

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Srovnání komfortních vlastností silničních vozidel se spalovacím
motorem a elektrickým pohonem

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Vaněk**
Osobní číslo: **D23456**
Studijní program: **N0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Stavba vozidel**
Téma práce: **Srovnání komfortních vlastností silničních vozidel se spalovacím motorem a elektrickým pohonem**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů**

Zásady pro vypracování

Práce se zaměří na hodnocení komfortu silničních vozidel, a to s ohledem na druh pohonu. Bude proveden rozbor konstrukčních odlišností mezi silničním vozidlem se spalovacím motorem a vozidlem s elektrickým pohonem. Dalším krokem bude rešerše postupů a norem, které hodnotí komfort z pohledu vibrací a hluku. V praktické části práce bude navržen experiment, který porovná dvě obdobná vozidla s rozdílným pohonem.

- Rešerše postupů a norem pro hodnocení komfortu.
- Analýza konstrukčních odlišností a parametrů obou druhů vozidel.
- Teoretické porovnání obou případů na vybraných vozidlech.
- Návrh experimentu a jeho realizace.
- Vyhodnocení naměřených dat a diskuze nad výsledky.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN ISO 5128 – Akustika – Měření vnitřního hluku vozidel
- [2] ZIKMUND, T.: *Testing of road vehicles: study material*. Pardubice: University of Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-759-9.
- [3] MATLAB Online. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html> [cit. 2025-01-02]
- [4] ČSN EN ISO 10326-1 – Vibrace – Laboratorní metoda hodnocení vibrací vozidlových sedadel – Část 1
- [5] *Electric Vehicle Database*. Online. 2025. Dostupné z: <https://ev-database.org>. [cit. 2025-01-02]

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Petr Tomek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. února 2025

Prohlašuji:

Tuto práci s názvem Srovnání komfortních vlastností silničních vozidel se spalovacím motorem a elektrickým pohonem jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

V Pardubicích dne: 09.05.2025

Jakub Vaněk v.r.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří se podíleli na tvorbě této diplomové práce. Zejména pak vedoucímu práce Ing. Jakubu Vágnerovi, Ph.D., dále Ing. Zdeňku Maškovi, Ph.D. za zapůjčení měřicí techniky pro potřeby experimentu a také vedoucímu prodeje ojetých vozů panu Lubomíru Sivákovi za zprostředkování druhého vozidla pro experiment.

Anotace

Tato práce je zaměřena na hodnocení komfortu silničních vozidel, s ohledem na druh pohonu. Dále je proveden rozbor konstrukčních odlišností mezi silničním vozidlem se spalovacím motorem a vozidlem s elektrickým pohonem. Dalším krokem je rešerše postupů a norem, které hodnotí komfort z pohledu vibrací a hluku. V praktické části práce je navržen experiment, který porovnává dvě obdobná vozidla s rozdílným pohonem.

Klíčová slova

Jízdní komfort, hodnocení komfortu, silniční vozidla, elektrická vozidla, vibrace, hluk

Title

Comparison of the Comfort Features of Road Vehicles with Internal Combustion Engines and Electric Drives.

Annotation

This thesis focuses on the evaluation of road vehicle comfort with regard to the type of propulsion. Furthermore, it provides an analysis of the structural differences between a road vehicle with an internal combustion engine and one with electric propulsion. The next step includes a review of methods and standards used to assess comfort in terms of vibrations and noise. In the practical part of the thesis, an experiment is designed to compare two similar vehicles with different types of propulsion.

Keywords

Driving comfort, comfort assessment, road vehicles, electric vehicles, vibrations, noise measurement

Obsah

Úvod, cíle práce	15
1. Jízdní komfort.....	16
1.1. <i>Aspekty jízdního komfortu.....</i>	<i>16</i>
1.1.1. Hluk.....	16
1.1.2. Vibrace	16
1.1.3. Pohodlí v interiéru	16
1.1.4. Kvalita odpružení a tlumení.....	16
1.1.5. Dynamika jízdy.....	16
1.1.6. Klimatický komfort.....	17
1.1.7. Psychologické aspekty	17
1.2. <i>Hodnocení jízdního komfortu</i>	<i>17</i>
1.3. <i>Hodnocení hluku.....</i>	<i>18</i>
1.3.1. Zvuk	18
1.3.2. Hluk.....	18
1.3.3. Akustický tlak	18
1.3.4. Hladina akustického tlaku.....	19
1.3.5. Váhové filtry	19
1.3.6. Zdroje hluku vozidel.....	20
1.3.7. Měření hluku	21
1.4. <i>Hodnocení vibrací.....</i>	<i>23</i>
1.4.1. Vibrace	23
1.4.2. Rezonance	25
1.4.3. Měření vibrací.....	26
1.4.4. Měření vibrací přenášené na ruce.....	26
1.4.5. Měření celkových vibrací	28
2. Analýza konstrukčních odlišností a parametrů vozidel	29
2.1. <i>Pohon a převodové ústrojí.....</i>	<i>29</i>
2.1.1. Princip funkce benzínového pístového spalovacího motoru.....	29
2.1.2. Princip funkce synchronního elektromotoru s permanentními magnety.....	30
2.1.3. Princip funkce asynchronního elektromotoru	31
2.2. <i>Koncepce automobilu se spalovacím motorem.....</i>	<i>32</i>
2.3. <i>Koncepce automobilu na elektrický pohon.....</i>	<i>35</i>
2.4. <i>Porovnávání vozidla</i>	<i>38</i>
2.4.1. Hyundai Kona 1.6 T-GDi.....	38
2.4.2. Hyundai Kona Electric 64 kWh.....	39
3. Teoretické porovnání obou případů vozidel	40
3.1. <i>Sestrojení trakčních diagramů.....</i>	<i>43</i>
3.2. <i>Porovnání teoretických průběhů zrychlení</i>	<i>44</i>
4. Návrh experimentu a jeho realizace	45
4.1. <i>Realizace Experimentu</i>	<i>45</i>
4.1.1. Scénáře měření.....	45

4.2.	<i>Měření hluku uvnitř kabiny vozidla</i>	47
4.2.1.	Návrh držáku mikrofonu	47
4.3.	<i>Měření vibrací</i>	50
4.3.1.	Rozložení hmotnosti vozidel	50
4.3.2.	Výpočet příčné a podélné souřadnice těžiště	54
4.3.3.	Reálné umístění měřícího zařízení	57
4.3.4.	Vlastní měření vibrací	57
5.	Vyhodnocení naměřených dat a diskuse nad výsledky	60
5.1.	<i>Souřadný systém</i>	60
5.2.	<i>Jízda po kvalitní rovné vozovce konstantní rychlostí</i>	61
5.2.1.	Posouzení hluku	61
5.3.	<i>Jízda přes zpomalovací práh (retardér)</i>	63
5.3.1.	Dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny	63
5.4.	<i>Jízda přes příčné prahy</i>	65
5.4.1.	Dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny	65
5.5.	<i>Jízda po nerovné vozovce konstantní rychlostí – „kostky“</i>	67
5.5.1.	Hlukové a vibrační vlastnosti vozidla	67
5.6.	<i>Akcelerace z 0 rychlosti a brždění, vodorovná vozovka</i>	69
5.6.1.	Porovnání velikosti podélného zrychlení působícího na posádku	69
5.6.2.	Hluk a vibrace spalovacího motoru oproti elektrickému motoru	72
5.6.3.	Hluk spalovacího motoru při stání za různých otáček	73
5.6.4.	Hodnocení hluku při akceleraci na rovině	74
5.7.	<i>Akcelerace do stoupání</i>	76
5.7.1.	Hluk a vibrace spalovacího motoru oproti elektrickému motoru	76
Závěr	77	
Použitá literatura	78	
Seznam příloh	81	

Seznam obrázků

obr. 1 - průběh statického tlaku ve vzduchu [1]	19
obr. 2 - charakteristiky váhových filtrů [1]	19
obr. 3 - schéma měřicího řetězce [13]	21
obr. 4 - měření hluku dle ČSN ISO 5128 [8].	22
obr. 5 - časový průběh harmonického kmitání [4]	23
obr. 6 - rezonanční křivky [7].....	25
obr. 7 - vibrace působící na řidiče v kabině vozidla (vlastní zpracování).....	26
obr. 8 - limitní hodnoty pro vibrace přenášené na ruce [3]	27
obr. 9 - Váhová funkce pro hodnocení vibračí přenášené na ruce [3].....	27
obr. 10 - limitní hodnoty pro celkové vibrace [3]	28
obr. 11 - princip benzínového pístového spalovacího motoru [23].....	29
obr. 12 - synchronní elektromotor s permanentními magnety [19].....	30
obr. 13 - asynchronní elektromotor [20]	31
obr. 14 - koncepce automobilu se spalovacím motorem [14]	32
obr. 15 - chladicí soustava PSM [27]	34
obr. 16 - koncepce automobilu na elektrický pohon [14]	35
obr. 17 - Hyundai Kona 1.6 T-GDi [25]	38
obr. 18 - Hyundai Kona Electric 64 kWh [26].....	39
obr. 19 - Trakční diagram pro ICE (nahore), pro EV (dole)	43
obr. 20 - Porovnání teoretických průběhů zrychlení (vlastní zpracování)	44
obr. 21 - PETG držák pohled 1 (vlastní zdroj).....	47
obr. 22 - PETG držák, pohled 2 (vlastní zdroj).....	48
obr. 23 - rozměry hliníkových trubek (vlastní zdroj)	48
obr. 24 - sestava držáku mikrofону (vlastní zdroj)	49
obr. 25 - umístění mikrofónu, zadní pohled (vlastní zdroj)	49
obr. 26 - umístění mikrofónu, přední pohled (vlastní zdroj).....	49
obr. 27 - Měřicí ústředna Kona EV (vlastní zdroj)	50
obr. 28 - Měřicí ústředna Kona ICE (vlastní zdroj)	50
obr. 29 - rozložení hmotností na kolech neobsazeného vozidla (vlastní zdroj)	51
obr. 30 - rozložení hmotností na kolech obsazeného vozidla (vlastní zdroj).....	52
obr. 31 - rozložení hmotnosti Kona EV v % (vlastní zdroj)	52
obr. 32 - Rozložení hmotnosti kona ICE v % (vlastní zdroj).....	53
obr. 33 - Schéma pro výpočet polohy těžiště (vlastní zdroj).....	55
obr. 34 - Reakce na PN (vlastní zpracování).....	55
obr. 35 - reakce na ZN (vlastní zpracování).....	55
obr. 36 - přesná příčná poloha těžiště [11]	56
obr. 37 - kalibrace snímače zrychlení (vlastní zdroj)	58
obr. 38 - kalibrace rychlosti otáčení okolo jednotlivých os (vlastní zdroj).....	59
obr. 39 - stanovený souřadný systém [29].....	60
obr. 40 - Leq – hluk – scénář 515/615, tam.....	61
obr. 41 - Leq – hluk – scénář 516/616, zpět.....	62
obr. 42 - Leq – hluk – scénář 501/600, zpět, tam	63
obr. 43 - rychlost a otáčky motoru vozidel.....	64
obr. 44 - Leq – hluk – scénář 502/602, zpět.....	65
obr. 45 - Leq – hluk – scénář 505/605, zpět.....	66

obr. 46 - Leq – hluk – scénář 506/606, tam.....	67
obr. 47 - Leq – hluk – scénář 507/607, zpět.....	68
obr. 48 - 305/405 - RMS zrychlení	69
obr. 49 - 305/405 - Acc X	70
obr. 50 - 308/408 - RMS zrychlení	71
obr. 51 - 308/408 - Acc X	71
obr. 52 - 304/404 - RMS stání.....	72
obr. 53 - Kona ICE – otáčky motoru (volnoběh – 1000 – 2000 – 3000 – 4000 ot./min).....	73
obr. 54 - Leq - 509/609 akcelerace.....	74
obr. 55 - Leq - 511/611 akcelerace.....	75
obr. 56 - Leq - 514/614 akcelerace.....	76

Seznam tabulek

tab. 1 - parametry Hyundai Kona 1.6 T-GDi [24].....	38
tab. 2 - parametry Hyundai Electric 64 kWh [24].....	39
tab. 3 - rozložení hmotnosti na jednotlivých kolech Kona EV (vlastní zdroj).....	51
tab. 4 - rozložení hmotnosti na jednotlivých kolech Kona ICE (vlastní zdroj).....	51
tab. 5 - Poloha těžiště Hyundai Kona EV (vlastní zpracování).....	56
tab. 6 - Poloha těžiště Hyundai Kona ICE (vlastní zpracování).....	56
tab. 7 - zrychlení v jednotlivých osách (vlastní zdroj)	58
tab. 8 - rotace okolo jednotlivých os (vlastní zdroj).....	59

Seznam zkratk

EV	Electric vehicle (elektrické vozidlo)
ICE	Internal Combustion Engine (vozidlo se spalovacím motorem)
PN	Přední náprava
ZN	Zadní náprava
AC	Alternative Current (střídavý proud)
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
HV	High voltage (vysoké napětí)
LP	Levé přední kolo
PP	Pravé přední kolo
LZ	Levé zadní kolo
PZ	Pravé zadní kolo
CVT	Continuously Variable Transmission (převodovka s plynule měnitelným převodem)
SUV	Sport Utility Vehicle (sportovně-užitkové vozidlo)
BMS	Battery Management System (systém správy baterie)
VCU	Vehicle Control Unit (řídící jednotka vozidla)
PTC	Positive Temperature Coefficient (kladný teplotní koeficient)
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol (glykolový polyethylentereftalát)
RMS	Root Mean Square (střední kvadratická hodnota)
PSM	Pístový spalovací motor

Úvod, cíle práce

V současné době se automobilový průmysl nachází v dynamické fázi vývoje, kterou pohání nejen technologický pokrok, ale i požadavky na udržitelnost, bezpečnost a komfort cestování. Na trhu existuje široké spektrum silničních vozidel, od klasických automobilů se spalovacím motorem až po moderní elektromobily. S narůstajícím podílem vozidel na elektrický pohon se stále více otevírá otázka jejich celkového uživatelského komfortu ve srovnání s tradičními vozy. Kromě environmentálních výhod hraje komfort při jízdě významnou roli při rozhodování zákazníků o volbě konkrétního typu pohonu.

Moderní silniční vozidla jsou vybavena řadou prvků, které zvyšují jak aktivní a pasivní bezpečnost, tak samotný jízdní komfort. Patří mezi ně například adaptivní tempomat, vyhřívaná a odvětrávaná sedadla, systémy pro udržení vozidla v jízdním pruhu či pokročilé asistenční systémy až po plně automatizované řízení. Komfort však nelze vnímat pouze skrze přítomnost těchto technologií, ale je třeba jej chápat komplexně – jako souhrn fyzikálních, ergonomických a subjektivně vnímaných vlastností, které ovlivňují celkový zážitek z jízdy.

Tato diplomová práce se zaměřuje na porovnání jízdního komfortu mezi vozidly se spalovacím motorem a vozidly na elektrický pohon. V úvodní části je rozebrán pojem komfortu silničního vozidla a provedena rešerše metodik, které slouží k jeho hodnocení – se zvláštním důrazem na měření hluku, vibrací a silových účinků působících na cestujícího. Druhá část práce se věnuje teoretickému rozboru parametrů obou typů pohonů a jejich vlivu na komfort jízdy. Je zde podrobně analyzována konstrukční odlišnost spalovacích a elektrických vozidel z hlediska hladiny hluku, plynulosti jízdy, přenosu vibrací a dalších faktorů.

Ve třetí části následuje teoretické porovnání konkrétních modelů vozidel na základě dostupných údajů a technických specifikací. Čtvrtá část se soustředí na návrh a realizaci experimentálního měření – specifikuje výběr sledovaných veličin, jejich měřicí metody, technické vybavení a důvody výběru právě těchto parametrů. V závěrečné části práce jsou naměřená data vyhodnocena a interpretována s cílem komplexně porovnat komfort obou typů vozidel a formulovat závěry, které mohou být přínosem pro odbornou veřejnost i pro budoucí vývoj v automobilovém průmyslu.

1. Jízdní komfort

Jedná se o komplexní pojem, který zahrnuje mnoho aspektů spojených s fyzickým i psychologickým vnímáním pohodlí během jízdy ve vozidle. Zahrnuje jak objektivní (měřitelné) vlastnosti vozidla, tak subjektivní pohledy cestujících. Tento pojem je klíčový pro uživatelskou zkušenost a často rozhoduje o spokojenosti řidičů i pasažérů kteří cestují daným typem vozidla.

1.1.Aspekty jízdního komfortu

1.1.1. Hluk

Hluk motoru, aerodynamický hluk a hluk od pneumatik hrají zásadní roli. Elektrická vozidla mají většinou tišší chod díky absenci spalovacího motoru, ale jsou citlivější na aerodynamický hluk nebo na hluk od podvozkových částí vozidla. Nesmíme také zapomenout na hluk od odvalujících se kol neboli hluk od pneumatik. Dále je potřeba si uvědomit že při používání klimatizace nebo topení ve vozidle vzniká také hluk od ventilátoru, který při vysoké intenzitě produkuje nezanedbatelné množství hluku. Při vyšších rychlostech se pak nezanedbatelně projevuje aerodynamický hluk. [31, 32]

1.1.2. Vibrace

Vibrace přenášené do kabiny (například přes podvozkové části, sedadla, volant nebo pedály) mohou zneprzyjemňovat celkový komfort ve vozidle. Tyto vibrace se liší v závislosti na druhu pohonu (benzín, nafta, elektro, jednoválcové provedení, víceválcové provedení motoru), typu podvozku (víceprvkový, výkyvný, tuhý, tuhostně stavitelný, výškově stavitelný), druhu nebo tvaru karoserie (sedan, kombi, kabriolet, SUV, VAN), kvalitě odpružení (pneumatické, hydropneumatické, pružinové, listové) nebo také záleží na typu spojky a převodovky (manuální, automatická, hydrodynamický měnič, dvouspojková převodovka, CVT), kterou je vozidlo vybaveno. [31, 32]

1.1.3. Pohodlí v interiéru

Do pohodlí interiéru spadá například ergonomie sedadel, kvalita a druh použitých materiálů v interiéru (kůže, alcantara, běžná látka), prostor pro nohy a hlavu, celkové uspořádání kabiny, prostoru sedadel a také třeba oddělení zavazadlového prostoru od prostoru pro posádku (hluk nebo vibrace od zavazadel).

1.1.4. Kvalita odpružení a tlumení

Odpružení a tlumení hraje velkou roli v jízdním komfortu vozidla. Schopnost podvozku pohlcovat nerovnosti terénu a minimalizovat přenos nerovností do kabiny. Zde hraje důležitou roli konstrukční řešení podvozku i použitá technologie tlumičů. Existuje několik druhů vypružení a tlumení (pneumatické, hydropneumatické, pryžové, vinuté pružinové, listová pera) a je třeba zvolit tyto komponenty tak, aby vyhovovaly danému používání. [31, 32]

1.1.5. Dynamika jízdy

Hladkost akcelerace, přesnost řízení, stabilita ve směrovém oblouku nebo i reakce vozidla na změnu rychlosti a směru pohybu jsou aspekty již opět souvisí například s podvozkovými díly, odpružením nebo také asistenční systémy, které jsou dnes nedílnou součástí bezpečnostní výbavy automobilů. Mezi prvky komfortu lze dnes považovat i prvky autonomního řízení, které již v úrovni L1 snižují únavu řidiče a v úrovni L5 ho osvobozují od samotného řízení. [16]

1.1.6. Klimatický komfort

Z hlediska klimatického komfortu je důležitá regulace teploty v kabině vozidla (topení, klimatizace). S regulací také souvisí rychlost dosažení požadované teploty ať se jedná o oteplení nebo ochlazení. Klimatický komfort je pro člověka jedním z nejvíce vnímaných aspektů komfortu. Dále sem také spadá vyhřívání/odvětrávání sedadel nebo dokonce vyhřívání volantu, které je v dnešní moderní době nedílnou součástí komfortní výbavy mnoha vozidel. [31, 32]

1.1.7. Psychologické aspekty

Psychologické aspekty zahrnují subjektivní vnímání komfortu během jízdy. Může jít například o pocity klidu, pohody nebo naopak stresu v závislosti na prostředí a vlastnostech vozidla. Například ticho v kabině elektrického vozu při nižších rychlostech může přispívat k relaxaci, zatímco některým osobám může chybět zvukový projev spalovacího motoru nebo případně sportovní zvuk výfuku.

1.2. Hodnocení jízdního komfortu

Hodnocení jízdního komfortu je složitý proces, který kombinuje objektivní měření a subjektivní hodnocení. Objektivní metody zahrnují měření hluku, analýzu, sledování přetížení a sledování kvality odpružení při jízdě na nerovném povrchu (pomocí akcelerometrů). Klimatický komfort lze hodnotit měřením efektivity topení či klimatizace v časovém spektru, nebo také například měřením efektivity výhřevu sedadel či volantu. Subjektivní přístupy se zaměřují na hodnocení pocitů uživatelů, například prostřednictvím dotazníků a škálování, kdy testovací řidiči a cestující hodnotí různé parametry komfortu na základě svých zkušeností. Tyto subjektivní metody mohou zahrnovat i přímé srovnání dvou vozidel za stejných podmínek, například elektrického a spalovacího, na různých typech povrchu (hladký asfalt, dlažba, šterk, kostky, přejezd nerovnosti). Tomuto porovnání se budu věnovat v této diplomové práci.

Jízdní komfort je rovněž ovlivněn technologiemi, jako jsou asistenční systémy (např. adaptivní tempomat, asistence udržování v jízdním pruhu, sledování mrtvého úhlu nebo automatická dálková světla), aerodynamikou vozidla, jeho tvarem a typem karoserie a kvalitou pneumatik, které mohou pozitivně či negativně ovlivnit hluk a stabilitu jízdy. Hmotnost a její rozložení jsou dalšími faktory, které hrají roli, zvláště u elektrických vozidel, kde trakční akumulátor bývá ve většině elektrických vozidel uložený v podlaze vozidla. Přispívá tím ke snížení těžiště vozidla a zlepšení jeho stability například ve směrovém oblouku.

Celkově lze říct, že jízdní komfort zahrnuje širokou škálu technických i psychologických aspektů, jejichž hodnocení vyžaduje pečlivou analýzu. Kombinace objektivních dat a subjektivního hodnocení umožňuje získat ucelený pohled na kvalitu jízdy a identifikovat oblasti, kde je možné komfort dále zlepšovat. Tento přístup je klíčový pro porovnání různých typů vozidel, například vozidel se spalovacím motorem a elektrických vozidel, tak i pro vývoj inovací, které přispějí k lepší uživatelské zkušenosti. [31, 32]

Z celkového hodnocení komfortu jsou nejdůležitější nebo nejvíce výrazné hlavně dva parametry, a to hluk a vibrace. Od těchto dvou parametrů se odvíjejí i všechny ostatní parametry, a proto se v následující části zaměřuji na hodnocení komfortu právě těchto dvou parametrů.

Hluk a vibrace jsou základním projevem u dopravních prostředků a v dnešní době jsou důležitými faktory komfortu, protože je nelze v plné míře odstranit, ale pouze redukovat na přijatelnou hodnotu. Při běžném provozu automobilu by měly být vibrace a hluk dostatečně utlumeny, aby nerušily a jiným způsobem neovlivňovaly posádku.

1.3. Hodnocení hluku

1.3.1. Zvuk

Zvuk je mechanické kmitání pružného prostředí o frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 Hz, které se šíří konečnou rychlostí určitým prostředím. Lze jej poměrně velmi přesně fyzikálně popsat a měřit jeho vlastnosti, a to jak u zdrojů (emise) nebo pokud se šíří prostředím, tak u posluchače (imise). Technická akustika, se zabývá zvukem s frekvenčním rozsahem, který odpovídá kmitočtovému rozsahu lidského ucha. Podle rozsahu frekvence hovoříme o třech pásmech: o infrazvuku, slyšitelném pásmu a ultrazvuku. [1]

1.3.2. Hluk

Hlukem můžeme označit každý nežádoucí zvuk. Z lékařského hlediska lze považovat hluk za zvuk, který má účinky přímo na správnou činnost sluchového orgánu, nebo jeho prostřednictvím škodlivě působí na člověka. Z právního hlediska lze hluk definovat podle § 30 odstavce 2 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů následovně: „Hlukem se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož imisní hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis. [1]

1.3.3. Akustický tlak

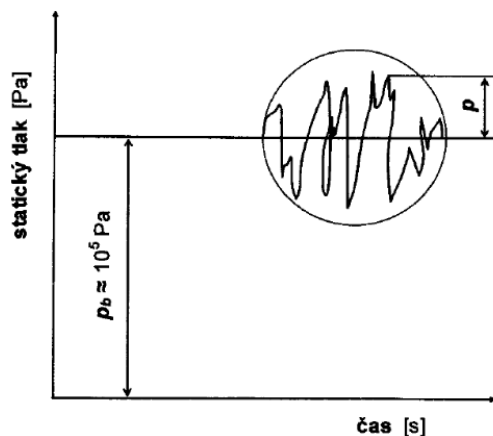
Při šíření vlnění vznikají místa, kde dochází ke shluku většího počtu kmitajících bodů (přetlak) a naopak také místa, kde je menší hustota molekul (podtlak). Z toho plyne, že celkový tlak v daném prostředí při šíření vlnění kolísá okolo původního statického nebo barometrického tlaku v ovzduší. Celkový statický tlak je dán součtem středního barometrického tlaku p_b a tlaku akustického p . Matematicky lze akustický tlak při vlnění o frekvenci f a fázovém posuvu φ zapsat ve tvaru:

$$p_c = p_b + p(t) [Pa] \quad (1)$$

Kde

$$p(t) = p_o \cdot \cos(2\pi f t + \varphi) [Pa] \quad (2)$$

Kde: $p_o [Pa]$ – amplituda akustického tlaku [1]



obr. 1 - průběh statického tlaku ve vzduchu [1]

1.3.4. Hladina akustického tlaku

Výpočet hladiny akustického tlaku se provádí podle následujícího logaritmického vztahu:

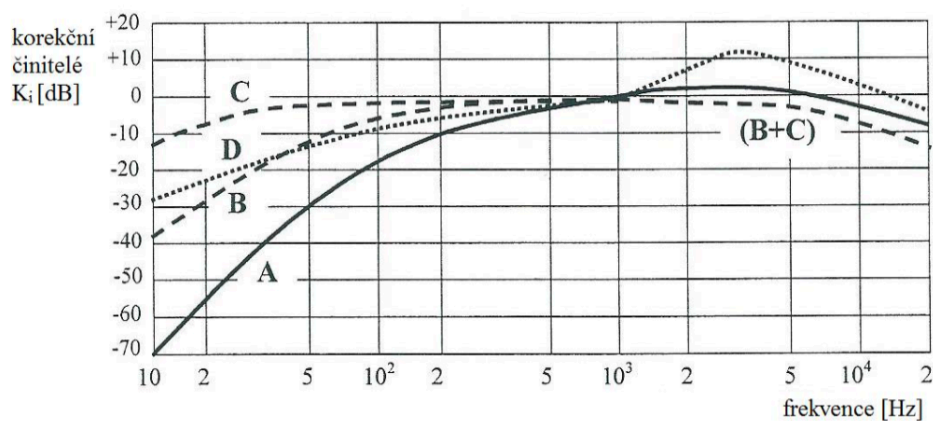
$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]} \quad (3)$$

Kde: p [Pa] – sledovaný akustický tlak,

p_0 [Pa] – referenční akustický tlak

1.3.5. Váhové filtry

Referenční akustický tlak $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, odpovídá na decibelové stupnici hodnotě 0 dB. Lidský sluch má odlišnou citlivost na různých kmitočtech. Proto dochází ke zkreslení vnímaného zvuku. Z tohoto důvodu byly etablovány váhové filtry, u kterých jsou zavedeny tzv. korekce. Tyto filtry jsou zařazeny do elektronických zvukoměrných zařízení, jejichž citlivost se podobá kmitočtové závislosti lidského ucha. Váhových filtrů existuje několik typů, ale nejpoužívanější je váhový filtr typu A. Hladina akustického tlaku frekvenčně vážená filtrem A se značí L_{pA} [dB(A)]. [1]



obr. 2 - charakteristiky váhových filtrů [1]

1.3.6. Zdroje hluku vozidel

Při hodnocení hlukové části komfortu silničních vozidel je důležité si uvědomit, jaké jsou vlastně zdroje hluku, které ovlivňují celkový komfort při jízdě silničním vozidlem.

- **Motor**

Nejvýznamnějším zdrojem hluku u silničních vozidel vybavených spalovacím motorem je samotný motor, který při své činnosti – přeměně tepelné energie vzniklé spalováním paliva na mechanickou práci – generuje značné množství akustické energie. Intenzita hluku se přitom výrazně liší v závislosti na konstrukci a typu použitého motoru. Za nejhlučnější jsou obecně považovány vznětové motory, a to zejména z důvodu vysokých tlaků, které se vyskytují během kompresní fáze jejich pracovního cyklu. Tyto tlaky jsou podstatně vyšší než u zážehových motorů, což vede ke zvýšené hlučnosti. K významnému akustickému zatížení dochází rovněž v průběhu expanze, kdy dochází k výbuchu směsi paliva a vzduchu – tato fáze přispívá k intenzivnímu šíření hluku u obou typů spalovacích motorů. Další nemalou část hluku generuje samotný mechanický chod motoru. V motorovém prostoru se nachází řada pohyblivých komponentů, jako jsou písty, ventily, klikový hřídel či ložiska, které vykonávají opakované a velmi rychlé pohyby. Vzájemné interakce těchto částí, včetně rázů a vibrací, vytvářejí sekundární mechanický hluk, jenž se šíří karoserií i okolním prostředím. [2]

Spalovací motor tak představuje komplexní akustický systém, jehož chod je jedním z hlavních zdrojů hluku produkovaného silničními vozidly. Jeho hlučnost ovlivňuje nejen vnímání komfortu, ale i celkovou hlukovou zátěž prostředí, zejména v městských a příměstských oblastech. [2]

- **Převodovka**

V další řadě je na vině hlukových emisí i převodovka. Převodovka za pomoci ozubených kol maximalizuje využití energie vydané motorem a změnou převodu zlepšuje chod vozu. Během jízdy vznikají vibrace mezi navzájem uloženými a otáčejícími se ozubenými koly, které jsou původem zmíněného hluku. Podobně jako u pneumatik je za běžných okolností jejich hluk přehlušen hlasitějšími zdroji hluku. Často však nastávají situace, především u změny rychlostního převodu, kdy je možné při nedokonalém zapadnutí zubů na ozubených kolech do sebe uslyšet typický zvuk kovových součástí narážejících do sebe. Toto je ovšem případ pouze pro manuální převodovky. U automatických převodovek je chod mnohem méně hlučný a plynulejší vlivem řízení převodových poměrů pomocí mechatroniky převodovky. [2]

- **Výfukový systém**

Do výfukového systému, jenž se běžně nachází ve spodní části vozidla, proudí zplodiny vzniklé při spalování paliva v motoru. Během čtvrté fáze čtyřdobého motoru, známé jako výfuk, jsou zplodiny z pístu pod tlakem vehnány do výfukového potrubí. Jakmile tyto zplodiny opouští ústí výfuku, jejich molekuly pod vysokým tlakem naráží na nízkotlaké molekuly vzduchu a vytváří zvukovou vlnu. Ta vytváří typický „hluk“ automobilu. Tento typický hluk opět souvisí s daným typem motoru a jeho zvukovém projevu. Nejhlučnější výfukové systémy mívají sportovní vozidla. V dnešní době ale vlivem k přístupu k životnímu prostředí jsou výfukové systémy opatřeny tlumiči, katalyzátory a filtry pevných částic, které hluk z výfuku razantně snižují. [2]

- **Pneumatiky**

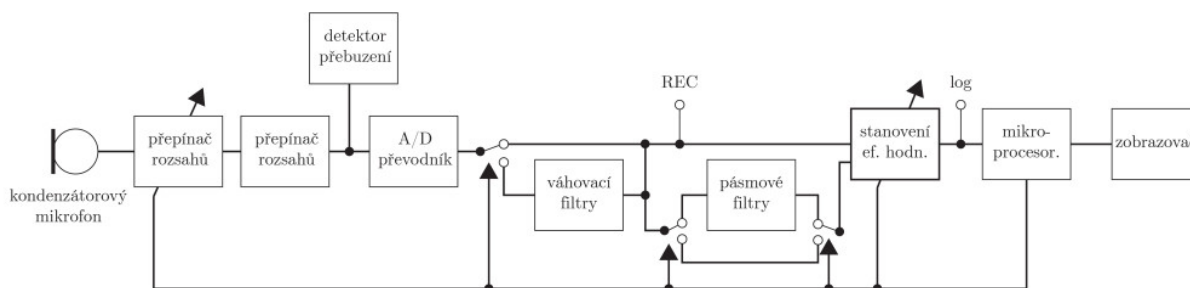
Pneumatiky se rovněž podílí nemalým dílem na tvorbě hluku způsobeného automobilem. Při jízdě vozidla dochází k odvalování pneumatik po vozovce. Kontakt pneumatiky s vozovkou, při kterém dochází k adhezi způsobuje vznik zvukové vlny, které mohou být slyšitelné jak z venku, tak uvnitř vozidla. Hluk od pneumatik je ovšem logicky závislý na typu pneumatiky (letní/zimní), tvrdosti směsi a celkovém konstrukčním uspořádání. Je také ale závislý na daném typu povrchu, po kterém se pneumatika odvaluje [2].

- **Další zdroje**

Zdrojů hluku je ve vozidle nespočet. Ty nejhlavnější již byly vyjmenovány. Jako další zdroj hluku může být například chladicí soustava, kde můžeme občas zaznamenat hluk od ventilátoru chladiče nebo také hluk od různých podvozkových částí či servořízení. Zdrojů hluku je u silničních vozidel opravdu mnoho, ovšem velmi záleží na daném typu vozidla. Většina zmíněných zdrojů hluku se týká hlavně vozidel se spalovacími motory. Pokud se zaměříme na vozidla elektrická či hybridní, množství hluku, které tato vozidla produkují je razantně nižší. U těchto typů vozidel dokonce bývá problém s tím, že jsou na silnici velmi slyšet, a proto někteří výrobci tato vozidla vybavují z důvodu bezpečnosti umělými zvuky motorů a různými dalšími elektrickými zvuky [2].

1.3.7. Měření hluku

Jednou z nejzákladnějších metod měření hluku je stanovení hladiny akustického tlaku, která není závislá na frekvenci. K měření akustického tlaku se využívají mikrofony, jež tvoří klíčovou součást všech zvukoměrů. Zvukoměr se skládá z mikrofону, který převádí zvukové vlny dopadající na jeho membránu na elektrický signál. Tento signál je následně zesílen v předzesilovači. Za ním následují váhové filtry, které mohou být nahrazeny oktávovými nebo třetinooktávovými propustmi. Po dalším zesílení putuje signál do detektoru efektivní hodnoty, k němuž je připojeno indikační zařízení. Upravený signál lze navíc přivést na výstup, ke kterému je možné připojit další zařízení. Na obr. 3 lze vidět měřicí řetězec pro měření hluku [1].

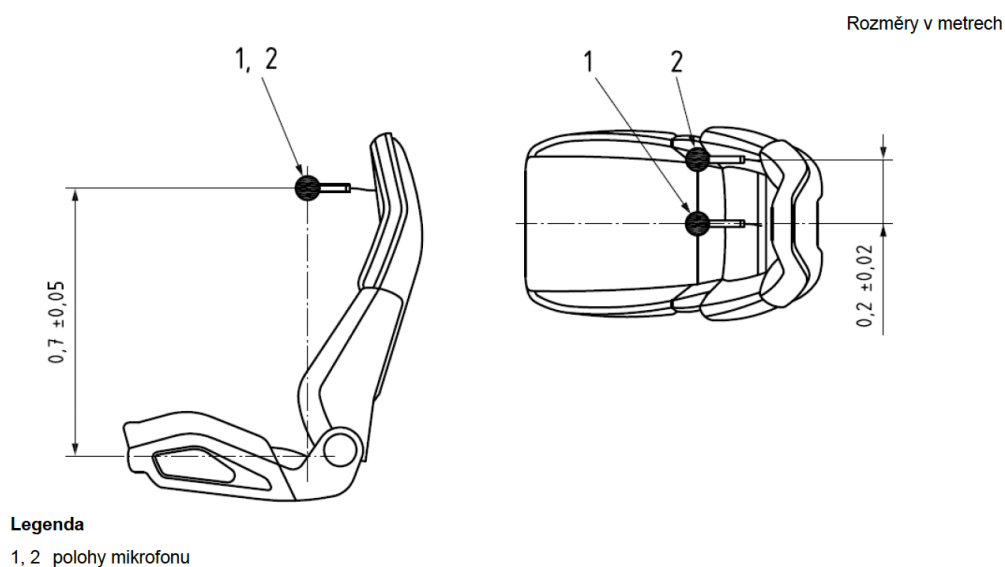


obr. 3 - schéma měřicího řetězce [13]

Existují dva typy měření hluku vozidel. Měření hluku uvnitř vozidla a měření hluku zvenčí. Pro měření hluku uvnitř vozidla slouží norma ČSN ISO 5128. Přičemž měření vnitřního hluku je dle normy rozděleno do více kategorií. Nabízí se měření s jedním mikrofonem nebo měření s více mikrofony. Dále je možnost provádět měření buď s osobou, která sedí na sedadle řidiče, ke kterému je připevněn mikrofon anebo druhá možnost bez osoby na měřeném sedadle.

Zvuk uvnitř kabiny vozidla se může měnit podle polohy mikrofonu. Měřící body by proto měly být vybrány v dostatečném počtu a takovým způsobem, aby rozložení zvuku v kabině bylo adekvátně reprezentováno s ohledem na místa uší řidiče a pasažérů.

Aby měření bylo relevantní, uvádí norma přímo přesnou polohu, ve které se musí mikrofon při měření nacházet. Přesná poloha mikrofonu je znázorněna na obr. 4. [8].



obr. 4 - měření hluku dle ČSN ISO 5128 [8].

Pokud se při měření nachází osoba na sedadle, ke kterému je mikrofon připevněn, musí být poloha mikrofonu 0,2 m od podélné osy sedadla. Na obr.3 se jedná o polohu č.2. Dalším pravidlem je, že musí být mikrofon umístěn 0,7 m vysoko od průsečíku os vodorovného a svislého sedáku sedadla. V poslední řadě musí být mikrofon umístěn přibližně v poloze, kde se nachází ucho řidiče vozidla, aby měření hluku mikrofonem odpovídalo vnímání hluku člověka řídícího vozidlo. [8]

Měření hluku je dále realizováno pro různé provozní podmínky:

- Akcelerace
- Ustálená rychlost
- Zpomalení
- Stání

V každé kategorii jsou stanoveny dané parametry, které se musí ve všech typech provozních podmínek splňovat. Jedná se o parametry stanovených hranic rychlostí vozidla, nastavení otáček motoru, režimu převodovky, povětrnostních podmínek atd...

Výsledky měření za daných provozních podmínek jsou následně integrovány do konečné hladiny akustického tlaku pro průměrnou expozici při typickém použití vozidla.

V další kategorii se při měření hluku měří hluk vozidla zvenčí. Tímto typem měření se zabývá norma ČSN ISO 362-1. Jedná se o měření hluku, které je zaměřeno na různé provozní podmínky vozidla zvenčí. Vozidlo projíždí stanovenou měřicí oblastí konstantní rychlostí nebo s danou akcelerací. Následně je měřena hodnota akustického tlaku, která se dále vyhodnocuje. Z hlediska zaměření se na hodnocení komfortu vozidla není tento typ měření hluku relevantní a důležitý, a proto se tímto typem měření hluku již dále v této práci nezabývám. [9]

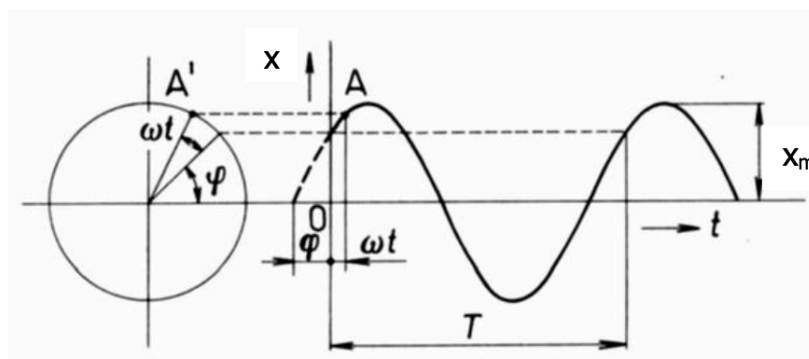
1.4. Hodnocení vibrací

Při hodnocení komfortu z hlediska vibrací je důležité si nejdříve vysvětlit co to jsou vibrace, jak vznikají a jaké mohou být jejich zdroje.

1.4.1. Vibrace

Pod pojmem vibrace chápeme kmitání (oscilace) mechanické soustavy. Jednoduché kmitání se definuje amplitudou a frekvencí. Podle názvoslovné normy ČSN ISO 2041 vibrace představují pohyb pružného tělesa nebo prostředí, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy. [4]

Příčinou vibrací je kmitání, které je vyvoláno v pružném prostředí mechanických soustav nebo konstrukcí vnitřní nebo vnější dynamickou silou. Jestliže jsou částice uvedeny do mechanického kmitání, je tento rozruch předáván pružnými vazbami i sousedícím částicím. Pravidelným periodickým vychýlením částice z klidové polohy je vyvoláno tzv. harmonické kmitání, kde okamžité hodnoty výchylky odpovídají v časovém rozložení průběhu sinusové funkce. Výchylka osciluje kolem své rovnovážné polohy a je dána nejen velikostí, ale je určena i směrem, jedná se tedy o vektorovou veličinu. [4]



obr. 5 - časový průběh harmonického kmitání [4]

Doba kmitu (perioda) T [s] je určena jako čas mezi dvěma sousedními kladnými maximálními výchylkami. Touto hodnotou je také dán úhlový kmitočet ω [s⁻¹] a samotný kmitočet f [s⁻¹] (počet celých kmitů za sekundu) harmonického děje. Pokud není v čase $t = 0$ výchylka $x = 0$ říkáme, že periodický děj má počáteční fázový úhel ϕ [rad]. Značíme-li čas t [s], jsou tyto veličiny vázány vztahy (4), (5) a (6). [4, 5, 6]

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (5)$$

$$x = x_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \text{ [m]} \quad (6)$$

Výraz $(\omega \cdot t + \varphi)$ se nazývá fáze harmonicky proměnné veličiny. Probíhají-li dva děje se shodným kmitočtem f , ale mají různé fázové úhly ϕ_1 a ϕ_2 , označujeme rozdíl $\phi_1 - \phi_2$ jako tzv. fázový posun [rad]. Pohyb částice lze vedle výchylky popsat také rychlostí \dot{x} [m.s⁻¹] nebo jejím zrychlením \ddot{x} [m.s⁻²]. Pro okamžitou rychlost platí následující vztah (7). [4, 5, 6]

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot x_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) = \dot{x}_{max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (7)$$

z kterého vyplývá, že fáze rychlosti kmitání je proti fázi výchylky posunuta o $\pi/2$ [rad] = 90°. Pro jednoduchý harmonický signál dále platí vztah (8). [4, 5, 6]

$$\dot{x} = j \cdot \omega \cdot x = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot x \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (8)$$

kde j je imaginární jednotka.

Okamžité zrychlení je dáno časovou změnou rychlosti a odvozeně druhou derivací okamžité výchylky podle času, tedy:

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega \cdot x_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = \ddot{x}_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (9)$$

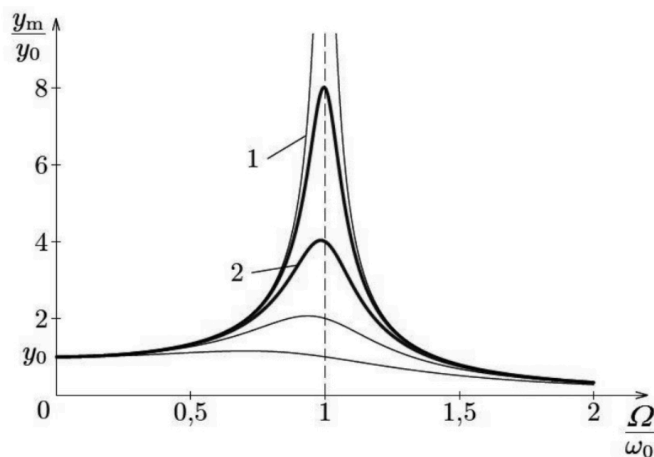
Fáze zrychlení je proti fázi rychlosti posunuta o dalších 90° a proti fázi výchylce o 180°, tzn. že je s ní v protifázi. Podobně jako u rychlosti platí:

$$\ddot{x} = j \cdot \omega \cdot \dot{x} = -\omega^2 \cdot x \quad a \quad \dot{x} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot \ddot{x}} = j \cdot \omega \cdot x \quad (10)$$

Je třeba zmínit, že výsledné signály nejsou vždy harmonické ale spíše náhodné. Tyto náhodné signály lze ale rozložit na harmonické například pomocí Fourierovi řady. [4, 5, 6]

1.4.2. Rezonance

Rezonance představuje specifický fyzikální jev, který nastává při působení vnější harmonické síly na systém v určitých frekvencích. Charakteristickým rysem tohoto jevu je maximální amplituda kmitání, která je důsledkem efektivního ukládání energie v systému. Grafické znázornění rezonančních křivek viz obr. 6. ukazuje závislost poměru výchylky ku buzení na frekvenci, a to pro různé úrovně tlumení. Platí přímá úměra: čím vyšší je míra tlumení v systému, tím méně výrazný (plošší) je průběh rezonanční křivky. Na obrázku jsou vyobrazeny dvě křivky reprezentující menší (1) a větší (2) stupeň tlumení, přičemž křivka s větším tlumením vykazuje plošší průběh. [7]

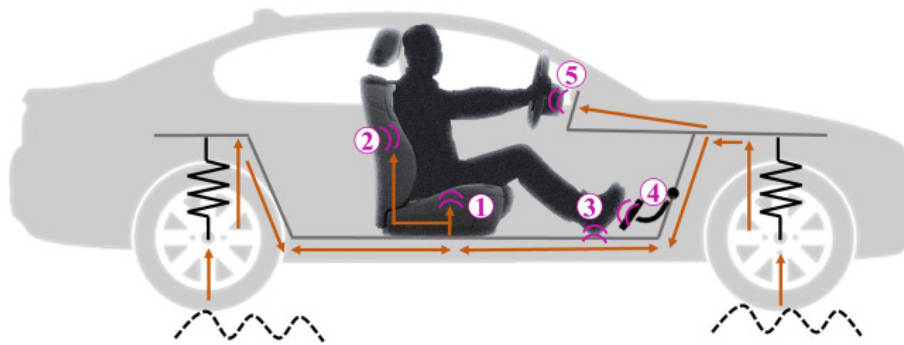


obr. 6 - rezonanční křivky [7]

U složitých mechanických systémů, jako je například automobil, se může vyskytovat více rezonančních frekvencí. Zatímco v některých technických aplikacích může být rezonance záměrně využívána, v oblasti automobilového inženýrství představuje zpravidla nežádoucí jev, který se snažíme eliminovat. Potlačení rezonancí lze dosáhnout buď úpravou vlastní rezonanční frekvence systému, nebo změnou charakteristik tlumicího ústrojí vozidla. [7]

Na obr. 7 lze vidět jak se vibrace, které vznikají jízdou vozidla po vozovce přenášejí od vozovky, postupně přes jednotlivé mechanické části vozu do kabiny na řidiče a posádku.

- 1) Přenos vibrací na posádku od vozovky přes kola, podvozek, karoserii a spodní sedák sedadla
- 2) Přenos vibrací na posádku od vozovky přes kola, podvozek, karoserii a opěrný sedák sedadla
- 3) Přenos vibrací od kol, přes podvozek a karoserii (podlahu) vozidla
- 4) Přenos vibrací od pohonného a brzdného ústrojí vozidla (motor, spojka, převodovka, brzdová soustava) přes ovládací pedály vozidla
- 5) Přenos vibrací od kol, přední nápravy přes převodku řízení až na samotný volant vozidla



obr. 7 - vibrace působící na řidiče v kabině vozidla (vlastní zpracování)

Všechny tyto vibrace, které působí na řidiče a posádku ve vozidle ovlivňují jízdní komfort. Vozidla jsou proto v dnešní době vyráběna tak, aby přenos vibrací na cestující byl co nejmenší.

1.4.3. Měření vibrací

Přestože můžeme vibrace v osobním vozidle detekovat na mnoha místech, z pohledu hygienických standardů jsou podstatné pouze oblasti, kde dochází k přímému působení vibrací na lidský organismus. Proto se měřicí body umísťují na následující místa:

- volant,
- volič řazení (řadící páka),
- pedály (spojkový, akcelerační, brzdový),
- sedadlo řidiče.

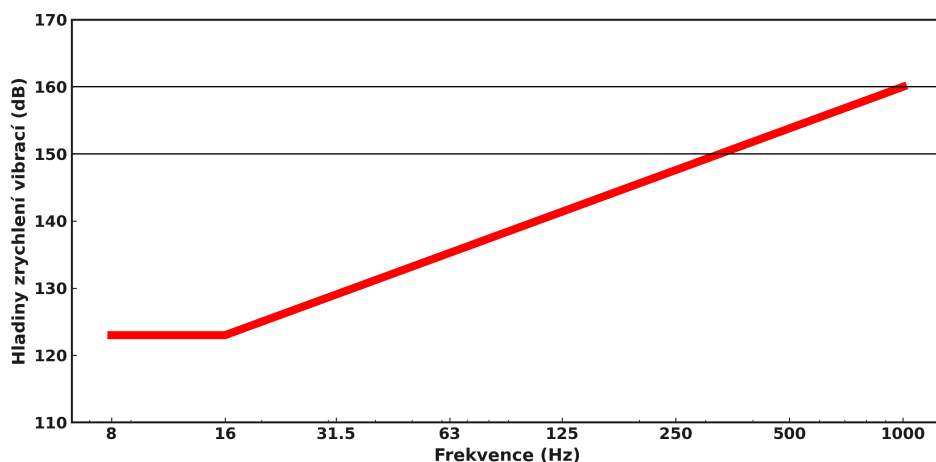
Při hodnocení rozlišujeme dva typy vibrací podle jejich působení na člověka: vibrace přenášené na horní končetiny (měřené na volantu, řadící páce a pedálech) a celkové vibrace působící na tělo (měřené na sedadle řidiče). Vznik vibrací v automobilu má několik původců. Mezi hlavní patří činnost pohonné jednotky, provoz pomocných agregátů jako je topení, kompresor klimatizace a také hlavně kontakt s nerovným povrchem vozovky. Je třeba zmínit, že i mezi původce vibrací patří také drobné akční členy jako elektronická ruční brda nebo servo klapky uvnitř topení. Tyto vibrace se následně rozšiřují různými přenosovými trasami do celé konstrukce vozidla. Proto je nezbytné provádět měření a analýzu přenosových vlastností zejména u zdrojů vibrací na následujících vibroizolačních částech vozidla:

- pružné uložení pohonné jednotky,
- pružné komponenty zavěšení náprav,
- pružné uložení dalších pomocných agregátů [3, 10, 31]

1.4.4. Měření vibrací přenášené na ruce

Měření a vyhodnocování vibrací přenášené na ruce se řídí normou ČSN ISO 5349-1. Pro měření je klíčové třetinooktávové frekvenční pásmo v rozsahu 8-1000 Hz, jelikož v tomto rozmezí mají vibrace nejvýraznější negativní dopad na lidské ruce. K měření je třeba použít tři ortogonální směry podle souřadnicového systému ruky, a to v bodech kontaktu rukou s vibrujícím předmětem. Výsledkem měření jsou tři spektra (AutoX, AutoY, AutoZ), ze kterých se následně vypočítá celkové spektrum zrychlení vibrací SV. Hodnoty jednotlivých složek tohoto spektra musí být v souladu s limity stanovenými v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. (obr. 8). [3, 10, 30]

$$SV = 10 \cdot \log(10^{AutoX} + 10^{AutoY} + 10^{AutoZ}) [dB] \quad (11)$$



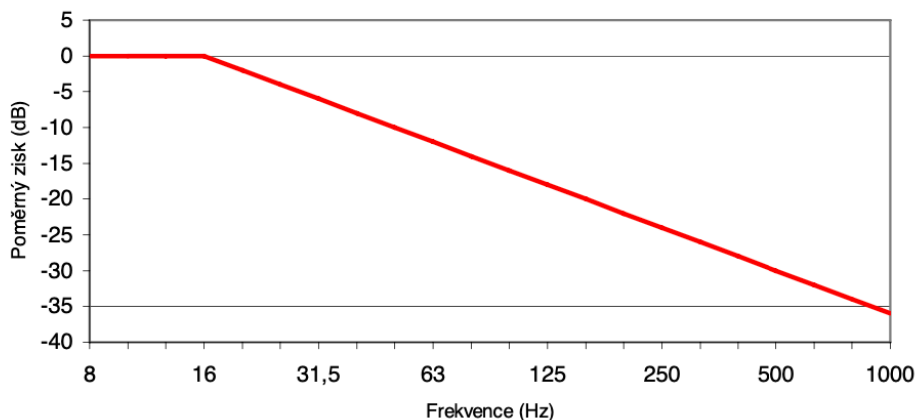
obr. 8 - limitní hodnoty pro vibrace přenášené na ruce [3]

Dále je nutné stanovit hladinu celkového vektoru zrychlení vibrací $L_{(a)xyz}$ a porovnat ji s nejvyšší přípustnou souhrnnou váženou hladinou zrychlení vibrací, která je stanovena na 123 dB. Tato hodnota slouží zejména pro porovnání. [3]

$$L_{(a)xyz} = 10 \cdot \log \left(\sum_i 10^{\frac{SV + \text{váhová funkce}}{10}} \right) [dB] \quad (12)$$

Příčemž referenční hodnota zrychlení:

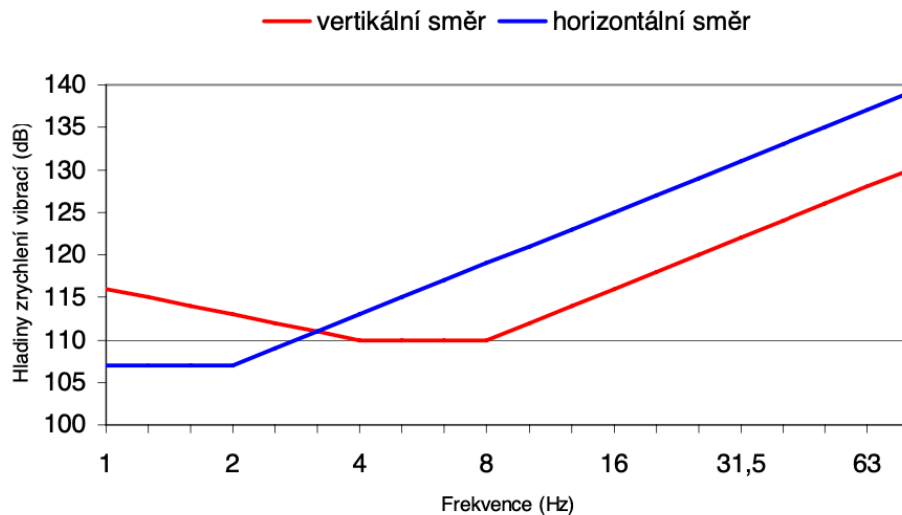
$$a_0 = 10^{-6} [m \cdot s^{-2}] \quad (13)$$



obr. 9 - Váhová funkce pro hodnocení vibrací přenášené na ruce [3]

1.4.5. Měření celkových vibrací

Měření a vyhodnocování vibrací je upraveno v mezinárodní normě ČSN ISO 2631-1. Tato norma stanovuje, že vibrace musí být měřeny a posuzovány odděleně pro vertikální a horizontální osu, přičemž měření probíhá v třetinooktávových frekvenčních pásmech od 1 do 80 Hz. Pro každý směr jsou definovány specifické limitní hodnoty a odpovídající váhová funkce. Měřením v jednotlivých směrech získáváme spektrum AutoA. Proces vyhodnocení je analogický k postupu používanému při měření vibrací přenášených na ruce. Naměřené hodnoty v třetinooktávových spektrech se následně porovnávají s limitními hodnotami, které jsou určeny nařízením vlády č. 272/2011 Sb. [3, 10, 30]



obr. 10 - limitní hodnoty pro celkové vibrace [3]

Následně je zapotřebí vypočítat celkové vážené hladiny zrychlení vibrací $L_{(a)w}$, které se určují pomocí váhových funkcí. Tyto hodnoty musí být porovnány s předepsanými limity, přičemž pro vertikální vibrace je stanoven limit 110 dB a pro horizontální vibrace 107 dB. Charakteristika váhové funkce vykazuje osovou symetrii vzhledem k průběhu limitních hodnot, což je obdobné jako u váhové funkce používané při hodnocení vibrací působících na ruce (obr. 10). [3]

$$L_{(a)w} = 10 \cdot \log \left(\sum_i 10^{\frac{\text{AutoA} + \text{váhová funkce}}{10}} \right) [dB] \quad (14)$$

2. Analýza konstrukčních odlišností a parametrů vozidel

2.1. Pohon a převodové ústrojí

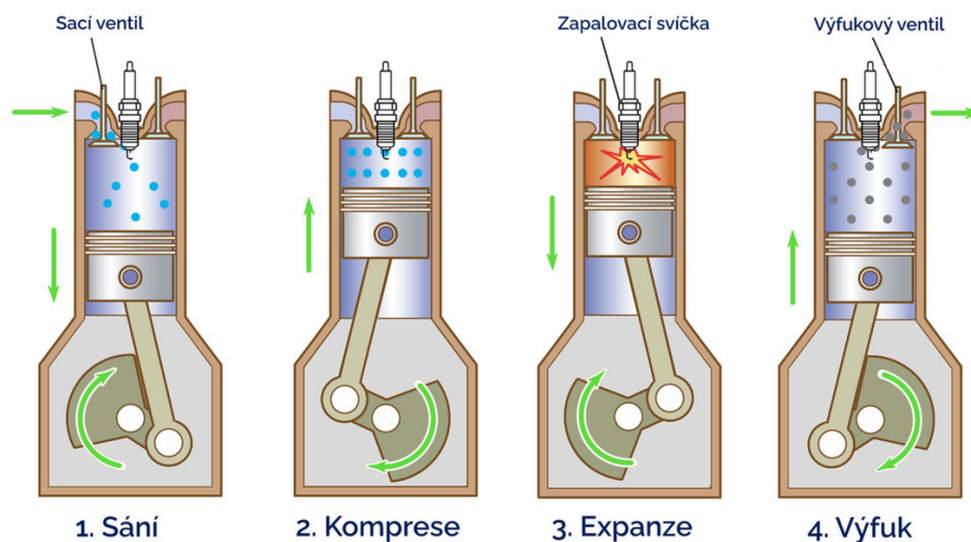
Největším rozdílem mezi vozidlem se spalovacím motorem a vozidlem na elektrický pohon je právě typ pohonu. Jak již bylo zmíněno, spalovací motor funguje na principu převodu přímočarého vratného pohybu pístu na rotační pohyb klikové hřídele, zatímco elektromotor koná pouze rotační pohyb. Existuje ovšem také i spalovací motor, který pracuje na rotačním principu otáčení trojbokého pístu, tedy koná také pouze rotační pohyb. Tento typ pohonu se dnes kvůli svým nevýhodám používá již jen velmi málo. Proto se dále zaměříme především na konstrukci klasického pístového spalovacího motoru a na dva hlavní typy elektromotorů využívaných v elektrických vozidlech – synchronní elektromotor s permanentními magnety a asynchronní elektromotor. V následující části je popsán rozdíl funkce daných typů pohonů. [12]

2.1.1. Princip funkce benzínového pístového spalovacího motoru

Benzínový pístový spalovací motor je tepelný stroj, který přeměňuje chemickou energii paliva na mechanickou práci prostřednictvím spalování směsi benzínu a vzduchu. Pracuje na principu čtyřdobého cyklu, který se skládá ze čtyř po sobě jdoucích taktů: sání, komprese, expanze a výfuk.

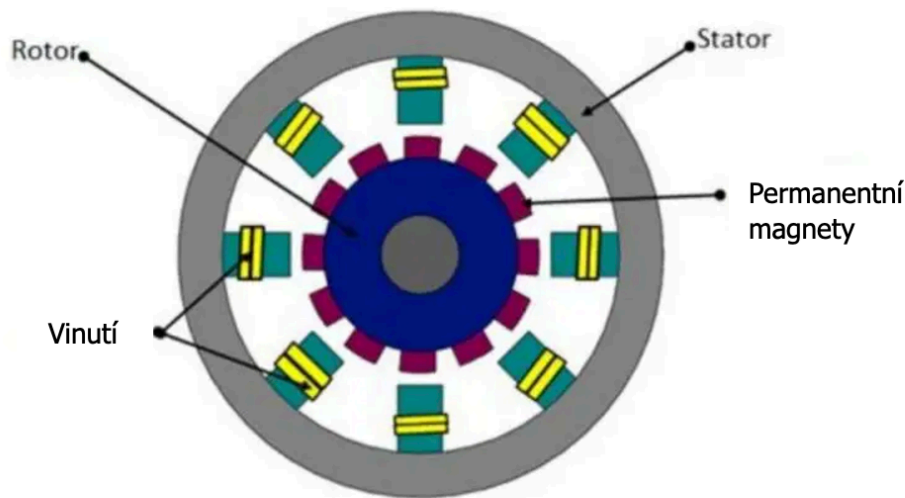
V průběhu sacího taktu se píst pohybuje směrem dolů a do válce je nasávána směs paliva a vzduchu přes sací ventil. Tato směs je připravována v karburátoru nebo vstřikována přímo do sacího potrubí či válce pomocí vstřikovacího systému. Následuje kompresní zdvih, kdy se píst pohybuje vzhůru a stlačuje nasátou směs, čímž se zvyšuje její teplota a tlak.

Na konci kompresního zdvihu je směs zapálena elektrickou jiskrou ze zapalovací svíčky. Následuje pracovní (expanzní) zdvih, při kterém explodující směs prudce expanduje a tlačí píst dolů. Tento pohyb je přes ojnici přenášen na klikový hřídel, který převádí přímočarý pohyb pístu na rotační pohyb. V posledním, výfukovém taktu, se píst pohybuje zpět nahoru a vytlačuje spaliny přes výfukový ventil do výfukového potrubí. [12]



obr. 11 - princip benzínového pístového spalovacího motoru [23]

2.1.2. Princip funkce synchronního elektromotoru s permanentními magnety



obr. 12 - synchronní elektromotor s permanentními magnety [19]

Synchronní elektromotor s permanentními magnety také označovaný jako PMSM je elektrický stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou energii pomocí vzájemného působení magnetických polí. Tyto elektromotory k vytvoření magnetického toku nevyužívají klasické budící vinutí, ale moderní permanentní magnety. Ty jsou vyráběny z materiálů na bázi vzácných zemin, jako jsou slitiny samaria a kobaltu (Sm–Co) nebo neodemu, železa a boru (Nd–Fe–B). Díky tomu odpadá potřeba napájet budící vinutí. Dále také chybí mechanické části, jako jsou sběrací kroužky. Výsledkem je jednodušší konstrukce motoru.

V další části je třeba zmínit, že tyto motory mají výrazně lepší účinnost než srovnatelné asynchronní motory, protože ze sítě neodebírají magnetizační proud. Zároveň v rotoru nedochází ke ztrátám, a to ani v budícím vinutí jako u klasických synchronních motorů. Ke ztrátám nedochází ani v rotorové kleci, jak je tomu u asynchronních motorů. Díky těmto vlastnostem mají motory s permanentními magnety při stejném výkonu menší rozměry než běžné asynchronní motory a dosahují vyšší účinnosti.

Stator má konstrukci podobnou běžnému asynchronnímu motoru – jde o třífázové vinutí s počtem pólů odpovídajícím počtu pólů na rotoru. Často se používá stator se šikmým drážkováním, které pomáhá snižovat vibrace a hlučnost. Rotor tvoří střídající se póly z permanentních magnetů s vysokou úrovní sycení. Podle konstrukce rozlišujeme motory s vnějším nebo vnitřním rotorem. Stator je vždy pevná, nehybná část motoru, zatímco rotor je část rotující. [18]

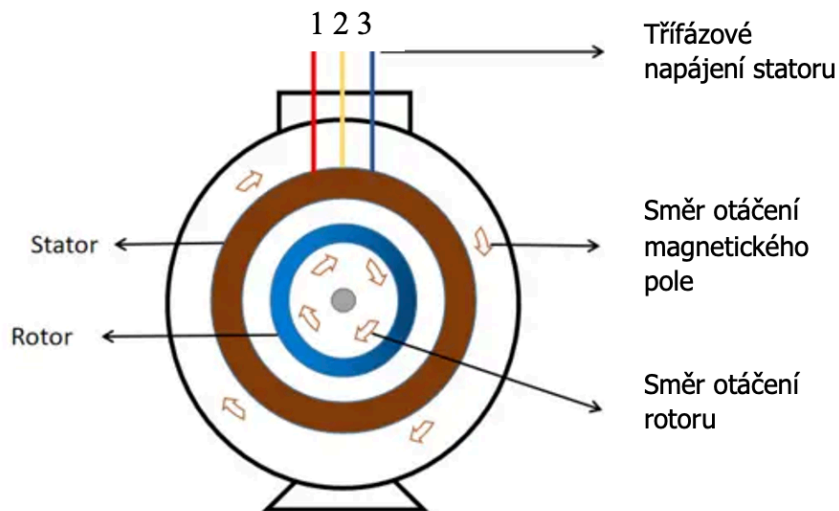
Výhody:

Mezi největší výhody patří vysoká účinnost motoru, vysoká rychlost otáčení, dále má motor vysoký poměr výkonu/hmotnosti a také bezúdržbovost.

Nevýhody:

Jediná nevýhoda PMSM motoru je jeho vyšší cena vlivem vyšší ceny permanentních magnetů.[18]

2.1.3. Princip funkce asynchronního elektromotoru



obr. 13 - asynchronní elektromotor [20]

Asynchronní elektromotor je založen na principu elektromagnetické indukce. Jeho hlavními částmi jsou stator, který tvoří pevnou část obsahující vinutí, a rotor, který představuje otáčivou část nejčastěji s klecovým vinutím neboli tzv. kotvou nakrátko. Mezi státorem a rotorem je vzduchová mezera.

Princip funkce začíná připojením třífázového napětí na statorové vinutí, čímž vzniká točivé magnetické pole, které se otáčí synchronní rychlostí. Tato rychlost závisí na frekvenci napájecího napětí a počtu pólových dvojic. Točivé magnetické pole následně protíná vodiče rotoru, kde se indukují napětí, které vytváří proudy v rotorovém vinutí. Vzájemným působením magnetického pole a proudů v rotoru vzniká síla, která způsobuje otáčení rotoru ve směru točivého pole.[21]

Charakteristickou vlastností asynchronního motoru je, že se rotor nikdy neotáčí synchronními otáčkami, odtud pochází název "asynchronní". Rozdíl mezi otáčkami magnetického točivého pole a otáčkami rotoru se nazývá skluz, který typicky dosahuje 3-8 %. Hodnota skluzu se vypočítá dle následujícího vztahu:

Výpočet skluzu:

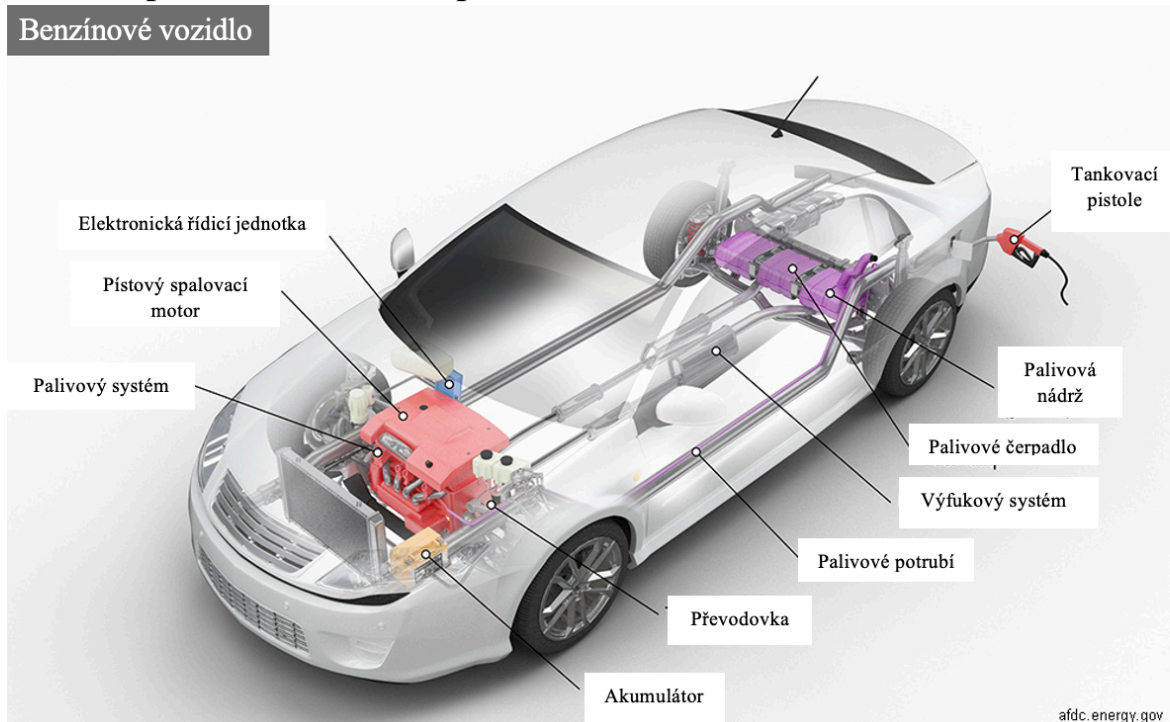
$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \cdot 100 (\%) \quad (15)$$

Kde:

- s = skluz mezi otáčkami magnetického točivého pole
- ω_s = synchronní úhlová rychlost
- ω_m = úhlová rychlost rotoru

co se týče velikosti skluzu jeho velikost také závisí na velikosti stroje. Obecně platí že čím je točivý stroj větší tím má menší skluz. [21]

2.2. Koncepce automobilu se spalovacím motorem



obr. 14 - koncepce automobilu se spalovacím motorem [14]

Vozidlo se spalovacím motorem má od vozidla na elektrický pohon dosti odlišností. Co se týče konstrukce karoserie vozidla, tak ta bývá téměř identická s karoserií vozidla na elektrický pohon. Liší se pouze malými detaily z vnějšku. Nejčastější rozdíl bývá v oblasti předního a zadního nárazníku z důvodu absence výkonného chladiče a výfuku. Případně také odlišný tvar a konstrukce disků vozidla. Tyto prvky u elektrických vozidel bývají tvarovány tak, aby měly co nejmenší aerodynamický odpor. Aerodynamika je u elektrických vozidel jeden z důležitých faktorů, který má velký vliv na dojezd vozidla při vyšších rychlostech.

Pokud se ale podíváme, z čeho se skládá vozidlo se spalovacím motorem ve vnitřní části, najdeme zde oproti vozidlu na elektrický pohon mnoho prvků, které se liší, tedy ICE A EV jsou konstrukčně jiná vozidla. V první řadě, při zaměření se na uspořádání pohonného ústrojí, tak zjistíme, že vozidlo se spalovacím motorem je oproti elektrickému konstrukčně mnohem složitější a má mnohem více prvků které pro svůj provoz potřebuje.

Na obr. 14 lze vidět kompletní konstrukční uspořádání všech komponentů, které se nachází uvnitř spalovacího vozidla a které jsou zapotřebí pro jeho pohon a provoz. V následující části je zohledněno konstrukční uspořádání jednotlivých částí a všechny části jsou podrobně vysvětleny. [14]

Přední část vozidla

V přední části vozidla se v 90 % případů vozidel se spalovacím motorem nachází kompletní pohonný ústrojí a všechny ostatní systémy, které jsou potřeba pro jeho bezpečnost a dlouhodobý chod.

a) Spalovací motor

Hlavní částí pohonu je pístový, případně rotační spalovací motor, který je hlavním zdrojem mechanické energie. Existuje mnoho konstrukčních řešení těchto spalovacích motorů. Nejčastěji se však dnes u osobních automobilů používají řadové 3, 4 nebo 6 -válcové vznětové nebo zážehové motory. Druhů PSM je opravdu nespočet, pro potřebu této práce jsou ale nejdůležitější již zmíněné varianty, které se nachází ve vozidlech podrobených porovnávacímu experimentu. [14]

b) Převodové ústrojí

Aby vozidlo bylo schopno se přizpůsobit aktuálním jízdním režimům (rozjezd, couvání, městská rychlost, dálniční rychlost) je zapotřebí k motoru připojit převodové ústrojí. To slouží právě k přizpůsobení výkonu motoru aktuálním jízdním podmínkám změnou převodového poměru mezi motorem a koly vozidla. Spalovací motor má optimální rozsah otáček, ve kterém funguje nejefektivněji a je potřeba se při různých jízdních režimech pohybovat právě v tomto optimálním rozsahu. Mezi převodové ústrojí patří převodovka a případně rozvodovka s diferenciálem. Převodovka může být buď manuální, přičemž si řidič vozidla sám mění jednotlivé převody pomocí mechanismu řadící páky anebo automatická, kde jsou jednotlivé převodové poměry měněny automaticky pomocí řídicí jednotky a mechatroniky převodovky. Existuje ovšem opět spousta různých řešení automatických převodovek, pro potřeby experimentu však stačí znát základní princip. [14]

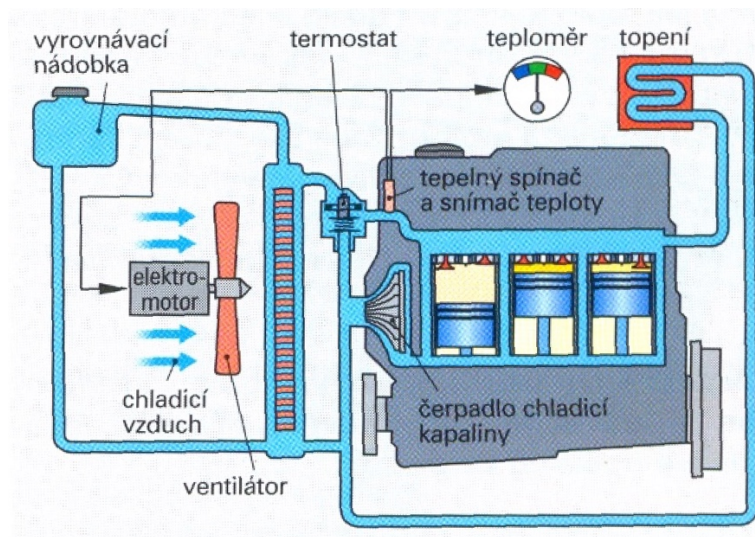
c) Spojovací ústrojí

Pokud chceme přenést výkon a točivý moment z motoru na kola je zapotřebí mezi motor a převodové ústrojí připojit spojovací zařízení, které nám umožní ovládat přenos výkonu a točivého momentu mezi motorem a převodovým ústrojím. Jako spojovací zařízení se nejčastěji používá kotoučová spojka se setrvačником – v případě manuální převodovky. V případě převodovky automatické se nejčastěji používá kombinace dvou kotoučových spojek se setrvačником (DSG převodovky) nebo hydrodynamický měnič (planetové převodovky). [14]

Co se týče uspořádání celkového pohonného ústrojí (motor, spojka, převodovka) bývá konstrukčně řešeno jako jeden společný celek, který je uložen buď příčně nebo podélně v přední části vozidla vzhledem k jízdní ose vozidla. [14]

d) Chladicí soustava

Spalovací motor je teplený stroj, který pracuje s velmi vysokými teplotami (přes 2000 °C). Aby bylo možné udržet jeho dlouhodobý pracovní chod, je zapotřebí k motoru připojit chladicí soustavu, která bude motor udržovat při optimální pracovní teplotě, aby nedošlo k jeho poškození. Prvky chladicí soustavy jsou znázorněny na následujícím obr. 15.



obr. 15 - chladicí soustava PSM [27]

Na obr. 15 lze vidět základní princip chladicí soustavy spalovacího motoru. Mezi hlavní části patří: chladič, ventilátor, vyrovnávací nádržka, čerpadlo chladicí kapaliny, případně termostat a celé chladicí potrubí. Ventilátor s chladičem se nachází většinou v přední části hned za předním nárazníkem a přední maskou vozidla. Na hlavním chladiči také bývá rovnou i umístěn chladič klimatizace, pokud je klimatizací vozidlo vybaveno a případně také chladič oleje, který patří do okruhu mazací soustavy vozidla. [27]

V dnešní době je většina spalovacích motorů již vybavena přeplňováním pomocí turbodmychadla, případně pomocí kompresoru. V tomto případě se ke všem ostatním prvkům přidá ještě chladič stlačeného vzduchu a kompletní potrubí pro dopravu stlačeného vzduchu do motoru. V přední části je tedy krom pohonného ústrojí velké množství komponentů, které zajišťují nebo udržují správné podmínky pro jeho chod.

Prostřední a zadní část vozidla:

V prostřední a zadní části vozidla se pod podlahou nachází hlavní dvě soustavy, které se starají o dodávku paliva do motoru – palivová soustava, a naopak o odvod spalin z motorového prostoru – výfuková soustava.

e) Palivová soustava

Další důležitou částí pro správnou funkci spalovacího motoru je dodávka paliva, kterou zajišťuje palivový systém vozidla. Základní částí tohoto systému je palivová nádrž, která se nachází v zadní části nejčastěji pod zavazadlovým prostorem a za zadní nápravou vozidla. Umístění palivové nádrže v tomto místě přispívá také k lepšímu rozložení hmotnosti mezi přední a zadní nápravou. Součástí palivové nádrže je podávací palivové čerpadlo, které se stará o dopravu paliva z nádrže k motoru pomocí palivového potrubí, které je vedeno spodní částí podlahy téměř přes celé vozidlo. Další komponenty palivové soustavy se liší dle typu paliva, kterým je vozidlo poháněno a také dle typu vstřikování paliva do motoru. [14]

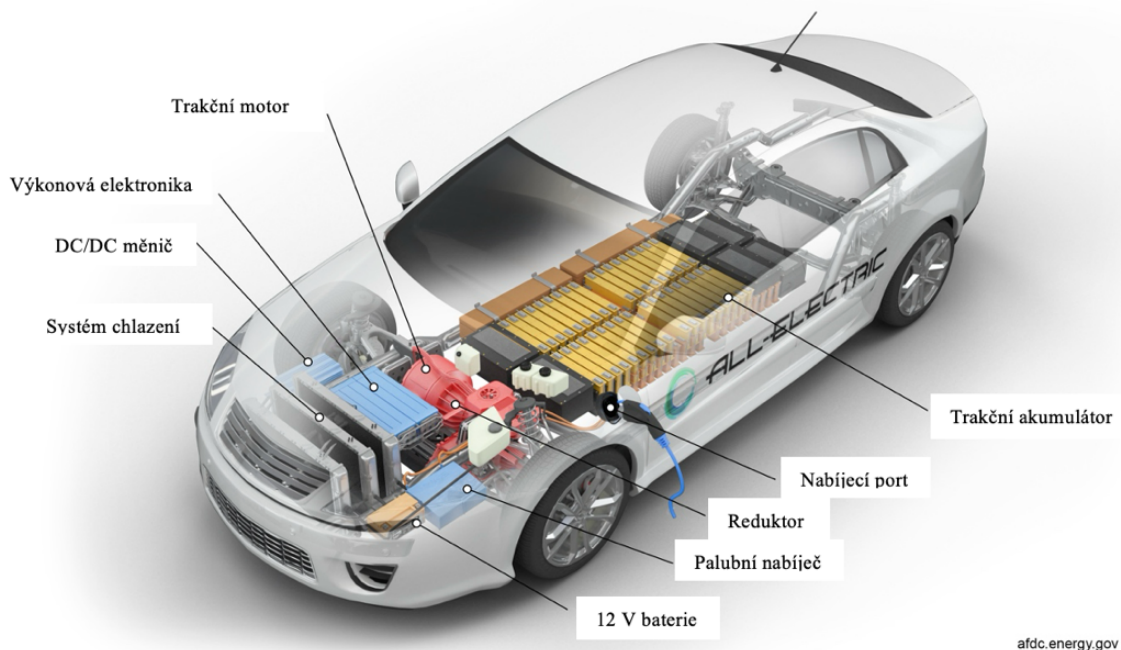
f) Výfuková soustava

Výfuková soustava se stará o odvod horkých spalin z motorového prostoru do ovzduší. Nejčastěji u osobních automobilů výfuková soustava vede přímo od spalovacího motoru, který je umístěn v přední části, od kterého je následně vedena pod podlahou vozu až za zadní nápravu. Vlivem stále zpřísnujících emisních limitů se výfuková soustava skládá z mnoha dalších dílů a zařízení jako jsou katalyzátory, filtry pevných částic případně tlumiče hluku a vibrací, které přispívají ke snižování emisí a vlivem toho k menšímu znečišťování životního prostředí. [14]

Ze všech zmíněných prvků, které jsou u spalovacího vozidla použity je zřejmé, že se jedná o vcelku složitý systém, který se skládá z mnoha komponent, bez kterých se spalovací motor neboli pohon vozidla pro jeho správnou funkci neobejde. Součástí vozidla se spalovacím motorem je také elektronika a různá elektrická zařízení jako například: akumulátor, alternátor nebo různé řídicí jednotky, snímače či senzory. Nedílnou část vozidla také tvoří elektrické vodiče, které jsou rozmístěny po celém vozidle a slouží jako komunikace mezi elektrickými zařízeními a pro přenos elektrické energie. [14]

2.3. Koncepce automobilu na elektrický pohon

Eklektické vozidlo



obr. 16 - koncepce automobilu na elektrický pohon [14]

Na obr 16. lze vidět kompletní konstrukční uspořádání všech hlavních komponentů, které se nachází uvnitř elektrického vozidla a jsou zapotřebí pro jeho pohon a provoz. V následující části jsou všechny tyto hlavní komponenty podrobně vysvětleny.

Hlavní části vozidla na elektrický pohon:

a) Elektromotor s reduktorem

Mezi nejdůležitější část vozidla na elektrický pohon patří pohonné ústrojí, které zde tvoří elektromotor s reduktorem. Uspořádání a typ elektromotoru záleží na daném výrobcí a na typu pohonu vozidla. Nejčastěji pro pohon bývá použit jeden synchronní elektromotor s permanentními magnety (PMSM), který je uložen v přední části elektromobilu. Druhou nejčastější variantou je použití jednoho synchronního elektromotoru s permanentními magnety (PMSM) a jednoho asynchronního elektromotoru, přičemž jeden je uložen v přední části v oblasti přední nápravy a druhý v zadní části v oblasti zadní nápravy. Použití dvou elektromotorů se používá především u vozidel, které mají poháněné obě nápravy. Při pohonu pouze jedné z náprav se většinou používá pouze jeden elektromotor typu dle výrobce daného vozidla. Součástí elektromotoru dále bývá reduktor, který zde slouží jako převodovka. Nejčastěji však mívá pouze jeden nebo dva stupně. Reduktor také ovládá a řídí přenos výkonu a točivého momentu na kola vozidla. [14]

b) Trakční akumulátor

Trakční akumulátor je u elektromobilu základním zdrojem elektrické energie. Jedná se o nejdražší část elektromobilu. Jeho hlavní funkcí je napájení elektromotoru a dalších vysokonapěťových systému jako je např. topení, klimatizace, případně DC/DC měnič. Trakční akumulátor dále také slouží ke zpětnému ukládání energie z rekuperace. Umístění trakčního akumulátoru bývá nejčastěji ve střední části v podlaze vozidla. Toto umístění přispívá k velmi dobrému rozložení hmotnosti a také ke snížení těžiště vozidla. Velikost a kapacita trakčního akumulátoru má přímý vliv na celkový dojezd vozidla. U většiny elektromobilů existují různé varianty kapacity akumulátoru. Kapacita je většinou přizpůsobena výkonu elektromotoru/elektromotorů případně typu pohonu (pohon předních kol, pohon zadních kol, pohon všech kol). Napětí, se kterým soustava akumulátoru pracuje je 400–800 V. Jedná se tedy o vysokonapěťový systém (HV). [14]

c) Výkonová elektronika

Pro řízení pohonu elektromotoru slouží tzv. výkonová elektronika, které je součástí i DC/DC měnič. Výkonová elektronika je důležitou komponentou elektrického pohonu. Stará se o řízení výkonu, účinnosti a odezvy elektromotoru. Zajišťuje ovládání při akceleraci a při rekuperaci elektromobilu. Další důležitou část, plní DC/DC měnič, který zde slouží pro převod stejnosměrného napětí (DC) z trakčního akumulátoru elektromobilu na střídavý proud AC potřebný pro pohon elektromotoru. DC/DC měnič také převádí vysoké napětí (HV) z baterie na napětí 12 V soustavy. Slouží jako elektronický "transformátor" v jednosměrném režimu. Výkonová elektronika také dále sleduje proudy, napětí a teploty, aby se případně předešlo přetížení, přehřátí nebo zkratu. [14, 22]

d) Palubní nabíječ (nabíječka)

Palubní nabíječ je zařízení, které se nachází většinou v přední nebo zadní části elektromobilu. Hlavní funkcí palubního nabíječe je řízení celého procesu při nabíjení vozidla. Pokud je vozidlo nabíjeno střídavým proudem – pomalé nabíjení, palubní nabíječka v tomto případě slouží jako převodník střídavého proudu (AC) ze sítě, na stejnosměrný proud (DC) trakčního akumulátoru. Dále při tomto typu nabíjení většinou palubní nabíječ přímo určuje velikost nabíjecího výkonu. Při nabíjení stejnosměrným proudem – rychlonabíjecí, není palubní nabíječka do procesu nabíjení přímo zapojena, přičemž pouze hlídá a reguluje velikost nabíjecího výkonu. Dále také hlídá připojení nabíjecího kabelu a slouží jako celková ochrana při nabíjení vozidla. [14, 22]

e) Nízkonapětový systém 12 V

Každé elektrické vozidlo má krom vysokonapětového systému (HV) také svůj vlastní nízkonapětový 12 V systém, který se ve vozidle stará hlavně o napájení běžné palubní elektroniky jako jsou např:

- světla (tlumená, dálková, blinkry)
- infotainment a rádio
- stěrače
- centrální zamykání
- klimatizaci/topení
- airbagy a bezpečnostní senzory
- řídicí jednotky (např. BMS, VCU)
- elektrické servořízení (EPS)

Nízkonapětový systém také umožňuje "probuzení" vozidla při vypnutém vysokonapětovém systému – například při odemykání, diagnostice nebo nabíjení. [14]

f) Tepelný/chladicí systém

U elektrických vozidel není žádný hlavní zdroj tepla jako u vozidel se spalovacím motorem, kde hlavním zdrojem je právě pístový spalovací motor, jehož teplo se využívá pro vytápění kabiny. Proto se u elektrických vozidel používají nejčastěji dva typy zdroje tepla:

Odporové PTC topení

Odporové topení funguje na principu přeměny elektrické energie na teplo pomocí odporových článků. Elektrický proud prochází odporovým drátem nebo případně deskou, která se ohřívá a přenáší tak dále teplo do kabiny vozidla. Toto řešení je velmi jednoduché a spolehlivé. Jedinou nevýhodou je velmi vysoká spotřeba energie, která může být až několik kWh za hodinu. [15]

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo funguje na principu reverzní klimatizace. Místo chlazení přenáší teplo z venkovního okolí do kabiny vozidla i za chladného počasí. Velmi často bývá TČ spojeno i se systémem klimatizace a funguje jako jeden celek. Využívá chladiva a kompresoru klimatizace, který teplo cirkuluje skrze výměníky a zároveň funguje jako klasická klimatizace. Účinnost TČ je až 3x větší než u odporového topení. Nevýhoda je složitější konstrukce a nižší účinnost ve velmi nízkých teplotách. [15]

2.4. Porovnávaná vozidla

Pro tuto diplomovou práci byl zvolen na porovnání model vozidla Hyundai Kona. Jedná se o model, který se vyrábí jak s pístovým spalovacím motorem, tak jako čisté EV. Vozidlo využívá stejnou konstrukci karoserie pro verzi se spalovacím motorem i pro verzi na elektrický pohon. Co se týče exteriéru, elektrické vozidlo má oproti spalovací verzi pouze jiný přední nárazník, který neobsahuje otvory pro chlazení. Jinak je exteriér vozu naprosto stejný. Pokud se bavíme o interiéru vozu, jediný rozdíl činí středová konzole mezi řidičem a spolujezdcem. Tu má elektrická EV verze odlišnou, protože středovým tunelem neprochází mechanismus řadící páky. Pod středovou konzolí tak vzniká další úložný prostor.

I když byla bazarová cena v době testování pro obě vozidla obdobná, EV vozidlo je vybaveno více asistenčními systémy. V tomto případě asistence řízení v úrovni L1 (adaptivní tempomat a vedení v pružích). Dále elektronická ruční brzda a také funkce autostop, která ulehčuje rozjezd zejména do prudkého stoupání. Vyjmenovaná výbava však nemá vliv na výsledky této práce.

2.4.1. Hyundai Kona 1.6 T-GDi



obr. 17 - Hyundai Kona 1.6 T-GDi [25]

tab. 1 - parametry Hyundai Kona 1.6 T-GDi [24]

Hyundai Kona 1.6 T-GDi	
Palivo	BA
Maximální výkon motoru [kW]	130
Maximální točivý moment [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]	264
Pohotovostní hmotnost [kg]	1350
Pohon [-]	FWD
Rozvor [mm]	2600
Rozchod PN [mm]	1563
Rozchod ZN [mm]	1572
Délka [mm]	4165
Šířka [mm]	1800
Výška [mm]	1550

2.4.2. Hyundai Kona Electric 64 kWh



obr. 18 - Hyundai Kona Electric 64 kWh [26]

tab. 2 - parametry Hyundai Electric 64 kWh [24]

Hyundai Kona Electric 64 kWh	
Palivo	EV
Maximální výkon motoru [kW]	150
Maximální točivý moment [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]	395
Pohotovostní hmotnost [kg]	1740
Pohon [-]	FWD
Rozvor [mm]	2600
Rozchod PN [mm]	1575
Rozchod ZN [mm]	1584
Délka [mm]	4180
Šířka [mm]	1800
Výška [mm]	1570

Mechanická podobnost vozidel byl hlavní důvod, proč byl zvolen zrovna tento model. Jelikož jsou obě vozidla konstrukčně stejná až na rozdíl jejich pohonu, jedná se o ideální model na porovnání komfortních vlastností jednotlivých pohonů

3. Teoretické porovnání obou případů vozidel

Při teoretickém porovnání vozidel je potřeba si stanovit parametry které jsou pro porovnání vhodné. Nejjednodušší způsob je některý z grafických způsobů porovnání akceleračních a trakčních vlastností (parametrů vozidla). Mezi nejvýznamnější a nejlépe zhodnotitelné patří trakční diagram nebo dynamická charakteristika vozidel. Aby bylo možné tyto grafické závislosti sestavit je potřeba znát detailní technické parametry obou vozidel. O jaké parametry se jedná a jak se tyto dva typy charakteristik sestavují je podrobně vysvětleno v následující části.

Trakční diagram je grafické znázornění výkonových charakteristik vozidla, které slouží k analýze jeho dynamických vlastností. Obvykle diagram obsahuje vztah mezi rychlostí vozidla v (km/h) a trakční silou F_T (N), přičemž mohou být vykresleny i další charakteristiky, jako je odporová síla či účinnost převodového ústrojí.

Trakční diagram nám umožňuje analyzovat:

1. **Zrychlení vozidla** – podle hodnot trakční síly lze určit, jak rychle vozidlo zrychluje při dané rychlosti a na konkrétní převodový stupeň.
2. **Maximální rychlost** – křivky trakční síly ukazují, při jaké rychlosti už hnací síla nestačí k překonání odporů (valivý odpor, aerodynamický odpor atd.).
3. **Převodové poměry** – diagram ukazuje, jak efektivně jednotlivé převodové stupně přenášejí hnací sílu na kola.
4. **Schopnost stoupání** – umožňuje určit maximální sklon vozovky, který vozidlo dokáže překonat.
5. **Porovnání různých typů motorů a pohonů** – trakční diagramy se často využívají ke srovnání spalovacích motorů, elektromotorů či hybridních pohonů.

Pro sestavení trakčního diagramu silničního vozidla je nutné znát několik klíčových parametrů, které popisují hnací sílu vozidla, odporové síly a převodové poměry. Níže jsou uvedeny nejdůležitější faktory rozdělené do jednotlivých kategorií.

Parametry motoru

Motor generuje výkon a točivý moment, které se přes převodové ústrojí dále přenášejí na kola. Pro trakční diagram potřebujeme:

- Maximální výkon motoru P [kW]
- Průběh točivého momentu v závislosti na otáčkách M_m [Nm] při různých ot./min)
- Maximální otáčky motoru n_{max} [ot./min]

Pro spalovací motor jsou tyto hodnoty proměnlivé v závislosti na otáčkách, zatímco u elektromotorů může být maximální točivý moment dostupný ihned od nulových otáček. V reálném provozu je však točivý moment omezen volbou řidiče (ECO, STANDART, SPORT). Další omezení pak probíhá z úrovně kontroly trakce (při prokluzu se moment automaticky sníží).

Převodové ústrojí a kola

Hnací moment motoru musí projít převodovým ústrojím, které ovlivňuje výslednou trakční sílu. Potřebujeme znát:

- převodové poměry jednotlivých stupňů i_1, i_2, \dots, i_n
- stálý převod v diferenciálu i_d
- účinnost převodovky η – ztráty v převodovém ústrojí
- dynamický poloměr hnacích kol r_{dyn} [m] – určuje, jak se převodový poměr přeneseme na vozovku

Trakční sílu F_T lze vypočítat jako:

$$F_T = M_m \cdot i \cdot i_d \cdot \eta \cdot r_{dyn} \quad (16)$$

kde: M_m je točivý moment motoru.

Odporové síly působící na vozidlo

Každé vozidlo čelí různým odporovým silám, které snižují dostupnou hnací sílu. Mezi ně patří:

Valivý odpor F_{val}

Vzniká mezi pneumatikou a vozovkou, jeho sílu lze vypočítat pomocí:

$$F_{val} = f \cdot m \cdot g \quad (17)$$

kde:

- f = součinitel valivého odporu (cca 0.01–0.015 pro běžná auta),
- m = hmotnost vozidla [kg],
- g = gravitační zrychlení (9.81 m/s²).

Aerodynamický odpor F_v

Tato síla se zvyšuje s rychlostí s druhou mocninou a lze ji vyjádřit jako:

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A \cdot v^2 \quad (18)$$

kde:

- ρ = hustota vzduchu (1.225 kg/m³ při 15 °C),
- C_x = součinitel aerodynamického odporu viz tab. 1 a 2.
- A = čelní náporová plocha vozidla [m²],
- v = rychlost vozidla [m/s].

Sklon vozovky (Gravitační odpor) F_α

Pokud se vozidlo pohybuje do kopce, musí překonat gravitační sílu:

$$F_\alpha = m \cdot g \cdot \sin\alpha \quad (19)$$

kde α je sklon vozovky.

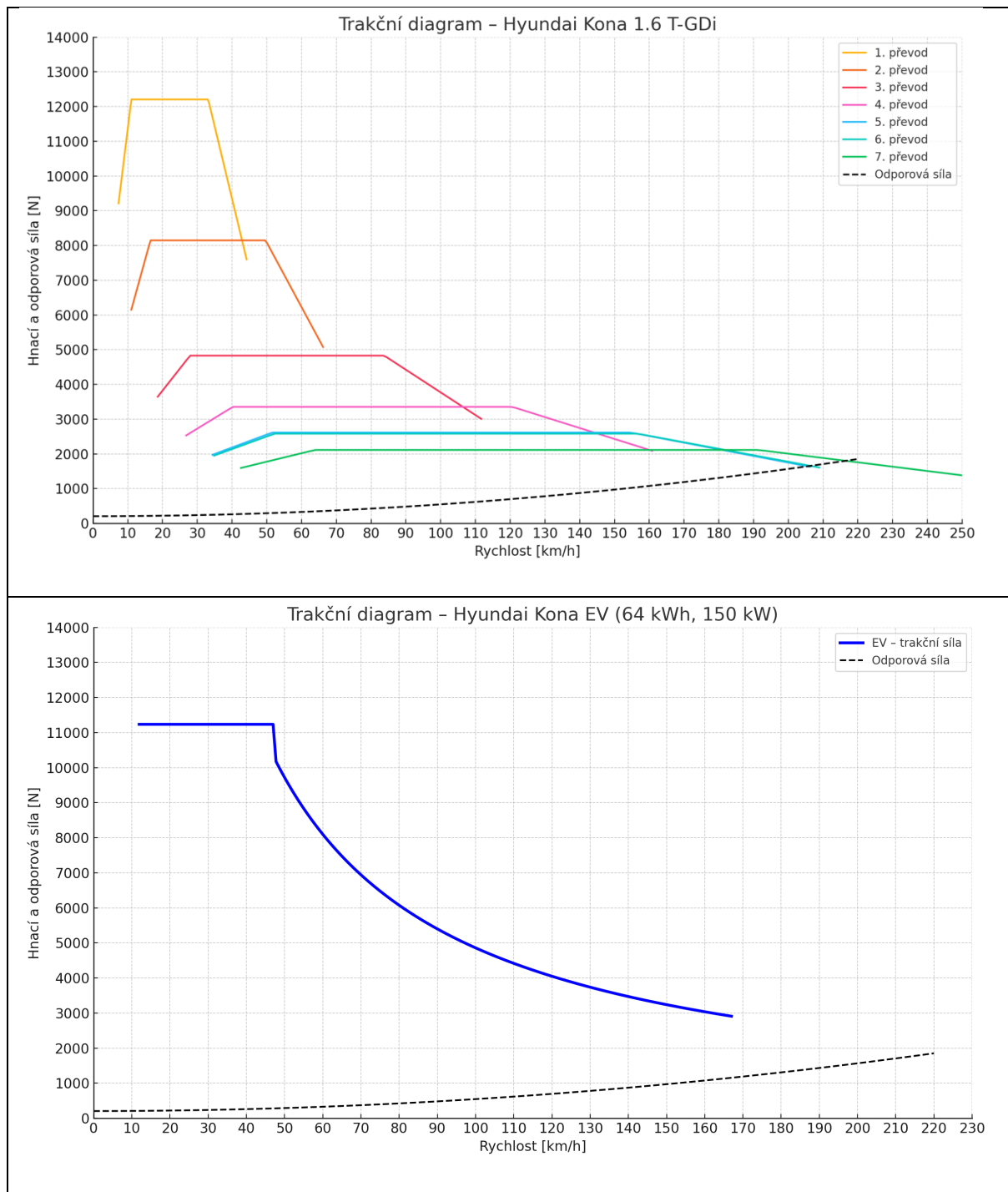
Výpočet trakční síly a maximální rychlosti

Trakční síla F_T neboli hnací síla se vypočítá pro každý převodový stupeň zvlášť a porovná se s odporem vozidla. Maximální rychlost odpovídá průsečíku hnací a odporové síly. Při této rychlosti je trakční síla rovna součtu všech odporových sil.

Výsledná trakční síla pak definuje podélné zrychlení vozidla v ose X. U vozidel se spalovacím motorem není trakční síla spojitá, protože dochází ke změně jednotlivých převodových stupňů při řazení. Velikost kolísání trakční síly je dáno typem převodovky. U testovaného spalovacího vozidla se jedná o mechatroniku řízenou dvouspojkovou převodovkou – tedy změna převodového stupně je plně automatizována včetně úpravy otáček spalovacího motoru. Vozidlo s manuální převodovkou by tak vykazovalo méně komfortu. U elektrického vozidla je naopak trakční síla plynule spojitá vlivem typického průběhu momentové charakteristiky elektromotoru. Elektrické vozidlo navíc nedisponuje převodovkou, tedy nedochází zde ke změně jednotlivých převodových stupňů. Průběh je tak plynule spojitý v celém spektru otáček a rychlosti.

Pro účely porovnání trakčních vlastností byla pro obě testovaná vozidla sestavena trakční charakteristika ve formě trakčních diagramů. Z těchto diagramů byly následně odečteny maximální rychlosti vozidel na základě průsečíku křivek hnací a odporové síly. Tyto hodnoty byly dále porovnány s uváděnými údaji od výrobce. V dalším kroku byla provedena transformace trakčních sil na hodnoty podélného zrychlení, které byly rovněž graficky zpracovány a vzájemně porovnány.

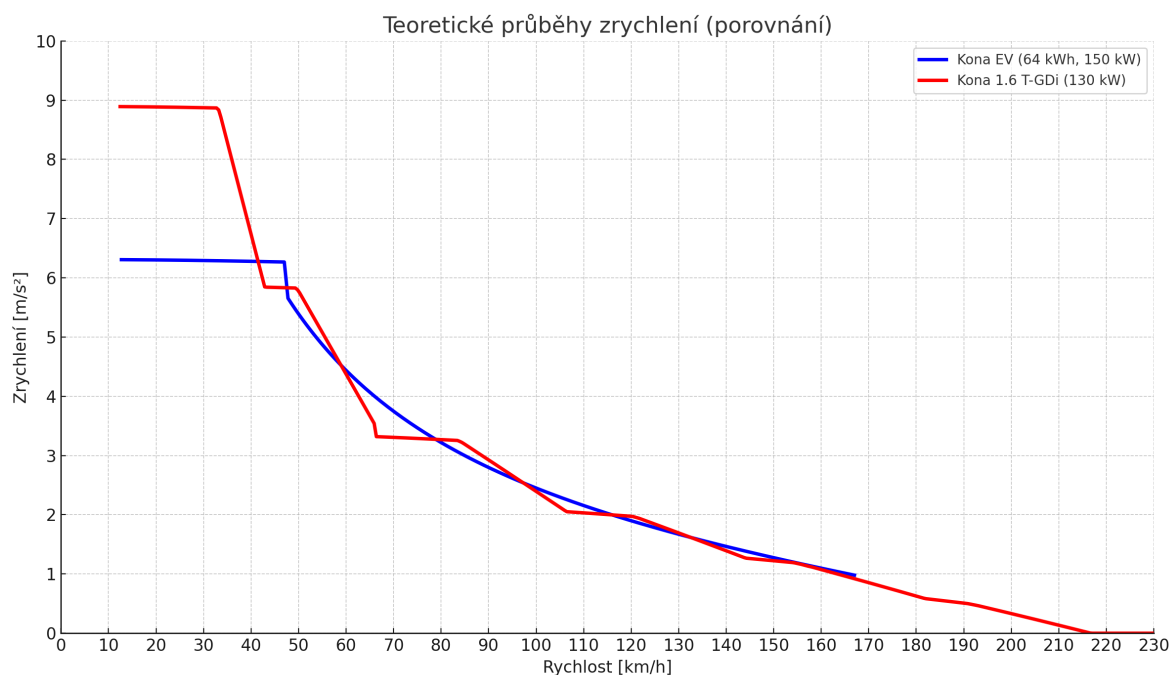
3.1. Sestrojení trakčních diagramů



obr. 19 - Trakční diagram pro ICE (nahore), pro EV (dole)

Na obr. 19 jsou vidět trakční diagramy obou porovnávaných vozidel. Z průběhu trakční charakteristiky byla odečtena maximální rychlost, která u spalovací verze Kona ICE činí přibližně 205 km/h. Udávaná maximální rychlost výrobcem je také 205 km/h [24]. Lze tedy říct že sestavený trakční diagram odpovídá reálným parametrům vozidla. U elektrické verze vozidla byla odečtena maximální rychlost na hodnotě 167 km/h. V tomto případě nebyla maximální rychlost odečtena v průsečíku hnací a odporové síly, ale v bodě, kde končí samotný průběh křivky. Elektrické vozidlo má pouze jeden převodový stupeň, rychlost vozidla je tedy přímo úměrná otáčkám elektromotoru. Při dosažení maximálních otáček (14 000 ot./min) již vozidlo nemůže dále zvyšovat svoji rychlost. V grafu tedy bylo dosaženo maximálních otáček při rychlosti 167 km/h, což také přesně odpovídá údajům udávaných výrobcem. [24].

3.2. Porovnání teoretických průběhů zrychlení



obr. 20 - Porovnání teoretických průběhů zrychlení (vlastní zpracování)

Na obr. 20 jsou vidět teoretické průběhy příčného zrychlení obou vozidel. Porovnání zrychlení ukazuje rozdílný charakter akcelerace obou vozidel. Kona EV nabízí díky okamžitému nástupu točivého momentu již od nulových otáček plynulé a silné zrychlení v nízkých a středních rychlostech. Spalovací verze Kona ICE dosahuje vyšších hodnot zrychlení v nejnižších rychlostech díky krátkým převodovým poměrům a nižší hmotnosti vozidla, ale její průběh je méně plynulý z důvodu nutnosti řazení rychlostních stupňů a nepravidelnému průběhu točivého momentu.

Při vyšších rychlostech, zrychlení u obou vozidel postupně klesá vlivem rostoucích odporových sil. U Kony EV jsou limitujícím faktorem maximální otáčky elektromotoru, u spalovací verze dosažení maximálního výkonu. Výsledky dobře odrážejí rozdílnou charakteristiku obou pohonů – plynulý a lineární projev elektromobilu oproti silnému, ale přerušovanému nástupu výkonu u verze se spalovacím motorem.

4. Návrh experimentu a jeho realizace

Pro experiment byly zvoleny dva osobní automobily, které mají porovnatelné parametry a celkové jízdní vlastnosti. Pro obě vozidla bylo provedeno měření hluku a měření vibrací za, pokud možno stejných podmínek. Experiment byl rozdělen do několika fází (jízdních scénářů), které byly postupně realizovány pro obě vozidla. Nejdříve všemi fázemi experimentu prošlo první vozidlo (Kona ICE) a následně stejným způsobem prošlo experimentem i vozidlo druhé (Kona EV).

Měření hluku i měření vibrací uvnitř kabiny vozidla bylo prováděno vždy současně ve stejný časový okamžik. Experiment byl proveden pro obě vozidla v jeden stejný den za stejných povětrnostních podmínek a v co nejbližším časovém intervalu po sobě, aby naměřená data byla co nejvíce relevantní a porovnatelná.

Měření hluku bylo provedeno pomocí jednoho mikrofону umístěného uvnitř vozidla přibližně v místě vnímání hluku osoby řídící automobil. Měření vibrací bylo provedeno pomocí mobilního zařízení přes aplikaci Matlab. Zařízení bylo umístěno příčně a podélně přibližně v těžišti vozidla. Vertikální poloha těžiště nebyla zjišťována, protože snímač do této polohy nelze umístit (byl by v kolizi s vybavením interiéru). Byly tedy zaznamenávány pouze celkové vibrace, které za jízdy působily na karoserii vozidla a přenášely se do jeho kabiny. Umístění měřících zařízení bylo přizpůsobeno dané situaci a podmínkám pro měření. Podrobnější popis umístění měřících zařízení je uveden v následujících podkapitolách.

Vlastní měření bylo provedeno 26.3.2024 ve městě Pardubice. Experiment byl rozdělen na jednotlivé scénáře měření, které absolvovala obě vozidla ihned po sobě. Obě vozidla absolvovala předem určenou trasu, která obsahovala všechny stanovené scénáře pro měření. Během celé trasy byla zaznamenávána data vibrací, data hluku z daných měřících zařízení, a také dostupné údaje z OBD záznamu diagnostiky (rychlost a otáčky motoru). Po skončení experimentu byla data zpracována a vyhodnocena. Po vyhodnocení bylo provedeno porovnání naměřených dat pro obě vozidla a následně byl hodnocen komfort obou vozidel působící na člověka sedící uvnitř kabiny vozidla.

4.1. Realizace Experimentu

Jak již bylo zmíněno, pro realizaci experimentu byly stanoveny jednotlivé scénáře měření, při kterých byla zaznamenávána data hluku a vibrací pomocí vybraných měřících zařízení.

4.1.1. Scénáře měření

a) Jízda po kvalitní rovné vozovce konstantní rychlostí

Rychlost: 100 km/h

Místo: Pardubice, Staré Čívce – Kokešov

Opakování: tam a zpět

Cíl: porovnání komfortu vlivem přenášeného hluku do kabiny vozidla při vyšších konstantních rychlostech

b) Jízda přes zpomalovací práh (retardér)

Rychlost: cca 30 km/h

Místo: Globus Parkoviště

Opakování: tam a zpět

Cíl: dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny

c) Jízda přes velké zpomalovací prahy

Rychlost: cca 30 km/h

Místo: Stavařov, Univerzita Pardubice, Dopravní Fakulta

Opakování: tam a zpět

Cíl: dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny

d) Jízda po nerovné vozovce konstantní rychlostí – kostky

Místo: Kaufland, ul. S.K. Neumana

Rychlost: 30–50 km/h

Opakování: tam zpět

Cíl: hlukové a vibrační vlastnosti vozidla při jízdě po nekvalitním povrchu

e) Akcelerace a brždění z 0 rychlosti, vodorovná vozovka

Rychlost: 0–50 km/h

Místo: Letiště Pardubice, příjezdová cesta

Opakování: 2x akcelerace tam, 2x akcelerace zpět

Cíl: porovnání velikosti podélného zrychlení při akceleraci vozidla, hluku a vibrací spalovacího motoru přenášených do kabiny vozidla

f) Akcelerace do stoupání

Rychlost: 0–90 km/h

Místo: Pardubice, Staré Čívice

Opakování: pouze tam

Cíl: porovnání hluku a vibrací spalovacího motoru oproti motoru elektrickému vlivem vyšší zátěže při jízdě do stoupání

Nejprve byly všechny scénáře realizovány a změřeny v rámci jedné jízdy prvním vozidlem Hyundai Kona ICE a následně po výměně měřící techniky byly scénáře realizovány a změřeny v rámci druhé jízdy druhým vozidlem Kona EV.

Jednotlivé jízdy v rámci experimentu byly provedeny po klasické silniční komunikaci za normálního provozu vozidel. Výsledky měření jsou tedy ovlivněny aktuální dopravní situací, v čase měření. Mezi měřením prvního a druhého vozidla tedy nebylo možné zabezpečit stejné podmínky provozu, na pozemních komunikacích. Zejména měření hluku pak bylo ovlivněno pohybem ostatních vozidel.

4.2. Měření hluku uvnitř kabiny vozidla

Měření hluku bylo provedeno podle normy ČSN ISO 5128. Tato norma udává, jak správně měřit hluk uvnitř kabiny vozidla za daných jízdních podmínek a jednotlivých jízdních režimů viz. kapitola 1.

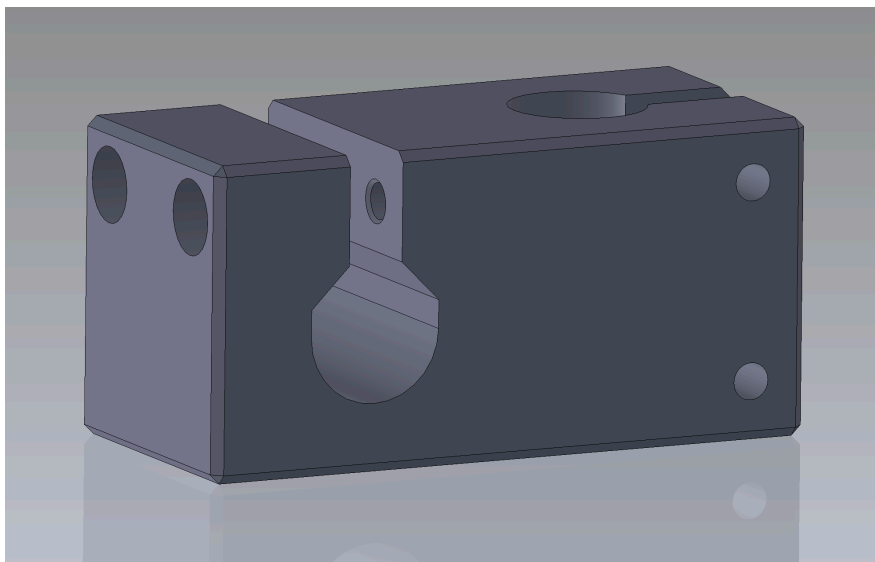
Pro náš experiment byla zvolena varianta pro měření s jedním mikrofonem a sedící osobou na měřeném sedadle. Aby měření bylo relevantní, uvádí norma přímo přesnou polohu, ve které se musí mikrofon při měření nacházet.

Jelikož norma udává přímo specifickou pozici, ve které se musí mikrofon při měření nacházet, bylo zapotřebí navrhnout řešení pomocí kterého by bylo možné mikrofon umístit do požadované pozice. Návrh a realizace tohoto řešení jsou popsány v následující kapitole.

4.2.1. Návrh držáku mikrofonu

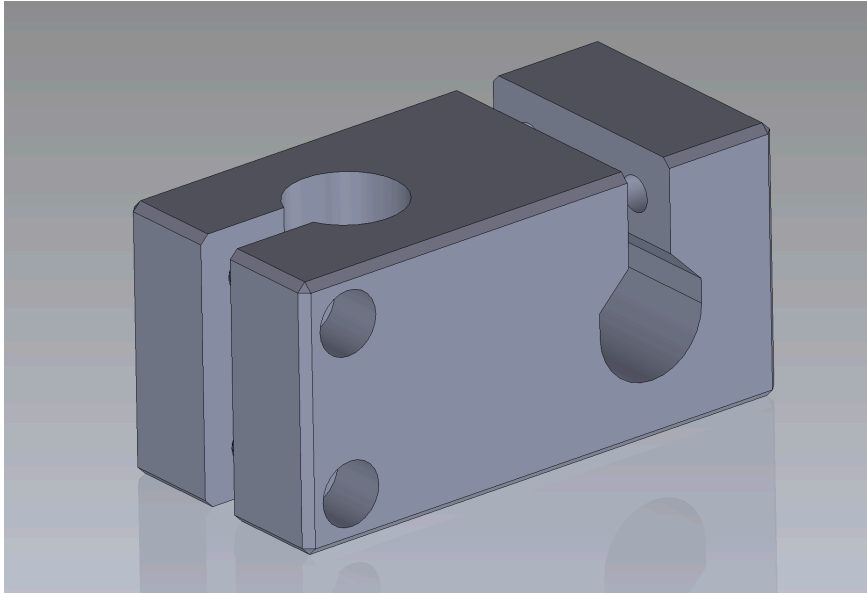
Pro umístění mikrofonu do požadované polohy bylo navrženo řešení pomocí vlastního vytvořeného držáku mikrofonu. Držák se skládá ze 4 ks plastových PETG držáků které byly vytvořeny jako 3D modely pomocí programu Solidworks. Následně byly tyto modely optimalizovány a zhotoveny pomocí 3D tisku.

Konstrukce plastových držáků byla navržena jako jednoduchý hranol, který v sobě má 2 otvory, které plní svou funkci jako svěrné spoje. První 2 ks držáků jsou připevněny pomocí šroubového spoje k hlavové opěrce sedadla řidiče. Dále je skrze tyto držáky také pomocí šroubového spoje připevněna hliníková trubka, na kterou je navázán třetí držák.



obr. 21 - PETG držák pohled 1 (vlastní zdroj)

Třetí držák je připevněn na konec hliníkové trubky také pomocí šroubového spoje. Dále je jeho druhým otvorem prostrčena druhá trubka, která ho spojuje s posledním držákem.



obr. 22 - PETG držák, pohled 2 (vlastní zdroj)

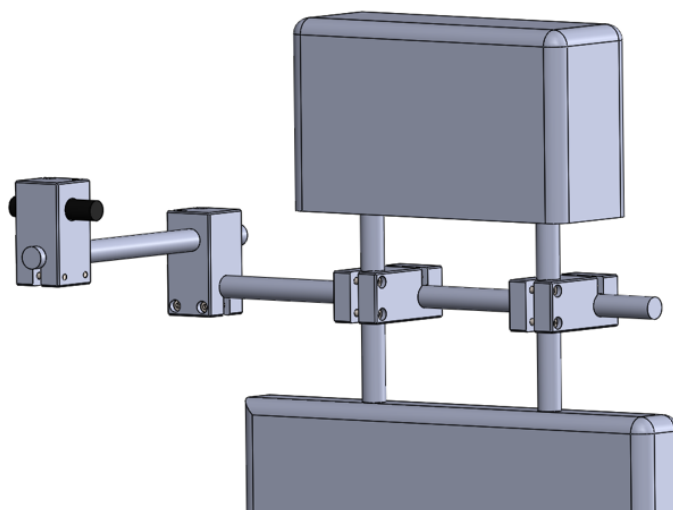
Poslední držák je uchycen na konci druhé hliníkové trubky pomocí šroubového spoje viz obr. 24. V tomto držáku je umístěn mikrofon. Celá konstrukce je navržena tak, aby byla lehce vyrobitelná a aby splňovala požadavky normy. Rozměry hliníkových trubek jsou zobrazeny na obr. 23.

Hliníková trubka 14x2

D (mm)	D1 (mm)	S (mm)	L (mm)
14	10	2	6000

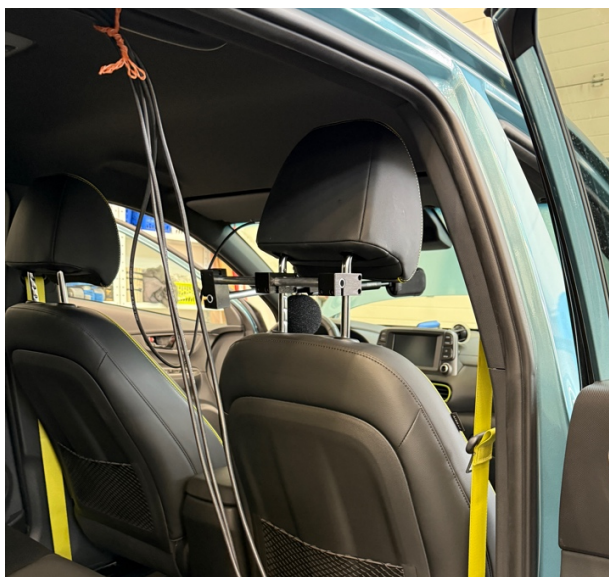
obr. 23 - rozměry hliníkových trubek (vlastní zdroj)

Držák mikrofonu byl tedy zkompletován a celá sestava byla připevněna na sedadlo řidiče uvnitř vozidla. Kompletní návrh sestavy je zobrazen na obr. 24. Výhodou sestavy držáku je jeho variabilita. Všechny 4 ks plastových PETG držáků se mohou volně posouvat po hliníkových trubkách. Možnost nastavení polohy mikrofonu je tedy plně variabilní. Dále se držák může umístit do jakéhokoliv jiného typu vozidla. Vozidlo však musí mít stejný průměr trubek hlavové opěrky na které se držák připevňuje.

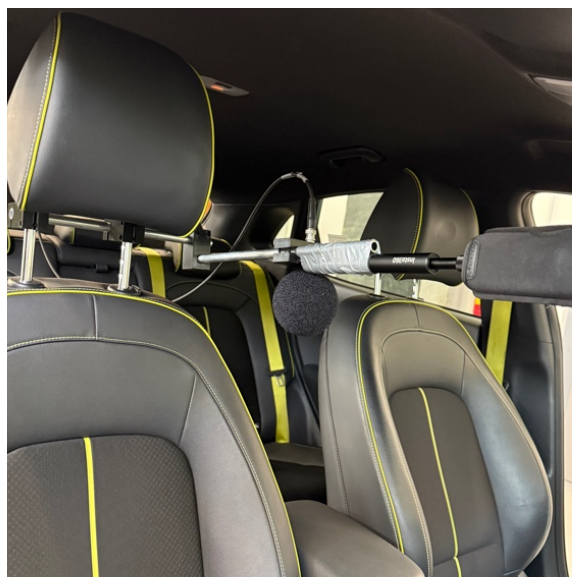


obr. 24 - sestava držáku mikrofonu (vlastní zdroj)

Z důvodu složitějšího zapojení měřicí techniky mikrofonu a zajištění bezpečnosti řízení vozidla byla poloha držáku pro měření přizpůsobena daným podmínkám. Mikrofon byl proto spolu s držákem připevněn na sedadlo spolujezdce, přičemž byly zachovány souřadnice jeho umístění. Reálné umístění ve vozidle při provádění experimentu lze vidět na obr. 25 a 26.



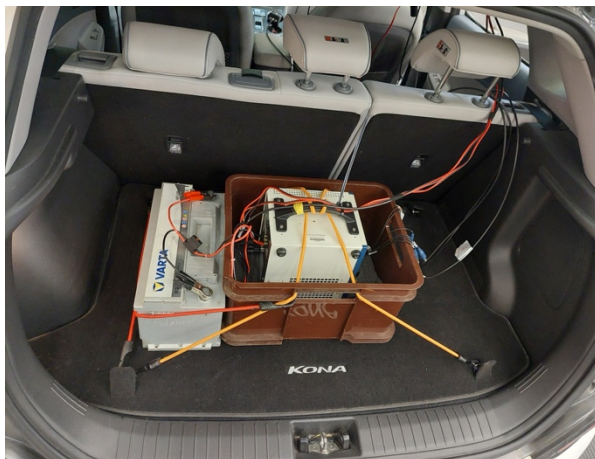
obr. 25 - umístění mikrofonu, zadní pohled (vlastní zdroj)



obr. 26 - umístění mikrofonu, přední pohled (vlastní zdroj)

Umístění držáku mikrofonu s vlastním mikrofonem bylo provedeno v obou vozidlech stejně, z důvodu zachování stejných podmínek pro měření a také aby měření bylo relevantní. K držáku mikrofonu byla pro zpestření záznamů z měření připevněna také 360° kamera, kterou lze vidět na obr. 25 a 26. Pomocí kamery byl prováděn záznam z měření jízd obou vozidel. Po dokončení experimentu byl záznam zkontrolován a bylo bohužel zjištěno, že jsou nahrávky z důvodu špatného nastavení kamery nepoužitelné. Žádný ze záznamů tedy nebyl pro vyhodnocení experimentu použit.

Pro zajištění správného měření hluku pomocí mikrofону bylo dále potřeba zajistit zapojení měřicí ústředny pro sběr dat z mikrofónu. Jediné vyhovující místo pro umístění měřicí ústředny, aby nedocházelo k ovlivnění měření bylo v kufru vozidla. Měřicí ústředna tedy i s vlastním zdrojem energie, kterým byl 12 V akumulátor, byla umístěna do kufru vozidla a připevněna pomocí pružných háků do kotevnicích bodů, aby při měření nedocházelo k jejímu pohybu a nedošlo tak k ovlivnění měření. Umístění a upevnění ústředny lze vidět na obr. 27 a 28.



obr. 27 - Měřicí ústředna Kona EV (vlastní zdroj)



obr. 28 - Měřicí ústředna Kona ICE (vlastní zdroj)

4.3. Měření vibrací

Měření vibrací uvnitř kabiny vozidla bylo prováděno pomocí aplikace Matlab. Jako měřicí zařízení bylo použito mobilní zařízení Iphone 16 Pro. Jelikož mobilní telefon je vybaven všemi potřebnými snímači a senzory pro tento typ měření, je pro naše potřeby mobilní telefon jako měřicí zařízení plně dostačující. Do mobilního zařízení byla nainstalována aplikace Matlab Mobile, která umožňuje zaznamenávat reálná data ze senzorů a snímačů kterými je mobilní zařízení vybaveno. V aplikaci stačí spustit záznam a mobilní zařízení zaznamenává ze senzorů a snímačů data v reálném čase. Po ukončení záznamu se data uloží do logu, který je následně možné nahrát do klasického rozhraní programu Matlab. S daty je poté dále možné plnohodnotně pracovat dle vlastních potřeb.

V prvním kroku bylo potřeba zvážit správné umístění měřicího zařízení, aby naměřená data byla relevantní a co nejvíce přesná. Nejvhodnější pozice pro měření je v těžišti vozidla. Jelikož přesná poloha těžiště ani jednoho z vozidel, na kterých byl experiment proveden není známá, bylo tedy zapotřebí tuto souřadnici dopočítat z jednotlivých kolových sil.

4.3.1. Rozložení hmotnosti vozidel

Aby bylo možné určit příčnou a podélnou souřadnici těžiště vozidel je potřeba znát rozložení hmotnosti vozidla na jednotlivých kolech. Nejjednodušší způsob, jak toto rozložení hmotností zjistit je pomocí nájezdových vah. Obě vozidla byla separátně zvážena a byly zaznamenány hodnoty hmotností na jednotlivých kolech. Vážení vozidla musí být vždy provedeno na kompletně vodorovném povrchu, aby nedošlo ke zkreslení rozložení hmotnosti. Výsledné hodnoty z vážení jsou zobrazeny viz tab. 3 a 4.

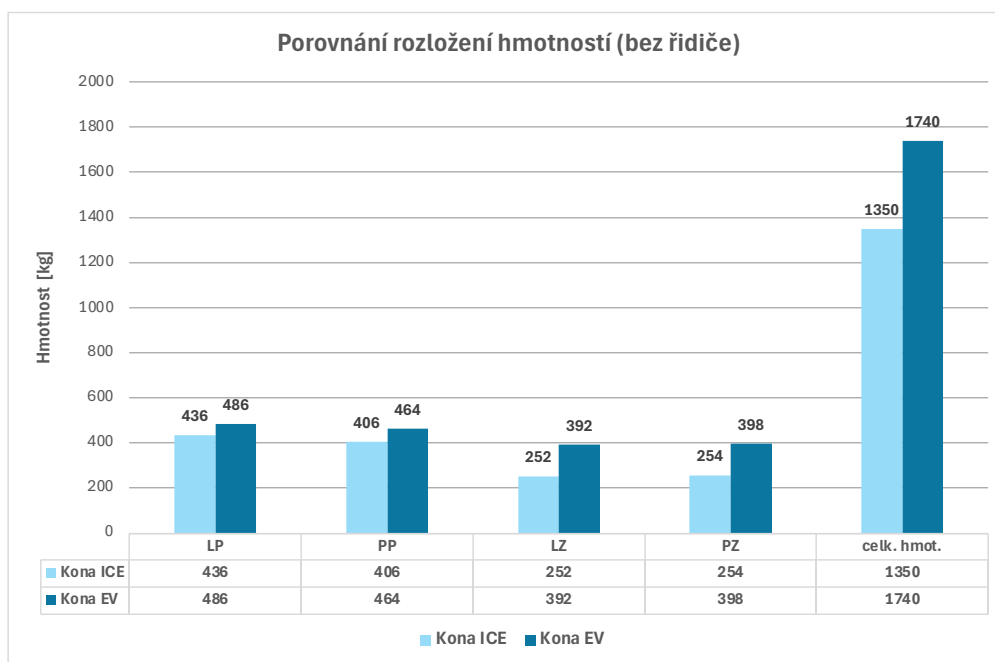
tab. 3 - rozložení hmotnosti na jednotlivých kolech Kona EV (vlastní zdroj)

Váha Automobilu Kona EV při měření		
	bez řidiče	s řidičem
LP	486 kg	522 kg
PP	464 kg	478 kg
LZ	392 kg	430 kg
PZ	398 kg	406 kg
celkem	1740 kg	1836 kg

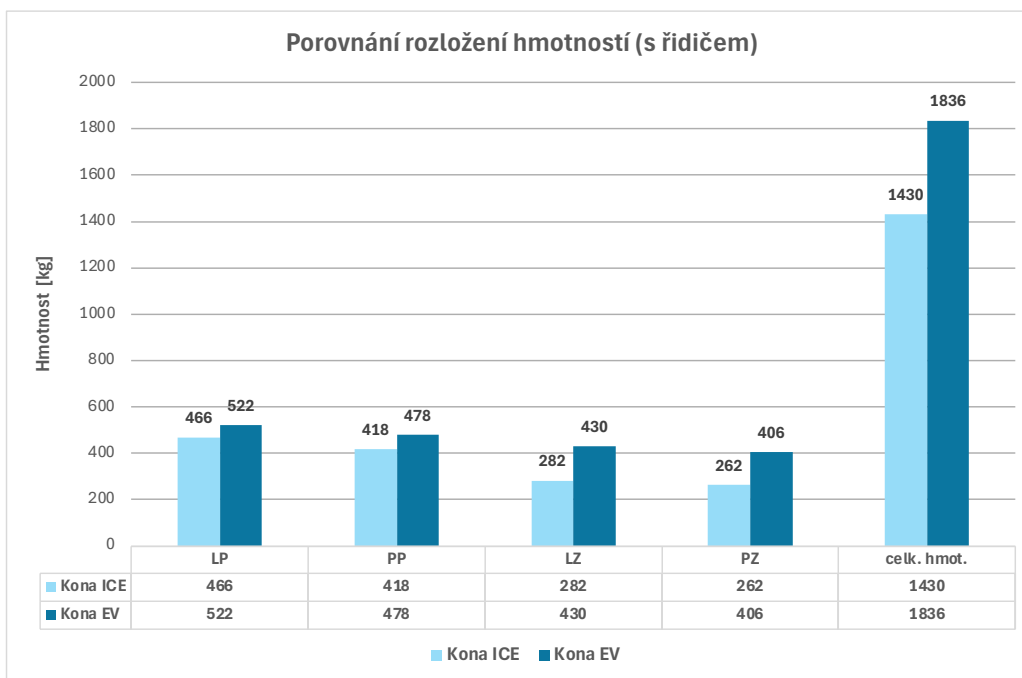
tab. 4 - rozložení hmotnosti na jednotlivých kolech Kona ICE (vlastní zdroj)

Váha Automobilu Kona ICE při měření		
	bez řidiče	s řidičem
LP	436 kg	466 kg
PP	406 kg	418 kg
LZ	252 kg	282 kg
PZ	254 kg	262 kg
celkem	1350 kg	1430 kg

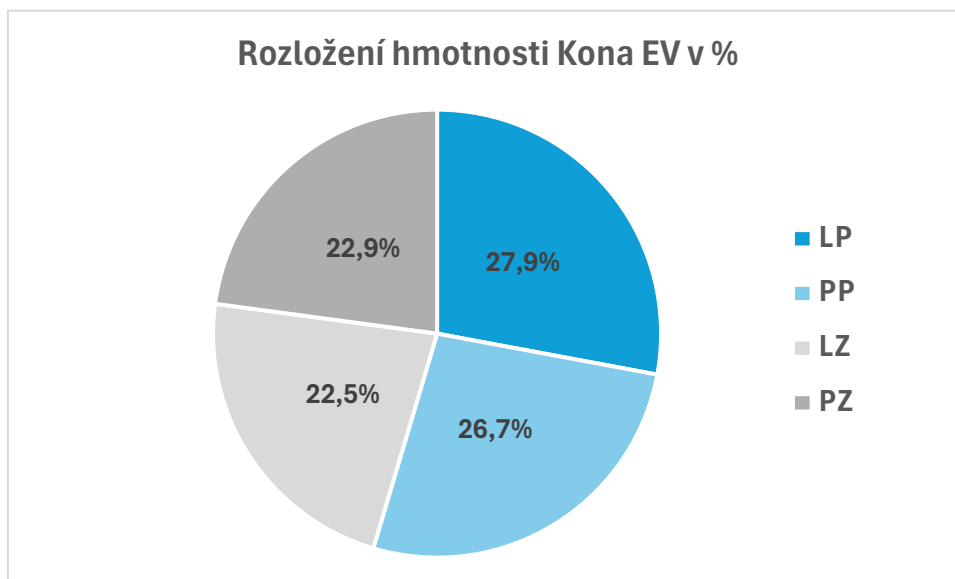
Následně po zvážení vozidel byl proveden rozbor a porovnání naměřených hodnot na jednotlivých kolech obou vozidel. Rozložení hmotností na jednotlivých kolech je graficky znázorněno v grafech obr. 29 a 30.



obr. 29 - rozložení hmotností na kolech neobsazeného vozidla (vlastní zdroj)



obr. 30 - rozložení hmotností na kolech obsazeného vozidla (vlastní zdroj)



obr. 31 - rozložení hmotnosti Kona EV v % (vlastní zdroj)

Ze sloupcového i výšečového grafu jde velmi dobře vidět, že největší rozdíl v rozložení hmotnosti je na kolech zadní nápravy. U porovnání hmotností vozidel bez řidiče je rozdíl hmotností mezi EV a ICE na předních kolech 50 (LP) a 58 (PP) kg. Na kolech zadní nápravy je rozdíl hmotností 140 kg (LZ) a 144 kg (PZ).

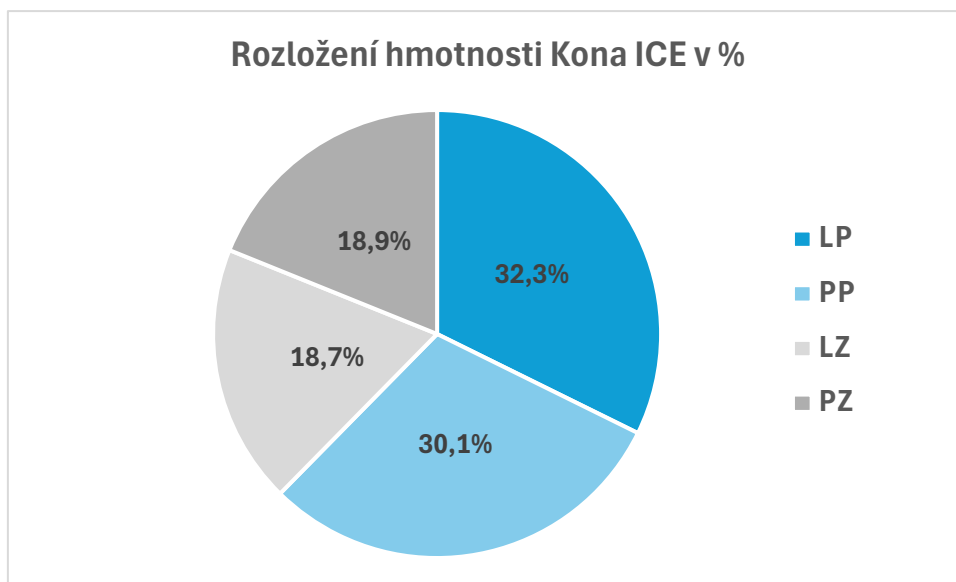
Tento vysoký rozdíl rozložení hmotnosti na zadních kolech je způsobený uložením trakčního akumulátoru v podlaze vozidla na elektrický pohon. Obě vozidla mají téměř stejnou konstrukci karoserie. Mají však jiné uspořádání pohonného ústrojí. U Kona ICE jsou významné komponenty motor a převodovka, které se nachází v přední části automobilu, a palivová a výfuková soustava v zadní části automobilu. Nutno podotknout, že hmotnost palivové nádrže se mění s objemem paliva, v době měření byla naplněna na cca 50 %.

Významnými komponenty u Kona EV je motor a reduktor (v přední části) a trakční akumulátor (uprostřed vozidla).

Na obr. 31 a 32 lze dále vidět % zatížení jednotlivých kol obou vozidel v kg. Pokud se zaměříme na elektrické vozidlo Kona EV, tak z grafu můžeme velmi dobře vidět, že rozložení hmotnosti na jednotlivá kola je v celku dobře vyvážené. Zatížení každého z kol přední nápravy se pohybuje okolo 27 % z celkové hmotnosti vozidla. Přičemž zatížení jednotlivých kol zadní nápravy se pohybuje cca okolo 23 %. Rozdíl zatížení mezi přední a zadní nápravou je tedy pouze cca 4 %.

Pokud se zaměříme na rozložení hmotnosti u spalovací verze vozidla Kona ICE, tak si lze všimnout že zatížení jednotlivých kol přední nápravy je v rozmezí cca od 30 do 33 %. V případě zatížení jednotlivých kol zadní nápravy se hodnoty pohybují okolo cca 19 %.

Z porovnání celkového rozložení vyplývá, že elektrická Kona EV má mnohem lepší rozložení hmotnosti než spalovací Kona ICE. Hlavní faktor, který způsobuje lepší rozložení hmotnosti u elektrické verze je již zmíněný trakční akumulátor, který způsobuje také přetížení kol zadní nápravy.



obr. 32 - Rozložení hmotnosti kona ICE v % (vlastní zdroj)

Pokud se podíváme na rozdíly rozložení hmotnosti u vozidla obsazeného řidičem. Rozdíl na předních kolech je 56 kg (LP) a 60 kg (PP). Tento rozdíl je téměř srovnatelný s rozložením hmotnosti bez řidiče. Jedná se o pouze malou změnu, která způsobila hlavně přetížení LP kola usazením řidiče do vozidla.

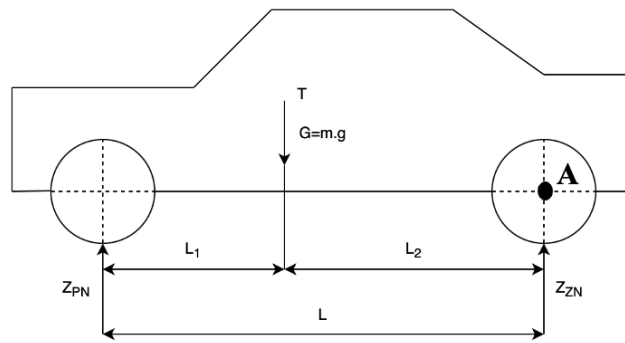
Při zaměření se na celkový rozdíl hmotnosti spalovacího a elektrického vozidla, byl při neobsazených vozidlech řidičem zjištěn rozdíl hmotnosti 390 kg. Vliv na celkový rozdíl obou vozidel má zde opět trakční akumulátor, a to i v situaci, kdy hmotnost pohonné jednotky EV má menší hmotnost než pohonná jednotka ICE. Jedná se (zatím) o největší nevýhodu elektrického vozidla. Aby trakční akumulátor umožňoval deklarovaný dojezd elektromobilu, musí mít dostatečnou kapacitu, která se udává v kWh. U námi experimentovaného vozidla tato kapacita činí 64 kWh. U takto vysoké kapacity je hmotnost trakčního akumulátoru přibližně 452 kg [17], což přibližně odpovídá právě celkovému rozdílu hmotnosti mezi automobily. Energetická hustota článků je 257 Wh/kg, při montáži do battery packu se tato hodnota zhorší na 149 Wh/kg. Dnešní elektromobily dosahují, již hodnoty přes 250 Wh/kg. [28]

Usazení takto těžkého trakčního akumulátoru do podlahy vozidla má naopak několik výhod, které se týkají jízdních vlastností vozidla. Automobil má díky tomu níže položenou výškovou souřadnici těžiště, již zmíněné lepší celkové rozložení hmotnosti, a také může docházet k lepší stabilitě vozidla například při průjezdu směrovým obloukem. U dnešních EV se využívá strukturální konstrukce trakční baterie, tedy konstrukce baterie je nosným prvkem karosérie vozidla. To snižuje jeho celkovou hmotnost.

4.3.2. Výpočet příčné a podélné souřadnice těžiště

Po zjištění rozložení hmotností na jednotlivá kola je zapotřebí znát hlavní rozměry vozidla jako je rozvor náprav (L) a rozchod kol přední (B_{PN}) a zadní nápravy (B_{ZN}). Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 1 a 2. Dále při známosti těchto parametrů je zapotřebí z naměřených hmotností na jednotlivých kolech dopočítat reakce na jednotlivých nápravách. V našem případě tedy na přední (PN) a zadní nápravě (ZN) vozidla. Po vypočtení reakcí lze dopočítat vzdálenosti L_1 a L_2 pomocí kterých se zjistí podélná poloha těžiště viz obr. 33.

POZN: Při provádění experimentu byla obě vozidla obsazena 2 osobami, řidičem a spolujezdcem. Dále se při experimentu ve vozidle nacházela měřící technika s vlastním zdrojem energie (akumulátor). Celková hmotnost obou vozidel byla při měření experimentu lehce vyšší. Z časových důvodů nebylo možné již vozidla znovu zvážit. Proto byl výpočet těžiště uvažován pro vozidlo ve verzi obsazení jednou osobou.



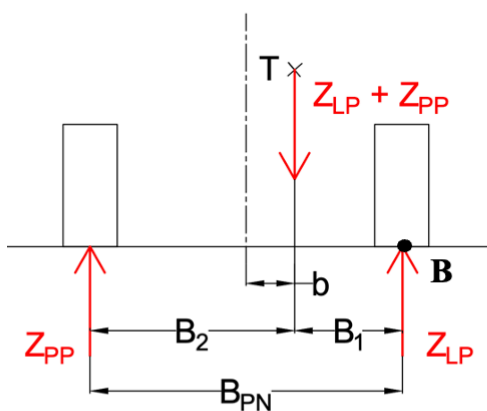
obr. 33 - Schéma pro výpočet polohy těžiště (vlastní zdroj)

$$\sum_{i=1}^n M_{iA} = 0; Z_{PN} \cdot L - G \cdot L_2 = 0 \Rightarrow L_2 = \frac{Z_{PN} \cdot L}{G} \quad (20)$$

$$L_1 = L - L_2 \quad (21)$$

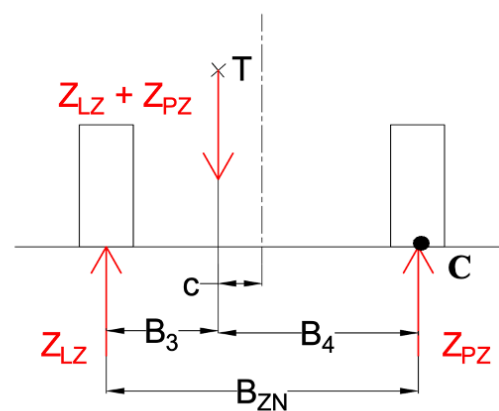
Po výpočtu podélné souřadnice těžiště jednotlivých vozidel je v dalším kroku zapotřebí vypočítat také příčnou polohu těžiště v místě jednotlivých náprav. Pro výpočet příčné souřadnice je dále potřeba dopočítat reakce na jednotlivých kolech na daných nápravách. Následně jsou již tyto reakce známe a lze tak již dopočítat příčné polohy těžiště v místě jednotlivých náprav. Výpočet jednotlivých reakcí a příčných poloh je znázorněn viz obr. 34 a 35 a dle vztahů 22 a 23.

PŘEDNÍ NÁPRAVA



obr. 34 - Reakce na PN (vlastní zpracování)

ZADNÍ NÁPRAVA



obr. 35 - reakce na ZN (vlastní zpracování)

$$\sum_{i=1}^n M_{iB} = 0; Z_{PP} \cdot B_{PN} - (Z_{LP} + Z_{PP}) \cdot B_1 = 0 \Rightarrow B_1 = \frac{Z_{PP} \cdot B_{PN}}{Z_{LP} + Z_{PP}} \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iC} = 0; Z_{LZ} \cdot B_{ZN} - (Z_{LZ} + Z_{PZ}) \cdot B_4 = 0 \Rightarrow B_4 = \frac{Z_{LZ} \cdot B_{ZN}}{Z_{LZ} + Z_{PZ}} \quad (23)$$

Hodnoty příčné polohy těžiště na daných nápravách a podélné polohy těžiště pro vozidlo Kona EV i vozidlo Kona ICE jsou vyobrazeny v následujících tabulkách 5 a 6.

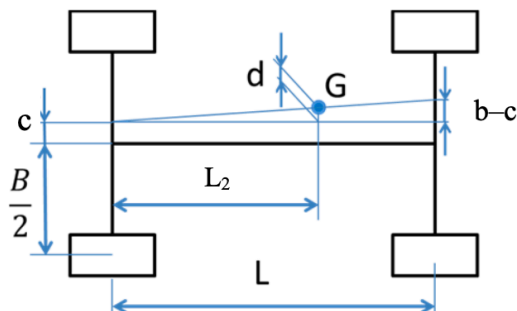
tab. 5 - Poloha těžiště Hyundai Kona EV (vlastní zpracování)

Podélné těžiště [mm]		Příčné těžiště v ose PN [mm]		Příčné těžiště v ose ZN [mm]	
L	2600	B _{PN}	1575	B _{ZN}	1584
L ₁	1184	B ₁	753	B ₃	769
L ₂	1416	B ₂	822	B ₄	815
Kona EV		b	34,5	c	23

tab. 6 - Poloha těžiště Hyundai Kona ICE (vlastní zpracování)

Podélné těžiště [mm]		Příčné těžiště v ose PN [mm]		Příčné těžiště v ose ZN [mm]	
L	2600	B _{PN}	1563	B _{ZN}	1572
L ₁	993	B ₁	739	B ₃	757
L ₂	1607	B ₂	824	B ₄	815
Kona ICE		b	42,5	c	29

Pokud známe podélnou polohu těžiště a zároveň obě příčné polohy těžiště v místech jednotlivých náprav, můžeme v poslední části vypočítat konečnou polohu příčné souřadnice těžiště z hodnot příčné polohy těžiště přední nápravy a příčné polohy těžiště zadní nápravy. Výpočet přesné polohy těžiště se vypočítá z podobnosti trojúhelníků, který je znázorněn na obr. 36 a vypočten v následujícím kroku dle vztahu 24.



obr. 36 - přesná příčná poloha těžiště [11]

$$d = \frac{L_2 \cdot (b - c)}{L} + c \quad (24)$$

d = 29,26 mm... pro Kona EV

d = 37,34 mm... pro Kona ICE

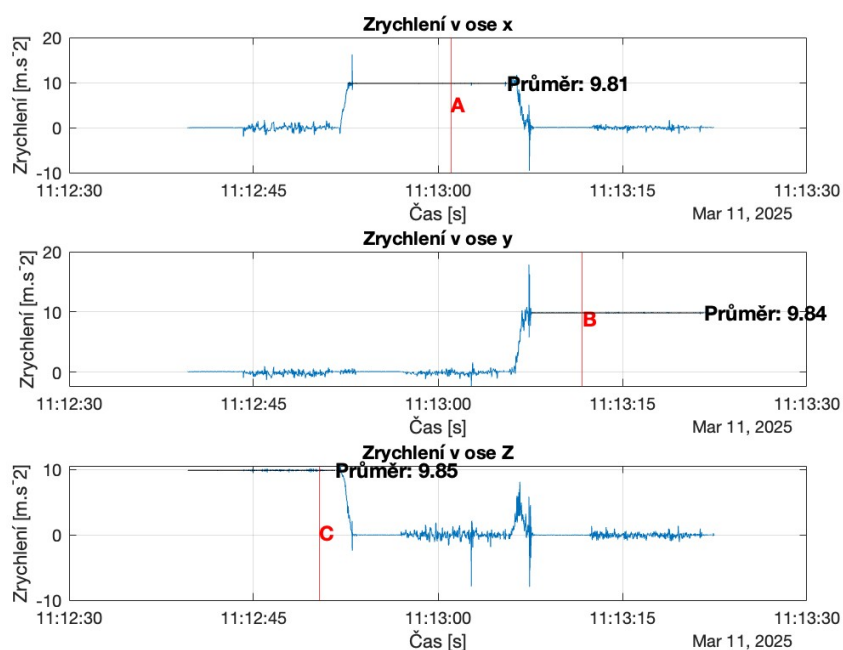
4.3.3. Reálné umístění měřícího zařízení

Aby bylo měření vibrací co nejvíce přesné a naměřená data mohla být co nejlépe vyhodnocena, měla by být poloha pro umístění měřícího zařízení přesně ve vypočteném těžišti každého z vozidel. Jelikož obě zvolená vozidla, která byla podrobena experimentu mají jinak uspořádaný středový panel uvnitř kabiny vozidla, bylo potřeba upravit umístění měřícího zařízení dle dané konstrukce středového panelu obou z vozidel. Těžiště u obou vozidel se nachází právě v oblasti středového panelu. Měřící zařízení tedy bylo připevněno v obou případech vozidel do místa v oblasti středové konzole tak, aby se nacházelo v nejlepší možné poloze, která přibližně odpovídala souřadnicím těžiště daného vozidla.

4.3.4. Vlastní měření vibrací

Před vlastním měřením a upevněním měřícího zařízení do polohy těžiště bylo nutné provést kalibraci snímačů v měřícím zařízení. Každé mobilní zařízení má odlišné vlastní nastavení snímačů a je tedy zapotřebí zjistit jaké nastavení mělo právě vybrané měřící zařízení pro realizaci experimentu a případně jej správně nastavit pro potřeby vlastního měření. V první části byla provedena kalibrací snímače zrychlení. Pomocí této kalibrace bylo zjištěno, jak má vybrané měřící zařízení nastavený souřadný systém. Kalibrace byla provedena jednoduchým způsobem a to tak, že mobilní zařízení bylo umístěno do tří různých poloh, které k sobě byly vzájemně kolmé, současně byla sledována velikost gravitačního zrychlení, které jak je již známo činní $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Měřící zařízení bylo tedy postupně přemístěno do zvolených poloh a bylo sledováno v které poloze se na dané ose zobrazuje právě gravitační (tíhové) zrychlení. Následně byly zjištěny potřebné směry os a také jejich smysl. Kalibraci zrychlení na jednotlivých osách můžeme vidět na následujícím obr. 37.

Kalibrace snímačů zrychlení



obr. 37 - kalibrace snímače zrychlení (vlastní zdroj)

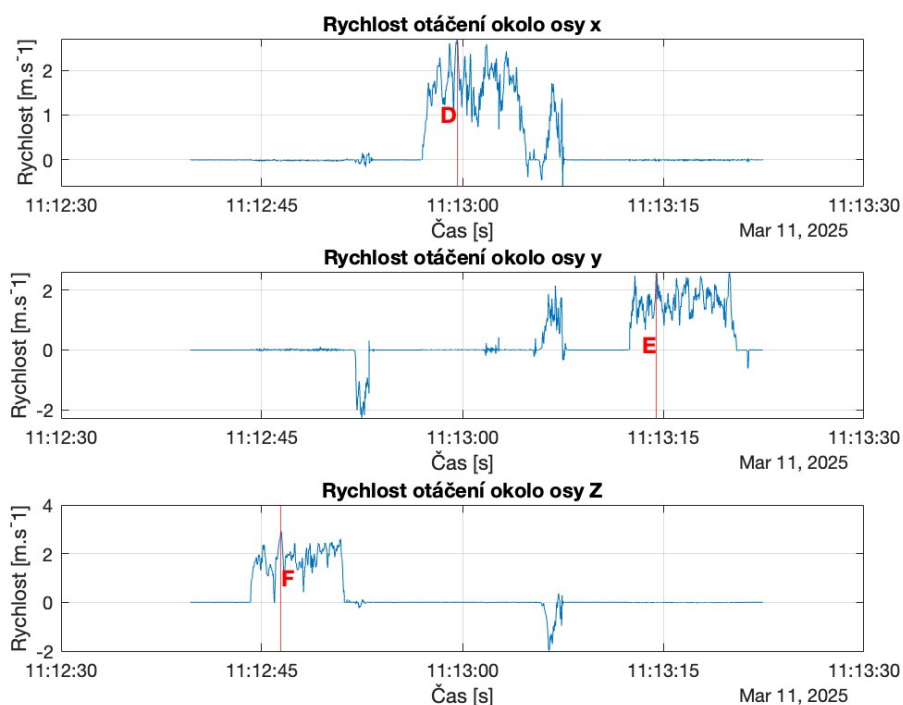
Na obr 37. lze velmi dobře vidět tíhové zrychlení g , které činí $(9,81 \text{ m.s}^{-2})$ na jednotlivých osách. V první části bylo měřicí zařízení umístěno do polohy vodorovně s podložkou. V tomto případě můžeme vidět na ose Z právě tíhové zrychlení g , které je značeno červenou svislou přímkou a písmenem C. V druhé části bylo měřicí zařízení otočeno do svislé polohy k podložce. Tuto změnu můžeme vidět na ose X, kde u červené svislice A vidíme opět tíhové zrychlení g . V třetí části bylo měřicí zařízení otočeno o 90 stupňů doleva, což můžeme vidět na ose Y, kde na červené svislici B vidíme opět tíhové zrychlení g . Případně podrobné vysvětlení tíhového zrychlení na jednotlivých osách je znázorněno v tabulce 7.

tab. 7 - zrychlení v jednotlivých osách (vlastní zdroj)

	Zrychlení X	Zrychlení Y	Zrychlení Z
A	0	g	0
B	g	0	0
C	0	0	g

Kalibrace rychlosti rotace okolo jednotlivých os

Po kalibraci snímače zrychlení byla dále provedena kalibrace rychlosti natočení okolo jednotlivých os. Tato kalibrace je znázorněna podrobně na obr.38.



obr. 38 - kalibrace rychlosti otáčení okolo jednotlivých os (vlastní zdroj)

Postup kalibrace rychlosti rotace okolo jednotlivých os byl prováděn stejným způsobem jako při kalibraci zrychlení s tím rozdílem, že měřící zařízení bylo v jednotlivých polohách otáčeno určitou rychlostí okolo měřících os. V první části bylo zařízení otáčeno okolo osy Z, což lze vidět na svislici F. Rychlost rotace při kalibraci zde byla cca 2 m.s^{-1} . V druhé části bylo měřící zařízení otáčeno okolo osy X, což lze vidět na svislici D. Rychlost rotace zde byla cca mezi $1\text{--}2 \text{ m.s}^{-1}$. V poslední části bylo měřící zařízení otáčeno okolo osy Y, což můžeme vidět na svislici E. Rychlost rotace zde byla opět cca 2 m.s^{-1} . Na signálech dále můžeme vidět další výkyvy rychlosti mimo červené svislice. Jedná se pouze o výkyvy rychlosti při změnách polohy zařízení vůči podložce při kalibraci. Případný další popis je znázorněn v tabulce 8.

tab. 8 - rotace okolo jednotlivých os (vlastní zdroj)

	Rotace X	Rotace Y	Rotace Z
D	>0	0	0
E	0	>0	0
F	0	0	>0

5. Vyhodnocení naměřených dat a diskuse nad výsledky

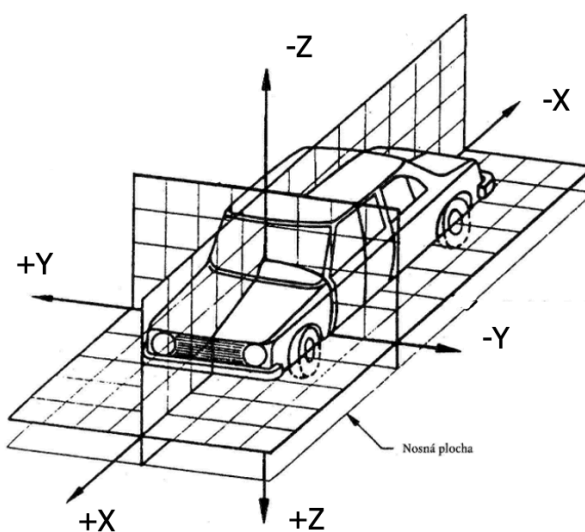
V rámci experimentu byly provedeny dvě testovací jízdy porovnávaných vozidel po předem určené trase. Během jízdy byla naměřena vybraná data za účelem porovnání komfortu mezi oběma vozidly. Naměřená data byla následně přepočtena, upravena a rozdělena do stanovených scénářů měření. V jednotlivých scénářích byla dále data všech měřených veličin synchronizována na jednotný čas.

Každý scénář se zabývá porovnáním a hodnocením měřených veličin při daných jízdních podmínkách mezi oběma typy vozidel. Při hodnocení vibrací byla porovnáována RMS hodnota zrychlení v jednotlivých osách X, Y, Z. Při hodnocení hluku byly porovnávány ekvivalentní hladiny akustického tlaku a jejich výsledná ekvivalentní hladina za celkový porovnávaný časový úsek. Při vyhodnocení byl na hluková data aplikován váhový filtr typu A. Dodatečně byly také zaznamenávány další veličiny (poloha vozidel, rychlost, otáčky motoru, naklonění karoserie...) pro podporu vyhodnocení dat. V každé části experimentu byly porovnávány vždy takové úseky, ve kterých měla obě vozidla stejné vstupní parametry naměřených dat, nebo alespoň co nejvíce podobné. Tedy stejná poloha, stejná měřená rychlost, stejná kvalita povrchu vozovky a také stejné hlukové podmínky. Ne vždy však byly tyto podmínky z důvodu působení okolních vlivů naprosto srovnatelné. Jednotlivé scénáře a jejich hodnocení je podrobně popsáno v následujících podkapitolách.

5.1. Souřadný systém

Pro správné vyhodnocení dat je velmi důležité si nejdříve stanovit souřadný systém, podle kterého budou data vyhodnocována. Pokud je měření dat realizováno více než jedním snímačem, může dojít k záměně souřadných systémů a tím pádem k chybnému vyhodnocení. Je tedy potřeba si všechna data synchronizovat na jeden stanovený souřadný systém.

Po dokončení měření byla tedy všechna data zkontrolována a případně synchronizována do souřadného systému který je zobrazen na následujícím obr. 39. Všechna naměřená data ve všech stanovených scénářích se tedy řídí tímto souřadným systémem.



obr. 39 - stanovený souřadný systém [29]

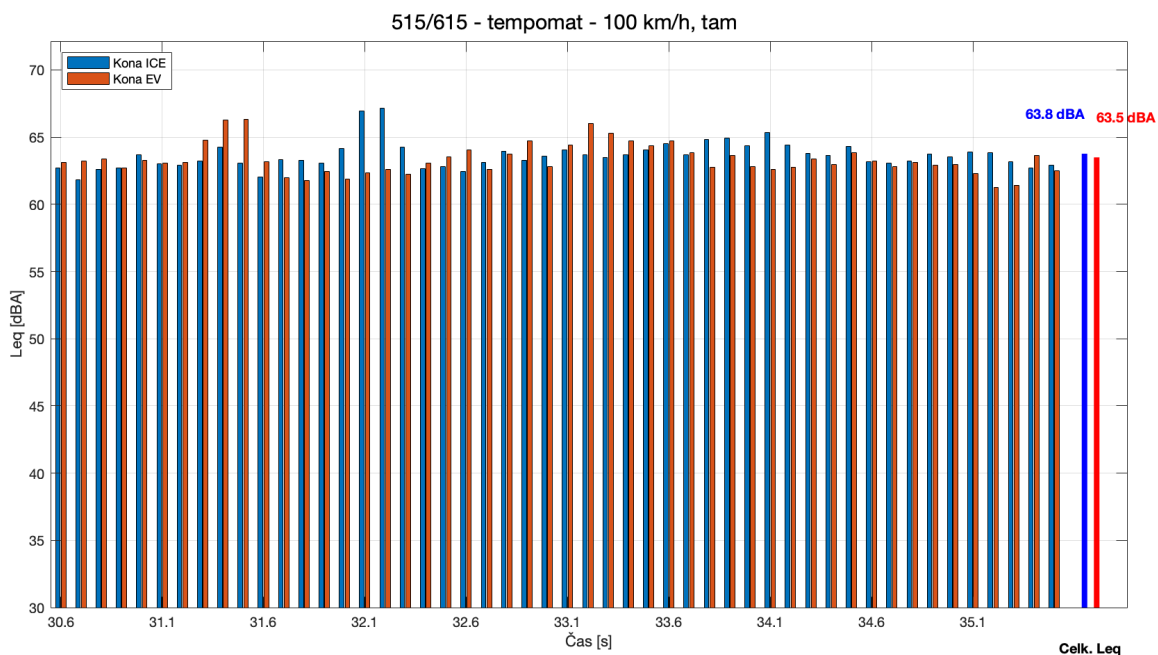
5.2. Jízda po kvalitní rovné vozovce konstantní rychlostí

Cílem experimentu bylo zjistit porovnání komfortu vlivem přenášeného hluku do kabiny vozidla při vyšších konstantních rychlostech po kvalitní rovné vozovce.

Provedení experimentu bylo uskutečněno v krajní části města Pardubice po silnici I. třídy v oblasti Staré Čívce – Kokešov. Rychlost vozidel byla stanovena na 100 km/h. V rámci experimentu byly provedeny dvě jízdy stejným úsekem tam a zpět. Provozní podmínky experimentu byly pro obě vozidla stejné.

Výsledné grafy naměřených dat hluku v přílohách č. 515/615 a 516/616

5.2.1. Posouzení hluku



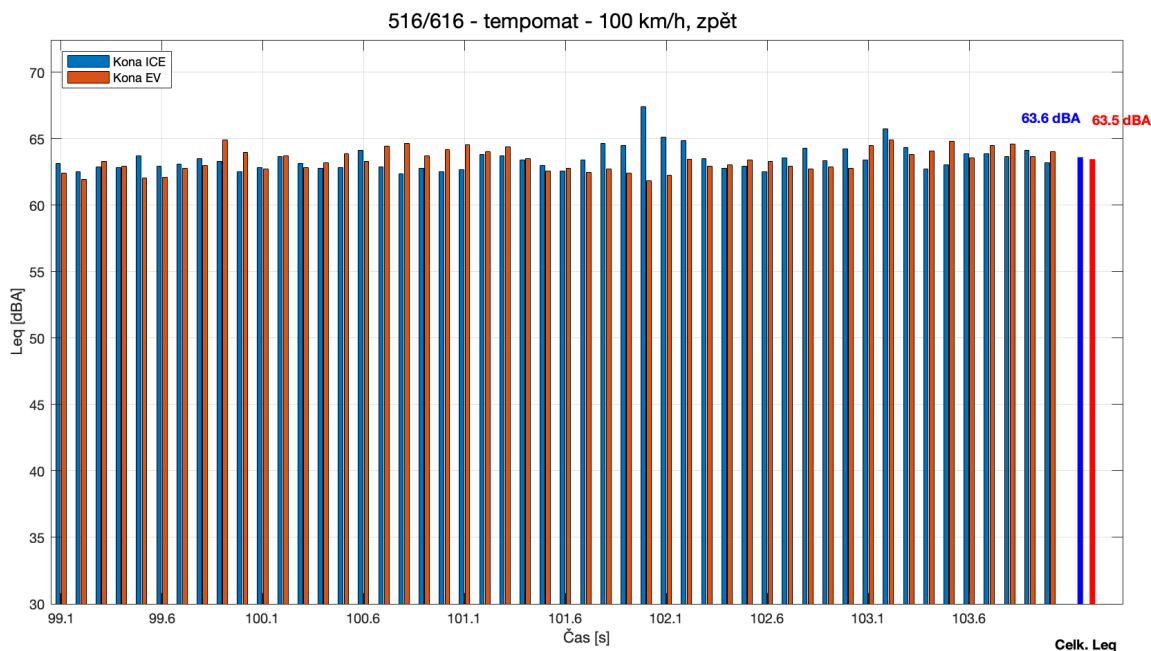
obr. 40 - Leq – hluk – scénář 515/615, tam

Na obr. 40 je vidět porovnání ekvivalentní hladiny hluku obou vozidel při první jízdě. Cílem bylo dosáhnout konstantní rychlosti 100 km/h. Tempomat ve vozidlech byl nastaven na tuto rychlost, ale vlivem odchylky tachometru byla dosažena rychlost cca 92 km/h.

Z výsledků je patrné, že obě vozidla vykazují v celém intervalu přibližně stejné hladiny hluku. V určitých částech vyazuje vyšší hladiny spalovací verze ICE a jiných částech zas verze EV. Hodnoty Leq u obou verzí dosahují pravidelně nad 60 dBA, přičemž v některých úsecích se blíží, nebo překračují 65 dBA. V časovém intervalu (31–32 s) si lze všimnout zvýšených hladin u obou vozidel, způsobených nejspíše přejezdem nerovností na vozovce. Další možností je hluk od míjení protijedoucích vozidel.

Na konci grafu jsou zobrazeny celkové (souhrnné) hodnoty Leq za celý sledovaný úsek, které činí 63,8 dBA pro variantu ICE a 63,5 dBA pro variantu EV. Rozdíl 0,3 dBA je však velmi malý a z hlediska lidského sluchu prakticky nevnímatelný. Za běžně slyšitelnou změnu hladiny hluku se obecně považuje rozdíl alespoň 3 dBA.

Z hlediska subjektivního vnímání může být však EV vnímána jako komfortnější, a to díky rovnoměrnějšímu průběhu hluku bez výrazných špiček. Tento efekt může být důsledkem absence převodovky, výfukového systému a dalších již zmíněných mechanických prvků typických pro spalovací pohony. Významný vliv na výsledné hodnoty však může mít také typ povrchu vozovky, aerodynamický šum a vlastnosti pneumatik, které byly na každém z vodidel jiné (obojí však zimní).



obr. 41 - Leq – hluk – scénář 516/616, zpět

Na obr. 41 je vidět jízda opačným směrem. Zobrazená data byla účelně vybrána pro lehce jiný úsek než v první jízdě. Výsledky jsou ale v celku velmi podobné se stejným charakterem, až na jednu výjimku v časovém úseku (101,6 – 102,6 s). Zde můžeme vidět, že hodnota Leq u ICE přesahuje opět výrazněji 65 dBA. Tento výkyv je zde nejspíše opět způsoben přejetím nerovnosti (výmolu) na vozovce, kterému se při jízdě elektrickou verzí podařilo úspěšně vyhnout. Na konci grafu jsou opět zobrazeny celkové (souhrnné) hodnoty Leq za celý sledovaný úsek, které činí 63,6 dBA pro variantu ICE a 63,5 dBA pro variantu EV. Rozdíl 0,1 dBA je prakticky zanedbatelný a z hlediska lidského sluchu nevnímátný.

Závěrem lze tedy konstatovat, že za zvolených podmínek testu je rozdíl v celkové hladině hluku mezi oběma vozidly minimální. Do celkového Leq se sice u spalovací verze propisuje hluk od spalovacího motoru, ale při vyšších rychlostech tento hluk převýší spíše aerodynamický šum, který má v těchto rychlostech na Leq největší podíl. V celkovém důsledku je tedy výsledný hluk velmi podobný u obou vozidel.

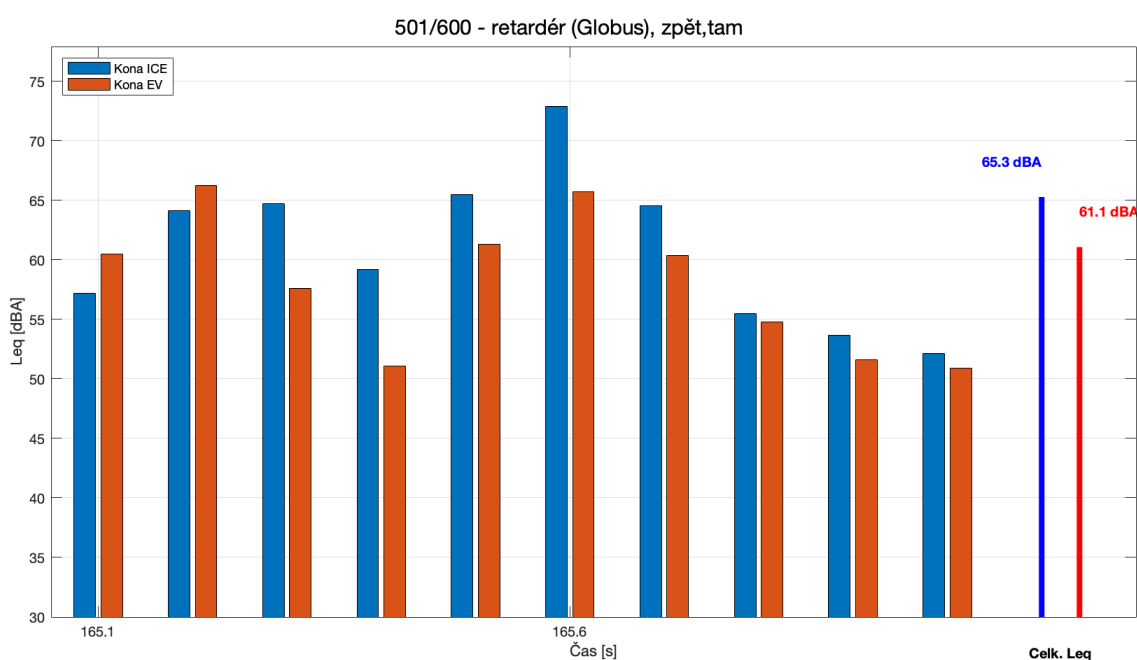
5.3. Jízda přes zpomalovací práh (retardér)

Cílem experimentu bylo zjistit dynamickou odezvu obou vozidel s ohledem na jejich hmotnost a přenos hluku do kabiny při přejezdu retardéru. Měření bylo provedeno v části Pardubice – Globus parkoviště, kde se nachází ideální příčný práh neboli retardér. Rychlost přejezdu prahu byla stanovena na přibližně 30 km/h. Byla provedena dvě měření, pro každý vůz vždy jízda tam a jízda zpět.

Výsledné grafy naměřených dat hluku a vibrací v příloze č. 501/601

5.3.1. Dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny

Hodnocení přenosu hluku do kabiny:



obr. 42 - Leq – hluk – scénář 501/600, zpět, tam

Na obr. 42 je vidět porovnání ekvivalentních hladin hluku při přejezdu oběma vozidly přes retardér. Pro porovnání byly vybrány průjezdy s obdobnou rychlostí. Tedy pro ICE se jedná o rychlost 27 km/h a pro EV 24 km/h viz příloha č. 501/601. Ostatní průjezdy měly větší rozdíl v rychlostech, vlivem provozu. Při přejezdu vozidlo Kona ICE dosahovalo vyšších hladin hluku po celou dobu sledovaného úseku. Nejvyšší Leq dosáhla až 73 dBA, zatímco Kona EV se pohybovala výrazně níže, maximálně kolem 65 dB. Celková (souhrnná) ekvivalentní hladina hluku za celý úsek činila u Kona ICE 65,3 dBA a u Kona EV 61,1 dBA. Rozdíl 4,2 dB je při přejezdu již významný a z hlediska působení na lidský sluch dobře slyšitelný.

Elektrická verze vozidla Kona EV vykazuje během přejezdu retardéru znatelně nižší hlukovou zátěž než její spalovací varianta. Větší přenos hluku do kabiny vozidla u spalovací verze Kona ICE je nejspíše způsoben horším odhlučněním podvozkových částí oproti elektrické verzi Kona EV. Vliv na odhlučnění také může mít umístění trakčního akumulátoru v podlaze elektrického vozidla, který vlivem svého umístění a rozměry dokáže také pohltit hluk.

Dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost:

Graf celkových dat viz příloha č. 501/600

Akustický signál

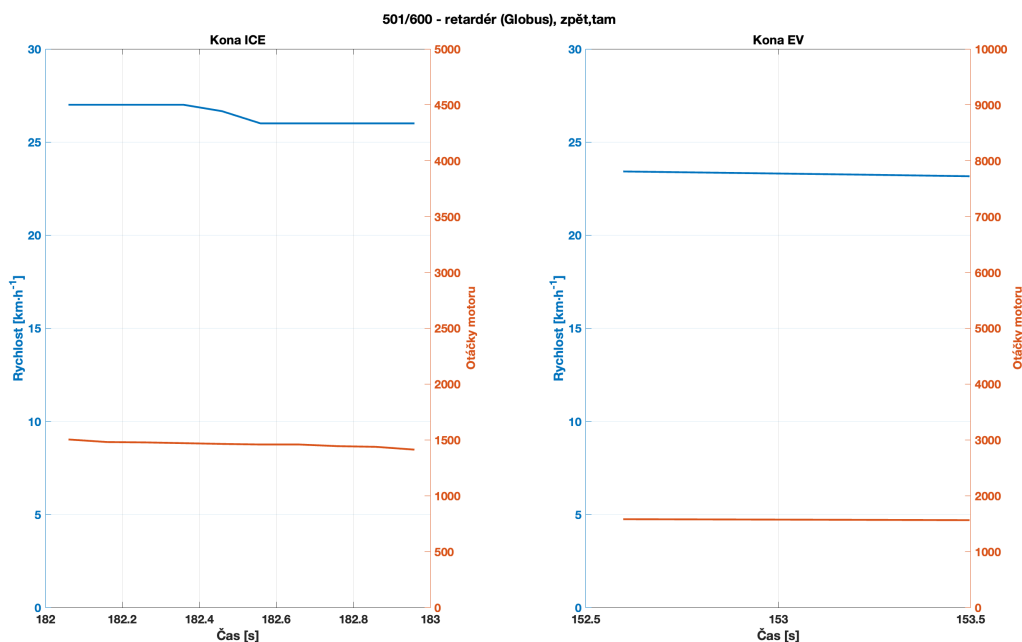
Při přejezdu nerovnosti se u vozidla Kona ICE v průběhu přejezdu objevují výrazné špičky a výkyvy akustického tlaku, zejména kolem času 165,5 s, které souvisejí s tvrdší odezvou podvozku při přejezdu nerovnosti. Naproti tomu zvukový záznam z vozidla Kona EV působí celkově hladším dojmem s nižšími amplitudami. Tento výsledek potvrzuje předchozí tvrzení při porovnávání ekvivalentních hladin hluku.

Zrychlení ve směru X, Y, Z

Zrychlení ve směru jízdy (osa X, modře) vykazovalo u vozidla Kona ICE vyšší hodnoty a prudší výkyvy, zatímco Kona EV se vyznačovala plynulejším průběhem s nižší amplitudou, což značí méně intenzivní reakci na retardér. Ve svislé ose Z (žlutě), která odpovídá vertikálním nárazům karoserie, jsou u spalovací verze patrné mírně vyšší špičky než u elektrické varianty. Naopak v ose Y (červeně), která je kolmá ke směru jízdy, a souvisí tak s bočním rozkýváním karoserie, nebyly u žádného z vozidel zaznamenány extrémní výkyvy, přičemž průběh u EV verze opět působil vyrovnaněji.

Úhlová rychlost natočení karoserie

Největší pozornost byla věnována natočení kolem osy Y – tedy „houpání“ vozidla při přejezdu přes retardér. U modelu ICE se projevila jedna dominantní špička, která značí náhlé zhroupení, zatímco u EV verze byly zaznamenány četnější, avšak méně intenzivní výkyvy. To může být nejspíše důsledkem rovnoměrnějšího rozložení hmotnosti a efektivnějšího tlumení elektromobilu. Rozdíl může být dán i stavem tlumičů obou vozidel, ale ten nebylo možné ověřit. Rotační pohyby kolem os X (modře) a Z (žlutě) byly v obou případech méně výrazné, ale i zde působil záznam EV verze klidnějším dojmem.



obr. 43 - rychlost a otáčky motoru vozidel

Na obr. 43 je vidět rychlost a otáčky motoru obou vozidel při přejezdu nerovnosti v obou směrech. Z důvodu hustého provozu nebylo možné v rámci experimentu přejet přes příčný práh zcela stejnou rychlostí. Vozidlo Kona ICE při jízdě zpět měla rychlost přibližně 27 km/h, přičemž Kona EV při jízdě tam pouze 24 km/h. Z výsledků obou směrů přejezdu je zřejmé, že vozidlo Hyundai Kona EV vykazuje nižší akustickou i dynamickou odezvu ve srovnání s variantou se spalovacím motorem. Rozdíly jsou patrné ve všech sledovaných charakteristikách – zvukovém signálu, zrychlení i rotaci karoserie. Kona EV se v tomto scénáři jeví ve všech případech jako lepší, ale pokud by rychlost přejezdu retardéru byla přibližně stejná, rozdíl hodnot by byl rozhodně menší. Rychlost přejezdu retardéru má totiž na hluk i dynamickou odezvu velký vliv.

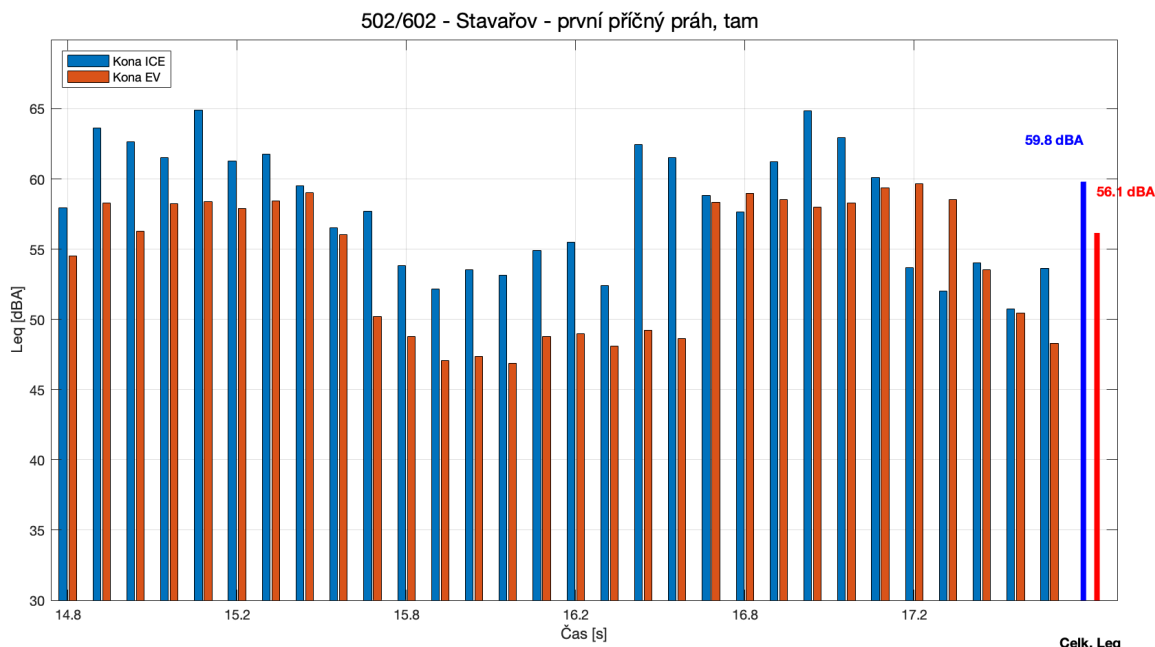
5.4. Jízda přes příčné prahy

Cílem experimentu bylo opět porovnání dynamické odezvy obou vozidel s ohledem na jejich hmotnost a přenos hluku do kabiny přes příčné přejezdy, které mají specifický tvar vhodný právě pro hodnocení zvolených veličin. Měření bylo provedeno v ulici Studentská v městské části Pardubice – (Stavařov) – u Dopravní fakulty Jana Pernera. Rychlost přejezdu byla stanovena na 30 km/h. Byla provedena dvě měření, jízda tam a jízda zpět.

Grafy celkových dat viz přílohy č. 502/602 a 505/605

5.4.1. Dynamická odezva vozidla s ohledem na hmotnost, přenos hluku do kabiny

Hodnocení přenosu hluku do kabiny:

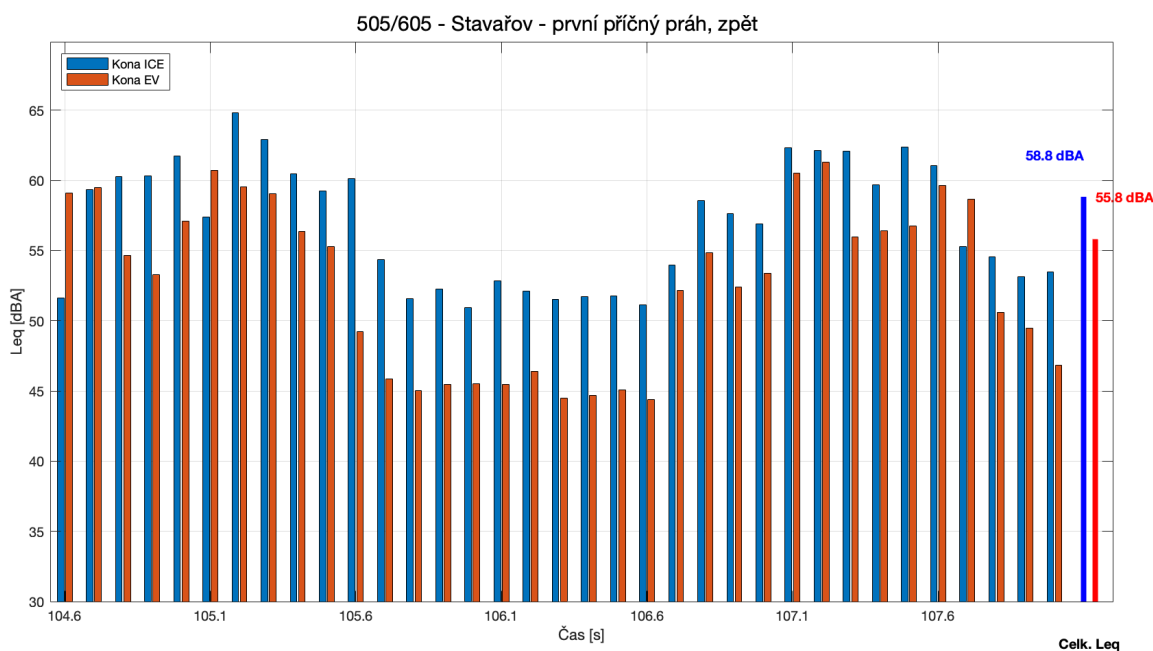


obr. 44 - Leq – hluk – scénář 502/602, zpět

Na obr. 44 je vidět porovnání ekvivalentních hladin hluku při přejezdu příčného prahu při první jízdě. Z průběhu je patrné, že vozidlo Kona ICE vykazuje ve většině případů vyšší hladiny hluku než jeho elektrická varianta. Zatímco v první oblasti (14,9–15,1 s) dosahuje ICE Leq až k hodnotám 65 dBA, u EV ve stejných segmentech zůstávají hladiny pod hodnotou 65 dBA. V úsecích mezi 15,7–16,3 s pak dochází k poklesu hladin hluku u obou vozidel, přičemž rozdíl mezi nimi je stále výrazný.

Ve druhé polovině přejezdu (16,5–17,6 s) dochází opět k nárůstu hlukové zátěže, přičemž ICE si udržuje náskok několika decibelů téměř po celou dobu. Na konci záznamu po 17 s si lze všimnout nárůstu Leq naopak u elektrické verze vozidla. Jedná se o oblast sjezdu z příčné nerovnosti. Celková ekvivalentní hladina hluku (souhrnný Leq za celý přejezd) činí 59,8 dBA pro ICE a 56,1 dB pro EV, což znamená rozdíl 3,7 dBA ve prospěch elektromobilu. Zvýšení Leq u elektrické verze v konečné části sjezdu nemělo tedy na celkový Leq příliš velký vliv. Rozdíl 3,7 dBA je zde opět z hlediska lidského vnímání rozpoznatelný, protože běžně slyšitelný rozdíl začíná už kolem již zmíněných 3 dB.

Výsledná rychlost přejezdu při první jízdě byla pro obě vozidla přibližně 24 km/h. Cílová rychlost pro přejezd byla stanovena na 30 km/h. Vlivem provozu musela být rychlost, ale snížena. Pro správné vyhodnocení je ale důležité, že obě vozidla přešla přes nerovnost přibližně stejnou rychlostí. Průběhy rychlostí přejezdu jsou znázorněny v grafu přílohy č.502/602.



obr. 45 - Leq – hluk – scénář 505/605, zpět

Na obr. 45 je vidět přejezd příčného prahu při jízdě zpět. Při zpětném přejezdu byla dynamika průběhu podobná. Kona ICE opět generovala vyšší Leq ve většině časových segmentů. Zvuková křivka ICE vykazovala více impulzních vrcholů, zatímco EV byla opět hladší. Celkové ekvivalentní hladiny hluku byly pro vozidlo Kona ICE: 58,8 dBA a pro vozidlo Kona EV: 55,8 dBA. Rozdíl je zde 3 dBA, tedy o něco nižší než při jízdě tam, ale stále již může být vnímán jako zřetelný.

Rychlost přejezdu při jízdě zpět byla pro obě vozidla cca 20 km/h. Rychlost opět vlivem provozu neodpovídá stanovené rychlosti 30 km/h, ale pro vyhodnocení je důležité, že obě vozidla jela přibližně stejnou rychlostí. Rychlosti druhého přejezdu jsou znázorněny v grafu přílohy č.505/605.

Z obou měření přejezdu vyplývá, že elektrické vozidlo Kona EV vykazuje při přejezdu příčného prahu konzistentně nižší akustickou zátěž než Kona ICE. Rozdíl v celkovém Leq činí 3,0 – 3,7 dBA ve prospěch elektromobilu. Díky této třetí části experimentu je možné posoudit, že i při vyrovnání rychlostí při přejezdu příčných prahů obou vozidel se jeví elektrická verze Kona EV jako lepší. Lze tedy říct, že i při vyrovnání rychlostí v druhé části experimentu by nejspíše elektrická verze vykazovala stále lepší hlukový průběh.

Hodnocení dynamické odezvy vozidel:

Z důvodu chyby při nastavení techniky (velmi nízká vzorkovací frekvence naměřených dat), nebyla dynamická odezva vozidel hodnocena.

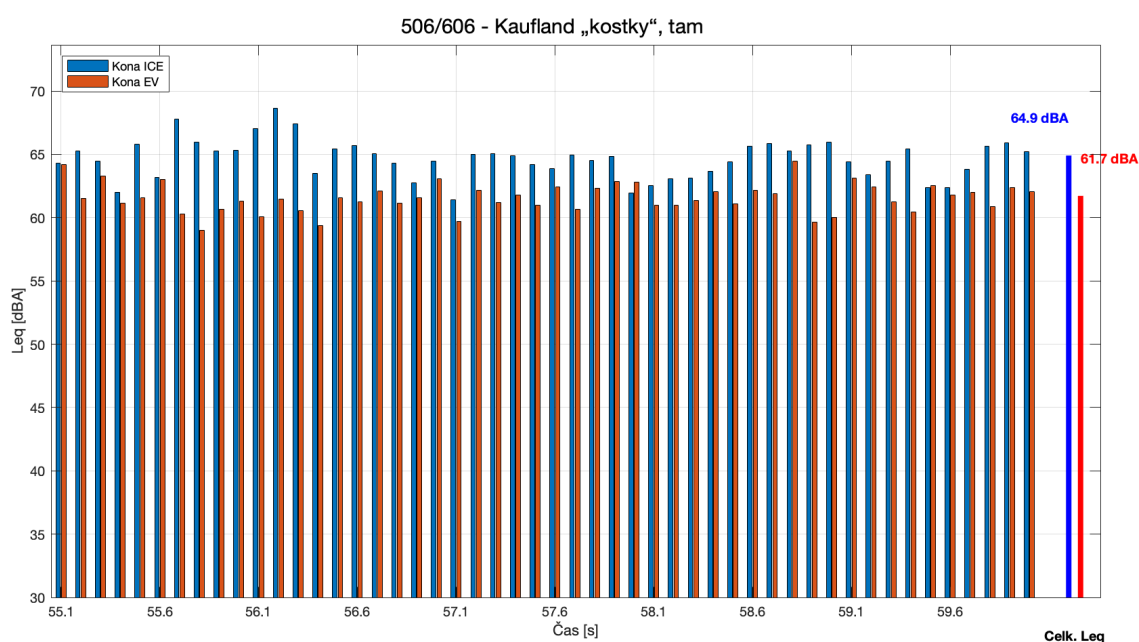
5.5. Jízda po nerovné vozovce konstantní rychlostí – „kostky“

Cílem bylo porovnat přenos hluku do kabiny vozidel vlivem jízdy po nekvalitním povrchu vozovky. Měření bylo provedeno v městské části Pardubice – Kaufland, ul. S.K. Neumana z důvodu povrchu vozovky („kostek“) ideálního pro účel měření. Rychlost byla stanovena na 30-50 km/h dle stavu vozovky, která vykazuje i četné svíslé nerovnosti. Byla opět provedena dvě měření, jízda tam a jízda zpět.

Grafy celkových dat viz přílohy č. 506/606 a 507/607

5.5.1. Hlukové a vibrační vlastnosti vozidla

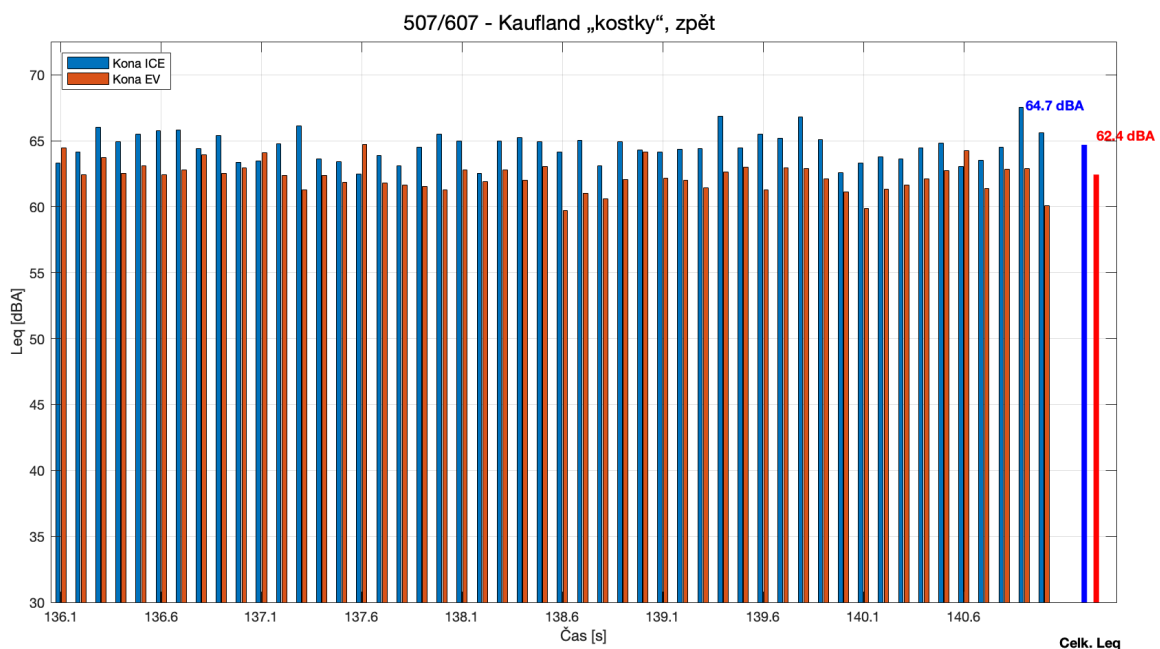
Hodnocení přenosu hluku do kabiny:



Na obr. 46 je vidět porovnání ekvivalentních hladin hluku při jízdě po nekvalitním povrchu („kostkách“) mezi oběma vozidly. Z průběhu grafu je zřejmé, že vozidlo Kona ICE vykazuje v celém sledovaném úseku konzistentně vyšší hodnoty Leq než elektrická varianta Kona EV. Zatímco u spalovací verze byly opakovaně zaznamenány vrcholy přesahující výrazně 65 dBA, elektrická verze si udržovala hladiny výrazně nižší, typicky v rozmezí 60 až 64 dBA. Zvýšený hluk u ICE lze přičíst kombinaci mechanických vibrací motoru, vibrací karoserie při kontaktu s nerovnostmi a hluku odvalování pneumatik po nerovném povrchu.

Při porovnání celkové Leq , pro vozidlo se spalovacím motorem činí hodnota celkového Leq 64,9 dBA, zatímco pro elektrickou variantu 61,7 dBA. Rozdíl tedy činí 3,2 dBA který lze z hlediska vnímání hluku považovat opět za vnímatelný, jelikož se opakovaně pohybujeme nad hranicí 3 dB.

Rychlost pro obě vozidla byla stanovena na 30–50 km/h. Vlivem velmi nízké kvality povrchu v měřeném úseku a také z důvodu husté dopravy byla rychlost vozidla ICE při první jízdě přibližně 27 km/h a rychlost vozidla Kona EV přibližně 26 km/h.



obr. 47 - Leq – hluk – scénář 507/607, zpět

Na obr. 47 je vidět druhá jízda zpět, kde byl zaznamenán obdobný trend. Kona ICE opět generovala vyšší hladiny hluku, v několika segmentech překračující 65 dBA. Elektrická verze vykazovala opět nižší hodnoty, i když místy byl rozdíl mírně menší než při předchozím průjezdu. Celkové hodnoty Leq byly pro spalovací verzi Kona ICE 64,7 dBA a pro elektrickou verzi 62,4 dBA. Celkový rozdíl je zde tedy 2,3 dB, který je téměř o 1 dBA nižší než při první jízdě.

Při jízdě zpět byla rychlost obou vozidel přibližně 27 km/h. Jak již bylo zmíněno stanovená rychlost byla 30–50 km/h. Vlivem odchylky tachometru lze ale říct, že při rychlosti 30 km/h na tachometru vozidla odpovídá reálná rychlost vozidla právě přibližně 27 km/h. Rychlost vozidla byla tedy v této části měření nastavena správně. Na rychlost 50 km/h se ale z důvodu husté dopravy a podmínek povrchu nebylo možné dostat.

V obou měřených případech, tedy při jízdě tam i zpět, dosahovalo elektrické vozidlo Kona EV nižších hodnot hlukové zátěže než vozidlo se spalovacím motorem. Rozdíl v celkovém Leq se pohyboval mezi 2,3 -3,2 dBA, což představuje mírné zlepšení z hlediska akustického komfortu u elektrické verze vozidla. Tento rozdíl lze přičíst jak absenci mechanického hluku spalovacího motoru, tak rozdílnému přenosu vibrací mezi pohonnou jednotkou a karoserií vozidla. Vliv na rozdílné hodnoty může mít stále také rozdílná konstrukce podvozku a trakční akumulátor uložený v podlaze elektrické verze vozidla, který tlumí přenos hluku do kabiny.

5.6. Akcelerace z 0 rychlosti a brždění, vodorovná vozovka

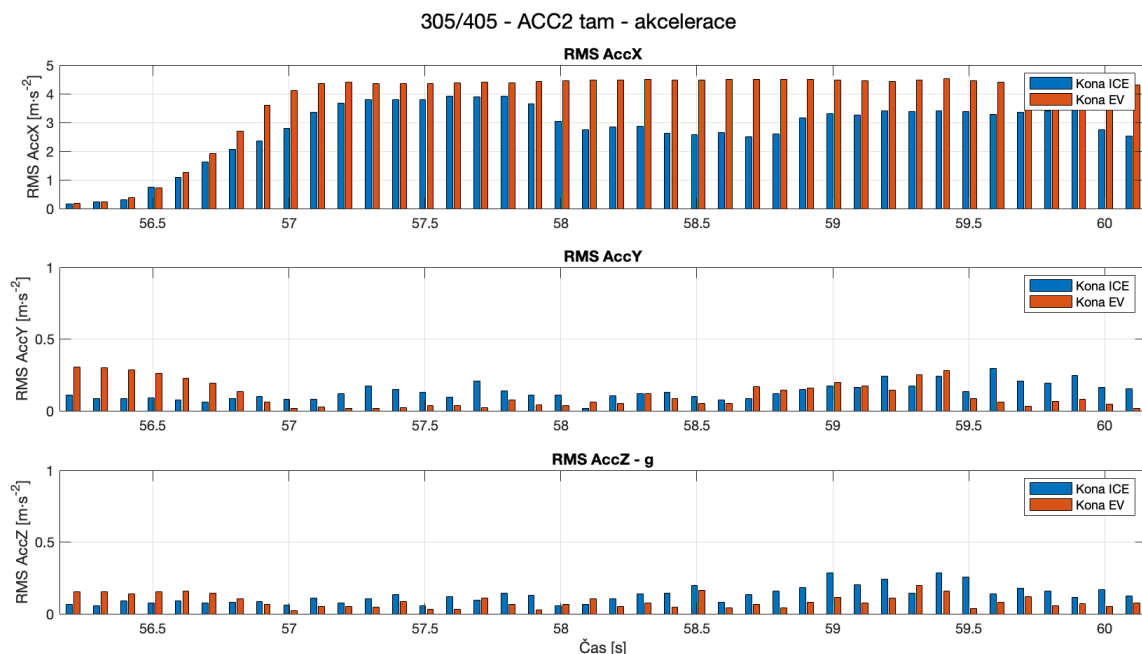
Cílem experimentu bylo porovnání velikosti podélného zrychlení působícího na posádku vozidla při akceleraci vozidla. Dále také hluk a vibrace spalovacího motoru přenášených do kabiny vozidla. Měření bylo provedeno v části Pardubice – letiště, příjezdová cesta. Parametry akcelerace byly stanoveny na 0–50 km/h. Byly provedeny celkem 4 měření, 2x akcelerace v jednom směru a 2x akcelerace v opačném směru jízdy. Pro vyhodnocení byly vybrány dvě nejrelevantnější scénáře měření.

Grafy vibrací viz přílohy č. 304/404, 305/405, 308/408

Grafy hluku viz přílohy č. 509/609, 511,611

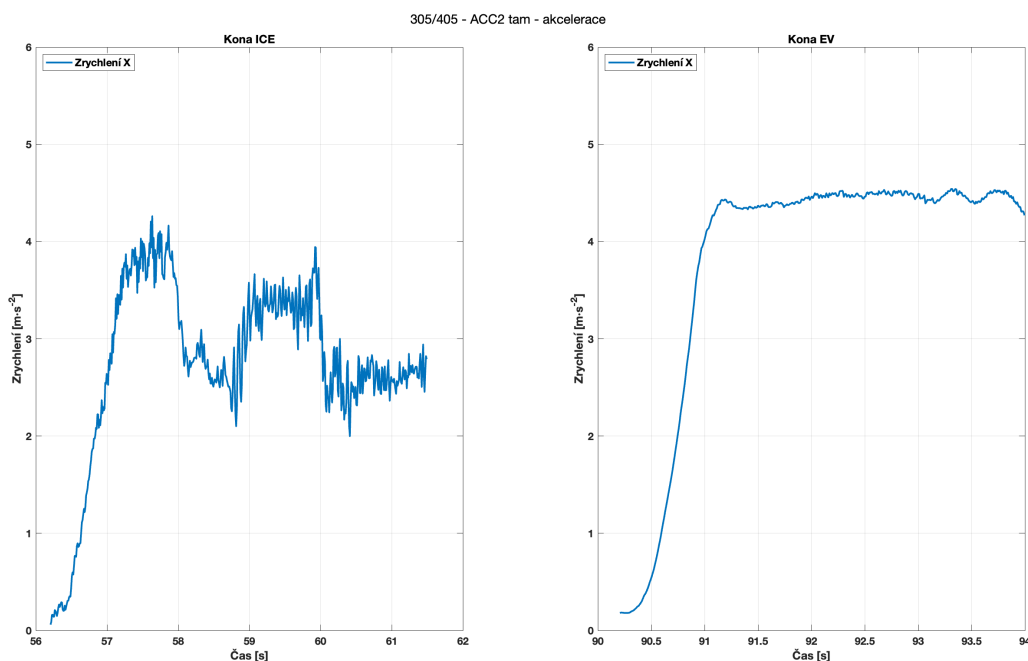
5.6.1. Porovnání velikosti podélného zrychlení působícího na posádku

První akcelerace:



obr. 48 - 305/405 - RMS zrychlení

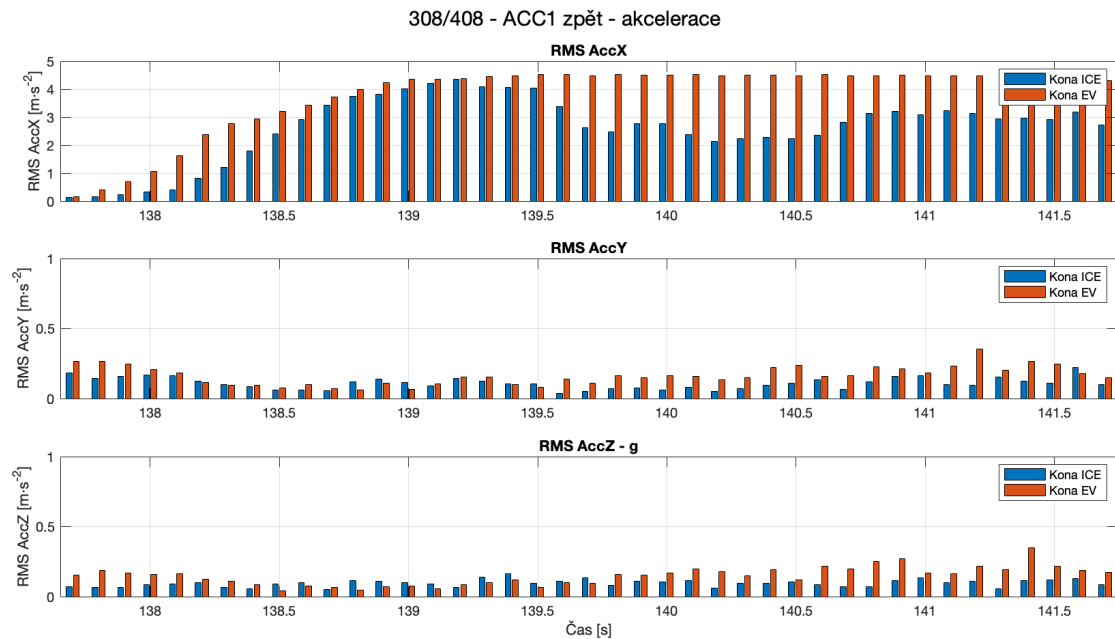
Na obr. 48 je vidět graf RMS hodnot zrychlení v jednotlivých osách při počátku zrychlení vozidel. Z grafu je patrné, že v podélném směru (osa X) vykazuje elektrické vozidlo vyšší hodnoty RMS zrychlení především ve druhé polovině měřeného úseku. Tento výsledek naznačuje rychlejší a konzistentnější akceleraci elektromobilu oproti spalovací verzi. U spalovací verze si můžeme naopak všimnout propadů zrychlení vlivem řazení rychlostních stupňů, které se propisuje ve všech třech osách. Tento jev je také velmi dobře vidět v příloze č. 305/405 kde je znázorněna závislost otáček motoru na zrychlení. V ose Y, která odpovídá bočním pohybům, byly hodnoty u obou vozidel srovnatelné a zůstávaly velmi nízké, což je očekávatelné vzhledem k přímé trajektorii jízdy. Ve svislém směru (osa Z), kde byla pro lepší přehlednost odečtena složka tíhového zrychlení, vykazovala Kona EV mírně vyšší hodnoty v první části akcelerace a Kona ICE zas v druhé části, což může být nejspíše způsobeno odlišnou odezvou podvozku na přenos hmotnosti během zrychlování vozidla.



obr. 49 - 305/405 - Acc X

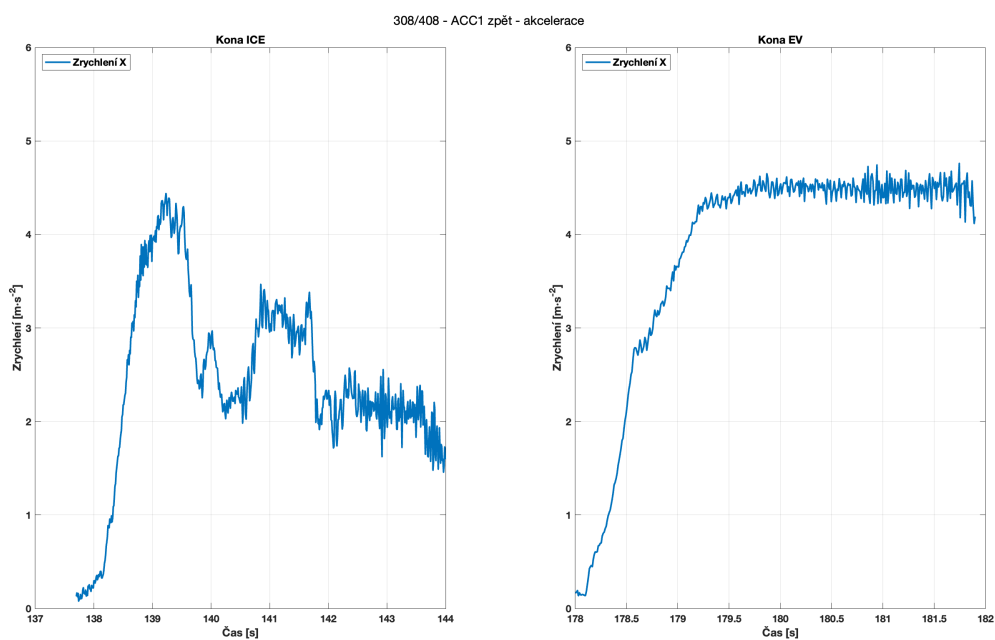
Pokud se zaměříme na průběhy reálného zrychlení v ose x, které je zobrazeno na obr. 49. Lze si všimnout, že u vozidla Kona EV dochází k rychlejšímu a plynulejšímu nárůstu zrychlení než u Kony ICE, kde je nárůst zrychlení pozvolnější a vykazuje více oscilací. Tento rozdíl se zde projevuje charakterem pohonných jednotek – zatímco elektromotor poskytuje okamžitý točivý moment již od nulových otáček (viz trakční diagram kapitola 3), spalovací motor je závislý na postupném nárůstu otáček a přerazování převodových stupňů. Na levém grafu je také dobře vidět přenos vibrací od spalovacího motoru do měřeného signálu zrychlení. V horní části levého grafu v oblasti 57–61 s je signál silně rozvibrován vlivem zvýšených otáček spalovacího motoru v záběru. Dále si lze opět všimnout poklesů zrychlení vlivem řazení rychlostních stupňů. Může se také jednat o kmitání torzně poddajných částí v pohonu, případně to může být mírný prokluz kol, protože Kona ICE nemá tak dokonalou kontrolu trakce jako Kona EV. V příloze č. 305/405 je zaznamenán celkový průběh zrychlení ve všech 3 osách (X, Y, Z) v závislosti na otáčkách a rychlosti motoru.

Druhá akcelerace:



obr. 50 - 308/408 - RMS zrychlení

Na obr. 50 je vidět graf RMS hodnot zrychlení v jednotlivých osách při počátku druhého zrychlení vozidel. V průběhu sledovaného časového úseku dosahuje Kona EV opakovaně vyšších hodnot RMS podélného zrychlení než její spalovací varianta. Zejména ve střední fázi akcelerace (mezi 139,5–141 s) jsou rozdíly mezi oběma vozidly výrazné. Tento výsledek odráží schopnost elektromobilu poskytovat vyšší točivý moment okamžitě od nulové rychlosti a zároveň akcelarovat bez nutnosti řazení převodových stupňů. Naopak spalovací verze Kona ICE vykazuje mírně pozvolnější nárůst RMS hodnot, a je jsou zde opět dobře viditelné propady zrychlení vlivem řazení rychlostních stupňů.



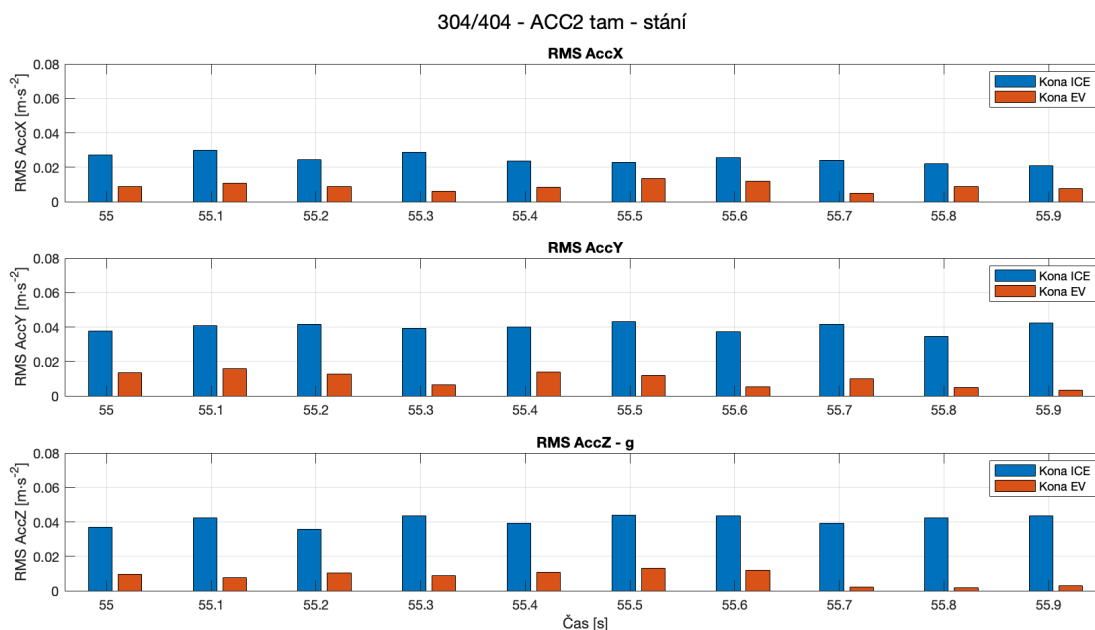
obr. 51 - 308/408 - Acc X

Výsledky měření RMS hodnot zrychlení při akceleraci potvrzují, že Hyundai Kona EV má i ve směru „zpět“ lepší podélnou akcelerační dynamiku než její spalovací protějšek. To se nejvýrazněji projevuje v RMS hodnotách v ose X, kde EV dosahuje vyšších hodnot po delší část měřeného úseku. V ostatních osách (Y a Z) jsou rozdíly minimální, což odpovídá stabilním jízdním podmínkám a absenci výrazných bočních sil.

Při zaměření se na reálný průběh zrychlení na ose X viz obr. 51. si lze všimnout, že se vibrace při druhé akceleraci již výrazněji projevují nejen u akcelerace spalovací verze vozidla, ale i u vozidla elektrického. Tento projev je zde nejspíše vidět z důvodu „prudší“ akcelerace elektrického vozidla oproti první akceleraci. Vlivem rychlejšího nárustu zrychlení v první části se do signálu začaly projevovat vibrace od mechanických částí pohonu i u elektrického vozidla. Dále samozřejmě může mít na projev vliv povrch vozovky v souvislosti s odvalováním nebo prokluzu kol po zhoršeném povrchu. Vibrace jsou ale stále menší než u spalovací verze. U vozidla Kona ICE lze vidět opětovný výskyt propadů zrychlení vlivem řazení.

V příloze č. 308/408. je vidět projev vibrací v druhé části akcelerace ve všech třech osách (X, Y, Z). Opět je zde znázorněna závislost zrychlení na otáčkách motoru a rychlosti vozidla.

5.6.2. Hluk a vibrace spalovacího motoru oproti elektrickému motoru

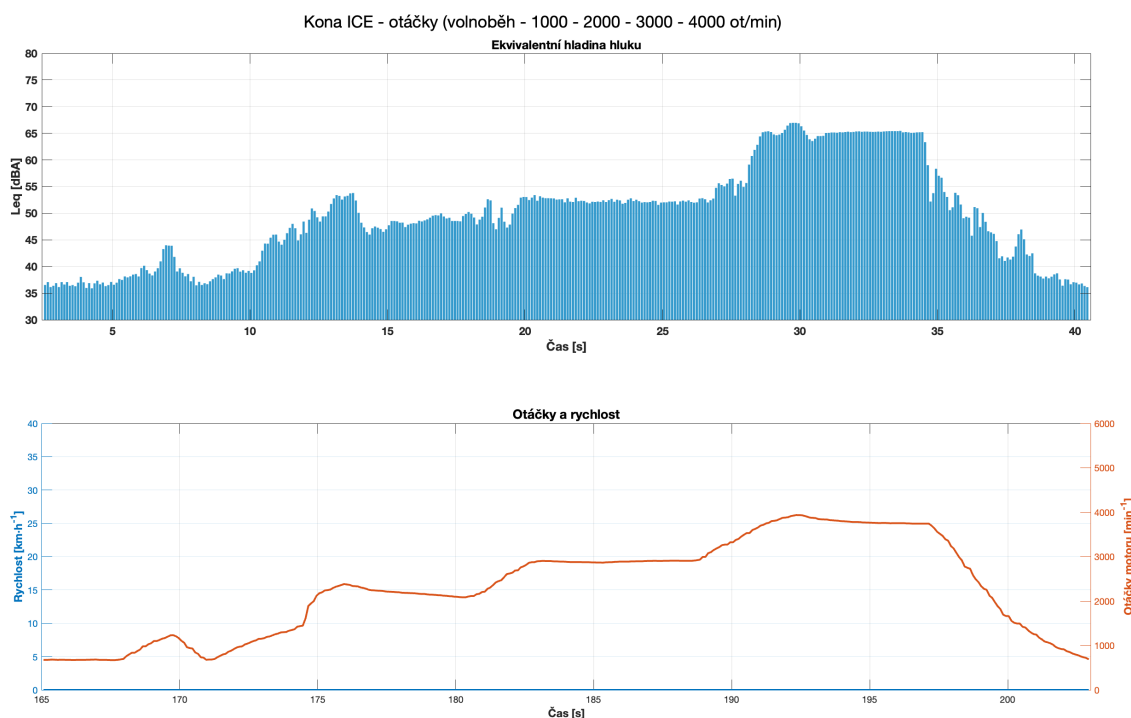


obr. 52 - 304/404 - RMS stání

Na obr. 52 jsou vidět RMS hodnoty zrychlení ve všech třech osách (X, Y, Z) při stojícím vozidle. Lze si všimnout že na všech osách je RMS hodnota pro vozidlo Kona ICE výrazně vyšší než u verze elektrické. Rozdíl je zde způsoben vibracemi, které generuje spalovací motor při volnoběžných otáčkách. Projev vibrací je samozřejmě přenášen do všech tří os. Trochu více intenzivněji se však projevuje v osách Y a Z. Přenos vibrací na měřené signály zrychlení je vidět i na grafu v příloze č. 304/404, kde se signály u spalovací verze projevují mírně sinusovým průběhem, a naopak signály elektrické verze bez rozkmitů („nehybně“).

V příloze č. 305/405 lze také velmi dobře vidět přenos vibrací do všech 3 složek (X, Y, Z) i při akceleraci vozidla vlivem generování vibrací spalovacím motorem za zvýšených otáček.

5.6.3. Hluk spalovacího motoru při stání za různých otáček



obr. 53 - Kona ICE – otáčky motoru (volnoběh – 1000 – 2000 – 3000 – 4000 ot./min)

Na obr. 53 je vidět porovnání hladiny akustického tlaku Leq v závislosti na velikosti otáček motoru vozidla se spalovacím motorem Kona ICE. Jedná se pouze o zvyšování otáček při stojícím vozidle. Rychlost je zde tedy nulová. Z grafu je zřejmé že velikost Leq je přímo závislá právě na velikosti otáček motoru. V následující části jsou popsány jednotlivé intervaly otáček.

Volnoběh

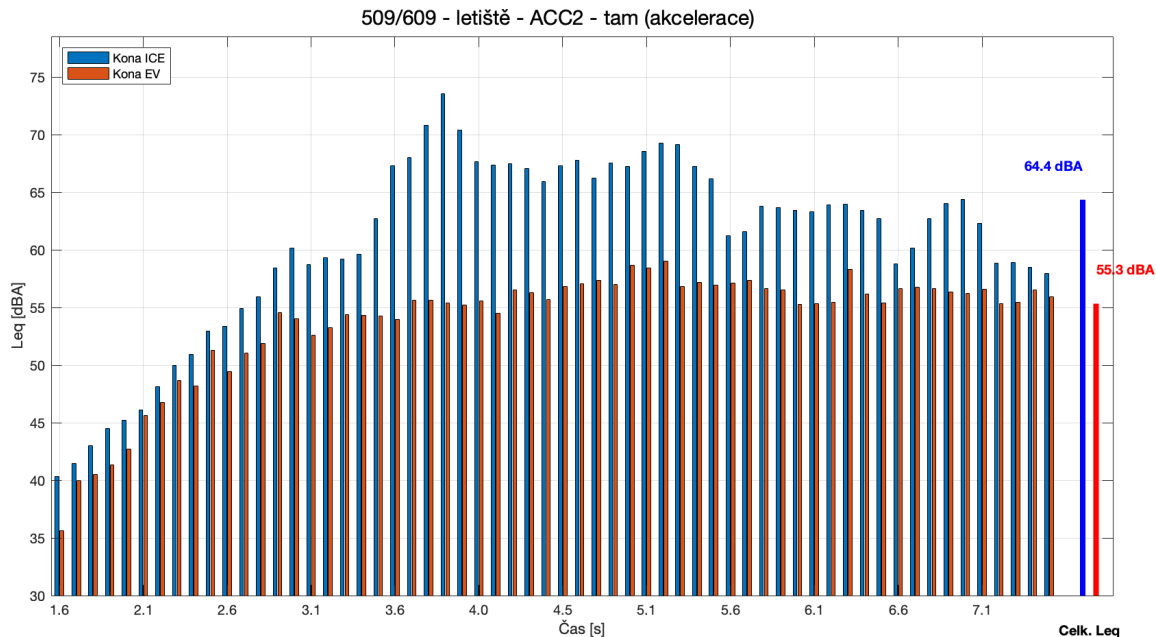
V první části grafu vozidlo stálo při volnoběžných otáčkách motoru, které jsou u tohoto modelu nastaveny na hodnotu přibližně 700 ot./min. Těmto otáčkám odpovídá Leq v rozmezí 36–38 dBA. Hodnota okolo 40 dbA přibližně odpovídá hluku v běžném domácím prostředí bez výraznější hlukové zátěže.

Zvýšené otáčky

Při zvýšení otáček motoru na hodnotu přibližně 1200 ot./min se hodnota Leq zvýšila téměř na 45 dBA. Při dalším zvyšování otáček se přímo závisle zvyšovala i hodnota Leq . Pokud byly otáčky motoru nastaveny na hodnotu přibližně 4000 ot./min, hodnota Leq dokonce přesahovala 65 dBA. Z grafu je zřejmé, že se zvýšenými otáčkami se hluk motoru výrazně projevuje a je přenášen do kabiny vozidla. Celkově lze tedy říct, že zvuk motoru se velkou částí podílí na hlukové zátěži v kabině vozidla a přispívá tím tak k celkovému snížení hlukového komfortu v kabině vozidla.

5.6.4. Hodnocení hluku při akceleraci na rovině

První akcelerace:

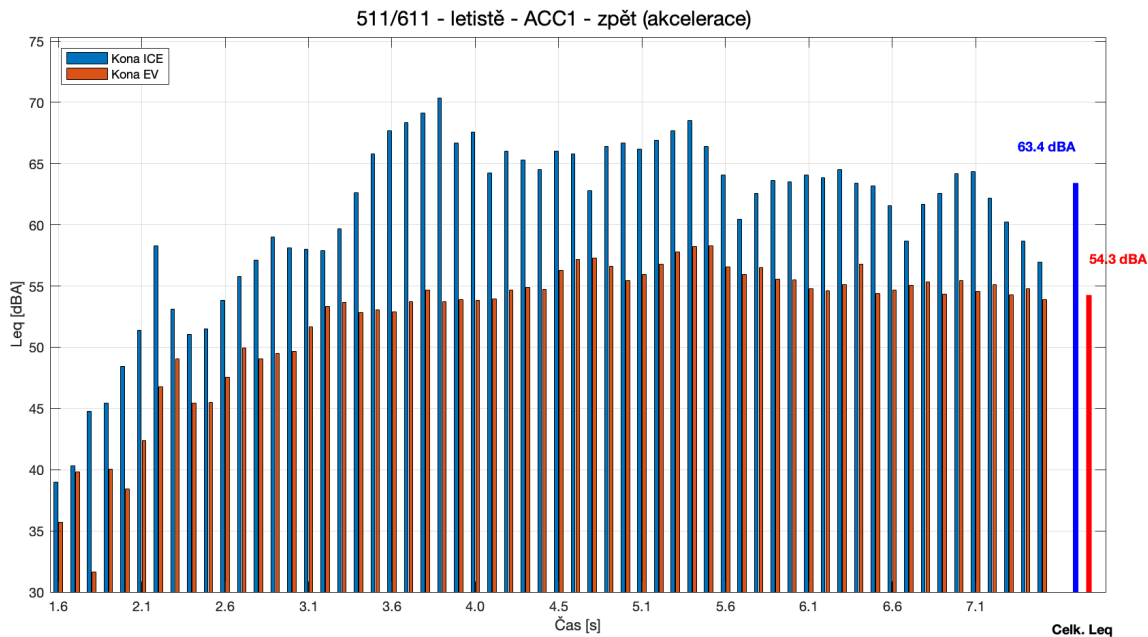


obr. 54 - Leq - 509/609 akcelerace

Na obr. 54 lze vidět porovnání ekvivalentních hladin hluku při první hodnocené celé akceleraci vozidel. Ve všech časových segmentech lze vidět, že hladina hluku generovaná vozidlem Kona ICE je vyšší než hladina hluku u elektrické verze. Rozdíl je patrný již od počátečních okamžiků zrychlení a zůstává konzistentní v celém sledovaném úseku. Rozdíl je zde způsoben vstupem zvýšených otáček motoru u spalovací verze. Zatímco maximální hodnoty Leq u spalovací varianty dosahovaly přes 70 dBA, elektrická verze zůstávala pod hranicí 60 dBA a vykazovala stabilnější a rovnoměrnější akustický průběh. Výsledné Leq u spalovací verze činí 64,4 dBA a výsledné Leq elektrické verze činí 55,3 dBA. Celkový rozdíl je tedy 9,1 dBA, což se jeví jako velmi razantní rozdíl.

Pokud se zaměříme na průběh zvukového signálu v čase viz příloha č. 509/609 lze velmi dobře vidět, jak se velikost akustického tlaku zvukového signálu na počátku mění (roste/klesá) téměř přesně s otáčkami motoru. Při akceleraci u spalovací verze Kona ICE totiž dochází k výraznému zvýšení otáček, než automatická převodovka postupně přeřadí na další převodové stupně, a tím zároveň sníží otáčky motoru. U elektrické verze naopak otáčky motoru plynule stoupají s rostoucí rychlostí vozidla, což je vidět právě i na zvukovém signálu. V druhé části zrychlení je již průběh signálů mnohem více podobný vlivem působení ostatních složek hluku u obou vozidel, jako je odvalování pneumatik nebo aerodynamický šum.

Druhá akcelerace:



obr. 55 - Leq - 511/611 akcelerace

Na obr. 55 je vidět porovnání ekvivalentních hladin hluku při druhé celé akceleraci vozidel. Při zaměření se na časový průběh, si lze všimnout, že se vozidla chovají téměř identicky s předchozí akcelerací. V první fázi opakovaně generuje vyšší hladiny hluku spalovací verze Kona ICE vlivem zvýšených otáček motoru před přerazením na další rychlostní stupně. Celkový průběh je velmi podobný a ovlivněný stejnými faktory jako při první akceleraci. Kona ICE zde dosahuje celkové Leq 63,4 dBA a Kona EV zde dosahuje celkové Leq 54,3 dBA. Rozdíl v druhé akceleraci tedy opět činí 9,1 dBA, tedy úplně stejný jako při první akceleraci. Tento hlukový rozdíl je pro vnímání člověka rozhodně výrazný a velmi dobře vnímatelný. Pohybujeme se totiž na trojnásobku rozpoznatelné hlukové změny 3 dBA.

Měření akustického chování během akcelerace ve směru „zpět“ opět potvrzuje předchozí zjištění, že elektrická verze vozidla vykazuje nižší hladinu hluku i kultivovanější akustický projev než vozidlo se spalovacím motorem vlivem lepšího odhlučnění od podvozkových částí vozidla a absence zvýšených vibrací a hluku od spalovacího motoru.

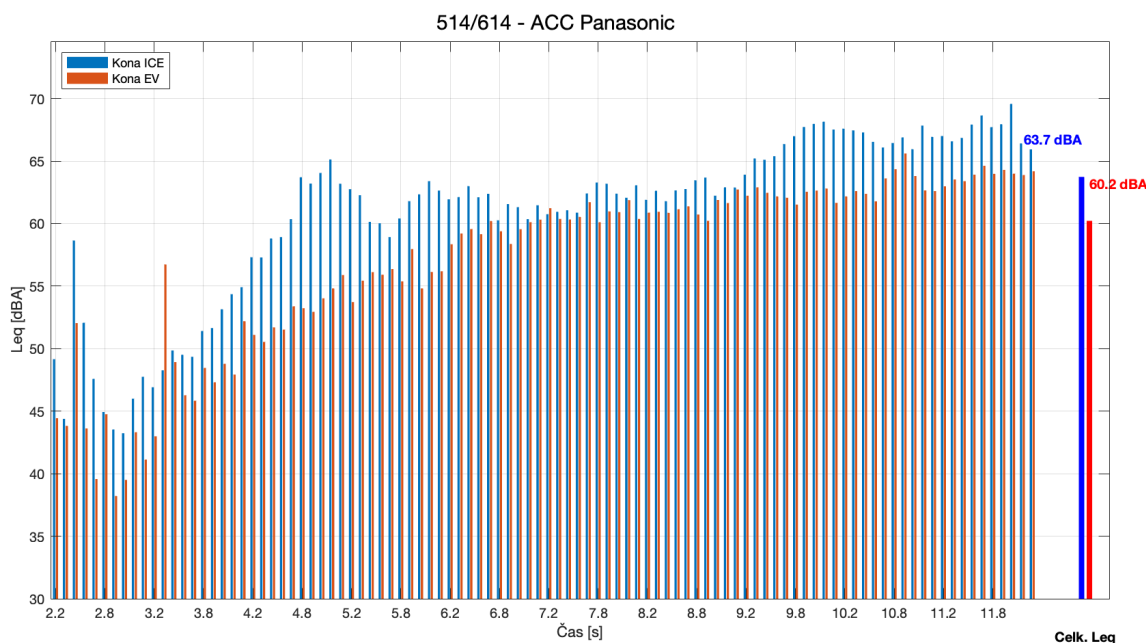
Při celkovém zhodnocení hluku při akceleraci obou vozidel vychází, dle očekávání méně hlučná elektrická verze vozidla. Vozidla byla porovnávána na vodorovném povrchu do rychlosti přibližně 50–60 km/h. Poslední část experimentu je proto zaměřena na akceleraci při zátěži vozidel do stoupání, a také do vyšší rychlosti až přibližně 90 km/h z důvodu porovnání vozidel i za ztížených podmínek.

5.7. Akcelerace do stoupání

Cílem měření bylo porovnání hluku a vibrací spalovacího motoru oproti motoru elektrickému vlivem vyšší zátěže při jízdě do stoupání. Měření bylo provedeno v krajní části města Pardubice po silnici I. třídy v oblasti Staré Čivice. Parametry akcelerace byly stanoveny pro rychlost 0 - 90 km/h z důvodu vstupu dalších rušivých veličin při vyšších rychlostech. Bylo provedeno pouze jedno měření v jednom směru.

Grafy celkových dat viz přílohy č. 514/614

5.7.1. Hluk a vibrace spalovacího motoru oproti elektrickému motoru



obr. 56 - Leq - 514/614 akcelerace

Na obr. 56 je vidět porovnání ekvivalentních hladin akustického tlaku při akceleraci do stoupání. Graf Leq ukazuje, že po většinu akceleračního úseku opět vykazuje vozidlo Kona ICE vyšší hodnoty Leq než elektromobil Kona EV. Nejvýraznější rozdíly jsou patrné v první polovině měření (3,8–6,8 s), kde rozdíl často přesahuje 7-10 dBA. Ve druhé polovině dochází k částečnému vyrovnání hodnot, nicméně spalovací verze zůstává mírně hlučnější až do konce záznamu. Výsledné celkové ekvivalentní hladiny hluku jsou pro spalovací verzi vozidla Kona ICE – 63,7 dBA a pro vozidlo Kona EV – 60,2 dBA.

Rozdíl 3,5 dBA, který je menší než v předchozích akceleračních testech, stále ale potvrzuje hlučnější projev spalovacího motoru a převodového systému. Kromě absolutní hodnoty je rovněž zřejmé, že ICE varianta vykazuje větší rozptyl a kolísání v průběhu akcelerace, zatímco elektromobil generuje stabilnější akustický výstup.

Při zaměření se na průběh hlukového signálu viz příloha č.514/614 si lze všimnout u vozidla Kona ICE intenzivnější oscilace s vyšší amplitudou než u EV. To opět svědčí o výraznějším hluku spalovací jednotky a příslušného pohonného ústrojí. Hlukový signál u EV je hladší, bez výrazných špiček, což odpovídá typickému charakteru elektrického pohonu. Při akceleraci do stoupání se tedy jen opět projeví a potvrdí hlukové nevýhody spalovací verze. Kona ICE.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat komfortní vlastnosti dvou technicky příbuzných vozidel. Pro porovnání byla vybrána vozidla – Hyundai Kona se spalovacím motorem (Kona ICE) a elektrická verze téhož modelu (Kona EV). Obě vozidla pochází z roku 2020 a jedná se o běžně dostupné vozy, které dnes představují reálnou alternativu na trhu s ojetými vozy. Tyto vozy tedy nejsou obrazem aktuálního stavu techniky. Jejich výběr byl motivován srovnatelnou konstrukcí a podobnými výkonovými parametry (ICE: 130 kW, EV: 150 kW), což u vybraných vozidel tvoří vhodný základ pro objektivní porovnání. Z konstrukčního hlediska je třeba uvést, že elektrická verze Kona EV nevznikla v rámci vývoje jako samostatný elektromobil, ale vychází přímo z platformy určené pro spalovací pohon. Tento fakt s sebou nese určité kompromisy, zejména v oblasti efektivního využití prostoru pro trakční baterii. Největší nevýhodou elektrické verze se ukázala být její vyšší hmotnost, která je konkrétně o 390 kg vyšší než u verze ICE, přičemž hlavní podíl na tomto rozdílu má právě trakční akumulátor umístěný v podlaze vozidla. Tato zdánlivá nevýhoda se však v praxi projevila spíše jako výhoda. Umístění trakčního akumulátoru v podlaze vozidla vede ke snížení výškové souřadnice těžiště, což pozitivně ovlivňuje jízdní stabilitu a dynamické chování vozidla.

Pro účely srovnání bylo provedeno reálné měření obou vozidel podle předem definovaných scénářů, které odpovídaly běžným provozním situacím – jízda nízkou i vysokou rychlostí, jízda po kvalitním i nekvalitním povrchu, přejezdy přes nerovnosti a akceleraci po rovině či do stoupání. Během těchto jízd byla měřena zejména data vibrací, hluku a podpůrná diagnostická data z OBD systému. Hodnoceny byly především úrovně ekvivalentní akustické hladiny hluku a RMS hodnoty vibrací přenášených během jízdy do kabiny.

Naměřené hodnoty v jednotlivých scénářích jednoznačně ukázaly, že elektrická verze Kona EV dosahuje ve většině sledovaných scénářů lepších výsledků z hlediska jízdního komfortu. Působila tišším dojmem s nižší hladinou vibrací, a také působila stabilněji i při dynamických změnách, jako je přejezd přes nerovnosti nebo akcelerace. U spalovací verze bylo zřetelně patrné, že pohonná jednotka (spalovací motor) představuje hlavní zdroj hluku i vibrací a je značnou nevýhodou oproti elektrické verzi. Výrazným rozdílem byla například hladina akustického tlaku během akcelerace, kde spalovací verze vykazovala až o přibližně 9 dBA vyšší hodnoty hladiny akustického tlaku oproti elektrické verzi. Lze říct, že tento rozdíl může mít již významný dopad na subjektivní vnímání komfortu pro člověka sedící v kabině vozidla. Pouze při jízdě v rychlostech nad 90 km/h se rozdíly z hlediska hluku mezi oběma verzemi vozidel minimalizovaly, a to vlivem nárůstu ostatních hlukových faktorů, jako je aerodynamický hluk při vyšších rychlostech, či hluk odvalování pneumatik, které do určité míry překryly zvuk spalovacího motoru.

Z hlediska dynamických vlastností, jako je přenos vibrací do karoserie při přejezdu nerovností či naklánění vozidla, měla opět lepší vlastnosti elektrická verze. Její nižší těžiště, způsobené uložením trakčního akumulátoru v podlaze, vedlo k lepší stabilitě a omezení přenosu nežádoucích pohybů i akustických jevů do prostoru pro cestující. Na základě provedených měření a následného hodnocení lze tedy konstatovat, že z hlediska jízdního komfortu – zejména v oblastech hluku a vibrací – vychází jako vítěz elektrická verze Hyundai Kona EV. Přestože elektrická verze disponuje vyšší hmotností, tato vlastnost se v praxi ukázala být spíše výhodou, která přispívá k celkově klidnějšímu a komfortnějšímu projevu vozu.

Použitá literatura

- [1] KOŠTUŘÍK, Vojtěch. *Legislativní normy platné pro vnější hluk vozidel*. Brno, 2016. 35 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Michal Janoušek.
- [2] FALTÝNEK, Zdeněk. *Měření hluku vozidel v rámci legislativních požadavků = Measurement of Vehicle Noise in the Range of the International Standard Requirements*. Ostrava, 2024. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Michal Weisz, Ph.D.
- [3] ČSN EN ISO 5349-1. *Vibrace – Měření a hodnocení expozice vibracím přenášeným na ruce – Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 24 s. Identifikace normy: 01 1406.
- [4] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.
- [5] ČSN ISO 2041. *Vibrace, rázy a monitorování stavu – Slovník*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [6] STEIDEL, Robert F. *An Introduction to Mechanical Vibrations*. 3rd ed. New York: Wiley, ©1989. ISBN 0-471-84545-0.
- [7] LEPIL, Oldřich. *Mechanické kmitání a vlnění: studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3295-3.
- [8] ČSN ISO 5128. *Akustika – Měření vnitřního hluku vozidel*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2024. 16 s. Třídící znak 01 1685.
- [9] ČSN ISO 362-1. *Akustika – Technická metoda měření hluku vyzařovaného akcelerujícími silničními vozidly – Část 1: Kategorie M a N*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2023. Třídící znak: 01 1686.
- [10] Kupka, Libor. *Hodnocení vibrací působících na řidiče sedícího na aktivně řízeném sedadle*. Perner's Contacts, 2012, roč. 7, č. III., s. 108–123. ISSN 1801-674X.
- [11] JILEK, Petr, Jan POKORNÝ a Ivo ŠEFČÍK. *Určení souřadnice těžiště automobilu na sklopné plošině*. Perner's Contacts. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, listopad 2014, roč. 9, č. III., s. 78–86. ISSN 1801-674X.
- [12] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory – základní přehled*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3.

- [13] VOJENSKÉ OPRAVÁRENSKÉ ZÁVODY. Zvuková technika a elektroakustika: Kapitola 14 – Základní měřicí metody v akustice [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/tech/586/page49.html>
- [14] UNITED STATES. Department of Energy. How do all-electric cars work? [online]. Washington, D.C.: Alternative Fuels Data Center, [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [15] PANCE, Štěpán. Chladicí okruhy hybridních a elektrických vozidel. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Rastislav Toman.
- [16] UNITED STATES. National Highway Traffic Safety Administration. Level of Automation. [online]. Washington, D.C., 2022 [cit. 2025-05-07]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-05/Level-of-Automation-052522-tag.pdf>
- [17] BATTERY DESIGN. *Hyundai Kona* [online]. 2023 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.batterydesign.net/hyundai-kona/>
- [18] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŠOVSKÝ a Jaromír JAVŮREK. Pohony s motory s permanentními magnety, reluktančními motory, krokové motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [s. a.]. Studijní materiál. 16 s.
- [19] BLAUBERG Motoren. PMSM vs. BLDC – Which is better? [online]. [s. 1.]: Blauberg Motoren, [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://blaubergmotoren.com/news/article/pmsm-vs-bldc>
- [20] EEE TERMINAL. Working Principle of Induction Motor [online]. EVERYTHING ABOUT ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://eeeterminal.com/electrical/working-principle-of-induction-motor/>
- [21] Uhlíř I. a kol.: Elektrické obvody a elektronika, skripta, Česká technika – nakladatelství ČVUT v Praze, 2006, ISBN 80-01-02466-0.
- [22] HOLUB, Miroslav. DC-DC měnič pro palubní dobíjení elektromobilu. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Folprecht. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117402>
- [23] CEBIA. Zážehový motor pohání automobily od roku 1886 – víte, jak funguje? [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.cebiam.cz/novinky/rady-a-tipy/zazehovy-motor-pohani-automobily-od-roku-1886-vite-jak-funguje>
- [24] Ultimate Specs. Car specifications database [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.ultimatespecs.com>

- [25] Louda Auto a.s. Autolouda.cz – Oficiální stránky prodejce a servisu vozidel [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://autolouda.cz>
- [26] Pod Point. Hyundai Kona 64 kWh (2018) charging guide [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/vehicles/hyundai/2018/kona-64-kwh>
- [27] PEKÁREK, Stanislav. T 14 Chlazení motorů, údržba, opravy chladicích soustav. In: Technologie oprav 1 [online]. Nový Jičín: Střední škola technická a zemědělská, 2016 [cit. 2025-05-07]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/14.html>
- [28] NEILL, Jeff. 150kWh NIO ES6. BatteryDesign.net [online]. 2023 [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.batterydesign.net/150kwh-nio-es6/>
- [29] Evropské společenství. Směrnice Rady 77/649/EHS ze dne 27. září 1977 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se stanovení maximální konstrukční rychlosti dvoukolových a tříkolových motorových vozidel. Zákony pro lidi [online]. [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravo/oeu/dokument?celex=31977L0649>
- [30] NÝDRLE, Milan. Hodnocení vibrací a pružného uložení osobního automobilu. Liberec, 2002. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Pavel Němeček.
- [31] SIEBERTZ, Karl. Vehicle Comfort. In: Ergonomics for Automotive Engineers. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-1739-9.
- [32] DACOVA, Diana. Ride Comfort in Road Vehicles: A Literature Review [online]. In: International Scientific Journal "Trans & MOTAUTO World", 2021, roč. 6, č. 2, s. 267–270 [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <https://stumejournals.com/journals/tm/2021/2/65.full.pdf>
- [33] NHTSA. Level of Automation. [online]. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, 2022 [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-05/Level-of-Automation-052522-tag.pdf>

Seznam příloh

Příloha č. 304/404 – ACC2 tam – stání

Příloha č. 305/405 – ACC2 tam – akcelerace

Příloha č. 308/408 – ACC1 zpět – akcelerace

Příloha č. 501/600 – retardér (Globus), zpět, tam

Příloha č. 502/602 – Stavařov – první příčný práh, tam

Příloha č. 505/605 – Stavařov – první příčný práh, zpět

Příloha č. 506/606 – Kaufland „kostky“, tam

Příloha č. 507/607 – Kaufland „kostky“, zpět

Příloha č. 509/609 – letiště – ACC2 – tam (akcelerace)

Příloha č. 511/611 – letiště – ACC1 – zpět (akcelerace)

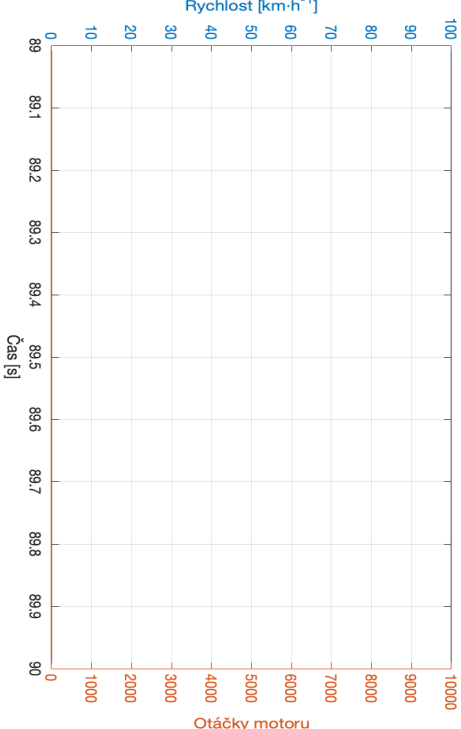
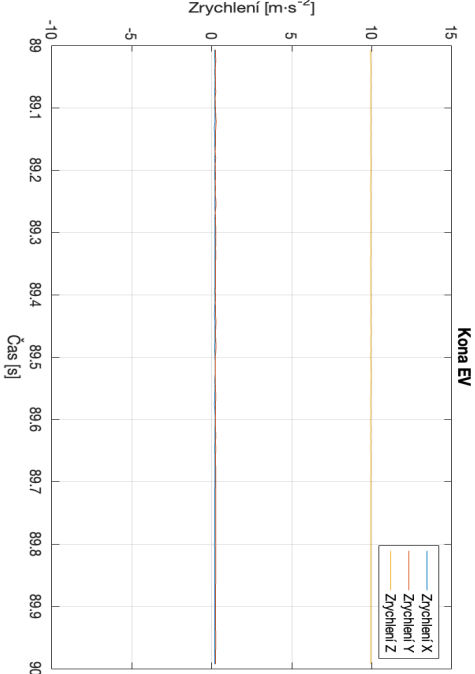
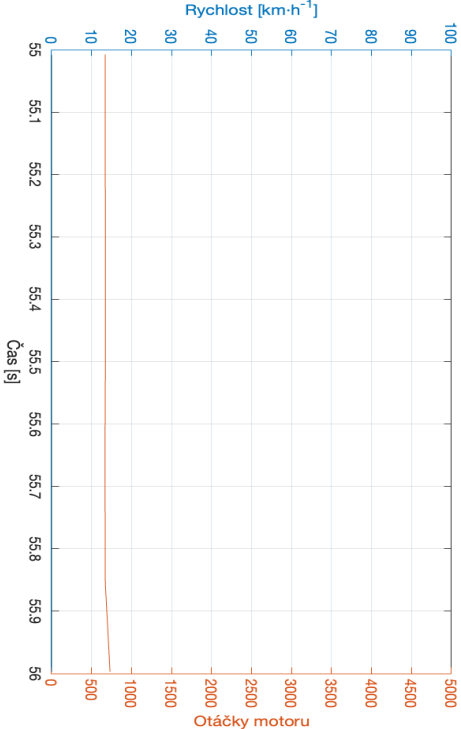
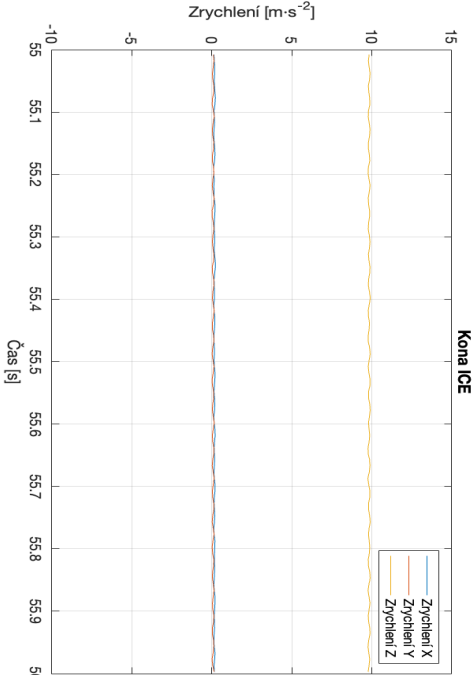
Příloha č. 514/514 – ACC – Panasonic

Příloha č. 515/615 – tempomat – 100 km/h, tam

Příloha č. 516/616 – tempomat – 100 km/h, zpět

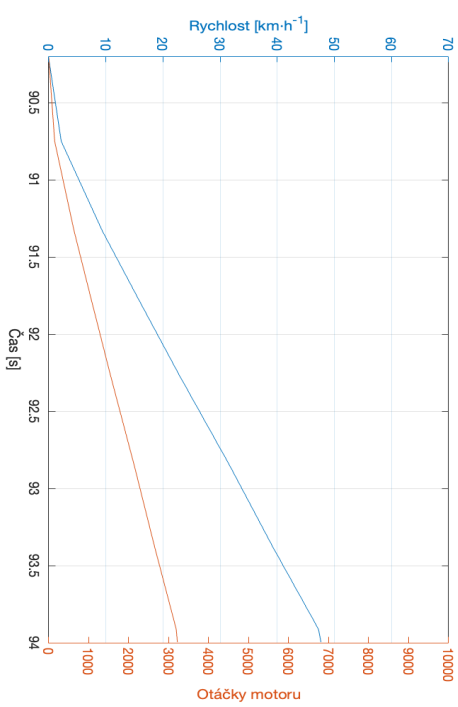
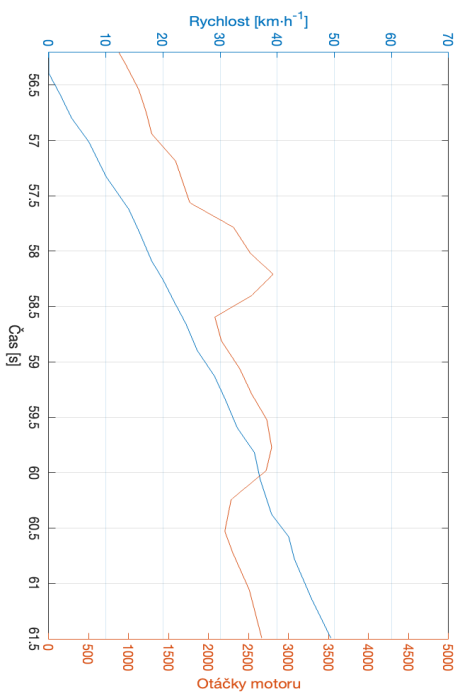
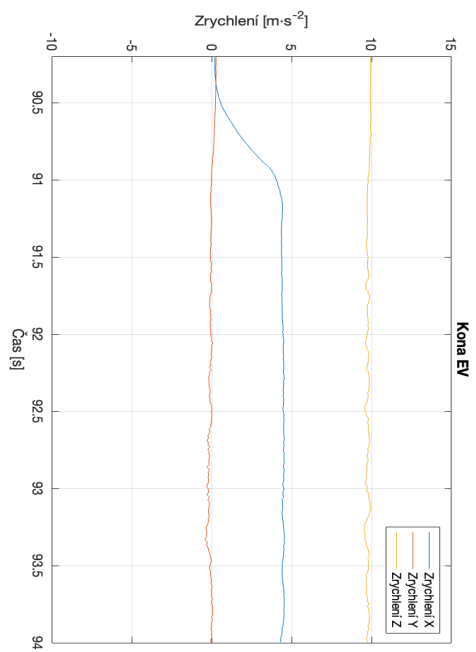
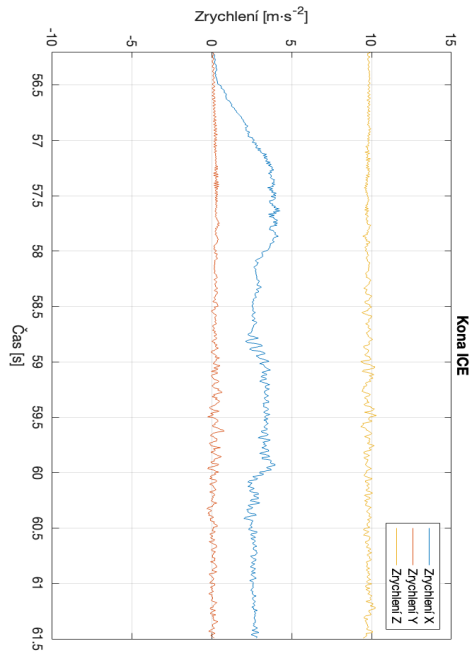
Příloha č. 304/404

304/404 - ACC2 tam - stání



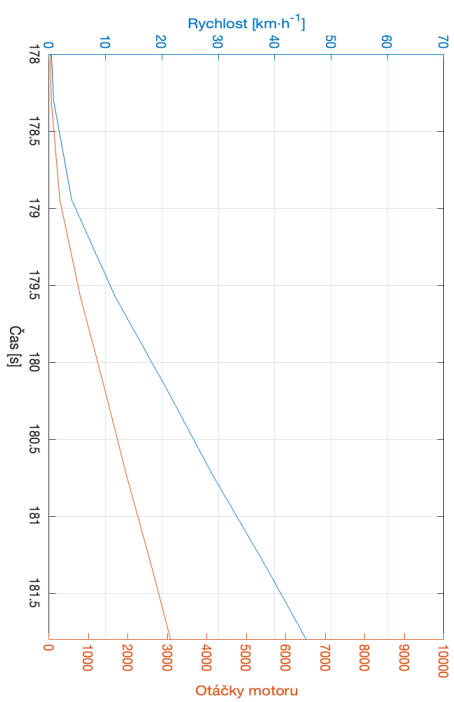
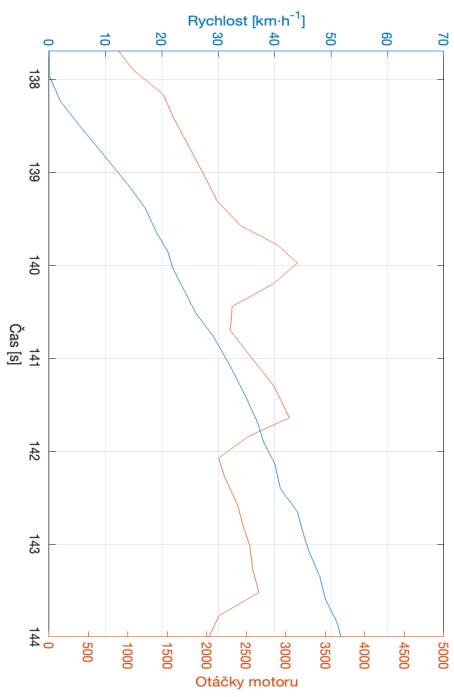
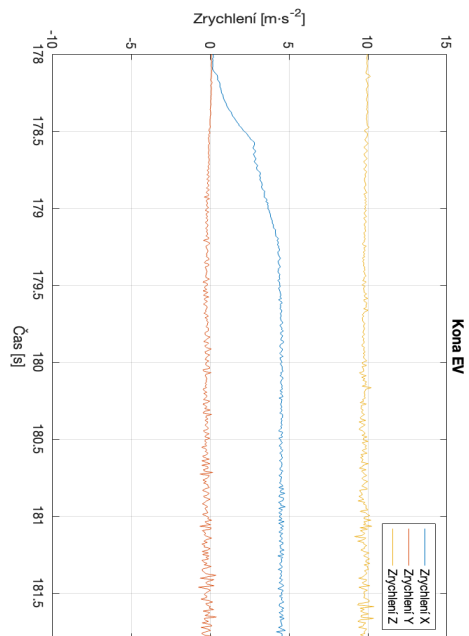
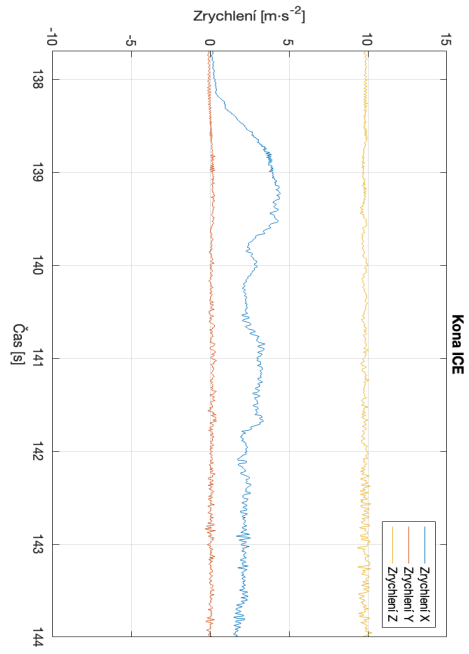
Příloha č. 305/405

305/405 - ACC2 tam - akcelerace



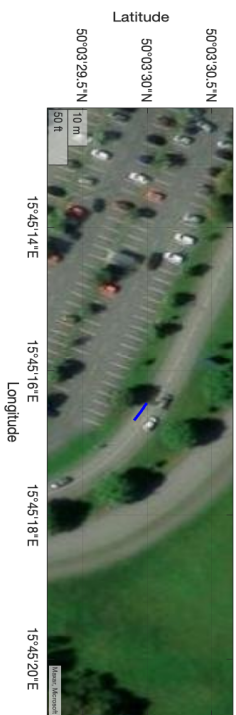
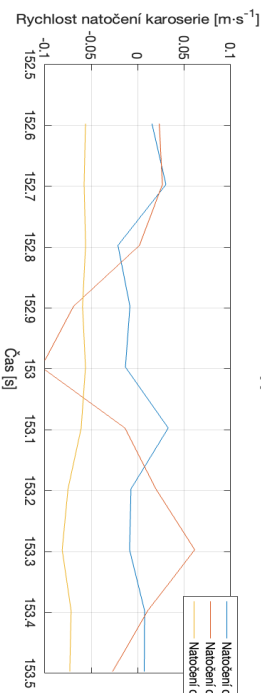
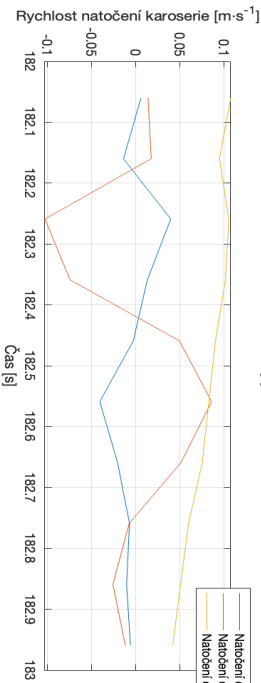
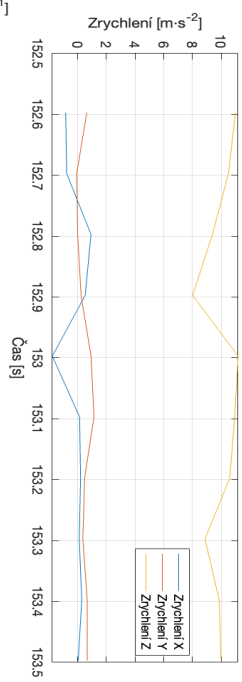
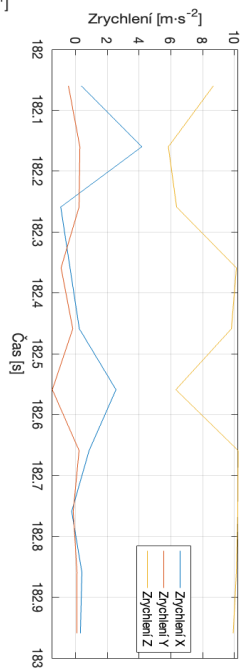
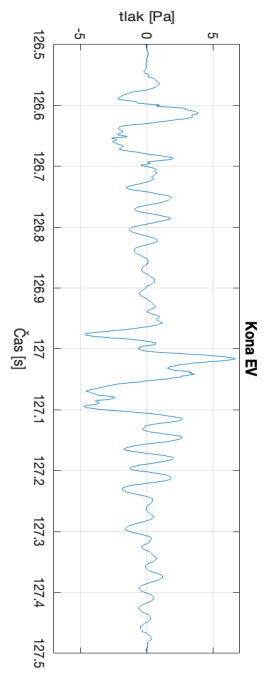
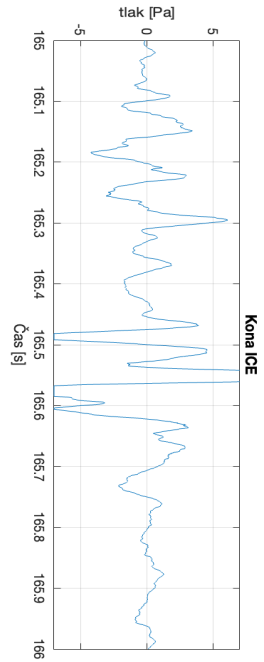
Příloha č. 308/408

308/408 - ACC1 zpět - akcelerace



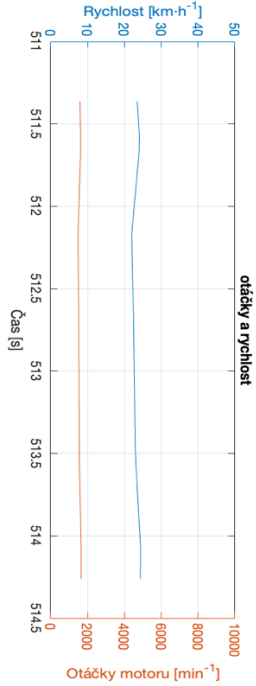
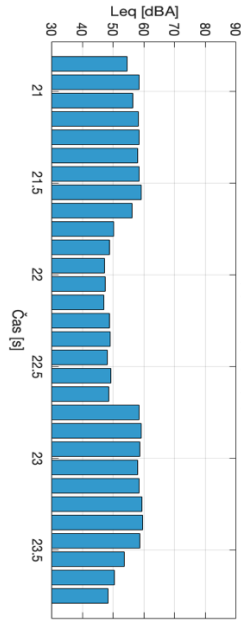
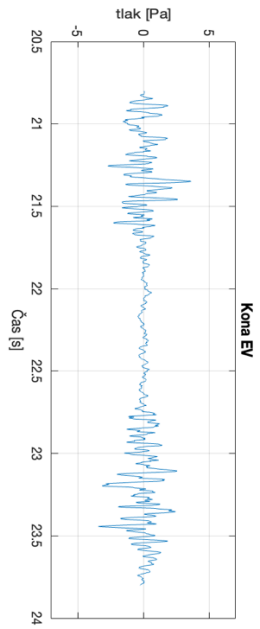
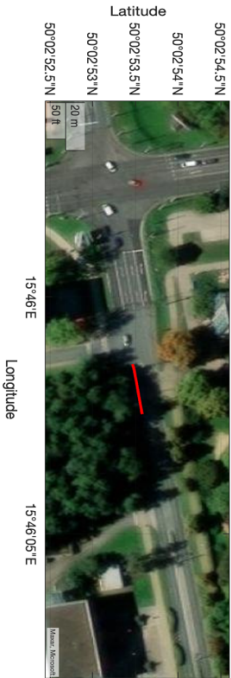
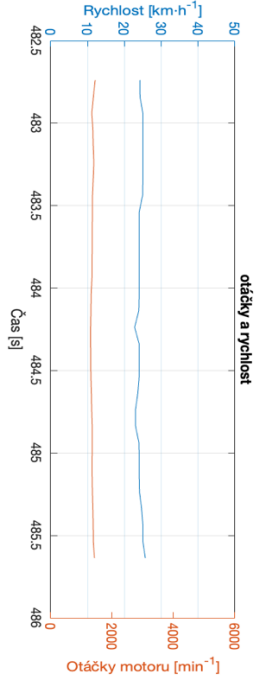
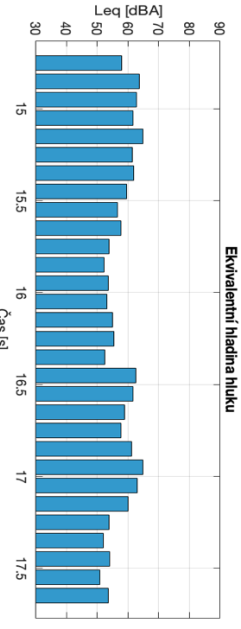
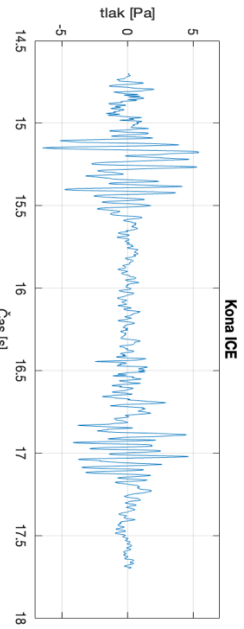
Příloha č. 501/600

501/600 - retarder (Globus), zpět, tam



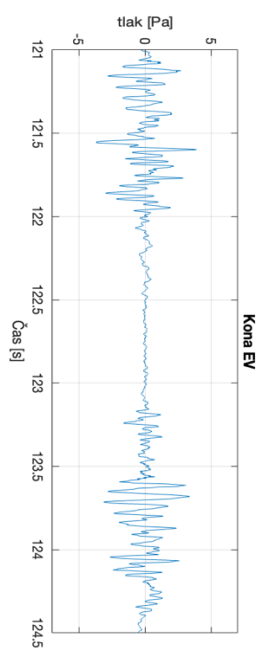
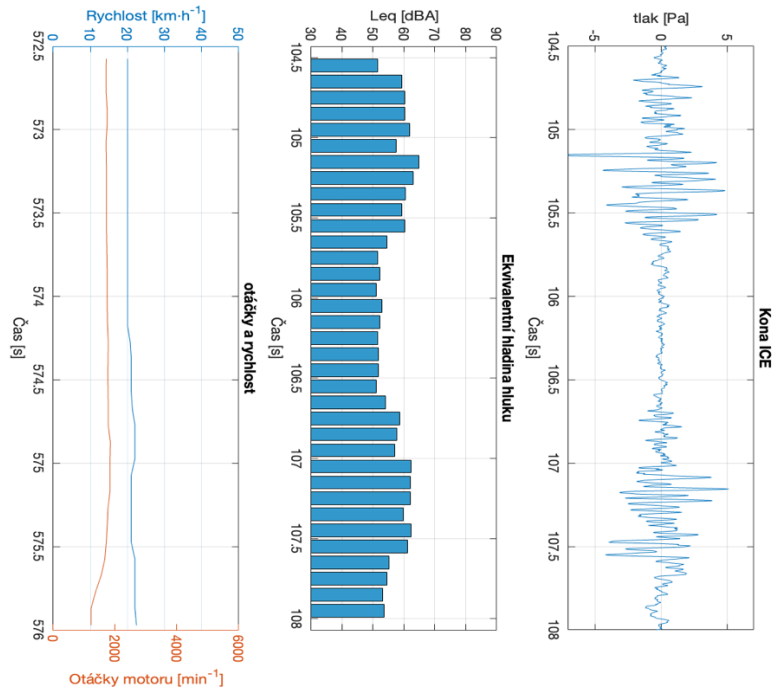
Příloha č. 502/602

502/602 - Stavářov - první příčný práh, tam



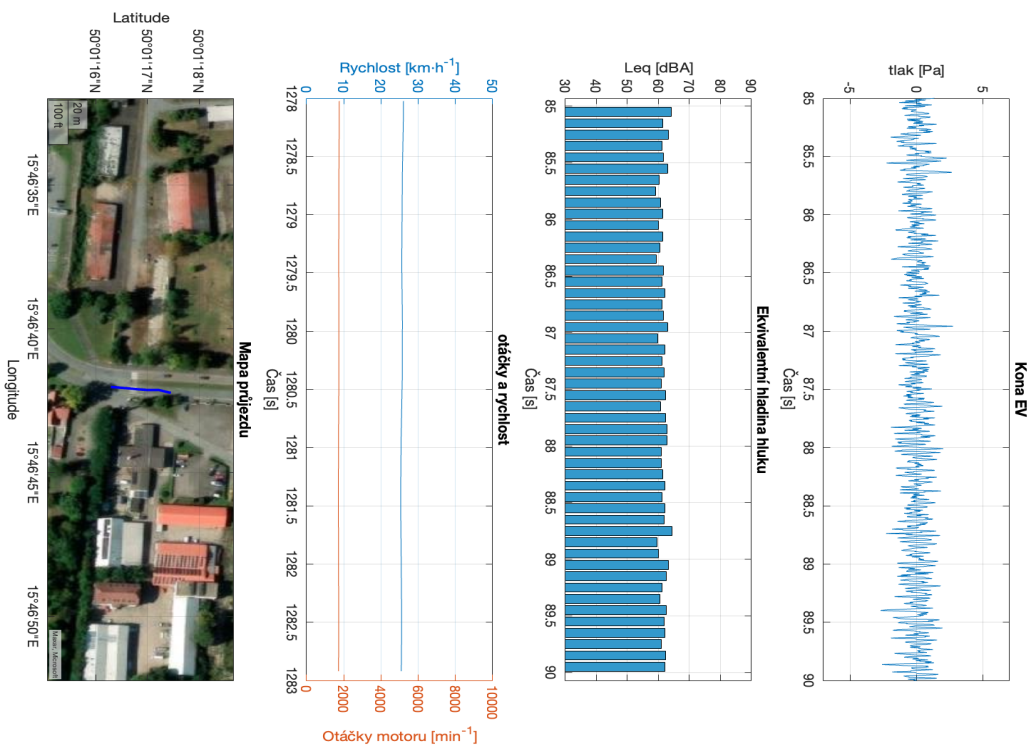
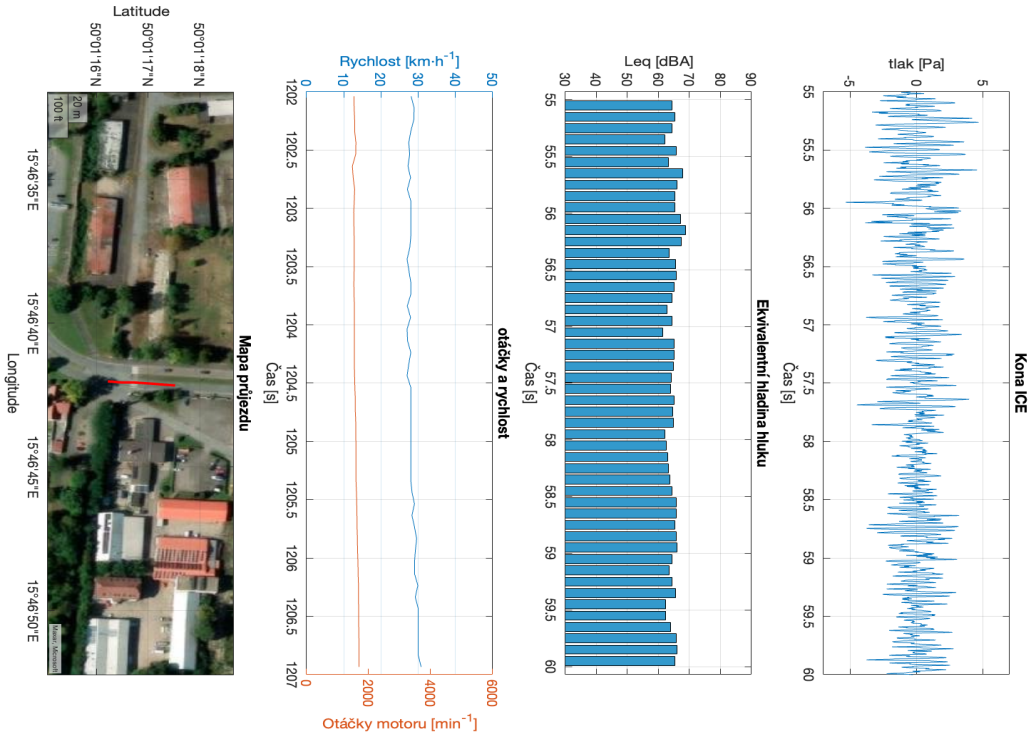
Příloha č. 505/605

505/605 - Stavařov - první příčný práh, zpět



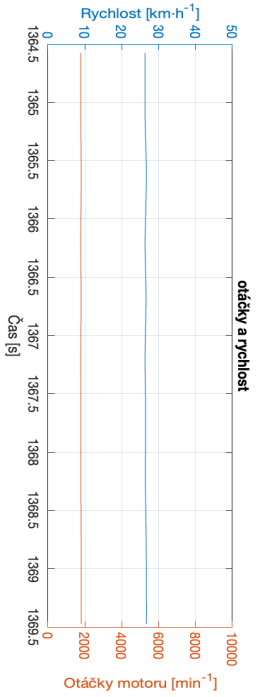
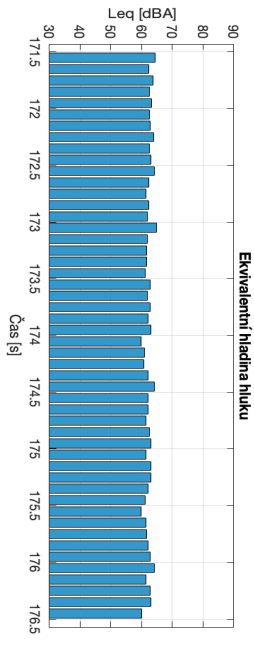
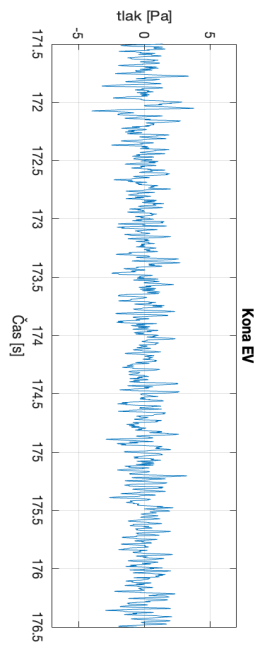
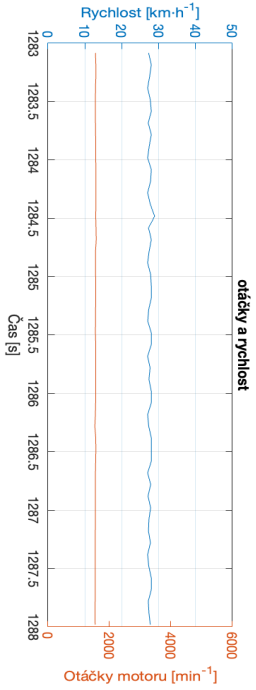
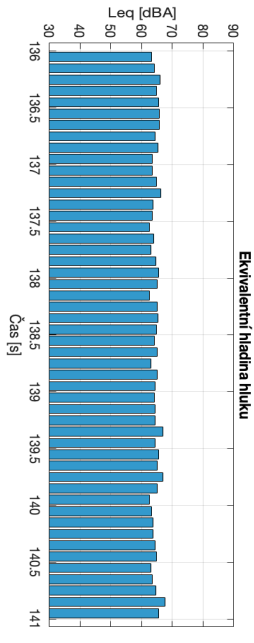
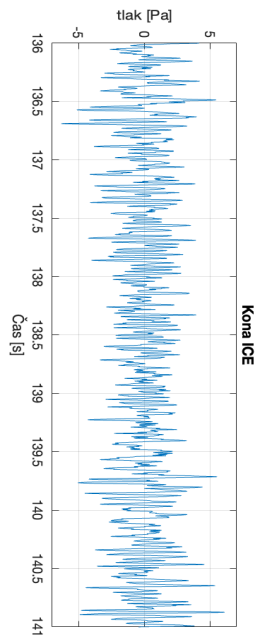
Příloha č. 506/606

506/606 - Kaufland „kostky“, tam



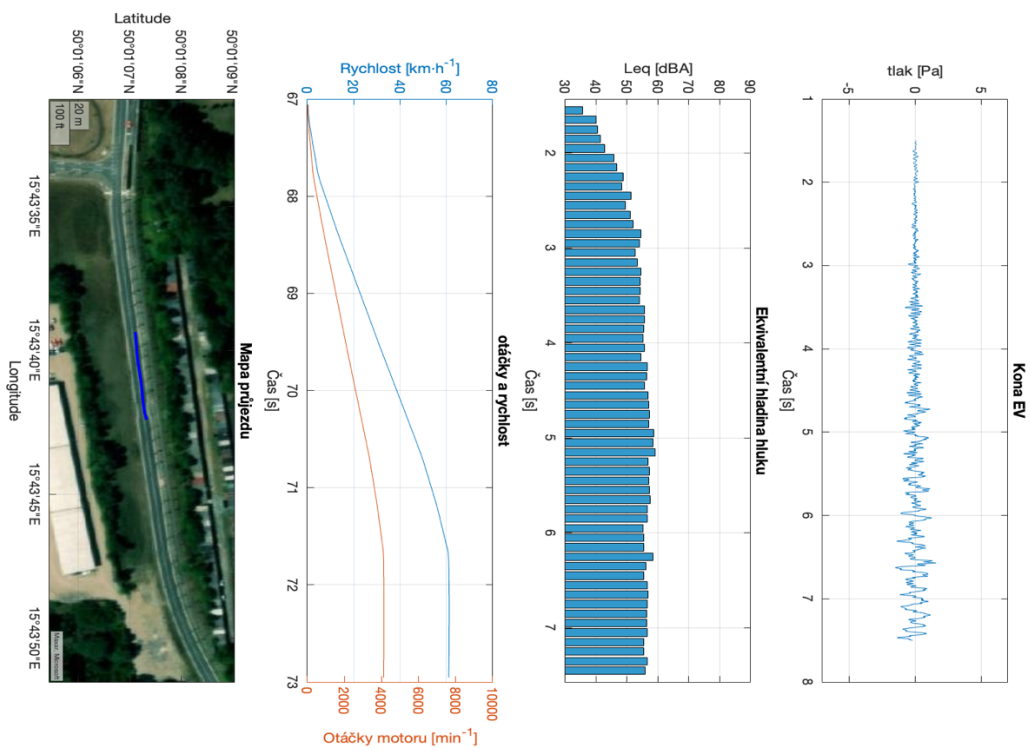
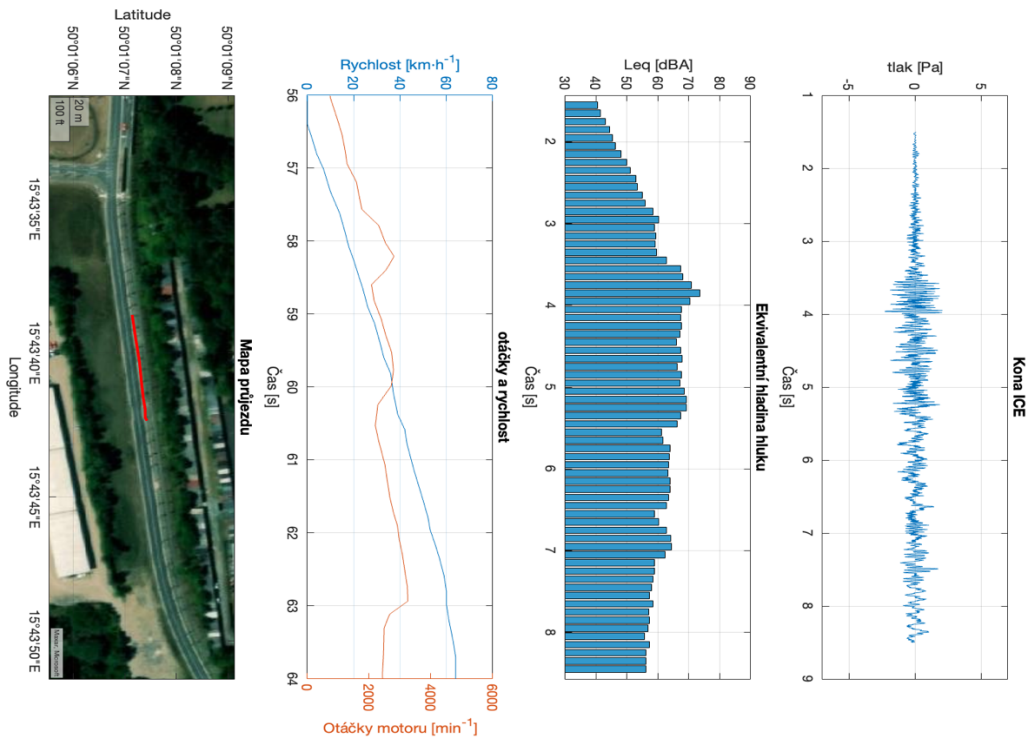
Příloha č. 507/607

507/607 - Kaufland „kostky“, zpět



Příloha č. 509/609

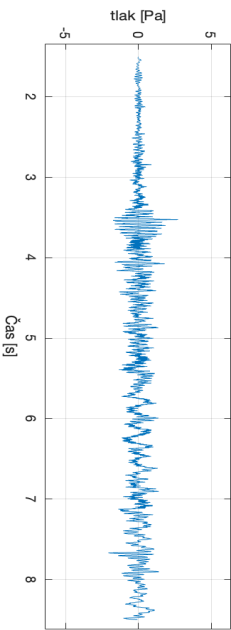
509/609 - letiště - ACC2 - tam (akcelerace)



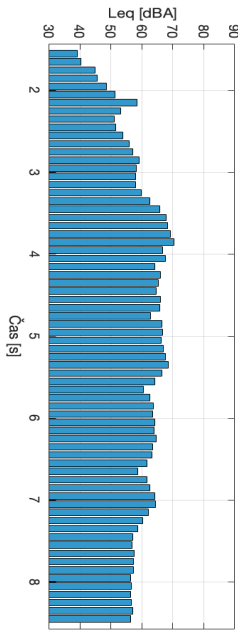
Příloha č. 511/611

511/611 - letiště - ACC1 - zpět (akcelerace)

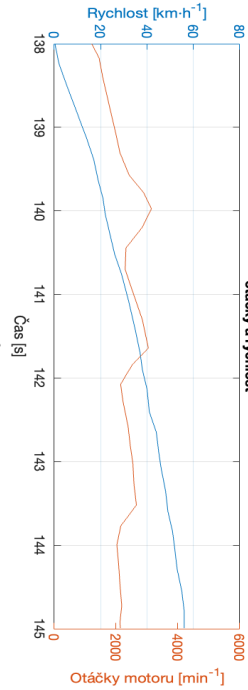
Kona ICE



Ekvivalentní hladina hluku



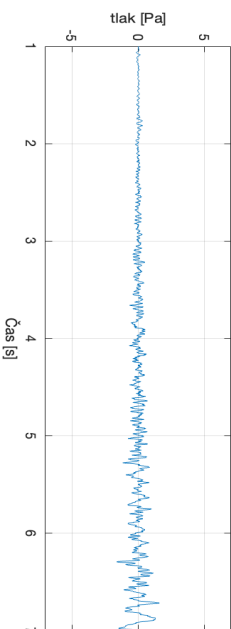
otáčky a rychlost



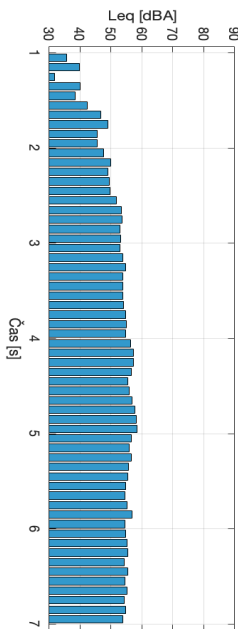
Mapa příjezdu



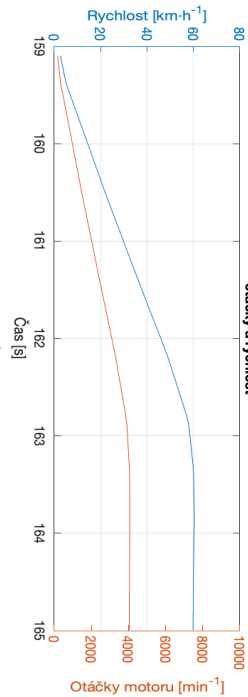
Kona EV



Ekvivalentní hladina hluku



otáčky a rychlost

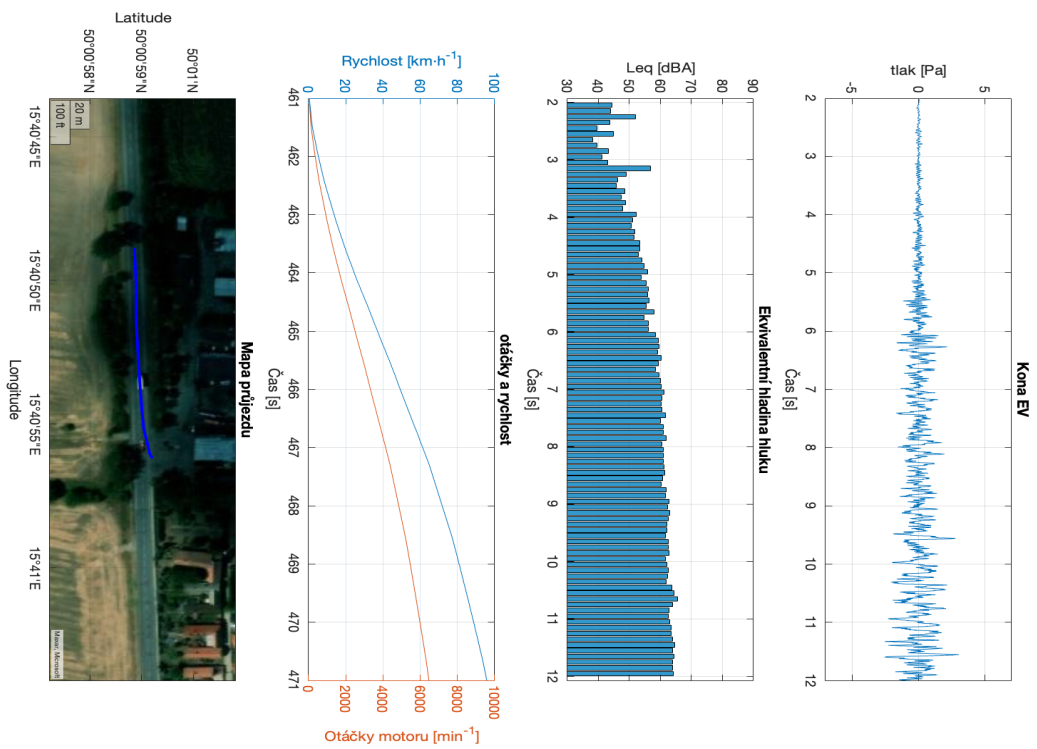
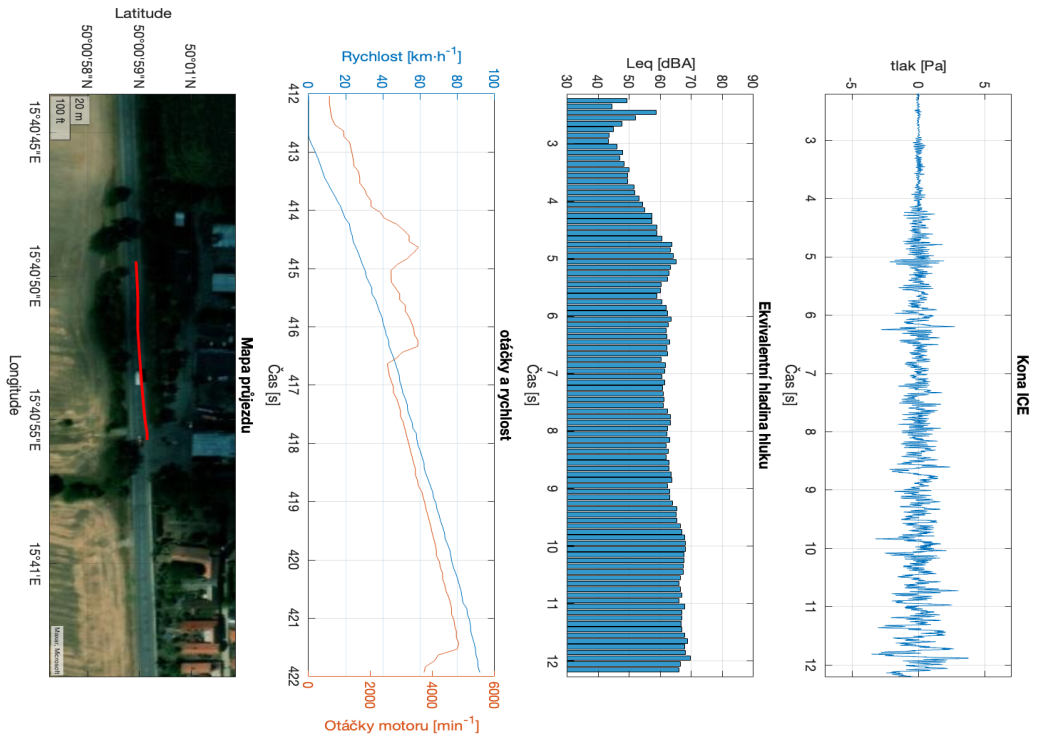


Mapa příjezdu



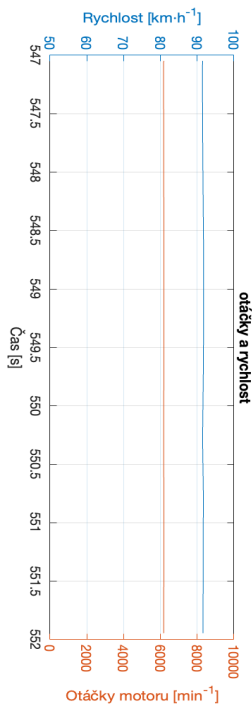
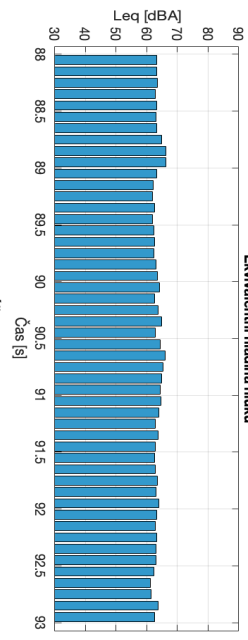
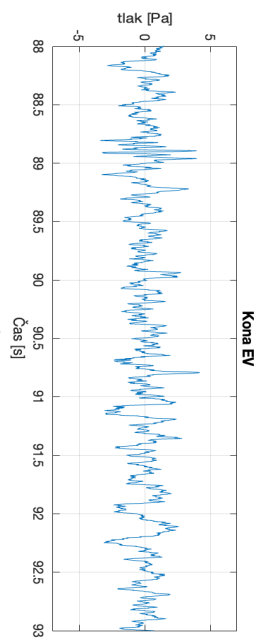
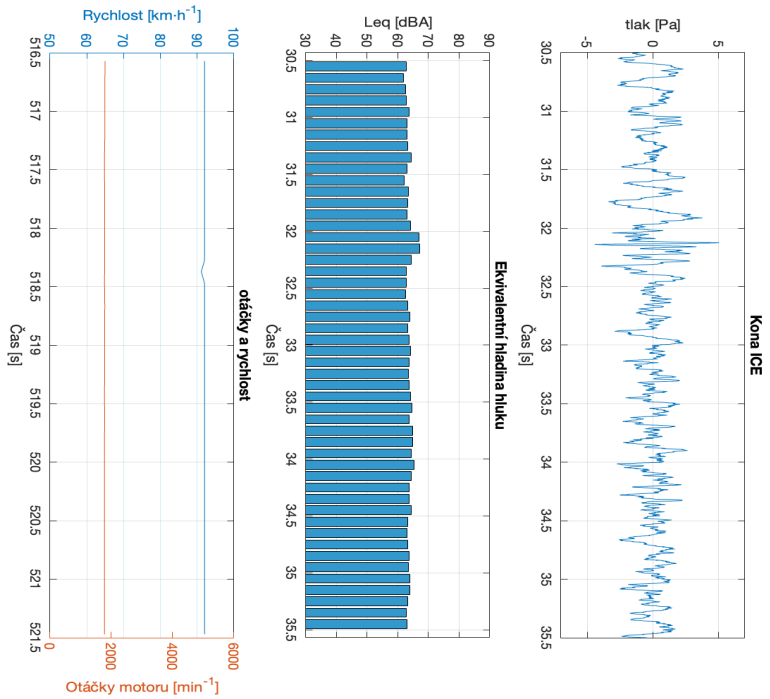
Příloha č. 514/614

514/614 - ACC Panasonic



Příloha č. 515/615

515/615 - tempomat - 100 km/h, tam



Příloha č. 516/616

516/616 - tempomat - 100 km/h, zpět

