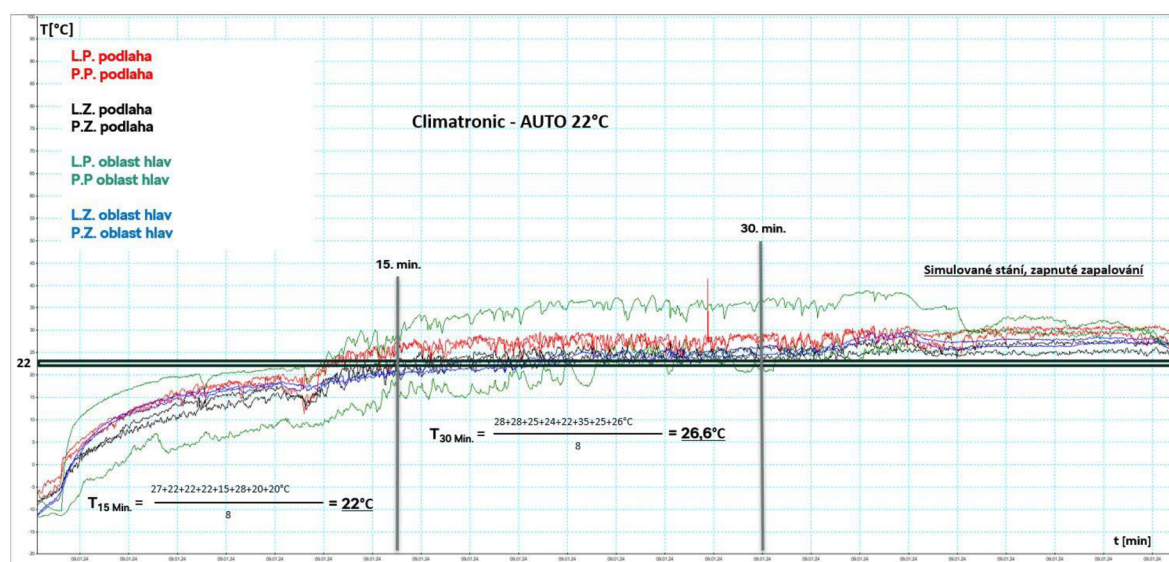
3.3 Praktická část práce

Praktická část je věnována samotným měřením. Jsou zde uvedeny dva typy měření s jiným cílem. První typ měření ověřuje funkci klimatizačního zařízení Climatronic použitého v testovaném vozidle, prostřednictvím zaznamenaných dat převedených do teplotních křivek promítnutých v grafech. A druhý typ měření má za úkol z naměřených dat posoudit vliv venkovního prostředí na výslednou spotřebu klimatizačního systému v elektromobilech a zhodnotit spotřebu klimatizačního zařízení v různých venkovních teplotních podmínkách.

3.3.1 Měření ověřující funkčnost Climatronicu při -12 °C

Měření probíhalo v reálném provozu. Klimatizace byla nastavena na automatický režim udržování teploty 22 °C. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Komfortní spotřebiče zapnuty – výhřev čelního okna, výhřev zadního okna, výhřev zrcátek a výhřev

sedáčky řidiče. Po vstupu do vozidla a následného startu, lze prostřednictvím teplotních křivek v grafu 1 (nebo ve větším formátu v příloze 1) vysledovat, jakým způsobem na nízkou teplotu zareagovala řídicí jednotka Climatronic. V počátku měření došlo k nejintenzivnějšímu přivedení vzduchu do oblasti nohou řidiče. Menší část tepla byla směřována zároveň i do oblasti nohou spolujezdce. Ovšem pro jednotku Climatronic je prioritou dopřát maximum tepelného komfortu řidiči a poté spolujezdci, případně ostatním cestujícím. Po první minutě došlo ke změně proudění vzduchu, které bylo zaměřeno na ohřátí oblast hlavy řidiče. V této oblasti došlo k razantní změně teploty po dobu další minuty z -10 °C na 11 °C. U spolujezdce oblast hlavy nebyla pro směřování proudění vzduchu zásadní prioritou, jako oblast hlavy řidiče, tudíž byl spolujezdec z větší části upozaděn. Podobná náběhová křivka teploty v oblasti nohou řidiče a spolujezdce se lišila pouze v rozdílu 1-2 °C. Průměrná teplota v kabině vozidla dosáhla za 15 minut 22 °C.



Graf 1 Teplotní křivka změny teploty v interiéru při -12 °C, (68)

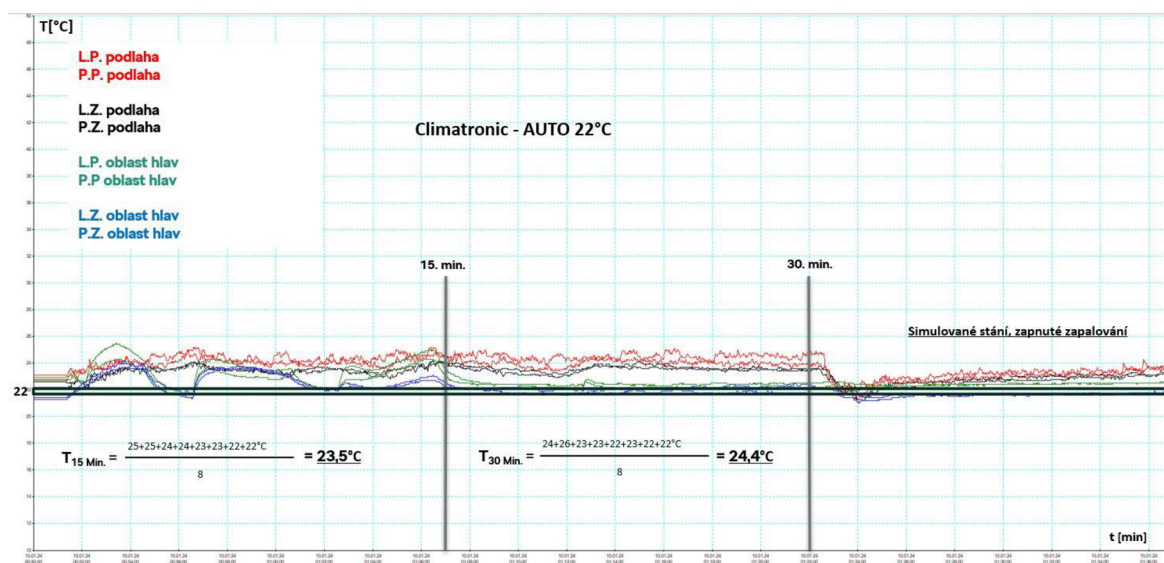
V počátku měření došlo k nejintenzivnějšímu přivedení vzduchu do oblasti nohou řidiče. Menší část tepla byla směřována zároveň i do oblasti nohou spolujezdce. Ovšem pro jednotku Climatronic je prioritou dopřát maximum tepelného komfortu řidiči a poté spolujezdci, případně ostatním cestujícím. Po první minutě došlo ke změně proudění vzduchu, které bylo zaměřeno na ohřátí oblast hlavy řidiče. V této oblasti došlo k razantní změně teploty po dobu další minuty z -10 °C na 11 °C. U spolujezdce oblast hlavy nebyla pro směřování proudění vzduchu zásadní prioritou, jako oblast hlavy řidiče, tudíž byl

spolujezdec z větší části upozaděn. Podobná náběhová křivka teploty v oblasti nohou řidiče a spolujezdce se lišila pouze v rozdílu 1-2 °C. Průměrná teplota v kabině vozidla za 15 minut dosáhla 22 °C. Ve 30. minutě měření se křivky průtoku vzduchu ustálily nad požadovanou nastavenou teplotou průměrných 26,6 °C. V této fázi měření, je jasně vidět, že čidla zaznamenala vyšší teplotu v interiéru, než která je požadovaná po Climatronicu. Tato situace je dána nastavenou filozofií firmy Škoda. Při zimních teplotách řídící jednotka klimatizace udržuje vyšší teplotu proudění vzduchu od požadovaných a nastavených hodnot posádkou a v letních parních měsících naopak řídící jednotka udržuje teplotu v kabině nižší, než je požadovaná nastavená hodnota posádkou, za účelem dosažení lepšího tepelného komfortu s ohledem na lišící se pocitovou teplotu od nastavené. V poslední fázi měření se vozidlo zastavilo a po nižším ochlazování vnitřního prostředí kabiny elektromobilu z důsledku působení vnějšího prostředí a vzduchu při jízdě se teplota v kabině udržovala těsně nad požadovanou nastavenou teplotou. Z výsledků je patrné, že se jedná o velmi efektivní typ ochlazovací/vytápěcí jednotky, která zvládá poměrně rychle převést požadavek nastavené teploty do kabiny elektromobilu. Doba ohřevu interiéru na průměrných 22 °C nebyla delší než 15 minut.

3.3.2 Měření ověřující funkčnost Climatronicu při 21 °C

Toto měření bylo provedeno na statických válcích ve válcové zkušebně. Vstupní podmínky na statických zkušebních válcích byly nastaveny podle silničního módu pro plošné testování vozidel s konstantní zátěží. Vozidlo bylo vytemperováno na pokojovou teplotu 21 °C. Klimatizace nastavena na automatický režim udržování teploty 22 °C. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Komfortní spotřebiče vypnuty.

V první minutě v grafu 2 (nebo ve větším formátu v příloze 2), je vidět, že nedošlo k žádnému razantnímu nárůstu teploty.



Graf 2 Teplotní křivka změny teploty v interiéru při 21 °C, (68)

Před druhou minutou se teplotní křivky začaly mírně zvyšovat. Climatronic krátkodobě zvýšil teplotu, kvůli úpravě komfortu v oblasti hlavy řidiče, kdy teplota dosahovala maximálních 25 °C. Po dosažení této teploty v oblasti hlavy řidiče, došlo v 7 minutě k razantní korekci teploty v kabině, kdy se v oblasti hlavy řidiče a spolujezdce teplota snížila na požadovaných 22 °C. Toto ovšem neplatilo pro oblast nohou řidiče i spolujezdce, přičemž Climatronic udržoval stálou teplotu v místech nohou v rozmezí 24 °C až 25 °C. Teplota v kabině dosahovala po 15 minutách v průměru 23,5 °C. Mezi 15 minutou a 30 minutou došlo k ustálení teplot na požadovaných 22 stupňů v oblastech hlavy řidiče a hlavy spolujezdce, ovšem oblast nohou spolujezdce i řidiče dosahovala vyšších teplot v rozmezí 24 °C až 25 °C z důvodu nastavení Climatronicu z výroby, aby byl posádce pocitově dopřán vyšší tepelný komfort, než je žádáno po Climatronicu. Průměrná teplota po 30 minutách v kabině dosahovala 24,4 °C. V poslední fázi měření při stání a zapnutém zapalování, se teplotní křivky ustálily a teplota dosahovala nižších hodnot než při simulované jízdě na zkušebních válcích, ale i přesto v kabině neklesla teplota pod požadovaných 22 °C.

Z měření vyplynulo, jakým způsobem reaguje řídicí jednotka na dvě naprosto odlišné situace. Pokud nastává situace, kdy řidič i spolujezdec potřebují rychle dosáhnout dostatečného tepelného komfortu (vstup do studeného elektromobilu) řídicí jednotka

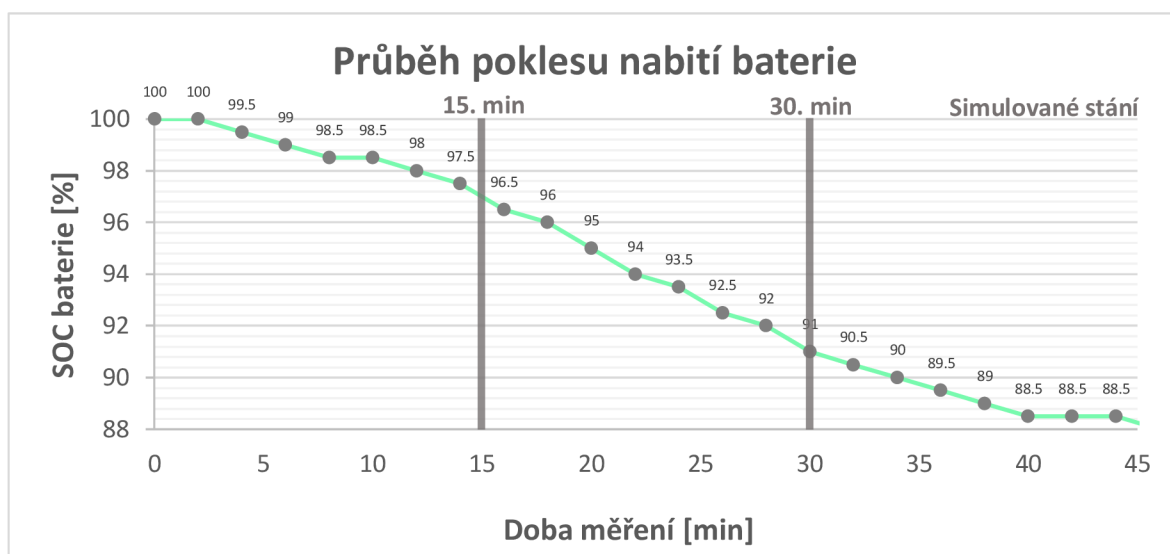
klimatizace zareaguje okamžitým přísunem vzduchu a úpravou směru toku vzduchu primárně na řidiče a poté až na spolujezdece. Rozdíl není natolik patrný, že by se spolujezdec dostával po dobu měření do podchlazující situace, ale z grafu 1 při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, je patrné, že prioritou Climatronicu je zajištění komfortu řidiči a spolujezdec mírně strádá. Z grafu 2 při $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ jasně vyplývá, která situace z obou měření byla pro řídicí jednotku klimatizace nejméně náročná, jak z hlediska udržování tepelného komfortu, tak z hlediska zpracování požadavků ovlivněných vnější teplotou okolního prostředí. Výsledkem je mírně se vychylující udržování teploty v rozmezí $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad požadovanou nastavenou $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3.3 Měření č. 1 – při vnější teplotě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$

První měření se uskutečnilo 09.01. 2024. Venkovní teplota dosahovala $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měření probíhalo v provozu na předem zvolené trase. Klimatizace nastavena na automatický režim udržování teploty $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Komfortní spotřebiče zapnuty – výhřev čelního okna, výhřev zadního okna, výhřev zrcátek a výhřev sedačky řidiče. Vozidlo obsazeno 2 osobami. Baterie v počátku měření dosahovala 100% kapacity a na konci měření 88,5% kapacity baterie viz. následující graf 3 na další stránce.

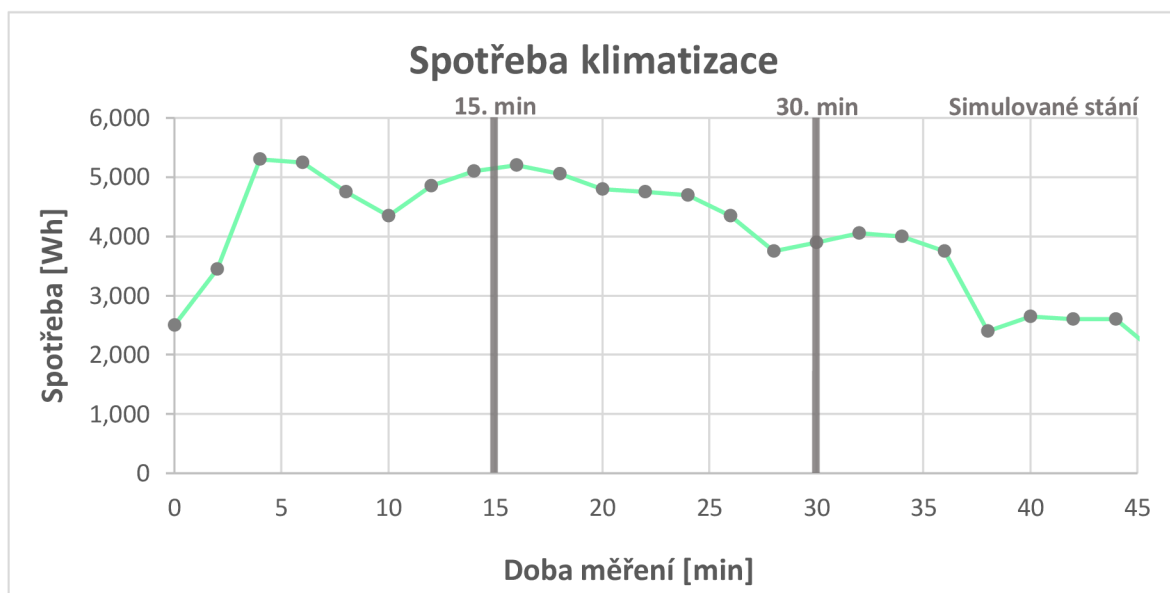
V tomto měření došlo k nejnáročnějším požadavkům na spotřebu klimatizační jednotky a zapnutých komfortních spotřebičů. Z grafu 3 je patrný razantní dopad náročného venkovního prostředí na pokles nabití baterie. K nejvýraznějšímu poklesu nabití baterie docházelo v prvních 30 minutách jízdy, poté nebyla kabina obtékajícím vzduchem při simulovaném stání ochlazována.

K nejvýraznějšímu poklesu nabití baterie docházelo v prvních 30 minutách jízdy, poté nebyla kabina obtékajícím vzduchem při simulovaném stání ochlazována.



Graf 3 Pokles nabití baterie při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ se zapnutými komfortními spotřebiči, (vlastní zdroj)

Po nastoupení posádky do vozidla docházelo k postupnému aktivování dostupných komfortních spotřebičů. Posádka aktivovala výhřev předního a zadního okna, výhřev zrcátek, poté výhřev sedačky řidiče a výhřev volantu řidiče. Z grafu 4 je patrné, že se po rozjezdu elektromobilu razantně zvýšila spotřeba energie.

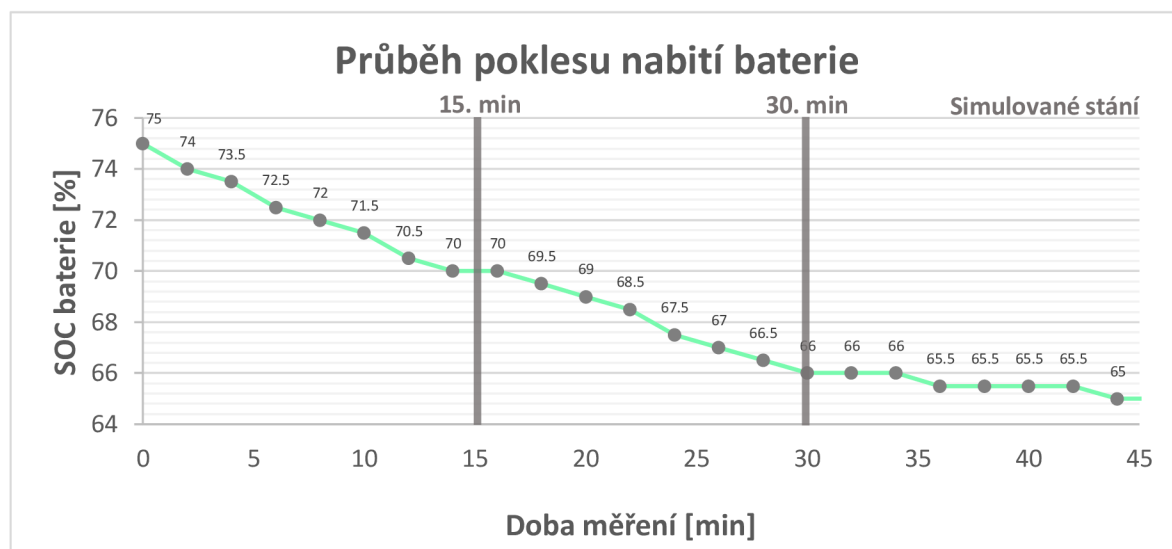


Graf 4 Spotřeba klimatizace při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ se zapnutými komfortními spotřebiči, (vlastní zdroj)

Zvýšenou spotřebu klimatizace včetně zapnutých komfortních spotřebičů při testovací jízdě ovlivňovala také nízká venkovní teplota venkovního prostředí a chladný vzduch obtékající karoserii. Z důvodu nízkých venkovních teplot byla klimatizační jednotka vystavena vyšším nárokům. Spotřeba klimatizace klesla při simulovaném stání vozidla. Karoserie vozidla po 30. minutě nebyla tolik ochlazována a pro řídicí jednotku klimatizačního systému bylo méně náročné udržet požadovanou teplotu v interiéru, a to nejen z důvodu ochlazování, ale i díky již ohřátému interiéru. Průměrná spotřeba energie dosahovala 4 004 Wh.

3.3.4 Měření č. 2 – při vnější teplotě -8 °C

K druhému měření došlo v datu 11.01. 2024. Venkovní teplota dosahovala -8 °C. Měření probíhalo v provozu na předem zvolené trase. Klimatizace nastavena na automatický režim udržování teploty 22 °C. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Vozidlo osazeno 2 osobami. Všechny komfortní spotřebiče byly vypnuty. Baterie v počátku měření dosahovala 75% kapacity a na konci měření 65% kapacity baterie (viz. graf 5).

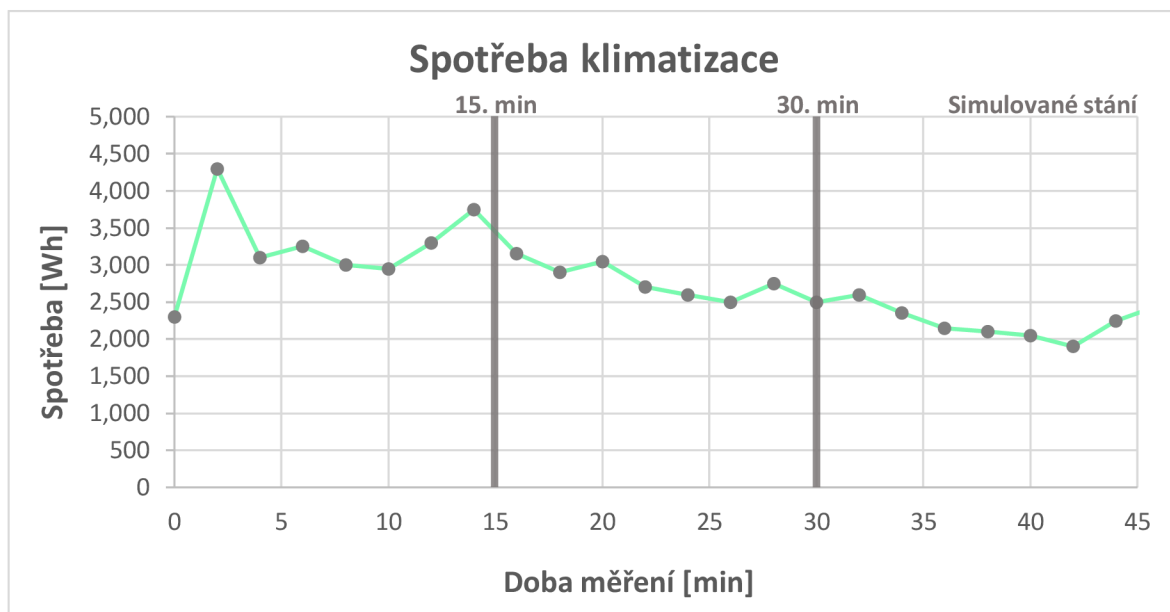


Graf 5 Průběh poklesu nabití baterie při -8 °C, (vlastní zdroj)

Spotřeba energie je v počátku měření (viz. další stránka graf 6) opět na vysokých hodnotách, aby došlo k rychlému ohřátí kabiny vozidla. Spojnice spotřeby má mírně klesavou tendenci, ovšem na konci měření se požadavek na výkon topení zvýšil – způsobeno nastavením udržování teploty v kabině, kdy došlo k poklesu pod nastavenou teplotu v kabině

a řídicí jednotka klimatizace v kabině „přitopila“, aby došlo k dorovnání teploty na požadovanou (nastavenou teplotu na Climatronicu).

Na toto měření měla vliv mírnější teplota vnějšího okolí, tudíž spotřeba klimatizace na ohřátí kabiny vozidla byla oproti 1. měření menší. Průměrná spotřeba klimatizace dosahuje průměrných 2 748 Wh.

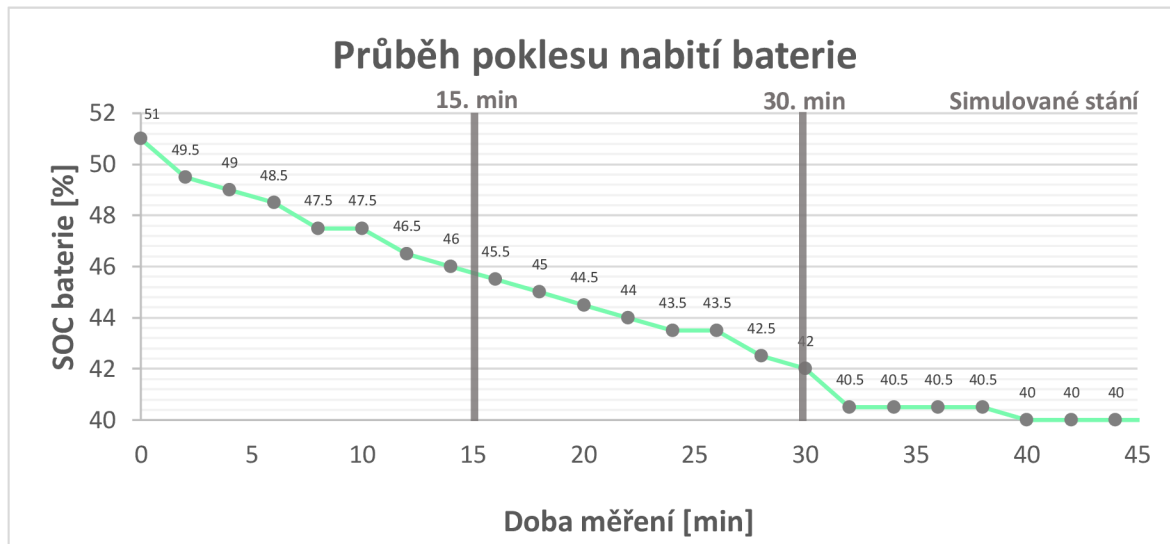


Graf 6 Spotřeba klimatizace při $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ s vypnutými komfortními spotřebiči, (vlastní zdroj)

3.3.5 Měření č. 3 – při vnější teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

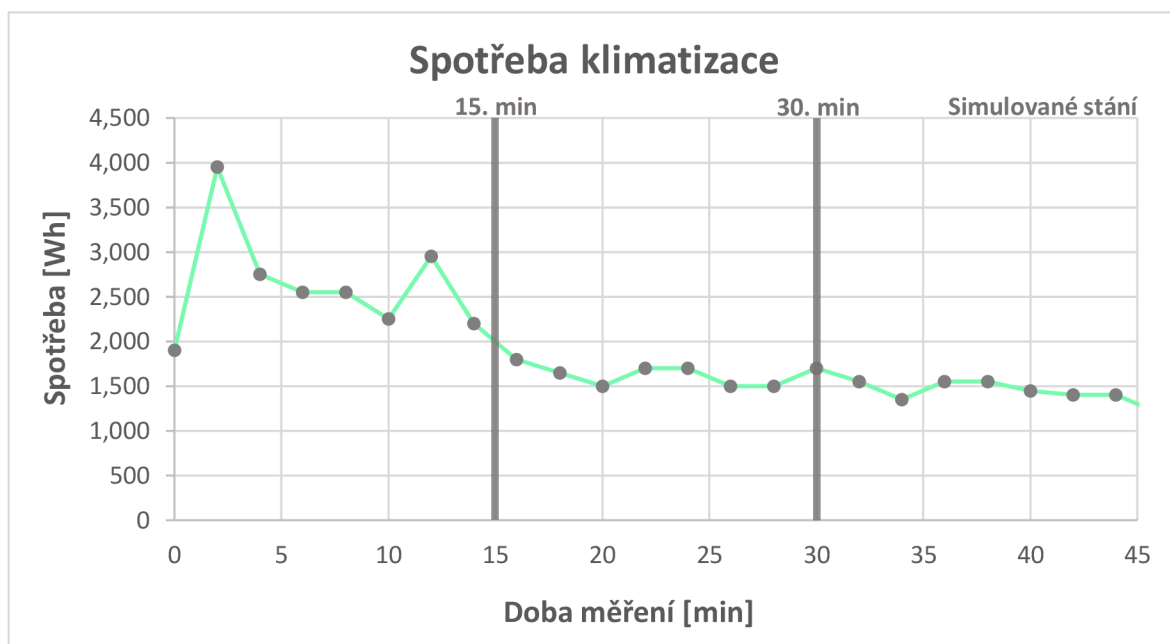
K třetímu měření došlo v datu 12.01. 2024. Venkovní teplota dosahovala $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Klimatizace nastavena na automatický režim udržování teploty $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Vozidlo osazeno 2 osobami. Všechny komfortní spotřebiče byly vypnuty. Baterie v počátku měření dosahovala 51% kapacity a na konci měření 40% kapacity baterie (viz. graf 7).

V průběhu vybití nenastala žádná razantní změna křivky, kvůli snazšímu udržení tepelného komfortu vlivem působícího okolního prostředí. Pro vytopení kabiny nebylo zapotřebí tolik energie a nedocházelo, zde k razantnímu vlivu na pokles nabití baterie.



Graf 7 Průběh poklesu nabití baterie při 0 °C, (vlastní zdroj)

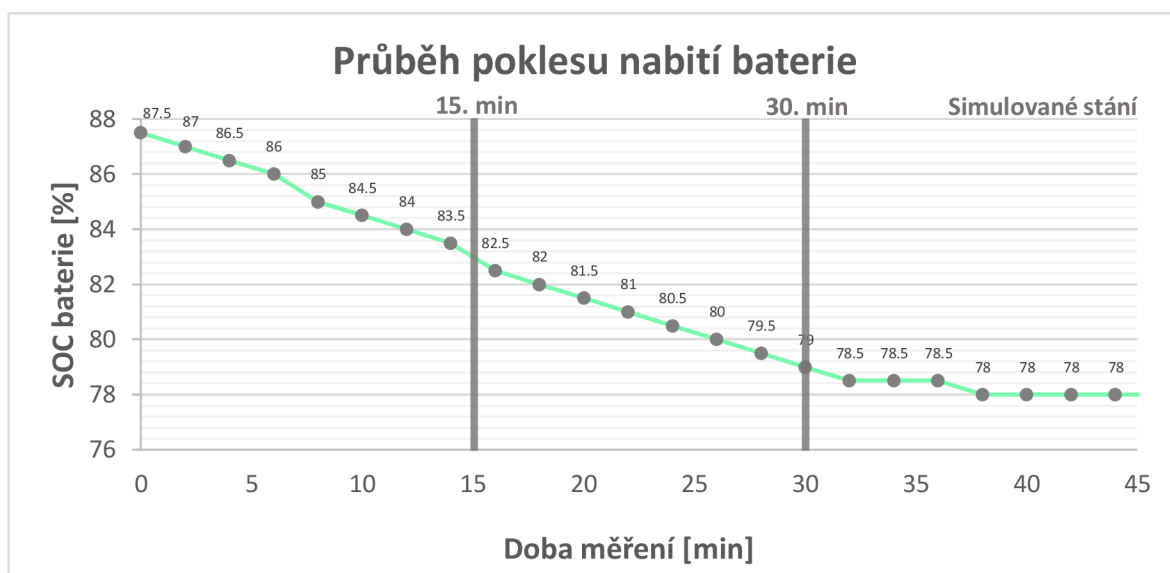
Kabina se v počátku měření opět zahřívala a z grafu 8, lze vypočítat, že spotřeba v první fázi měření opět narostla, poté se spotřeba klimatizace postupně ustálila. Pouze ve 12. min. došlo k lehkému výkyvu a průměrná spotřeba dosahovala přijatelných 1 900 Wh.



Graf 8 Spotřeba klimatizace při 0 °C s vypnutými komfortními spotřebiči (vlastní zdroj)

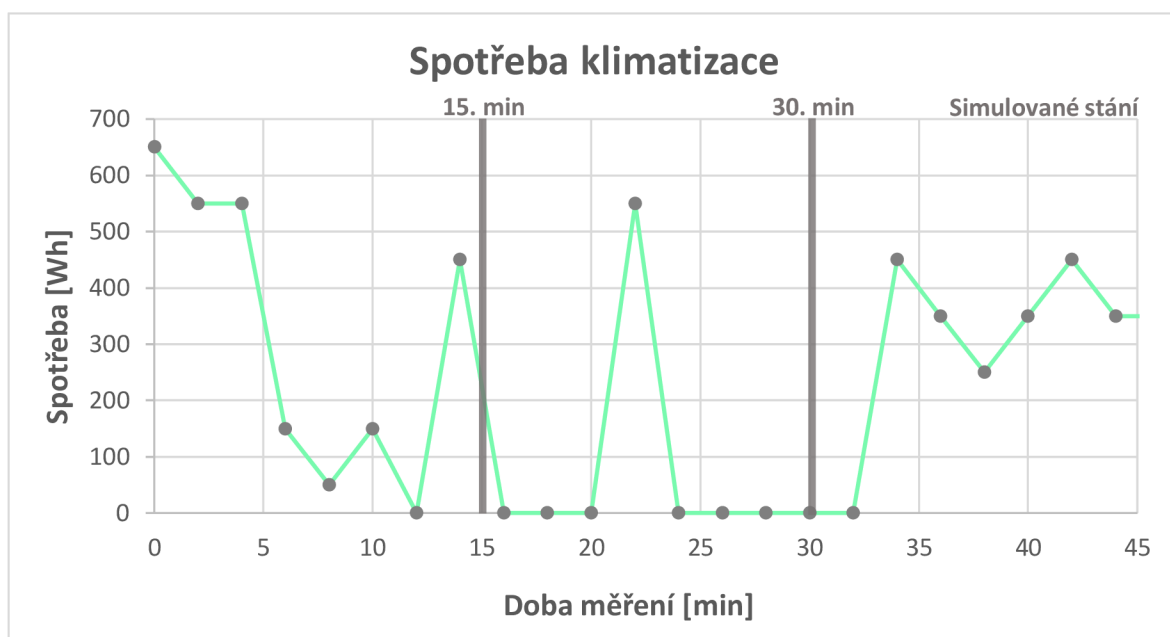
3.3.6 Měření č. 4 – při vnější teplotě 21 °C

Poslední měření probíhalo ve dne 10.01. 2024 na statických válcích měřicí zkušebny. Vozidlo bylo předem vytemperováno na dílenskou teplotu 21 °C. Vstupní podmínky na statických zkušebních válcích byly nastaveny podle silničního módu zkušebny pro plošné testování vozidel Enyaq s konstantní zátěží – ostatní odpory, váhové ztráty a rotační hmoty nebyly uvažovány. Klimatizace ve vozidle nastavena na automatický režim udržování teploty 22 °C. Proudění vzduchu nastaveno na střední intenzitu. Vozidlo osazeno 2 osobami. Všechny komfortní spotřebiče byly vypnuty. Baterie v počátku měření dosahovala 87,5% kapacity a na konci měření 78% kapacity baterie (viz. graf 9).



Graf 9 Průběh poklesu nabití baterie při 21 °C, (vlastní zdroj)

V tomto případě byla spotřeba klimatizační jednotky nejmenší, a to především z důvodu vyšší teploty okolního prostředí oproti ostatním měřením. Teplota vnějšího prostředí byla v době měření nejbližší vůči požadované a nastavené teplotě klimatizační jednotky vnitřního prostředí elektromobilu. V podstatě, při měřeních při teplotě 21 °C klimatizační jednotka pouze udržovala nastavenou teplotu, což vysvětluje vysoký počet výkyvů v grafu 10, kdy byla klimatizační jednotka zapínána a vypínána podle potřeby. Průměrná spotřeba klimatizace dosahovala pouhých 235 Wh.



Graf 10 Spotřeba klimatizace při 21 °C s vypnutými komfortními spotřebiči, (vlastní zdroj)

3.4 Zhodnocení výsledků

Z výsledků měření zobrazených v tabulce 2 vyplývá, že při velmi nízkých teplotách okolního prostředí je udržování tepelného komfortu v interiéru pro řídicí jednotku klimatizace moderních elektromobilů nejnáročnější.

	1. Měření	2. Měření	3. Měření	4. Měření
Venkovní teplota	-12 °C	-8 °C	0	21 °C
Komfortní spotřebiče	Zapnuté	Vypnuté	Vypnuté	Vypnuté
Průměrná spotřeba [kWh]	4,004	2,748	1,900	0,235
Cena za 1 kWh [Kč]	4,60	4,60	4,60	4,60
Náklady na 1 ujetý km [Kč]	0,837	0,575	0,397	0,049

Tabulka 2 Souhrnná tabulka s vypočtenými náklady spotřeby klimatizace, (vlastní zdroj)

Nejvyšší spotřeba klimatizační jednotky byla dosažena v prvním měření. Elektromobil byl testován v provozu s průměrnou venkovní teplotou -12 °C. Toto měření simulovalo nejnáročnější prostředí, do kterého se dostane uživatel v zimních měsících s teplotami hluboko pod bodem mrazu. Konkrétně se jednalo o situaci, kdy zákazník nastoupí do elektromobilu a požaduje okamžité odmrazení oken a zahřátí kabiny na komfortní teplotu. Pro zajištění tepelného komfortu a bezpečného výhledu posádky byly aktivovány dostupné komfortní spotřebiče, konkrétně vyhřívání čelního a zadního okna, vyhřev zpětných zrcátek, vyhřev volantu a vyhřev sedačky řidiče. Klimatizační jednotka na požadavky razantního vytápění zareagovala velmi dobře a interiér vozidla dokázala po 15 minutách vytopit na průměrnou teplotu 22 °C. Udržení tepelného komfortu pro klimatizační jednotku nebyl žádný problém, pokles teploty v kabině nenastal ani při simulovaném 15minutovém stání, naopak spotřeba energie se v tomto úseku měření ustálila a snížila. Udržení tepla v interiéru elektromobilu v chladném prostředí bylo sice dostatečné, ale zároveň s výsledky nejvyšší spotřeby klimatizační jednotky a komfortních spotřebičů ze všech sledovaných měření. Pokud se uživatel při stejných podmínkách a při zafixované ceně elektřiny v domácnosti 4,60 Kč/kWh, bude chtít dostat na požadovaný tepelný komfort, bude jej stát spotřeba energie klimatizační jednotky a komfortních spotřebičů 0,837 Kč v přepočtu na 1 ujetý km.

Ve druhém měření byla simulována jízda při nižších průměrných venkovních teplotách -8 °C. Jízda proběhla bez zapnutých komfortních spotřebičů. Ostatní podmínky měření byly stejné. Teplota v kabině byla udržovaná po dobu 15 minut podle nastavené teploty 22 °C.

Spotřeba klimatizace v prvních minutách měření dosahovala vyšších hodnot, poté křivka se zaznamenanými hodnotami měla klesavou tendenci. Pokud se uživatel při stejných podmínkách a při zafixované ceně elektřiny v domácnosti 4,60 Kč/kWh, bude chtít dostat na požadovaný tepelný komfort, bude jej stát spotřeba energie klimatizační jednotky 0,575 Kč v přepočtu na 1 ujetý km.

Třetí měření bylo zaměřeno na spotřebu klimatizační jednotky při zimní průměrné venkovní teplotě 0 °C. Podmínky byly stejné, jako v předchozím měření. Ze zimních měření, v tomto případě byla spotřeba energie na vytápění interiéru při požadovaných 22 °C nejnižší. Splnit požadavky pro klimatizační jednotku, bylo snazší než u měření s vysokými teplotami pod bodem mrazu. K vyšší spotřebě docházelo pouze v průběhu prvních 15 minutách a poté křivka s naměřenými hodnotami měla klesající tendenci a ke konci došlo k postupnému ustálení spotřeby. Pokud se uživatel při stejných podmínkách a při zafixované ceně elektřiny v domácnosti 4,60 Kč/kWh, bude chtít dostat na požadovaný tepelný komfort, bude jej stát spotřeba energie klimatizační jednotky 0,397 Kč v přepočtu na 1 ujetý km.

Čtvrté měření probíhalo na statických válciích válcové zkušebny při teplotě vnějšího prostředí 21 °C. Toto měření sloužilo k nasimulování průměrné letní teploty v České republice bez působení slunečního svitu. Během tohoto simulovaného měření došlo k nejmenší energetické spotřebě ve srovnání s ostatními provedenými měřeními. Teploty okolního prostředí a teploty v kabině elektromobilu si v tomto případě byly nejbližší. Defacto lze říct, že řídicí jednotka klimatizace měla za úkol pouze udržení nastavené teploty. Nedochovalo zde k prudkému ohřátí či ochlazení kabiny za účelem dosažení dostatečného tepelného komfortu posádky. Pokud se uživatel při stejných podmínkách a při zafixované ceně elektřiny v domácnosti 4,60 Kč/kWh, bude chtít dostat na požadovaný tepelný komfort, bude jej stát spotřeba energie klimatizační jednotky 0,049 Kč v přepočtu na 1 ujetý km.

Dobíjení elektromobilu může probíhat v domácích podmínkách i na veřejných nabíjecích stanicích. Při analýze spotřeby energie klimatizace na 1 ujetý kilometr byla zohledněna zafixovaná cena elektřiny v běžné domácnosti ve výši 4,60 Kč včetně DPH za 1 spotřebovanou kWh energie. Ceny za prodanou kilowatthodinu se na veřejných nabíjecích stanicích liší podle výkonnosti nabíječky, tj. u nejpomalejšího střídavého nabíjení konektorem AC do 50 kW, u stejnosměrného rychlého nabíjení DC do 100 kW a super rychlého nabíjení HPC nad 100 kW. Dále jsou ceny rozlišovány podle úrovně členství u jednotlivých

společností od nezaregistrovaní po premium účty s měsíčním předplatným. V tabulce 3 jsou uvedené ceny zaregistrovaných uživatelů, při standardním tarifu bez měsíčního předplatného. Ceny jsou uvedené s DPH.

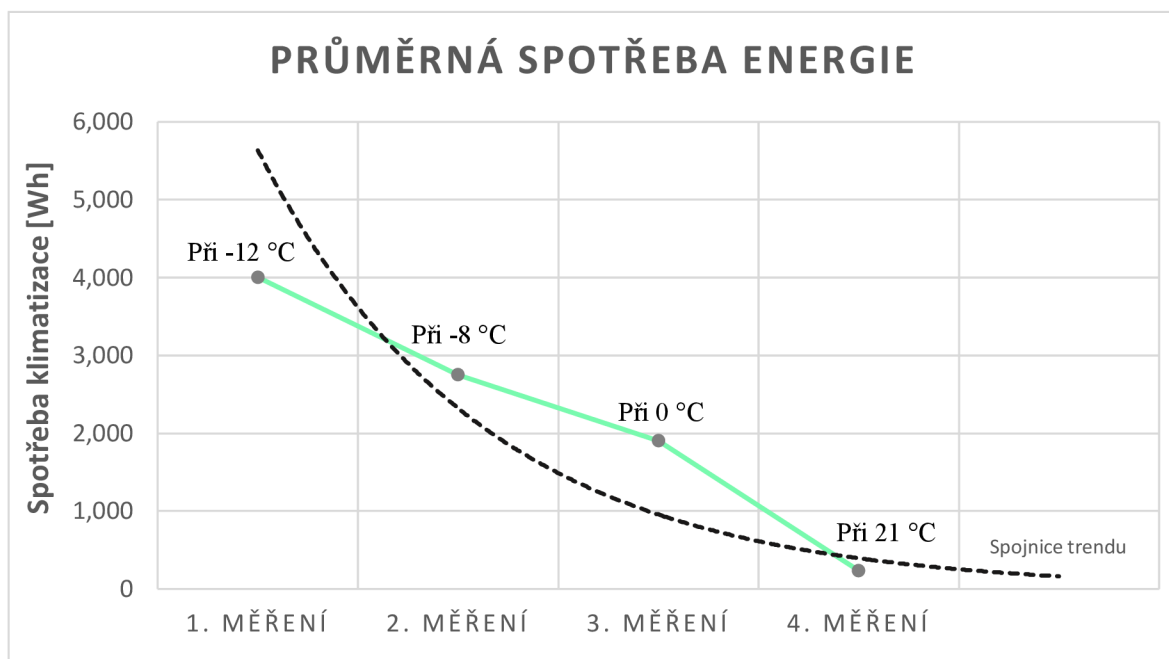
Distributoři	Typy nabíjecích stanic		
	AC	DC	HPC
ČEZ (1 kWh)	8,-	13,-	18,-
E.ON (1 kWh)	8,-	12.50,-	17,-
PRE (1 kWh)	8,-	11,-	13,-
Domácí tarif (1 kWh)	4.60,-	x	x

Tabulka 3 Přehled tarifů veřejných nabíječek (1.Q, 2024), (69)

Pokud by koncový uživatel spoléhal pouze na veřejné dobíjení z nabíječek různých dodavatelů elektřiny, náklady na tepelný komfort v naměřených podmínkách by se výrazně promítly do celkových nákladů. Při venkovní teplotě 0 °C by spotřeba energie k dosažení tepelného komfortu pro uživatele nepředstavovala 0,397 Kč na ujetý kilometr, ale při použití veřejné nabíječky s pomalým dobíjením (s cenou 8,- /1 kWh) by se tato spotřeba prodražila na 0,691 Kč na 1 ujetý kilometr.

4 Diskuse

V souhrnném grafu jednotlivých měření spotřeby klimatizace, je zachycena problematika závislosti spotřeby energie na venkovní teplotě. Tato skutečnost je zobrazena spojnicí trendu vycházející z naměřených dat průměrné spotřeby klimatizace v jednotlivých měření při různé venkovní teplotě. Z grafu 11 lze vyčíst, že čím blíže je teplota venkovního okolí k nastavené teplotě, tím nižší je spotřeba klimatizace a tím větší má spojnice trendu klesavou tendenci. Na základě souhrnných výsledků je možné potvrdit zkoumanou hypotézu vyřčenou v úvodní kapitole, zabývající se významem vlivu okolního prostředí na výslednou spotřebu klimatizačního zařízení moderního elektromobilu. Venkovní teplota a vnější podmínky okolního prostředí mají významný vliv na spotřebu klimatizačního zařízení elektrických vozidel a zároveň mají vliv i na celkovou ekonomiku provozu elektromobilu.



Graf 11 Souhrnný graf průměrné spotřeby energie z jednotlivých měření, (vlastní zdroj)

Z naměřených dat nelze jednoznačně vyvodit závěr takový, že s rostoucí teplotou okolního prostředí klesá spotřeba energie i zatížení klimatizace. Zatížení i spotřeba klimatizačního zařízení se bude zvyšovat s rostoucí venkovní teplotou a působením slunečního záření. Odhaduji, že v situacích, kdy bude potřeba ochladit kabinu vozidla v parných letních měsících budou požadavky na klimatizační zařízení vysoké, ne-li vyšší než při ohřívání kabiny vozidla v zimních měřeních.

Myslím si, že naměřené výsledky budou přínosem pro pochopení problematiky spotřeby energie klimatizačního zařízení v elektromobilech. Bohužel z organizačních důvodů nebylo možné absolvovat měření i v letních parních měsících. Výsledky z letního měření by mohly poskytnout porovnání a určení situací, ve kterých by klimatizace spotřebovala nejvíce energie, a také by umožnily z ekonomického úhlu pohledu odhadnout, jaká by byla cena za tepelnou pohodu řidiče na jeden ujetý kilometr.

Pro další výzkumné účely nebo náměty závěrečných prací, doporučuji téma spotřeby klimatizačního zařízení v elektromobilech k rozšíření o naměřená data v letních měsících a poté o porovnání nově získaných výsledků s validnějšími závěry závislosti spotřeby klimatizace na venkovní teplotě. Jedná se o zajímavé, o poměrně složité a z pohledu výrobců elektromobilů citlivé téma, které stojí za rozšíření o další naměřené výsledky.

5 Závěr

Cílem této práce bylo posouzení vlivu venkovních teplot a vnějších podmínek okolí na řízení vnitřního prostředí kabiny osobního elektrického vozidla. V teoretické části byla pozornost zaměřena na představení problematiky elektromobility, na rozdělení elektromobilů a na představení konstrukce elektrických bateriových vozidel. Následně byla kapitola teoretických východisek rozšířena o představení problematiky řízení vnitřního prostředí kabiny osobních vozidel a o konstrukci klimatizací a jejich prvků. Kapitola teoretických východisek byla zakončena představením konstrukčních řešení klimatizačních zařízení v aktuálních elektromobilech.

V druhé části byla představena metodika praktického měření, která zahrnovala způsob a podmínky měření, představení měřicích přístrojů a představení testovaného vozidla. Praktická část byla dále rozšířena o měření ověřující funkčnost chytrého klimatizačního systému Climatronic v minusových a plusových venkovních teplotách. Reakce řídicí jednotky klimatizačního systému byla zachycena v teplotních křivkách, které znázorňují průběh změny teploty vnitřního prostředí kabiny vozidla. Z naměřených dat vyplynulo, že klimatizační systém není pouze účinný, ale dokázal i schopně zareagovat na požadované nastavení a nasměrovat tok vzduchu v automatickém režimu klimatizace podle prioritních oblastí.

Konec druhé části byl určen praktickému měření, které se zaměřovalo na zaznamenávání spotřeby klimatizace v kabině moderního elektromobilu. Z provedených měření spotřeby klimatizační jednotky v různých klimatických podmínkách vyplynulo několik důležitých poznatků. Nejvyšší spotřeba byla dosažena při provozu elektromobilu za velmi nízkých teplot $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, při této venkovní teplotě byla aktivována řada komfortních spotřebičů pro rychlé ohřátí a bezpečný výhled z kabiny vozidla. Tato situace simulovala náročné zimní podmínky, kdy uživatel očekává okamžité zahřátí interiéru, tím pádem průměrná spotřeba klimatizace $4\ 004\ \text{Wh}$ byla v tomto případě nejvyšší. Naopak, při nižších teplotách $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při průměrných venkovních teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ došlo k postupnému snižování spotřeby klimatizační jednotky, což naznačuje lepší účinnost klimatizačního systému v mírnějším počasí. Dále bylo zjištěno, že při simulované letní teplotě $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla spotřeba energie klimatizace minimální. Z tohoto měření jasně vyplývá, že řídicí jednotka klimatizace pouze udržovala nastavenou teplotu. Na rozdíl od ostatních měření nebylo nutné razantně

ohřívat či ochlazovat kabinu vozidla, tím pádem se značně snížila energetická spotřeba klimatizace na nejnižší průměrnou spotřebu 235 Wh ze všech měření. Tyto výsledky poskytly v předchozím zkoumání dostatek informací pro potvrzení hypotézy, zabývající se významem vlivu okolního prostředí na výslednou spotřebu klimatizačního zařízení moderního elektromobilu. Venkovní teplota a vnější podmínky okolního prostředí mají významný vliv na spotřebu klimatizačního zařízení elektrických vozidel a zároveň mají vliv i na celkovou ekonomiku provozu elektromobilu. Výsledky zaznamenané spotřeby klimatizace v jednotlivých měření byly ekonomicky zhodnoceny a přepočteny na ujetý km. Ekonomicky nejnáročnější provoz elektromobilu nastal tedy v 1. měření při venkovní teplotě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy spotřeba klimatizace vycházela na 0,837 Kč v přepočtu na 1 ujetý km. Poté se náročnost provozu klimatizačního zařízení snižovala s teplotou přibližující se nastavené teplotě v kabině elektromobilu $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato zjištění jsou důležitá v optimalizaci provozních nákladů a zvýšení efektivity použití elektromobilů v různých klimatických podmínkách.

6 Seznam použitých zdrojů

1. Wouters, Jan. *De elektrische auto. Is Het Marktaandeel van 1914 in 2020 Haalbaar?* Eindhoven, Netherlands : Pepijn, 2013. ISBN 9789078709220.
2. H. C. Righolt, F. G. Rieck. *Energy chain and efficiency in urban traffic for ICE and EV.* Barcelona, Spain : autor neznámý, 2013.
3. Chung Yang, Jui-Che Tu, Qianling Jiang. *The Influential Factors of Consumers' Sustainable Consumption: A Case on Electric Vehicles in China.* 2020.
4. Gordon O. Ewing, Emine Sarigöllü. *Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives.* 1998.
5. Jurgen Buekers, Mirja Van Holderbeke, Johan Bierkens, Luc Int Panis. *Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in eu countries.* 2014.
6. Messagie, M., a další. *A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle.* 2014.
7. ElTayeb, T.K. *The examination on the drivers for green purchasing adoption among ems.* 2010.
8. Morganti, E. a Browne, M. *Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in france and the uk: An operator perspective.* 2018.
9. Rokicki, T., a další. *Differentiation and Changes of Household Electricity Prices in EU Countries.* 2021.
10. Tiano, F.A., Rizzo, G., Marra, D. *esign and Optimization of a Charging Station for Electric Ve- hicles based on Compressed Air Energy Storage.* 2018.
11. Jiang, C., Torquato, R., Salles, D., Xu, W. *Method to Assess the Power-Quality Impact of Plug-in Electric Vehicles.* 2014.
12. Broy, A., Sourkounis, C. *Influence of charging electric vehicles and on the quality of the distribution grids.* 2011.
13. Karmaker, A.K., Roy, S., Ahmed, M.R. *Analysis of the Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality Issues.* 2019.
14. Seba, T. *Clean Disruption of Energy and Transportation.* Stanford, CA, USA : autor neznámý, 2014. ISBN 9780692210536.
15. Rokicki, T., a další. *Energy Self-Subsistence of Agriculture in EU Countries.* 2021.
16. R., Berger. *Automotive Disruption Radar.* Munich, Germany : autor neznámý, 2017.
17. Ling, Z., Cherry, C.R. a Wen, Y. *Determining the Factors That Influence Electric Vehicle Adoption: A Stated Preference Survey Study in Beijing, China.* 2021.
18. Liao, F., Molin, E. a van Wee, B. *Consumer preferences for electric vehicles: A literature review.* 2016.
19. Lane, B. a Potter, S. *The adoption of cleaner vehicles in the uk: Exploring the consumer attitude–action gap.* 2017.

20. Krupa, J.S., a další. *Analysis of a consumer survey on plug-in hybrid electric vehicles*. 2014.
21. What are the different types of Electric vehicle? *Charge Wizard*. [Online] <https://chargewizard.com/news/what-are-the-different-types-of-electric-vehicle>.
22. Škoda Auto. Škoda-Storyboard. [Online] 10. 8 2020. <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>.
23. ŠA Storyboard. *Druhy elektromobilů*. [Online] <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>.
24. Miškovský, Ondřej. Elektrické vozy. *Typy elektromobilů*. [Online] <https://elektrickevozy.cz/clanky/typy-elektromobilu-a-jak-je-rozeznat>.
25. Pro koho se hodí jaký hybrid? Děláme pořádek v elektrifikaci. *Tip cars*. [Online] <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/hybrid-elektromobil-plugin-vodik-baterie-cena-20032023.html>.
26. How Do All-Electric Cars Work? *AFDC*. [Online] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>.
27. Mehrdar Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Ehmadi. *Modern Electric, Hybrid Electric, and fuel cell vehicles*. Florida, USA : CRC, 2005. ISBN 0-8493-3154-4.
28. Bureš, David. Tajemství platformy MEB. *Auto.cz*. [Online] <https://www.auto.cz/tajemstvi-platformy-meb-skoda-odhaluje-detaily-techniky-pro-elektromobily-136345>.
29. A Tale of Two Powertrains. *VW*. [Online] <https://www.vw.com/en/newsroom/future-of-mobility/meb-v-mqb.html>.
30. Eckard Helmers, Patrick Marx. *Electric cars: technical characteristics and environmental impacts*. 2012.
31. Larminie J, Lowry J. *Electric vehicle technology explained*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Ltd, 2003. ISBN 9780470851630.
32. Bejblík, Jan. *Elektrické pohony automobilů*. Praha : ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 2017.
33. Jan Hromádka, Ph.D. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha 7 : Grada Publishing a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
34. Jony J. Eckert, Ludmila C.A. Silva, Eduardo S. Costa, Fabio M. Santiciolli, Franco G. Dedini, Fernanda C. Corrêa. *Electric vehicle drivetrain optimisation*. 2017.
35. Edulab. *Škoda Auto Edulab*. [Online] <https://skodaauto-edulab.cz/eduzona/tymova-spoluprace/>.
36. Portál řidiče. *Proč elektromobily většinou nemají převodovku?* [Online] <https://www.portalridice.cz/clanek/prevodovka-v-elektromobilech>.
37. F. A. Machado, P. J. Kollmeyer, D. G. Barroso and A. Emadi. *"Multi-Speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles: Current Status and Future Trends*. 2021.
38. Hršínský, Jiří. Základní parametry baterií v elektromobilech. [Online] <https://www.elonx.cz/zakladni-parametry-baterii-v-elektromobilech/>.

39. Devinn. *Baterie elektromobilu*. [Online] [https://www.devinn.cz/blog/baterie-
elektromobilu](https://www.devinn.cz/blog/baterie-
elektromobilu).
40. Batteries. *VW*. [Online] [https://www.vw.com/en/newsroom/everything-
electric/batteries.html](https://www.vw.com/en/newsroom/everything-
electric/batteries.html).
41. BMS. *EV expert*. [Online] <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/bms>.
42. Rui Xiong, and Weixiang Shen. *Advanced Battery Management Technologies for
Electric Vehicles*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Incorporated, 2019. ISBN -
9781119481676.
43. Software and Controls for BEV. *AVL*. [Online] [https://www.avl.com/en/engineering/e-
mobility-engineering/battery-development/software-and-controls-bev](https://www.avl.com/en/engineering/e-
mobility-engineering/battery-development/software-and-controls-bev).
44. Bhise, Vivek D. *Ergonomics in the automotive design process*. Boca Raton : Taylor &
Francis Group, 2012. ISBN -978-1-4398-4211-9.
45. Chundela, Libor. *Ergonomie*. Praha : Česká technika - ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-
05173-3.
46. Biksadský, Tomáš. *Řízení prostředí kabiny moderního osobního vozidla*. Praha : autor
neznámý, 2022.
47. Miroslav, Král. *Ergonomický výkladový slovník*. Rožnov pod Radhoštěm : Rožnovský
vzdělávací servis, 1999.
48. Marshall G.J., Mahony C.P., Rhodes M.J., Daniewicz S.R., Tsolas N., Thompson S.M.
*Thermal management of vehicle cabins, external surfaces, and onboard electronics:
An overview*. 2019.
49. Lim J.R., Baek G.H., Jeon E.S. *Analysis of the correlation between thermal sensations
and brain waves via EEG measurements*. 2012.
50. VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství
Mokrohorská 34, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
51. —. *Koncepce motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000.
ISBN 80-238-5276-0.
52. Ormandy D., Ezratty V. *Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing
strategies*. 2012.
53. Funkce chladicího okruhu. *Autoklima*. [Online] [https://www.auto-klima.cz/top-
vseobecne-85](https://www.auto-klima.cz/top-
vseobecne-85).
54. Gscheidle, R. a kol. *Příručka pro automechanika*. Praha : Sobolátes, 2002. str. 640.
ISBN 80-85920-83-2.
55. Automotive air conditioning. *Mahle*. [Online] [https://www.mahle-
aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/klima/kompaktwissen-ac-
fahrzeugklimatisierung-en-screen.pdf](https://www.mahle-
aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/klima/kompaktwissen-ac-
fahrzeugklimatisierung-en-screen.pdf).
56. Expanzní ventil klimatizace. *Škoda dily*. [Online] [https://www.skoda-dily.cz/nahradni-
dil/6n0820679a-expanzni-ventil-klimatizace-11230.html](https://www.skoda-dily.cz/nahradni-
dil/6n0820679a-expanzni-ventil-klimatizace-11230.html).
57. Součásti klimatizačního okruhu . *Schiessll*. [Online] [https://www.schiessll.cz/stranka-
soucasti-klimatizacniho-okruhu-119](https://www.schiessll.cz/stranka-
soucasti-klimatizacniho-okruhu-119).

58. Kondenzátor Audi A1. *Autodily Ruby*. [Online]
https://www.autodilyruby.cz/files/prod_images/temp_big/9533k8c1.png.
59. Kdy jste naposledy měnili vysoušeč? *Motofocus*. [Online]
<https://motofocus.cz/technika/36570,kdy-jste-naposledy-menili-vysousec>.
60. Jan, Elišák. *Filtry Elišák*. [Online] <http://www.filtry.elisak.cz/>.
61. Kabinový filtr Mann. *E-shop car*. [Online] <https://www.eshop-car.cz/kabinovy-filtr-mann-filter-cuk27009-s-aktivnim-uhlim/>.
62. Dittrich, Lukáš. Termomanagement elektromobilů a tepelné čerpadlo. *Automobil revue*. [Online] 2022.
https://www.automobilrevue.cz/rubriky/clanky/technika/termomanagement-elektromobilu-a-tepelne-čerpadlo_48577.html?_zn=aWQ9MjM4NDcxMDEwMjY2NDIzMjQyNXx0PTE3MTA2ODQ5MDMuNTQwfHRIPTE3MTE2ODcwMTEuOTE3fGM9QTE5NDZEOTc0MUJGRjkwMkZENEVERTIGM0U4MjgxQzE%3D.
63. Ilinca Nastase, Paul Danca, Florin Bode, Cristiana Croitoru, Lucian Fechete, Mihnea Sandu, Costin Ioan Coșoiu, . *A regard on the thermal comfort theories from the standpoint of Electric Vehicle design — Review and perspectives*. 2022.
64. Zhenying Zhang, Jiayu Wang, Xu Feng, Li Chang, Yanhua Chen, Xingguo Wang. *The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review*. 2018.
65. Torregrosa B, Payá J, Corberán JM. *Torregrosa B, Payá J, Corberán JM*. 2011.
66. Škoda Auto. *Enyaq Coupé RS*. [Online] <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-coupe-rs/enyaq-coupe-rs-iv-technicke-udaje>.
67. Konfigurátor. *Škoda Auto*. [Online] 2024. <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/colors-scenic?activePage=colors&color=5X5X&configurationId=&extraEquipments=GPJS PJS&id=CZE%3Bskoda%3B2024%3B5ACJR4%3B1%3BGYONYON%3Bmda20240222080412%3Bcs-CZ%3B%3B63508%3B63688&interior=EF&modifiedPages=colors%7Cwheels&s>.
68. Radek Foit. *SK 316-6 výkon topení z -12°C a na 21°C*. Mladá Boleslav : Škoda Auto, 2024.
69. *Skupina ČEZ*. [Online] 19. 12 2023. <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/elektrina-do-e-aut-od-cez-zlevni-zakaznici-s-tarifem-premium-usetri-az-35-na-nejvykonnejsich-panicich-ve-srovnani-s-neregistrovanymi-uzivateli-186289>.
70. První automobil s klimatizací byl vyroben v 60. letech. *Tech instory*. [Online] <https://tech.instory.cz/791-prvni-automobil-s-klimatizaci-byl-vyroben-v-60-letech-tehdy-se-jednalo-o-nevidany-luxus.html>.
71. Autoroad. Klimatizace chladí automobily již 64 let, její cesta však nebyla nejsnazší. *Autoroad*. [Online] <https://autoroad.cz/technika/87526-klimatizace-chladi-automobily-jiz-64-let-jeji-cesta-vsak-nebyla-nejsnazsi>.
72. Kabinový filtr BOSCH. *E-shop car*. [Online] <https://www.eshop-car.cz/kabinovy-filtr-bosch-bo1987435018/>.
73. Ovládání topení a klimatizace - manuální. *Autodily Vojkov*. [Online] <https://www.autodilyvojkov.cz/69143-ovladani-topeni-a-klimatizace->

- manualni?znacka=Renault&model=Renault%20Thalia%202001%20-%202008&motorizace=&gclid=Cj0KCQjw3IqSBhCoARIsAMBkTb1Kb5vBpIe3eWcLIR7AoczpDqiG5JI-ojH3e9Tyt10t7hglvisrnl0aAs1IEALw_wcB.
74. Panel automatické klimatizace. *Automultimedia*. [Online] <https://www.automultimedia.cz/cz/shop/klimatizace-13/oem-3t0907044bn-panel-automaticke-klimatizace-climatronic/>.
75. ČEZ, Skupina. Elektromobilita. [Online] <https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/elektromobilita/faq/elektromobilita>.
76. Aktivní bezpečnost. *Besip*. [Online] <http://www.ibesip.cz/tematicke-stranky/cestujeme-autom/asistencni-systemy-v-autech/aktivni-bezpecnost>.
77. Rabl, Benedikt. *Heat Pump Air Conditioning Systems for Optimized Energy Demand of Electric Vehicles*. Graz : Springer International Publishing AG, 2018. 978-3-319-57445-5.
78. Proč používat nezávislé topení? *Webasto Comfort*. [Online] <https://www.webasto-comfort.com/cs-cz/vytapeni/nezavisle-topeni-do-auta/>.

6.1 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 DOPAD ELEKTRICKÝCH VOZIDEL NA VEŘEJNOU ELEKTRICKOU ROZVODNOU SÍŤ (13).....	3
OBRÁZEK 2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POHONU ELEKTROMOBILŮ, (21).....	4
OBRÁZEK 3 ROZDÍL MEZI PLATFORMOU MEB (VLEVO) A MQB (VPRAVO), (29).....	6
OBRÁZEK 4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POHONU ELEKTRICKÝCH VOZIDEL, (30).....	7
OBRÁZEK 5 ZPŮSOB UMÍSTĚNÍ POHONU KOL, (34).....	8
OBRÁZEK 6 PLATFORMA MEB ENYAQ 4X4 (BATERIE 82 KWH), (35).....	9
OBRÁZEK 7 KONSTRUKCE BATERIE, (39).....	12
OBRÁZEK 8 POPIS CHEMICKÉ REAKCE LITHIUM-IONTOVÉ BATERIE, (40).....	14
OBRÁZEK 9 BMS ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA OD FIRMY AVL, (43).....	15
OBRÁZEK 10 ROZLOŽENÍ TLAKU VZDUCHU PŮSOBÍCÍHO NA KAROSERII OSOBNÍHO VOZIDLA, (51).....	18
OBRÁZEK 11 SCHÉMA OBĚHU CHLADÍCÍHO MÉDIA, (53).....	20
OBRÁZEK 12 SCHÉMA KONCEPCE KLIMATIZAČNÍHO OKRUHU KONVENČNÍHO VOZIDLA, (50).....	21
OBRÁZEK 13 EXPANZNÍ VENTIL ŠKODA OCTAVIA, (56).....	22
OBRÁZEK 14 SCHÉMA PÍSTOVÉHO KOMPRESORU, (55).....	22
OBRÁZEK 15 KONDENZÁTOR AUDI A1, (58).....	23
OBRÁZEK 16 VYSOUŠEČ VZDUCHU, (59).....	23
OBRÁZEK 17 VÝPARNÍK BMW E92, (59).....	24
OBRÁZEK 18 FILTR S AKTIVNÍM UHLÍM, (61).....	25
OBRÁZEK 19 TERMOMANAGEMENT AUDI E-TRON, (62).....	27
OBRÁZEK 20 MEB PLATFORMA ELEKTRICKÝCH AUTOMOBILŮ, (22).....	31
OBRÁZEK 21 TECHNICKÉ ROZMĚRY ŠKODY ENYAQ RS COUPÉ, (66).....	32

OBRÁZEK 22	BATERIE ŠKODY ENYAQ IV PRO MEB PLATFORMU, (22)	33
OBRÁZEK 23	ŠKODA ENYAQ RS COUPÉ, (67)	34
OBRÁZEK 24	DATALOGGER GL 5370 PŘIPOJENÍ K SBĚRNICI ENYAQU, (VLASTNÍ ZDROJ) 35	
OBRÁZEK 25	MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ ALHBORN 5690-2 S ROZMÍSTĚNÝMI TEPLOTNÍMI SENZORY, (VLASTNÍ ZDROJ)	36
OBRÁZEK 26	TRASA PRO MĚŘENÍ V PROVOZU, (VLASTNÍ ZDROJ)	37

6.2 Seznam grafů

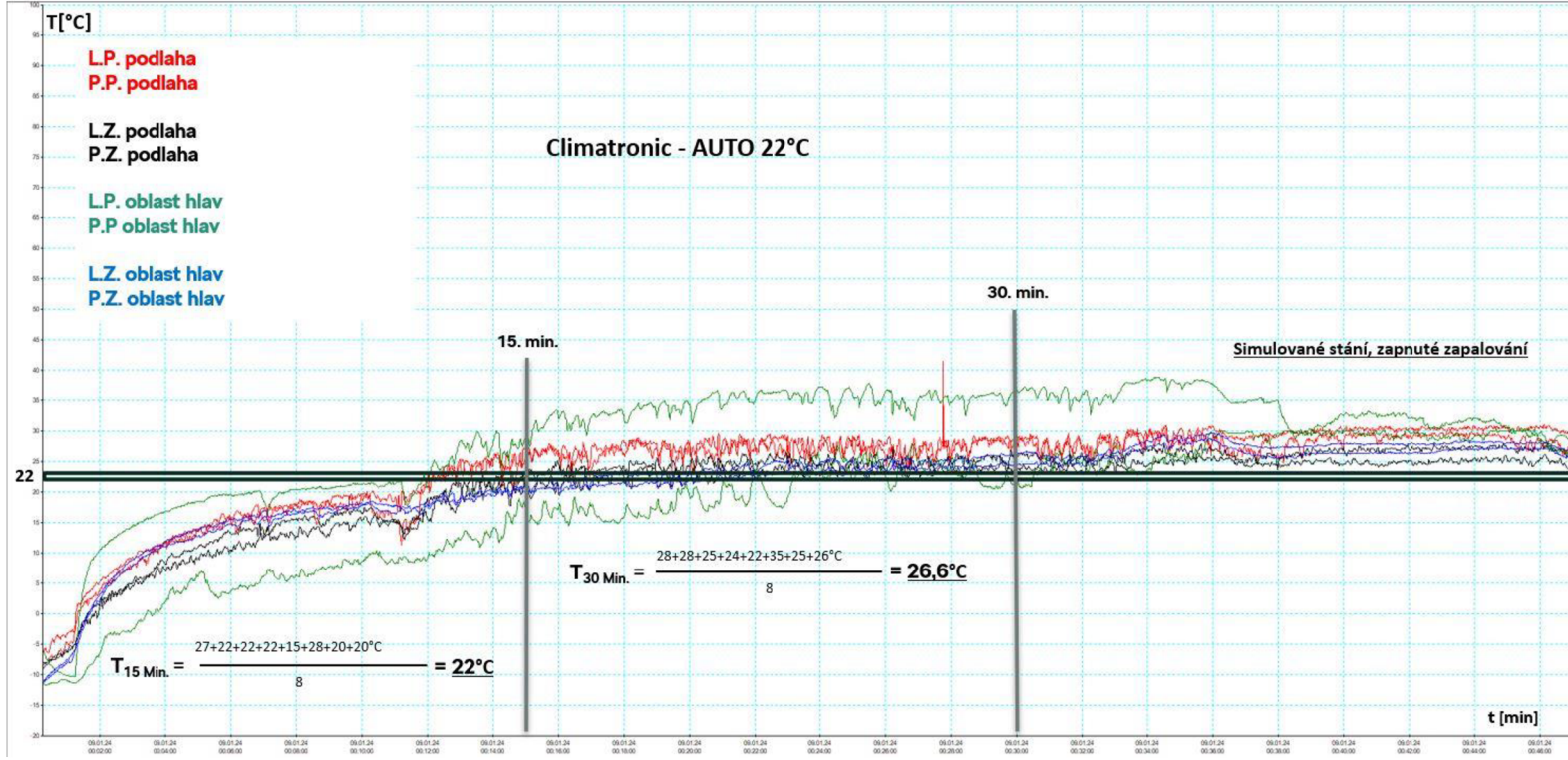
GRAF 1	TEPLTNÍ KŘIVKA ZMĚNY TEPLoty V INTERIÉRU PŘI -12 °C, (68) ...	39
GRAF 2	TEPLTNÍ KŘIVKA ZMĚNY TEPLoty V INTERIÉRU PŘI 21 °C, (68).....	41
GRAF 3	POKLES NABITÍ BATERIE PŘI -12 °C SE ZAPNUTÝMI KOMFORTNÍMI SPOTŘEBIČI, (VLASTNÍ ZDROJ).....	43
GRAF 4	SPOTŘEBA KLIMATIZACE PŘI -12 °C SE ZAPNUTÝMI KOMFORTNÍMI SPOTŘEBIČI, (VLASTNÍ ZDROJ).....	43
GRAF 5	PRŮBĚH POKLESU NABITÍ BATERIE PŘI -8 °C, (VLASTNÍ ZDROJ)	44
GRAF 6	SPOTŘEBA KLIMATIZACE PŘI -8 °C S VYPNUTÝMI KOMFORTNÍMI SPOTŘEBIČI, (VLASTNÍ ZDROJ).....	45
GRAF 7	PRŮBĚH POKLESU NABITÍ BATERIE PŘI 0 °C, (VLASTNÍ ZDROJ).....	46
GRAF 8	SPOTŘEBA KLIMATIZACE PŘI 0 °C S VYPNUTÝMI KOMFORTNÍMI SPOTŘEBIČI (VLASTNÍ ZDROJ).....	46
GRAF 9	PRŮBĚH POKLESU NABITÍ BATERIE PŘI 21 °C, (VLASTNÍ ZDROJ).....	47
GRAF 10	SPOTŘEBA KLIMATIZACE PŘI 21 °C S VYPNUTÝMI KOMFORTNÍMI SPOTŘEBIČI, (VLASTNÍ ZDROJ).....	48
GRAF 11	SOUHRNNÝ GRAF PRŮMĚRNÉ SPOTŘEBY ENERGIE Z JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ, (VLASTNÍ ZDROJ)	52

6.3 Seznam tabulek

TABULKA 1	SOUHRNNÝ PŘEHLED PODMÍNEK MĚŘENÍ, (VLASTNÍ ZDROJ).....	38
TABULKA 2	SOUHRNNÁ TABULKA S VYPOČTENÝMI NÁKLADY SPOTŘEBY KLIMATIZACE, (VLASTNÍ ZDROJ)	49
TABULKA 3	PŘEHLED TARIFŮ VEŘEJNÝCH NABÍJEČEK (1.Q, 2024), (69).....	51

7 Přílohy

Příloha 1: Teplotní křivka změny teploty v interiéru při -12 °C



Příloha 2: Teplotní křivka změny teploty v interiéru při 21 °C

