



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STRATEGIE TEPELNÉHO MANAGEMENTU KABINY EV VOZIDLA V HORKÉM A CHLADNÉM KLIMATU

EV VEHICLE CABIN THERMAL MANAGEMENT STRATEGY IN HOT AND COLD CLIMATES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Matušková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Bc. Jan Fišer, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Studentka:	Bc. Lucie Matušková
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bc. Jan Fišer, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Strategie tepelného managementu kabiny EV vozidla v horkém a chladném klimatu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Spotřeba komfortních systémů (klimatizace/vytápění, vyhřívání sedadel, volantu atd.) má nezanedbatelnou energetickou spotřebu, která je zásadní hlavně pro dojezd vozidel s EV pohonem. U EV vozidel je tedy nezbytné podrobněji se zabývat tepelným managementem kabiny s cílem minimalizace energetické náročnosti HVAC systémů, ale při zachování tepelného komfortu a všech nezbytných služeb pro bezpečnou jízdu (odmlžování skel, odmrazování zrcátek atd.).

Cíle diplomové práce:

Cílem DP je proměřit na reálném voze (např. Superb iV, Enyaq) jaká je reálná spotřeba systémů pro vytvoření tepelného komfortu (HVAC) v kabině při různých okolních klimatických podmínkách. Testy budou provedeny v klimakomoře FSI nebo v reálných provozních podmínkách s cílem vyhodnotit jaké nastavení je optimální vzhledem k minimalizaci spotřeby energie na HVAC při zachování tepelného komfortu v kabině. Diplomant/ka musí navrhnout postup měření (design of experiment), postup určení spotřeby jednotlivých komfortních systémů a provést a vyhodnotit nezbytné experimenty.

Seznam doporučené literatury:

Vehicle thermal management systems conference and exhibition (vtms11): 15-16 may 2013, coventry technocentre, uk. Philadelphia, PA: Woodhead Pub., 2013. ISBN 9780857094728.

Vehicle thermal management: heat exchangers & climate control. Editor Gursaran D. MATHUR. Warrendale: Society of Automotive Engineers, c2004. PT (SAE). ISBN 0-7680-1445-X.

DALY, Steven. Automotive air-conditioning and climate control systems. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 9780750669559.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce je provést experiment za účelem změření teploty, při které je dosaženo optimálního tepelného komfortu. Experiment je proveden v klimakomoře, kde lze zajistit konstantní klimatické podmínky působící na vozidlo. Pro změření tepelného komfortu je použit měřicí systém iHVAC. Dále hodnoty porovnat s předcházejícím měření, které probíhalo pro jiné vozidla. Část práce je věnovaná řešerši, která popisuje problematiku tepelného managementu vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelný komfort, elektromobil, tepelný management elektromobilů, HVAC

ABSTRACT

The goal of the work is to conduct an experiment to measure the temperature at which optimal thermal comfort is achieved. The experiment is carried out in a climate chamber, where constant climatic conditions acting on the vehicle can be ensured. The iHVAC measuring system is used to measure thermal comfort. Then to compare the values with the previous measurement that took place for other vehicles. Part of the work is devoted to research that describe the issue of thermal management of vehicles.

KEYWORDS

Thermal comfort, electric vehicle, thermal management of electric vehicles, HVAC

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATUŠKOVÁ, L. *Strategie tepelného managementu kabiny EV vozidla v horkém a chladném klimatu*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Jan Fišer.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Bc. Jana Fišera, Ph. D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. května 2023

.....

Lucie Matušková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bc. Janu Fišerovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas věnovaný této diplomové práci. Dále bych chtěla poděkovat za pomoc, vedení a poskytnutí vozidla při měření experimentu v klimakomůře.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Elektromobil.....	12
1.1 Elektromotor	13
1.2 Akumulátory	15
1.2.1 Typy akumulátorů	15
1.2.2 Vlastnosti akumulátorů.....	18
1.3 DC/DC měnič	19
1.4 AC/DC měnič	19
1.5 Palubní nabíječka.....	19
1.6 Spotřeba elektromobilů.....	19
1.6.1 NEDC	19
1.6.2 WLTP	20
1.6.3 RDE	20
1.6.4 NEDC vs WLTP.....	20
2 Přenos tepla.....	22
2.1 Vedení (kondukce).....	22
2.2 Proudění (konvekce).....	23
2.3 Záření (Radiace)	24
3 Tepelný management vozidla	25
3.1 Tepelné okruhy	26
3.1.1 Akumulátorový.....	26
4 Systémy pro úpravu prostředí v kabině vozidla (hvac)	31
4.1 Vytápění.....	32
4.2 Chlazení	32
4.3 Větrání	32
5 Tepelné technologie ve vozidle.....	34
5.1 Tepelné čerpadlo.....	34
5.1.1 1-stupňový chladicí okruh	34
5.1.2 Tepelné čerpadlo ve vozidle	35
5.2 Fotovoltaické panely	36
5.2.1 Větrání interiéru.....	37
5.2.2 Dobíjení baterií	38
5.3 Vyhřívání bezpečnostní pásy	38
5.4 Termoelektrické články	40
5.4.1 Peltierův jev	40
5.4.2 Popis termoelektrického článku	40
5.4.3 Využití ve vozidle.....	41
5.5 Vyhřívání volant	41
5.5.1 PTC ohřívač.....	41
5.5.2 Popis vyhřívání volantu	42
5.6 Infravytápění.....	43

6	Tepelná pohoda	44
6.1	Měření tepelného komfortu	44
6.1.1	Fyzické osoby	44
6.1.2	Tepelný manekýn	44
6.1.3	iHVAC	45
6.2	Hodnocení tepelného komfortu	45
6.2.1	PMV (Predicted Mean Vote)	46
6.2.2	PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)	46
6.2.3	Místní tepelný diskomfort	46
6.2.4	Metoda ekvivalentní teploty a diagram komfortních zón	46
7	Experiment	48
7.1	Nastavení experimentu	48
7.1.1	Parametry sledované při měření	48
7.2	Klimatické podmínky experimentu	49
7.2.1	Studené klima (-5 °C)	49
7.2.2	Teplé klima (30 °C)	49
7.3	Použitá měřicí technika	49
7.3.1	Klimakomora vut fsi	49
7.3.2	Měřicí sondy	51
7.4	Zkušební test (pre-test)	51
7.4.1	Zimní	52
7.5	Měření zimního klima	57
7.5.1	Měření č. 1	57
7.5.2	Měření č. 2	66
7.6	Měření letní klima	74
7.7	Vytápění pomocí sedadel	82
8	Předcházející měření	84
8.1	Hyundai Kona electric	84
8.1.1	Zimní měření	84
8.1.1.1	Letní měření	87
8.2	Škoda Superb iV combi	90
8.2.1	Zimní měření	90
8.2.2	Letní měření	94
8.3	Škoda Enyaq	97
8.3.1	Zimní měření	97
8.3.2	Letní měření	100
9	Diskuze výsledků experimentů	104
9.1	Výsledky experimentů popsané v 7. kapitole	104
9.2	Porovnání výsledků ze 7. a 8. kapitoly	107
	Závěr	108
	Použité informační zdroje	109
	Seznam použitých zkratk a symbolů	115
	Seznam příloh	117

ÚVOD

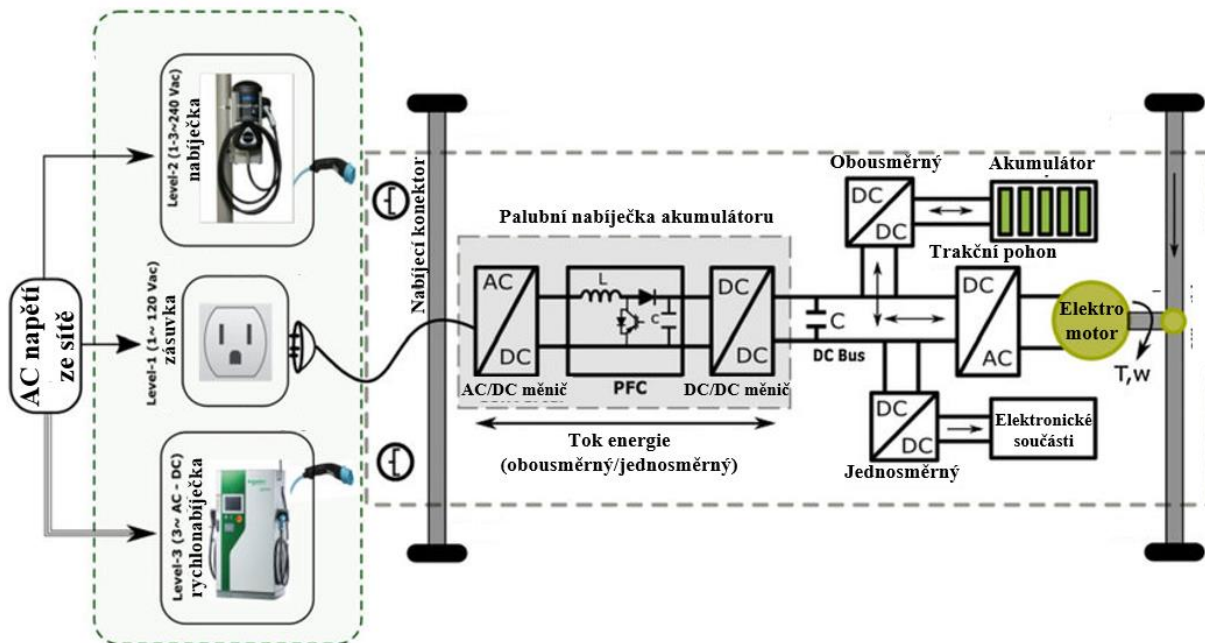
Při využívání vozidel je potřeba zajistit kvalitní prostředí v kabině vozidla pro udržení tepelné pohody osob jedoucích ve vozidle. Mezi nejběžnější způsoby udržení tepelné pohody patří topení a klimatizování prostoru kabiny.

Tato diplomová práce se zaměřuje na tepelný management elektromobilů v zimních a letních klimatických podmínkách. Na tepelný management je kladen vysoký důraz, protože zajišťuje optimální podmínky pro správnou funkci akumulátoru. Při správné funkci akumulátoru je zajištěno maximální množství energie, kterou lze může akumulátor poskytnout. Nicméně i při maximálním množství energie uložené v akumulátoru je snahou co nejmenší spotřeba energie na udržení tepelné pohody cestujících, protože energetická náročnost vytápění/chlazení interiéru vozidla snižuje dojezd vozidla. Vyšší energetickou náročnost vytápění interiéru lze snížit pomocí různých pomocných systému, které vytváří tepelnou pohodu posádky při menší energetické náročnosti. Mezi pomocné systémy patří vyhřívaná sedadla, vyhřívaný volant nebo vyhřívané bezpečnostní pásy. Energetickou náročnost lze snížit i pomocí technologických zařízení, jako je třeba tepelné čerpadlo. Některé další systémy jsou popsány v této diplomové práci.

Cílem je co nejvíce minimalizovat spotřebu energie na HVAC při zachování tepelného komfortu v kabině. V této diplomové práci jsou vyhodnoceny energetické náročnosti vytápění/chlazení několika vozidel při různých teplotách okolí a vliv vytápěných sedadel na snížení energetické náročnosti vozidla.

1 ELEKTROMOBIL

Elektromobil je dle [1] vozidlo, které je poháněno elektromotorem. Elektrická energie je uložena v bateriích akumulátorů nebo v jiných alternativních systémech (například vodík + palivový článek). Pomocí elektrické energie je poháněn elektromotor, který přenáší točivý moment přes jednoduchou jednostupňovou převodovku (může být i dvoustupňová) na hnaná kola, která jsou roztáčena.



Obr.1 Popis součástí elektromobilu [2]

Obr. 1 popisuje základní schematické rozvržení elektromobilu. Elektrická energie, která je získávána z elektrické sítě pomocí 3 různých druhů [3], kterými jsou:

- 230 V Zásuvka
- AC Wallbox
- DC Rychlonabíječka/Ultranabíječka

Zásuvky jsou nejjednodušší způsob nabíjení. Zásuvky jsou všude dostupné, ale jejich dobíjecí výkon je cca 3 kW, takže dobíjení trvá dlouhou dobu. Energie získaná pomocí zásuvky je přeměněna na DC napětí pomocí AC/DC měniče a následně je uložena přes DC/DC měnič do akumulátoru vozidla.

Wallbox je druh AC nabíječky, která slouží pro nabíjení elektromobilu. Jejich dobíjecí výkon je 7, 11 nebo 22 kW (dle typu zařízení) [4]. Energie získaná pomocí Wallboxu je stejně jako u zásuvky transformovaná pomocí AC/DC měniče na DC napětí a poté je přes DC/DC měnič uložena v akumulátoru.

Rychlonabíječka/ultranabíječka jsou DC nabíječky, které dosahují dobíjecího výkonu až 350 kW [5]. Tento typ nabíječek musí být chlazený a se zvyšujícím se výkonem vzrůstají ztráty v kabelu (vlivem zvyšujícího se proudu). Energie získaná pomocí této metody je změněna pomocí DC/DC měniče na DC napětí a poté je uložena do akumulátoru vozidla.

Akumulátor uchovává elektrickou energii ve formě DC proudu. DC/DC měnič převádí vysokonapěťový DC proud na nízkonapěťový, který vozidlo využívá k pohonu elektroniky nebo DC elektromotoru. AC/DC měnič napětí umístěný před motorem slouží pro přeměnu DC proudu na AC proud, který slouží k pohonu AC elektromotoru. Jeho další funkcí je přeměna proudu z AC na DC, který je získáván při rekuperaci a dodáván zpátky do akumulátoru. Elektromotor používá elektrickou energii k pohonu kol.

1.1 ELEKTROMOTOR

Elektromotor je stroj, který mění elektrickou energii na mechanickou. Skládá se z pohyblivé a nepohyblivé části viz obr. 2. Stator jež je nepohyblivá součást elektromotoru a rotor jež vytváří rotační pohyb. Elektromotor lze využívat v generátorovém režimu, při kterém mění mechanickou energii na elektrickou. Generátorový režim se využívá pro rekuperaci elektrické energie zpravidla při brzdění vozidla. Energie je dodávána zpět do akumulátoru.

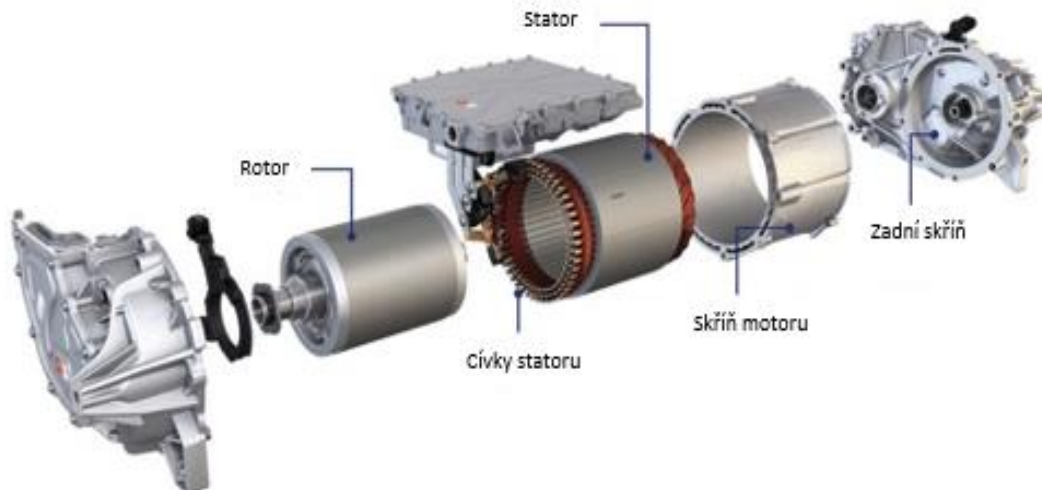
Elektromobily využívají různé druhy elektromotorů, kterými jsou [6]:

- asynchronní indukční motor
- aynchronní motor s permanentními magnety
- elektricky buzený synchronní motor

Asynchronní motor má měděné cívky (nebo vinutí) na statoru, na který je přiváděno střídavé napětí. V cívkách je generováno rotující magnetické pole, které indukuje napětí v rotoru což způsobuje tok proudu. Síla mezi 2 magnetickými poli roztáčí rotor a generuje mechanickou energii. Magnetická pole v rotoru a statoru jsou asynchronní a tím je tvořen skluz, který způsobuje nižší účinnost oproti synchronnímu motoru. Automobily využívající asynchronní motor jsou například Tesla model S, 3 a X.

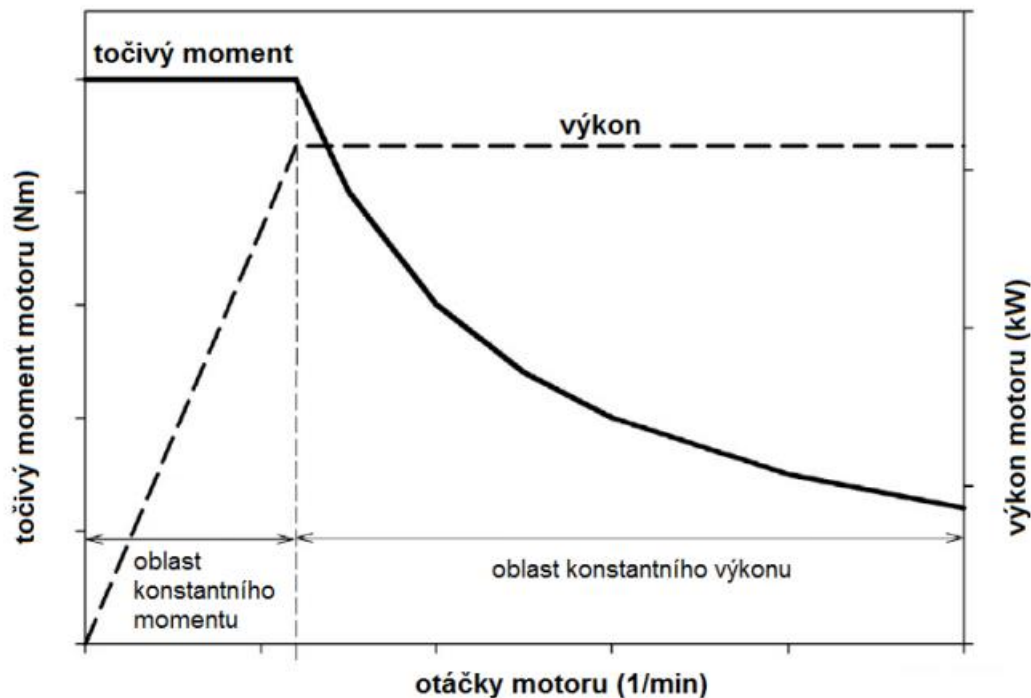
Synchronní motor se od asynchronního motoru liší tím, že má permanentní magnety a ty tvoří neustálé magnetické pole v rotoru. Magnetická pole rotoru a statoru jsou synchronní, a tím pádem zde není vytvářen skluz. Automobily využívající synchronní motor s permanentními magnety jsou například Hyundai Ioniq 5, nebo Porsche Taycan.

Elektricky buzený synchronní motor na rozdíl od předešlých 2 motorů nevyužívá magnety. Pro přenos proudu do rotoru používají kartáče a sběrací kroužky. Rotor motoru obsahuje cívky, které generují magnetické pole v závislosti na tekoucím proudu. Motor je využíván ve vozidlech BMW iX3 nebo Renault Megane E-TECH.



Obr. 2 Konstrukce synchronního motoru s permanentními magnety APP 310 od automobilky Volkswagen [7]

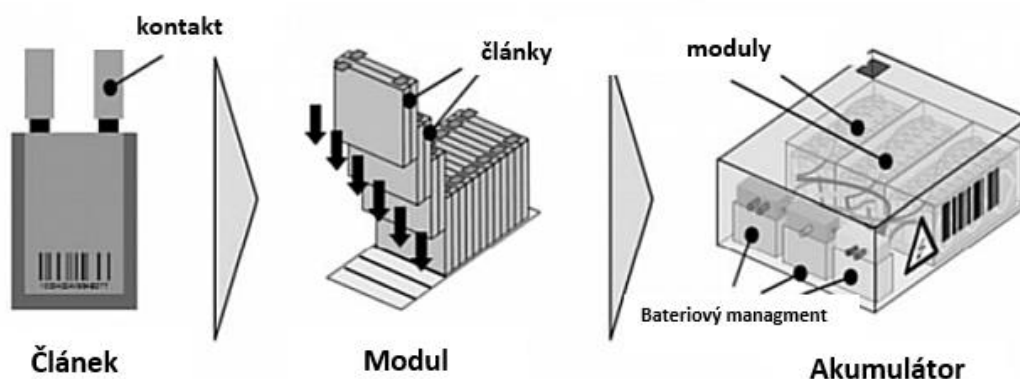
Mezi velké výhody elektromotoru se řadí schopnost dosáhnout maximálního točivého momentu z nulových otáček (obr. 3) na rozdíl od spalovacího motoru, který dokáže využít jen určitý rozsah točivého momentu. Díky této schopnosti není nutné instalovat vícestupňovou převodovku. Další výhodou je schopnost dosažení maximálního točivého momentu a maximálního výkonu během stejných otáček.



Obr. 3 Momentová a výkonová charakteristika motoru elektromobilu [8]

1.2 AKUMULÁTORY

Akumulátor je komponent, který slouží pro uchování elektrické energie, jež se používá pro pohon elektromobilu. Je možné jej opakovaně dobíjet. Akumulátory rozdělujeme dle chemického složení, každý plní jinou funkci a jsou vhodné pro jiný druh vozidla. Skládá se z jednotlivých modulů, které jsou tvořeny články, viz obr. 4. Články v modulu jsou zapojeny buď sériově, paralelně nebo sériovo–paralelně.



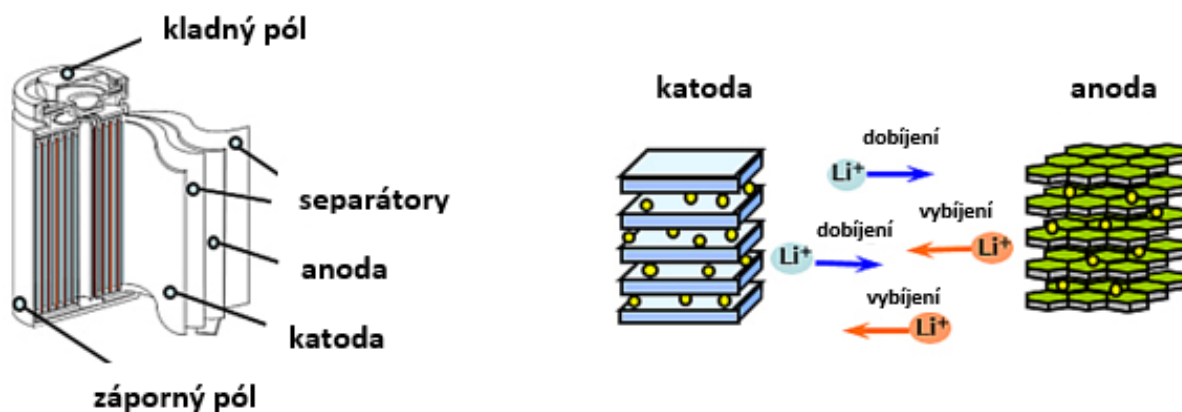
Obr.4 Popis konstrukce akumulátoru [9]

Akumulátor je obvykle umístován ve vozidle, co nejnižší, většinou do podlahy vozu. Je to z důvodu snížení těžiště vozidla a možnosti efektivní zástavby na tomto místě. Jelikož se akumulátory skládají především z různých kovů, které obecně mají vysokou hustotu, je hmotnost akumulátoru nezanedbatelná k váze celého vozu. Hmotnost akumulátoru liší v závislosti na kapacitě a modelu vozidla, kde je používán. Vozidlo Tesla S má akumulátor o hmotnosti cca 540 kg [10] při celkové hmotnosti vozidla 2 068 kg [11]. Existuje více typů akumulátorů, v současnosti jsou však nejvíce využívány akumulátory na lithium-iontovém principu.

1.2.1 TYPY AKUMULÁTORŮ

LITHIUM-IONTOVÝ

Typ akumulátoru, který využívá princip pohybu lithium-iontů mezi anodou a katodou. Ionty Lithia jsou umístěny mezi vrstvami anody i katody. Během nabíjení se ionty pohybují z katody na anodu (obr.5 vpravo). Během vybíjení se naopak ionty pohybují z anody na katodu. [12]



Obr.5 Konstrukce a chemické reakce v Li-Ion baterii [12]

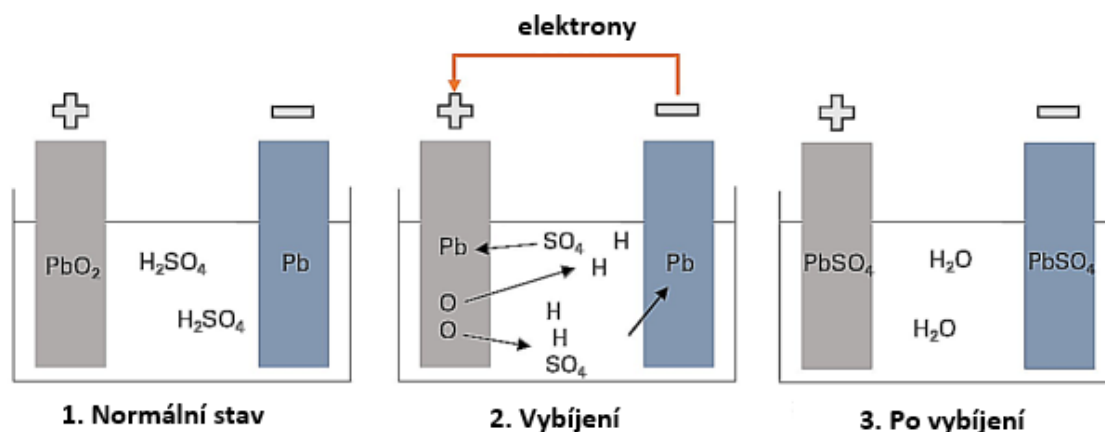
Na obr. 5 vlevo lze vidět schéma konstrukce lithium-iontového článku, který se skládá z katody a anody, které jsou oddělené separátory. Lithium-iontové baterie mají vysokou energetickou hustotu, oproti jiným typům baterie (např. olovněné) [13]. Z tohoto důvodu jsou v současné době nejvíce využívány.

Podskupinou lithium-iontových baterií je lithium železo fosfátový akumulátor s chemickým označením LiFePO_4 . V současnosti se průmysl zaměřuje právě na tento typ akumulátoru, protože využívá prvky, které nejsou tak vzácné, a tudíž lépe dostupné a nejsou toxické. Jsou schopny dodat vyšší proud a tím pádem nejsou tolik náchylné k explozi. Má vysokou životnost a vyšší počet nabíjecích cyklů. Mezi nevýhody patří nižší hustota energie [14].

OLOVNĚNÝ

Olovněné akumulátory využívají kyselý elektrolyt. Článek je tvořen katodou a anodou. Olovo je měkký materiál, a proto je k němu přidáván jiný kov (například vápník nebo cín), aby měl materiál lepší mechanické a chemické vlastnosti. Elektrolytem je zde směs kyseliny sírové (H_2SO_4) a destilované vody. Katoda je tvořena oxidem olovičitým (PbO_2) a anoda je tvořena olovem (Pb). Anoda i katoda jsou ponořeny v elektrolytu. [15].

Při normálním stavu (bez využívání akumulátoru), je katoda tvořena oxidem olovičitým, anoda olovem a oboje jsou ponořeny do elektrolytu (obr.6 vlevo). Při vybíjení (obr.6 uprostřed) akumulátoru se směs elektrolytu začne rozkládat na jednotlivé složky (vodík, kyslík a síran (SO_4)). Zároveň se začnou elektrony pohybovat od záporné elektrody do kladné. Sírové ionty přechází do záporné a kladné elektrody, kde tvoří síran olovnatý (PbSO_4). Kyslík uvolněný z kladné elektrody se pohybuje do elektrolytu, kde spolu s vodíkem vytváří vodu (H_2O). Během nabíjení probíhají chemické procesy v opačném pořadí. [15].



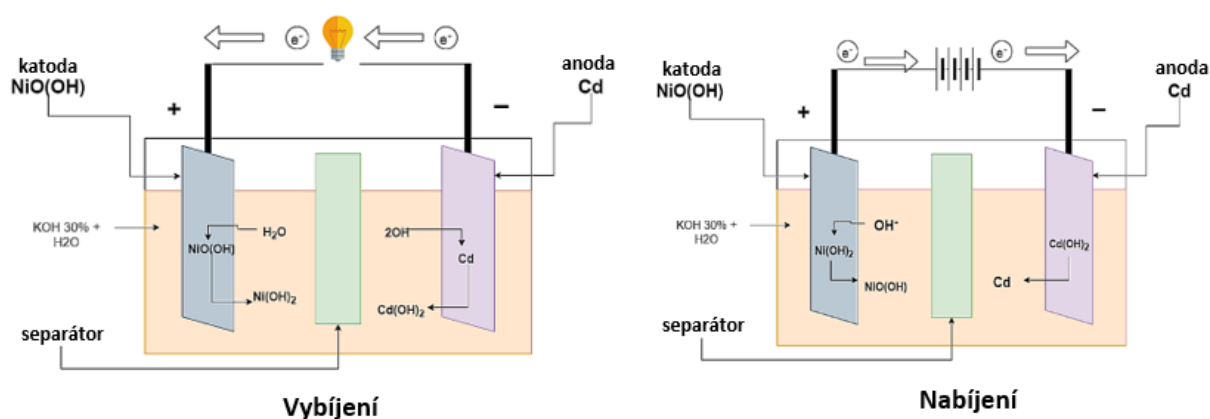
Obr.6 Chemické procesy v olovněné baterii od normálního stavu po konec vybíjení [15]

Hlavní výhodou těchto akumulátorů je jejich nízká cena, pomalé samovybíjení, udržují si dobré vlastnosti při vysokých i nízkých teplotách. Nevýhodami tohoto typu jsou rychlá ztráta kapacity a škodlivý dopad na životní prostředí kvůli obsaženému olovu. Mají nízkou hustotu, a proto jsou velmi těžké.

NIKL-KADMIOVÝ

Princip fungování nikel-kadmiového akumulátoru je velmi podobný principu olovněného akumulátoru. Anoda je obsažena z kadmia (Cd) a katoda z oxyhydroxidu nikelnatého (NiOOH). Katoda a anoda jsou ponořené ve směsi alkalického elektrolytu hydroxid draselný (KOH) a vody. Katoda a anoda jsou rozděleny separátorem. Při vybíjení (obr.7 vlevo) je elektrolyt rozdělen na H₂O a na 2OH. H₂O proudí do kladné katody, ze které vzniká sloučenina hydroxidu nikelnatého Ni(OH)₂. 2OH proudí do anody, ve které vzniká sloučenina hydroxidu kademnatého (Cd(OH)₂) [16].

Při nabíjení se proces obrátí a na anodě vzniká kadmium a na katodě hydroxid nikelnatý (obr.7 vpravo).



Obr.7 Znáznornění chemických reakcí při vybíjení a nabíjení Nikl-Kadmiového akumulátoru [16]

Jsou to jedny z nejstarších akumulátorů. Jejich velkou výhodou je odolnost vůči hlubokému vybití a delší životnost. Mezi nevýhody patří nižší měrná kapacita oproti li-ion nebo NiMH

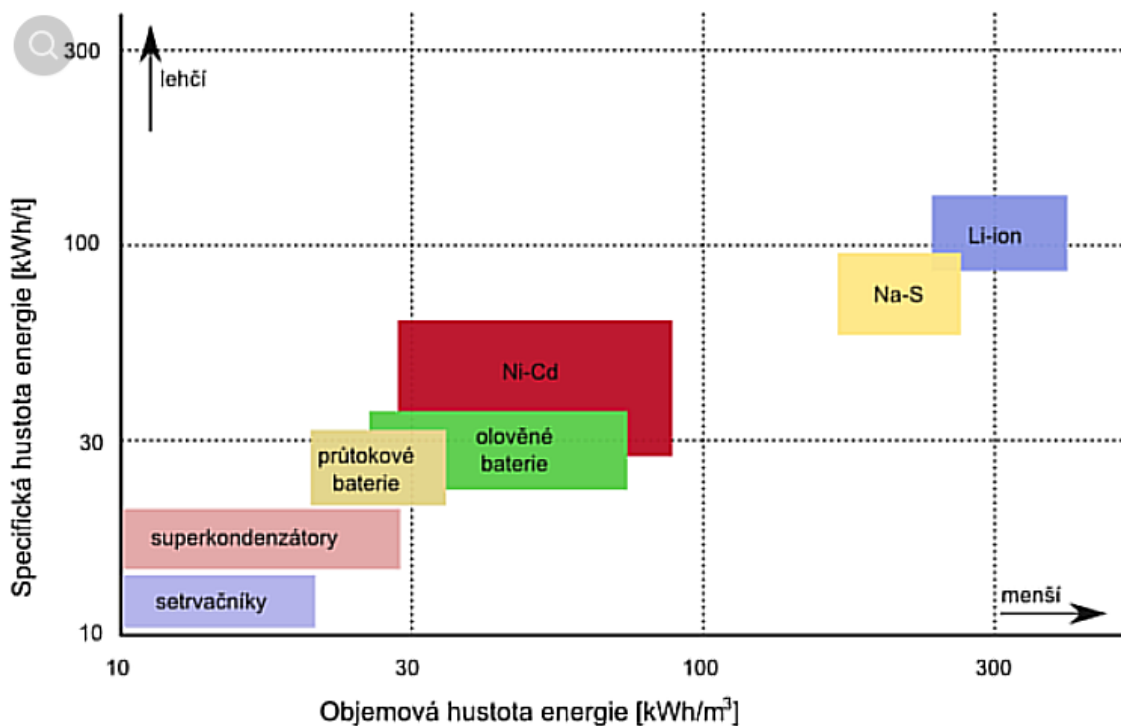
akumulátoru a škodlivý dopad na životní prostředí kvůli obsaženému kadmium, které je toxické [17].

Podkategorií nikel-kadmiových akumulátorů je nikel-metal-hydridový (NiMH). Má podobné složení jako NiCd akumulátor, liší se tím, že anoda místo kadmia používá vodík, tudíž není tolik škodlivý pro životní prostředí. Díky vodíku má akumulátor větší životnost, lepší stabilitu a kapacitu. Mezi nevýhody se řadí citlivost na přebíjení nebo úplné vybití [18].

1.2.2 VLASTNOSTI AKUMULÁTORŮ

HUSTOTA ENERGIE

Hustota energie udává množství energie, která je uložena v akumulátoru vztažená na hmotnost v jednotkách Wh/kg, nebo velikost Wh/m³. Čím větší hustota energie, tím více energie může vozidlo vydat. Akumulátor při určité kapacitě a s větší hustotou energie bude mít menší hmotnost a tím pádem příznivější vliv na spotřebu vozidla.



Obr. 8 Graf znázorňující specifickou hustotu energie na objemové hustotě energie pro různé akumulátory [19]

Obr. 8 znázorňuje různé druhy akumulátorů dle objemové a hmotnostní hustoty energie. V současné době patří lithium-iontové akumulátory mezi akumulátory s nejvyšší hustotou energie. Olovněné akumulátory mají oproti Lithium-iontovým akumulátorům přibližně 3x menší specifickou hustotu energie, a to je jeden z důvodů, proč nejsou olovněné akumulátory využívány.

KAPACITA

Kapacita baterie je veličina, vyjadřující schopnost akumulace elektrické energie v baterii a je určena hmotností aktivního materiálu obsaženého v baterii. Jmenovitá kapacita baterie je množství energie při maximálním nabití, které je uloženo v baterii a které lze v ideálních

podmínkách získat. V reálných podmínkách je velikost kapacity závislá na různých podmínkách, jako je například stáří, historie, nabíjení (nebo vybíjení) a teplota baterie [20].

Jedním z faktorů, které ovlivňují kapacitu baterie, je vysoká rychlost nabíjení/vybíjení, při které je vysoký vybíjecí/nabíjecí proud a ten způsobuje, že reaktanty mají málo času na uskutečnění reakce a přeměnu, čímž se snižuje dostupná energie. Teplota baterie má také vliv na kapacitu baterie. Se zvyšující se teplotou narůstá kapacita baterie, ovšem vyšší teplota snižuje životnost baterie, takže kapacita není navyšována pomocí vysoké teploty. Kapacita baterie je se zvyšujícím stářím baterie snižována vlivem degradace baterie a materiálů na anodě a katodě [20]. Jedním z faktorů, které rapidně snižují kapacitu je vybíjení/nabíjení mimo jmenovitý rozsah nabití baterie.

1.3 DC/DC MĚNIČ

Měnič je elektronické zařízení, které slouží pro převod stejnosměrného napětí z jedné napěťové úrovně na druhou. Rychlonabíječka dodávají DC napětí o hodnotě až 1000 V [21], ale součásti ve vozidle (akumulátor, elektronika vozidla atd.) využívají napětí s nižší hodnotou, například akumulátor uchovává energii o hodnotě napětí 355 V (Tesla 3) [22], a proto je třeba napětí snížit pomocí měniče.

1.4 AC/DC MĚNIČ

Slouží k přeměně stejnosměrného napětí DC na střídavé napětí AC, a naopak. Energie z akumulátoru je brána pomocí stejnosměrného napětí. Pro provoz některých elektromobilů je nezbytné AC napětí, a proto je nutné převést energii pomocí AC/DC měniče. Další funkcí měniče je přeměna AC napětí, které je vytvářeno během rekuperace, na DC napětí, které je ukládáno do akumulátoru.

1.5 PALUBNÍ NABÍJEČKA

Palubní nabíječka slouží k přeměně střídavého napětí získaného z nabíjecího konektoru na stejnosměrné napětí.

1.6 SPOTŘEBA ELEKTROMOBILŮ

Spotřeba elektromobilů se liší v závislosti na různých vlastnostech elektromobilu (hmotnost vozidla, styl jízdy atd.). Spotřeba elektromobilu je udávána v jednotce kWh/100 km. Každý výrobce udává u svého automobilu spotřebu, která je měřena testem daným normou.

1.6.1 NEDC

NEDC (New European Driving cycle) je standard pro měření spotřeby automobilu, který se využíval v Evropě od roku 1970. Z počátku byl určen pouze pro městský provoz, později byly přidány i testy pro mimoměstský provoz (1992) a spotřeba paliva a emisí (1997) [23]. NEDC už se nepoužívá, protože nevyhovuje současným hodnotám vyhodnocené v různých odvětvích, například se uvažuje maximální rychlost 120 km/h, což je pro dnešní provoz na silnicích nedostačující (max. rychlost na dálnici je 130 km/h). Mimo parametrů, které zcela nevyhovovaly reálnému provozu, byl NEDC test opuštěn i kvůli nesouladu laboratorních výsledků spotřeby a emisí s reálným provozem (viz skandál, „dieselgate“ [24]).

1.6.2 WLTP

WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) je standard pro měření spotřeby paliva a emisí [25]. Oproti NEDC poskytuje realističtější údaje o provozu vozidla viz obr. 9, například je zde uvažovaná maximální rychlost 131,3 km/h. WLTP test je nastaven pro městský, příměstský a dálniční provoz. Má 4 druhy rychlostí: nízké (až 56,5 km/h), střední (až 76,6 km/h), vysoké (až 97,4 km/h) a extra vysoké (až 131,3 km/h).

1.6.3 RDE

RDE (real driving emission) je test pro měření emisí v běžném provozu. Slouží pro reálné hodnoty měření emisí, které se značně liší od laboratorních hodnot emisí. Emise jsou měřeny pomocí přístroje PEMS (portable emission measurement systém), který měří emise přímo z výfuku vozidla během provozu. Celkový čas testu je 90-120 min [26].

Tab.1 Požadavky na RDE test (zdroj) [27]

Požadavky	Město	Mimo obec	Dálnice
Rychlost vozidla	0-60 km/h	60-90 km/h	90-145 km/h
% vzdálenosti z celku	29-44 %	23-43 %	23-43 %
Minimální vzdálenost	16 km	16 km	16 km
Průměrná rychlost	15-40 km/h	-	-
Celkový čas zastavení	6-30 %	-	-
Individuální čas zastavení	≤ 300 s	-	-
Rychlost > 100 km/h	-	-	≥ 5 min
Rychlost > 145 km/h	-	-	< 3% času na dálnici

Tab.1 zobrazuje požadavky na RDE test. Test probíhá ve 3 typech provozu (město, mimo obec, dálnice). Cílem testu je provést měření emise v co nejširším spektru provozu.

1.6.4 NEDC vs WLTP

Na obr. 9 je zobrazeno porovnání NEDC a WLTP testů. NEDC a WLTP testy se od sebe zásadně liší. NEDC neodpovídá realitě dnešního běžného provozu. Maximální rychlost v současnosti je 130 km/h (na dálnici) a průměrná rychlost je zdaleka vyšší (autorka diplomové práce čerpá ze svých zkušeností). Z těchto důvodů je WLTP mnohem realističtější test pro určení spotřeby vozidla.

	NEDC	WLTP
Doba cyklu	20 minut	30 minut
Vzdálenost cyklu	11 kilometrů	23,25 kilometrů
Řízení	2 fáze: řízení ve městě 66 % mimo město 34 %	4 fáze: řízení ve městě 52 % mimo město 48 %
Průměrná rychlost	34 km/h	46,5 km/h
Maximální rychlost	120 km/h	131 km/h
Vliv příplatkové výbavy	Příplatková výbava a její dopad na regulované emise (CO, HC, NOx, částice) a spotřebu paliva se nezohledňují	Příplatková výbava a její dopad na regulované emise znečišťujících látek (CO, HC, NOx, částice), emise CO ₂ a spotřebu paliva se zohledňují
Řazení (manuální převodovka)	Předem pevně dané stupně řazení	Řazení rychlostních stupňů podle vlastností vozu
Testovací teploty	Měření prováděné při teplotě 20–30 °C	Měření prováděné při teplotě 23 °C, poté při 14 °C u emisí CO ₂

Obr.9 Srovnání NEDC a WLTP testu [28]

WLTP test je prováděn při teplotě 23 °C (viz obr. 9), což odpovídá klimatu mezi jarem a létem, takže neodpovídá reálné spotřebě elektromobilu při zimním klimatu. Z tohoto důvodu je reálný dojezd 2x odlišný oproti udávané hodnotě WLTP.

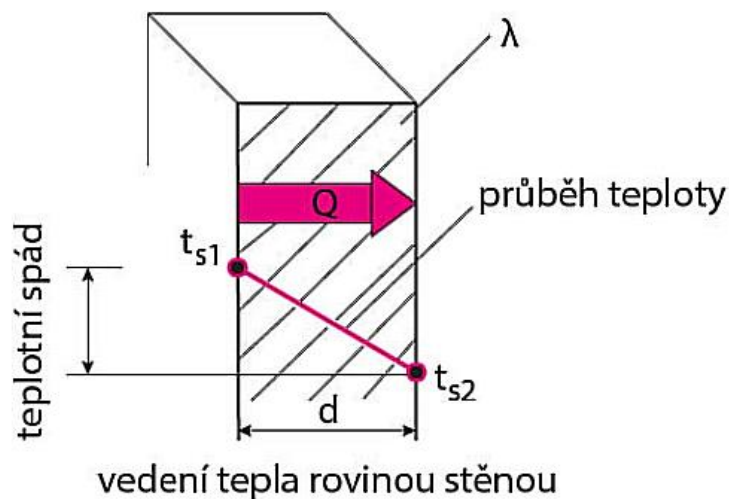
2 PŘENOS TEPLA

Přenos tepla je děj, kdy dochází k předávání tepelné energie z místa nebo prostředí o vyšší teplotě do místa nebo prostředí o nižší teplotě [29]. Ve vozidle dochází k přenosu tepla všemi způsoby v mnoha situacích (konkrétně popsány v kapitolách níže). Způsoby přenosu tepla se dělí na:

- Vedení
- Konvekce
- Radiace

2.1 VEDENÍ (KONDUKCE)

Přenos tepla probíhá uvnitř látek (obr.10). Tepelný tok vedením probíhá pomocí kinetické energie neuspořádaného pohybu molekul, která se přenáší při srážkách se sousedními molekulami [30]. Vedení dominuje v pevných látkách, ale může existovat i v kapalinách nebo v plynech.



Obr.10 Schéma vedení tepla rovinnou stěnou [29]

Tepelný tok vedením je definován pomocí Fourierova zákona [31]

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

kde

∂x elementární změna [m] (na obrázku šířka d)

S plocha kolmá k tepelnému toku [m^2]

λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

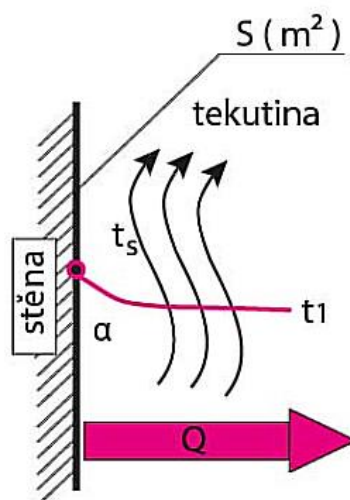
∂T teplotní spád [K]

Ve vozidle dochází k mnoha způsobům přenosu tepla vedením. Příklady mechanismů přenosu tepla vedením ve vozidle jsou:

- chladicí kapalina
- PCM materiály
- skla oken

2.2 PROUDĚNÍ (KONVEKCE)

Konvekce je přenos tepla probíhající mezi povrchem a okolní tekutinou (obr. 11) [29]. Tepelná energie se přenáší přemístěním molekul v prostoru pomocí přirozeného, nuceného (například pomocí ventilátoru), nebo kombinovaného proudění. Dominuje především v tekutinách.



Obr.11 Přestup tepla konvekcí [29]

Přestup je dán Newtonovým vztahem [31]:

$$\dot{Q} = -\alpha \cdot S \cdot (T_1 - T_s) \quad (2)$$

kde

α součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

S plocha kolmá k tepelnému toku [m^2]

T_1 teplota povrchu [K]

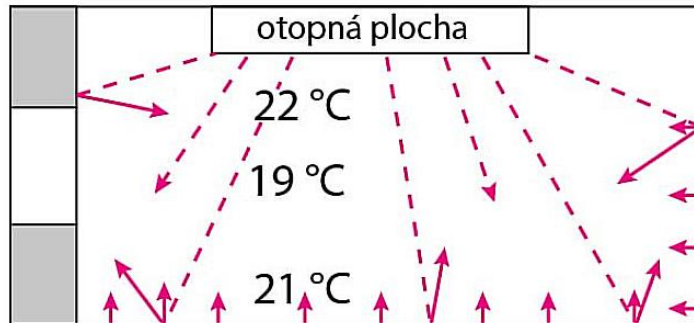
T_s teplota tekutiny [K]

Příklady mechanismů přenosu tepla jsou:

- mezi oknem a vzduchem v kabině vozidla
- mezi člověkem a vzduchem

2.3 ZÁŘENÍ (RADIACE)

Radiace je přenos tepla vznikající mezi 2 povrchy těles. Na rozdíl od vedení a konvekce, není radiace vázaná na hmotné prostředí, takže může probíhat i ve vakuu. Tepelný tok vzniká pomocí elektromagnetického záření dopadajícího na jiný objekt (obr.12) [31].



Obr.12 Přenos tepla pomocí radiace [29]

Vlastní zářivost černého tělesa E_0 je definovaná Stefan-Boltzmannovým zákonem [31].

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4 \quad (3)$$

kde

$\sigma_0 = 5,670\,374\,419 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ Stefan-Boltzmannova konstanta

Pokud se přemění zářivý tok při dopadu na objekt na tepelný tok, lze Stefan-Boltzmannův zákon psát ve tvaru:

$$\dot{Q}_0 = \sigma_0 \cdot S \cdot T^4 \quad (4)$$

S plocha kolmá k tepelnému toku [m^2]

Předchozí vztahy jsou určeny pro dokonalé zářiče. V realitě ale zářiče nejsou dokonalé, tato nedokonalost se určuje pomocí ε . Vztah pro nedokonalé zářiče je dán rovnicí (5)

$$\dot{Q}_0 = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot S \cdot T^4 \quad (5)$$

ε emisivita [-]

Příklady přenosu tepla pomocí radiací ve vozidle:

- vyhřívání sedadla, volant, bezpečnostní pás

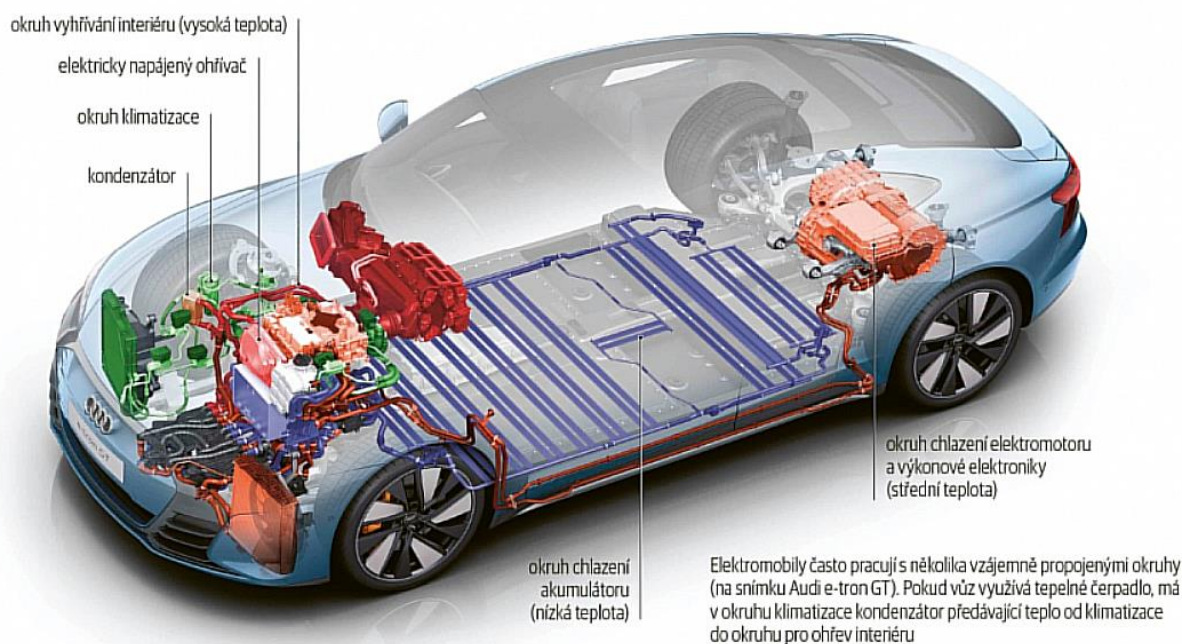
3 TEPELNÝ MANAGEMENT VOZIDLA

Systém tepelného managementu vozidla zajišťuje vhodné tepelné podmínky pro systémy vozidel jako je topení/klimatizace kabiny vozidla nebo chlazení/ohřev akumulátoru. U vozidel se spalovacím motorem je využíváno odpadní teplo z motoru pro vytápění kabiny automobilu. Elektromotor v elektromobilu pracuje s vysokou účinností, která se pohybuje kolem 85-90 % [32], a proto neprodukuje tolik odpadního tepla. Z tohoto důvodu musí být teplo „vyráběno“ z elektrické energie odebírané z baterie, čímž zbývá méně energie na pohon a snižuje se tak dojezd.

Pro správnou funkci každé součásti v automobilu je zapotřebí udržovat odlišné tepelné podmínky. Z tohoto důvodu se využívá více tepelných okruhů zajišťujících vhodné tepelné podmínky. Vzestup elektromobility způsobuje zaměření na lepší efektivnost využití energie v elektrovozidlech. Správný tepelný management udržuje součásti elektromobilu v optimálních podmínkách, čímž zlepšuje jejich vlastnosti, jako je životnost nebo funkčnost. Správnou funkčností součástí, jako je například akumulátor, se zmenší ztráty energie a tím se zvýší dojezd vozidla.

Každý výrobce vozidel má odlišný přístup pro tepelný management vozidla, takže každé vozidlo má odlišný počet tepelných okruhů. Pro představu budou popsány tepelné okruhy vozidla Audi e-tron [33]. Na obr. 13 lze vidět znázorněné čtyři okruhy tepelného managementu vozu Audi E-tron.

- chladič okruh (zelená barva)
- ohřívací okruh (červená barva)
- chladič okruh pro akumulátor (fialová barva)
- chladič okruh pro elektrické pohonné jednotky (oranžová)



Obr.13 Znázornění okruhů tepelného managementu Audi e-tron [34]

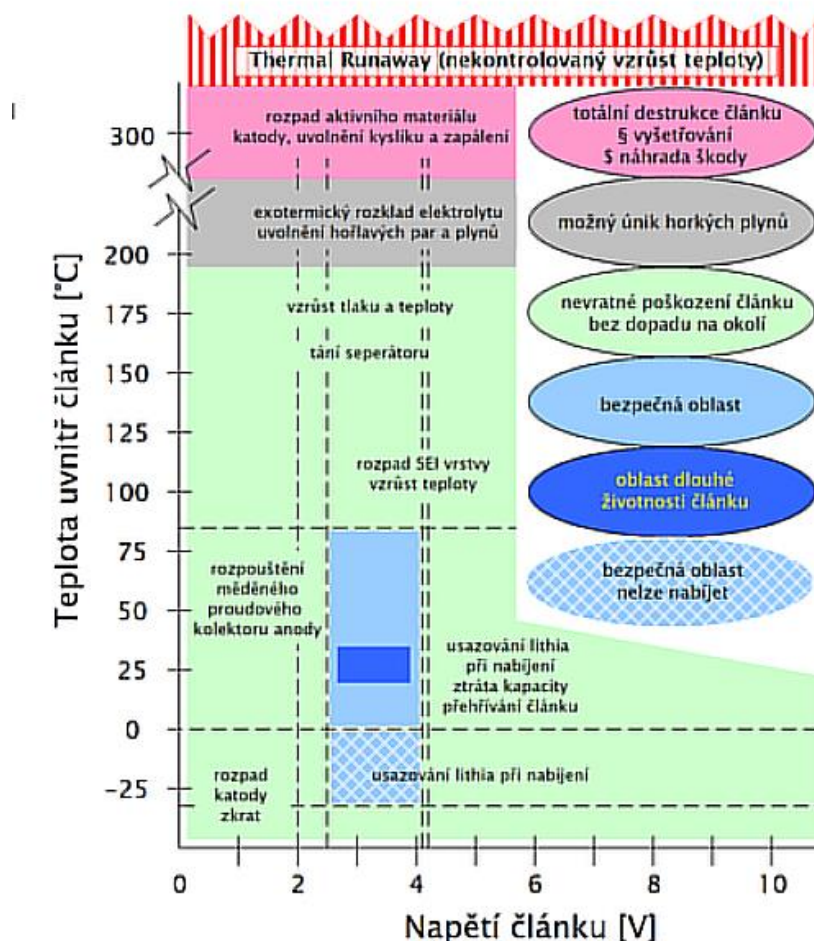
3.1 TEPELNÉ OKRUHY

3.1.1 AKUMULÁTOROVÝ

Cílem okruhu je udržovat optimální teplotu v akumulátoru vhodnou pro jeho funkci. Na akumulátor má vliv několik faktorů, které ovlivňují jeho provozní teplotu, jako je například okolní teplota, nebo zvyšující se teplota při nabíjení způsobená vytvářením Jouleova tepla, které je vytvářeno průchodem elektrického proudu v akumulátoru. Pokud je akumulátor dobíjen rychlonabíjecím způsobem, stoupá teplota až na 50 °C [35], a tím vznikají větší nároky na chlazení.

Každý výrobce vozidel si definuje vlastní rozmezí provozní teploty. Pracovníci z NREL (National Renewable Energy Laboratory) definovali 3 základní podmínky pro optimální chod akumulátoru [36]:

- optimální rozmezí pro akumulátory je 15 °C–35°C.
- teplotní rozdíly v akumulátory by neměly být menší než 3–4 °C
- eliminovat eventuální nebezpečí související s nekontrolovanou teplotou

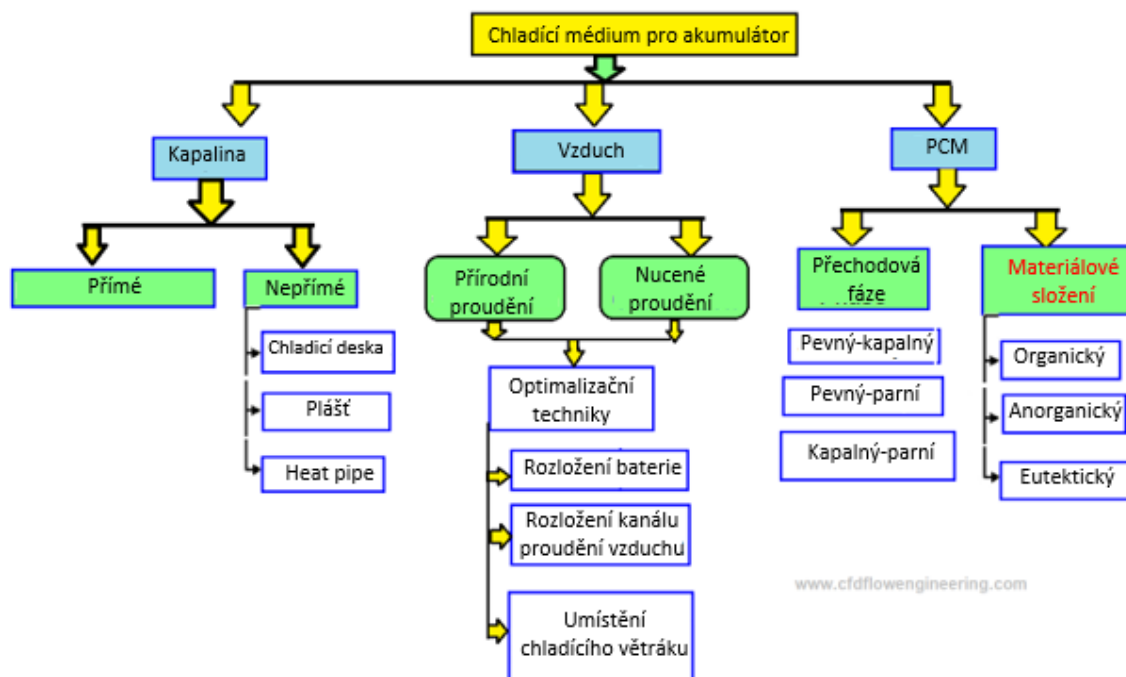


Obr. 14 Provozní stavy lithiové baterie v závislosti na napětí a teplotě [37]

Z obrázku 14 lze vidět dopady na akumulátor, které vznikají při teplotách mimo optimální rozmezí. Tmavě modrá barva je optimální oblast, při které pracuje akumulátor. Teplota mimo tuto oblast, konkrétně oblast světle zelené barva, je oblast, při které vznikají nevratné

poškození akumulátoru bez dopadu na okolí. Výsledkem poškození může být například zkrácení životnosti akumulátoru, nebo ztráta kapacity. Největším rizikem je nekontrolovaný vzrůst teploty (červená oblast), který může vést až k explozi akumulátoru.

Z výše uvedených důvodů musí být vozidlo vybaveno systémy pro ohřev a chlazení akumulátoru. Chlazení akumulátoru lze dělat několika způsoby (obr. 15).



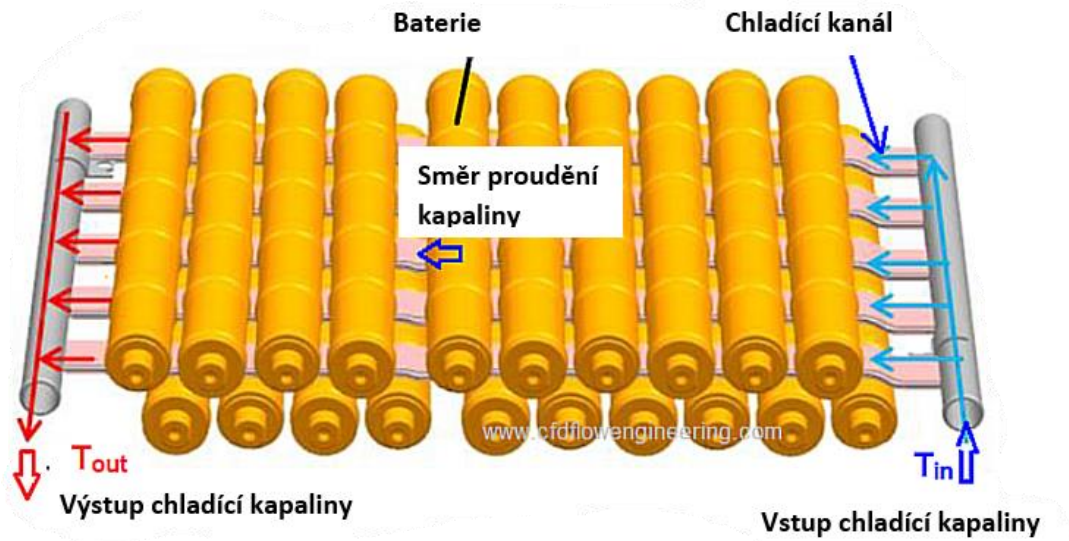
Obr. 15 Popis způsobů chlazení akumulátoru [38]

CHLAZENÍ KAPALINOU

Chlazení kapalinou může probíhat 2 způsoby (obr. 15), a to přímým nebo nepřímým.

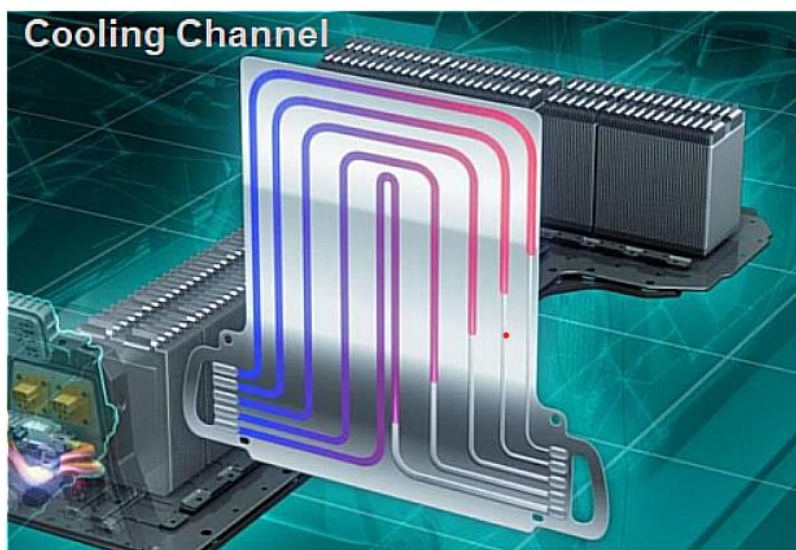
Přímé chlazení spočívá v ponoření akumulátoru do chladicí kapaliny. Tímto způsobem je akumulátor ochlazován rovnoměrně a velmi efektivně. Využívá se spíše pro závodní nebo vysoce výkonné elektromobily, kde se akumulátor zahřívá více než u sériově vyráběných vozidel.

Nepřímé chlazení využívá více metod dle (obr. 16). Jedna z možností je chlazení pomocí vlnitých chladicích kanálků propletených mezi články akumulátorů. Prívod a odvod kapaliny je mimo akumulátor, aby bylo zabráněno vniknutí kapaliny do akumulátoru a vzniku elektrického zkratu či ztrátě izolačního odporu (obr.16). Chlazení pomocí chladicích kanálků označovaných jako „cooling ribbon“ využívá automobilka Tesla. [38].



Obr.16 Zobrazení chladících kanálů vedených mezi články akumulátoru [38].

Další z možností nepřímého chlazení pomocí kapaliny je chladicí deska. Deska je tvořena velkým počtem mikro kanálků, které jsou zapuštěny do kovové desky a slouží pro odvod tepla ven, jak je zaznačeno na obr. 17. Deska je poté umístěna mezi 2 články nebo je chlazená podstava článku [38].

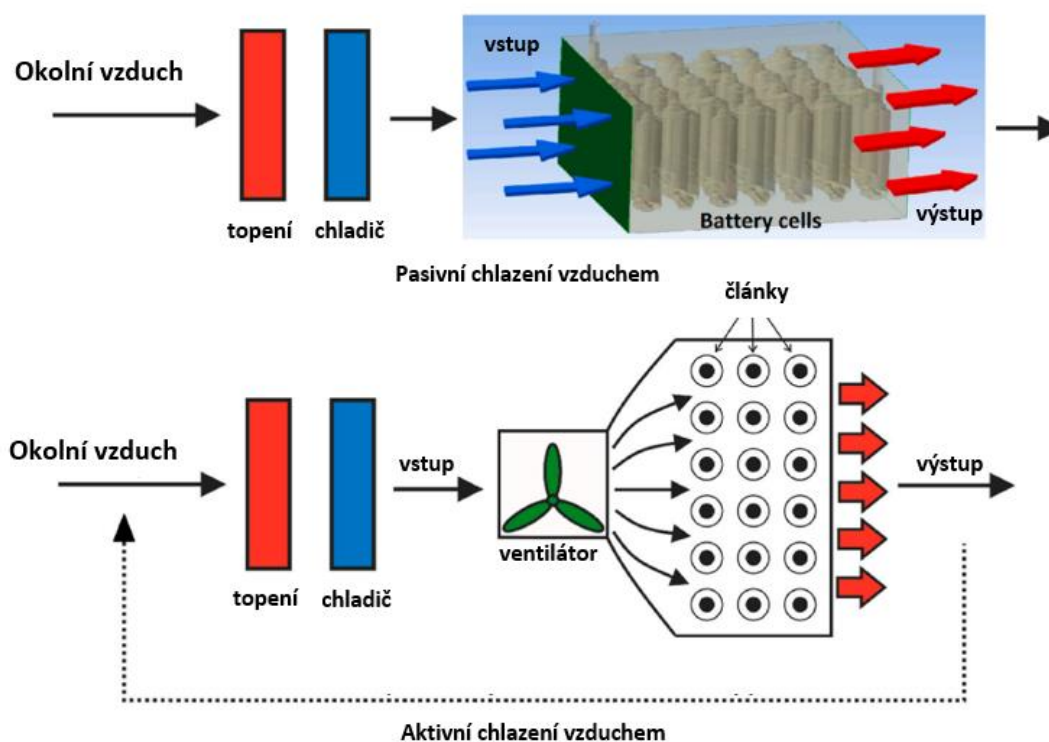


Obr.17 Chladicí deska se zobrazenými mikro kanálky [38]

CHLAZENÍ VZDUCEM

Chlazení probíhá pomocí vzduchu, který může proudit přirozeně (pasivní chlazení), nebo nuceně (aktivní chlazení) dle obr. 15. Při nucené variantě je vzduch vháněn pomocí ventilátorů nebo dmychadel do prostoru akumulátoru.

Na obr. 18 je znázorněn průběh chlazení. Okolní vzduch je ohříván nebo ohlazován dle požadavků na teplotu akumulátoru. Následně proudí přirozeně do akumulátoru (obr. 18 nahore), nebo je vháněn pomocí ventilátoru (případně dmyhadla) (obr. 18 dole). Následně vzduch odchází z akumulátoru [38].



Obr. 18 Chlazení akumulátoru vzduchem pasivní a aktivní metodou. [39]

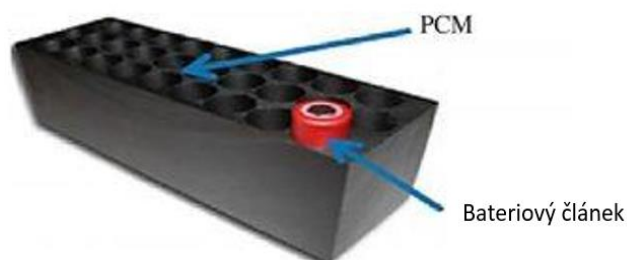
Výhody chlazení vzduchem jsou [39]:

- jednoduchá konstrukce
- bezpečnost a spolehlivost při jeho provozu
- snadná údržba a implementace

Velkou nevýhodou je neefektivní chlazení (oproti kapalinovému), a tím způsobené velké přehřátí akumulátoru. U chlazení vzduchem jsou kladeny vyšší nároky na filtraci a čistotu vzduchu. Filtry musí být pravidelně měněny, aby nedocházelo k usazování prachu v akumulátoru.

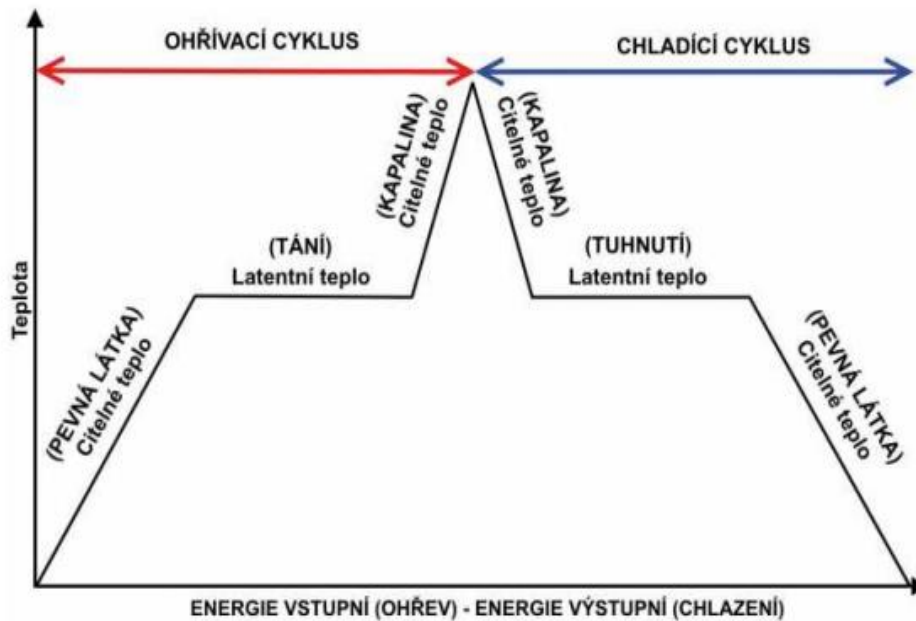
CHLAZENÍ ZMĚNOU FÁZE (PCM)

PCM je technologie, která akumuluje energii ve formě tepla do akumulační hmoty (obr. 19). Jako materiál lze použít parafin, který má bod tání v rozmezí 32-38 °C [38] a je smíchán s grafitovými vločkami pro zlepšení tepelné vodivosti.



Obr. 19 Zobrazení konstrukce PCM chlazení baterií [38].

Využívá se zde principu tání a tuhnutí materiálu za konstantní teploty, při které dochází k uvolnění nebo naopak akumulaci latentního tepla při změně skupenství (obr. 20).



Obr.20 Zobrazení principu tání a tuhnutí PCM materiálu [40].

Mezi výhody PCM chlazení patří [41]:

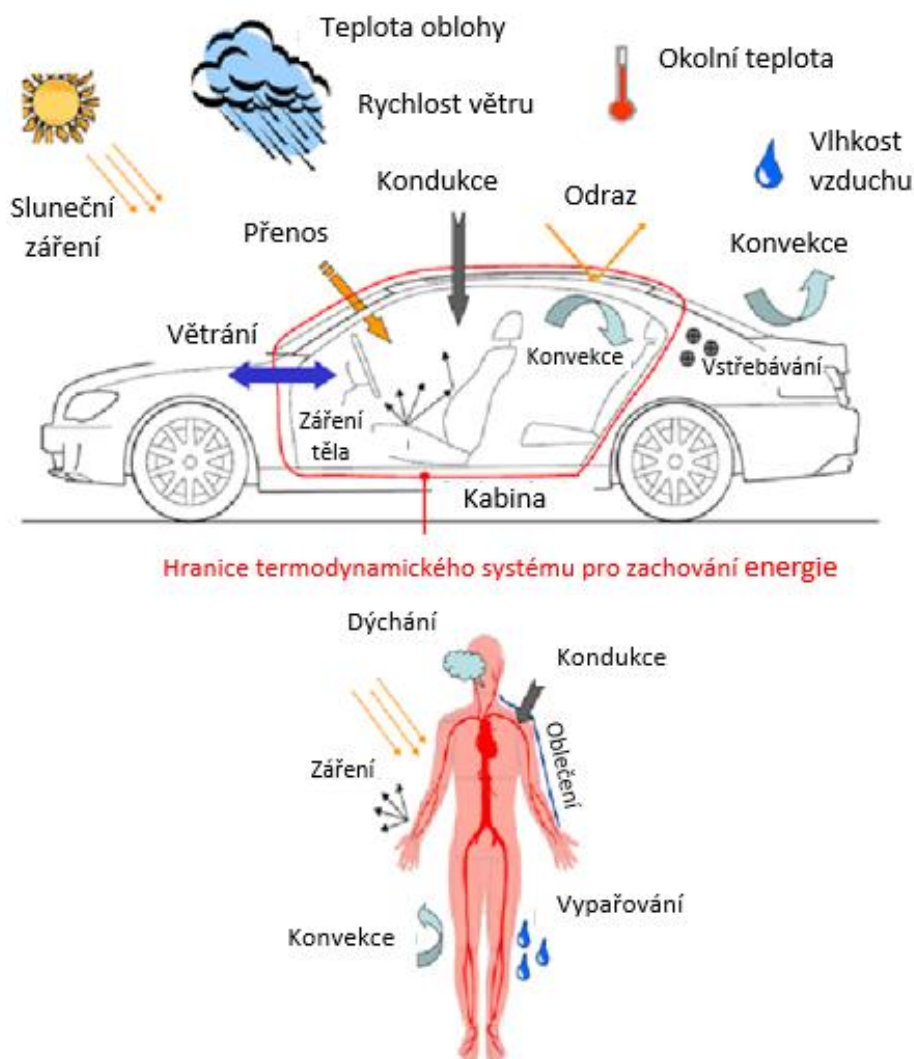
- schopnost fungovat jako ochrana před nekontrolovaným vzrůstem teploty
- lepší rovnoměrnost teploty
- snížený objem systému

Mezi nevýhody patří [41]:

- akumulace tepla
- navýšená hmotnost

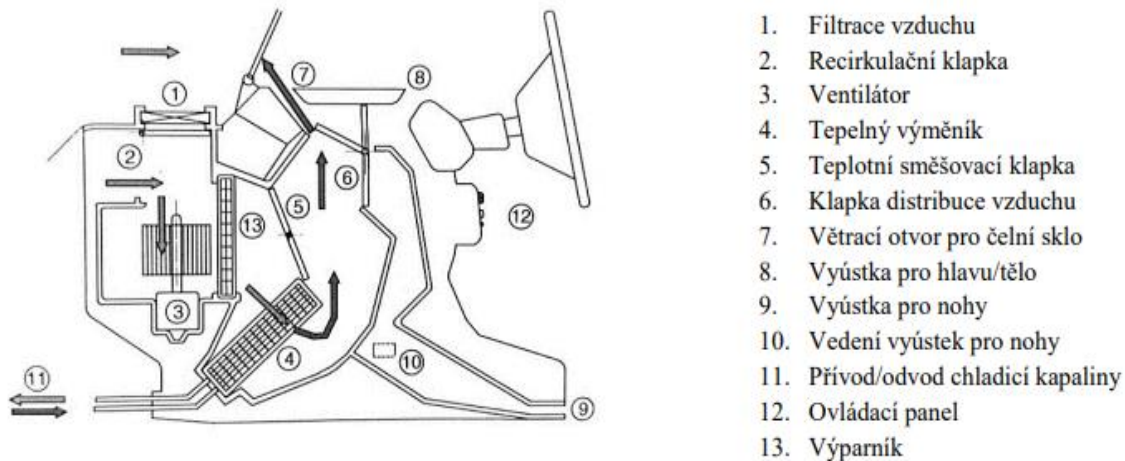
4 SYSTÉMY PRO ÚPRAVU PROSTŘEDÍ V KABINĚ VOZIDLA (HVAC)

Vhodné parametry prostředí v kabině vozu jsou důležité pro zachování komfortu posádky vozidla. V kabině vozu je potřeba udržovat komfort pro optimální pohodlí řidiče a všech spolucestujících. Na kvalitu a parametry prostředí v kabině vozidla má vliv spousta aspektů (obr.21), mezi které se řadí například záření od Slunce, zdroje škodlivin uvnitř kabiny (CO₂ vydechané posádkou), nebo teplota okolního vzduchu.



Obr.21 Schématické znázornění vlivů působících na kabinu vozidla [42].

Komfort v kabině vozidla lze zajistit pomocí HVAC systému (větrání, vytápění, chlazení). Schéma funkce je znázorněná na obr. 22.



Obr.22 Schéma funkce HVAC systému ve vozidle [43]

Vzduch okolí je nasáván do prostoru HVAC jednotky skrz filtraci vzduchu (1). Pomocí recirkulační klapky (2) je regulováno množství přiváděného vzduchu. Následně proudí vzduch pomocí ventilátoru (3) do tepelného výměníku (4) nebo výparníku (13). Poté je vzduch pomocí výustek (7, 8, 9, 10) vháněn do kabiny vozidla. Vzduch odvedený z kabiny může být vypuštěn do okolí nebo recirkulován a znovu použit [44].

4.1 VYTÁPĚNÍ

V chladnějším ročním období je třeba vytápět kabinu vozidla. Vytápění je důležité pro zajištění tepelného komfortu posádky, nebo pro zajištění bezpečnosti (například vyhřívání skel pro lepší viditelnost). U vozidel se spalovacím motorem se využívá k vytápění odpadní teplo z motoru. Elektromotor u elektrovozidel pracuje s vyšší účinností, v důsledku čehož vytváří velmi málo odpadního tepla. Pro vytápění musí elektromobil používat jiné způsoby. energii na vytápění elektromobil bere především z energie uchovávané v akumulátoru.

K vytápění lze využít i pomocných topných systémů, jako je vyhřívání volantu, vyhřívání sedadel nebo vytápění řidičovy zóny, pokud jede ve vozidle sám. Pomocí těchto systémů lze docílit tepelného komfortu s menší energetickou náročností a tím snížit spotřebu energie vozidla.

4.2 CHLAZENÍ

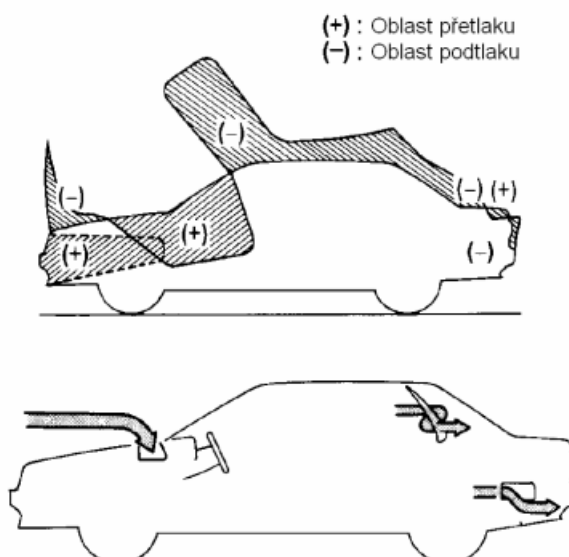
V teplejším ročním období je potřeba chladit vzduch v kabině vozidla. V současnosti je chlazení prováděno pomocí klimatizace. Klimatizace slouží pro snížení teploty a vlhkosti vzduchu.

V současnosti se využívá kompresorových zařízení, pomocí kterých chladivo proudí v uzavřeném okruhu. Mezi nejpoužívanější chladiva patří HFO chladiva (např. 1234yf) a CO₂. Princip funkce tepelného čerpadla je popsán v kapitole 5.1.

4.3 VĚTRÁNÍ

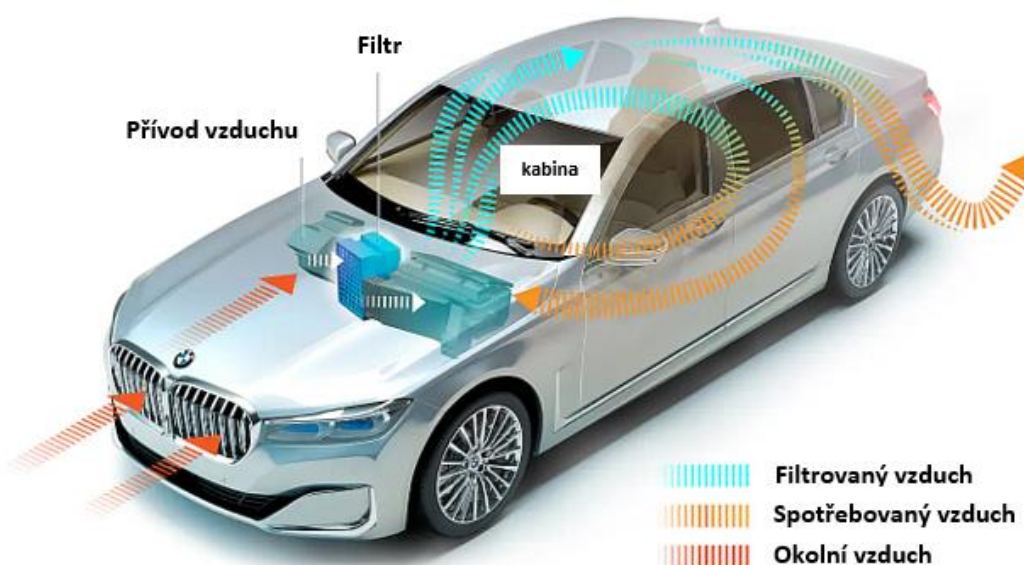
Větrání slouží k dopravě čerstvého vzduchu do kabiny vozidla a k odvodu vydýchaného vzduchu z kabiny ven. Větrání by mělo poskytovat čerstvý vzduch, který je filtrován, aby neobsahoval prachové částice nebo vodu. Následně by měl být vydýchaný vzduch odváděn z kabiny ven. Při pohybu vozidla vpřed je využíváno oblastí přetlaku a podtlaku pro přivedení

vzduchu do kabiny vozidla [43]. Schematické zobrazení oblastí přetlaku a podtlaku je znázorněno na obr. 23. Z tohoto důvodu se umisťují přívadecí výstky do oblastí přetlaku a odváděcí výstky do podtlakové oblasti, kde je vzduch snadněji odváděn z kabiny vozidla. Při stojícím vozidle, nebo vozidle jedoucím nízkou rychlostí je pro přivedení vzduchu nutné použít ventilátor.



Obr.23 Zobrazení oblastí přetlaku a podtlaku na vozidle [43]

Schematické znázornění proudícího vzduchu uvnitř kabiny je znázorněné na obr. 24. Přivedený vzduch z okolí (nebo recyklovaný) je filtrován a ohříván na požadovanou teplotu. Následně proudí vzduch do kabiny vozidla pomocí výustek a spotřebovaný vzduch (vydýchaný) je odveden z kabiny ven. Větrání může probíhat přirozeně nebo nuceně (pomocí ventilátoru). Během větrání by neměl hluk a průvan narušovat komfort posádky.



Obr.24 Vzduch proudící uvnitř kabiny vozidla [45]

5 TEPELNÉ TECHNOLOGIE VE VOZIDLE

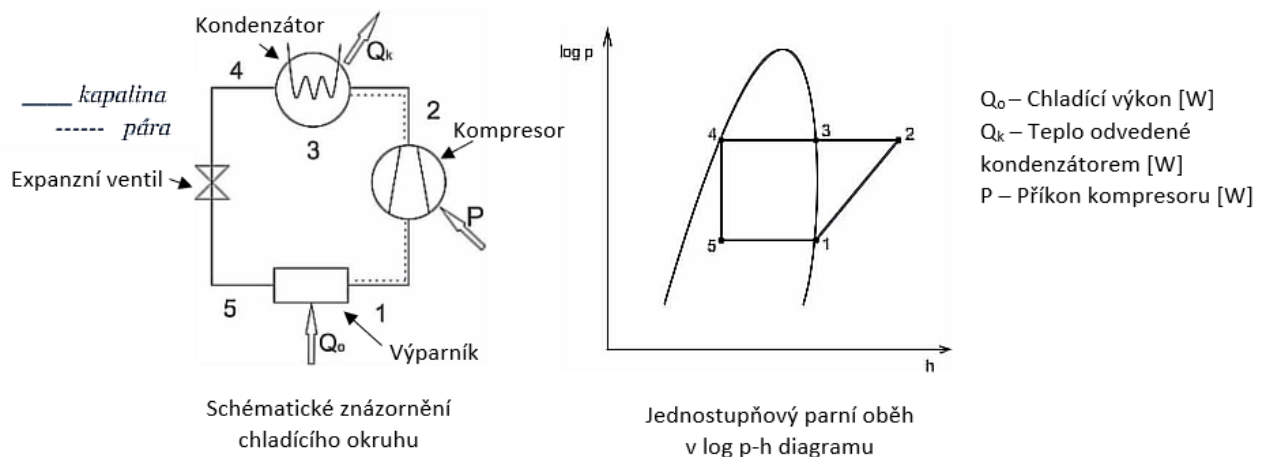
5.1 TEPELNÉ ČERPADLO

Tepelné čerpadlo je zařízení, které slouží pro přečerpávání tepla z místa s nižší teplotou do místa s vyšší teplotou [46]. Část energie bereme z venkovního prostředí, to je výhoda především v nižší náročnosti na energii z akumulátoru. Čerpadlo využívá kapalinu, která prudce mění bod varu v závislosti na tlaku. Tepelné čerpadlo zpravidla pracuje na principu 1-stupňového chladicího okruhu [46].

5.1.1 1-STUPŇOVÝ CHLADICÍ OKRUH

Uzavřený chladicí okruh se skládá z jednotlivých termodynamických procesů, při kterých se pracovní látka (chladiivo) dostává přes určitý stav zpátky do výchozího stavu. Termodynamické procesy jsou tvořeny komponenty, ze kterých je chladicí okruh tvořen a kterými jsou (obr. 25):

- výparník
- kompresor
- kondenzátor
- expanzní ventil



Obr.25 Schéma principu chladicího okruhu (vlevo) a jednostupňový parní oběh v log p-h diagramu (vpravo) [46]

Chladicí výkon se vypočítá dle vztahu [46]:

$$Q_o = \dot{m} \cdot q_o \text{ [W]} \quad (6)$$

Kde

\dot{m} – hmotnostní tok chladiva [kg/s]

q_o – měrný chladicí výkon [J/kg]

Teplu odvedené kondenzátorem se vypočítá dle vztahu [46]:

$$Q_k = P + Q_o \text{ [W]} \quad (7)$$

Kde

P – příkon kompresoru [W]

Termodynamické děje popsané na obr. 24 jsou [46].

- 1-2 komprese probíhající po křivce konstantní entropie
- 2-3-4 kondenzace chladiva
- 4-5 škrcení probíhající při konstantní entalpii
- 5-1 vypařování

KOMPRESOR

Kompresor slouží k odsávání par chladící tekutiny při tlaku výparném a stlačuje je na tlak kondenzační.

KONDENZÁTOR

Slouží pro kondenzaci par, které jsou stlačeny a přivedeny pomocí kompresoru, a teplo odebrané z tekutiny je odváděno do okolí kondenzátoru, čímž se sníží teplota tekutiny. Tekutina je přeměněna z plynného skupenství na kapalné.

EXPANZNÍ VENTIL

Expanzní ventil je zúžený průtočný komponent, který redukcí tlak z kondenzačního na výparný přeměňuje tekuté chladivo na směs, která se vypařuje při nízké teplotě. Expanze probíhá zpravidla jako izoentalpický děj.

VÝPARNÍK

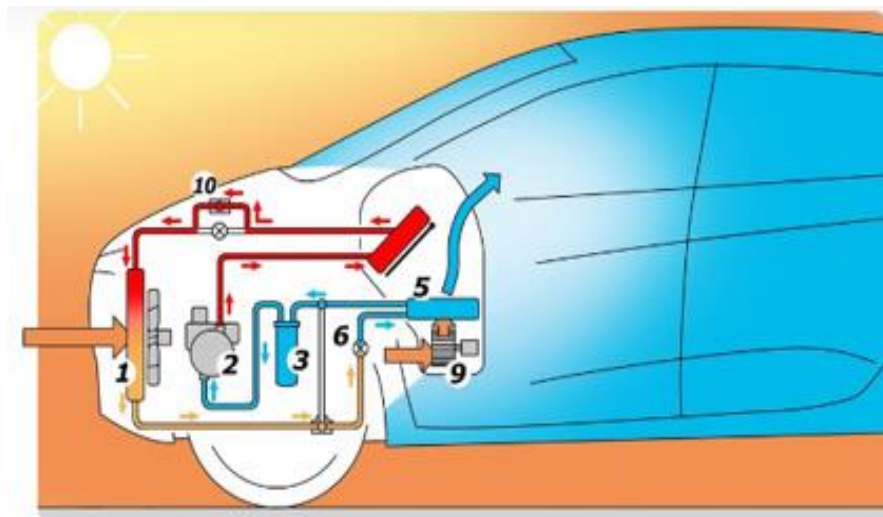
Směs tekutiny a páry vstupující do výparníku odebírá teplo z okolí výparníku. Probíhá ochlazování látky, při kterém se mokrá pára tekutiny vypařuje až na stav syté páry. Děj probíhá při konstantním tlaku.

5.1.2 TEPELNÉ ČERPADLO VE VOZIDLE

Ve vozidle funguje tento princip stejně, jen s drobnými rozdíly. Princip se liší v ročních obdobích. Na obrázcích 26 a 27 jsou znázorněné schémata okruhů tepelného čerpadla v letním a zimním období

LETNÍ OBDOBÍ

Chladivo, které protéká do kondenzátoru (1) v parním stavu je velmi horké, proto se venkovním vzduchem ochladí, zkapalní a předá teplo do okolí. Následně chladivo proudí do expanzního ventilu (6), pomocí kterého je snížen tlak tekutiny a výparná teplota chladiva je pod teplotou chlazeného vzduchu z kabiny. Takto upravené chladivo následně proudí do výparníku (5), ve kterém je teplo předáváno ze vzduchu do chladiva, a díky tomu se z tekutiny stává pára a vzduch z kabiny je ochlazen (je mu odebráno teplo). Páry chladiva proudí přes akumulátor (3) do kompresoru (2), který stlačí páry chladiva na vyšší tlak, čímž dojde k jejímu přehřátí. Následně chladivo proudí do kondenzátoru a proces se znovu opakuje. Ventilátor (9) slouží pro cirkulaci vzduchu z kabiny přes výparník a zpět do prostoru kabiny.

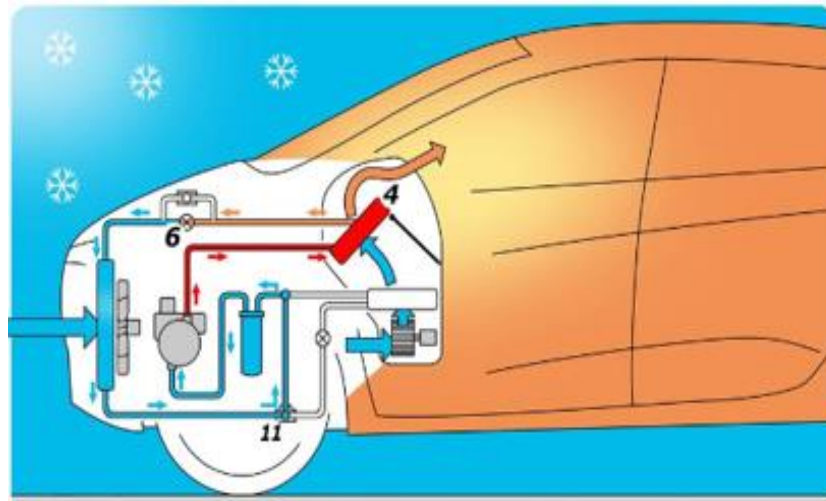


- 1 kondenzátor
- 2 kompresor
- 3 akumulátor
- 5 výparník
- 6 expanzní ventil
- 9 ventilátor
- 10,11 ventily

Obr.26 Princip funkce tepelného čerpadla v letním období ve vozidle Renault Zoe [47].

ZIMNÍ OBDOBÍ

Okruh pro zimní období se lehce liší od okruhu pro letní období, chladivo ve výměníku za maskou vozidla převezme tepelnou energii od venkovního vzduchu a tím se ohřeje. Chladivo proudí do kompresoru, kde je stlačeno, čímž se zvýší teplota chladiva. Dále proudí do kondenzátoru (4), kde předává teplo do vnitřního prostoru kabiny, tím se plynné skupenství změní na kapalné. Chladivo v kapalném stavu proudí přes expanzní ventil (6), který provádí škrcení, díky čemuž se sníží tlak a v důsledku změny tlaku se snižuje teplota pod teplotu okolního vzduchu, následně proudí do výměníku za přední maskou a cyklus se opakuje.



- 4 kondenzátor vnitřní
- 6 expanzní ventil
- 11 ventil

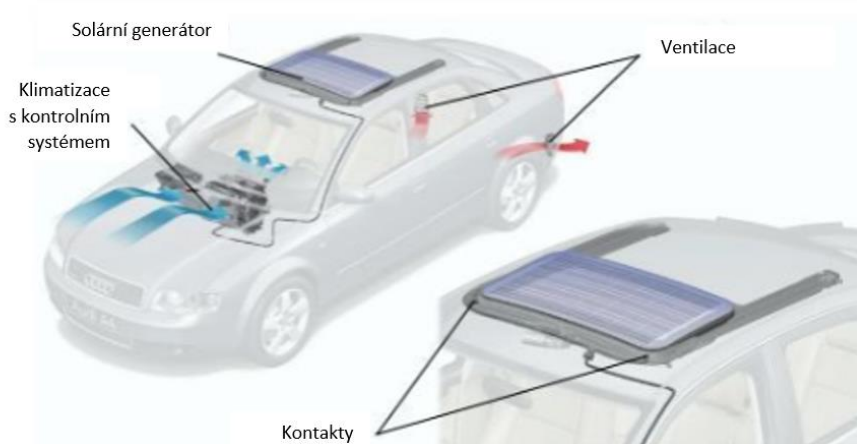
Obr.27 Princip funkce tepelného čerpadla v zimním období ve vozidle Renault Zoe [47].

5.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE

Fotovoltaické panely slouží k přímé přeměně solární energie na elektrickou energii. Panely se umísťují na střechu vozidla, popřípadě do středního okna. Je to z důvodu největší rovné plochy na vozidle a zároveň vhodné orientaci k obloze a Slunci. V současnosti má tato technologie uplatnění, především jako podpůrný systém pro dobíjení baterie nebo pohon pro větrací systém vozidla.

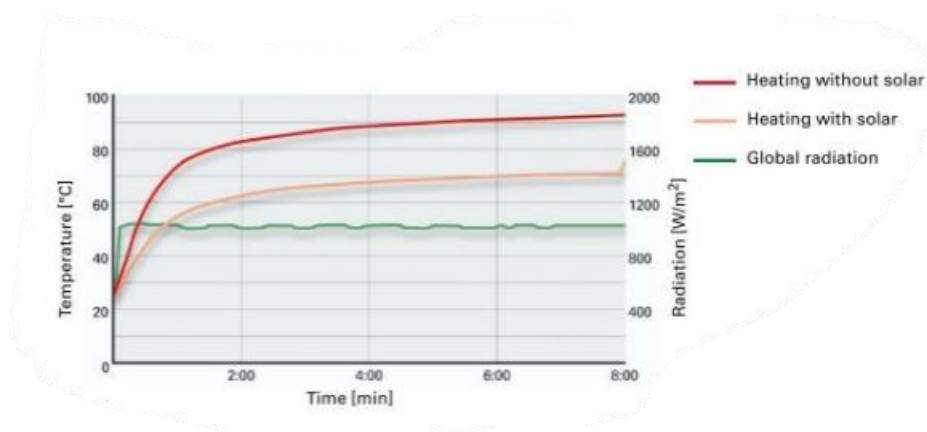
5.2.1 VĚTRÁNÍ INTERIÉRU

V letním období, kdy vozidlo stojí delší dobu na slunci může interiér dosahovat vysokých teplot (obr. 29). Teploty by se daly snížit pomocí klimatizace, ale ta by brala energii z akumulátoru, a to je nežádoucí. Jedna z možností, jak zachovat nižší teplotu, je větrat interiér pomocí ventilátorů poháněných energií z PV panelů. Na obr. 28 je znázorněno schéma funkce větracího systému, které použila společnost Audi do svého vozidla [48]. Ventilátor, který vhání čerstvý vzduch do interiéru, je poháněné pomocí energie získané z panelů. Teplý vzduch z interiéru je odváděn pomocí ventilace v zadní části vozu.



Obr. 28 Systém větrání interiéru pomocí panelů (Audi A4, rok 2001) [48].

Graf na obrázku 29 znázorňuje průběh teplot v interiéru, které vznikají v letním období. Červená křivka znázorňuje průběh teploty, která nastává v interiéru vozidla a není nijak chlazená nebo větraná. Lze na ní vidět, že už po 8 minutách na slunci může teplota stoupnout až na cca 90 °C. Oranžová křivka znázorňuje průběh teploty při aktivovaném systému větrání pomocí panelů. Systém snižuje teplotu v interiéru, což výrazně napomáhá k tepelnému komfortu. Během měření, které bylo provedeno na VUT FSI a popsáno v diplomové práci pana Zdvořilého [49], bylo zjištěno, že díky větrání v interiéru byla snížena teplota o 5,2 °C. Zelená křivka zobrazuje průběh intenzity dopadajícího solárního záření, které je během dne konstantní a neměnné.



Obr.29 Průběh teplot v interiéru vozidla stojící na slunci [48].

5.2.2 DOBÍJENÍ BATERIÍ

Někteří automobiloví výrobci nabízí solární střechy, které přeměňují solární energii na elektrickou energii a pomocí této energie dobíjí baterie vozidla. Jeden z výrobců je Hyundai, který za příplatek dodává solární střechu do modelu Sonata (obr. 30). Pomocí solární energie dobíjí jak startovací baterii, tak akumulátor. Tímto systémem dokáže snížit spotřebu energie o cca 7 % [50].



Obr.30 Hyundai Sonata se solární střechou [51].

Články na panelech dosahují účinnosti 22,8 % [50]. Reálná účinnost se odvíjí od aktuálního počasí, nebo dle toho, kde vozidlo zrovna stojí, nebo jak má znečištěnou střechu. Částečné znečištění, které může vzniknout na střeše vozidla, jako je listí nebo prach snižuje produkci energie o 3-10 % [50], což nemá výrazný vliv na produkci. Solární panely modelu Sonata mají výkon 204 W [52], takže při ideálních slunečních podmínkách vyrobí 204 Wh elektřiny za hodinu, takže za jeden letní den, kdy lze očekávat až 8 až 10 h slunečního svitu, lze odhadem vyrobit 1,632-2,04 kWh.

Systém by mohl být využíván pro zamezení vybíjení akumulátoru, pokud dlouhodobě vozidlo stojí na místě a není v provozu. Vybíjení baterie při neaktivní použití je jedna z nevýhod pro osoby, které pravidelně nepoužívají vozidlo, ale tento systém by tuto nevýhodu odstranil.

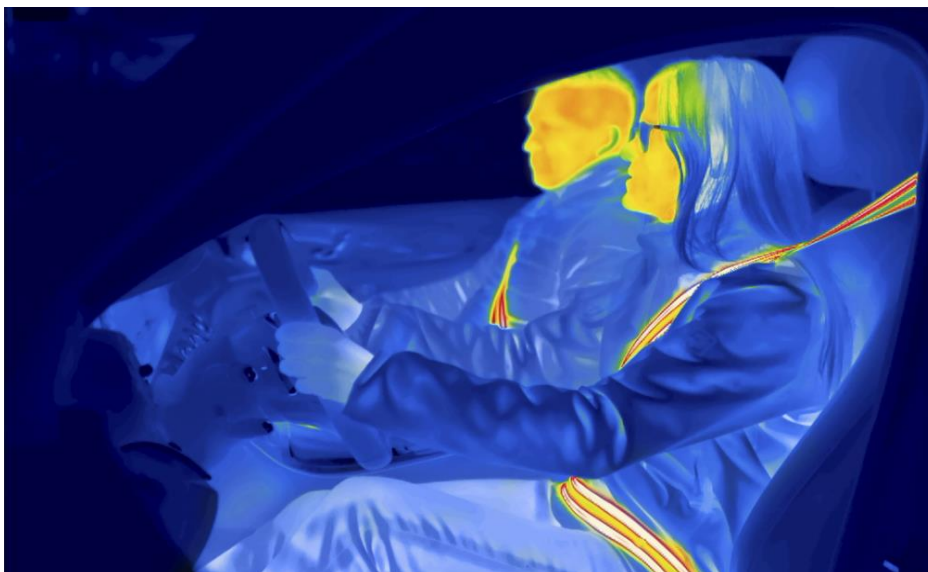
5.3 VYHŘÍVANÉ BEZPEČNOSTNÍ PÁSY

Další způsob, jak snížit spotřebu elektromobilu na vytápění kabiny v zimním období je použití vyhřívaných bezpečnostních pásů. Pás je vyvinut německou společností ZF. Bezpečnostní pás se skládá ze speciálního pásu, který má integrované topné elementy (obr. 31), které mají minimální vliv na tloušťku pásu [53].



Obr.31 ukázka tepelných vodičů zabudované v pásu [53].

Pás poskytuje teplo ihned po zahájení jízdy. Jeho cílová teplota je v rozmezí 36-40 °C [53]. Bezpečnostní pás pomáhá prodloužit v chladném počasí dojezd elektromobilu až o 15 % [53]. Mezi jeho výhody patří napomáhání k tepelnému komfortu při nižší spotřebě energie. Mezi jeho nevýhody patří horší funkčnost, pokud má pasažér větší vrstvu oblečení na sobě (bunda), pak pás méně zahřívá, protože se teplo nedostane přes oblečení [53].



Obr.32 Vyhřívání pásů zaznamenané termokamerou [53].

Na obr. 32 lze vidět vytápění elektrovozidla zaznamenané pomocí termokamery. Ruce osob jsou modré barvy, která znamená chlad. Vyhřívání osoby pouze pomocí vyhříváných bezpečnostních pásů je nedostačující. Vyhřívání pásů mohou napomáhat dosažení tepelného komfortu v kombinaci s dalšími pomocnými systémy na vytápění. Příkladem pomocných systémů je vyhřívání volant nebo vyhřívání sedadla.

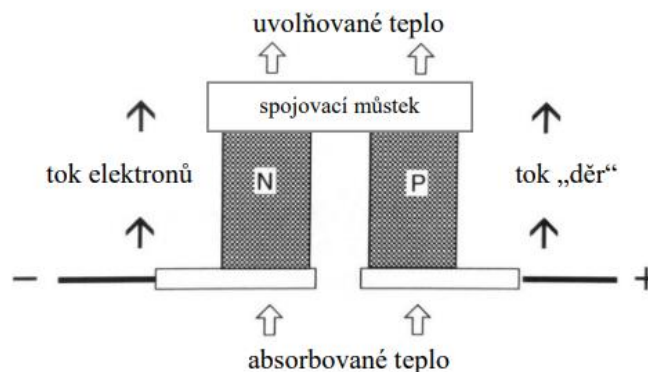
5.4 TERMOELEKTRICKÉ ČLÁNKY

Termoelektrický článek je zařízení sloužící k chlazení nebo vytápění, které je založeno na Peltierově jevu.

5.4.1 PELTIERŮV JEV

Peltierův jev je založen na fyzikálním jevu, kdy protéká-li stejnosměrný elektrický proud uzavřeným obvodem ze dvou spojených různých kovů, vzniká mezi oběma spoji teplotní rozdíl. Teče-li proud z vnějšího zdroje daným spojením stejným směrem, pak se spoj ochlazuje, při změně toku proudu směrem opačným se spoj ohřívá [54].

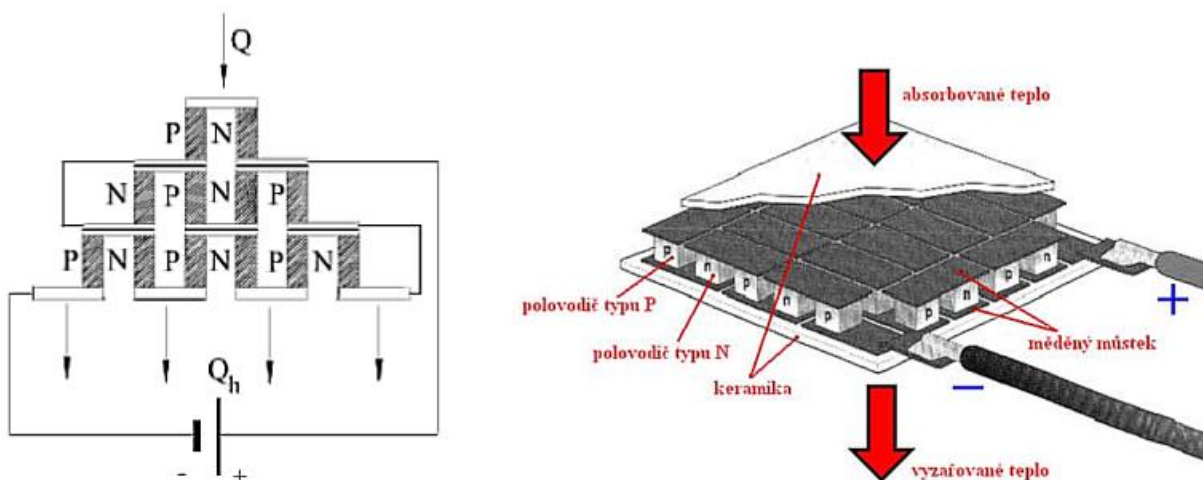
Jev se využívá ke konstrukci Peltierového článku (obr.33), který se skládá ze 2 polovodičových součástek typu N a P a spojovacího můstku. Můstek zprostředkovává přívod elektrické energie a absorbuje nebo vyzářuje teplo.



Obr.33 Princip peltierova článku [43]

5.4.2 POPIS TERMOELEKTRICKÉHO ČLÁNKU

Termoelektrický článek (obr. 34 vpravo) se skládá z více Peltierových článků (obr. 34 vlevo), které jsou zapojeny do série pro získání vyššího napětí. Termoelektrický článek má izolaci, která slouží jako elektrický izolant. Vyrábí se většinou z keramiky, která má dobrou tepelnou vodivost.

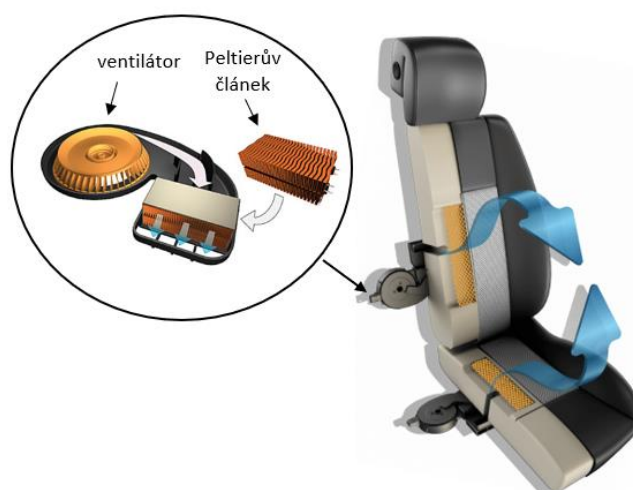


Obr.34 Schéma zapojení termoelektrického článku (vlevo) a jeho konstrukce (vpravo) [55]

5.4.3 VYUŽITÍ VE VOZIDLE

SEDADLA

Termoelektrické články v sedadle slouží pro aktivní vytápění nebo chlazení. Modul obsahující ventilátor s článkem je umístěn do každé oblasti v sedadle viz obr.35. Tepelně upravený vzduch je pomocí ventilátoru vháněn do sedadla a následně je pomocí vrstvy vypouštěn ven ze sedadla. Termoelektrický článek pracuje na principu rozdílu teplot, takže pokud by sedadlo bylo ochlazováno, pak na druhé straně termoelektrického článku vzniká teplo, které je nutné odvádět, aby nedocházelo k přehřívání. Toto teplo je vypouštěno do prostoru kabiny [43].



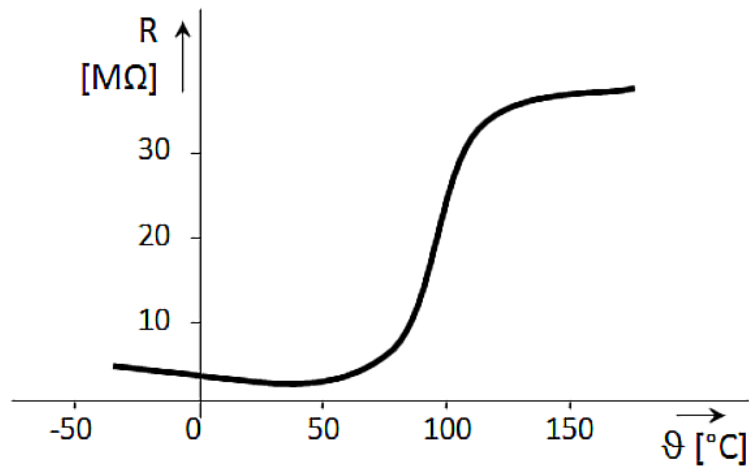
Obr.35 Zobrazení sedadla Climate control seat od společnosti Gentherm [56], [57]

5.5 VYHŘÍVANÝ VOLANT

Vyhřívání volantu je dalším typem prvků, který napomáhá k tepelnému komfortu řidiče. Napomáhá k ohřátí rukou, které bývají v zimním ročním období velmi studené (například i při škrabání čelního skla). Pro vyhřívání volantu je využíván PTC ohříváč, který je zabudován přímo ve volantu.

5.5.1 PTC OHŘÍVAČ

PTC ohříváč funguje na principu PTC termistoru. PTC termistor s kladným teplotním koeficientem je odporový prvek, jehož odpor se zvyšuje se zvyšující se teplotou (obr. 36) [58]. V důsledku zvyšujícího se odporu se snižuje intenzita proudu a je stabilizován na požadované úrovni stanovené vlastnostmi termistoru. Díky této vlastnosti nepotřebuje žádný regulátor teploty nebo senzor.



Obr.36 Průběh PTC článku v závislosti na teplotě a odporu, kde ϑ je teplota a R je odpor [59]

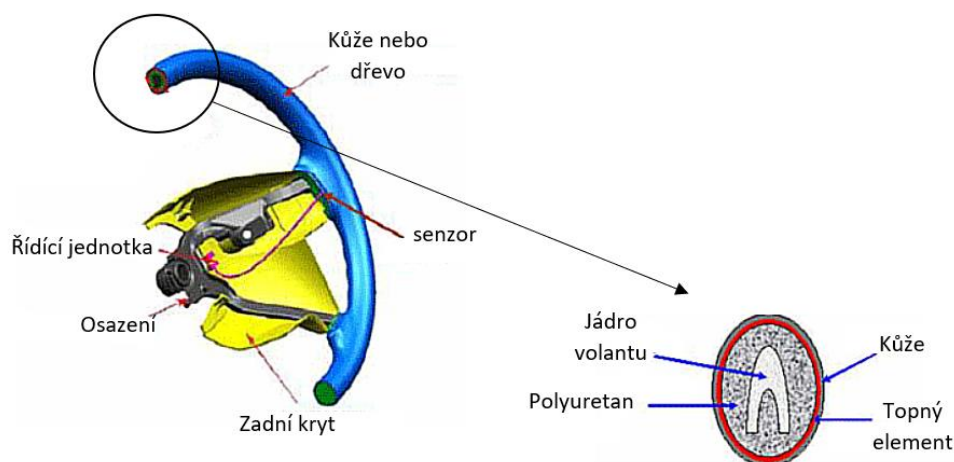
PTC ohřívač se skládá z PTC topného prvku, který je vyráběn většinou z keramiky a hliníkových trubek. Do PTC ohřívače je dodávána elektrická energie, která způsobí zvýšení teploty. Následně se teplota přenáší na povrch a ohřívá okolní těleso (nebo prostor).

Mezi výhody PTC ohřívače patří [60]:

- rychlý vývin tepla
- dlouhá životnost
- vysoká účinnost PTC topného prvku (až 99 %)

5.5.2 POPIS VYHŘÍVANÉHO VOLANTU

PTC ohřívač je využíván pro své vhodné vlastnosti. PTC ohřívač je bezpečný, protože se nepřehřeje díky zvyšujícímu se odporu. Obrázek 37 zobrazuje konstrukci vyhřívaného volantu. Oproti volantu klasické konstrukce je zde navíc topný element PTC, který je umístěn mezi polyuretan a kůží (vrchní materiál volantu). Díky umístění může ohřívát topný element volant rychle a efektivně.

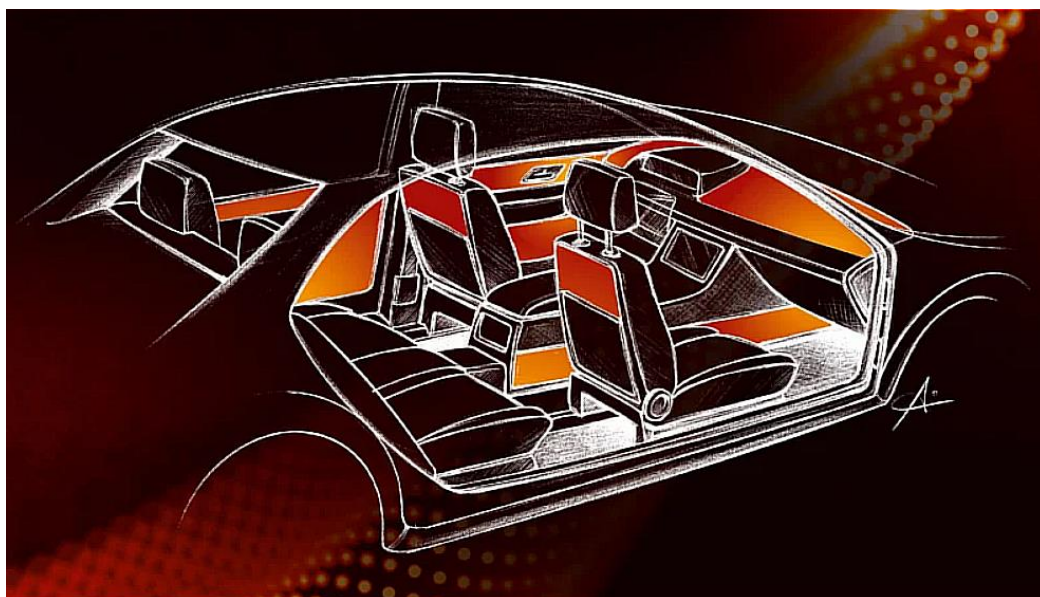


Obr.37 Konstrukce vyhřívaného volantu [61]

5.6 INFRAVYTÁPĚNÍ

Infravytápění funguje na principu sálavého vytápění (radiace), které probíhá pomocí infrapanelů. Díky radiacnímu přenosu tepla se tepelná energie přenáší na hmotné předměty (cestující, součásti interiéru vozidla), ale nepřenáší se na vzduch v kabině vozidla.

Společnosti IAV a Louissenthal společně vyvíjí technologii, fungující na principu sálavého vytápění. Topným elementem je tenká fólie SmartMesh vyvinutá společností Louissenthal, která obsahuje síť vodičů. Fólie je následně integrována do částí interiéru vozidel (obr.38), například do dveří, na boky středové konzoly, zadní stranu předních sedadel nebo na palubku interiéru. Do fólie je přiváděno napětí, díky kterému je generováno teplo, které je vyzařováno do prostoru interiéru vozidla [62], [63].



Obr.38 Znáznornění ploch v interiéru vozidla, kde lze umístit topnou fólii [62]

Společnost IAV provedla simulační měření, při kterém zjistila, že při nízké venkovní teplotě lze ušetřit na vytápění až 20% energie [63]. Infravytápění může být přínosným přídavným vytápěcím systémem, který vytvoří tepelný komfort cestujících a ušetří potřebnou energii vozidla.

Oproti jiným systémům (vyhřívání volantu nebo sedadla), které většinou umožňují zlepšení tepelného komfortu řidiči nebo spolucestujícímu sedícímu vpředu, umožňuje infravytápění zlepšit tepelný komfort i cestujícím sedícím na zadních sedadlech.

6 TEPELNÁ POHODA

Tepelná pohoda je dle ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) definována jako stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s tepelným prostředím [64]. Tepelná pohoda je stav, při kterém je v rovnováze tepelný tok bez pocení nebo bez pocitu chladu. Stav rovnováhy je popsán rovnicí (8) [65].

$$\dot{Q}_m \cdot (1 - \eta) = \dot{Q}_{ved} + \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \text{ [W]} \quad (8)$$

Z rovnice (8) je patrné, že metabolický tepelný tok \dot{Q}_m je rovno tepelnému toku odvedeným pomocí vedení \dot{Q}_{ved} , konvekcí \dot{Q}_k , radiací \dot{Q}_r , vypařováním \dot{Q}_v a dýcháním \dot{Q}_d . Za běžných podmínek je účinnost velmi malá a tepelný tok vedením zanedbatelný. Tudíž lze psát rovnici ve tvaru (9) [65].

$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \quad (9)$$

Tepelná pohoda je pojem zcela subjektivní, protože každý člověk má jiný metabolismus, proto se využívají metody pro hodnocení tepelné pohody, pomocí kterým se určí, zda tepelné prostředí vyhovuje většině uživatelů.

6.1 MĚŘENÍ TEPELNÉHO KOMFORTU

Měření tepelného komfortu může probíhat pomocí měřících systémů (např. tepelný manekýn) nebo pomocí fyzických osob.

6.1.1 FYZICKÉ OSOBY

Pro měření tepelného komfortu jsou využívány osoby, které mají za cíl vyhodnotit tepelný komfort dle různých metod (popsány níže kap. 6.2). Každá osoba má subjektivní hodnocení tepelného prostředí, které je ovlivněno různými aspekty [66] např.:

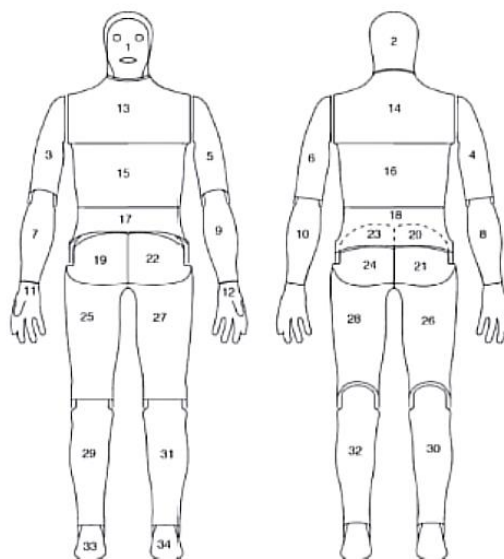
- nálada, emoce
- zdravotní stav a věk, pohlaví
- regionální (národnostní)
- estetika a ergonomie

Výše uvedené aspekty mají za následek různé hodnocení tepelného komfortu. Měření pomocí fyzických osob je z těchto důvodů náročné a komplikované. I přes komplikace a náročnost měření je potřebné, protože měřící systémy jsou oproti fyzické osobě zjednodušené.

6.1.2 TEPELNÝ MANEKÝN

Tepelný manekýn je dle [66] měřící systém využívající figurínu napodobující geometrii lidského těla k měření tepelného komfortu. Výhodou tepelného manekýna je absence aspektů ovlivňujících hodnocení tepelného komfortu jako je tomu u fyzických osob (6.1.1).

VUT FSI vlastní tepelného manekýna Newton od firmy Thermetrics. Manekýn má tvar typické mužské evropské postavy. Jeho povrch je rozdělen na 34 nezávisle vyhříváných zón (dle obr. 39).



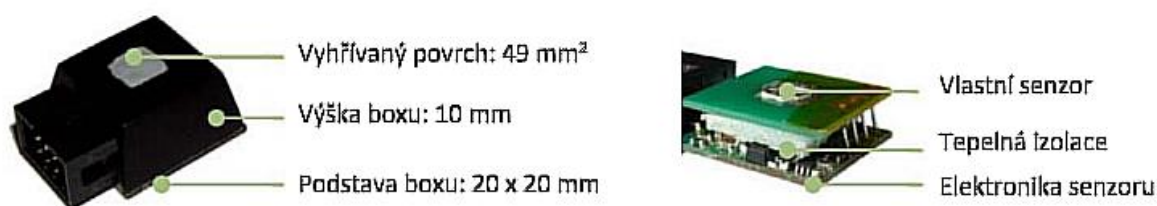
Obr.39 Vyhřívané zóny manekýna [67]

Tepelný manekýn se využívá pro zjišťování intenzity přenosu tepla do okolí ve formě velikosti generovaného tepelného toku, který se následně využívá pro určení ekvivalentní teploty jednotlivých částí těla manekýna [67]. Mezi další jeho funkce patří například simulace dýchání.

6.1.3 iHVAC

Měřicí systém iHVAC slouží stejně jako manekýn k měření teploty a tepelného komfortu. Systém využívá vyhřívané plošné senzory, které slouží pro měření tepelných toků. Tepelné toky, získané pomocí senzorů, se využívá pro výpočet ekvivalentní teploty.

Senzor (obr. 40) se skládá z elektroniky a čidla (vlastní senzor), který má tepelnou izolaci. Všechny zmiňované komponenty jsou ukryté v boxu senzoru, který má rozměry 20 x 20 mm. Senzor má vyhříváný povrch 49 mm². Senzor je menších rozměrů, takže lze měřit i menší části těla.



Obr.40 Konstrukce senzoru iHVAC s rozměry a daty [67]

Senzory jsou aktivními snímači, takže jsou systémem vyhřívány na teplotu cca 34 °C, která odpovídá teplotě na povrchu těla člověka.

6.2 HODNOCENÍ TEPELNÉHO KOMFORTU

Hodnocení tepelného komfortu může probíhat pomocí více metod. Všechny metody mají za cíl kvalifikovat tepelný pocit při konkrétních tepelných podmínkách. Hodnocení tepelného

komfortu probíhá dle normy ČSN EN ISO 7730, která tepelnou pohodu vyhodnocuje pomocí ukazatelů, kterými jsou PMV a PPD [65]. Dále se hodnotí tzv. místní tepelný diskomfort, jenž popisuje způsoby zamezení nastavení tepelné pohody.

6.2.1 PMV (PREDICTED MEAN VOTE)

Index PMV slouží pro vyjádření středního tepelného pocitu skupin osob. PMV využívá stupnici o 7 úrovních, která ukazuje střední tepelný pocit. 7 úrovní je rozděleno následovně [67]:

Tab. 2 Stupnice PMV

+3	Velmi horko
+2	teplo
+1	Mírně teplo
0	neutrálně
-1	Mírně chladno
-2	Chladno
-3	Velmi chladno

6.2.2 PPD (PREDICTED PERCENTAGE DISSATISPIED)

Vzhledem ke skutečnosti, že každá osoba vnímá tepelný komfort odlišně (kvůli odlišným aspektům), je vždy skupina lidí, které nevyhovuje nastavené prostředí. PPD vyhodnocuje % nespokojených uživatelů s tepelným prostředím [65].

- 5% nespokojených uživatelů – nastává tepelná teplota
- 10% nespokojených uživatelů – přípustné podmínky
- 20% nespokojených uživatelů - přijatelné podmínky

6.2.3 MÍSTNÍ TEPELNÝ DISKOMFORT

Popisuje situace, které výrazně napomáhají k tepelné nepohodě. Uvádí se v % osob. Vyjadřuje se zejména pomocí těchto faktorů [65]:

- Průvan
- Vertikálním rozdílem teplot vzduchu
- teplota podlahy (chladné nebo teplé)
- asymetrie radiační teploty

6.2.4 METODA EKVIVALENTNÍ TEPLoty A DIAGRAM KOMFORTNÍCH ZÓN

Ekvivalentní teplota t_{eq} je teplota homogenního prostoru při střední radiační teplotě, která se rovná teplotě vzduchu a nulové rychlosti proudění vzduchu, ve které osoba vymění stejnou tepelnou ztrátu konvekcí a radiací, jako ve skutečných podmínkách [68]. Ekvivalentní teplotu lze vyjádřit pomocí vztahu [68].

$$t_{eq} = t_w - \frac{Q}{h_{cal}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (10)$$

Kde

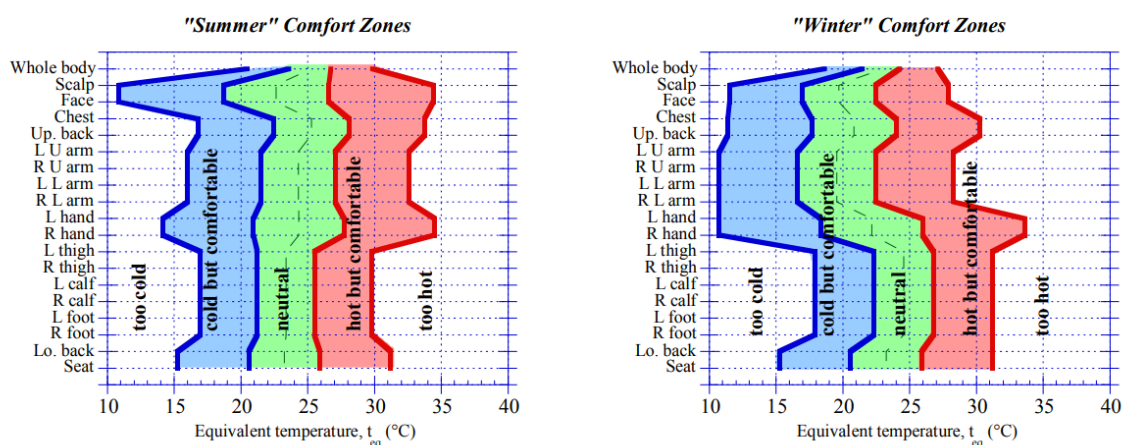
t_w je povrchová teplota [$^\circ\text{C}$]

Q je naměřená tepelná ztráta konvekcí a radiací ve skutečných podmínkách

h_{cal} je složený součinitel přestupu tepla určený při kalibrování ve standartním prostředí

Vyhodnocená ekvivalentní teplota slouží pro vyhodnocení komfortní zóny pro jednotlivé části těla a jednotlivé teploty. Vyhodnocení probíhá pomocí diagramu komfortních zón.

Diagram komfortních zón (obr. 41) (dále jen DKZ) je rozdělen na 19 různých zón (z toho 18 zón lidského těla). Tepelný komfort je popsán pomocí 5 různých zón (velmi chladno; chlad, ale přijatelně; neutrálně; teplo, ale přijatelně; horko). DKZ se dělí dle teplotního období na letní a zimní. Pro každé období je tepelný komfort pro konkrétní části těla v odlišných teplotách.



Obr.41 Diagram komfortních zón pro letní oděv (vlevo) a pro zimní oděv (vpravo) [66].

7 EXPERIMENT

7.1 NASTAVENÍ EXPERIMENTU

Cílem experimentu bylo změřit energetickou náročnost systému elektromobilu pro udržení tepelného komfortu. Pro měření byla využita laboratoř s klima komorou, která umožňuje nastavení konstantních podmínek působící na vozidlo. Vozidla byla před začátkem experimentu řádně vychlazená/vyhřátá v klima komoře na požadovanou teplotu pro zajištění stejných počátečních teplotních podmínek pro každý test v daném období (léto, zima). Vozidlo bylo na začátku testu nastartováno a bylo spuštěno vytápění/klimatizování. Během experimentu bylo měřeno více hodnot (popsáno v kap. 7.1.1), které sloužily pro vyhodnocení experimentu.

Autorka diplomové práce měřila v klima komoře vozidlo Hyundai Ioniq electric. Vyhodnocení bylo následně provedeno a porovnáno s výsledky předchozího měření, které byly měřeny na vozidlech Škoda Enyaq, Škoda Superb iV a Hyundai Kona dle tab.3. V tabulce jsou popsány teplotní podmínky nastavené během experimentu pro konkrétní vozidlo.

Tab.3 Tabulka parametrů všech analyzovaných měření

	Studené klima -5°C			Teplé klima 30°C		
Cílová teplota uvnitř auta	AUTO 24	AUTO 22	AUTO 18	20 °C	22 °C AUTO	24 °C
Tepelný systém	Topení			Klimatizace		
Hyundai Ioniq	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Srovnání s předchozím měřením						
Škoda Enyaq	×	✓	×	×	✓	×
Škoda Superb iV	×	✓	×	×	✓	×
Hyundai Kona	×	✓	×	×	✓	✓

První test byl zkušební. Zkušební test měl za úkol odzkoušení laboratoře a průběhu experimentu. Po provedení zkušebního experimentu byly provedeny experimenty sloužící pro cíle diplomové práce.

7.1.1 PARAMETRY SLEDOVANÉ PŘI MĚŘENÍ

TEPLOTY VZDUCHU V KABINĚ VOZIDLA

Pro vyhodnocení experimentu byly sledovány teploty ve výustkách a v prostoru kabiny. Teplota vzduchu ve výustkách byla měřena pomocí termočlánků. Byla měřena teplota vzduchu ve výustkách u řidiče a u spolujezdce, který proudí do oblasti vrchní části těla. Snímač termočlánku byl umístěn přibližně 1 centimetr do vnitřního prostoru výustky.

Teplota vzduchu v prostoru kabiny byla měřena pomocí teploměru, který byl umístěn pod opěrkou hlavy na spolujezdcově sedadle. Teplota vzduchu v kabině vozidla byla měřena pro kontrolu správnosti teploty s nastavenou teplotou pomocí systému vozidla.

TEPELNÝ KOMFORT

Tepelný komfort byl měřen pomocí iHVAC systému. iHVAC měl tepelný komfort pomocí snímačů umístěných na sedadle spolujezdce. Tepelný komfort byl měřen v MTV stupnici (kap.6.2.4), jehož hodnoty byly měřeny po přibližném časovém úseku 5 sekund. Hodnoty tepelného komfortu byly v každé minutě zprůměrovány.

PŘÍKON VOZIDLA

Příkon byl měřen pro zjištění energetické náročnosti systému a pro vyhodnocení spotřeby vozidla. Příkon byl měřen čidly a senzory vozidla jejichž data byla vyčítána pomocí CAN sběrnice vozidla. CAN zaznamenávala výkon každé 2-3 sekundy. Z celkového časového úseku bylo naměřeno velké množství dat, a proto byly hodnoty zprůměrovány v každé minutě.

TEPLOTA OKOLNÍHO VZDUCHU (TEPLOTA V KLIMA KOMOŘE)

Teplotu okolního vzduchu zajišťovala klimakomora, která pomocí tepelného čerpadla udržovala konstantní teplotu vzduchu v komoře. Pro letní a zimní období byla stanovena konkrétní teplota vzduchu (kap.7.2.1 a 7.2.2), kterou měla komora za úkol udržet po celý časový úsek experimentu.

7.2 KLIMATICKÉ PODMÍNKY EXPERIMENTU

Experiment spočíval na napodobení klimatických podmínek Střední Evropy ve dvou obdobích a to v letním a zimním. Zimní klima bylo reprezentováno teplotou -5 °C , která je běžná v zimních podmínkách v České republice. Druhé klima (letní) bylo reprezentováno teplotou $+30\text{ °C}$ a slunečním zářením 800 W/m^2 . Bylo provedeno celkem 15 měření, které jsou uvedeny v tab. 3.

7.2.1 STUDENÉ KLIMA (-5 °C)

Při studeném klimatu je potřeba vytápět kabinu vozidla. Byly zvoleny 3 úrovně teploty vytápění (tab. 3), které byly charakterizovány nastavenými cílovými regulačními teplotami interiéru 18, 22 a 24 °C . Cílem je zjistit při které teplotě je dosaženo tepelného komfortu a zjistit případnou úsporu energie, pokud by byl tepelný komfort dorovnán jiným přídatným systémem vytápění (vyhřívání sedadla).

7.2.2 TEPLÉ KLIMA (30 °C)

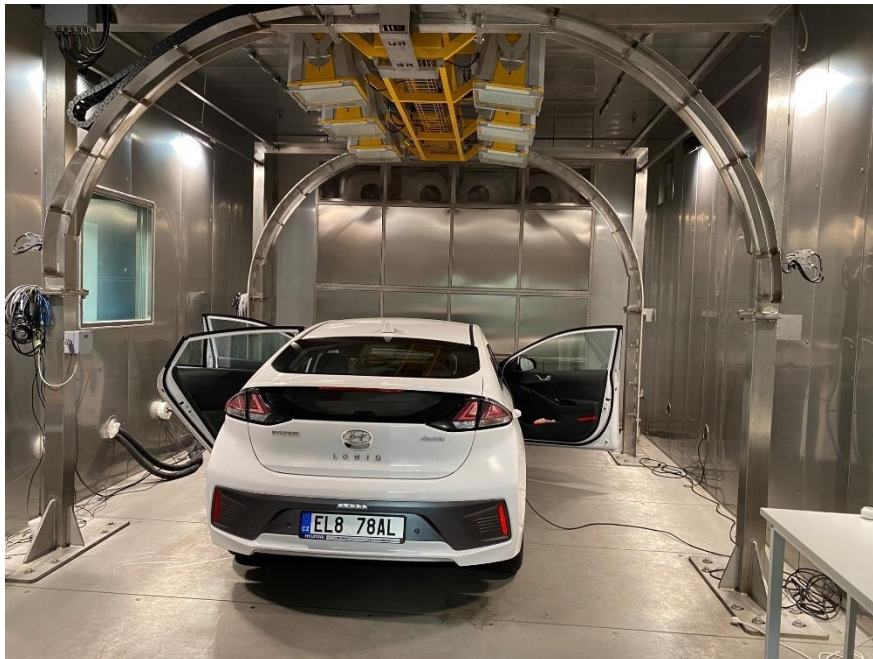
Pro teplé klima byly zvoleny 3 různé vnitřní teploty (20, 22 a 24 °C), které byly dosaženy pouze pomocí klimatizace. Cílem je opět zjistit, při jaké teplotě je dosažen optimální tepelný komfort a jaká energie je spotřebována.

7.3 POUŽITÁ MĚŘÍCÍ TECHNIKA

7.3.1 KLIMAKOMORA VUT FSI

Klimatická komora (obr. 42) slouží k vytváření a k regulaci daných klimatických podmínek dle daných požadavků. V komoře lze nastavit téměř jakékoliv klimatické podmínky od teploty -30 °C až do 80 °C [66]. Velikost komory je $5 \times 8,85 \times 3,8\text{ m}$ [67], což je dostatečná velikost

pro testování rozměrnějších objektů, jako je například vozidlo. Klimakomora je vhodná pro zajištění konstantních klimatických podmínek oproti reálnému provozu, kde nelze zajistit konstantní podmínky a mění se více veličin najednou.



Obr. 42 Klimakomora VUT FSI s vozidlem nachystaném na měření

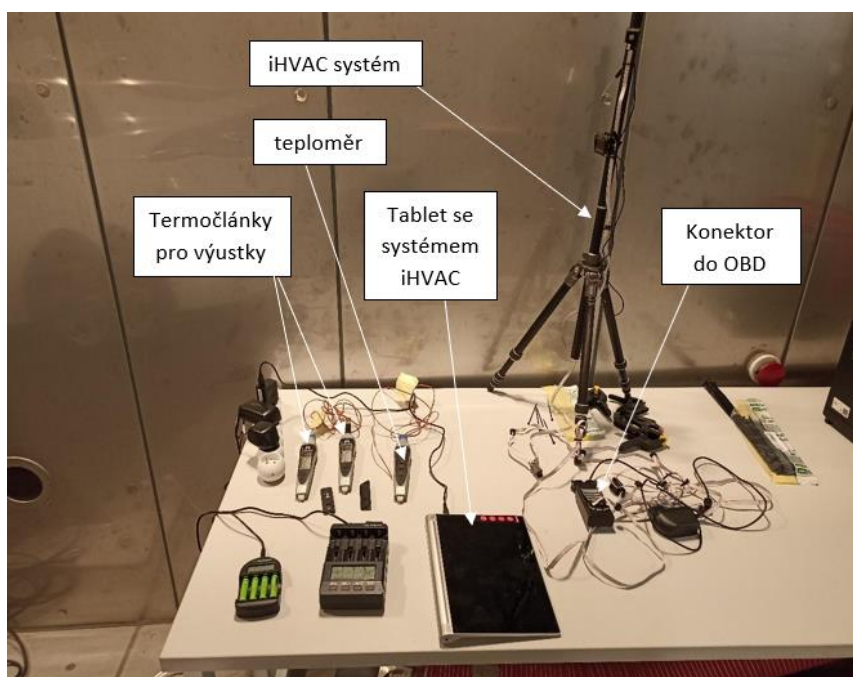
V rámci experimentu sloužila klima komora pro nastavení teploty okolního vzduchu a vlhkosti, ve kterém bylo měřené vozidlo. Nastavením bylo nasimulováno roční období (léto a zima). Pro letní období byl nastaven solární simulátor, který simuloval zatížení vozidla slunečním zářením. Klimakomora je řízena z velína (obr.43) ve kterém jsou počítače, pro záznam dat a řízení technologii klimakomory.



Obr.43 Velín klimakomory s počítači pro řízení klimakomory a záznam dat experimentů.

7.3.2 MĚŘICÍ SONDY

Pro měření potřebných veličin bylo využito více druhů měřících sond. Obrázek 44 znázorňuje všechny měřicí sondy použité při zimním měření. Pro letní klimatický prostředí byly použity stejné sondy, ale navíc byl použit pyranometr (snímač solárního záření), který je zobrazen na obrázku 81 vpravo. Tento snímač zajišťoval zpětnou vazbu pro řízení výklonu solárního simulátoru na předepsanou hodnotu intenzity solárního záření v úrovni střechy vozidla.



Obr.44 Vybavení použité při všech měření.

IHVAC

Měřicí systém iHVAC byl využit pro měření tepelného komfortu. Konstrukci iHVAC systému tvoří trojnohý stojan, na kterém jsou umístěny snímače systému (obr. 44). Pro měření tepelného komfortu byly zvoleny 3 snímače, které byly umístěny do oblasti hlavy, stehna a chodidel. iHVAC systém byl umístěn na sedadlo spolujezdce (obr. 46).

TERMOČLÁNKY

Termočlánky typu T byly využity pro měření teploty vzduchu vycházející z výustek u řidiče a u spolujezdce. Zpracování termoelektrického signálu a přenos dat byl realizován univerzálním teploměrem Testo 435-4 (typové číslo 0563 4354) a bezdrátovými rukojeťmi (typové číslo 0554 0191).

TEPLOMĚR

Bezdrátový teploměr byl použit pro měření teploty v kabině vozidla. Byl umístěn pod opěrku spolujezdcova sedadla. Jednalo se o typ Testo měřicí špička pro měření t + RH (typové číslo 0636 9736).

7.4 ZKUŠEBNÍ TEST (PRE-TEST)

V rámci cvičení předmětu QTE (Tepelný management vozidel) byl proveden zkušební test měření. Bylo měřeno zimní i letní klima. Některé části výsledků měření nelze porovnat s ostrým měřením, protože zkušební test byl určen pro výuku a nebyly dodrženy některé

podmínky. Především během měření chodili studenti do komory a docházelo k teplotním výkyvům. Zkušební test je vhodný pro vyzkoušení všech funkcí komory a průběhu měření, aby další měření mohlo proběhnout bez komplikací.

7.4.1 ZIMNÍ

NASTAVENÍ LABORATOŘE A VYBAVENÍ

Test začal zapojením všech měřících systémů a teplota kabiny byla nastavena na $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Následně se nechalo vozidlo do doby začátku testu vychladit.



Obr. 45 Vozidlo v klimakomoře se zapojenými měřícími systémy

Při zahájení testu byla teplota uvnitř kabiny vozidla nastavena na AUTO $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měření dle tab. 4 začalo v 16:26 a trvalo celkem 21 minut.

Tab. 4 Časový harmonogram pre-testu

	Čas [h]
Začátek testu	16:26
Konec testu	16:47
Celkem	00:21

Pro měření tepelného komfortu bylo využito měřícího systému iHVAC (obr. 46), který byl umístěn na sedadle spolujezdce. Byly použity 3 snímače označeny čísly:

- 13 chodidla
- 14 stehna
- 44 hlava

Umístění senzoru 13 (obr. 46 vpravo) je na podlaze spolujezdce v oblasti chodidel. Senzor je nasměřován proti proudu distribuce vzduchu z výustky pro nohy. Senzor 14 (obr. 46 vlevo) je umístěn na zámek bezpečnostního pásu, který je umístěn přibližně v oblasti stehen.



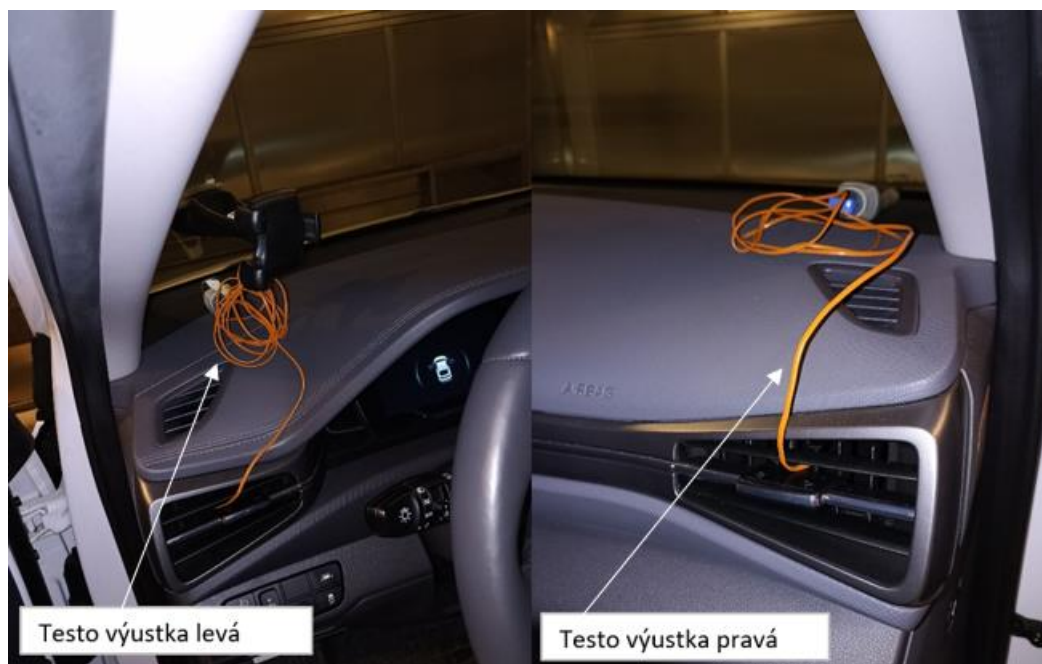
Obr.46 Nastavení senzorů 14 a 13 ve vozidle.

Senzor 44, který měřil hodnoty v oblasti hlavy byl umístěn v horní oblasti stojanu iHVAC (obr. 47). Poloha byla nastavena tak, aby odpovídala přibližné oblasti hlavy. Pro měření teploty v kabině vozidla byl využit bezdrátový snímač, který byl umístěn pod opěrku hlavy na spolujezdcově sedadle.



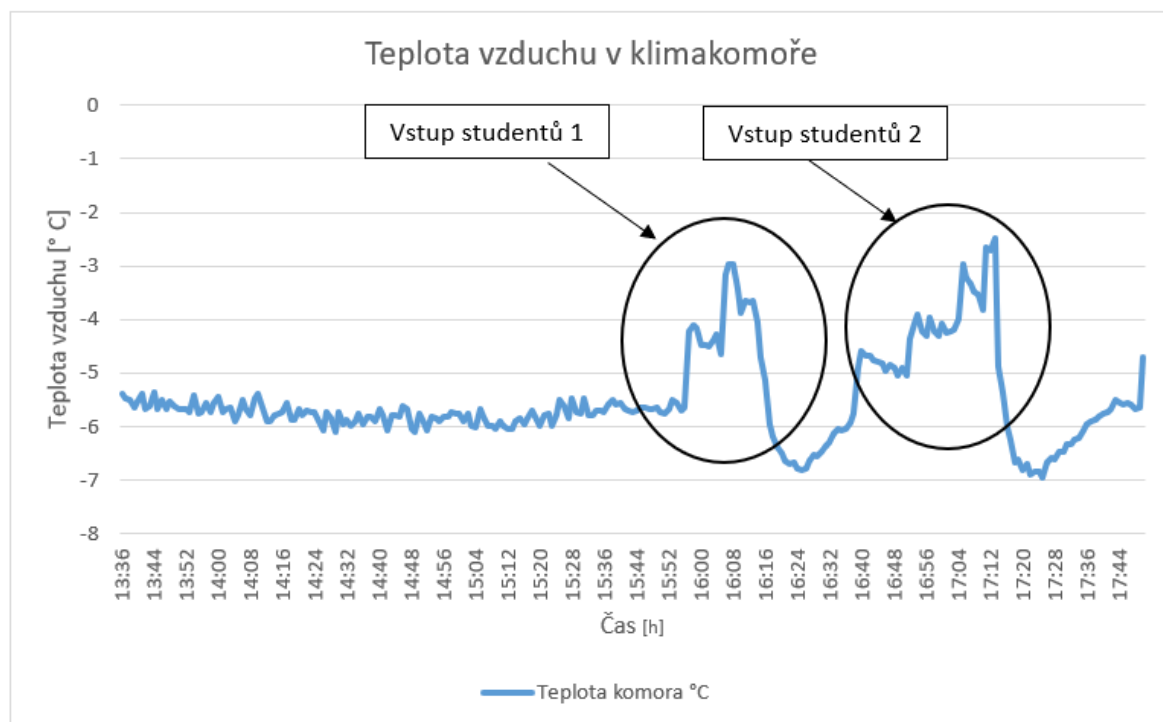
Obr.47 Nastavení měřícího systému iHVAC ve vozidle Ioniq electric

Pro měření teploty vzduchu z pravé a levé výustky byly nastaveny termočlánky dle obr. 48. Výustky byly nastaveny tak, aby proud vzduchu mířil na řidiče (levá výustka) a na spolujezdce (pravá výustka).



Obr.48 Nastavení senzorů pro měření teploty z výustek

Obr. 49 znázorňuje průběh teploty vzduchu v klimakomoře. Cílová teplota klimakomory byla nastavena na $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale jak lze vidět na obr. 49, reálná teplota vzduchu v klimakomoře se před spuštěním experimentu pohybovala mezi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Test sloužil pro výuku a v komoře bylo velké množství osob, které způsobily nestabilitu teplot vzduchu v komoře. Přítomnost studentů způsobila náhlé změny teploty znázorněné na obr. 49. Z tohoto důvodu nemůže být měření použito pro účely analýzy dat, ale pouze jako demonstrace postupu měření pro účely této diplomové práce.



Obr.49 Teplota klimakomory v průběhu měření

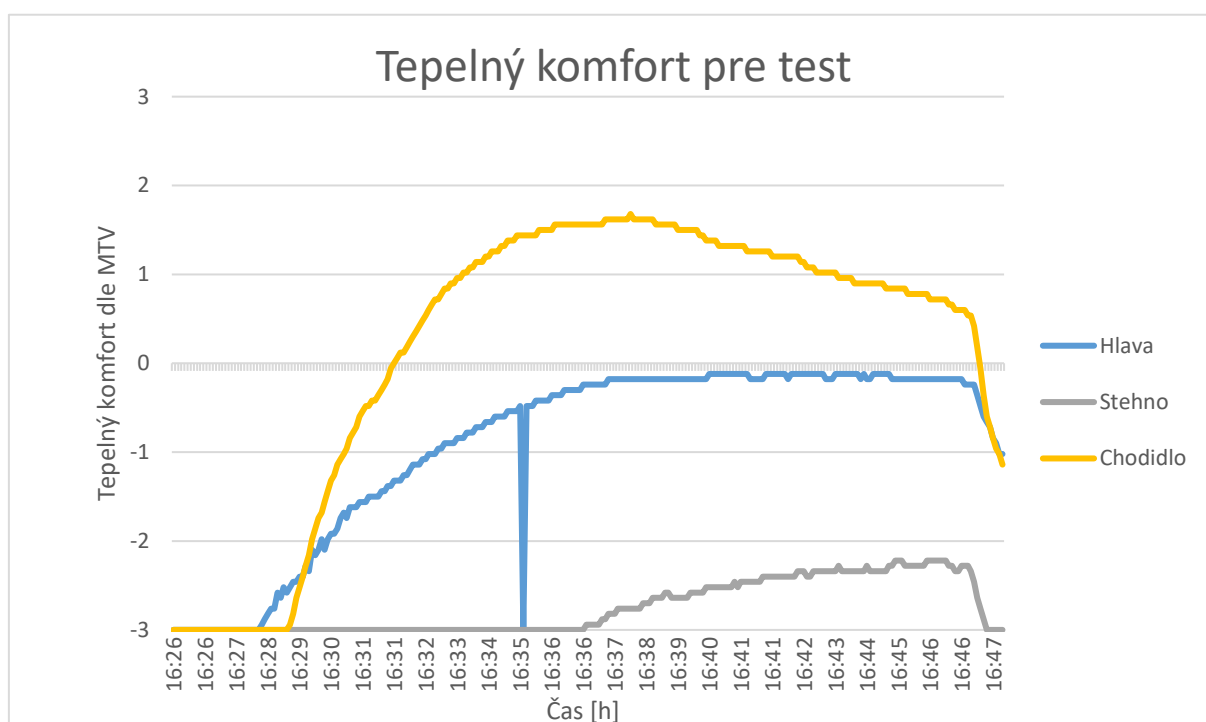
VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Na obr. 50 lze vidět průběh tepelného komfortu. Tepelný komfort byl vyhodnocen pro 3 senzory umístěné ve vozidle pro obličej, stehno a chodidlo.

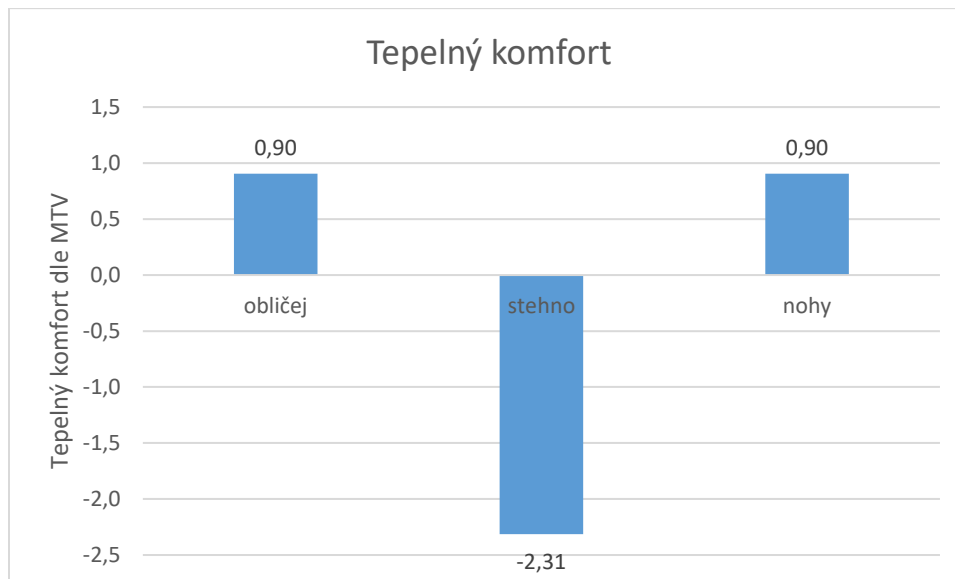
Na začátku experimentu byl pro všechny 3 části těla tepelný komfort -3, což odpovídá nepříjemné zimě. Tepelného komfortu dosáhlo levé chodidlo jako první, je to z důvodu nastavení vozidla, kdy v zimě topí více na chodidla. Později ale dosáhlo hodnoty cca +1,8, což je snesitelné teplo, ale mimo tepelný komfort.

Obličej dosáhl taktéž tepelného komfortu, ale s delší časovou prodlevou. Dále se ale téměř konstantně udržoval v teplotním komfortu kolem 0, nastavení pro obličej je tedy optimální.

Stehno dopadlo ze všech částí nejhůře. Tepelného komfortu nedosáhlo v průběhu celého testu. Dostalo se na hodnotu cca -2,2, což je nepříjemné chladno. Pro stehna je nastavení teploty v kabině nedostačující.

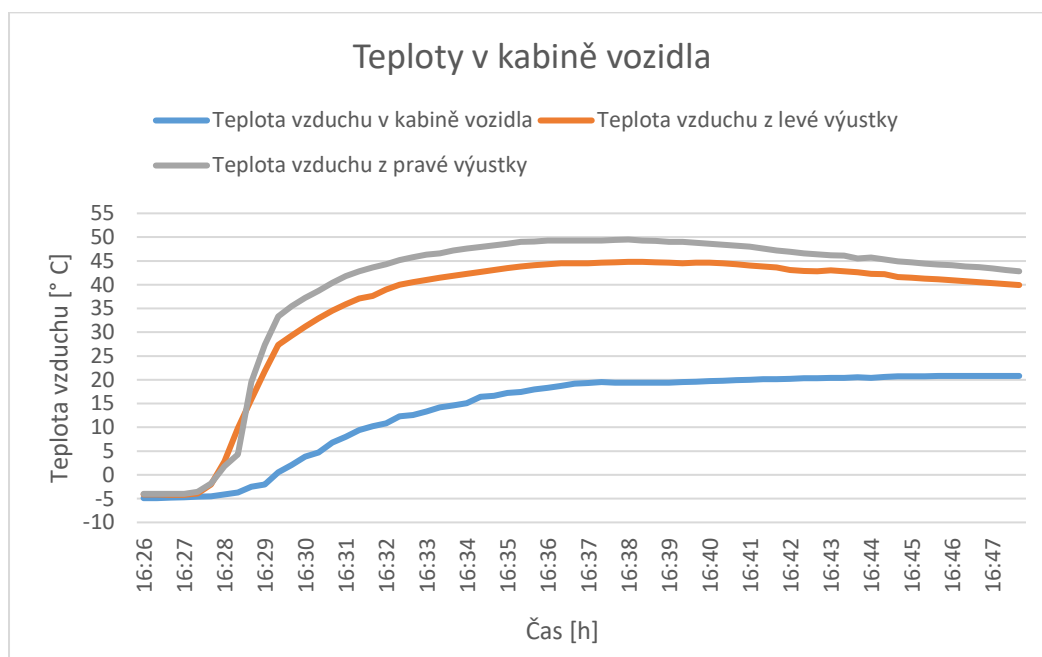


Obr.50 Výsledky měření tepelného komfortu ve zkušebním testu



Obr. 51 Tepelný komfort vyjádřen ve sloupcovém grafu

Pro vyhodnocování konečného tepelného komfortu ve zkušebním testu byl použit časový úsek 5 minut na konci testu. Výsledky lze vidět na obr. 51. Data ale nejsou použitelná, protože hodnoty nebyly ustálené. Měření by bylo vhodné udělat delší, avšak to nebyl účel tohoto testu. Na obr. 52 lze vidět průběh teplot vzduchu v kabině vozidla.



obr.52 Průběhy teplot v kabině vozidla a teploty vzduchu proudící z výustek

Zkušební test prokázal správnou funkci laboratoře a vybavení spojené s klimakomorou. Následně mohlo být provedeno měření pro diplomovou práci, které proběhlo následující týdně.

7.5 MĚŘENÍ ZIMNÍHO KLIMA

7.5.1 MĚŘENÍ Č. 1

Po otestování průběhu měření mohlo proběhnout „ostré“ měření zimního klimatu. Měření probíhalo obdobným způsobem, jako zkušební měření. Po vychlazení komory na teplotu - 5 °C, které probíhalo 5 hodin dle časového harmonogramu (tab. 5) začal experiment. V uvedené tabulce jsou uvedené nastavené cílové teploty uvnitř kabiny a čas, ve kterém byly nastaveny.

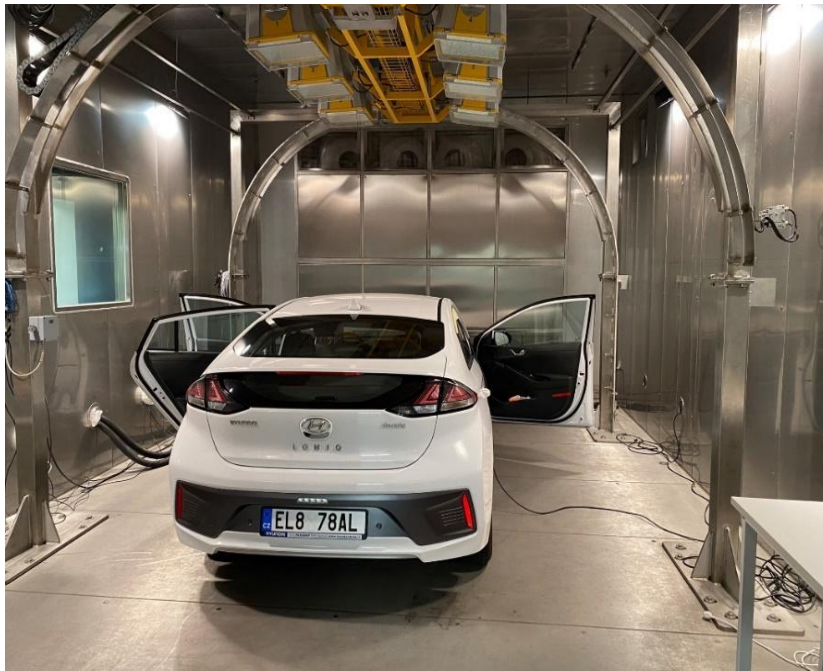
V tomto měření byly teploty zvyšovány vzestupně. První nastavená cílová teplota (18 °C) byla měřena 1 hodinu. Zbývající 2 teploty byly měřeny v půlhodinových intervalech. První teplota (18 °C) měla delší časový interval z důvodu náročnějšího průběhu teploty a tím bylo zajištěno, že výsledky jsou řádně ustálené. Zbývající 2 teploty (22 °C a 24 °C) měly kratší interval, protože měly podstatně menší teplotní diferenci, a proto byly hodnoty dříve ustálené.

Tab. 5 Přehled jednotlivých časů změn během experimentu.

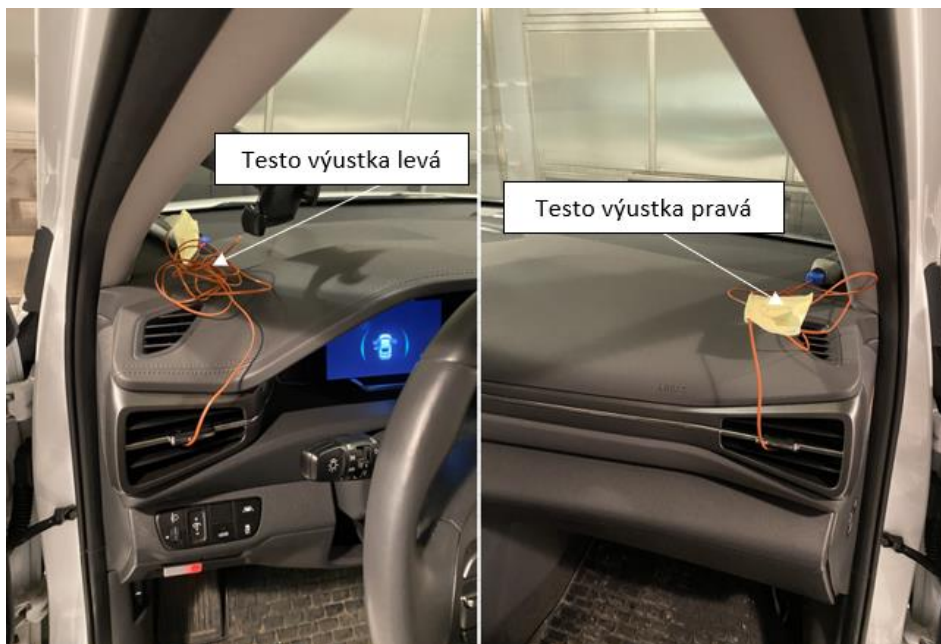
	čas[h]
Spuštění klimakomory	9:00
Začátek testu (teplota 18 °C) - úsek 1	14:00
Nastavení teploty na 22 °C – úsek 2	15:00
Nastavení teploty na 24 °C – úsek 3	15:30
Konec testu	16:00
Celkový čas experimentu	2:00

NASTAVENÍ LABORATOŘE A VYBAVENÍ

Vozidlo bylo zaparkováno do laboratoře (obr. 53). Následně byly nainstalovány termočlánky do pravé a levé výustky (obr. 54). Na sedadlo spolujezdce byl umístěn iHVAC měřicí systém (obr. 55) a pod opěrkou sedadla byl umístěn teploměr pro měření teploty v kabině vozidla. Další části iHVAC systému (stehno a chodidlo) byly umístěny na zámek bezpečnostního pásu (obr. 56 vlevo), která je v úrovni stehien a na podlahu spolujezdce, blízko výustky (obr. 56 vpravo), která je v úrovni chodidel.



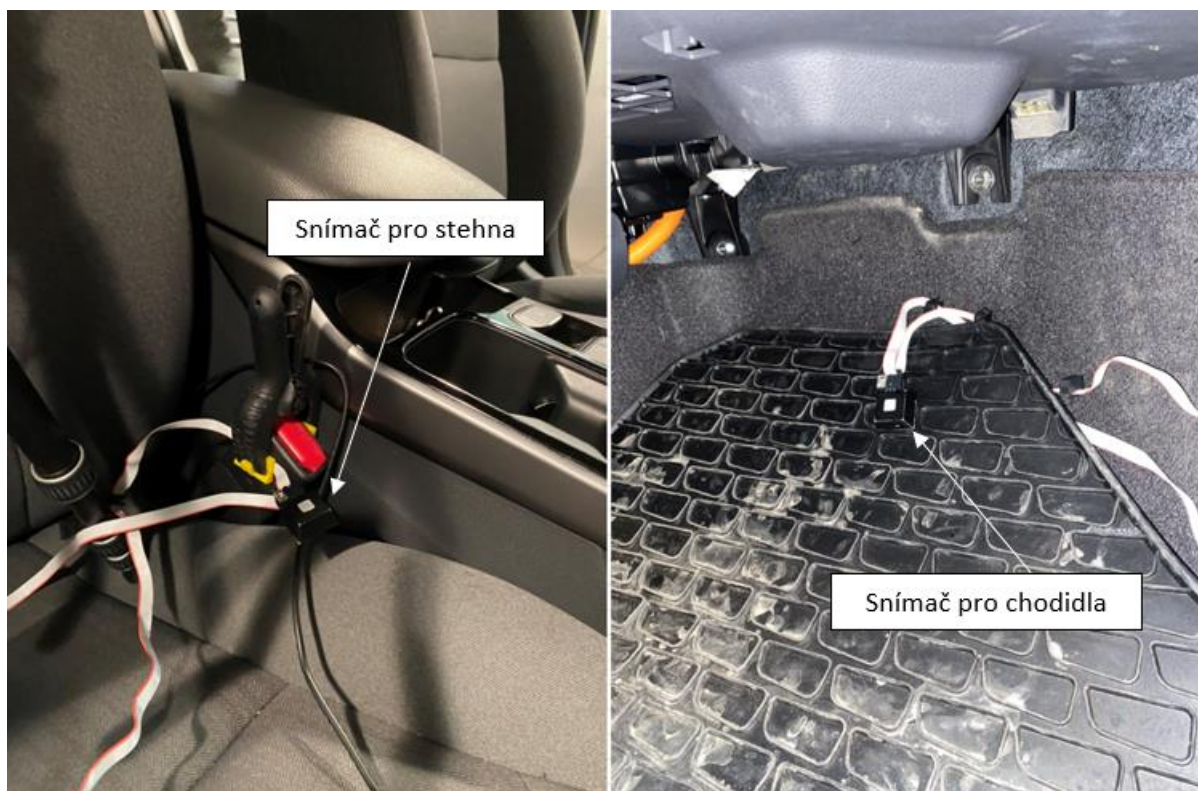
Obr.53 Vozidlo v klimakomoře před začátkem experimentu



Obr.54 Umístění měřících termočlánků pro levou výustku (vlevo) a pravou výustku (vpravo)

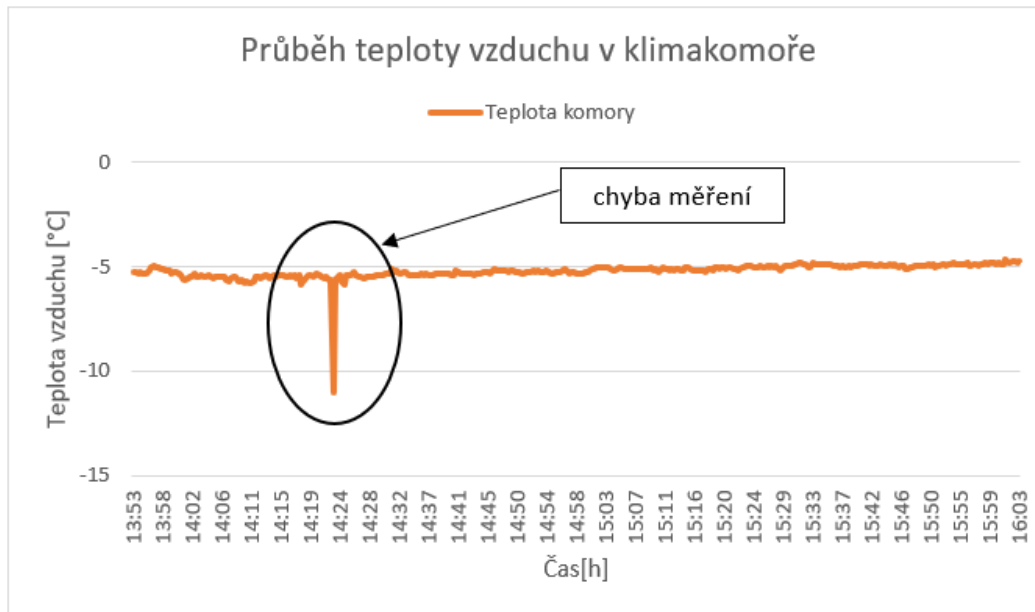


Obr.55 Umístění měřicího systému iHVAC



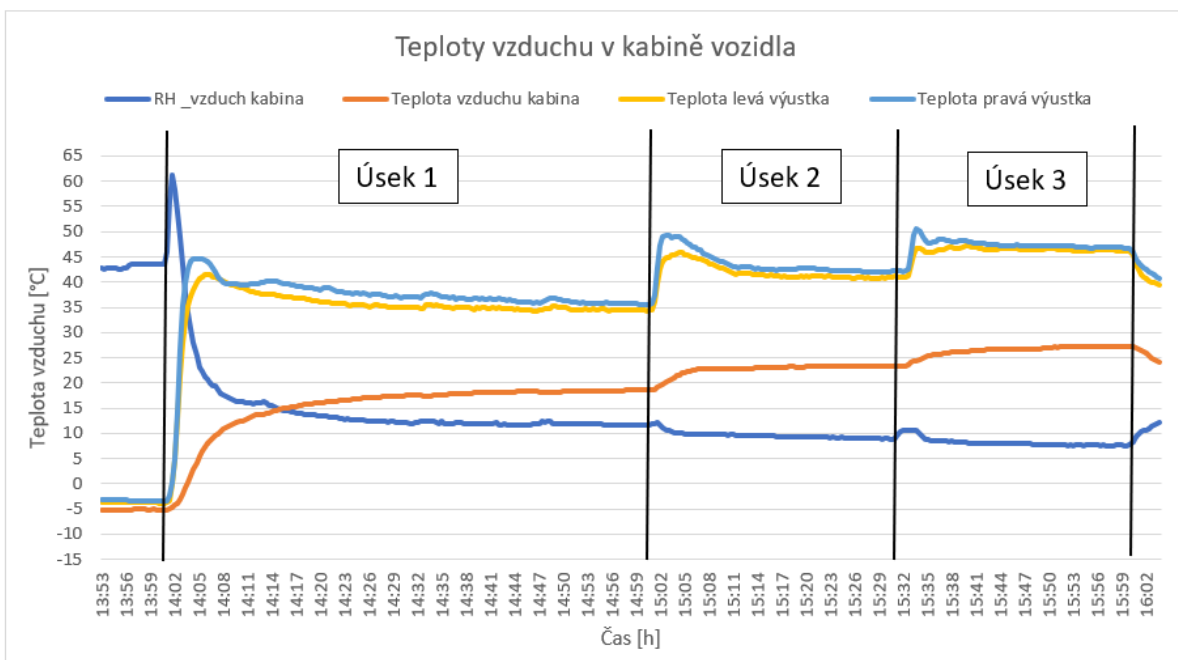
Obr. 56 Umístění senzorů pro stehno (vlevo) a chodidla (vpravo)

Obr. 57 znázorňuje průběh teploty vzduchu v klima komoře (červená křivka). Teplota byla nastavena na $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Klima komora udržovala teplotu $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Odchylka, která je viditelně odchylená od průběhu měření, zobrazuje výpadek přenosu dat z měřicího senzoru.



Obr. 57 Graf průběhu teploty vzduchu v klimakomůře

Obr. 58 ukazuje průběh teplot v kabině vozidla. Tmavě modrá barva ukazuje průběh teploty z pravé výustky, která byla měřena termočlánkem. Žlutá barva ukazuje průběh teploty vzduchu z levé výustky. Průběhy teplot vzduchu z výustek jsou si podobné, ale s odlišnou teplotou. Je to způsobené tím, že pravou výustkou (u spolujezdce) proudí vzduch vyšší teplotou než vzduch ve výustce u řidiče. Tento fakt je zřejmě nastaven výrobcem, protože v každém měření proudil teplejší vzduch ve výustce u spolujezdce.



Obr. 58 Grafické zobrazení teplot v kabině vozidla v průběhu experimentu

Oranžová křivka ukazuje průběh teploty v kabině vozidla, která byla měřena teploměrem umístěným pod opěrkou vozidla (obr. 55). Reálná teplota se od definované teploty značně odlišovala. V tab. 6 jsou uvedeny rozdíly v teplotách definovaných a skutečně naměřených

pomocí teploměru. Hodnoty teplot byly vypočítány průměrem z časového úseku 5 min před koncem části experimentu, kde byly hodnoty ustáleny.

Tab. 6 Teploty v kabině vozidla nastavené vs. skutečné naměřené

Nastavená teplota [°C]	Naměřená hodnota [°C]	Rozdíl hodnot [°C]
18	18,5	0,5
22	23,4	1,4
24	27,2	3,2

V prvním úseku (18 °C) vozidlo vytopilo kabinu vozidlo na definovanou teplotu s odchylkou 0,5 °C, která je akceptovatelná.

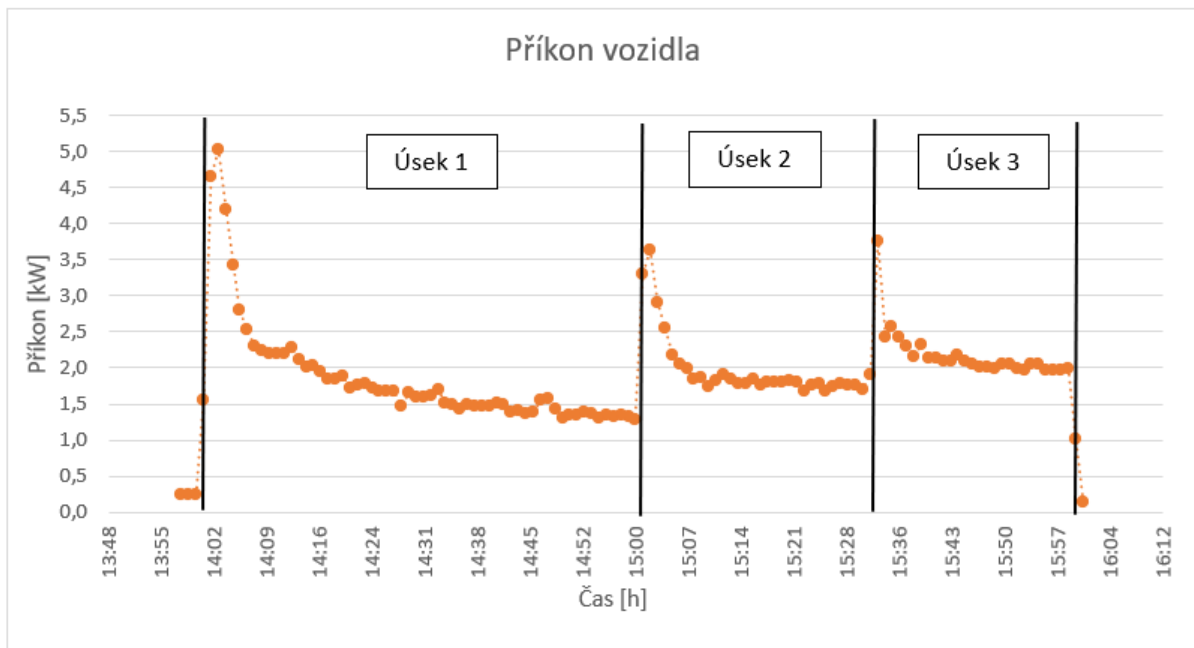
V druhém úseku (22 °C) byla kabina vozidla vytopena na 23,4 °C, což bylo o 1,4 °C více, než bylo nastaveno. V druhém úseku tedy nebyla nastavená teplota dodržena.

Třetí úsek (24 °C) byl nejodlišnější. Teplota v kabině vozidla dosáhla 27,2 °C. Rozdíl od nastavené teploty byl 3,2 °C a to už bylo znatelné pro měření tepelného komfortu.

Nelze jednoznačně říct, čím je tento fakt způsoben. Může být způsoben nastavením systému vozidla dané výrobcem. Pro ověření, zda se tento jev pokaždé opakuje, byl proveden stejný test znova s týdenním odstupem (měření 2 - kapitola 7.5.2) s tím rozdílem, že byly prohozeny teploty, aby vytápění neprobíhalo při postupně vzrůstající teplotě.

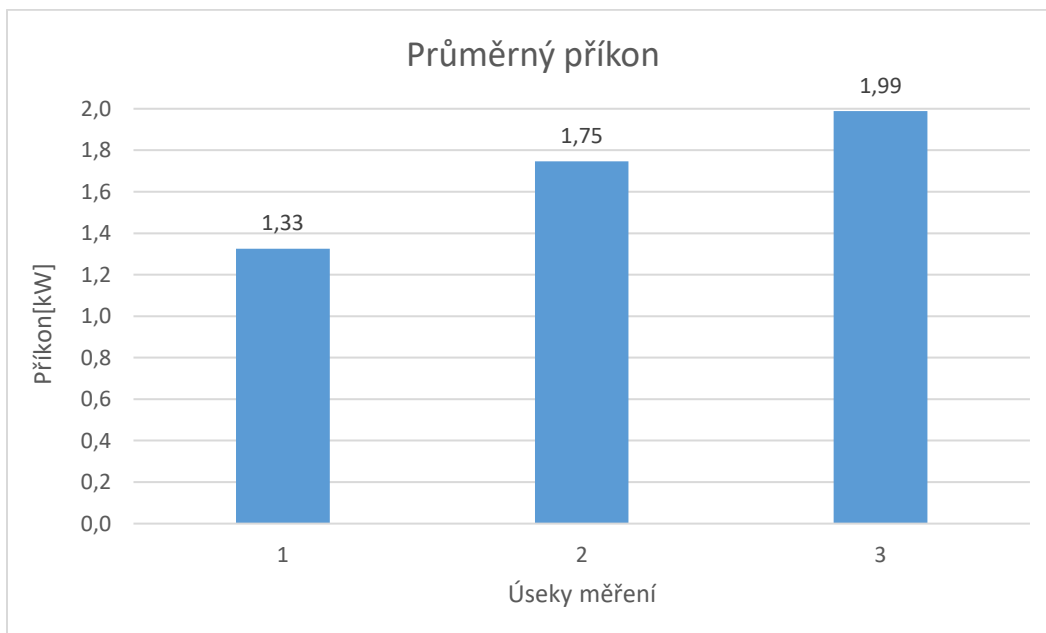
VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Obr 59 znázorňuje příkon HVAC jednotky v průběhu měření. Se zvyšujícími se nároky na vytápění interiéru se zvyšoval i příkon. Průběh hodnot je ke konci měření jednotlivého úseku ustálený, a proto z nich lze vypočítat průměrné hodnoty příkonu v ustáleném stavu.

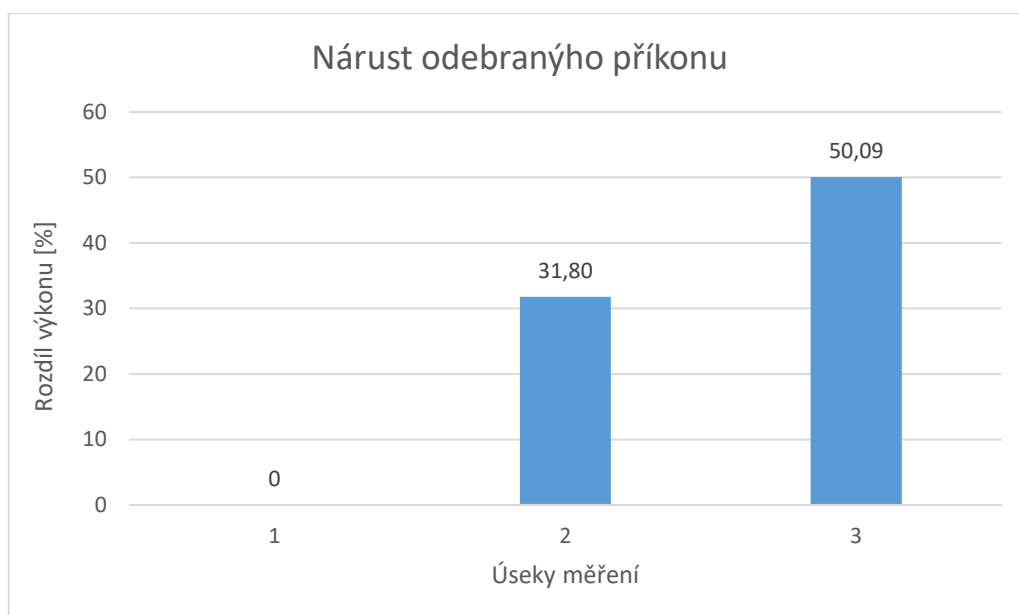


Obr. 59 Příkon vozidla během měření

Hodnoty příkonu HVAC systému naměřené v posledních 5 minutách každého úseku experimentu byly zprůměrovány. Výsledné hodnoty jsou vyneseny v obr. 60. Nejmenší příkon byl v úseku 1. Úsek 2 měl o 31,8 % příkonu více, než úsek 1 a úsek 3 měl o 50,1 % vyšší příkon, než úsek 1. Z toho vyplývá, že zvýšení vytápění vozidla o 6 stupňů znamená o polovinu vyšší příkon HVAC systému.

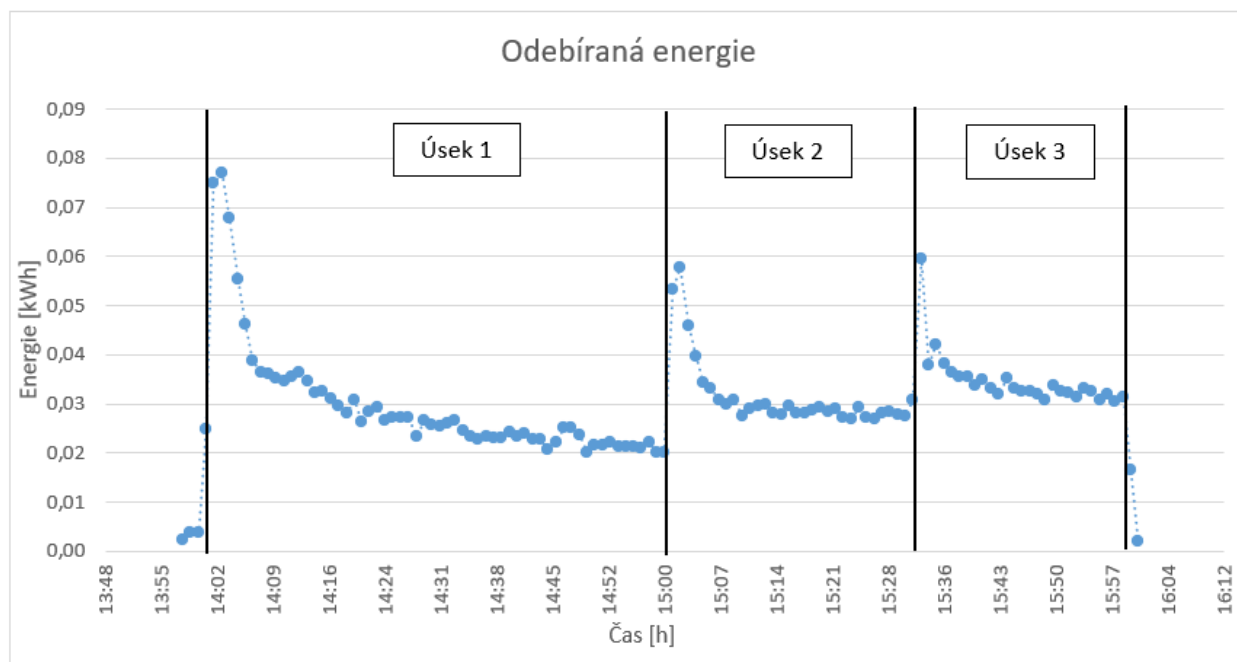


Obr. 60 Průměrné hodnoty příkonu v jednotlivém úseku měření



Obr.61 Nárůst příkonu oproti nejnižší hodnotě (úsek 1)

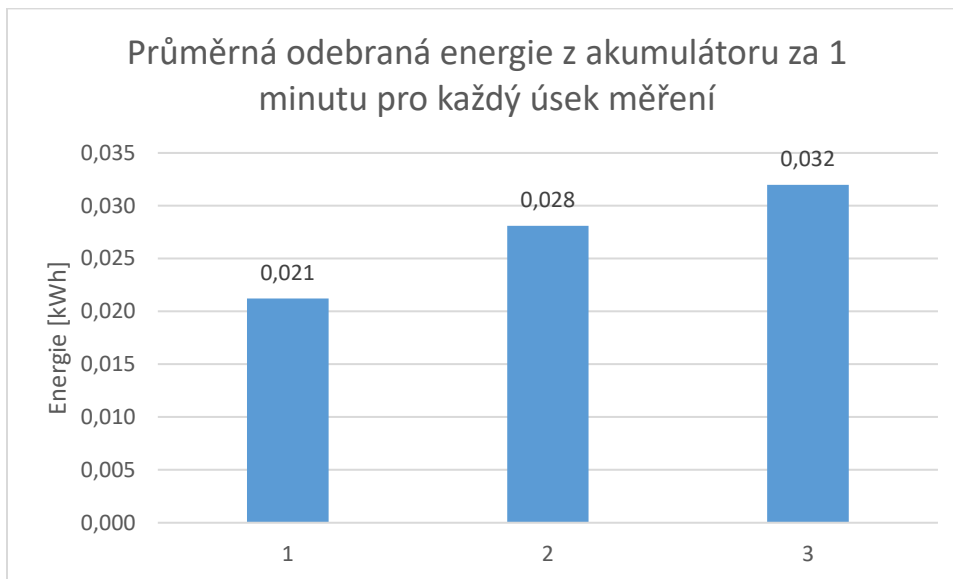
Průběh odebrané energie lze vidět na obr. 62. Hodnoty energie jsou vypočítané pro časový úsek 1 minuty. Z počátku nastavení cílové teploty je odebíraná energie vyšší, ale po určité době se ustálí na konkrétní hodnotu, která je pro každou teplotu odlišná. Na grafu lze vidět, že se zvyšujícími se nároky na teplotu vzduchu v kabině vozidla, se zvyšuje i množství odebrané energie. Křivky hodnot jsou ke konci měření ustálené, a proto z nich lze vypočítat průměrnou hodnotu odebrané energie.



Obr.62 Odebraná energie za 1 minutu v průběhu celého měření

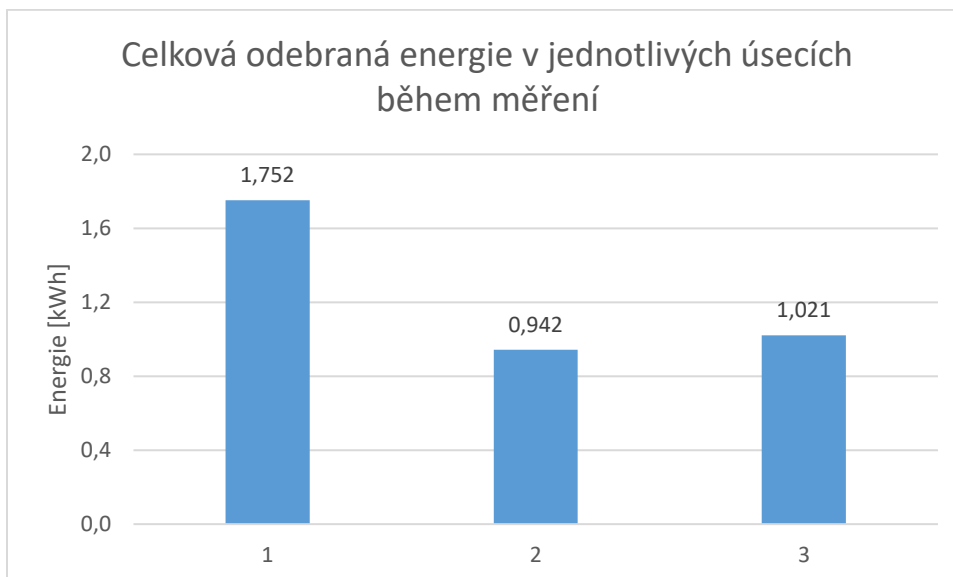
Průměrné hodnoty odebírané energie byly vypočítány z časového úseku 10 minut na konci každého úseku měření. Hodnoty na obr. 63 ukazují průměrnou spotřebovanou energii za 1 minutu v ustáleném průběhu měření.

Pro úsek 1 (18 °C) byla průměrná spotřebovaná energie v časovém úseku 1 minuta 0,021 kWh, ze všech hodnot je nejmenší, protože vytápění probíhalo na nejnižší teplotu, a tudíž vozidlo mělo menší náročnost. Pro úsek 3 byla naopak nejvyšší, protože vozidlo bylo vytápěno na nejvyšší teplotu (24 °C).



Obr. 63 Průměrná odebraná energie za 1 minutu

Obr. 64 znázorňuje celkovou spotřebovanou energii za celý úsek měření. Úsek 1 měl nejvyšší celkovou spotřebu energie ze všech úseků měření. Tento fakt je způsoben tím, že 1. úsek měření probíhal 1 hodinu, ale úseky 2 a 3 probíhaly pouze 30 minut.



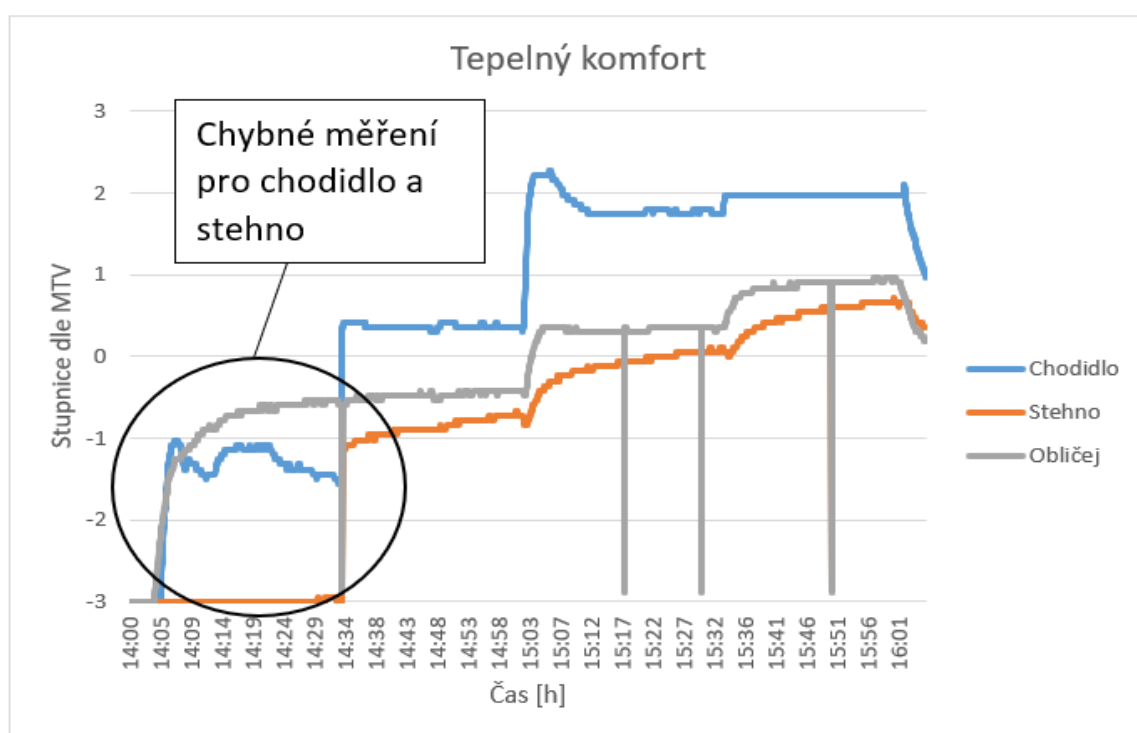
Obr.64 Celková odebraná energie v jednotlivých úsecích během měření

Za celou dobu experimentu (celkem 2 hodiny) bylo spotřebováno celkem 3,72 kWh energie. Při celkové kapacitě 38 kWh, kterým je vozidlo vybaveno je odebrané energie přibližně 10 %. Při průměrné spotřebě (kombinované) vozidla 13,8 kWh/100 km se spotřebovaná energie rovná přibližně 25 km dojezdu.

Obr. 65 znázorňuje průběh tepelného komfortu, ukazuje dosažení tepelného komfortu pro jednotlivé části těla, pro které byly nastaveny senzory. Začátek měření (zaznačeno na obr.65)

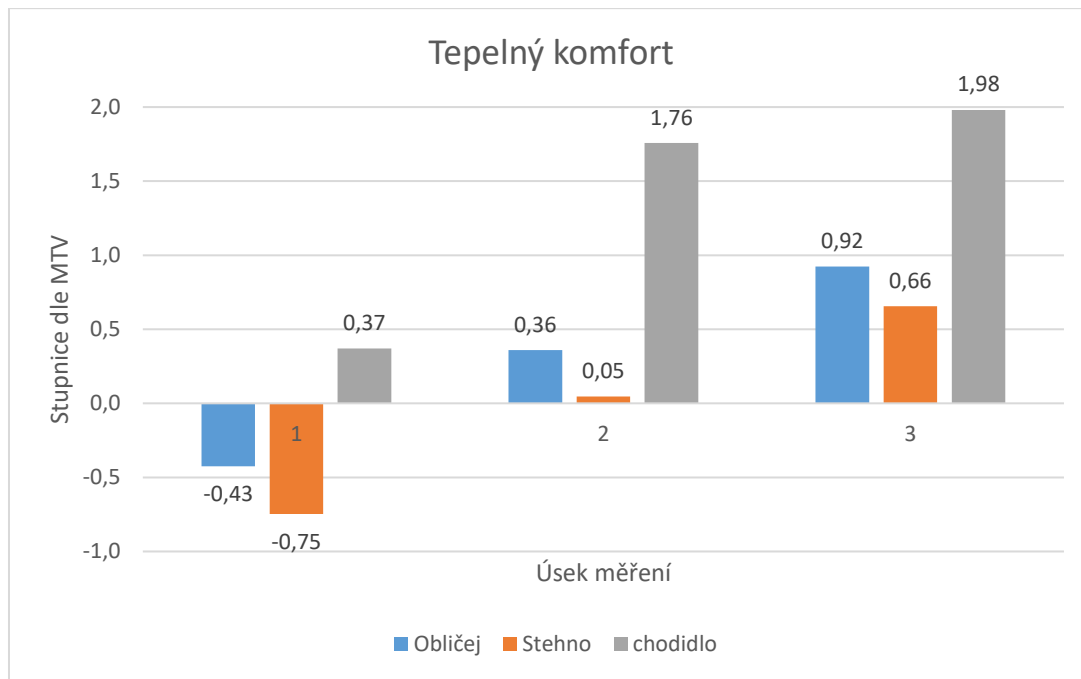
pro stehna a chodidla je chybné, protože průběh nenavazuje v čase 14:34 na křivku. Bylo to způsobeno chybným nastavením měřicího systému na začátku měření, a proto 14:34 byl systém restartován a obnovena správná funkce. Měření první části trvalo 1 hodinu a tato chyba nastala během první půl hodiny, tudíž to nepřineslo problémy pro vyhodnocení experimentu. Na grafu lze vidět, že hodnoty na konci jednotlivých úseků měření jsou ustálené, a proto z nich lze odebrat hodnoty tepelného komfortu. Odchylinky v průběhu grafu jsou opět způsobené chybou během měření. Pro vyhodnocení nemají žádný negativní vliv a výsledky lze použít.

Na grafu lze vidět, že nejvyššího tepelného pocitu bylo dosaženo na chodidlech. Je to způsobené tím, že na chodidla proudí nejvyšší teplota vzduchu, pokud je vozidlo vytápěno. Nejhůře dosahovalo tepelného komfortu stehno, které je v největším dosahu výustky ze všech částí těla, které byly vyhodnoceny.



Obr.65 Hodnoty tepelného komfortu během měření

Obr. 66 znázorňuje hodnoty tepelného komfortu vyhodnoceny průměrem z časového úseku 5 min před koncem jednotlivého úseku měření. Neoptimálnější je úsek 2 (22 °C), u kterého dosáhlo optimálního komfortu stehno a obličej. Chodidlo je mimo optimální úsek, avšak senzor byl umístěn v blízkosti výustky. V praxi lze nohy oddálit (dát je do pravého úhlu) a tím se přiblížit optimálnímu komfortu.



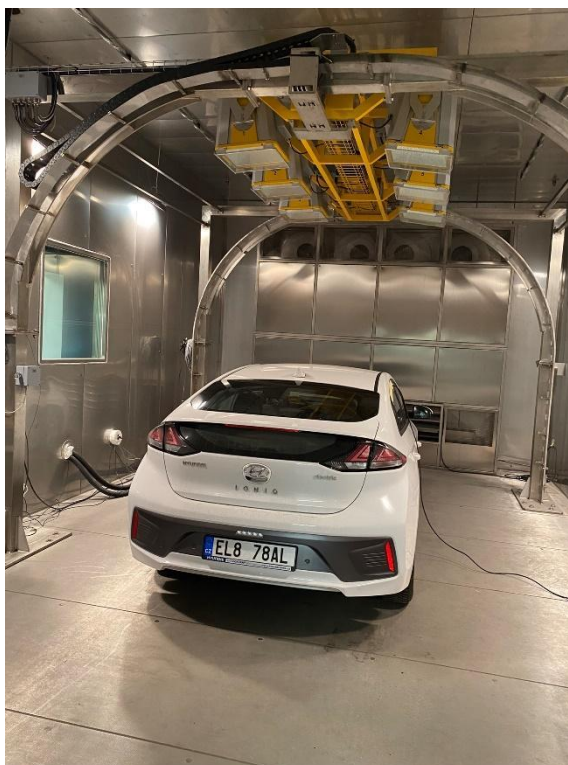
Obr.66 Tepelný komfort pro všechny měřené oblasti ve všech měřených úsecích

7.5.2 MĚŘENÍ Č. 2

Měření č. 2 bylo provedeno z důvodu ověření totožnosti průběhu měřených hodnot a zjištění odlišnosti. Měření probíhalo obdobným způsobem. Cílové teploty měly stejné hodnoty, ale byly měřeny v jiném pořadí. Byla zaměněna cílová teplota prvního úseku a druhého úseku dle tab. 7. Vozidlo bylo umístěno do klimakomory (obr. 67) a byly nachystány měřicí přístroje do vozidla. Následně byla dle harmonogramu (tab 7) spuštěna klimakomora a začalo ochlazování vozidla na teplotu $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po 5 hodinách vychlazování bylo spuštěno měření 1. úseku, při kterém byla nastavena cílová teplota v kabině vozidla na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento úsek byl měřen 1 hodinu. Po hodině byla nastavena teplota na 18°C a byla měřena půl hodiny. 3. úsek byl nastaven na cílovou teplotu 24°C a byl měřen opět půl hodiny.

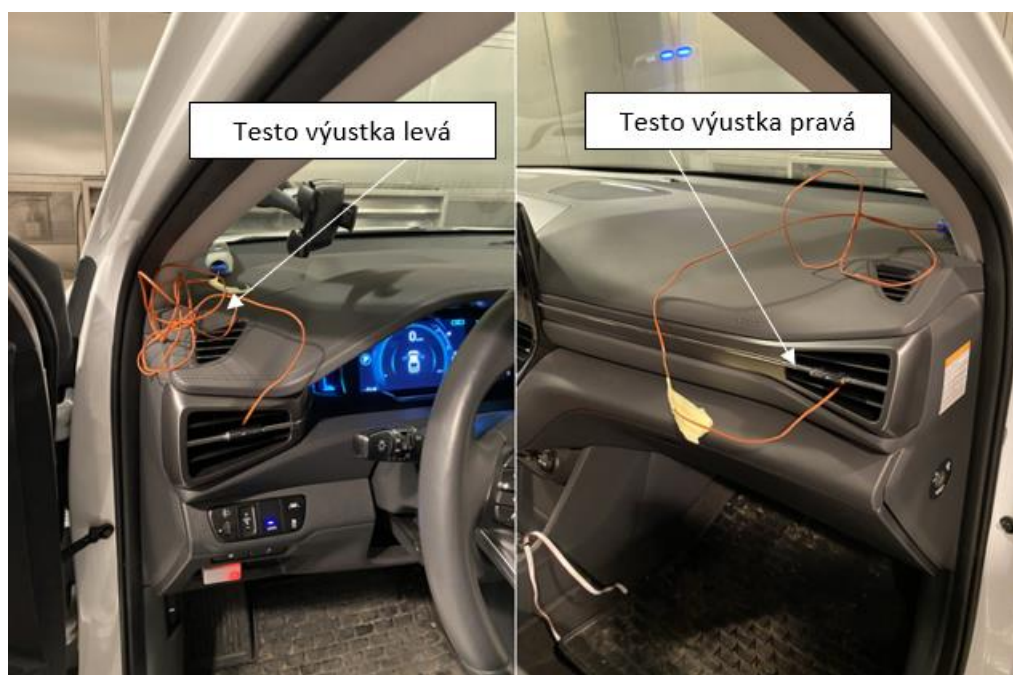
Tab.7 Harmonogram měření č. 2

	čas[h]
Spuštění klimakomory	9:00
Začátek testu (teplota na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) - úsek 1	14:00
Nastavení teploty na $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – úsek 2	15:00
Nastavení teploty na $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ – úsek 3	15:30
Konec testu	16:00
Celkový čas měření	2:00



Obr.67 Vozidlo umístěné v klimakomře nachystané pro experiment

Do výustek u řidiče a u spolujezdce byly instalovány termočlánky pro měření teploty vzduchu vycházející z výustek (obr. 68).



Obr.68 Nastavení termočlánků pro měření teploty vzduchu z levé výustky(vlevo) a z pravé výustky(vpravo)

Na sedadlo spolujezdce bylo instalováno měřicí zařízení iHVAC (obr. 69) pro měření tepelného komfortu v oblasti obličeje, stehen a chodidel. Senzor pro měření v oblasti obličeje je umístěn na stojanu iHVAC (obr. 69). Senzor pro měření stehen byl umístěn na zámeček

bezpečnostního pásu (obr. 70 vlevo) do oblasti levého stehna. Senzor pro chodidlo byl umístěn na podlahu spolujezdce do blízkosti výstky na chodidla (obr. 70 vpravo).



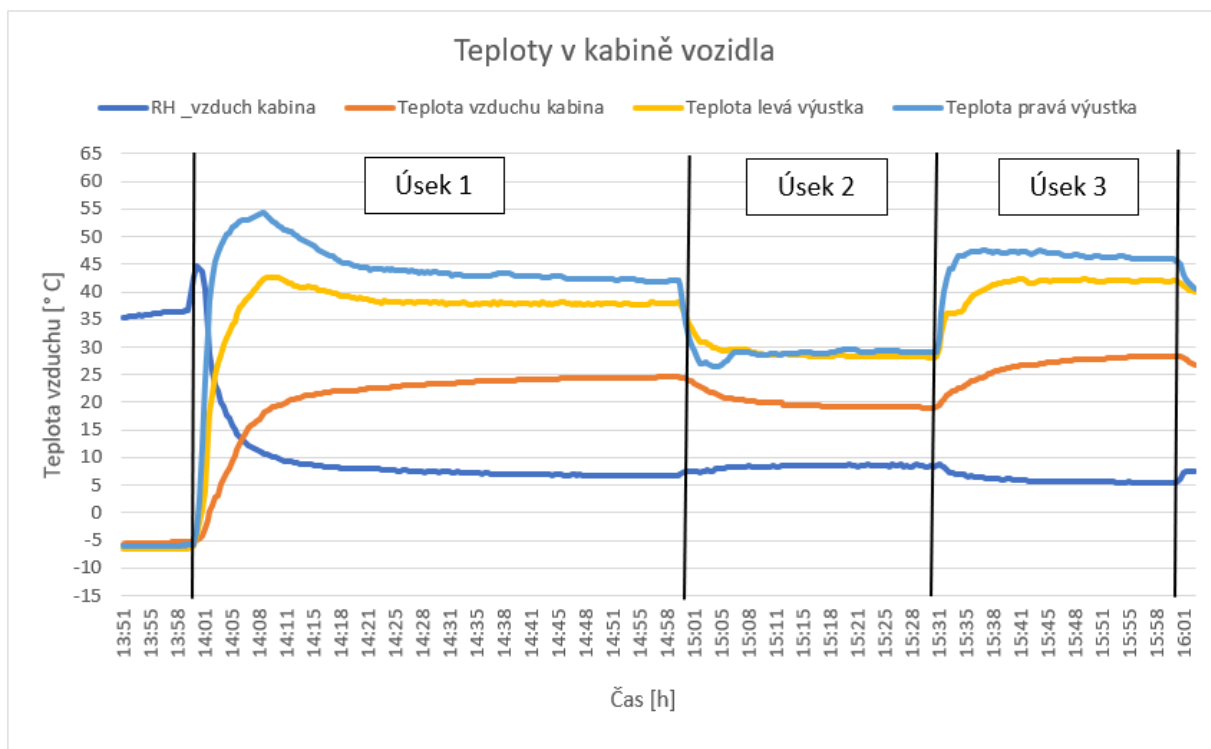
Obr. 69 Systém iHVAC uložený na sedadle spolujezdce



obr.70 Snímače umístěné pro měření stehen (vlevo) a pro měření chodidel (vpravo)

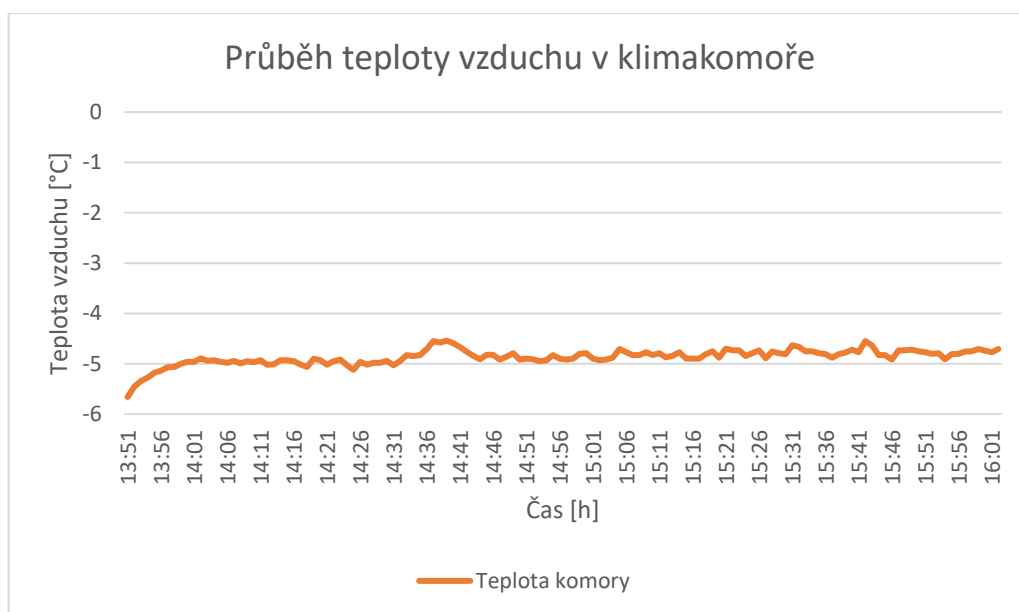
Obr. 71 znázorňuje průběh teplot v kabině vozidla. Fialová a modrá barva ukazují průběh teploty vzduchu vycházejícího z pravé a levé výstky. Stejně jako v měření 1, i zde je vzduch,

vycházející z pravé výustky teplejší než vzduch vycházející z levé výustky. Obě teploty mají podobný průběh, takže lze usoudit, že měření proběhlo správně.



Obr. 71 Průběh teplot měřených v kabině vozidla během experimentu

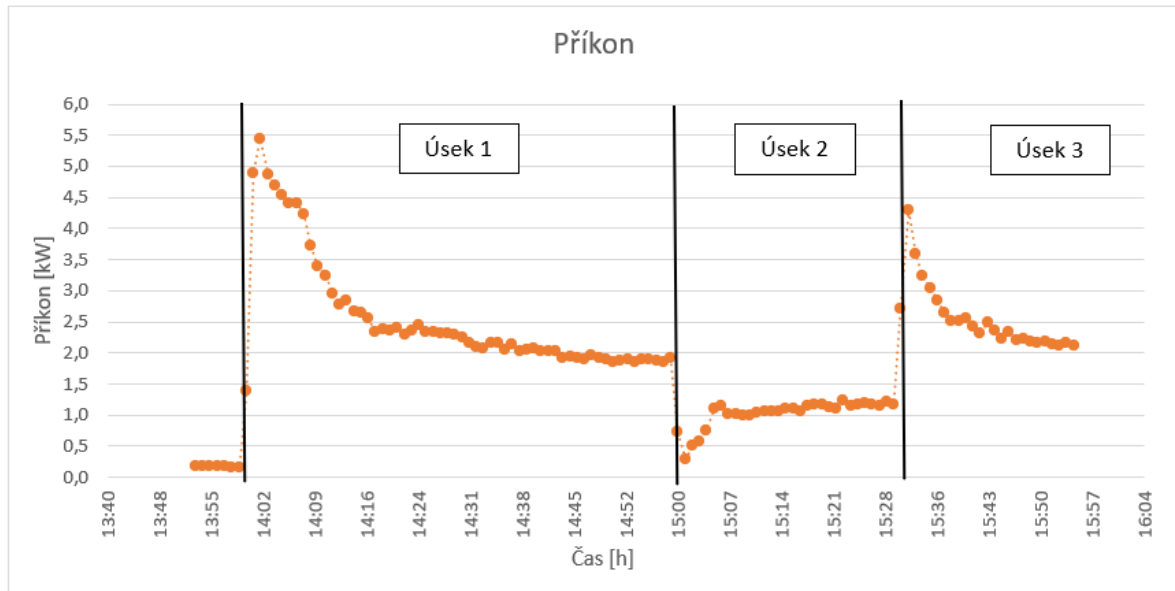
Obr. 72 ukazuje průběh teploty v klimakomoře během experimentu. Teplota v komoře byla $-5\text{ °C} \pm 0,16\text{ °C}$.



Obr. 72 Průběh teploty v klimakomoře během experimentu

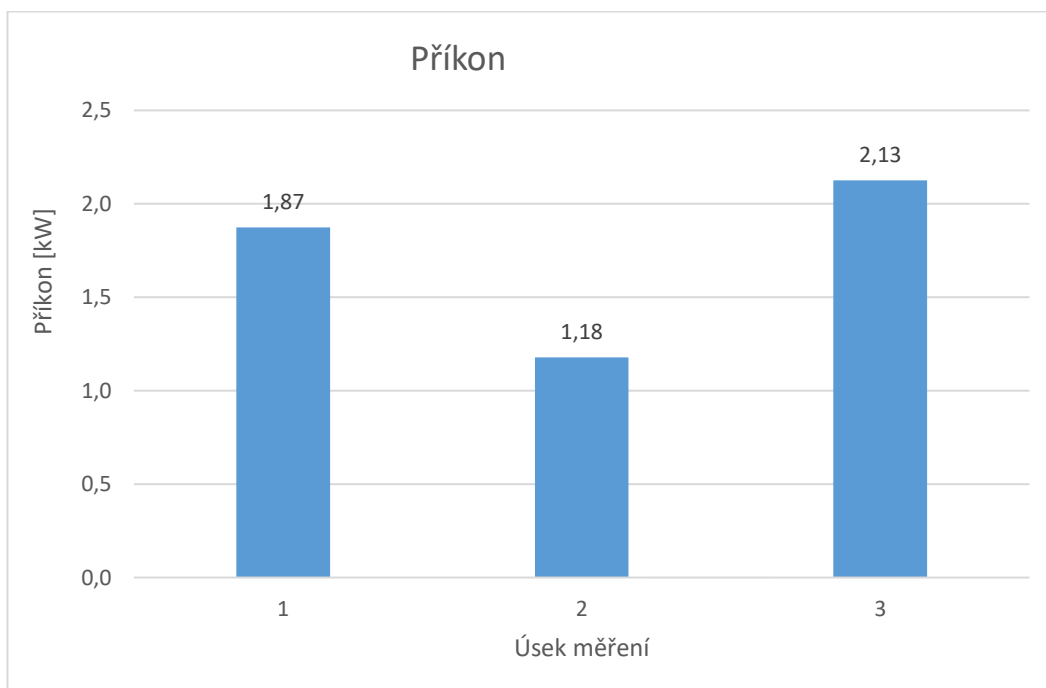
VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Obrázek 73 zobrazuje průběh příkonu během měření. Hodnoty byly zprůměrovány v každém časovém úseku o délce 1 minuty. Průběhy hodnot jsou na konci jednotlivých úseků ustálené a lze z nich vypočítat průměrnou hodnotu příkonu.

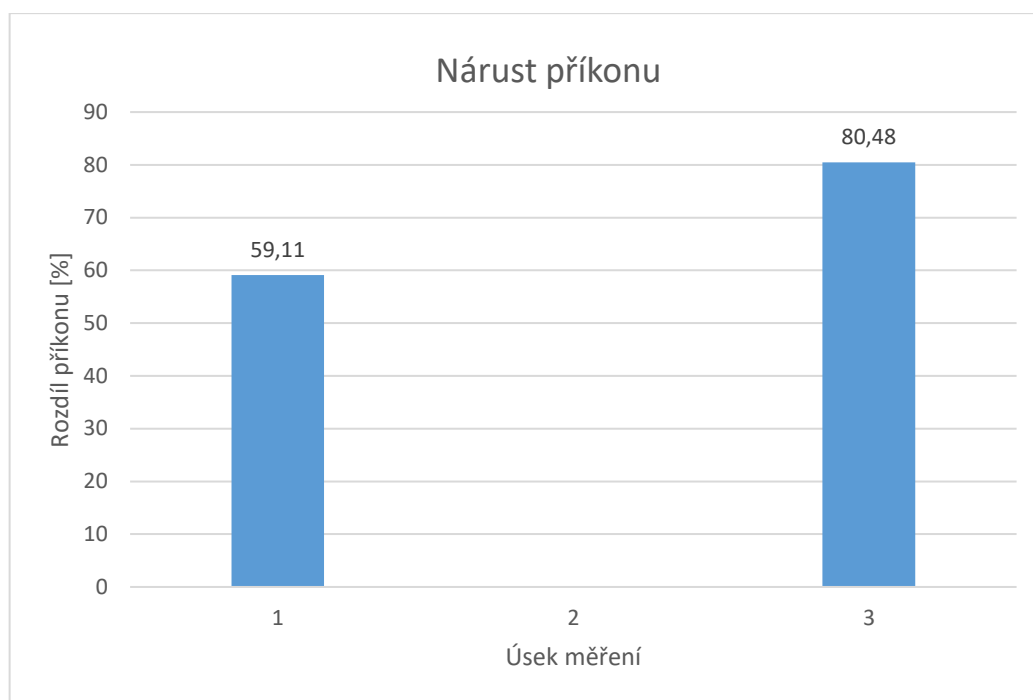


Obr.73 Průběh příkonu během měření

Obrázek 74 znázorňuje průměrný příkon, který byl vypočítán z časového úseku 10 minut na konci každého úseku měření. Obrázek 75 znázorňuje nárůst příkonu vztahovaný k nejnižší hodnotě. V tomto případě byla nejnižší hodnota příkonu v úseku 2. Graf na obr. 74 ukazuje, že oproti nejnižší hodnotě byl nárůst v úseku 1 59,11 % a v úseku 2 80,48 %. Zvýšení teploty v interiéru vozu o 4 stupně zvýší příkon o více než polovinu základní hodnoty.

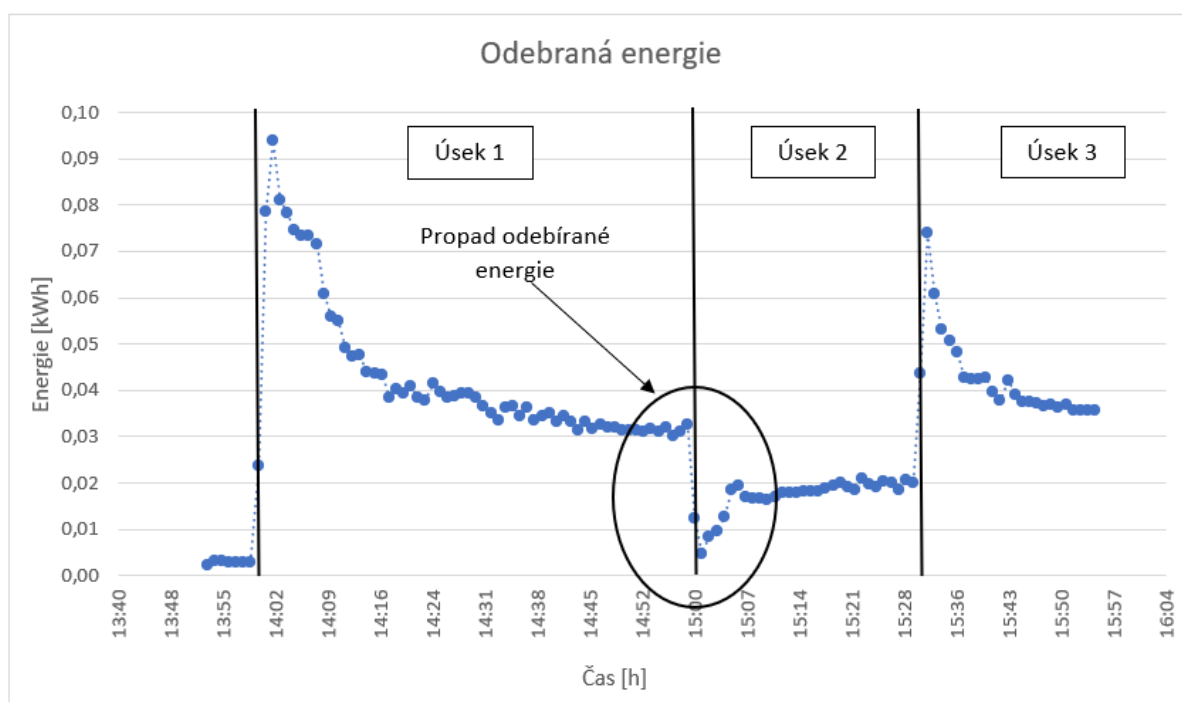


Obr. 74 Zprůměrované hodnoty odebíraného výkonu pro jednotlivý úsek



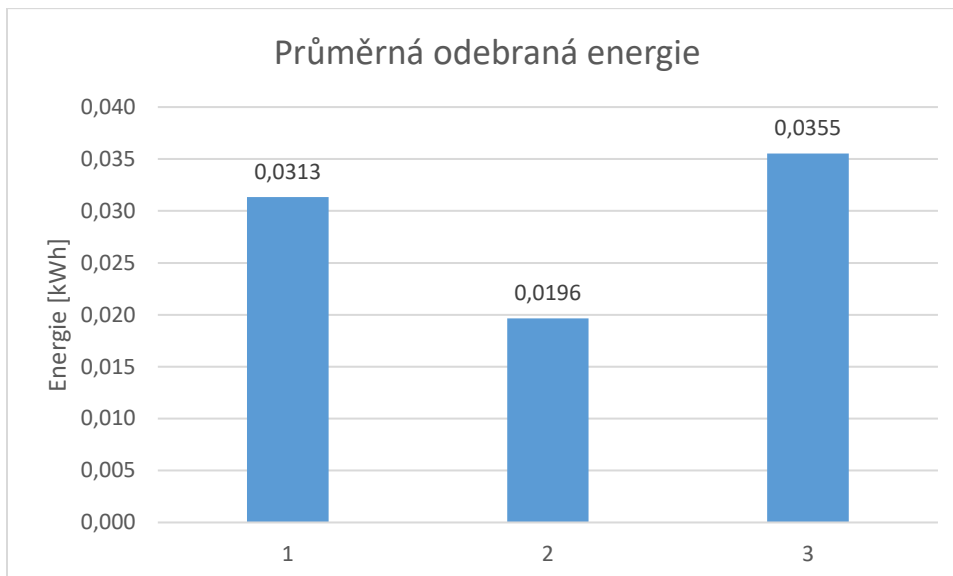
Obr. 75 Rozdíl hodnot příkonu v % v porovnání s nejnižší hodnotou příkonu

Obrázek 76 znázorňuje průběh odebrané energie během měření. Hodnoty byly vypočítány z naměřeného příkonu. Křivky průběhů jsou ke konci jednotlivého úseku ustáleny, a proto z nich lze vypočítat průměrnou hodnotu.



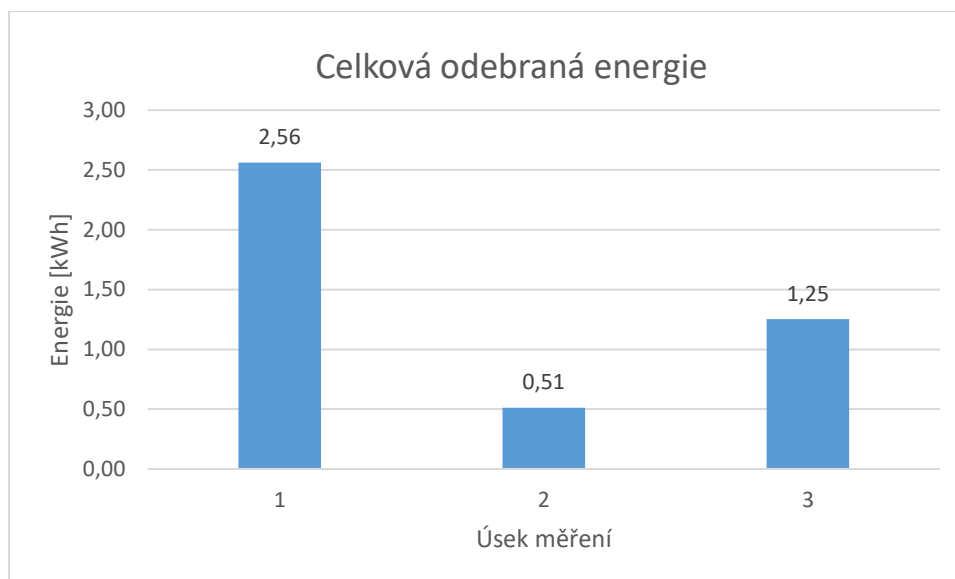
Obr. 76 Průběh odebrané energie během jednotlivých úseků měření

Obr. 77 zobrazuje vypočítané průměrné odebrané energie pro časový úsek 10 minut na konci jednotlivého úseku měření. Úsek 2 (18 °C) má oproti úseku 1 (22 °C) a úseku 3 (24 °C) výrazně nižší spotřebu energie.



Obr.77 Průměrná odebraná energie za minutu na konci jednotlivých úseků měření

Obr. 78 znázorňuje celkovou odebranou energii v jednotlivém úseku měření. Úsek 1 má nejvyšší hodnotu, je to způsobené tím, že úsek 1 byl měřen 1 hodinu, ale úseky 2 a 3 byly měřeny 30 minut. Úsek 2 má velmi nízkou hodnotu, je to způsobené tím, že po spuštění úseku 2, kdy nároky na vytápění vozidla byly sníženy, vozidlo nemuselo dodávat energii, a proto vznikl propad odebírané energie (obr. 76).



Obr.78 Hodnoty celkové odebrané energie během měření

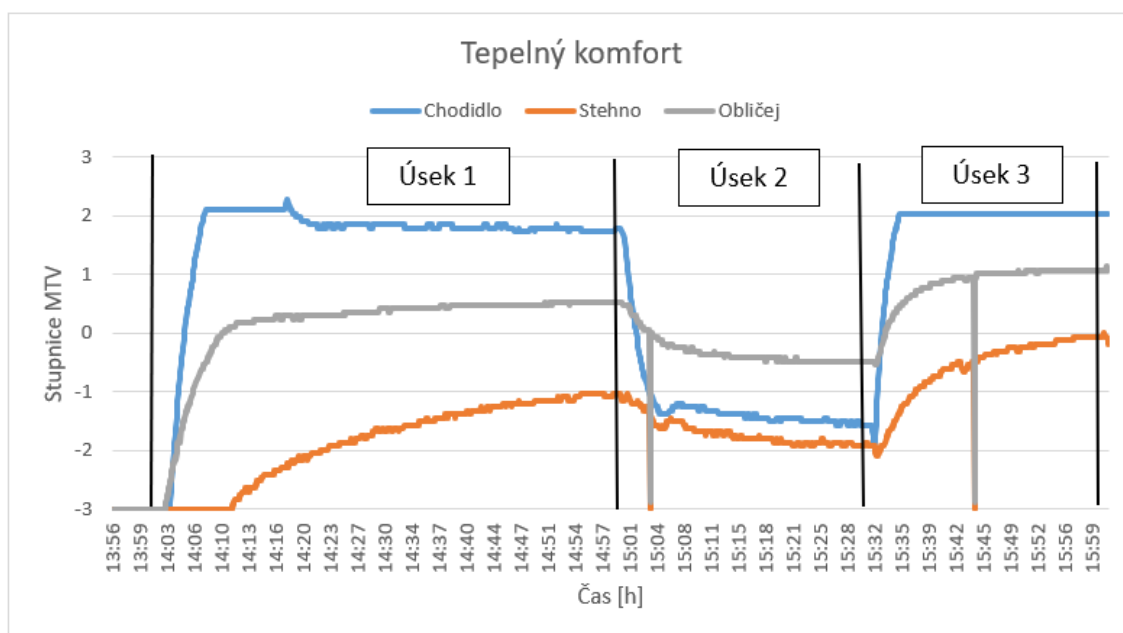
Během celého měření bylo spotřebováno 4,32 kWh energie. Celková spotřebovaná energie je vyšší, než u měření 1. Tento fakt může být způsoben prohozením úseků, kdy mělo vozidlo odlišnou počáteční spotřebu energie v jednotlivém úseku.

Obr. 79 ukazuje průběh tepelného komfortu. Hodnoty ke konci úseků jsou ustálené, a proto z nich lze vyhodnotit průměrnou hodnotu tepelného komfortu. Hodnoty byly zprůměrované z 5 minut na konci každého úseku a byly vyneseny do grafu (obr. 80).

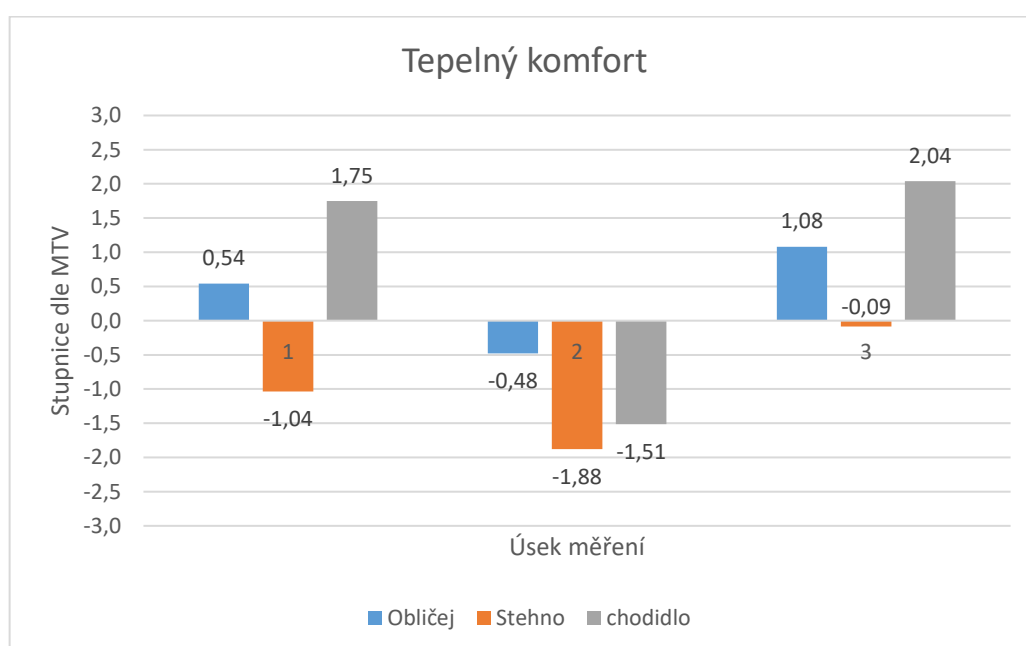
Při teplotě 22 °C (úsek 1) se stehno a obličej nejvíce přiblížily tepelnému komfortu. Pro stehno je to stále lehce nedostačující tepelný komfort. Chodidlo má tepelný komfort 1,75, a to už je teplo, avšak stále snesitelné.

Při teplotě 18 °C (úsek 2) bylo dosaženo tepelného komfortu u obličej, ale stehno a chodidlo jsou mimo ideální rozsah tepelného komfortu. Stehnu a chodidlu je nepříjemná zima. Teplota 18 °C je z pohledu tepelného komfortu nevyhovující.

Při teplotě 24 °C (úsek 3) stehno dosáhlo ideálního tepelného komfortu (téměř 0), ale obličej i a chodidlu je pocitově horko, takže tato teplota je taktéž nevyhovující.



Obr.79 Průběh tepelného komfortu během měření, úsek 1 - 22 °C, úsek 2 – 18 °C a úsek 3 - 24 °C



Obr.80 Graf zprůměrovaných hodnot tepelného komfortu z hodnot na konci každého úseku měření

7.6 MĚŘENÍ LETNÍ KLIMA

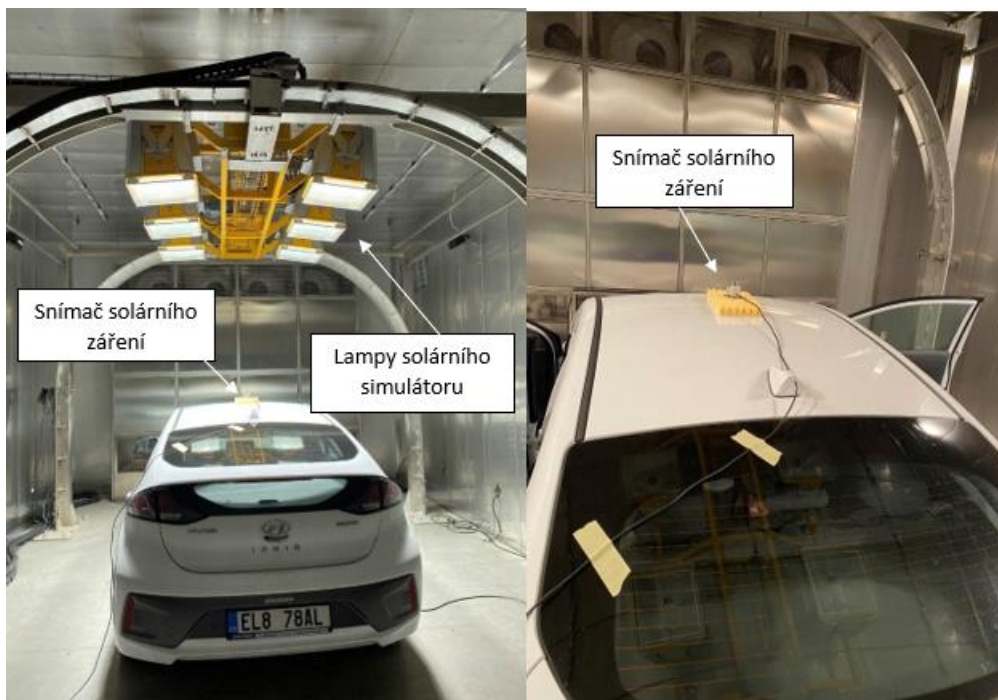
Měření letního klima probíhalo při teplotě 30 °C. Vozidlo bylo umístěno do komory a byly instalovány měřicí systémy. V 9:00 proběhlo spuštění klimakomory a její přehřev dle harmonogramu (tab. 8). Přehřev na 30 °C probíhal cca 5 hodin až do začátku testu, který byl v 14:07. Na začátku testu byla nastavena teplota vzduchu v kabině vozidla na 22 °C a byly zapnuty solární panely, které simulují sluneční záření.

Úsek 1 probíhal 1 hodinu. Po hodině byla teplota uvnitř kabiny nastavena na 20 °C, která byla udržována v kabině vozidla půl hodiny. Následně se teplota uvnitř kabiny nastavila na 24 °C, která byla také udržována půl hodiny, stejně jako úsek 2.

Tab.8 Časový harmonogram experimentu

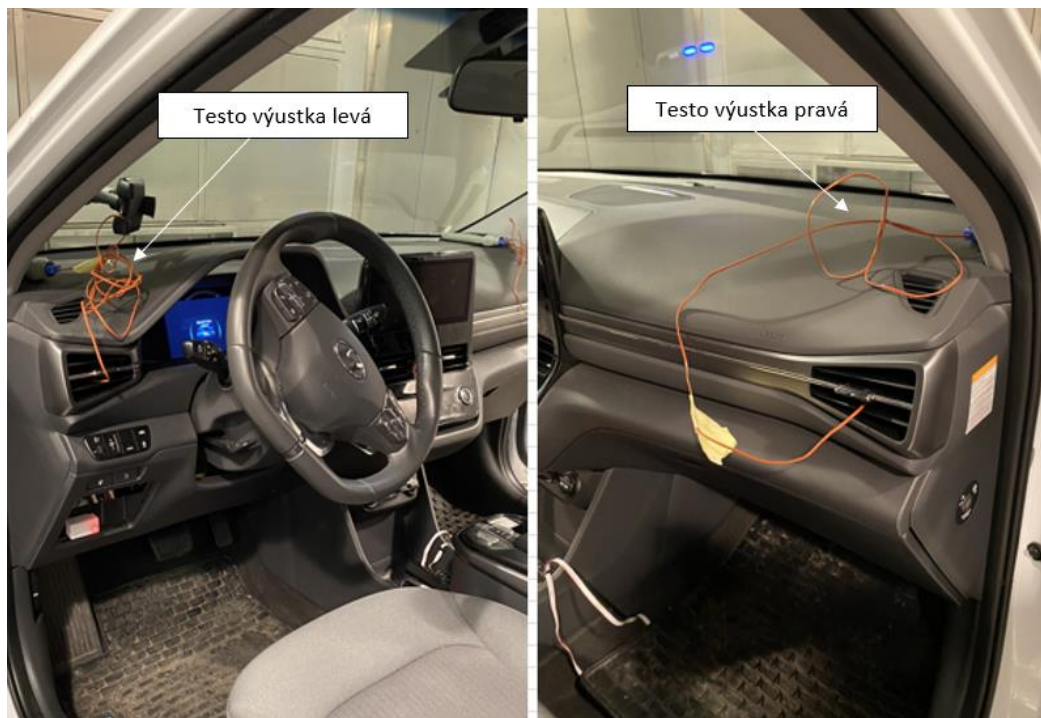
	čas[h]
Spuštění klimakomory	9:00
Začátek testu (teplota na 22 °C) a zapnutí slunce	14:07
Nastavení teploty na 20 °C	15:07
Nastavení teploty na 24 °C	15:37
Konec testu	16:07
Celkový čas	2:00

NASTAVENÍ LABORATOŘE A VYBAVENÍ



Obr.81 vozidlo umístěné v klimakomáře se zapnutým solárním simulátorem

Solární panely o výkonu 800 W/m² spolehlivě simulují tepelnou zátěž od slunečního záření. Na střeše vozidla (obr. 81) byl umístěn senzor pro měření intenzity solárního záření dopadajícího na střechu vozu. Tato hodnota pak sloužila jako zpětná vazba pro řízení výkonu lamp solárního simulátoru.



Obr.82 Umístění termočlánků do výustek

Pro měření byl využit iHVAC měřicí systém. Senzory byly umístěny do oblasti hlavy, stehen a chodidel. Senzor pro měření oblasti hlavy byl umístěn na stojan (obr. 83) před opěrku hlavy. Senzor pro měření stehen byl umístěn na zámek bezpečnostního pásu do oblasti levého stehna (obr. 84 vlevo). Senzor pro měření chodidel byl umístěn na podlahu spolujezdce do prostoru v blízkosti výustky na chodidla (obr. 84 vpravo).

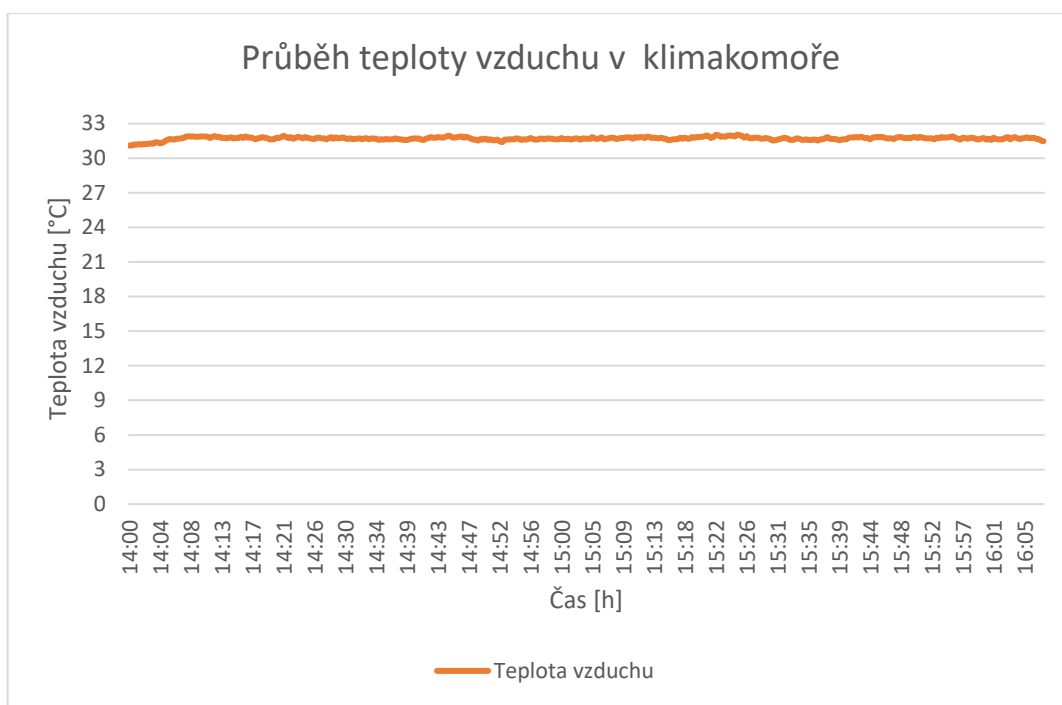


Obr.83 Zobrazení umístění iHVAC systému na vozidle spolujezdce



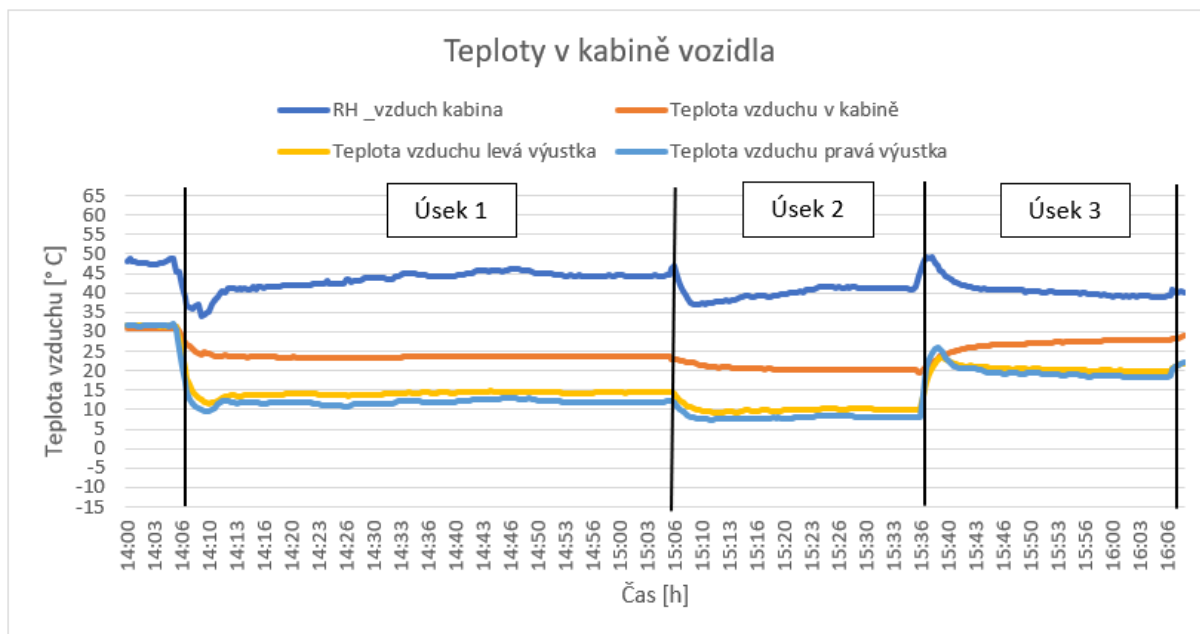
Obr.84 Umístění senzoru pro měření stehna (vlevo) a pro měření chodidel (vpravo)

Klimakomora byla nastavena na 30 °C po celou dobu experimentu. Průběh teploty byl po celou dobu experimentu konstantní (obr. 85) a teplota v klimakomoře byla 31,75 °C ± 0,14 °C.



Obr.85 Průběh teploty v klimakomoře po celou dobu měření

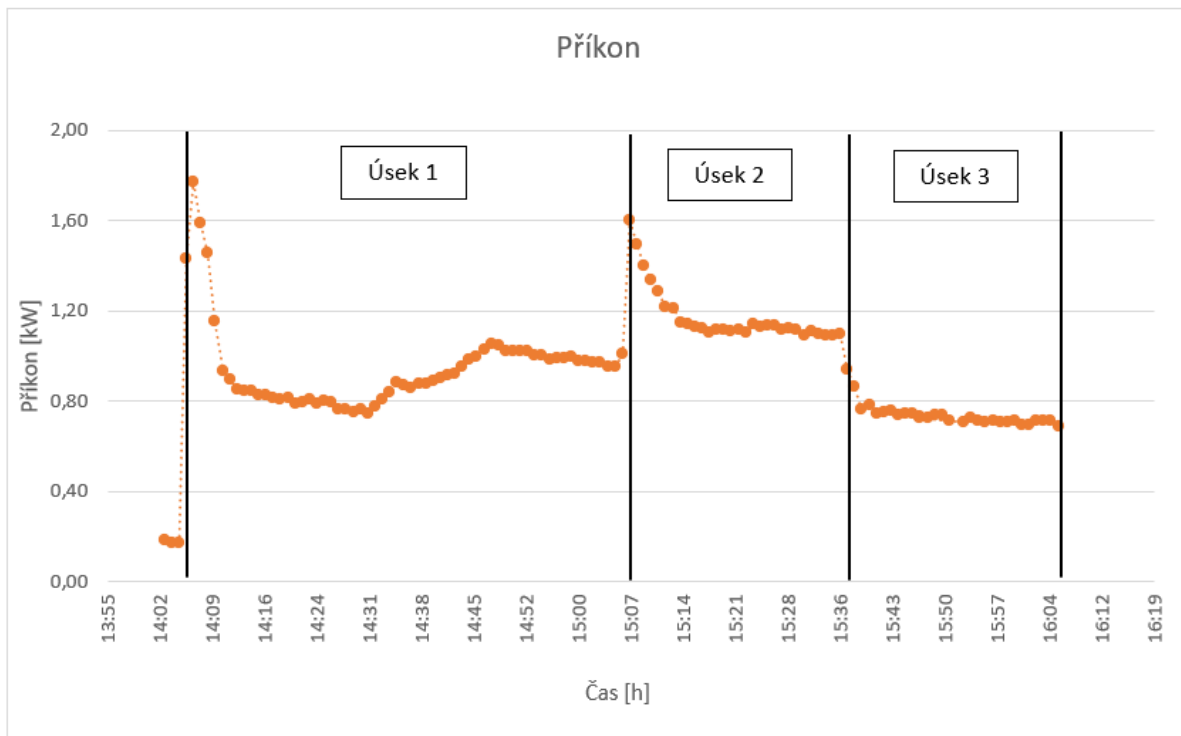
Obr. 86 znázorňuje průběh v kabině vozidla. Nejsou zaznamenány žádné extrémní výkyvy průběhů. Průběhy všech hodnot jsou ke konci úseku ustálené, a proto lze z nich vyhodnotit průměrnou hodnotu. Křivka žluté a tyrkysové barvy znázorňují průběh teplot vzduchu vycházející z levé a pravé výustky. Křivky mají stejný průběh, ale při různých teplotách. Teplota vzduchu z pravé výustky je nižší. Tento jev je zřejmě nastaven výrobcem.



Obr.86 Průběh teplot v kabině vozidla během experimentu, úsek 1 – 22 °C, úsek 2 – 20 °C a úsek 3 – 24 °C.

VÝSLEDKY EXPERIMENTU

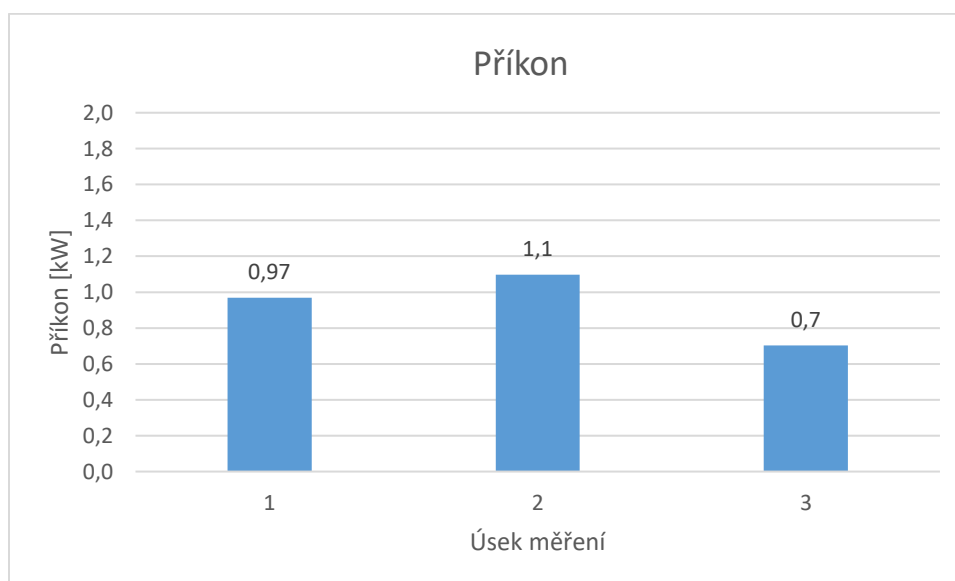
Obr. 87 znázorňuje průběh příkonu během měření. Hodnoty jsou na konci měření ustáleny, a proto z nich lze vypočítat průměrnou hodnotu příkonu.



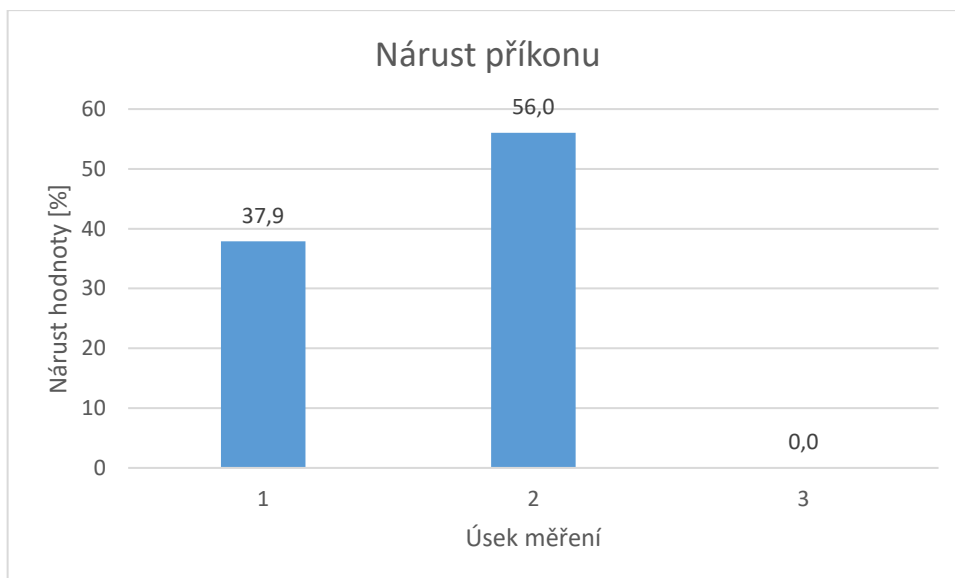
Obr. 87 Průběh odebraného výkonu, úsek 1 – 22 °C, úsek 2 – 20 °C a úsek 3 – 24 °C.

Obr. 88 zobrazuje průměrné hodnoty příkonu, vypočítané z časového úseku 5 minut na konci měření jednotlivého úseku. Pro úsek 1 (teplota 22 °C) vyšla průměrná hodnota příkonu 0,97 kW. Pro úsek 2 vyšla hodnota 1,1 kW a pro úsek 3 vyšla hodnota 0,7 kW.

Obr. 89 zobrazuje nárůst hodnoty příkonu vztažené k nejnižší hodnotě (0,7 kW). Lze vidět, že hodnota pro úsek 2 (1,1 kW) vzrostla oproti nejnižší o 56 %.

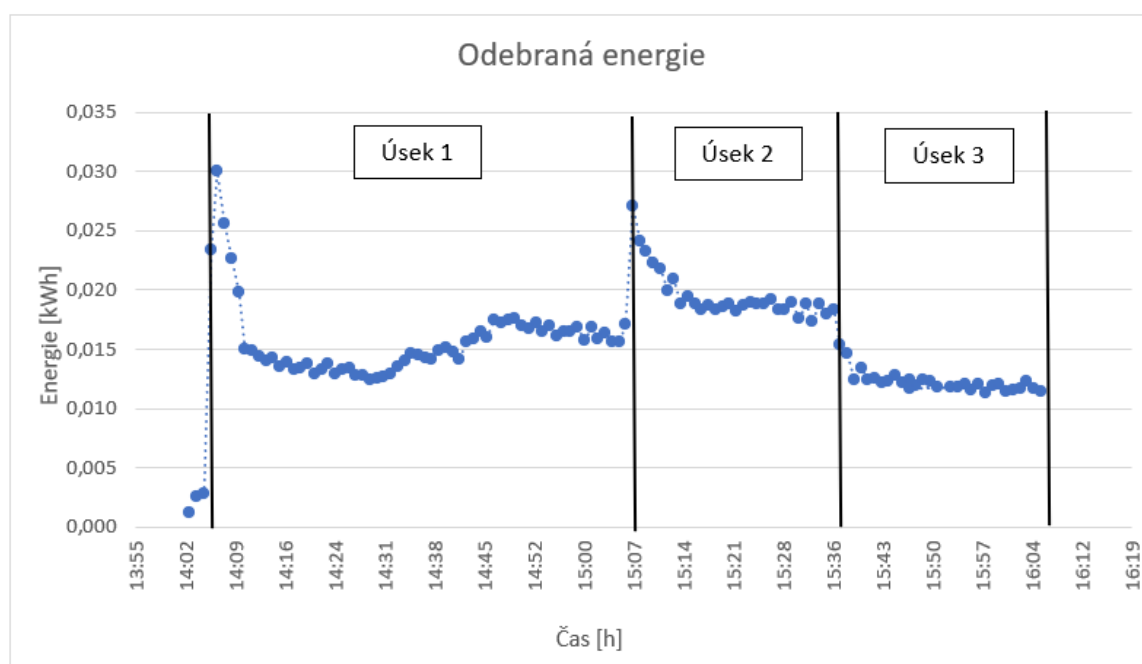


Obr.88 Zprůměrované hodnoty příkonu na konci každého úseku

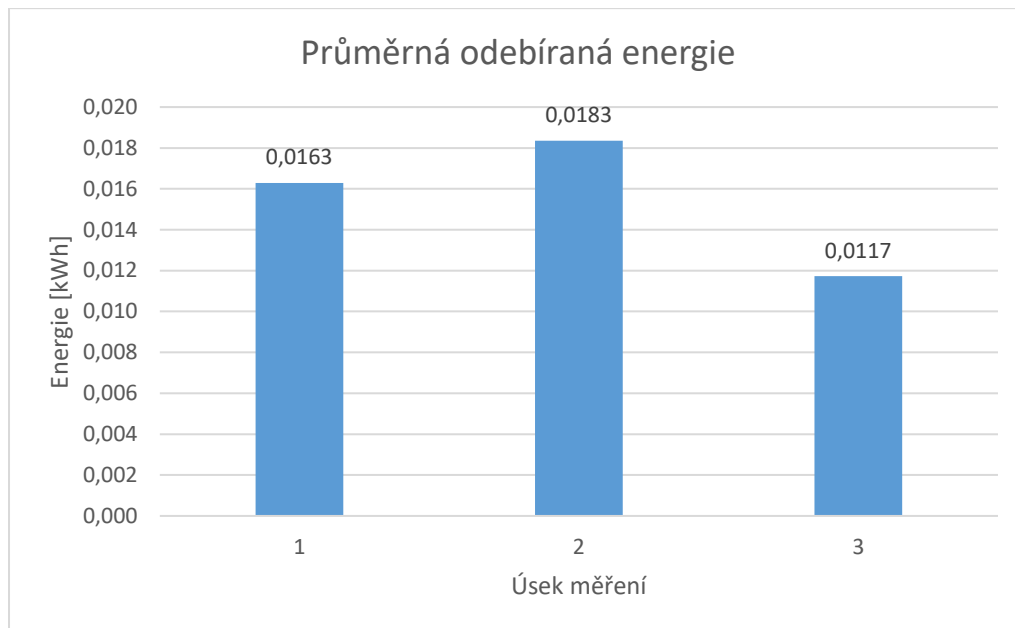


obr. 89 % nárůst hodnot příkonu oproti hodnotě ve 3. úseku

Na obr. 90 lze vidět průběh odebrané energie v průběhu měření. Křivky jsou na konci měření ustálené a lze z nich vypočítat průměrné hodnoty. Obr. 91 znázorňuje průměrné hodnoty odebírané energie v průběhu měření. Průměrné hodnoty byly vypočítány z časového úseku 10 minut na konci každého úseku měření. Úsek 3 má nejmenší průměrnou odebíranou energii, protože teplota byla nejvyšší, a tudíž vozidlo nemuselo využít tolik energie jako v jiných úsecích.

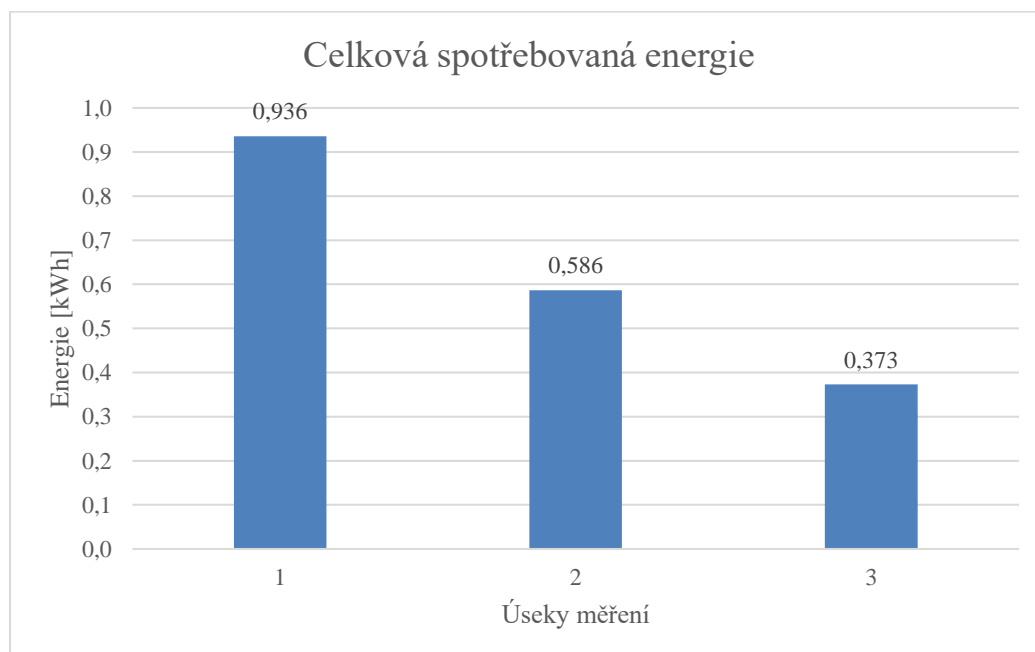


Obr. 90 Průběh odebrané energie, úsek 1 – 22 °C, úsek 2 – 20 °C a úsek 3 - 24 °C



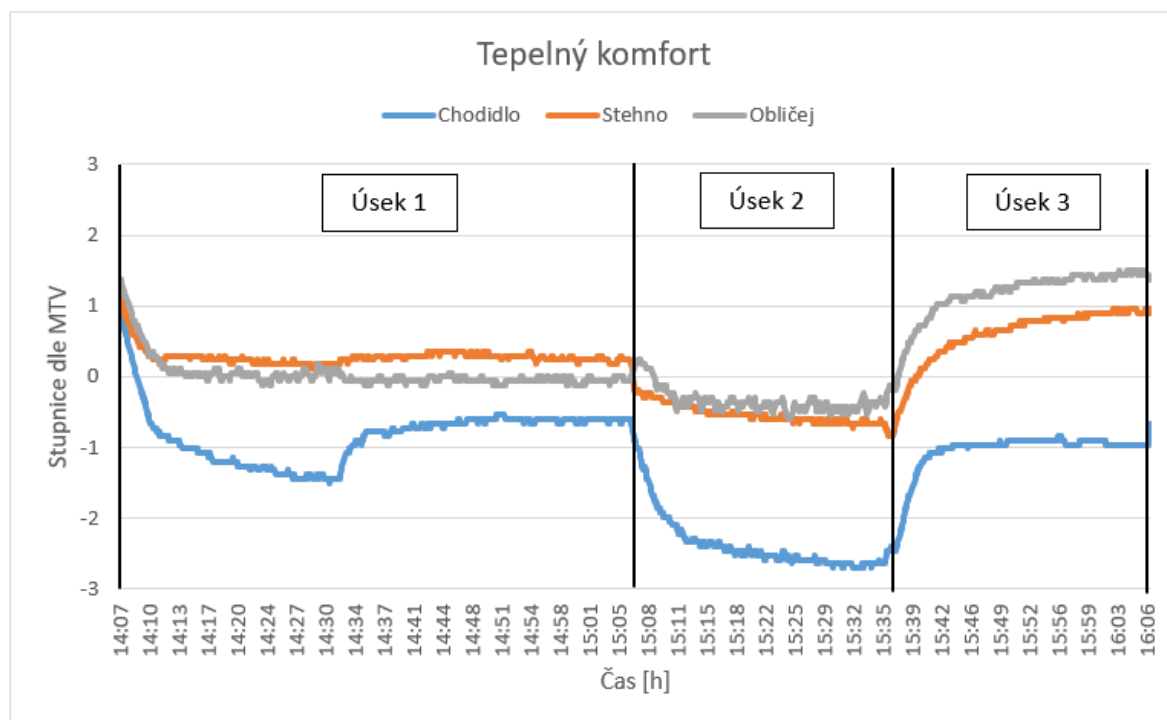
Obr. 91 Průměrná odebíraná energie za 1 minutu, úsek 1 – 22 °C, úsek 2 – 20 °C a úsek 3 - 24 °C.

Na obr. 92 lze vidět celkovou spotřebovanou energii během měření. Celkově bylo spotřebováno 1,895 kWh energie. Úsek 1 má vyšší celkovou spotřebu energie oproti ostatním úsekům. Je to způsobené tím, že měření probíhalo dvojnásobnou dobu měření než úsek 2 a 3.



Obr.92 Celková spotřebovaná energie

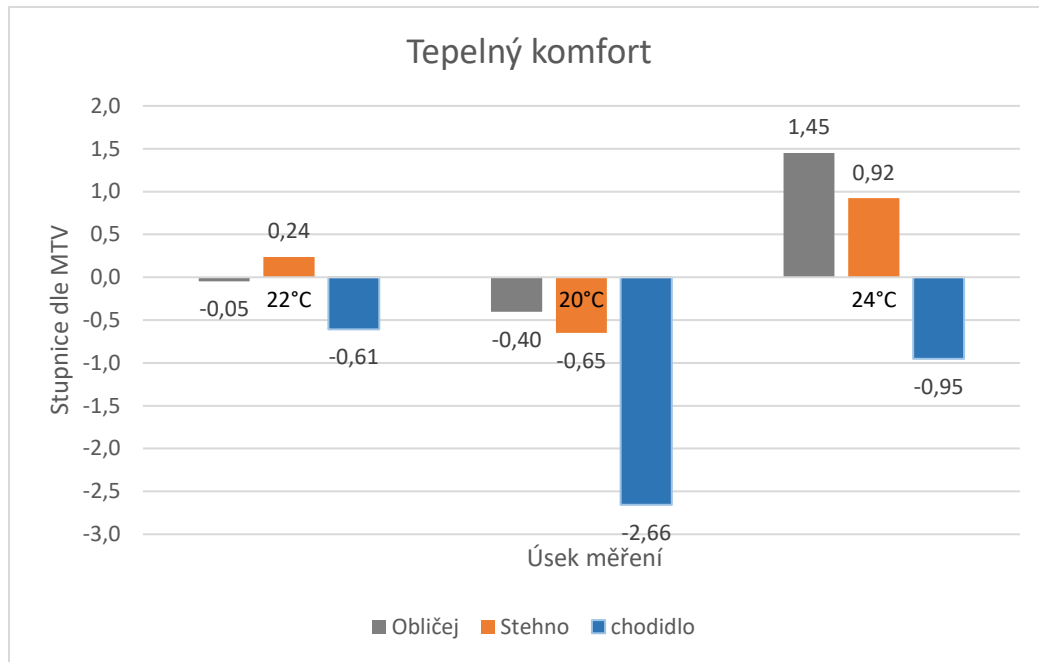
Tepelný komfort byl vyhodnocován pro všechny 3 měřené teploty. Obr.93 ukazuje průběh hodnot teplotního komfortu pro jednotlivé části těla měřené pomocí senzorů. Průběh hodnot je na konci každého úseku ustálený, a proto z nich lze vyhodnotit průměrnou hodnotu teplotního komfortu.



Obr.93 Průběh tepelného komfortu během experimentu

Obr. 94 znázorňuje průměrné hodnoty tepelného komfortu vyhodnocené z časového úseku 5 minut na konci každého úseku měření, kde jsou hodnoty ustálené. Pro teplotu 22 °C vyšel tepelný komfort pro všechny části těla nejlépe. Obličej a stehno dosáhlo ideálního tepelného komfortu. Chodidla měla lehce studenější tepelný komfort, ale stále je to vhodná hodnota. Pro teplotu 20 °C byl tepelný komfort pro chodidla -2,66, což je nepříjemné chladno. Tepelný komfort obličeje a stehna by vyhovoval, ale kvůli chodidlům je teplota 20 °C nevyhovující. Možností by bylo chodidla umístit dále od výustky, nebo je celé zavřít, pak by mohl tepelný komfort vyhovovat chodidlům, ale nelze tuto teorii z výsledků prověřit. Při teplotě 24 °C dosáhl obličej 1,45 a stehno 0,92, což je teplo, ale stále snesitelné. Chodidlo dosáhlo hodnoty -0,95, což je téměř hranice snesitelného chladu.

Výsledky tepelného komfortu pro chodidla jsou nejednoznačné. Hodnota pro teplotu 22 °C by měla být nižší, než hodnota pro teplotu 24 °C. Chyba bude pravděpodobně v hodnotě pro teplotu 22 °C, protože z průběhu tepelného komfortu (obr. 93) lze vidět skok hodnot v čase cca 14:30. Takové skoky probíhaly pouze při změně cílové teploty uvnitř interiéru, ale v tomto čase žádná změna neproběhla, proto je pravděpodobné, že by průběh tepelného komfortu pro chodidla v čase 14:30-15:07 měl probíhat v nižší hodnotě a navazovat plynule na předešlý průběh. Pokud by tepelný komfort byl nižší, pak by teplota 22 °C nevyhovovala chodidlům.

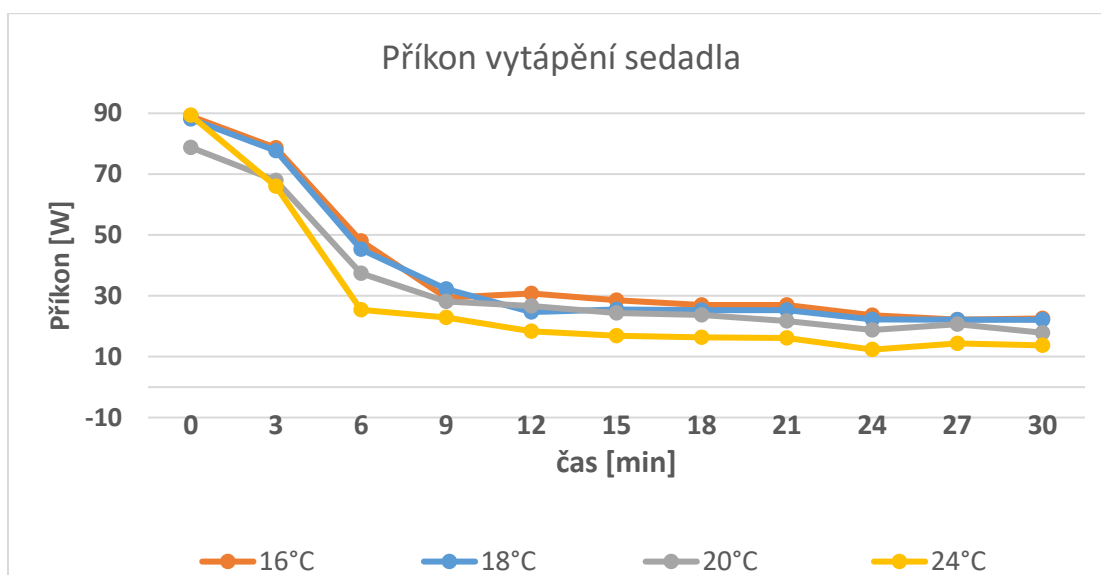


Obr.94 Zprůměrované hodnoty tepelného komfortu na konci každého úseku

7.7 VYTÁPĚNÍ POMOCÍ SEDADEL

K zajištění tepelného komfortu lze využít přídavné systémy, které odebírají menší příkon a tím šetří energii odebranou z akumulátoru. Jedna z možností je vytápění pomocí vyhřívaného sedadla.

Na obr. 95 lze vidět průběh příkonu vytápění během měření, získaná při řešení projektu Seat Comfort (zveřejnění dat bylo odsouhlaseno zadavatelem projektu VW Forschung). Příkon sedačky je závislý na teplotě vzduchu v kabině vozidla při vytápění. Čím vyšší teplota vytápění, tím nižší příkon sedačky. Cca prvních 6 minut měření má sedadlo výrazně vyšší příkon, protože se sedačka prohřívá a ohřívá také osobu, která se na ni v čase 0 min posadila. Po 6 minutách se hodnoty příkonu stabilizují a lze z nich zprůměrovat hodnotu příkonu.



Obr. 95 Průběh příkonu sedadla pro 4 různé teploty.

Tab. 9 zprůměrované hodnoty v posledních 6 minutách měření

	16 °C	18 °C	20 °C	24 °C
Příkon sedadla	23 ± 1	22 ± 0	19 ± 1	13 ± 1

Měření probíhalo pro 4 různé teploty (tab. 9). Pro vyhodnocení dat této diplomové práce chybělo měření pro teplotu 22 °C. Hodnota pro tuto teplotu byla zprůměrovaná z hodnot pro 20 °C a pro 24 °C.

Vyhřívání sedadla je využíváno pouze v zimním klimatu. V tab.10 jsou uvedeny hodnoty příkonu pro zimní měření a hodnoty příkonu vyhřívání sedadla pro konkrétní teplotu. Tyto hodnoty jsou sečteny a vyhodnoceny v následujícím sloupci.

Tab.10 Přehled celkového příkonu pro odlišné teploty

		18 °C	Sedadlo pro 18 °C	18 °C + sedadlo	22 °C	sedadlo pro 22 °C	22 °C + sedadlo	24 °C	sedadlo pro 24 °C	24 °C + sedadlo
Zimní měření	1	1,33	0,022	1,348	1,75	0,016	1,763	1,99	0,013	2,003
	2	1,18	0,022	1,200	1,87	0,016	1,890	2,13	0,013	2,139

Nejlepší tepelný komfort nastal při teplotě 22 °C. Vyhřívání sedadla dokáže vytvořit tepelný komfort při mnohem menším odebíraném výkonu. Pro největší úsporu energie je nejvhodnější nastavit teplotu vytápění kabiny vozidla na 18 °C a použít vyhřívání sedadla. Při takové situaci je odebíraný výkon 1,348 kW (měření 1) a 1,2 kW (měření 2). Oproti vytápění na 22 °C při kterém je odebíraný výkon 1,75 kW (měření 1) a 1,87 kW (měření 2), je to rozdíl 23 % (měření 1) a 35,8 % (měření 2).

8 PŘEDCHÁZEJÍCÍ MĚŘENÍ

Výsledky experimentu pro účely této diplomové práce byly srovnány s výsledky předcházejícího měření pro jiná vozidla získaná v rámci projektu NCK JOBNAČ. Data z měření byla dodána a z nich byly vyhodnoceny nezbytné výsledky. Přecházející měření probíhalo pouze pro některé teploty, takže porovnání není pro všechny teploty.

Popis experimentů vychází z informací dodaných spolu s daty. Výsledky (a grafy) byly vytvořeny autorkou diplomové práce. Pro měření tepelného komfortu byly využity 3 různé měřicí systémy, kterými jsou Comfortis řidič, Newton a iHVAC. Pro vyhodnocení dat byly použita data z měření pomocí iHVAC. Důvodem je použití iHVAC systému pro měření vozidla Ioniq electric, a tím pádem možnost porovnání dat získaných ze stejného systému.

8.1 HYUNDAI KONA ELECTRIC

Vozidlo Kona electric (obr. 96) má elektrický pohon poháněný energií z akumulátoru. Výkon vozidla je 150 kW. Kapacita akumulátoru je 64 kWh a udávaný dojezd dle WLTP je 484 km. Průměrná spotřeba elektromobilu je 14,7 kWh/100 km [69]. Vozidlo není vybaveno plným tepelným čerpadlem, ale pouze systémem který umožňuje sbírat odpadní teplo z komponent vozidla. Proto lze očekávat vyšší hodnoty spotřeby HVAC než u vozidla Hyundai Ioniq electric. Nicméně většina funkčních celků těchto vozidel je identická.

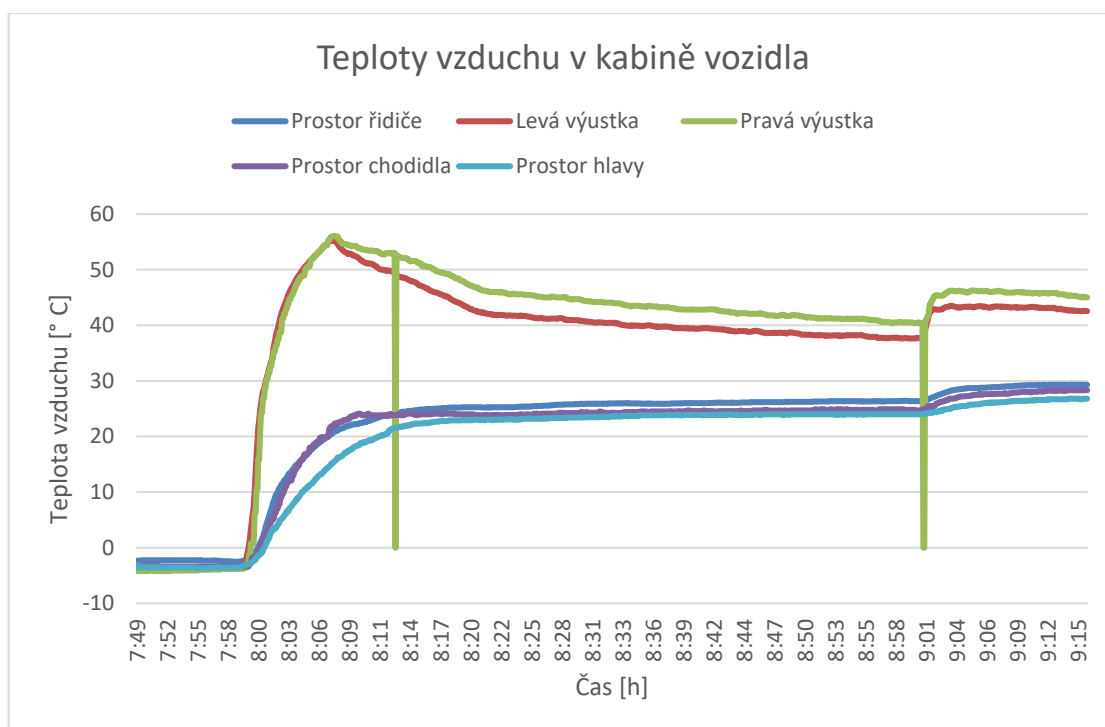


Obr.96 Hyundai Kona electric [69]

8.1.1 ZIMNÍ MĚŘENÍ

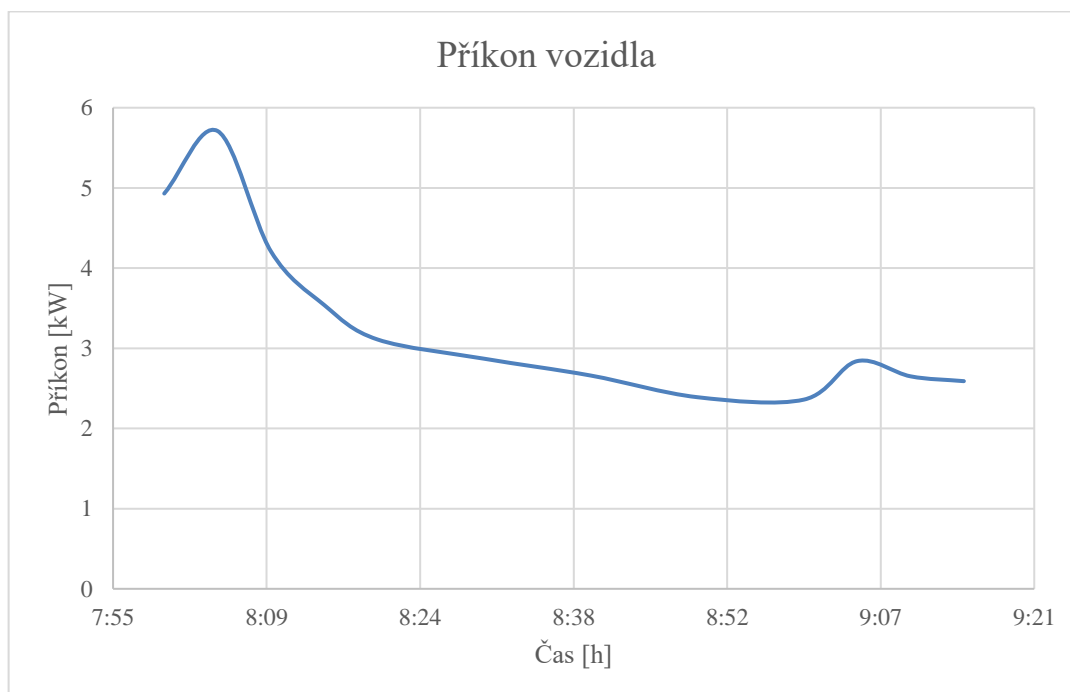
Měření probíhalo 1 hodinu a 15 minut. První hodinu byla nastavena cílová teplota na 22 °C. Zbývajících 15 minut byla nastavena teplota na 24 °C. Klimakomora a vozidlo v ní umístěné bylo předchlazeno na teplotu -5 °C.

Obr. 97 znázorňuje průběh teplot v kabině vozidla. Před začátkem měření byla naměřena konstantní teplota -5 °C. Vozidlo tedy bylo řádně předchlazeno. Teploty jsou na konci úseků ustáleny a hodnoty lze použít pro vyhodnocení výsledků. Křivky zelené a červené barvy zobrazují průběh teploty v pravé a levé výustce. Křivky výustek mají stejný průběh, ale s odlišnou teplotou. Teplota vzduchu v pravé výustce je vyšší než v levé. Stejná skutečnost se projevila u měření vozidla Ioniq. Teploty v prostorách hlavy, řidiče a chodidla mají taktéž stejný průběh.



obr. 97 Průběh teplot vzduchu v kabině vozidla

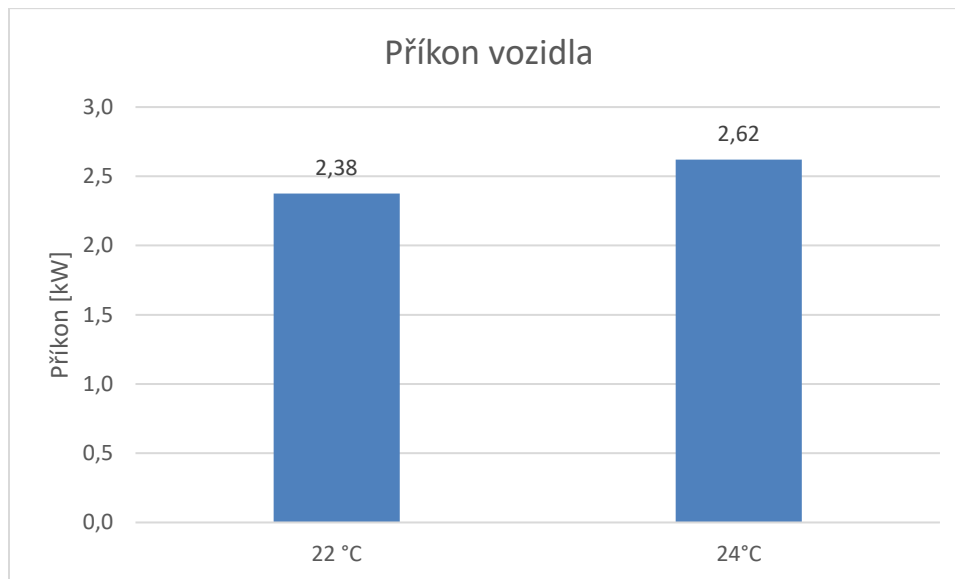
Obr. 98 zobrazuje průběh příkonu vozidla během měření. Zpočátku měření byl příkon vozidla vyšší, nejvyšší hodnota dosahovala téměř 6 kW. Po určité době se hodnota ustálila a mohla z ní být vyhodnocena průměrná hodnota. Po nastavení teploty uvnitř vozidla na 24 °C byl nárůst příkonu podstatně menší a hodnota byla ustálena za mnohem kratší dobu.



Obr. 98 Průběh příkonu vozidla během měření

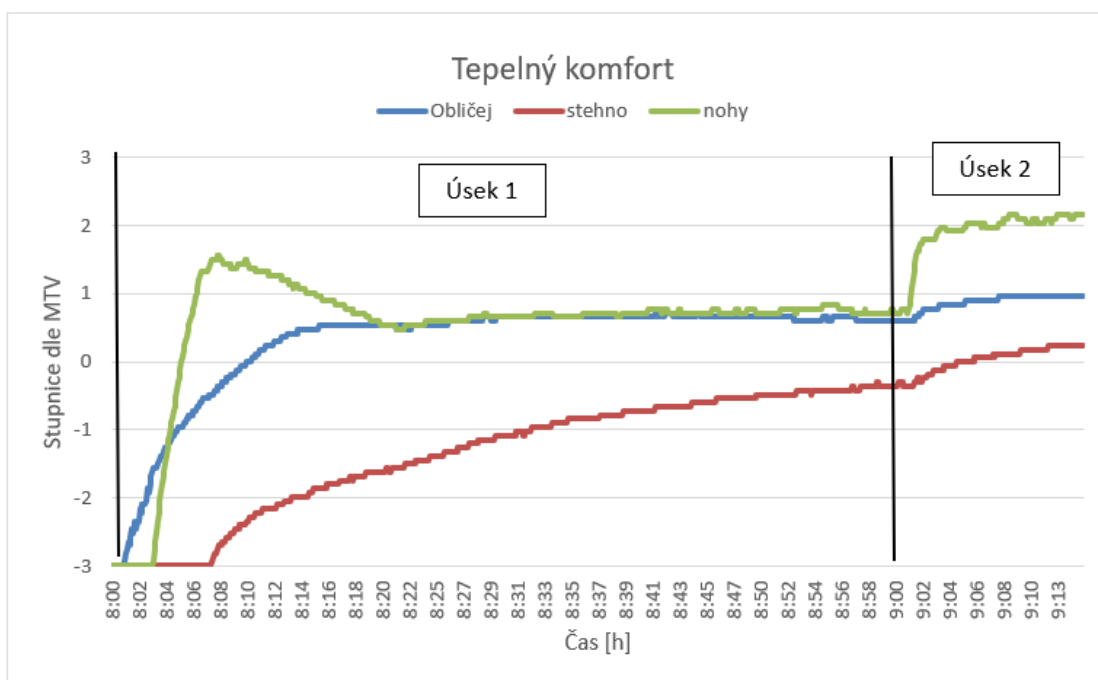
VÝSLEDKY

Z grafu byly zprůměrovány ustálené hodnoty odebíraného výkonu, které jsou zobrazeny na obr. 99. Při teplotě 22 °C byl odebíraný výkon 2,38 kW a pro teplotu 24 °C byl 2,62 kW.



Obr. 99 Zprůměrované hodnoty příkonu na konci úseku

Na obr. 100 je znázorněn průběh tepelného komfortu během měření. Křivky hodnot jsou na konci úseku ustálené, takže z nich lze vyhodnotit průměrné hodnoty tepelného komfortu.

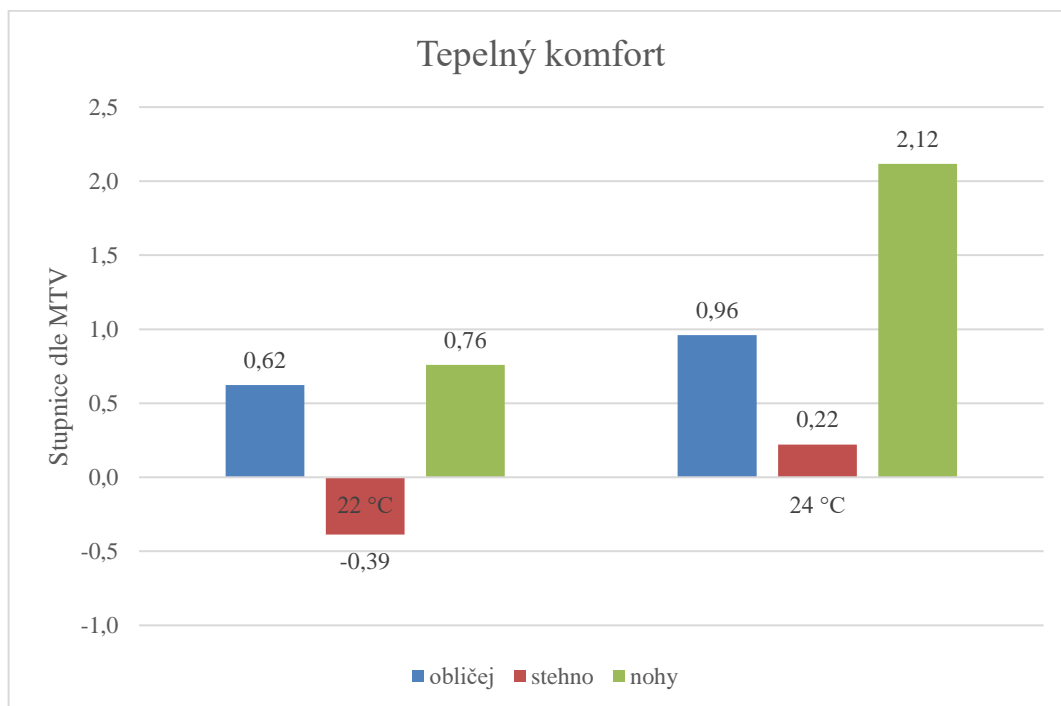


Obr. 100 Průběh tepelného komfortu

Obr. 101 znázorňuje zprůměrované hodnoty tepelného komfortu vyhodnocené z časového úseku 5 minut na konci každé části měření. Pro teplotu 22 °C vyšel nejlepší tepelný komfort. Pro obličej vyšel 0,62, což je stále příjemný tepelný komfort. Pro stehna byla naměřena průměrná hodnota -0,39, což je také příjemný tepelný komfort. U chodidel byla naměřena hodnota 0,72, a to je také příjemný tepelný komfort. Ve všech 3 oblastech je cílová teplota 22 °C vhodná.

U teploty 24 °C vyšly hodnoty vyšší. U obličeje, který má hodnotu 0,96, a stehna, které má hodnotu 0,22, je stále příjemný tepelný komfort. U chodidel vyšla hodnota 2,12, což už je

nepříjemné teplo. Pro oblast chodidel je cílová teplota 24 °C z pohledu tepelného komfortu nevhodná.

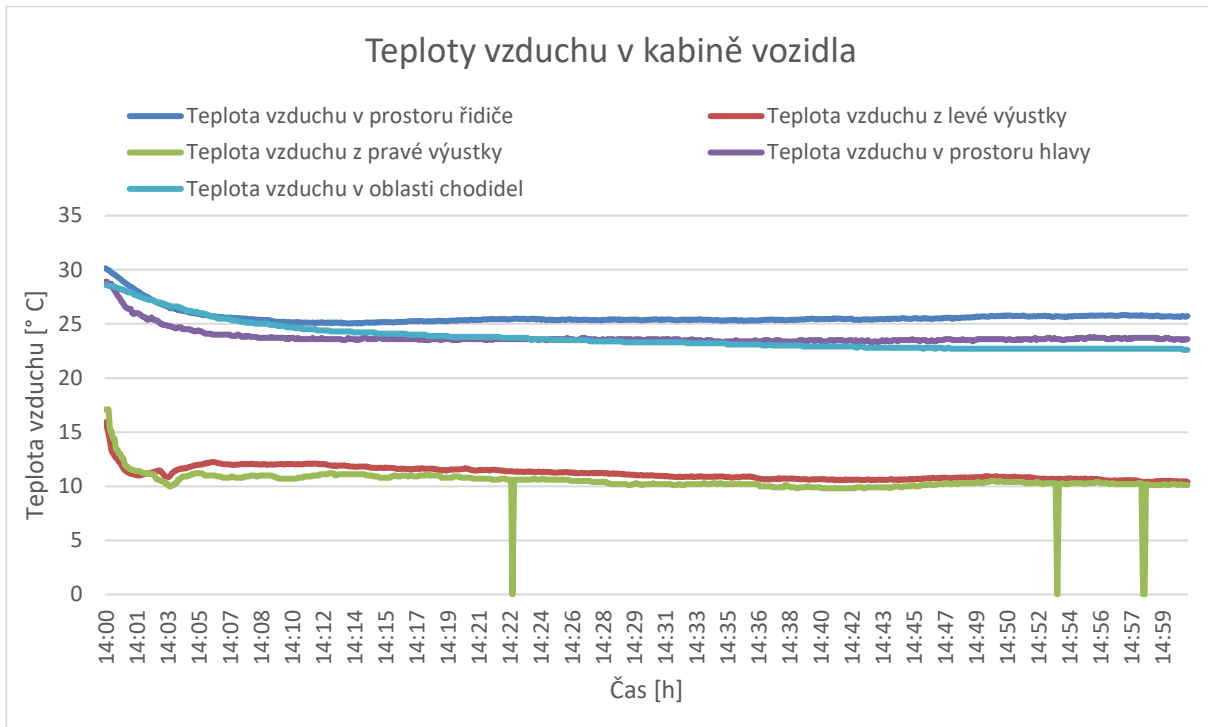


Obr.101 Průměrné hodnoty tepelného komfortu

1.1.1 LETNÍ MĚŘENÍ

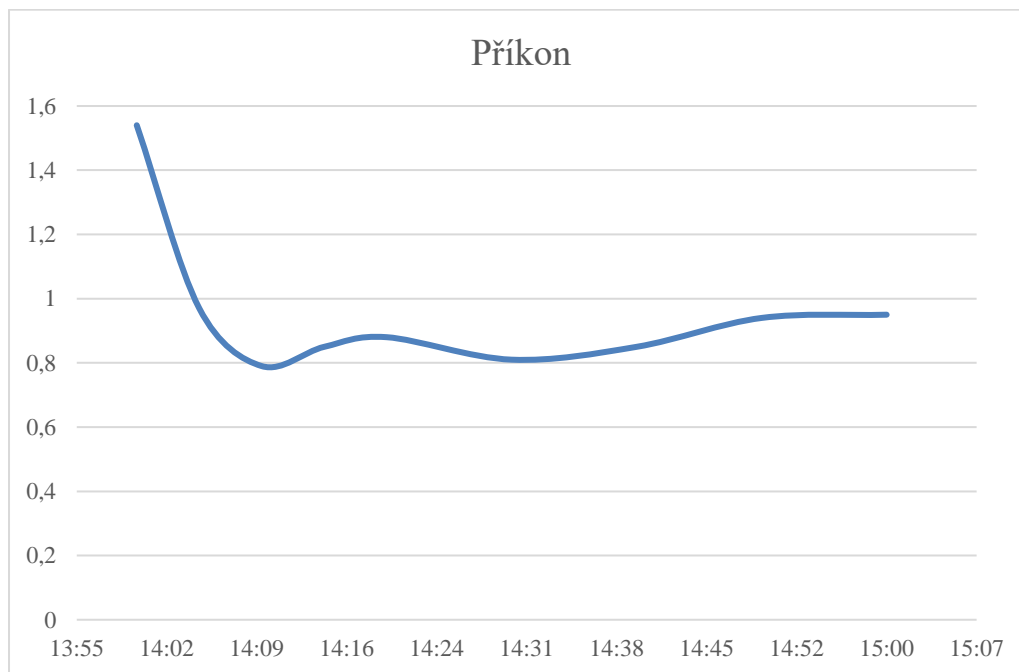
Měření v letním ročním období probíhalo při teplotě 30 °C. Vozidlo bylo řádně předeřháto před spuštěním experimentu. Cílová teplota v kabině vozidla byla nastavena na 22 °C.

Na obr. 102 je znázorněn průběh teplot vzduchu v kabině vozidla během experimentu. Teplota vzduchu v prostoru řidiče, hlavy a chodidel byla na začátku experimentu ustálená na teplotě 30 °C, takže vozidlo bylo řádně předeřháto. Křivky zelené a červené barvy znázorňují průběh teplot vzduchu vycházejících z výustek. Obě křivky mají podobný průběh, ale s lehce odlišnou teplotou vzduchu. Hodnoty jsou ustálené, ale nedosahují teploty 22 °C, která byla definována. Zelená křivka má 3 skokové změny, což jsou chybové údaje způsobené pravděpodobně výpadkem měřicího článku.

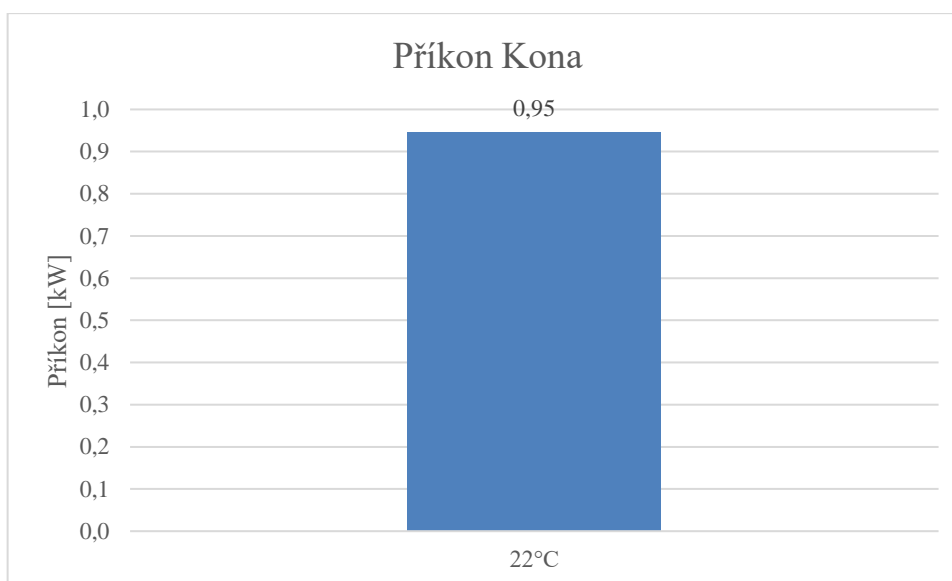


Obr.102 Průběh teplot vzduchu v kabině vozidla během experimentu

Obr. 103 znázorňuje průběh příkonu během experimentu. Po spuštění experimentu byl příkon vyšší a postupně se zmenšoval. Příkon byl ustálen zhruba po 10 minutách. Po ustálení byla průměrná hodnota příkonu 0,95 kW (obr. 104).

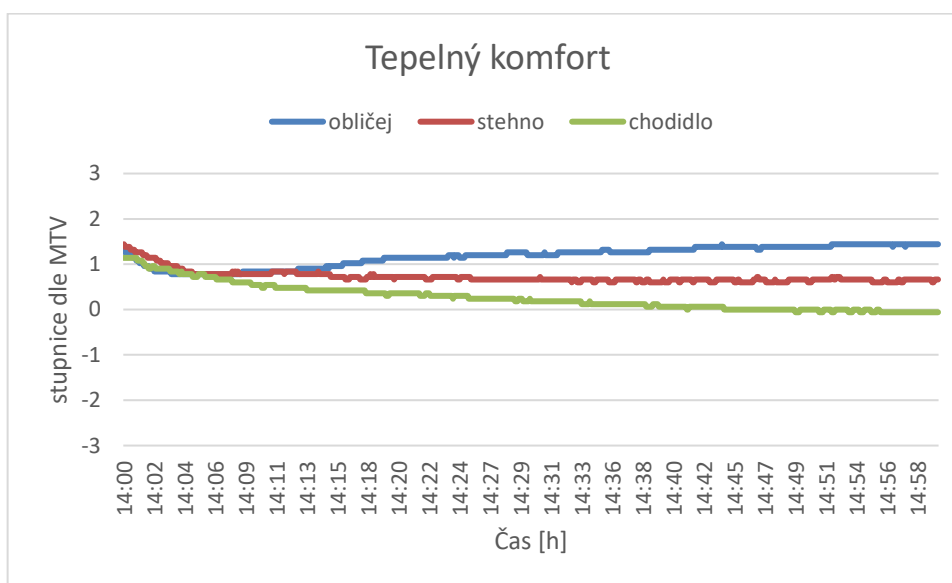


Obr.103 Průběh příkonu během měření



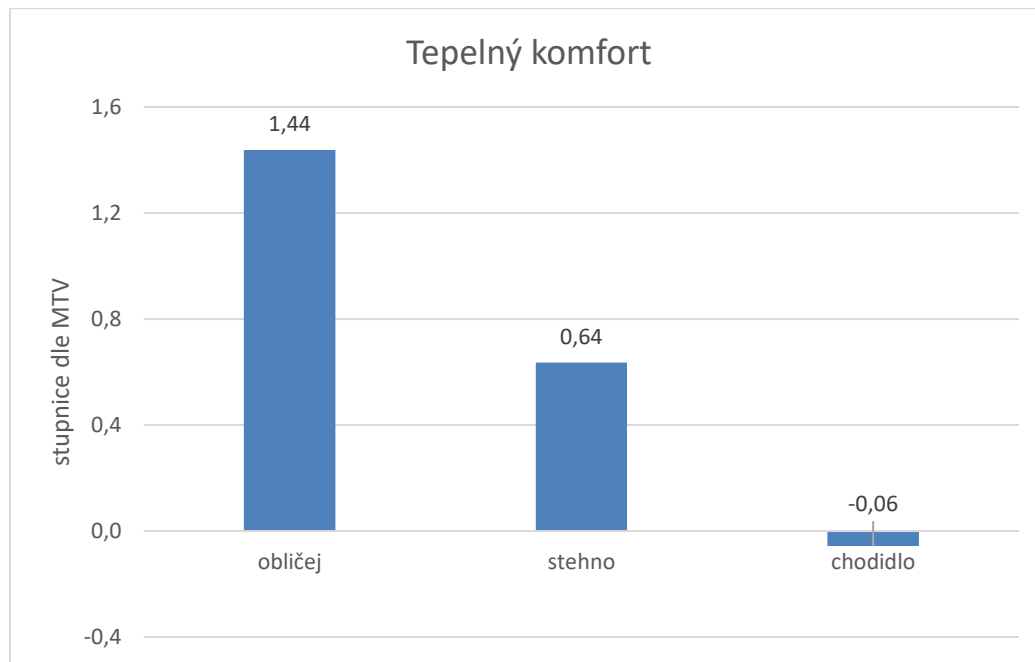
Obr.104 Zprůměrovaná hodnota příkonu

Obr. 105 znázorňuje průběh tepelného komfortu během experimentu. Všechny křivky vychází ze stejného počátečního bodu. Hodnoty ke konci měření už jsou ustálené, a proto z nich lze vypočítat průměrný tepelný komfort.



Obr.105 Průběh hodnot tepelného komfortu v průběhu měření

Průměrné hodnoty tepelného komfortu (obr 106) byly vypočítány z časového úseku 5 minut na konci experimentu, kde jsou hodnoty ustálené. Pro obličej byl vypočítán tepelný komfort 1,44, což je teplo, ale příjemné. Pro stehno byl vypočítán tepelný komfort 0,64, což je vhodný tepelný komfort. Pro chodidlo byl naměřen tepelný komfort -0,06, což lze považovat za ideální tepelný komfort, protože se rovná téměř 0.



Obr. 106 Průměrné hodnoty tepelného komfortu

Definovaná cílová teplota 22 °C nebyla dosažena. Reálná teplota v kabině vozidla se pohybovala kolem 25 °C, takže tepelný komfort není vyhodnocován pro teplotu 22 °C. Při téhle teplotě byl tepelný komfort dosažen u stehna a chodidla. Obličej měl lehce vyšší tepelný komfort, ale stále přijatelný. Nastavení teploty vzduchu bylo pro tepelný komfort vhodné.

8.2 ŠKODA SUPERB IV COMBI

Škoda Superb iV combi je vozidlo z řady plug-in hybridů, která kombinuje spalovací motor a elektromotor s akumulátorem. Pro měření byla využita energie z akumulátoru čili pouze elektropohon. Vozidlo využívá akumulátor o kapacitě 13 kWh. Výkon elektromotoru je 85 kW [70].

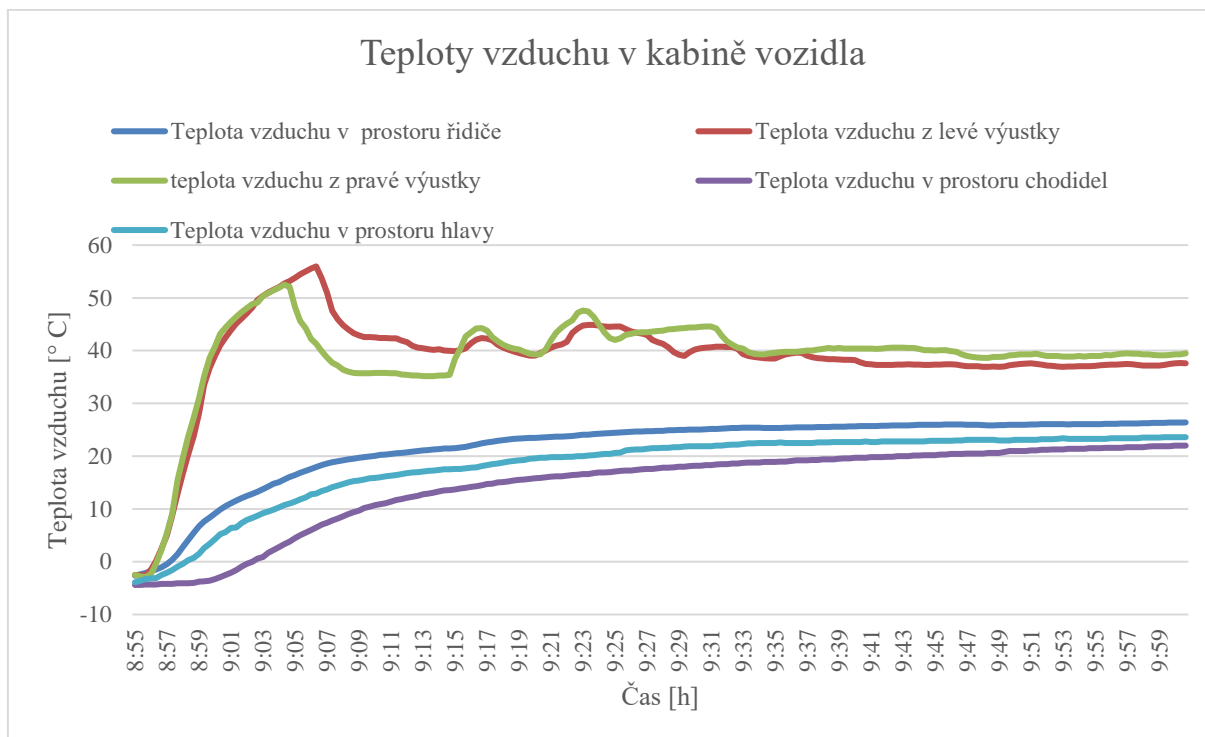


Obr.107 Škoda Superb iV combi [71]

8.2.1 ZIMNÍ MĚŘENÍ

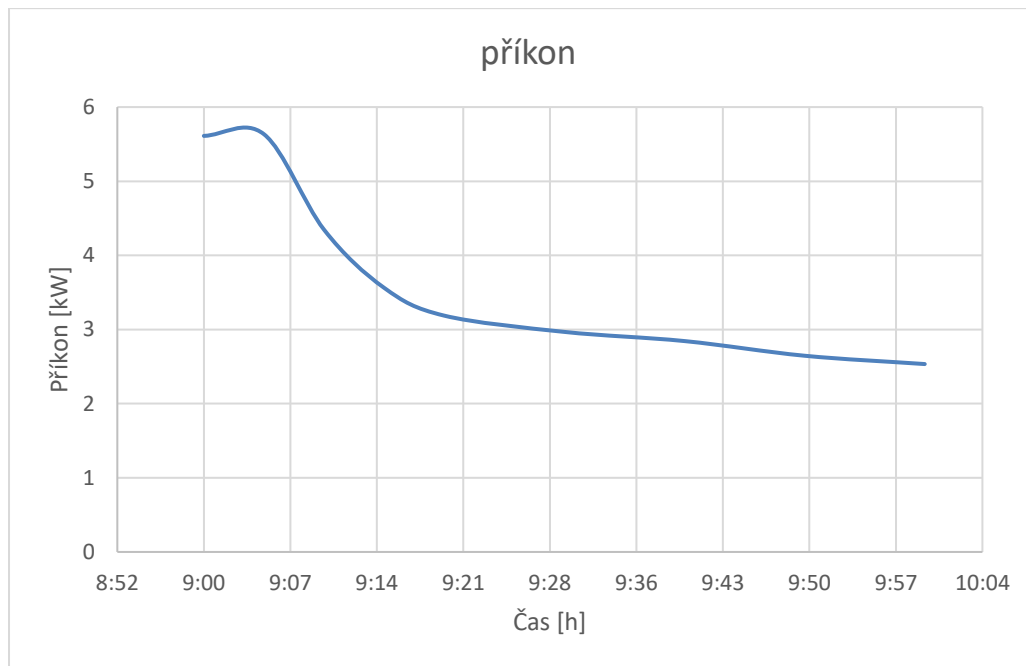
Při zimním měření bylo vozidlo předchlazeno na teplotu -5 °C v klima komoře. Cílová teplota vzduchu v kabině vozidla byla nastavena na AUTO 22 °C. Experiment byl proveden v časovém úseku 1 hodina a 5 minut.

Obrázek 108 znázorňuje průběh teplot vzduchu v kabině vozidla. Všechny křivky vycházejí ze stejné počáteční teploty, která byla $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže vozidlo bylo řádně předchlazeno. Křivky červené a zelené barvy znázorňují průběh teplot vzduchu vycházející z pravé a levé výstky. Průběhy jsou si podobné, ale s lehce odlišnou teplotou. Křivky modrých barev a fialové barvy znázorňují průběhy teplot vzduchu v kabině vozidla v oblasti řidiče, chodidel a hlavy. Křivky mají podobný průběh, ale s odlišnou teplotou. Všechny křivky jsou ke konci experimentu ustálené, a proto z nich lze odebrat průměrné hodnoty pro vyhodnocení experimentu.

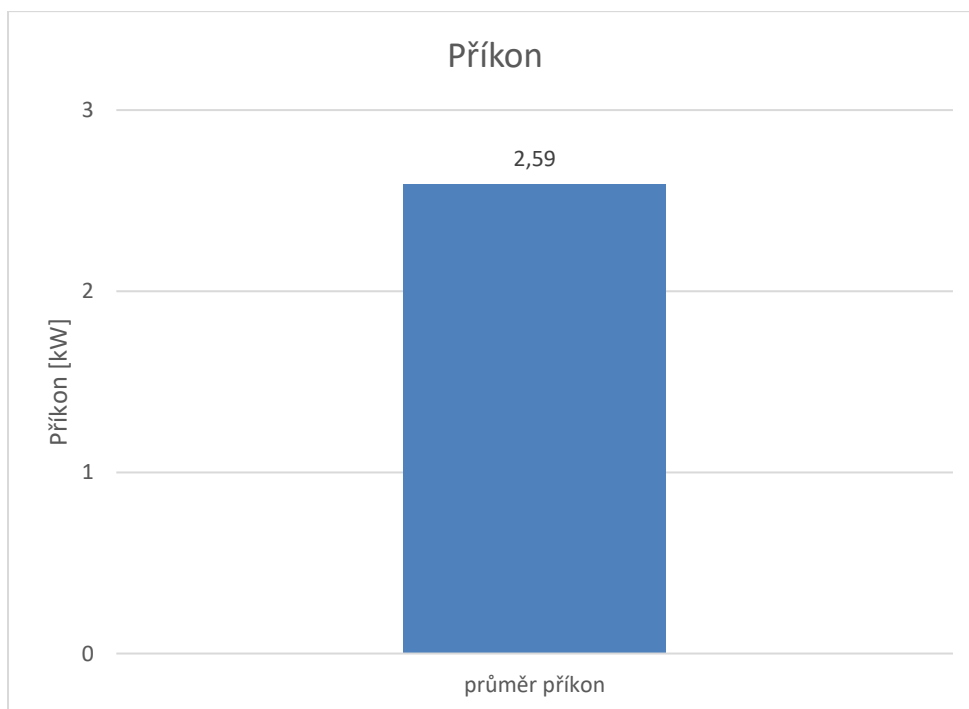


Obr.108 Znázornění průběhu teplot vzduchu v kabině vozidla

Obrázek 109 znázorňuje průběh příkonu během měření. Zpočátku byla hodnota příkonu vyšší, postupem času se ale jeho hodnota zmenšovala. Hodnoty jsou ke konci experimentu ustálené a lze z nich vypočítat průměrnou hodnotu příkonu. Průměrná hodnota příkonu v posledních 10 minutách byla $2,59\text{ kW}$ (obr. 110).

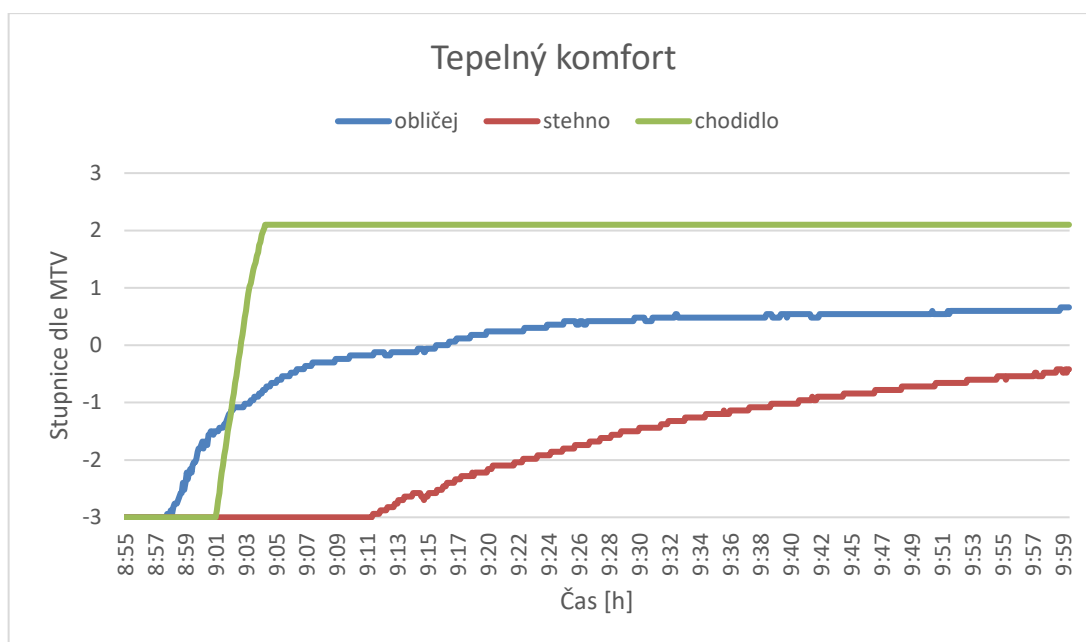


Obr.109 Průběh hodnot příkonu během měření



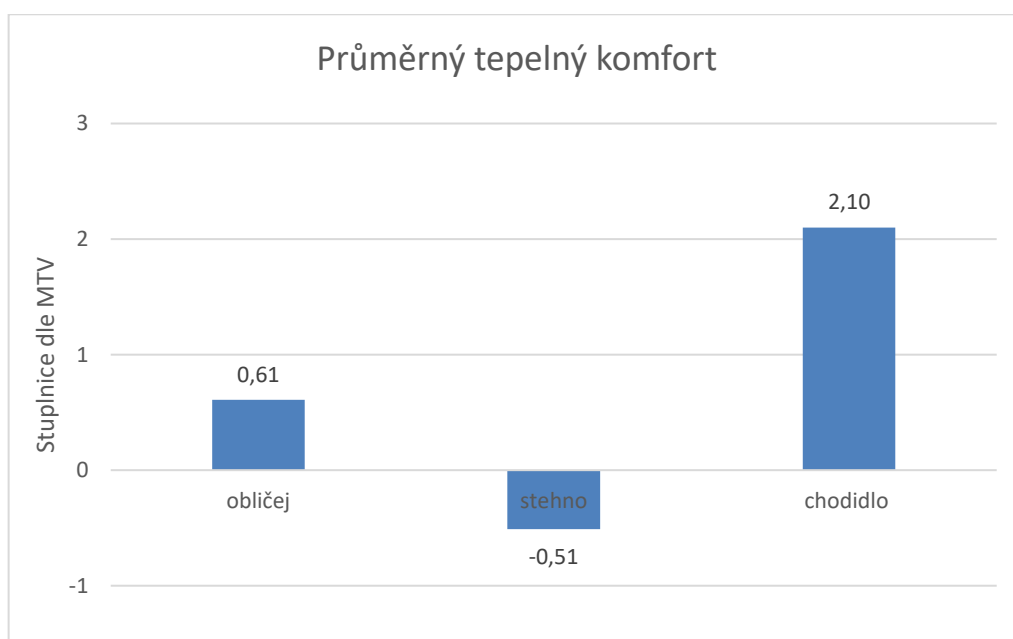
Obr.110 Hodnota průměrného příkonu na konci měření

Obrázek 111 znázorňuje průběh tepelného komfortu. Všechny křivky vychází ze stejné hodnoty, která byla -3, což je hodnocení „velmi zima“ (stupnice PMV). Hodnoty tepelných komfortů jsou ustálené až na hodnoty stehna. Křivka tepelného komfortu stehna ke konci experimentu stále nepatrně stoupá, takže nelze jednoznačně říct, zdali se hodnota výrazně změní, nebo nikoliv.



Obr.111 Průběh hodnot tepelného komfortu během měření

Průměrné hodnoty tepelného komfortu byly vyhodnoceny pro všechny 3 oblasti (obr.112). Výsledky byly hodnoceny pro časový úsek 10 minut na konci experimentu. Pro oblast obličeje vyšla průměrná hodnota 0,61, což je hodnota pro dosažení tepelného komfortu. Pro oblast chodidel vyšla průměrná hodnota 2,1, což je hodnota pro „nepříjemné teplo“. Pro chodidla je teplotní nastavení experimentu nevhodné, v praxi lze dát nohy do jiné polohy, a tím se přiblížit tepelnému komfortu. Pro oblast stehna byl vyhodnocen průměrný tepelný komfort -0,51, který značí dosažení tepelného komfortu. Hodnota nebyla ke konci ustálena, ale lehce stoupala výše. V tomto případě by stoupající hodnota byla stále v rozmezí vhodného tepelného komfortu, pokud by hodnota nevystoupala nad hodnotu 1. Z toho lze říci, že teplotní nastavení experimentu je pro stehno vyhovující.

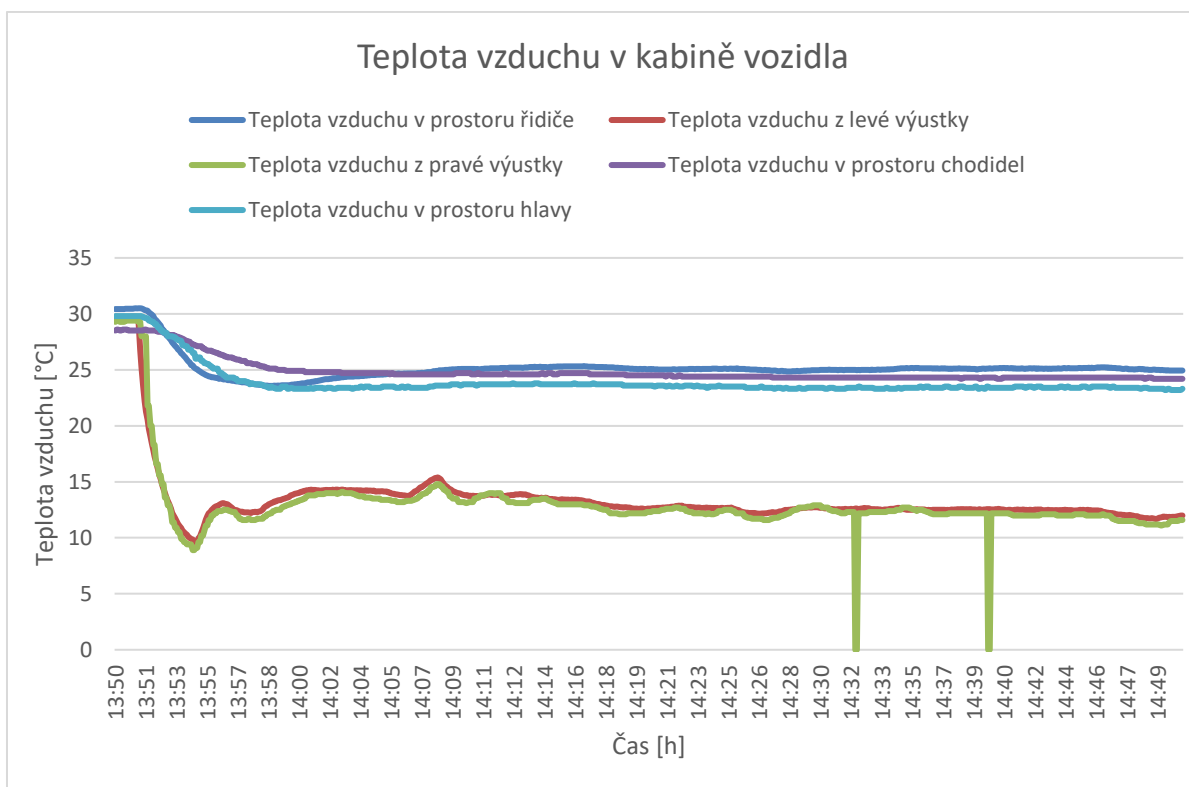


Obr.112 Průměrné hodnoty tepelného komfortu vyhodnocené v časovém úseku 10 minut na konci experimentu

8.2.2 LETNÍ MĚŘENÍ

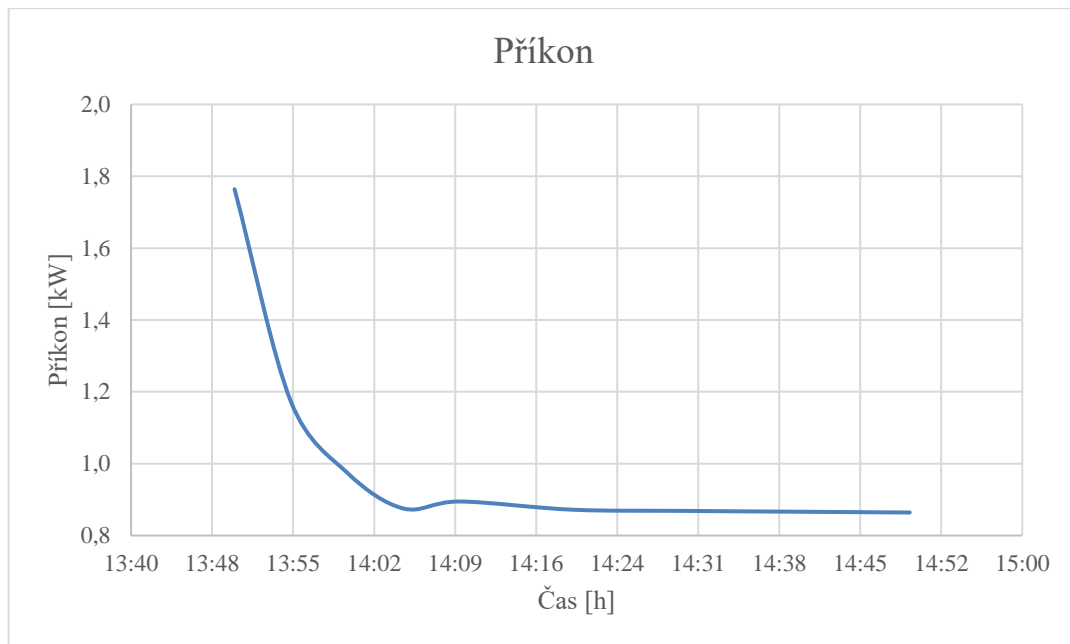
Měření pro letní období probíhalo v časovém úseku 1 hodina. Cílová teplota vzduchu v kabině vozidla byla nastavena na AUTO 22 °C. Auto byla přehřáto v klima komoře na teplotu 30 °C. Během experimentu byly spuštěny solární panely o výkonu 800 W, které simulují sluneční záření.

Obrázek 113 znázorňuje průběh teplot vzduchu v kabině vozidla. Všechny křivky vychází z teploty cca 30 °C, takže vozidlo bylo řádně přehřáto. Všechny křivky jsou ke konci experimentu ustálené a lze z nich vypočítat průměrné hodnoty. Křivky zelené a červené barvy zobrazují průběh teploty vzduchu vycházejícího z levé a pravé výstky. Zelená křivka má 2 výrazné skoky hodnot, které jsou chybou měření a jsou způsobené výpadkem měřicího článku. Křivky modrých barev a fialové barvy zobrazují průběh teplot v kabině vozidla v prostoru řidiče, hlavy a chodidel. Všechny 3 mají stejný průběh, ale lehce se liší teplotou.

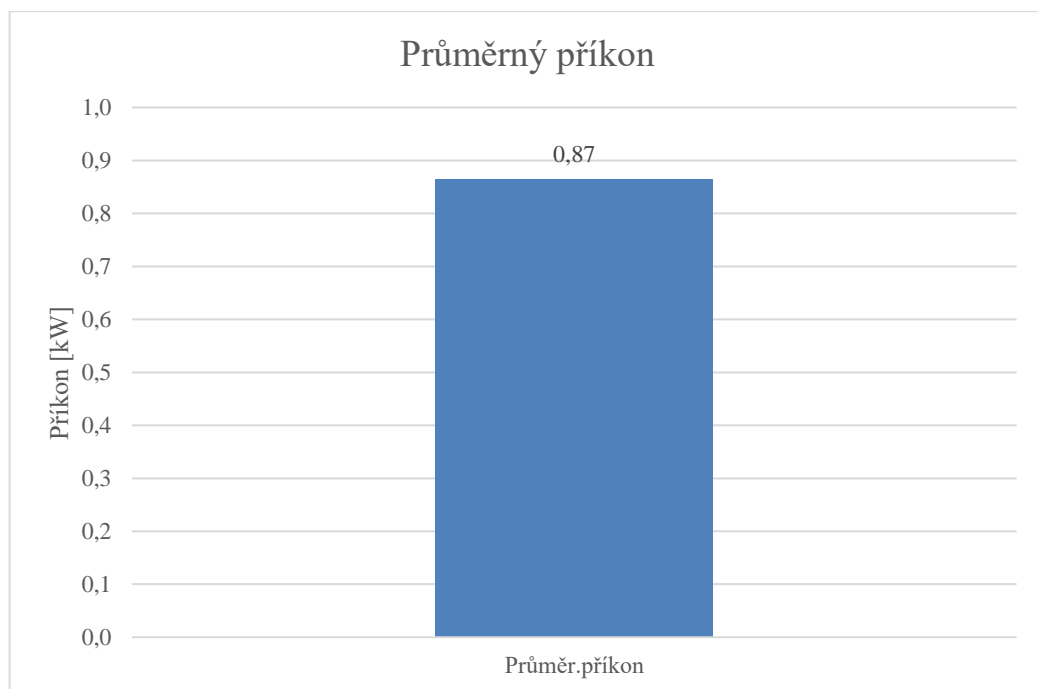


Obr. 113 Průběh teplot vzduchu v kabině vozidla během měření

Obr. 114 zobrazuje průběh příkonu během měření. Křivka má na počátku nejvyšší hodnotu, která ale postupem času klesá a ustálí se po zhruba 20 minutách. Z posledních 10 minut měření byl vyhodnocen průměrný příkon, který měl hodnotu 0,87 kW (obr. 115).

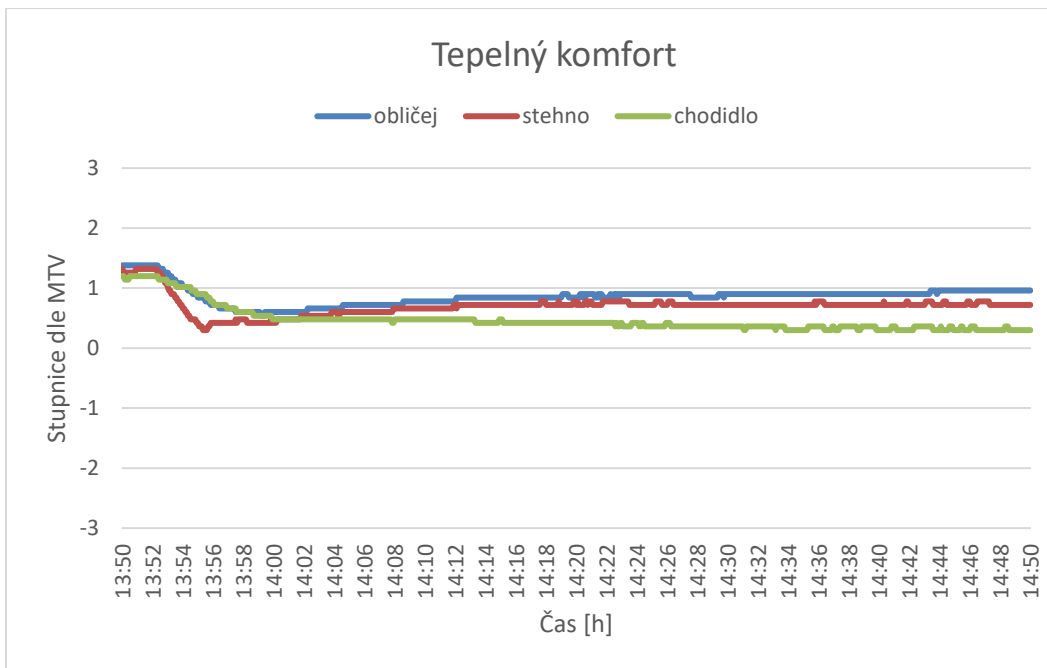


Obr.114 Průběh hodnot příkonu



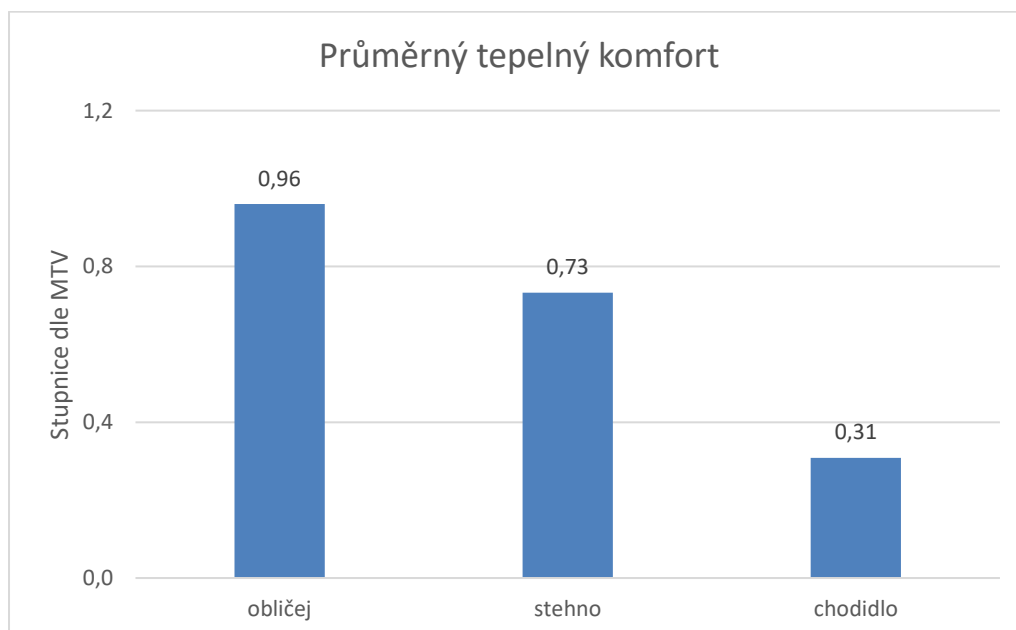
Obr.115 Průměrná hodnota příkonu na konci úseku měření

Obr. 116 znázorňuje průběh tepelného komfortu pro oblast obličeje, stehna a chodidla. Všechny 3 křivky jsou ke konci měření ustálené a lze z nich vyhodnotit průměrnou hodnotu.



Obr. 116 Průběh hodnot tepelného komfortu

Obrázek 117 znázorňuje průměrné hodnoty tepelného komfortu, které byly vypočítány z časového úseku 5 minut na konci měření. Pro obličej vyšel tepelný komfort 0,96, což je na hranici vhodného tepelného komfortu a rozmezí teplo, ale příjemně. Stále je ale hodnota vhodná, a proto lze říct, že teplotní nastavení vozidla je vhodné pro obličej. Pro stehno byla vypočítána průměrná hodnota 0,73, což je také hodnota pro dosažení tepelného komfortu. Podobně je na tom i chodidlo, u kterého vyšla průměrná hodnota tepelného komfortu 0,31. Ze všech oblastí dosáhlo tepelného komfortu nejlépe chodidlo. Pro všechny 3 oblasti je teplotní nastavení z pohledu tepelného komfortu vhodné.



Obr. 117 Zobrazení vypočítaných průměrných hodnot tepelného komfortu z časového úseku 5 minut na konci měření.

8.3 ŠKODA ENYAQ

Vozidlo Enyaq (obr. 118) je vybaven akumulátorem s kapacitou 77 kWh. Vozidlo má dle [72] průměrnou spotřebu 15,8 kWh/100 km. Dojezd vozidla je dle WLTP až 542 km. Má pohon na zadní kola a maximální točivý moment 310 Nm. Maximální rychlost vozidla je 160 km/h a výkon 132 kW.

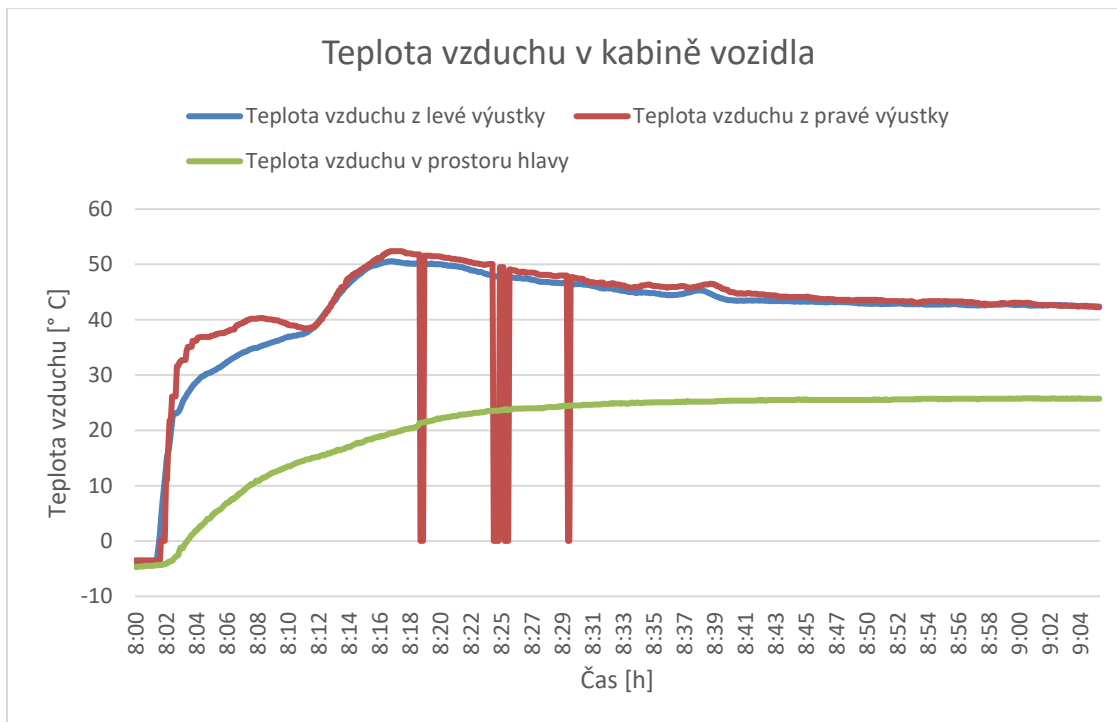


Obr.118 Elektrické vozidlo Škoda Enyaq [72]

8.3.1 ZIMNÍ MĚŘENÍ

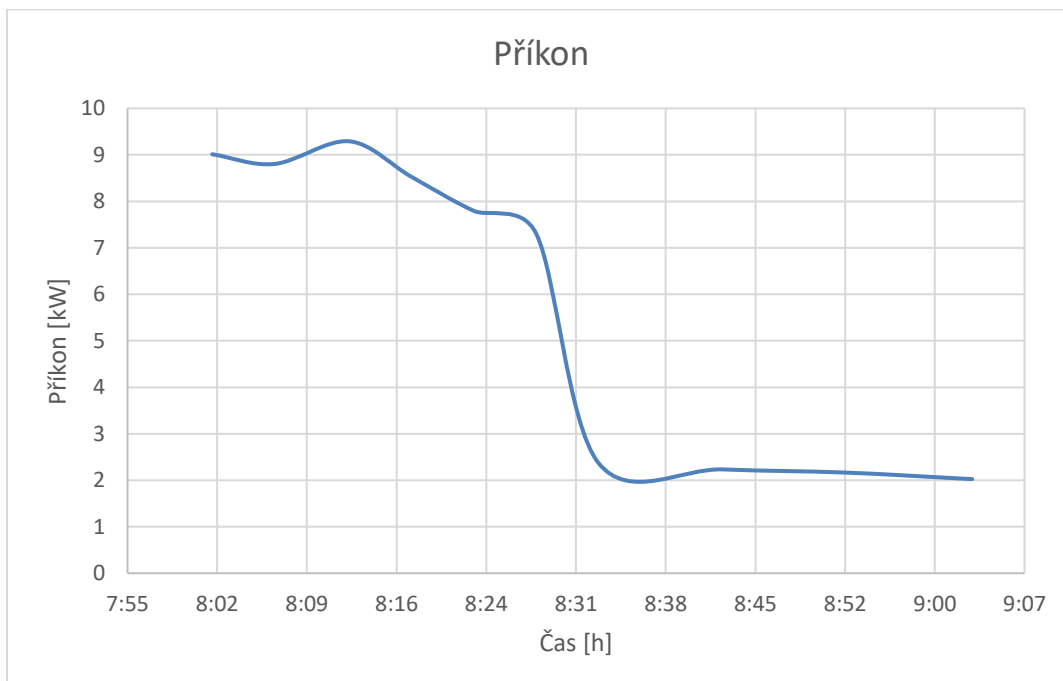
Měření pro zimní období probíhalo při teplotě $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měření probíhalo v časovém úseku 1 hodina. Obrázek 119 znázorňuje průběh teploty vzduchu v kabině vozidla. Všechny křivky vychází ze stejné teploty $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže vozidlo bylo řádně předchlazeno.

Modrá a červená křivka zobrazují průběh teploty vzduchu vycházejícího z výustek. Křivky mají podobný průběh s lehce odlišnou teplotou. Červená křivka má skokové odlišnosti hodnot, které jsou chybové, protože měřicí článek měl pravděpodobně v onen okamžik výpadek. Zelená křivka znázorňuje teplotu vzduchu v prostoru hlavy, která měla ke konci měření průměrnou hodnotu $25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je o téměř $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ více, než jaká byla teplota nastavena pomocí systému vozidla.

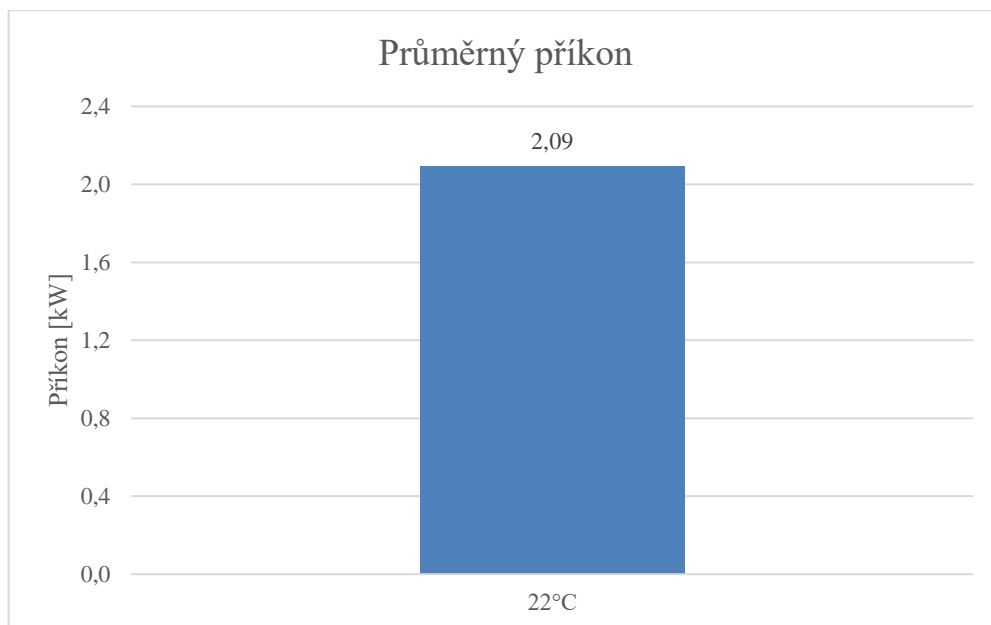


obr.119 Zobrazení průběhů teplot vzduchu v kabině vozidla během měření

Obrázek 120 znázorňuje příkon vozidla během měření. Hodnota je na počátku vysoká, neboť vozidlo prvních cca 20 minut intenzivně ohřívalo akumulátor na provozní teplotu ale postupně se snižuje a po cca 30 minutách je ustálená. Z hodnot naměřených na konci měření lze vypočítat průměrnou hodnotu příkonu, která byla 2,09 kW (obr. 121).

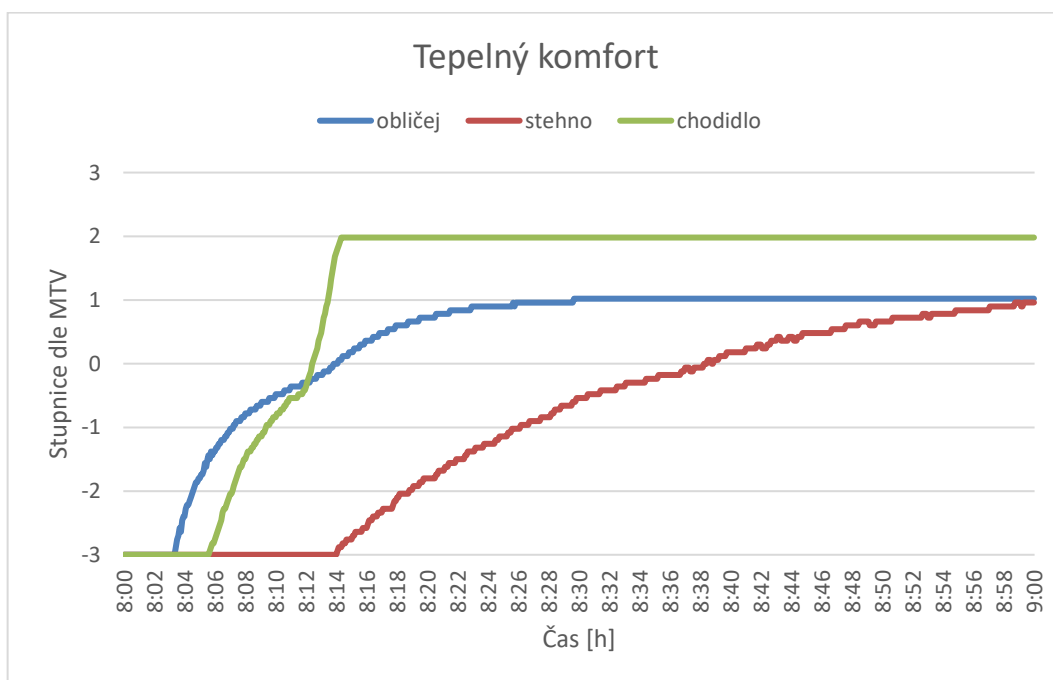


Obr.120 Průběh hodnot příkonu



Obr.121 Průměrná hodnota příkonu

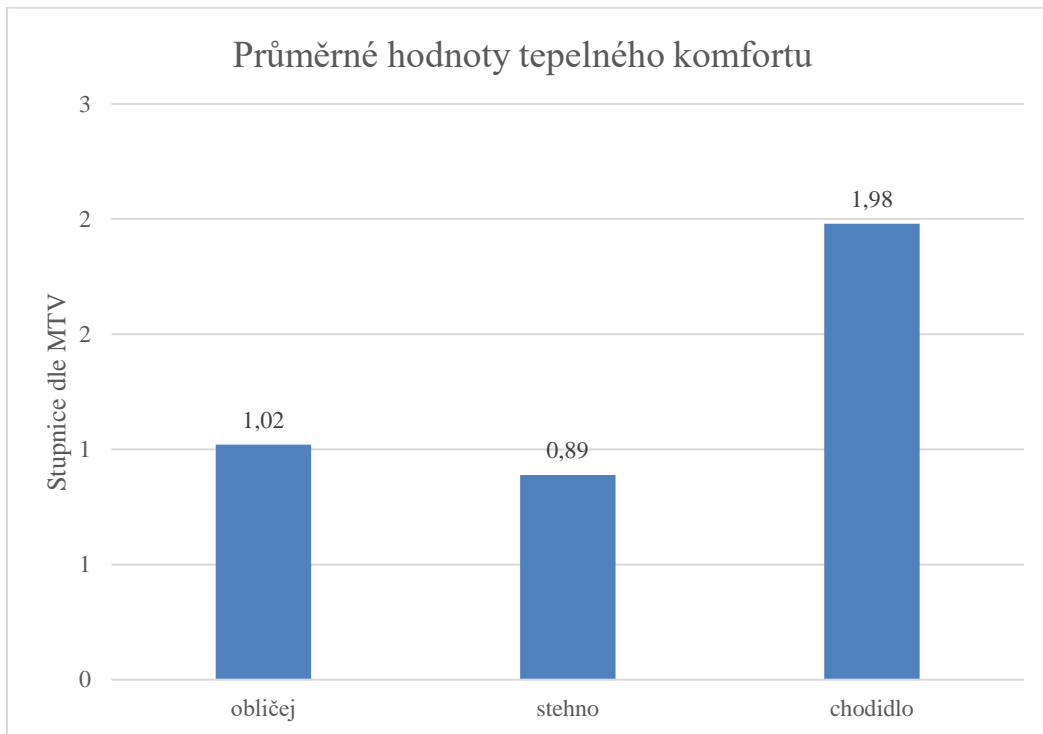
Obrázek 122 znázorňuje průběh tepelného komfortu během měření. Všechny 3 křivky vychází z hodnoty -3, takže vozidlo byla řádně vychlazeno. Křivky zelené a modré barvy jsou ke konci měření ustálené. Červená křivka ustálená není, protože ke konci měření stále stoupá.



Obr.122 Průběh hodnot tepelného komfortu

Průměrné hodnoty (obr. 123) byly vypočítány pro všechny 3 měřené části těla. Pro obličej vyšel tepelný komfort v hodnotě 1,02, což je hranice mezi neutrálním pocitem a pocitem mírně teplo. Pro stehno byla vypočítána hodnota 0,89, ale hodnoty nejsou ustálené a křivka stále stoupá. Nelze jednoznačně říct, o jakou hodnotu by se tepelný komfort navýšil. Nicméně už teď je hodnota tepelného komfortu vyšší a kdyby dále stoupala, nejspíše by dosáhla hodnoty mimo neutrální pocit. Chodidlo dosáhlo hodnoty 1,98, což je hranice mezi mírně teplo a velké teplo, takže hodnota je pro tepelný komfort nevhodná. Ze všech hodnot dosáhlo

tepelného komfortu pouze stehno, ovšem hodnota pro stehno není ustálená, a proto je potřeba tuto hodnotu brát s rezervou. Nastavená teplotní podmínka vozidla je pro tepelný komfort nevhodná.

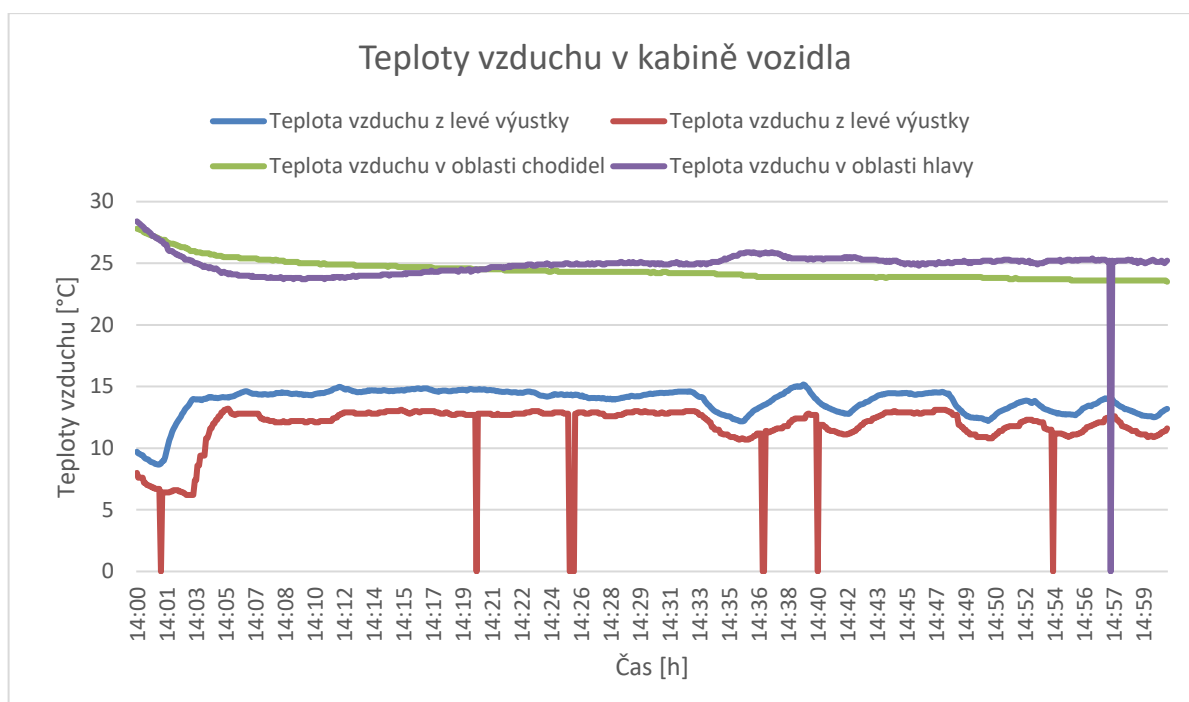


Obr. 123 Průměrné hodnoty tepelného komfortu

8.3.2 LETNÍ MĚŘENÍ

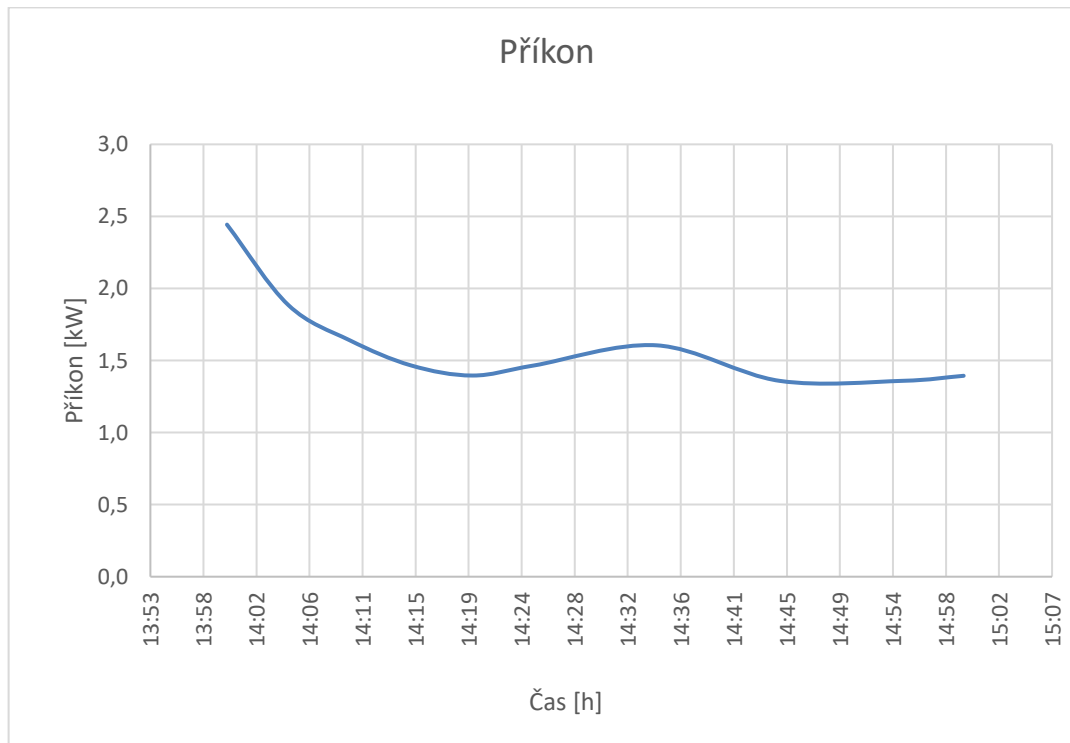
Měření pro letní období probíhalo při teplotě 30 °C. Vozidlo bylo v klima komoře řádně předebráno. Cílová teplota v kabině vozidla byla nastavena na AUTO 22 °C. Pro měření tepelného komfortu byl využit měřicí systém iHVAC, který byl umístěn na sedadle spolujezdce.

Obrázek 124 znázorňuje průběh teplot vzduchu v kabině vozidla. Červená a modrá křivka znázorňují průběh teplot vzduchu vycházejících z levé a pravé výustky. Křivky mají stejný průběh, ale s odlišnou teplotou. Levá výustka vypouští chladnější vzduch než pravá výustka. Zelená a fialová křivka znázorňují průběh teplot vzduchu v oblasti hlavy a chodidel. Křivky mají stejný průběh, ale odlišnou teplotu.

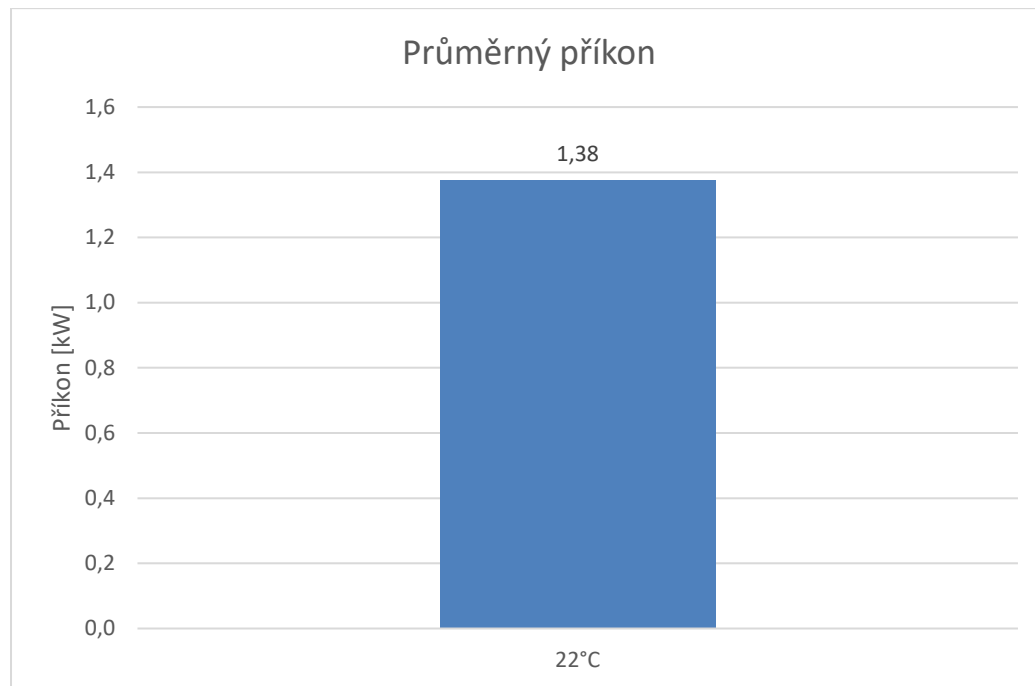


Obr. 124 Průběh teplot vzduchu v kabině vozidla

Obrázek 125 znázorňuje průběh příkonu během měření. Z počátku měření byl příkon nejvyšší, postupně se zmenšoval a byl ustálen. U ustálených hodnot mohl být vypočítán průměrný příkon. Průměrný příkon (obr. 126) byl vypočítán z časového úseku 10 minut na konci měření, a byl 1,38 kW.

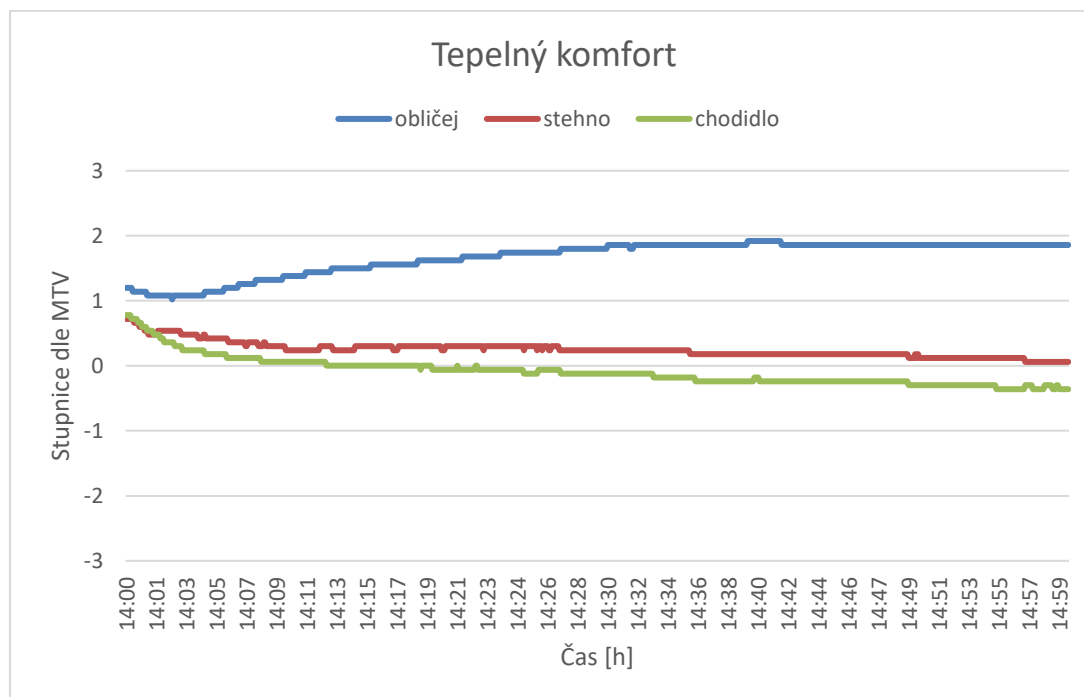


Obr. 125 Průběh hodnot příkonu



Obr.126 Průměrná hodnota příkonu

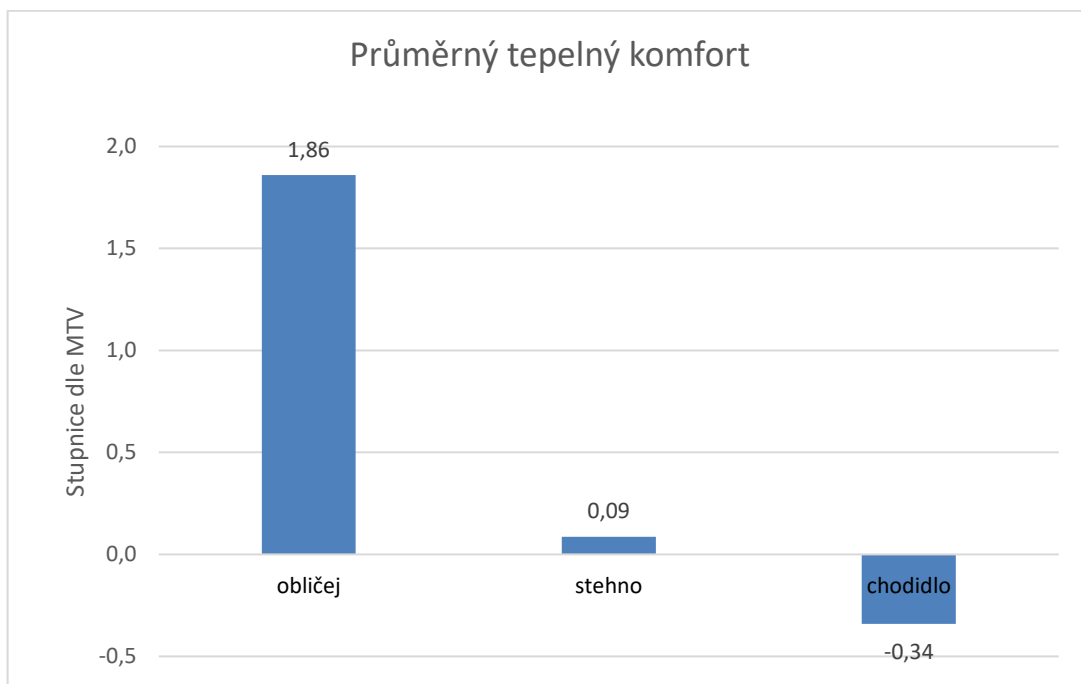
Obrázek 127 znázorňuje průběh tepelného komfortu pro letní měření. Všechny hodnoty jsou na konci měření ustálené, a proto z nich lze vypočítat průměrný tepelný komfort.



Obr.127 Průběh hodnot tepelného komfortu

Hodnoty průměrného tepelného komfortu (obr. 128) byly vypočítány pro všechny 3 části těla. Průměr byl vypočítán z časového úseku 5 minut na konci měření. Pro obličej vyšla průměrná hodnota tepelného komfortu 1,86, což je teplo, ale snesitelně. Hodnota je ale mimo optimální tepelný komfort, a proto je teplotní nastavení pro obličej nevhodné. Pro stehno vyšla průměrná hodnota 0,09, což je hodnota blízka 0 a tím pádem označuje téměř ideální teplotní komfort. Pro stehna bylo teplotní nastavení vhodné. Pro chodidla vyšla hodnota tepelného

komfortu -0,34. Hodnota je v optimálním tepelném komfortu, a proto je teplotní nastavení pro chodidla také vhodné.



Obr. 128 Průměrné hodnoty tepelného komfortu

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ

Tato kapitola slouží pro porovnání výsledků experimentů popsaných v kapitolách 7 a 8. Výsledky kapitoly 7 budou popsány samostatně a následně budou srovnány s výsledky z 8. kapitoly.

9.1 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ POPSANÉ V 7. KAPITOLE

V kapitole 7 je popsán experiment, který byl proveden autorkou diplomové práce pod vedením vedoucího diplomové práce. Všechna měření probíhala v klimakomoře VUT FSI a na vozidle Hyundai Ioniq electric. Před každým měřením probíhalo 5 hodin temperování vozidla v klimakomoře na požadovanou teplotu okolí. Vozidlo bylo tedy vždy řádně vychlazen/vyehřáto dle typu měření. Bylo provedeno měření pro letní a zimní klimatické podmínky. Byly měřeny vždy 3 různé cílové teploty vzduchu v kabině vozidla pro porovnání příkonů HVAC systému při nastavení regulace na různé cílové hodnoty teploty v kabině. Všechny testy probíhaly v délce 2 hodin a byly rozděleny na tři úseky. První úsek byl vždy měřen 1 hodinu, zbývající 2 úseky byly měřeny po 30 minutách. První úsek byl delší z důvodu většího rozdílu teplot a tím pádem byly hodnoty ustáleny po delší době. Všechny měření měla konstantní teplotu klimakomory. Pro vytápění/vychlazování interiéru byl použit pouze HVAC systém bez jakýkoliv podpůrných systémů pro vytápění (například vyhřívané sedadlo).

V kapitole 7.4 byl popsán zkušební test, který sloužil pro vyzkoušení průběhu měření. Výsledky z tohoto testu nelze použít pro porovnání měření, protože nebyly zajištěny konstantní podmínky měření. Test prokázal funkčnost a bezproblémovost všech součástí a komponentů. Měření pro zimní klimatické období bylo měřeno dvakrát. Při prvním měření se zvyšovaly cílové teploty vzestupně. Při druhém měření byly teploty záměrně prostřídány, aby bylo možné ověřit vliv náhodné posloupnosti změny cílové teploty. Pro měření tepelného komfortu byl využit měřicí systém iHVAC, který využívá vyhřívaných snímačů, které jsou umístěny do prostoru přibližně odpovídající poloze části těla, jejíž tepelný komfort chceme hodnotit. V našem případě byly měřeny části těla obličeje, stehna a chodidla, která jsou u reálných lidí zvláště citlivé na tepelný diskomfort. Fotodokumentace umístění snímačů je umístěna v kapitolách popisujících jednotlivá měření.

Tab. 11 znázorňuje výsledky tepelného komfortu ve všech 3 oblastech těla pro všechna měření z kapitoly 7. Optimální tepelný komfort nastává při hodnotě od -1 do 1 dle stupnice MTV (kap. 6. 2. 4). Zelenou barvou jsou zvýrazněny výsledky a teploty, při kterých bylo dosaženo nejlepších výsledků tepelného komfortu.

Tab.11 Výsledky hodnot tepelného komfortu vyhodnocené z hodnot získaných během experimentu

Druh měření	Číslo měření	Teplota [°C]	Tepelný komfort		
			obličej	stehno	chodidlo
Zimní měření	měření 1	18	-0,43	-0,75	0,37
		22	0,36	0,05	1,76
		24	0,92	0,66	1,98
	měření 2	22	0,54	-1,04	1,75
		18	-0,48	-1,88	-1,51
		24	1,08	-0,09	2,04
Letní měření	-	22	-0,05	0,24	-0,61
		20	-0,4	-0,65	-2,66
		24	1,45	0,92	-0,95

Při zimním měření se některé hodnoty tepelného komfortu nacházely při teplotě 18 °C v oblasti optimálního tepelného komfortu, zejména obličej. Nejhůře dosahovalo tepelného komfortu stehno, protože leží v oblasti, kde není přímo umístěna výustka a také i při zimním oděvu bývá tato část těla pokryta jen jednovrstvým oděvem (rifle, plátěné kalhoty, manšestráky atd.). Při teplotě 24 °C se hodnoty pohybovaly ve vyšších hodnotách, zejména pro chodidla. Je to pravděpodobně způsobené tím, že teplota vzduchu vycházejícího z výustek u nohou je vyšší než teplota vzduchu vycházejícího z ostatních výustek.

Pro letní měření vyšla nejvhodnější cílová teplota v kabině vozidla 22 °C. Při té byly všechny oblasti těla v optimálním tepelném komfortu. Pro teplotu 20 °C vyšla velmi nízká hodnota tepelného komfortu pro oblast chodidel, která byla -2,66, což značí nepříjemné chladno. Pro teplotu 24 °C vyšla naopak vysoká hodnota pro oblast obličeje, která byla 1,45 a to značí teplo, ale snesitelně.

Ve všech 3 měření bylo nejlepších výsledků tepelného komfortu dosaženo při cílové teplotě 22 °C. Ze zimního měření č.2 vyšly výsledky pro teplotu 22 °C a 24 °C velmi podobně, proto jsou zeleně zaznačeny obě teploty. Pro teplotu 22 °C vyšla oblast stehna -1,04, což je hodnota pro chladno, ale přijatelně a pro chodidla vyšla 1,75, což je teplo ale přijatelně. Pro teplotu 24 °C vyšlo stehno -0,09, což je optimální tepelný komfort, ale obličej má hodnotu 1,08, což je teplo ale přijatelně. Problém nastává u chodidel, kdy nabývá hodnoty 2,04, což je nesnesitelné teplo. Vzhledem k hodnotě chodidel u teploty 24 °C, která se nachází v hodnotě nesnesitelného tepla je lepší vytápět na hodnotu 22 °C. Záleží zde ale na preferencích osoby sedící ve vozidle.

Mimo měření tepelného komfortu byly měřeny a vyhodnoceny i hodnoty příkonu, odebírané energie a celkově odebrané energie. Tab. 12 zobrazuje všechny vypočítané hodnoty z naměřených hodnot. Průměrné hodnoty jsou vypočítány z hodnot na konci měření, kde byly hodnoty ustáleny. Zeleně jsou zaznačeny hodnoty, při kterých bylo dosaženo optimálního tepelného komfortu.

Tab. 12 Hodnoty vypočítané pro měření

		Teplota [°C]	Průměrný příkon [kW]	Průměrná odebraná energie [kWh]	Celkově odebraná energie [kWh]	Celkově spotřebovaná energie [kWh]
Zimní měření	měření 1	18	1,33	0,021	1,752	3,72
		22	1,75	0,028	0,942	
		24	1,99	0,032	1,021	
	měření 2	22	1,87	0,0313	2,56	4,32
		18	1,18	0,0196	0,51	
		24	2,13	0,0355	1,25	
Letní měření	-	22	0,97	0,0163	0,936	1,90
		20	1,1	0,0183	0,586	
		24	0,7	0,0117	0,373	

Zimní měření, které proběhlo dvakrát, prokázalo, že i při konstantních podmínkách nejsou hodnoty vždy stejné. Tab. 13 zobrazuje procentuální rozdíl v odebíraném výkonu při 1. a 2. zimním měření. Rozdíly se pohybují mezi 6,8 % až 12,5 %. Rozdíl je především způsoben prostřídáním teplot při měření (v druhém měření následovala teplota 18 po teplotě 22 °C) nicméně hodnoty s rozdílem do 10 % u ostatních nastavení teploty lze brát jako dostatečnou přesnost pro daný typ měření.

Tab. 13 Zobrazení rozdílu příkonu během zimních měření

	1. měření	2. měření	Rozdíl%
18 °C	1,33	1,18	12,5
22 °C	1,75	1,87	7,3
24 °C	1,99	2,13	6,8

Jak lze vidět v tab 12, hodnoty příkonu pro letní měření jsou výrazně nižší než hodnoty příkonu zimního měření. Je to způsobeno především tím, že v zimním období je teplotní diference okolí vs. kabina vozidla cca 23 °C–29 °C, než je diference při letním období je vozidlo klimatizováno o 6–10 °C. Tento menší teplotní spád v létě, který je menší než u zimního případu, způsobuje, že není potřeba vynaložit tolik energie na udržení požadované teploty v kabině.

Z tab. 12 lze vidět, že čím nižší nastavená teplota v kabině u zimního měření, tím nižší nároky na příkon a odebranou energii vozidlo má. Cílem je zachovat tepelný komfort při co nejmenší energetické náročnosti. V kapitole 7.7 je popsáno měření vytápění pomocí vyhřívaného sedadla. Lze vytápět vozidlo pomocí HVAC na nižší teplotu (nebo netopit vůbec) v kombinaci s vyhřívaným sedadlem a tím ušetřit energii potřebnou na vytvoření optimálního tepelného komfortu. V tab. 10 jsou uvedeny součty hodnot příkonu při jednotlivých teplotách a příkonu vyhřívaného sedadla. Pokud by vozidlo topilo na 18 °C a používalo by jako

podpůrný systém vyhřívání sedadla, pak by odebíraný výkon byl 1,348 kW (1. měření) a 1,2 kW druhé měření. Pokud hodnoty srovnáme s odebíraným výkonem při teplotě 22 °C, kde byl změřen optimální tepelný komfort, pak lze příkon HVAC snížit o 0,4 kW (1. měření) a 0,67 kW (2. měření).

9.2 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZE 7. A 8. KAPITOLY

V této podkapitole budou srovnány výsledky z předcházejícího měření, které je popsáno v kapitole 8, a měření popsáno v kapitole 7. Bude srovnán příkon vozidel při teplotě 22 °C, protože na tuto hodnotu byly měřeny všechny vozidla z předcházejícího měření, a proto lze porovnat jejich energetickou náročnost při konstantní teplotě.

Tab. 14 zobrazuje hodnoty příkonu vypočítané ve všech měřeních a u všech testovaných vozidel. Lze vidět, že nejnižší energetickou náročnost při zimním topení mělo vozidlo Hyundai Ioniq, které je vybaveno tepelným čerpadlem, které výrazně snižuje energetickou náročnost vozidla na vytápění. V případě měření v zimním klimatickém období byla úspora energie až 32,5 % (Hyundai Ioniq vs Škoda Superb iV) a v případě letního klimatického období až 30 % (Hyundai Ioniq vs Škoda Enyaq). Největší energetickou náročnost mělo vozidlo Škoda Superb iV, které mělo příkon HVAC jednotky 2,59 kW.

V letním období dosahovalo nejnižšího příkonu vozidlo Škoda Superb iV, ale příkon vozidel Hyundai Ioniq, Kona a Škoda Superb iV se od sebe liší maximálně o 0,1 kW což je na hranici rozlišení měření. Vozidlo Škoda Enyaq dosahovalo mnohem vyššího příkonu, který byl 1,38 kW. Toto vozidlo totiž jako jediné z měřených používalo chladivo CO₂, které se v teplotách nad 30 °C pohybuje v nadkritické oblasti a kondenzátor se poté mění na výměník typu plyn/plyn. To snižuje účinnost oběhu a zvyšuje energetické nároky na chlazení kabiny. Nutné je také podotknout, že měření probíhala s vozidlem vyrobeným v první sérii po uvedení do výroby, a vozidlo mělo první verzi softwaru 2021. Novější verze ovládacího software, pak řeší nové postupy pro regulaci systémů tepelného managementu, což může přinést dodatečné úspory při využití HVAC. Vozidlo s tímto SW však nebylo podrobeno testům v klimakomůře, které by bylo možné zařadit do analýzy v této diplomové práci.

Tab. 14 Hodnoty vypočítaného průměrného příkonu HVAC jednotky pro všechna vozidla. Test pro nastavený regulační režim v kabině AUTO, 22 °C.

		Hyundai Ioniq	Hyundai Kona	Škoda Superb iV	Škoda Enyaq
		Průměrný příkon HVAC vozidla [kW]			
Zimní měření	měření 1	1,75	2,38	2,59	2,09
	měření 2	1,87			
Letní měření		0,97	0,95	0,87	1,38

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provést experiment, při kterém budou zjištěny optimální podmínky pro zachování tepelného komfortu osob v kabině vozidla. Výsledky byly následně porovnány s předcházejícím měřením, při kterém byly měřeny další 3 elektromobily.

První část byla zaměřená na teoretický úvod do problematiky tepelného managementu elektromobilu a tepelného komfortu. Byla popsána konstrukce elektromobilu. Dále byl popsán akumulátor z pohledu konstrukce, ale i tepelného managementu. Byly popsány vlivy působící na funkci akumulátoru. Dále byly popsány tepelné technologie používané pro lepší dosažení tepelného komfortu. Byla popsána problematika tepelného komfortu, jeho hodnocení a měření.

Nejdůležitější částí této diplomové práce je kapitola 7, kde je popsáno provedení experimentu. Byly provedeny testy napodobující dvě roční období (zima a léto) a byla zjištěna teplota, při které nastává optimální tepelný komfort. Pro měření tepelného komfortu byl využit měřicí systém iHVAC, který využívá vyhřívané snímače, které se umísťují do určené oblasti odpovídající polohám hodnocených částí těla v kabině vozidla. V této diplomové práci byly snímače umístěny do oblasti obličeje, stehna a chodidel. Experiment prokázal, že nejlepších výsledků tepelného komfortu pro všechna měření bylo dosaženo při teplotním nastavení 22 °C.

Dále bylo popsáno měření příkonu vytápěných sedadel a bylo prokázáno, že při kombinaci vytápění pomocí HVAC na nižší teplotu (18 °C) a vyhřívání sedadel dokáže vozidlo ušetřit až 35,8 % (kapitola 7.7) energie na vytápění, oproti vytápění pouze HVAC, ovšem při zachování celkového tepelného komfortu

Další část tvoří popis předcházejícího experimentu a vyhodnocení dat, které je popsáno v kapitole 8. Výsledky těchto měření jsou následně porovnány s výsledky měření z kapitoly 7, což je popsáno v kapitole 9.2. Porovnání prokázalo, že vozidlo vybavené tepelným čerpadlem spotřebuje až o 32,5 % méně energie v zimním klimatickém měření (porovnání Hyundai Ioniq a Škoda Superb iV) a až o 30 % porovnání Hyundai Ioniq a Škoda Enyaq) méně energie na vytápění v letním klimatickém měření, než vozidla, která nejsou vybavena tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo je tedy významným systémem, který ušetří energii na vytápění a klimatizaci kabiny vozidla s elektrickým pohonem.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Elektromobil. Aktuálně.cz [online]. 16.8.2010 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.aktualne.cz/wiki/auto/elektromobil/r~i:wiki:928/>
- [2] HABIB, Salman, Muhammad mansoor KHAN, Farukh ABBAS a Houjun TANG. Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons. ResearchGate [online]. International Journal of Energy Research, říjen 2017 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: doi:10.1002/er.4033
- [3] What are the different methods of charging an electric vehicle?. In: Kia [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.kia.com/eu/about-kia/experience-kia/technology/electrification/charging-methods-for-electric-cars/>
- [4] Smart EV wallbox [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.teisonev.com/wallbox-mini/ac-3-5kw-7kw-11kw-22kw-smart-home-wallbox-ev.html>
- [5] Nová nejsilnější nabíjecí stanice v Evropě připomíná nereálnost rozšíření elektroaut. Auto forum [online]. 22.2.2020 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/predstaveni/nova-nejsilnejsi-nabijeci-stance-v-evrope-pripomina-nerealnost-rozsireni-elektroaut/>
- [6] Different types of electric motors used in EVs. Arena EV [online]. 30.4.2022 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: https://www.arenaev.com/different_types_of_electric_motors_used_in_evs-news-214.php
- [7] Více než 200 koní ve sportovní tašce – elektrický pohon modelu Volkswagen ID.3. In: Volkswagen [online]. 15.11.2019 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/tiskove-zpravy/1322-vice-nez-200-koni-ve-sportovni-tasce-elektricky-pohon-modelu-volkswagen-id3>
- [8] ŠVEC, Jan. Vícetupňová převodovka pro elektromobily [online]. Liberec, 2018 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152164/DPprevodovka.pdf>. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
- [9] KAMPKER, Achim, Heiner Hans HEIMES, Mathias ORDUNG, Christoph LIENEMANN, Ansgar HOLLAH a Nemanja SAROVIC. Evaluation of a Remanufacturing for Lithium Ion Batterie from electric cars [online]. In: 1.11.2016, s. 1929-1935 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-a-Remanufacturing-for-Lithium-Ion-Kampker-Heimes/397a03f0a0b737c86bf39ef296150b26a4965b3e#citing-papers>
- [10] ONYANGO, Brian. How much does a Tesla car battery weigh. Vehicle freak [online]. 31.5.2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://vehiclefreak.com/how-much-does-a-tesla-car-battery-weigh-model-s-model-3-model-x-and-model-y/>

- [11] Model S. Tesla [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/models
- [12] Lithium-ion Batteries. In: Panasonic industry [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/lithium-ion>
- [13] TICHÝ, Jan. Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností [online]. 15.7.2019 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/13612-lithiove-akumulatory>
- [14] Lithium-železo-fosfátový akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-železo-fosfátový_akumulátor
- [15] Jak funguje automobilová baterie a jaká je její konstrukce? [online]. In: . 1.11.2021 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://batteryworld.varta-automotive.com/cs-cz/jak-funguje-automobilova-baterie>
- [16] JAIN, Ayush. How rechargeable batteries, charging, and discharging cycles work. Engineers garage [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/how-rechargeable-batteries-charging-and-discharging-cycles-work/>
- [17] What are the Advantages and limitations of NiCd batteries?. EveExceed [online]. 27.8.2021 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://www.everexceed.com/blog/what-are-the-advantages-and-limitations-of-nicd-batteries-_b108
- [18] What are the advantages and disadvantages of NiMH batteries?. Computer Hope [online]. 2.7. 2022 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/issues/ch000352.htm>
- [19] DVOŘÁK, Petr, Petr BAČA a David PLÉHA. Akumulace elektřiny: Velikost vs. hmotnost. Tzb info [online]. 9.5.2011 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>
- [20] Battery Capacity. In: PVE education [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/battery-capacity>
- [21] Připojit a nabít? Není proud jako proud. Hospodářské noviny [online]. 15.1.2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66171600-pripojit-a-nabit-neni-proud-jako-proud>
- [22] Model 3 Owner's Manual: Subsystems [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_jo/GUID-E414862C-CFA1-4A0B-9548-BE21C32CAA58.html
- [23] WLTP a RDE: NEDC (New European Driving Cycle). Fiat professional [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.fiatprofessional.com/cz/WLTP?adobe_mc_ref=

- [24] Dieselgate. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dieselgate>
- [25] WLTP a RDE: Postup WLTP. Fiat professional [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.fiatprofessional.com/cz/WLTP?adobe_mc_ref=
- [26] Real Driving Emissions: New measurement methods for better air quality [online]. In: . BOSCH [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.bosch.com/stories/real-driving-emissions/>
- [27] PIELECHA, Jacek, Kinga SKOBIEJ, Karolina KURTYKA a Maciej GIS. Measurements of particulate emissions from Euro 5/6 passenger cars in different drive settings [online]. ResearchGate, 2021, Leden 2021 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/642/1/012018
- [28] Jaký je rozdíl mezi protokoly NEDC a WLTP [online]. In: . 24.8.2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/novinka/4121>
- [29] LUPTÁK, Ladislav a Lubomír ŠMARDA. UČEBNÍ TEXT PRO OBOR INSTALATÉR, 1. ROČNÍK [online]. Brno, 2015 [cit. 2023-02-22]. ISBN 978-80-88058-24-3. Dostupné z: <https://ejmskoly.publi.cz/book/170-ucebni-text-pro-obor-instalater-1-rocnik>. Učební text. Střední škola polytechnická, Brno.
- [30] Jaký je rozdíl mezi přenosem tepla vedením, prouděním a sáláním? [online]. 6.12.2015 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-prenosem-tepla-vedenim-proudenim-a-salanim>
- [31] PAVELEK, Milan. Termomechanika. Vyd. 3., přeprac. / v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. : il. ISBN 80-214-2409-5.
- [32] LOVELL, Justine. EVs: Are they really more efficient?. Australian energy council [online]. 30.1.2020 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.energycouncil.com.au/analysis/evs-are-they-really-more-efficient/>
- [33] Battery and thermal management. Audi media center [online]. 3.3.2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/emotive-design-and-revolutionary-technologythe-audi-e-tron-gt-quattro-and-the-audi-rs-e-tron-gt-13655/battery-and-thermal-management-13784>
- [34] DITTRICH, Lukáš. Elektromobily na rozdíl od konvenčních vozidel trpí nedostatkem tepla. In: Technický týdeník [online]. 2021, 12.10.2021 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/elektromobily-na-rozdil-od-konvenčních-vozidel-trpi-nedostatkem-tepla_54225.html
- [35] Battery and thermal management. Audi media center [online]. 3.3.2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/emotive-design-and-revolutionary-technologythe-audi-e-tron-gt-quattro-and-the-audi-rs-e-tron-gt-13655/battery-and-thermal-management-13784>

- [36] RUGH, John P., Ahmad PESARAN a Kandler SMITH. Electric Vehicle Battery Thermal Issues and Thermal Management Techniques [online]. 17 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/52818.pdf>
- [37] HRZINA, Pavel. Cykly a životnost baterie. Tzb info [online]. 1.9.2020 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>
- [38] Battery Cooling Techniques in Electric Vehicle. CFD Flow Engineering [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://cfdflowengineering.com/battery-cooling-techniques-in-electric-vehicle/>
- [39] ZHAO, Gang, Xiaolin WANG, Michael NEGNEVITSKY a Hengyun ZHANG. A review of air-cooling battery thermal management systems for electric and hybrid electric vehicles [online]. Journal of Power Sources, 2021, 7-8 [cit. 2023-03-12]. ISSN 0378-7753. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230001>
- [40] Možnost akumulace energie ve formě tepla a chladu do akumulacních panelů. Abs portál [online]. 10.11.2016 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/moznost-akumulace-energie-ve-forme-tepla-a-chladu-do-akumulacnich-panelu>
- [41] GONDER, Jeff, Jason LUSTBADER a Ahmad PESARAN. Thermal Management of Batteries in Advanced Vehicles Using Phase-Change Materials [online]. In: . s. 5 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42544.pdf>
- [42] ALAHMER, Ali a Mohammed A OMAR. Vehicular Cabins' Thermal Comfort Zones; Fanger and Berkley Modeling. Research gate [online]. Vehicle Engineering, 2013, Březen 2013, 22 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/PHYSICAL-PARAMETERS-AND-HEAT-TRANSFER-MODES-THAT-EFFECT-ON-PASSENGER-COMPARTMENT-addition_fig2_259359809
- [43] GAWLASOVÁ, Žaneta. Moderní technologie pro úpravu tepelného prostředí automobilů s alternativními pohony. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2017, 45 listů. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [44] FOJTLÍN, Miloš, Michal PLANKA, Jan FIŠER, Jan POKORNÝ a Miroslav JÍCHA. Airflow Measurement of the Car HVAC Unit Using Hot-wire Anemometry. In: EPJ Web of Conferences [online]. Les Ulis: EDP Sciences, 2016, s. 2023 [cit. 2023-03-26]. ISSN 2100-014X. Dostupné z: doi:10.1051/epjconf/201611402023
- [45] Introducing the new BMW nanofiber filter technology. In: BMW [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.bmw.com/en/innovation/new-bmw-nanofiber-filters.html>
- [46] ČAJA, Alexander, Andrej KAPJOR, Ján TUHOVČÁK a Jiří HEJČÍK. Chladicí oběhy a tepelná čerpadla [online]. Brno, 2020 [cit. 2023-05-10]. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.

- [47] What's an Electric Car Heat Pump?. In: Otego [online]. 29.12.2022 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.otogo.ca/en/blog/maintenance-mechanic/what-s-an-electric-car-heat-pump>
- [48] 254 - Audi A4 2001 - Technology - Volkspage [online]. 16.12.2012, 80 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/view/6154952/254-audi-a4-2001-technology-volkspage>
- [49] ZDVOŘILÝ, Vítek. Doplnkový větrací systém kabiny vozu poháněný fotovoltaickým panelem. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2016, 83 stran.
- [50] Everything about the sonata hybrids solar roof. Hyundai [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/everything-about-the-sonata-hybrids-solar-roof/>
- [51] Hyundai Solar Roof [online]. In: . [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.autonationhyundaitempe.com/research/solar-roof.htm>
- [52] KAMPS, Haje Jan. Hyundai's solar car roof isn't as dumb as it sounds. Tech Crunch [online]. 23.3.2022 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://techcrunch.com/2022/03/23/hyundai-sonata-hybrid-roof/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAJgNLhTLWwkniRA3u3PfEVTC7bVH1tXTGCRpRGxgad-7G8q6aLKufKU-ZUZ5mg9J9MFOUIT4UWCJ95D4oZ2sIOhql4eYwnUsztqDvsnB4yo8Ih_-_jB2tZyWqiFZ_vcDng8Jif08a6iyyuSfp7dSf3F1IWV9AhErvx7QzIKaNywnN
- [53] Větší dosah: Tepelný pás ZF může pomoci zlepšit energetickou účinnost elektromobilů v chladném počasí [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://press.zf.com/press/cs/releases/release_49665.html
- [54] Využití Peltierova jevu. COPTel [online]. Kroměříž [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/page/view.php?id=6671>
- [55] Peltierův jev [online]. In: . [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- [56] Heated and Cooled Seat question [online]. In: . [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <http://67-72chevytrucks.com/vboard/showthread.php?t=747468>
- [57] ADD HEATING AND COOLING TO YOUR NEW LEATHER SEATS!. In: Katzkin [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://katzkin.com/degreez/>
- [58] TERMISTORY PTC. TME [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/katalog/termistory-ptc_113320/
- [59] *Součástky řízené neelektrickými veličinami* [online]. In: . [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zl/neelektricke.htm>

- [60] Jaké jsou výhody a nevýhody PTC ohříváčů?. JAYE HEATER [online]. 9.12.2022 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://cz.heater-technology.com/info/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-p-77850671.html>
- [61] PTC Heated Steering Wheel. SECO KOMOS [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: http://secokomos.com/eng/laboratory/hs_wheel.php
- [62] Zusammenarbeit mit IAV: Louissenthal beheizt das Auto per Folie [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.louisenthal.com/highlights/news/functional-foils-iaav>
- [63] IAV Global DE What moves us About us Software Systems & Connectivity Vehicle Development Future Powertrain Energy & Water & Agricultural Systems Tools Careers News & Events 554 Jobs IAV News E-Mobility New Heating Concept Increases Range and Enhances Comfort of Electric Vehicles New Heating Concept Increases Range and Enhances Comfort of Electric Vehicles [online]. 10.11.2020 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.iaav.com/en/news/neues-heizkonzept-erhoeht-reichweite-und-steigert-komfort-von-e-fahrzeugen/>
- [64] ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy [online]. 2020 [cit. 2023-05-10]. 1041-2336.
- [65] JANOTKOVÁ, Eva. POHODA PROSTŘEDÍ A TEPELNÁ POHODA [online]. Brno [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Mauder/files/Presentace-IVK-Pohoda_prostredi-Tepelna_pohoda.pdf
- [66] FIŠER, Jan. Metody hodnocení tepelného komfortu a jejich využití v experimentální a konstrukční praxi. 2021, 223 stran : barevné ilustrace.
- [67] FIŠER, Jan, Jan POKORNÝ, Barbora KOPEČKOVÁ, Ondřej PECH, Jan ŠÍP a Milan KOŽUŠNÍK. METODIKA PREDIKCE A HODNOCENÍ TEPELNÉHO MANAGEMENTU V KABINÁCH POZEMNÍCH VOZIDEL. 2020 [cit. 2023-05-10].
- [68] VIŠČOR, Petr a Jan FIŠER. Studie pasivního chlazení kabiny osobního automobilu. 2010.
- [69] Kona electric. Hyundai [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/cz/modely/kona-electric/technologie.html>
- [70] Škoda Superb iV Hnací soustava. Škoda-auto [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/superb/superb-iv/superb-iv-hnaci-soustava>
- [71] Superb iV. Škoda-auto [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/superb/superb-iv>
- [72] Enyaq iV. Škoda-auto [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv?gclid=CjwKCAjwscGjBhAXEiwAswQqNAeSEL2teCXqPj1qFcrGP_WSGIPwWXdd91uzn7R959L2FeJVaQT0uxoCkjEQAvD_BwE&gclid=aw.ds

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
2OH	Oxid vodíku
AC	Střídavé napětí
Cd	Kadmium
Cd(OH) ₂	Hydroxid kademnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
DC	Stejnoseměrné napětí
DKZ	Diagram komfortních zón
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
HVAC	Heating, ventilating, air-conditioning
iHVAC	Inovative systém for Heating, Ventilating and Air Conditioning Control
KOH	Hydroxid draselný
LiFePO ₄	Lithium – železo- fosfátový
MTV	Mean thermal vote
NEDC	New European Driving Cycle
Ni(OH) ₂	Hydroxid nikelnatý
NiCd	Nikl-kadmiový
NiMH	Nikl-metal-hydridový
NiOOH	Oxyhydroxid nikelnatý
NREL	National Renewable Energy Laboratory
Pb	Olovo
PbO ₂	Oxid Olovičitý
PbSO ₄	Síran olovnatý
PCM	Phase change material
PEMS	Portable Emission Measurement System
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
PTC	Positive Temperature Coefficient
RDE	Real Driving Emission
SO ₄	Síran
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure

Symbol		Popis
\dot{Q}_d	[W]	Tepelný tok odvedený pomocí dýchání
\dot{Q}_k	[W]	Tepelný tok odvedený pomocí konvekce
\dot{Q}_m	[W]	Metabolický tepelný tok
\dot{Q}_r	[W]	Tepelný tok odvedený pomocí radiací
\dot{Q}_v	[W]	Tepelný tok odvedený pomocí vypařování
\dot{Q}_{ved}	[W]	Tepelný tok odvedený pomocí vedení
\dot{m}	[kg/s]	Hmotnostní tok chladiva
h_{cal}	[-]	Součinitel přestupu tepla při kalibrování
P	[W]	Příkon
Q_k	[W]	Teplo odvedené kondenzátorem
Q_o	[W]	Chladicí výkon
q_o	[J/kg]	Měrný chladicí výkon
S	[m ²]	Plocha
T	[K]	Teplota
T_1	[K]	Teplota povrchu
t_{eq}	[°C]	Ekvivalentní teplota
T_s	[K]	Teplota tekutiny
t_w	[°C]	Povrchová teplota
α	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Součinitel přestupu tepla
ε	[-]	Emisivita
σ_0	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmanova konstanta
E_0	[W·m ⁻²]	Vlastní zářivost tělesa
Q	[W]	Tepelný tok
Q	[W]	Tepelný tok radiací
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti
∂T	[K]	Teplotní spád
∂x	[m]	Elementární změna



SEZNAM PŘÍLOH