



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Lubomír Krajňák

**Posouzení jízdních vlastností městského  
elektromobilu**

Bakalářská práce

**2024**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Lubomír Krajňák**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Posouzení jízdních vlastností městského elektromobilu**

Název tématu (anglicky): Assessment of Driving Characteristics of an Urban EV

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Proved'te rešerši sledovaných jízdních vlastností vozidla se zaměřením na vozidla pro městský provoz
- Proved'te rešerši existujících zkoušek jízdní dynamiky automobilů
- Na vybraných vozidlech popište rozdíly konstrukce elektromobilů oproti vozidlům s konvečním spalovacím pohonem a její vliv na jízdní dynamiku
- Na základě rešerše navrhnete metodiku zkoušek pro otestování jízdních vlastností městského elektromobilu
- Proved'te praktické měření jízdní dynamiky na vybraném vozidle, naměřená data analyzujte a diskutujte výsledky



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5
- Vlk, František.: Dynamika motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Mík, Ph.D.**  
**Ing. Michal Cenkner**

Datum zadání bakalářské práce: **23. června 2023**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **5. srpna 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Lubomír Krajňák  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 23. června 2023

## POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som veľmi rád poďakoval všetkým, ktorí ma akoukoľvek formou podporovali pri písaní bakalárskej práce. Veľká vďaka patrí mojim obom školiteľom, a to pánu Ing. Josefovi Míkovi, Ph.D a pánu Ing. Michalovi Cenkerovi, za cenné rady a usmernenia, ktoré mi poskytovali počas celej doby tvorenia tejto práce. Ďalej by som sa rád poďakoval pánu Ing. Josefovi Svobodovi za prínosné rady a za jeho čas. Na záver ďakujem mojej rodine a priateľom, ktorí mi boli počas štúdia vždy veľkou oporou.

## VYHLÁSENIE

Nemám závažný dôvod proti užívaniu tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon). (pokud nebyla tato závěrečná práce zadána jako utajená dle čl. 15 odst. 11 aktuální Směrnice děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů)

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

V Prahe dňa 05. 08. 2024

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

POSOUZENÍ JÍZDNÍCH VLASTNOSTÍ MĚSTSKÉHO  
ELEKTROMOBILU

bakalářská práce

srpen 2024

Ľubomír Krajňák

**ABSTRAKT**

Bakalárska práca sa zaoberá jazdnými vlastnosťami malého mestského elektrického vozidla. Uskutočňujú sa v nej merania dvoch skúšok jazdnej dynamiky, konkrétne losieho testu a maximálneho brzdenia. Sleduje sa reakcia elektrického vozidla na rôzne podnety počas testov.

Kľúčové slová: elektromobil, jazdné vlastnosti, losí test, maximálne brzdenie

**ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the driving characteristics of a small urban electric vehicle. It includes measurements of two driving dynamics tests, specifically the moose test and maximum braking test. The response of the electric vehicle to different stimuli during the tests is monitored.

Keywords: Electric Vehicle, driving characteristics, moose test, maximum braking

# OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK.....	7
1 Úvod .....	8
2 Jazdné vlastnosti vozidla.....	9
2.1 Brzdenie .....	9
2.1.1 Systémy ovplyvňujúce brzdenie .....	10
2.2 Stabilita .....	13
2.2.1 Systémy ovplyvňujúce stabilitu .....	13
2.3 Konštrukcia vozidla .....	14
2.3.1 Karoséria .....	14
2.4 Riadenie .....	15
2.4.1 Ackermannova podmienka .....	15
2.4.2 Nedotáčavosť .....	16
2.4.3 Pretáčavosť .....	17
2.5 Pohon.....	18
2.5.1 Konceptia pohonov ICE .....	18
2.5.2 Konceptia pohonov EV.....	19
2.5.3 Systém ovplyvňujúci pohon .....	19
2.6 Pruženie a tlmenie.....	20
2.6.1 Pružiny .....	20
2.6.2 Tlmiče.....	20
2.7 Jazdné odpory.....	20
2.7.1 Odpor valenia .....	21
2.7.2 Odpor vzduchu .....	21
2.7.3 Odpor stúpania .....	22
2.7.4 Odpor zrýchlenia.....	22
3 Testy jazdnej dynamiky vozidiel .....	23

3.1	Meracia technika .....	23
3.1.1	Pohybové jednotky .....	23
3.1.2	Zariadenia.....	23
3.2	Testy výkonu .....	24
3.2.1	Výkon motora na valcovej brzde .....	24
3.2.2	Výkon motora pomocou jazdnej skúšky .....	24
3.3	Testy akcelerácie .....	25
3.3.1	Zrýchlenie na požadovanú rýchlosť .....	25
3.3.2	Zrýchlenie na požadovanú vzdialenosť.....	25
3.4	Testy brzd .....	25
3.4.1	Brzdenie z definovanej rýchlosti do úplného zastavenia .....	26
3.5	Testy stability a ovládateľnosti.....	26
3.5.1	Brzdenie v priamom smere .....	26
3.5.2	Brzdenie pri zatáčaní .....	27
3.5.3	Losí test.....	27
3.5.4	Slalom .....	28
3.6	Testy riadenia.....	28
3.6.1	Polomer otáčania vozidla.....	28
4	Porovnanie BEV a ICE .....	29
4.1	Automobily so spaľovacím motorom.....	29
4.2	Automobily s elektrickým motorom .....	29
4.3	Konkrétny zástupcovia .....	29
4.3.1	Škoda Citigo a Škoda Citigo-e IV.....	30
4.3.2	Audi RS7 Sportback a Audi E-Tron GT Fastback.....	31
5	Návrh jazdných skúšok .....	32
5.1	Popis použitých skúšok .....	32
5.1.1	1. jazdná skúška – losí test.....	32
5.1.2	2. jazdná skúška – maximálne brzdenie z definovanej rýchlosti.....	33

5.2	Testovacia oblasť .....	33
5.3	Sledované veličiny .....	34
5.4	Testovacie vozidlo .....	34
6	Priebeh testov .....	35
6.1	Testovacia oblasť .....	35
6.2	Meracia technika .....	35
6.3	Testovacie vozidlo .....	36
6.4	Meranie losieho testu .....	36
6.4.1	Rýchlosť 50 km/h .....	37
6.4.2	Rýchlosť 70 km/h .....	39
6.4.3	Rýchlosť 90 km/h .....	41
6.5	Zhrnutie výsledkov losieho testu .....	42
6.6	Meranie maximálneho brzdzenia .....	43
6.6.1	Brzdenie z rýchlosti 50 km/h .....	43
6.6.2	Brzdenie z rýchlosti 70 km/h .....	47
6.6.3	Brzdenie z rýchlosti 90 km/h .....	50
6.7	Zhrnutie výsledkov maximálneho brzdzenia .....	53
6.8	Postup vyhodnotenia v programe .....	54
6.8.1	Vyhodnotenie losieho testu .....	54
6.8.2	Vyhodnotenie testu bŕzd .....	54
7	Diskusia výsledkov .....	55
8	Záver .....	57
	POUŽITÉ ZDROJE .....	58
	ZOZNAM OBRÁZKOV .....	64
	ZOZNAM GRAFOV .....	64
	ZOZNAM TABULIEK .....	65



## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ABS	protiblokovací brzdový systém (Anti-lock Brake System)
ASR	systém regulácie preklzu kolies (Anti-Slip Regulation)
AWD	pohon všetkých štyroch kolies (All-Wheel Drive)
BAS	núdzový brzdový asistent (Brake Assistant System)
BEV	batériové elektrické vozidlo (Battery Electric Vehicle)
ESC	elektronický stabilizačný systém (Electronic Stability Control)
EV	elektrické vozidlo (Electric Vehicle)
FWD	pohon prednej nápravy (Front-Wheel Drive)
GNSS	globálny navigačný satelitný systém (Global Navigation Satellite System)
ICE	klasický spaľovací motor (Internal Combustion Engine)
RWD	pohon zadnej nápravy (Rear-Wheel Drive)

# 1 Úvod

V dnešnej modernej mestskej premávke je v oblastiach, kde je nedostatočne rozvinutá hromadná doprava, veľké množstvo osobných vozidiel [64]. Do centier miest by však kvôli svojej veľkosti mali patriť malé a kompaktné vozidlá. Je potrebné podotknúť, že v súčasnosti je cítiť tlak na znižovanie emisií, kvôli vyššiemu počtu osobných automobilov. Odpoveďou automobilového priemyslu na tieto požiadavky je snaha vyrábať automobily poháňané alternatívnymi pohonmi. Elektrické vozidlá je potrebné stále vylepšovať a testovať, aby dokázali naplniť požiadavky užívateľov.

Jazdné vlastnosti vozidiel zahŕňajú širokú škálu oblastí, ktoré testujú rôzne súčasti vozidla [1]. Na každú z týchto charakteristík sa musí náležite prihliadať, aby automobil dokázal poskytnúť užívateľovi bezpečie a náležitý komfort.

V tejto bakalárskej práci sa kladie dôraz na jazdné vlastnosti mestského elektrického vozidla (anglicky Electric Vehicle, EV). Rozoberá sa problematika rôznych súčastí automobilov, ktoré priamo súvisia s ich jazdnými vlastnosťami. Popisujú sa jazdné skúšky sledujúce rozličné parametre, ktoré sa na automobiloch dnešnej doby uskutočňujú. Ďalej sa tiež sledujú podstatné technické parametre EV, ktoré sú porovnávané s technickými parametrami automobilov poháňaných konvenčným pohonom. Porovnáva sa ich vplyv na jazdnú dynamiku.

Navrhne sa metodika jazdných skúšok, testovacej oblasti spolu s veľkostnými parametrami dôležitých bodov, použitej techniky a vozidla. Na základe navrhutej metodiky sa následne sleduje reakcia a správanie konkrétnej vzorky malého, elektricky poháňaného, mestského vozidla. Vozidlo sa vystavuje jazdným skúškam, pri ktorých sa sledujú jeho vlastnosti a včasné reakcie na úkony od testovacieho jazdca. Výsledky sa potom vyhodnocujú v programe umožňujúcom ich grafické vyhodnotenie.

## 2 Jazdné vlastnosti vozidla

Na to, aby bolo vozidlo spôsobilé na jazdu po komunikáciách je potrebné, aby plnilo isté kritéria [1]. Jazdné vlastnosti spĺňa každá kategória vozidiel inak, a preto sa štandardne rozdeľujú automobily do viacerých kategórií. V konečnom dôsledku však určujú reakciu vozidla na rozličné situácie a podmienky. Konštruktéri by mali zostrojovať také vozidlá, ktoré budú schopné zvládať rôzne situácie.

Mestská premávka sa v niektorých ohľadoch líši svojimi podmienkami na jazdu oproti jazde mimo mesto. V našich zemepisných šírkach sa v meste jazdí rýchlosťou 50 km/h, čo je v porovnaní s extravilánom, kde je povolené jazdiť až 90 km/h, patrný rozdiel [63]. Taktiež sa v mestských oblastiach nachádza väčší počet vozidiel, čo môže mať za následok vznik kolón. Pri jazde v meste je potrebné počítať s vyšším výskytom chodcov a cyklistov, a tomu prispôbovať svoju jazdu. V takýchto situáciách môžu byť nápomocné asistenčné systémy, ktoré dnešné moderné vozidlá ponúkajú [5] [7].

Táto kapitola je venovaná dôležitým vlastnostiam vozidiel s pohľadom na mestskú premávku.

### 2.1 Brzdenie

Brzdy tvoria jeden z najhlavnejších bezpečnostných komponentov a patria k neodlúčiteľnej výbave vozidla [1]. Plnia jednu z najdôležitejších funkcií vozidla, ktorou je včasné zastavenie. Pri procese brzdenia je kinetická energia automobilu najčastejšie premieňaná na tepelnú energiu. Nakoľko je nutné zastaviť vozidlo, musia byť dodržané isté podmienky. Vozidlo musí byť zastavené včas. Ďalšou podmienkou je zastavenie vozidla bez straty jeho stability. Najdôležitejšou podmienkou tohto procesu je dôjsť k zastaveniu vozidla bez ohrozenia ostatných účastníkov cestnej premávky.

Dôležitým ukazovateľom kvalitnej brzdovej sústavy je práve dĺžka brzdnej dráhy [2], na ktorej je vozidlo schopné zastaviť (viď kapitola 3.4.1).

Podľa účelu sa brzdy v osobných autách rozdeľujú na [2]:

- Prevádzkové – umožňujú ovládať pohyb automobilu, rýchlo a efektívne ho zastaviť pomocou privádzania brzdneho momentu na otáčajúce sa kolesá
- Parkovacie – umožňujú udržať vozidlo vo svahu

V rámci elektrických a hybridných vozidiel sa vyskytuje ďalší typ brzdenia, a tým je rekuperačné brzdenie [3]. Pri tomto brzdení dochádza k premene kinetickej energie na energiu elektrickú, ktorá je ukladaná do batérií. Rekuperačné brzdenie zahŕňa niekoľko módov miery rekuperácie a umožňuje každému užívateľovi zvlášť si ho prispôbiť v závislosti od jazdy.

Aktuálnym trendom u elektrických vozidiel je takzvaný „One Pedal Driving“, a teda využívanie jedného pedálu [3]. Režim rekuperácie dokáže brzdiť tak účinne, že je schopný priviesť automobil až do úplného zastavenia. Tento mód je obzvlášť nápomocný najmä v mestských podmienkach.

Štúdie z poľskej univerzity v Kielci [4], ktorej predmetom bola analýza získanej energie pri brzdení elektrického vozidla v rôznych jazdných podmienkach dokázali, že kinetická energia počas procesu brzdovania umožňuje dodatočné nabitie batérie vozidla, čím je možné predĺžiť jeho dojazd. Potvrdilo sa, že jazdné podmienky priamo vplyvajú na energetickú efektívnosť elektrického vozidla. Vďaka svojim simulačným testom potvrdili, že úroveň znovuzískanej energie počas brzdovania bola najvyššia práve v mestských podmienkach, čo môže predstavovať až 20 % celkovej energie spotrebovanej počas jazdy.

V rámci mesta, kde je často nutné pribrzdovanie, spomaľovanie, či nečakané zastavovanie, by mali byť brzdy schopné reakcie na rôzne takéto situácie a dokázať poskytnúť dostatočný brzdný výkon.

Na druhej strane, mimo miest, kde je možné stretnúť sa s rôznymi náročnými úsekmi typu ostrých zákrut alebo tiahlych serpentín dolu kopcom, by zasa brzdy mali pracovať dlhodobo a neúnavne.

### **2.1.1 Systémy ovplyvňujúce brzdzenie**

Vo vozidlách sa rozoznávajú systémy, ktoré ovplyvňujú brzdzenie a dopomáhajúce vozidlu lepšie zastaviť.

#### **ABS (Anti-lock Brake System)**

Jedná sa o systém patriaci do rodiny prvkov aktívnej bezpečnosti a slúžiaci proti zablokovaniu kolies vozidla (anglicky Anti-lock Brake System, ABS) [5]. Pre jazdu je nebezpečné, ak nastane zablokovanie kolies, pretože dochádza k strate adhézie medzi pneumatikou a vozovkou. Pokiaľ nastane situácia, kedy je nutné začať prudko brzdiť, systém ABS pomocou regulovania brzdného tlaku na každom kolese zabráni ich zablokovaniu. V prípade núdzového brzdovania sa kolesá vďaka reguláciám budú stále otáčať, čím vozidlo zostáva ovládateľné.

Pokiaľ riadiaca jednotka dostane signál, že došlo k blokácii kolesa, krátkodobo zníži tlak v brzdovom potrubí, čím koleso udržiava rotáciu. ABS dokáže takto reagovať až 40-krát za sekundu, pričom je zachované takmer plynulé otáčanie kolies a zabezpečená ovládateľnosť vozidla.



Obrázok 1 Situácia bez ABS [5].

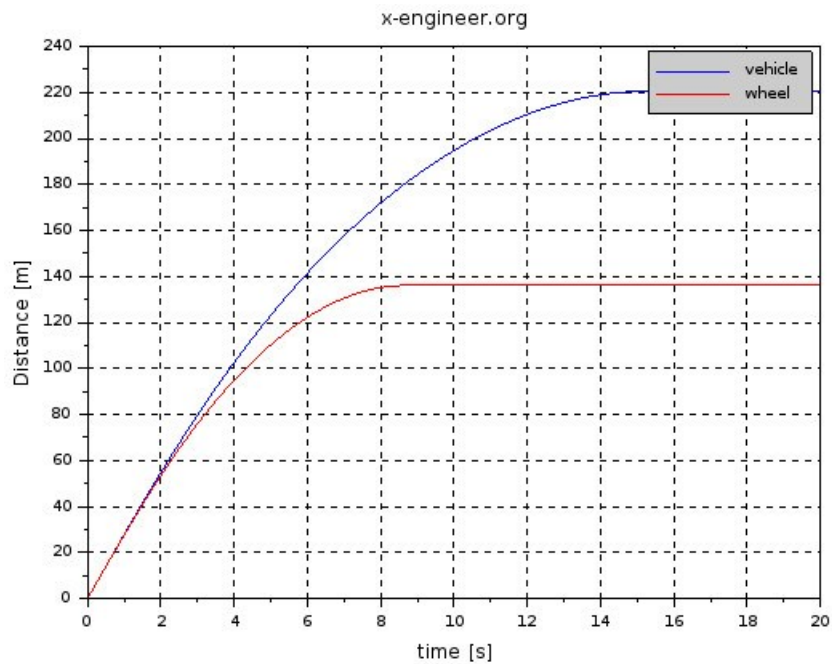


Obrázok 2 Situácia s ABS [5].

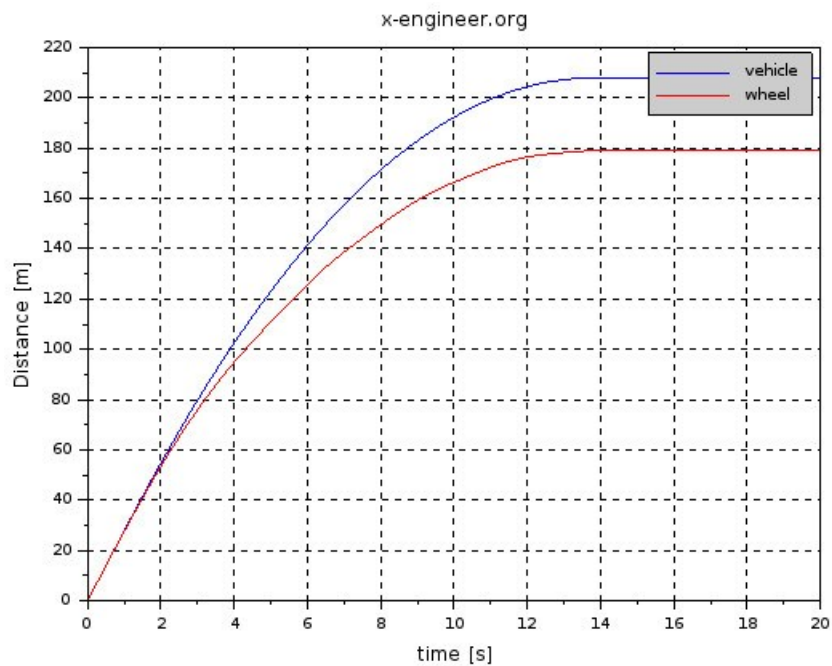
Obrázok 1 a Obrázok 2 demonštrujú dve situácie, do ktorých sa vozidlo dostáva. Je patrné, že prvý prípad (Obrázok 1) zrejme simuluje vyhýbací manéver s vypnutým alebo vôbec neintegrovaným systémom. Odpoveďou je uvedenie vozidla do nekontrolovateľného šmyku.

V druhom prípade (Obrázok 2) je ABS zapnutý a dochádza k plynulému manévru a ukorigovaniu vozidla v rámci svojej dráhy. Pokiaľ toto vozidlo dobre udržiava svoju stopu, môže to byť znak toho, že je navyše vybavené aj elektronickým stabilizačným systémom, ktorý bude charakterizovaný v tejto práci neskôr.

Z týchto dvoch situácií môže vyplývať, že ABS nachádza svoje uplatnenie nielen pri brzdení, ale aj pri vyhýbaní sa prekážke.



Graf 1 Vzďialenosť kolesa a vozidla bez ABS [6].



Graf 2 Vzďialenosť kolesa a vozidla s ABS [6].

Pokiaľ nie je v prevádzke ABS (Graf 1), koleso sa zablokuje [6]. Keďže sa zablokuje, tak vzdialenosť, ktorú prešlo, sa zastaví na hodnote, keď sa prestalo otáčať a vozidlo pokračuje so zablokovanými kolesami (červená krivka). Z tohto dôvodu je aj účinok bŕzd nízky. Brzdná dráha potrebná na úplné zastavenie celého vozidla (modrá krivka) rozbehnutého rýchlosťou vyše 100 km/h s hmotnosťou 1200 kg tak predstavuje 220 metrov.

Naopak, pokiaľ ABS je v prevádzke (Graf 2), koleso sa neustále otáča a nikdy nedochádza k jeho úplnému zablokovaniu (červená krivka) [6]. Z tohto dôvodu je účinok bŕzd vyšší, než bez zásahu ABS. Odzrkadľuje sa to na brzdnú dráhu celého vozidla (modrá krivka) s rovnakými parametrami, ktorá predstavuje 210 metrov, čo je až o 10 metrov menej a činí tak značný rozdiel v porovnaní s vypnutým ABS.

### **BAS (Brake Assistant System)**

Núdzový brzdový asistent (anglicky Brake Assistant System, BAS) je bezpečnostný systém, ktorý je schopný v krízových situáciách maximalizovať brzdú silu [7]. Vďaka tomuto systému sú brzdy vozidla využité na svoj plný potenciál, čo v praxi znamená výrazné skrátenie brzdnú dráhu, a tým rýchlejšie a bezpečnejšie zastavenie vozidla. Pokiaľ v núdzovej situácii vodič prudko stlačí brzdový pedál, systém tento impulz zaregistruje, automaticky zvýši brzdú tlak a svojim zásahom dokáže skrátiť brzdú dráhu až o 45 %.

## **2.2 Stabilita**

Stabilita predstavuje schopnosť vozidla byť ovládané [1]. V rámci bezpečnosti je potrebné udržiavať stabilitu v čo najväčšej miere, a tým dosiahnuť kontrolu nad vozidlom. Existuje veľa spôsobov a skúšok, ktorými sa dá hodnotiť stabilita. Na jej skúmanie sa používajú rozličné zariadenia, v rámci ktorých je možné simulovať rôzne deje dynamického charakteru, a taktiež sily pôsobiace na vozidlo. Pod takéto zariadenia patria napríklad valcové skúšobne (viď kapitola 3.5.1).

V rámci stability je dôležitým faktorom vzájomné pôsobenie vozidla a vozovky, po ktorej sa pohybuje [8]. Na prenášanie vonkajších síl z vozovky, ktoré pôsobia na vozidlo slúži systém odpruženia vozidla (viď kapitola 2.6)

### **2.2.1 Systémy ovplyvňujúce stabilitu**

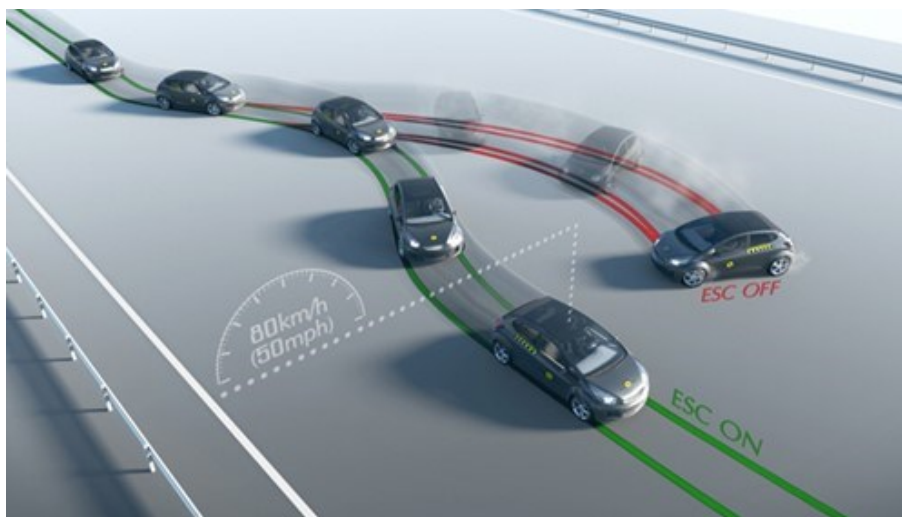
Vo vozidlách sa rozoznávajú systémy, ktoré ovplyvňujú stabilitu vozidla.

#### **ESC (Electronic Stability Control)**

K dopomáhaniu udržiavania stability vozidla slúži elektronický stabilizačný systém (anglicky Electronic Stability Control, ESC) [9]. Pri rôznych podmienkach, ako je napríklad klzký povrch vozovky alebo prudká jazda do zákruty, ktoré sa počas jazdy môžu vyskytnúť, zabezpečí nad vozidlom kontrolu..

V princípe určuje ozaistený smer jazdy, ktorý je kontrolovaný snímačom vychýlenia, snímačom pozdĺžnej a bočnej akcelerácie a snímačom kolies, ktoré reflektujú smer vozidla vyžadovaný vodičom [9]. Smer, ktorý zamýšľa uskutočniť vodič, je potom vyhodnocovaný snímačom

natočenia volantu, snímačom polohy plynového pedálu a spínačom brzdového svetla. Za pomoci týchto monitorujúcich senzorov, sa smer jazdy a pohyb volantu vozidla porovnávajú až 25-krát za sekundu. Pokiaľ dôjde k odchýlkam od normálu, elektronický stabilizačný systém dá pokyn znížiť krútiaci moment motora, a podľa potreby pribrzďuje kolesá. Tým napomáha vodičovi eliminovať prípadné nadobudnutie krízovej situácie, ktorou môže byť šmyk.



Obrázok 3 Účinok ESC pri vyhýbacom manévri v rýchlosti 80 km/h [10].

ESC v sebe zahŕňa tieto schopnosti [11]:

- samostatné ovládanie brzdnych momentov pravých a ľavých kolies nezávisle od seba, a tým zlepšenie smerovej stability vozidla
- vyhodnotenie reálneho správania vozidla v porovnaní so správaním vodiča
- priame určenie hodnoty natočenia vozidla a bočného šmyku
- monitorovanie vstupov riadenia vodiča
- upravovanie hnacieho momentu a udržiavanie kontroly nad samotným vozidlom

## 2.3 Konštrukcia vozidla

Celkové chovanie vozidla veľmi ovplyvňuje jeho konštrukcia [1]. Vozidlo je zložené z mnohých konštrukčných častí, z ktorých každá jedna z nich vykonáva určitú funkciu.

### 2.3.1 Karoséria

Prvok vozidla, ktorý tvorí ochranný obal jeho posádky [12]. Podľa miesta výskytu umiestnenia na vozidle, sa karoséria rozdeľuje na [13]: samonosnú, polonosnú a rámovú (podvozkovú).



### **Samonosná karoséria**

Je bežná karoséria u všetkých osobných vozidiel [14]. Škrupinová karoséria, spadajúca pod túto kategóriu, zabezpečuje tuhosť a pevnosť vozidla [15]. Tým, že podvozok je súčasťou celku, dochádza k úspore hmotnosti, dôsledkom čoho je zlepšenie jazdnej dynamiky a zníženie spotreby paliva.

### **Polonosná karoséria**

Odlahčuje rám vozidla, nakoľko sčasti spĺňa jeho funkciu [13]. Priestorový rám (anglicky Space Frame), je vnútorný rám tvorený z kovových rúrok, nesúci väčšinu záťaže vozidla, zatiaľ čo vonkajšia karoséria nesie menšiu časť [16].

### **Rámová karoséria**

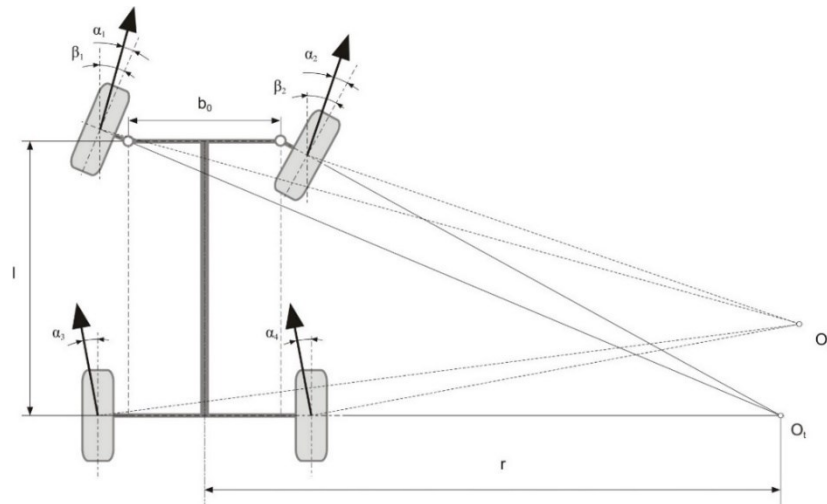
Je upevnená na podvozku, ktorý je nosným komponentom [15]. To umožňuje jazdu aj bez karosérie, čím tento typ dokáže spĺňať modularitu vozidiel. Platformová karoséria, taktiež „skateboardová“, je typ karosérie spadajúci pod rámovú karosériu [16]. Jedná sa o nízko uložený podvozok, ktorý v sebe zahŕňa pohonnú jednotku a zavesenie kolies. Práve dolné uloženie batérií elektrických vozidiel zabezpečuje nízke ťažisko, čo vykazuje lepšie jazdné vlastnosti v rámci stability, či manévrovateľnosti vozidla. Tento typ využívajú vozidlá ako Tesla Roadster alebo Tesla Model S.

## **2.4 Riadenie**

Ďalšou súčasťou vozidla ovplyvňujúcou jeho jazdné vlastnosti je naladenie riadenia [1].

### **2.4.1 Ackermannova podmienka**

Keďže pri jazde zákrutou sú pravé a ľavé koleso natočené pod iným uhlom, vonkajšie a vnútorné koleso opisujú kružnice s rozdielnymi polomermi, v závislosti od smeru zatáčania [17]. Pokiaľ nechceme, aby sa vozidlo dostávalo na vozovke do šmyku, je nutné, aby podvozok spĺňal Ackermannovu podmienku. Tá deklaruje, že „stred otáčania musí ležať v predĺženej osi zadnej nápravy“. Podmienka je však platná pre nízke rýchlosti.

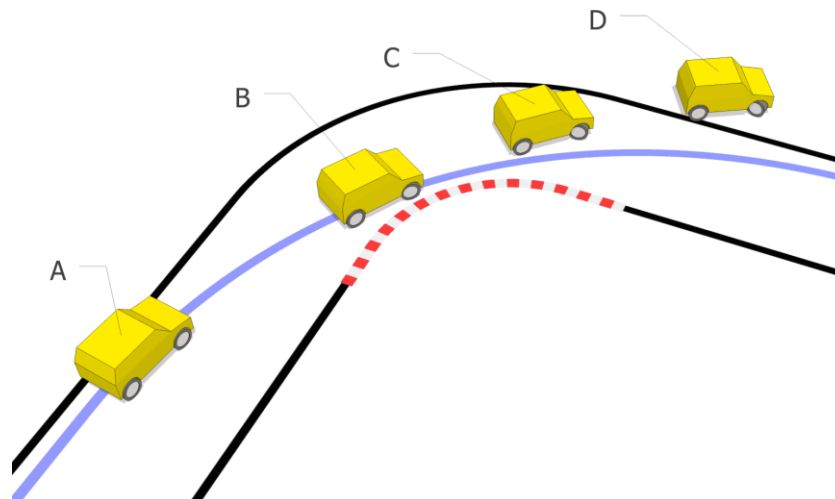


Obrázok 4 Ackermannová schéma [17].

Jednou z možností zlepšenia modelu Ackermannovej podmienky, je model čo najlepšej kontroly nad vozidlom pomocou riadenia všetkých štyroch kolies [18]. Ten by mohol byť účinný práve v mestských podmienkach pri rôznych manévroch, ako je pomalé zatáčanie či parkovanie. Pri parkovaní dochádza v tomto modeli k otáčaniu zadných kolies opačným smerom, čo umožňuje vykonať manéver v ostrej zákrute. Pri vyšších rýchlostiach sa zadné kolesá otáčajú rovnakým smerom ako predné, čo zabezpečuje lepšiu stabilitu a menší náklon karosérie v zákrutách.

### 2.4.2 Nedotáčavosť

Prevažne v automobiloch s pohonom predných kolies, dochádza k javu nedotáčavosti [19]. Jedná sa o nevyžiadané správanie vozidla pri príliš rýchlom prejazde zákrutou, kedy automobil zatáča menej, ako by mal. Dochádza tak k strate príľnavosti pneumatík. Predné kolesá sa snažia v zákrute čo najlepšie preniesť výkon motora na vozovku a vozidlo sa dostáva mimo žiadaného smeru.



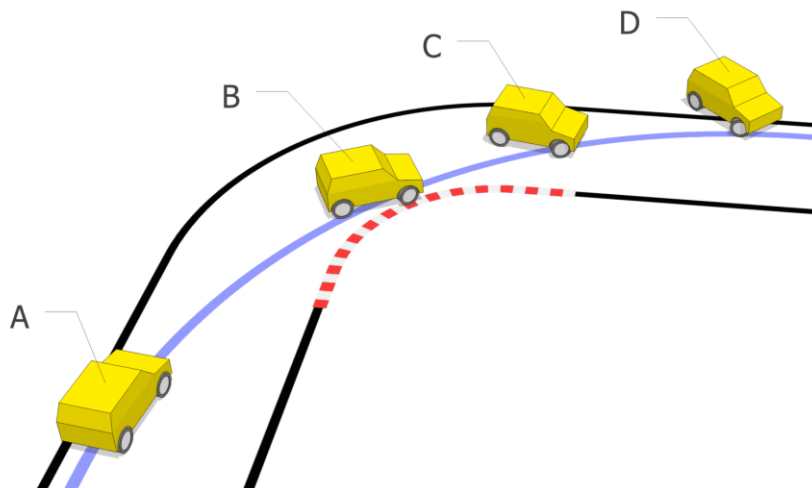
Obrázok 5 Nedotáčavosť [20] (upravené autorom).

Na Obrázku 5 sú viditeľné 4 fázy, ktoré nastávajú pri procese nedotáčavosti [20].

- Fáza A: Vozidlo je nasmerované k vnútornému bodu zákruty.
- Fáza B: Vozidlo prechádza okrajom zákruty, no vytláča sa mimo žiadaný smer.
- Fáza C: Vozidlo nekontrolovateľne vychádza zo žiadaného smeru.
- Fáza D: Vozidlo na okraji vozovky v dôsledku nedotáčavého prejazdu.

### 2.4.3 Pretáčavosť

Opakom nedotáčavosti je pretáčavosť [19]. Tá je bežná pre vozidlá s pohonom zadnej nápravy. Zadná náprava nie je riadená, len je prostredníctvom nej prenášaný výkon a brzdenie na vozovku. Pokiaľ sa dostane veľký výkon na zadné hnacie kolesá, opäť dochádza k strate príľnavosti a kolesá sa začnú pretáčať. V zákrute je tento jav sprevádzaný plávaním zadnej časti vozidla, ktorá sa dostáva do nekontrolovateľného šmyku, pretože vozidlo príliš zatáča.



Obrázok 6 Pretáčavosť [21] (upravené autorom).

Na Obrázku 6 sú viditeľné opäť 4 fázy, ktoré nastávajú pri pretáčavosti [21]:

- Fáza A: Vozidlo nasmerované k vnútornému bodu zákruty.
- Fáza B: Strata príľnavosti na zadných kolesách, začiatok šmyku – odpoveďou vodiča je vytočenie volantu do opačného smeru, aby sa docielilo udržanie vozidla na vozovke.
- Fáza C: Priebeh šmyku a udržiavanie kontroly.
- Fáza D: Vozidlo na okraji vozovky v dôsledku pretáčavého prejazdu.

## 2.5 Pohon

Pod pohonom si je možné predstaviť súbor vozidlových komponentov slúžiacich na pohyb vozidla.

### 2.5.1 Konceptia pohonov ICE

Vo vozidlách so spaľovacím motorom (anglicky Internal Combustion Engine, ICE) sa rozlišujú rôzne koncepcie pohonov.

#### Pohon predných kolies

FWD (anglicky Front-Wheel Drive) je typický pre väčšinu vozidiel v dnešnej dobe [22]. Motor je uložený vpredu, a zároveň poháňa predné kolesá, čím je zabezpečená ich lepšia trakcia. Všeobecne sú vozidlá s týmto pohonom charakteristické nižšou váhou, čo môže znižovať spotrebu paliva.

#### Pohon zadných kolies

RWD (anglicky Rear-Wheel Drive) je typ pohonu, kde je motor umiestnený vzadu a poháňané sú zadné kolesá [22]. Typické využitie pre nákladné vozidlá alebo športové vozidlá,

kedy poskytuje potrebnú trakciu a taktiež dobrú ovládateľnosť. Nevýhodou tohto pohonu v rámci jazdných vlastností môže byť nižšia trakcia na klzkých cestách.

### **Motor vpredú a poháňaná zadná náprava**

Vozidlo má vpredú uložený hnací reťazec, no pohon sprostredkováva zadná náprava [23]. Nevýhodou tejto koncepcie je obmedzená trakcia na klzkom povrchu.

### **Pohon všetkých štyroch kolies**

AWD (anglicky All-Wheel Drive) dodáva výkon na všetky štyri kolesá [22]. Niektoré typy tejto koncepcie ho nechávajú zapnutý stále. Ten podľa senzorov určuje, ktoré koleso potrebuje aký výkon. Iné typy sú v bežnom režime v pohone dvoch kolies a prepínajú náhon na štyri kolesá až pri zistení straty trakcie.

### **Motor medzi nápravami**

Toto usporiadanie zabezpečuje vhodné rozloženie hmotnosti, keďže sa ťažisko nachádza uprostred vozidla [24].

## **2.5.2 Koncepcia pohonov EV**

V rámci elektromobilov sa hnacie ústrojenstvo oproti vozidlám so spaľovacím motorom nelíši [25]. Rovnako sa tu používa predný alebo zadný pohon. Avšak rozdiel môže byť v počte použitých motorov.

### **Jeden elektrický motor**

Jednomotorové EV má jeden motor, ktorý poháňa buď predné alebo zadné kolesá [26]. Je pripojený k prevodovke, ktorá prenáša výkon cez diferenciál na kolesá.

### **Dva elektrické motory**

V tejto koncepcii jeden motor poháňa predné a druhý zadné kolesá [26]. Výkon EV je podľa potreby distribuovaný na rozličnú nápravu.

### **Použitie viacerých motorov**

Jedná sa o koncepciu štyroch motorov, ktoré umožňujú okamžitý výkon a nezávislé nastavenie krútiaceho momentu na každom kolese zvlášť [27]. Ovládanie výkonu na jednotlivých kolesách tak poskytuje presnú kontrolu trakcie pri rôznych podmienkach a schopnosť potláčať pretáčavosť či nedotáčavosť.

## **2.5.3 Systém ovplyvňujúci pohon**

Vo vozidlách sa rozoznáva systém ovplyvňujúci jeho pohon a trakciu [28].

## **ASR (Anti-Slip Regulation)**

Systém regulácie preklzu kolies (anglicky Anti-Slip Regulation, ASR) pri rozbiehaní je súčasťou vyššie spomínaného ESC (viď kapitola 2.2.1) [28]. Pomocou senzorov na kolesách sú sledované otáčky kolies, a pokiaľ sa otáčky poháňanej nápravy zvýšia oproti otáčkam nepoháňanej nápravy, systém automaticky zasiahne a zrovná krútiaci moment hnacej nápravy.

## **2.6 Pruženie a tlmenie**

Pruženie a tlmenie patria medzi najdôležitejšie prvky komfortu vozidla a ovplyvňujú jeho jazdné vlastnosti [29]. Pružiny vytvárajú spolu s tlmičmi rozhranie medzi odpruženou a neodpruženou časťou vozidla.

To, ako je pruženie a tlmenie kvalitné, má priamy vplyv na životnosť a spoľahlivosť vozidla [1]. Odvíja sa od nich stabilita a ovládateľnosť, nakoľko sú závislé na adhézií medzi pneumatikou a vozovkou. Vďaka ich správne fungovaniu sú taktiež potlačené vibrácie a hluk z vozovky.

### **2.6.1 Pružiny**

Zabezpečujú neustály kontakt pneumatiky s vozovkou a znižujú prenos kmitavých pohybov nápravy vozidla na podvozkové súčasti a karosériu [30]. Svojou správnu funkcionalitou zvyšujú životnosť niektorých podvozkových častí.

### **2.6.2 Tlmiče**

Tlmiče sú komponenty, ktorých úlohou je tlmenie nárazov vzniknutých z nerovností vozovky a zabráneniu ich prenášania na karosériu [29] [30]. Vhodné nastavenie tlmičov dokáže zvýšiť komfort a zlepšiť jazdné vlastnosti.

## **2.7 Jazdné odpory**

Jazdné odpory sú sily, ktoré ovplyvňujú pohyb vozidla proti jeho pohybu [2]. Sú od nich závislé aj jazdné vlastnosti automobilu. Súčet odporov pôsobiacich na vozidlo sa dá vyjadriť pomocou nasledujúceho vzorca:

$$F_K = O_f + O_V + O_S + O_Z$$

Pričom:

$F_K$  je celkový jazdný odpor,  $O_f$  je odpor valenia,  $O_V$  odpor vzduchu,  $O_S$  odpor stúpania a  $O_Z$  odpor zrýchlenia.

### 2.7.1 Odpor valenia

Odpor, ktorý sa vytvára v mieste styku pneumatiky s vozovkou a ktorého pôsobením sa pneumatika deformuje [2]. Odpor valenia sa tiež odvíja od hustenia pneumatík, pretože pri vyššom tlaku vzduchu v pneumatike je jej deformácia menšia. Typ povrchu cesty hraje veľkú rolu v ovplyvňovaní valenia pneumatík. V Tabuľke 1 sú k nahliadnutiu rôzne typy povrchov spolu s ich súčiniteľmi odporu valenia ( $f_k$ ).

Tabuľka 1 Jednotlivé povrchy a ich súčinitele valivého odporu [2].

Povrch	$f_k$
asfalt	0,010 – 0,020
betón	0,015 – 0,025
dlažba	0,020 – 0,030
suchá poľná cesta	0,040 – 0,150
mokrú poľnú cestu	0,080 – 0,200
tráva	0,080 – 0,015
piesok	0,150 – 0,300
sneh	0,200 – 0,300
blato	0,200 – 0,400
ľad	0,01 – 0,025

Z tabuľky je možné vidieť, že každý z typov povrchu reprezentuje rôzny súčiniteľ valivého odporu. Zatiaľ čo na asfalte jeho hodnota dosahuje rozmedzie od 0,010 – 0,020, v blate to je 0,200 – 0,400. V závislosti od povrchu sa dajú predpokladať aj jazdné vlastnosti vozidla. V blate môže byť rozbiehanie, agilita, či manévrovateľnosť vozidla omnoho horšia než na asfalte.

### 2.7.2 Odpor vzduchu

Odpor vytvárajúci sa v dôsledku prúdenia vzduchu medzi hornou časťou (karoséria), dolnou časťou (podvozok) vozidla a povrchom vozovky [2]. Pod vozidlom sa nachádza mierny pretlak, nad vozidlom vysoký podtlak.

Dôležitým ukazovateľom hodnoty vzdušného odporu je súčiniteľ odporu vzduchu ( $c_x$ ) [2]. Jeho hodnota je obzvlášť závislá na tvare vozidla a určuje sa meraním vozidiel v aerodynamickom tuneli. Je to zariadenie na výskum prúdenia vzduchu okolo predmetu, s cieľom vytvoriť tvar, okolo ktorého bude obtekať vzduch s čo najmenším odporom [31].

Hodnota  $c_x$  u osobných automobilov sa bežne pohybuje v intervale od 0,3 – 0,4, športových automobilov od 0,3 – 0,35 a najlepšie obtekanie vzduchu majú závodné vozidlá s krytím kolies, 0,25 – 0,35 [2]. Jazdné vlastnosti automobilu sa odvíjajú od súčiniteľa odporu vzduchu. Pokiaľ

chceme dosiahnuť jeho hodnoty čo najnižšie, je vhodné vytvárať napríklad predok a zadok vozidla v zaoblených tvaroch. Nízka hodnota  $c_x$  sa potom pozitívne odzrkadľuje na nižšej spotrebe paliva, čo je výhodou vozidiel plniacich účel v mestských podmienkach.

### **2.7.3 Odpor stúpania**

Odpor vytvárajúci sa v dôsledku tiaže vozidla rovnobežnej s povrchom vozovky [2]. Mestské vozidlá by mali byť schopné prekonávať maximálne určené stúpania ciest, ktoré sú bežne v intervale 10 – 12 %. Na diaľniciach sa táto maximálne hodnota pohybuje okolo 6 %.

### **2.7.4 Odpor zrýchlenia**

Odpor charakteristický pri procese zrýchľovania vozidla [2]. Predstavuje ho zotrvačná sila pôsobiaca proti smere jeho zrýchlenia.



## **3 Testy jazdnej dynamiky vozidiel**

Súčasný automobilový priemysel ponúka širokú škálu vozidiel. Pri výbere správneho automobilu by sa mali zohľadňovať všetky jeho parametre, podľa vlastnej preferencie a potrieb užívateľa. Preto by malo byť súčasťou porovnanie vozidla podľa rôznych testov. Predmetom skúšok jazdnej dynamiky automobilov je otestovanie schopností reagovať na rozličné situácie. V tejto kapitole sa približujú niektoré takéto skúšky.

### **3.1 Meracia technika**

#### **3.1.1 Pohybové jednotky**

##### **Akcelerometer**

Pohybový senzor využívajúci sa na meranie lineárneho zrýchlenia objektu pozdĺž každej osi [32]. Je zložený zo záťažovej hmoty a mechanických pružín, ktoré umožňujú jej pohyb. Na základe posunutia záťažovej hmoty je umožnený výpočet zrýchlenia.

##### **Gyroskop**

Senzor používajúci sa na meranie uhlovej rýchlosti okolo každej osi [32].

##### **Magnetometer**

Vysoko citlivý senzor používajúci sa na meranie sily a smeru magnetického poľa Zeme [32]. Citlivý je na elektromagnetické rušenie, ktoré môže ovplyvniť presnosť.

##### **Barometer**

Senzor používajúci sa na meranie atmosférického tlaku, ktorý sa dá použiť aj na meranie nadmorskej výšky [33].

#### **3.1.2 Zariadenia**

##### **Titánové podpery**

Podpery používané na testovanie prevrátenia vozidiel [34]. Existujú rôzne typy podľa maximálnej pohotovostnej hmotnosti. Napr. typ NHTSA-3500-A pre vozidlá s maximálnou pohotovostnou hmotnosťou 1587 kg.

##### **XSens MTi-G-710**

Zariadenie na kvalitné určovanie polohy, vďaka vstavanému globálnemu navigačnému satelitnému systému (GNSS), rýchlosti, zrýchlenia a orientácie v prostredí [35]. Disponuje

odolnými gyroskopmi voči vibráciám a podporuje optimalizovanú kalibráciu teploty. Zariadenie je chránené vodotesným hliníkovým krytom [36].

Toto zariadenie využíva na orientáciu trojosový súradnicový systém [37]. Údaje o orientácii sú definované pravouhlým kartézskym súradnicovým systémom, pričom X je v smere na východ (E), Y na sever (N) a Z je smerom hore (U). Taktiež definuje údaje o náklone (Roll), klopení (Pitch) a otočení (Yaw).



Obrázok 7 XSens MTi-G-710 [36].

## 3.2 Testy výkonu

Výkon motora ( $P$ ), ktorý sa meria vo wattoch [ $W$ ], je jedným z najdôležitejších parametrov charakterizujúcich automobil [1]. V praxi je jeho výskyt vo viacerých podobách. Pri testovaní vozidiel sa vychádza z výkonu na hnacích kolesách ( $P_k$ ). Jedná sa o taký výkon, ktorý je prenesený prostredníctvom pneumatík na vozovku.

### 3.2.1 Výkon motora na valcovej brzde

Vozidlo je so svojimi správne nahustenými hnacími kolesami postavené na valce [1]. Motor je privedený k chodu a zahriaty na jeho prevádzkovú teplotu. Následne je zaradený príslušný prevodový stupeň k danej rýchlosti a otáčky udržiavané tak, aby odpovedali maximálnemu výkonu.

### 3.2.2 Výkon motora pomocou jazdnej skúšky

Pomocou dynamometrického privesu, ktorý je zavesený za vozidlo a brzdený pomocou regulovaného dynama, je pripojené vozidlo [1]. Aby bol test presný, automobil musí mať správne nahustené pneumatiky. Táto jazdná skúška sa uskutočňuje na rovnej vozovke. Rýchlosť vozidla je ustálená na žiadaných otáčkach, zisťuje sa sila v ťahu spojovacieho zariadenia a samotná rýchlosť vozidla.

### 3.3 Testy akcelerácie

Pri týchto testoch sa musia brať do úvahy poveternostné podmienky [38]. Keďže chladnejší vzduch je hustejší a obsahuje viac kyslíka, motor dokáže spaľovať viac paliva a produkovať viac výkonu. Pri vyššom tlaku je to rovnako.

Čas zrýchlenia je doba, pri ktorej vozidlo zrýchľuje na nejakú rýchlosť [39]. Je to jeden z najdôležitejších ukazovateľov výkonu automobilu. Zrýchlenie odzrkadľuje súlad motora a prevodovky, a taktiež aerodynamické vlastnosti vozidla.

#### 3.3.1 Zrýchlenie na požadovanú rýchlosť

Pri tomto teste sa môže začínať pri rôznych rýchlostiach [38]. Prvou variantou je štart z miesta z nuly na 96,56 km/h. Ďalšou variantou je rozbiehanie sa z rýchlosti 8,05 km/h na 96,56 km/h. Posledné meranie sa odohráva pri zaradenom najvyššom prevodovom stupni z rýchlosti 48,28 km/h na 80,47 km/h a z 80,47 km/h na 112,65 km/h. Na porovnanie rozdielov flexibility pohonu sa používa rozdiel medzi zrýchlením z 8,05 km/h na 96,56 km/h a zrýchlením z 0 na 96,56 km/h. Čím väčší je výsledný rozdiel časov medzi týmito dvoma spôsobmi skúšky, tým väčšie má motor oneskorenie.<sup>1</sup>

Pri zrýchlení na najvyššom prevodovom stupni u vozidiel s manuálnou prevodovkou sa nepodradzuje na nižší prevodový stupeň, zatiaľ čo pri variante automatickej prevodovky dochádza k okamžitému podradeniu [38]. Preto sa časy medzi týmito dvoma prevodovkami nedajú jasne porovnávať.

#### 3.3.2 Zrýchlenie na požadovanú vzdialenosť

Na rovnom úseku dochádza k rozbiehaniu vozidla z 0 km/h a zisťuje sa čas potrebný k prejdenu dráhy, obvykle to býva 1000 m [1].

### 3.4 Testy brzd

Rovnako ako otestovanie zrýchlenia automobilu na danú rýchlosť je dôležité zistiť, ako vie vozidlo z danej rýchlosti spätne zastaviť. K tomu slúžia rôzne testy brzd.

---

<sup>1</sup> Zvláštnosť čísel predstavujúcich rýchlosti v danom odstavci, je spôsobená premenou jednotiek z míľ na kilometre, zaokrúhlených na dve desatinné miesta.

### **3.4.1 Brzdenie z definovanej rýchlosti do úplného zastavenia**

Dôležitým ukazovateľom je brzdná vzdialenosť, ktorú musí v tomto teste vozidlo prekonať od začiatku brzdenia, až po jeho úplné zastavenie [39]. Čím rýchlejšie a na kratšej vzdialenosti automobil zastaví, tým lepší brzdný výkon má jeho brzdná sústava.

Testovanie zastavenia pozostáva zo šiestich zastavení z rýchlosti 112,65 km/h na nulu [38]. Päť testov je vykonaných v rýchlom slede za sebou a šieste meranie sa určuje po chladení bŕzd, aby sa zistilo ako sú brzdy schopné odvádzať teplo.<sup>2</sup>

Testy môžu prebiehať v rôznych podmienkach:

#### **Suchý povrch**

Prebieha na asfalte, brzdenie z rýchlosti 105 km/h do úplného zastavenia s aktiváciou ABS, pričom brzdná vzdialenosť a spomalenie sú zaznamenávané každých 5 km/h [40].

#### **Mokrý povrch**

Rôzne typy asfaltových či betónových povrchov, brzdenie z rýchlosti 85 km/h s aktiváciou ABS [41]. Identifikujú sa rôzne možné scenáre pri brzdení v týchto podmienkach, ako napríklad aquaplaning, pri ktorom dochádza k nedostatočnému odvádzaniu vody z pneumatiky, čo sa vo výsledku prejaví stratou ovládateľnosti vozidla [42].

#### **Zasnežený povrch**

Brzdenie z rýchlosti 45 km/h do úplného zastavenia s aktivovaným ABS [43]. Spomalenie zaznamenávané každých 5 km/h, sledovanie príľnavosti pneumatík a zatláčania snehu.

#### **Zľadovatený povrch**

Test vykonávaný na vnútorných ľadových plochách, brzdenie z rýchlosti 20 km/h až do zastavenia na nulu s aktiváciou ABS [44].

## **3.5 Testy stability a ovládateľnosti**

Na otestovanie stability a ovládateľnosti vozidla sa používajú rôzne druhy skúšok.

### **3.5.1 Brzdenie v priamom smere**

Hodnotí sa stabilita vozidla pri spomalení, a to mierou vybočenia vozidla z priameho smeru [1]. To môže nastať v dôsledku rozličnej adhézie kolies automobilu, zle nastavenej geometrie

---

<sup>2</sup> Zvláštnosť čísla predstavujúceho rýchlosť v danom odstavci, je spôsobená premenou jednotiek z míľ na kilometre, zaokrúhlených na dve desatinné miesta.

vozidla či rozličnému brzdnému účinku každého kolesa individuálne. Môže sa sledovať pomocou jazdnej skúšky alebo na valcovej skúšobni.

**jazdná skúška** – vozidlo sa pohybuje v priamom smere po vyznačenej línii na vozovke [1], začne brzdiť a po zastavení sa sleduje vybočenie zo sledovanej línie

**valcová skúšobňa** – samostatne sa sleduje brzdný účinok kolies vozidla [1], pokiaľ sa na rovnakej náprave nachádzajú kolesá s rozdielnym brzdným účinkom, môže dochádzať k vybočovaniu vozidla

### 3.5.2 Brzdenie pri zatáčaní

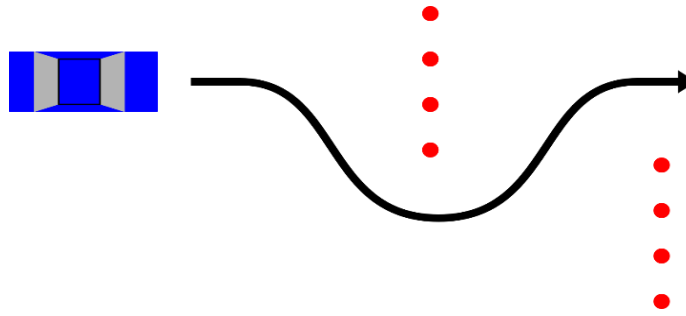
Pri tomto teste sa simuluje vozidlo, ktoré spomaľuje na kruhovej dráhe. Odmeriava sa stabilita vozidla počas brzdenia a zatáčania [45]. Sleduje sa, či vozidlo nevybočí z danej dráhy, či sa kolesa odvalujú a či účinne zabrzdí [1].

### 3.5.3 Losí test

Jedná sa o test vozidla, pri ktorom sa vďaka vyhýbaciemu manévru overuje bočná stabilita automobilu [46]. Losí test sa vykonáva na suchej, dostatočne dlhej a kužeľmi vyznačenej dráhe. Kužele sú usporiadané do koridoru a predstavujú prekážku (Obrázok 8). Najprv sa automobil s požadovanou rýchlosťou približuje ku koridoru vymedzenému kužeľmi. Následne sa uskutoční vyhýbací manéver, v ktorom automobil obíde rad kužeľov a zaradí sa späť do svojho jazdného pruhu. Takto sa celá skúška opakuje s postupne sa zvyšujúcou rýchlosťou, až kým nedôjde k šmyku vozidla alebo zhodeniu kužeľov. Bežne k tomu dochádza pri rýchlosti okolo 90 km/h. Sleduje sa manévrovanie vozidla a návrat do pôvodnej jazdnej línie [47]. Test je absolvovaný úspešne vtedy, pokiaľ je dokončený bez šmyku alebo prevrátenia.

Elektrické autá vykazujú lepšie zvládnutie tohto typu testu, ako vozidlá s konvenčnými motormi [47]. Vyznačujú sa nízkym ťažiskom, vďaka uloženiu batérií v podlahe vozidla, čo má za následok zvýšenú hmotnosť, ale zato nižšie riziko prevrátenia alebo šmyku. Tesla Model X a Porsche Taycan sú najúspešnejšími zástupcami áut tejto jazdnej skúšky.

Jeden zo zástupcov malých EV, konkrétne Seat Mii Electric, s pneumatikami Continental EcoContact 5 185/50 R16, v losom teste nezvládol vyhýbací manéver v rýchlosti 73 km/h a dostal sa do šmyku, ktorý bol sprevádzaný zhodením kužeľov [48].



Obrázok 8 Schéma losieho testu [49] (upravené autorom – preklopenie obrázka).

### 3.5.4 Slalom

Tento test sa uskutočňuje na suchom asfalte pri vypnutom ESC, kde pri určenej rýchlosti vozidlo manévruje medzi dvanástimi kužeľmi vo vzdialenosti každý 18 metrov (Obrázok 9) [50]. Čas sa zaznamenáva automaticky pomocou zariadenia upevneného na vozidle a meria sa od štartovacej, až do cieľovej pozície.



Obrázok 9 Schéma slalomu [51].

## 3.6 Testy riadenia

### 3.6.1 Polomer otáčania vozidla

Jedná sa o test, pri ktorom sa zisťuje priestor potrebný na otočenie vozidla [52]. Ide o polomer kruhu, ktoré opíšu vonkajšie kolesá pri úplnom vytočení volantu do jednej strany. Čím vyššia je hodnota polomeru otáčania, tým viac priestoru potrebuje vozidlo na svoje otočenie. Zisťuje sa ním, ako je vozidlo schopné manévrovať v stiesnených priestoroch, napríklad na parkovisku. Tento údaj je evidovaný aj v technických špecifikáciách vozidiel.

## **4 Porovnanie BEV a ICE**

Súčasné moderné automobily disponujú rôznymi pohonmi. Po boku klasických ICE vozidiel už dlhší čas existujú ich elektrické varianty, batériové elektrické vozidlá (anglicky Battery Electric Vehicle, BEV). Ako už bolo v úvode spomenuté, keďže dnes zo všetkých strán vzniká tlak na znižovanie emisií, snahou automobilového priemyslu je týmto požiadavkám vyhovieť formou výroby čoraz väčšieho množstva vozidiel s alternatívnymi pohonmi. Netreba však zabúdať, že spaľovacie varianty majú stále na trhu veľké uplatnenie a často sa dokonca kombinujú s alternatívnymi pohonmi. Táto kapitola sa venuje charakteristike jednotlivých spomenutých typov a priblíženiu niektorých zástupcov kategórií ICE a BEV.

### **4.1 Automobily so spaľovacím motorom**

V spaľovacom motore nastáva chemický proces uvoľňovania energie zo zmesi paliva a vzduchu [53]. Následne dochádza k spaľovaniu paliva v motore a čiastočnej premene energie zo spaľovania na prácu. Spálené plyny tlačia pohybujúci sa piest vo valci, ten otáča kľukovým hriadeľom a prostredníctvom prevodovky je poháňané vozidlo.

### **4.2 Automobily s elektrickým motorom**

Sú to vozidlá, ktoré namiesto spaľovacieho motora disponujú elektromotorom premieňajúcim elektrickú energiu na mechanickú prácu [54]. Sú poháňané elektrickou energiou z akumulátorov. Od kapacity akumulátorov sa potom odvíja maximálny dojazd vozidla na jedno nabitie. Tento motor nemá len pohonnú funkciu, ale taktiež funguje ako generátor a premieňa mechanickú energiu z brzdenia na elektrickú.

### **4.3 Konkrétny zástupcovia**

Na priblíženie technických parametrov vozidiel sú na ukážku vybrané a medzi sebou porovnané rôzne modely. Porovnávané sú buď totožné automobily s rozdielnymi agregátmi, alebo kategoricky podobné vozidlá tej istej značky s veľmi podobnými technickými parametrami. Vybrané vozidlá tiež disponujú rozdielnymi typmi pohonov, opísanými vyššie (kapitola 2.5). V popise sa vyskytujú dôležité parametre na meranie niektorých jazdných skúšok (viď kapitola 3.3.1 a 3.6.1).

### 4.3.1 Škoda Citigo a Škoda Citigo-e IV



Obrázok 11 Škoda Citigo 1.0 MPI [55].  
(upravené autorom – vymazané pozadie)



Obrázok 10 Škoda Citigo-e IV [56].  
(upravené autorom – vymazané pozadie)

Tabuľka 2 Technické parametre vozidiel [57].

	Škoda Citigo 1.0 MPI	Škoda Citigo-e IV
pohotovostná hmotnosť <sup>3</sup> [kg]	865	1160
pohon	FWD	FWD
motor	zážihový štvorvalec	elektromotor
max. výkon /otáčky [kW/min <sup>-1</sup> ]	55/6200	61/2800 – 12000
max. krútiaci moment/otáčky [Nm/min <sup>-1</sup> ]	95/3000 – 4300	212/0 – 2750
max. rýchlosť [km/h]	173	130
zrýchlenie z 0 na 50 km/h [s]	4,7	3,4
zrýchlenie z 0 na 70 km/h [s]	7,2	5,9
zrýchlenie z 0 na 90 km/h [s]	11,6	9,4
zrýchlenie z 0 na 100 km/h [s]	14	11,7
rozmer pneumatík	175/65 R14	175/70 R14
koeficient odporu vzduchu ( $c_x$ )	0,338	0,325
polomer otáčania [m]	9,8	9,8

V Tabuľke 2 sú zhrnuté parametre dvoch konštrukčne rovnakých vozidiel s rozdielnou motorizáciou. Váha elektrickej varianty je o 295 kg vyššia oproti benzínovej. Krútiaci moment elektrickej verzie je dostupný už od 0 otáčok. Benzínová verzia je vo všetkých zrýchleniach pomalšia. O niečo nižší koeficient odporu vzduchu ponúka elektrický variant.

<sup>3</sup> Pohotovostná hmotnosť udávaná bez vodiča



### 4.3.2 Audi RS7 Sportback a Audi E-Tron GT Fastback



Obrázok 13 Audi RS7 Sportback [58].  
(upravené autorom – vymazané pozadie)



Obrázok 12 Audi E-Tron GT Fastback [59].  
(upravené autorom – vymazané pozadie)

Tabuľka 3 Technické parametre vozidiel [60].

	<b>Audi RS7 Sportback</b>	<b>Audi E-Tron GT Fastback</b>
pohotovostná hmotnosť <sup>4</sup> [kg]	2065	2347
pohon	AWD	AWD
motor	zážihový osemvalec	elektromotor nad každou nápravou
max. výkon /otáčky [kW/min <sup>-1</sup> ]	463/6000	475/5800 – 14500
max. krútiaci moment/otáčky [Nm/min <sup>-1</sup> ]	850/2300 – 4300	830/0 – 5300
max. rýchlosť [km/h]	250 (elektronicky riadená)	250 (elektronicky riadená)
zrýchlenie z 0 na 50 km/h [s]	1,3	1,3
zrýchlenie z 0 na 70 km/h [s]	2,1	1,9
zrýchlenie z 0 na 90 km/h [s]	2,9	2,6
zrýchlenie z 0 na 100 km/h [s]	3,5	3,1
rozmer pneumatík	275/35 R21	245/45 R20 (vpredu) 285/40 R20 (vzadu)
koeficient odporu vzduchu ( $c_x$ )	0,320	0,240
polomer otáčania [m] [61]	12,2	11,6

Tabuľka 3 obsahuje technické parametre dvoch výkonnostne podobných vozidiel s iným typom motora. Čas zrýchlenia z 0 na 50 km/h je rovnaký v oboch variantoch, avšak so zvyšujúcou sa rýchlosťou, čas zrýchlenia benzínového zástupcu klesá. V koeficiente odporu vzduchu so svojou hodnotou vedie elektrický variant.

<sup>4</sup> Pohotovostná hmotnosť udávaná bez vodiča

## 5 Návrh jazdných skúšok

V tejto kapitole sú uvedené konkrétne návrhy jazdných skúšok mestského elektromobilu, podľa ktorých je potom uskutočňované samotné meranie. Navrhované je taktiež prostredie skúšky, meracia technika a ideálne testovacie vozidlo.

### 5.1 Popis použitých skúšok

Z možných skúšok, ktoré slúžia na otestovanie jazdných vlastností vozidla, bol vybraný losí test a maximálne brzdenie.

#### 5.1.1 1. jazdná skúška – losí test

Keďže sa jedná o test manévrovateľnosti, pri ktorom sa chce overiť bočná stabilita vozidla (viď kapitola 3.5.3), navrhol som túto skúšku z dôvodu potreby zistenia chovania automobilu malých rozmerov pri vyhábacom manévri, s víziou priblížiť sa k jeho hraničným hodnotám stability. Ďalším podnetom na vykonanie tohto testu bolo zistenie, či EV vďaka vyššej hmotnosti oproti variante so spaľovacím motorom, má menšiu tendenciu prevrátenia alebo šmyku, vďaka nízkemu ťažisku (viď kapitola 3.5.3).

#### Stanovenie rýchlostí

Ďalej som navrhol rýchlosti a intenzity manévru, pri ktorých bol test realizovaný. Návrhy rýchlostí vychádzali z predpokladov, že testovacie vozidlo je mestský elektromobil a ten plní účel v mestských podmienkach a blízkyh okresných cestách mimo mesta. Podľa toho boli stanovené na 50 km/h, 70 km/h a konečná maximálna rýchlosť odpovedala 90 km/h.

V 50km rýchlosti je dôležité v obci vedieť správne a rýchlo zareagovať na krízové situácie, ktoré sa môžu kedykoľvek vyskytnúť.

70km rýchlosť sa často vyskytuje na cestách na okraji mesta a na predmestiach, kde rýchlostné obmedzenia umožňujú jazdu vyššou rýchlosťou, ako v centre mesta. Opäť jedna z typických lokalít, kam sa užívatelia vozidiel tohto typu dokážu vybrať, a preto bolo vhodné otestovať správanie vozidla v týchto podmienkach.

90km rýchlosť značí maximálny možný limit rýchlosti, ktorou je povolené jazdiť v našich zemepisných šírkach mimo obec. Keďže malý mestský elektromobil je možné využiť aj na kratšie výlety do odľahlejších častí či pravidelné dochádzanie za prácou zo vzdialeného okolia, je dôležité posúdiť, ako je vozidlo schopné zvládnuť náhle manévry a možné prekážky, ktoré sa môžu vyskytnúť v núdzových situáciách pri tejto rýchlosti.

Bežne sa losí test ukončuje až pri rýchlosti, pri ktorej sa vozidlo dostane do situácie šmyku alebo dôjde k náznaku jeho prevrátenia (viď kapitola 3.5.3).

Tieto tri rýchlosti boli vybrané na základe dôvodov zohľadňujúcich charakteristiku a primárne využitie daného typu vozidla, a taktiež zistenia, či chovanie dvoch podobných áut bude totožné alebo sa bude líšiť.

Samotná intenzita zatočenia volantu je subjektívny jav a závisí od konkrétneho vodiča. Rozhodol som sa však pre každú rýchlosť otestovať mierny manéver a ostrý manéver zatočenia volantu a všetky testy uskutočniť s jedným vodičom, aby bolo riziko zanesenia chyby čo najmenšie.

### **5.1.2 2. jazdná skúška – maximálne brzdenie z definovanej rýchlosti**

Užívatelia mestského vozidla sa môžu stretnúť tiež s rôznymi nepredvídateľnými situáciami, vyžadujúcimi jeho rýchle zastavenie. Môže dôjsť k náhlemu objaveniu prekážky na ceste v podobe chodca, cyklistu či iného vozidla a rýchle zastavenie môže zabrániť prípadným kolíziám alebo vážnym zraneniam.

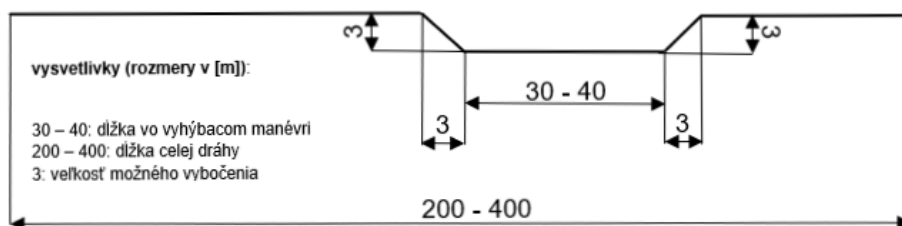
Ako druhú skúšku som preto vybral otestovanie maximálneho brzdenia na suchom povrchu (viď kapitola 3.4.1). Cieľom tohto testu bolo v simulovaných podmienkach, predstavujúcich povolené rýchlosti využívané bežne v premávke, overiť brzdový systém vozidla. Zistiť, za aký čas a na ako dlhej dráhe je vozidlo schopné úplného zastavenia. Taktiež posúdiť, či sú dané brzdy schopné intenzívneho používania bez straty ich účinnosti.

#### **Stanovenie rýchlostí**

Rýchlosti boli opäť stanovené rovnako, ako v predchádzajúcom teste, a to na 50 km/h, 70 km/h a 90 km/h.

## **5.2 Testovacia oblasť**

Na testovanie vybraných jazdných skúšok by mala byť využitá dráha spĺňajúca určité parametre dĺžky, šírky a typu povrchu. Testovacia oblasť by sa mala vybrať s prihliadnutím na dostatočnú šírku priestoru, na ktorej je možné realizovať rôzne testy bez toho, aby bol ovplyvnený chod dopravy a ohrození účastníci ako vo vozidle, tak v jeho okolí. Bola navrhnutá schéma dráh pre oba vybrané testy (Obrázok 14 a Obrázok 15).



Obrázok 14 Navrhovaná schéma losieho testu.



Obrázok 15 Navrhovaná schéma testu maximálneho brzdenia.

V schéme na Obrázku 14 bolo navrhnuté ohraničenie kužeľmi len z jednej strany, pretože do testu sa plánovalo zaradiť neprofesionálneho jazdca. Podobne sa postupovalo aj pri návrhu brzdnjej dráhy na Obrázku 15, kvôli zaisteniu bezpečných podmienok.

### 5.3 Sledované veličiny

Je potrebné sledovať parametre zrýchlenia a náklonu, dáta z nich náležite vyhodnotiť v programe umožňujúcom grafické vykreslenie priebehov skúšok, napríklad Matlab.

### 5.4 Testovacie vozidlo

EV, s ktorým sa vykonávajú testy, by nemalo vykazovať žiadne poruchy po konštrukčnej alebo motoristickej stránke. Aby boli testy uskutočnené čo najpresnejšie, vozidlo by malo mať správne nahustené pneumatiky podľa parametrov udávaných výrobcom a dostatočnú kapacitu batérie na vykonanie všetkých testov. Vozidlo by ďalej malo byť vybavené meracou technikou umožňujúcou presné zaznamenanie všetkých potrebných údajov.

## 6 Pribeh testov

V tejto kapitole sa približujú a vyhodnocujú vykonané testy dynamiky, ktoré boli vybrané a popísané v predchádzajúcej kapitole (viď kapitola 5). Popísané je takisto prostredie skúšky, využívaná meracia technika a konkrétne testovacie vozidlo. Všetky výsledky výpočtov, vyskytujúce sa v tejto kapitole, sú zaokrúhľované na dve desatinné miesta.

### 6.1 Testovacia oblasť

Meranie jazdnej dynamiky prebehlo 7.7.2023 v rámci katedry K616 – Katedra dopravných prostriedkov Fakulty dopravní. Ako testovacia plocha bolo využité okolie areálu letiska v Milovicích (Obrázok 16). Parametre testovacej dráhy (ku dňu 7.7.2023):

- Dĺžka [m]: 300
- Šírka [m]: 9
- Veľkosť možného vybočenia [m]: 3
- Dĺžka vo vyhýbacom manévri [m]: 33
- Typ povrchu: asfalt
- Poveternostné podmienky, teplota vzduchu: slnečno, 30 °C



Obrázok 16 Testovacia dráha.

### 6.2 Meracia technika

Bolo použité zariadenie XSens MTi-G-710 (viď kapitola 3.1.2), pripevnené na strechu vozidla a pripojené svojím výstupom k počítaču, kde sa ukladal záznam vykonávaného testu, ktorého grafické podoby boli vyhodnotené v programe Matlab.

### 6.3 Testovacie vozidlo

Ako testovacia vzorka bol použitý elektromobil značky Škoda, konkrétne model Citigo-e IV s pneumatikami Barum Bravuris 5 185/50 R16 (Obrázok 17). Vozidlo bolo vybavené meracou technikou (viď kapitola 6.2), ktorá umožňovala presné zaznamenanie všetkých potrebných údajov. Technické parametre tohto vozidla sú k dispozícii k nahliadnutiu v Tabuľke 2 v kapitole 4.3.1.



Obrázok 17 Testovacie vozidlo.

### 6.4 Meranie losieho testu

Na začiatku každého testu, bolo potrebné na dostatočnej vzdialenosti rozbahnúť testovacie vozidlo na požadovanú rýchlosť a udržiavať smer. Potom v tesnej blízkosti vymedzenia dráhy kuželmi, zatočiť dostatočne volantom tak, aby bolo s vozidlom možné sa vyhnúť prekážke po jeho ľavej strane a následne sa vrátiť do pôvodnej línie, čo znamenalo uskutočniť opačný vyhýbací manéver.

V prípade tohto merania bola ako konečná rýchlosť stanovená 90 km/h, ktorá sa už ďalej neprekračovala. Bola to dohoda na mieste z dôvodu bezpečnosti posádky, jej okolia a rizika prevrátenia vozidla. Taktiež sa pri rýchlosti 90 km/h postupovalo trochu odlišne v počte manévrov, než pri predchádzajúcich dvoch rýchlostiach. Vyhýbací manéver sa kvôli zaisteniu bezpečnosti posádky a jej okolia, rozkolísaniu vozidla a jeho možnému poškodeniu, stanovil na jeden – vyhnutie sa prekážke vybočením doprava. Stredný a ostrý manéver bol ponechaný, no v oboch prípadoch sa vykonalo len jedno vybočenie.

Spolu tak bolo uskutočnených 6 meraní tohto testu. Vždy dva manévry pre každú rýchlosť. Samotné situácie a ich zaujímavé kombinácie boli graficky vyhodnotené a popísané nižšie v tejto kapitole.



### 6.4.1 Rýchlosť 50 km/h

Ako prvé bolo uskutočnené meranie pri rýchlosti 50 km/h so strednou intenzitou zatočenia volantu pred prekážkou (Obrázok 19 vľavo a Obrázok 20 vľavo). Druhé meranie bolo vykonané pri tej istej rýchlosti, ale s ostrým manévrom (Obrázok 19 vpravo a Obrázok 20 vpravo).



Obrázok 18 Počiatočná poloha vozidla - priamy smer.

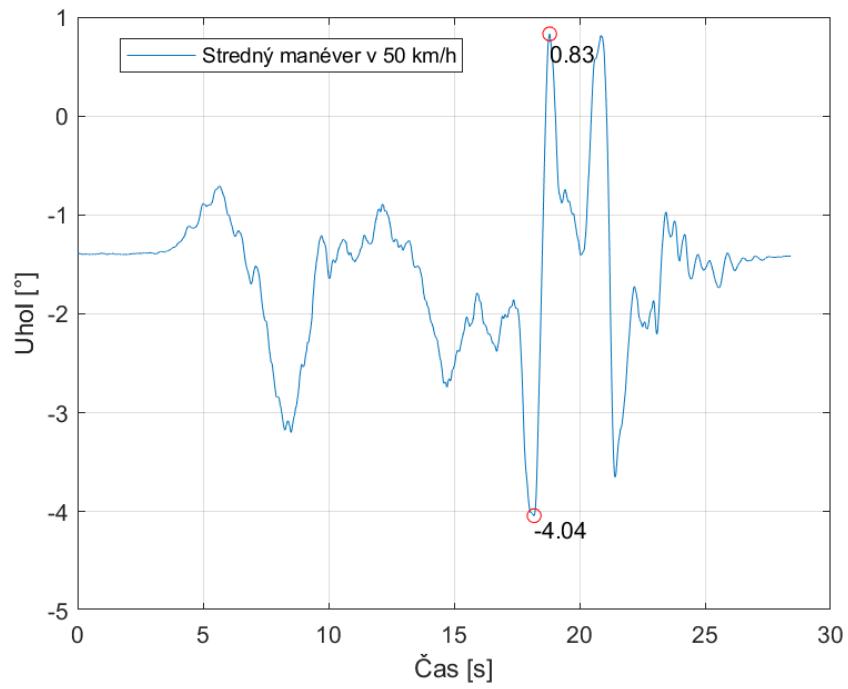


Obrázok 19 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie.

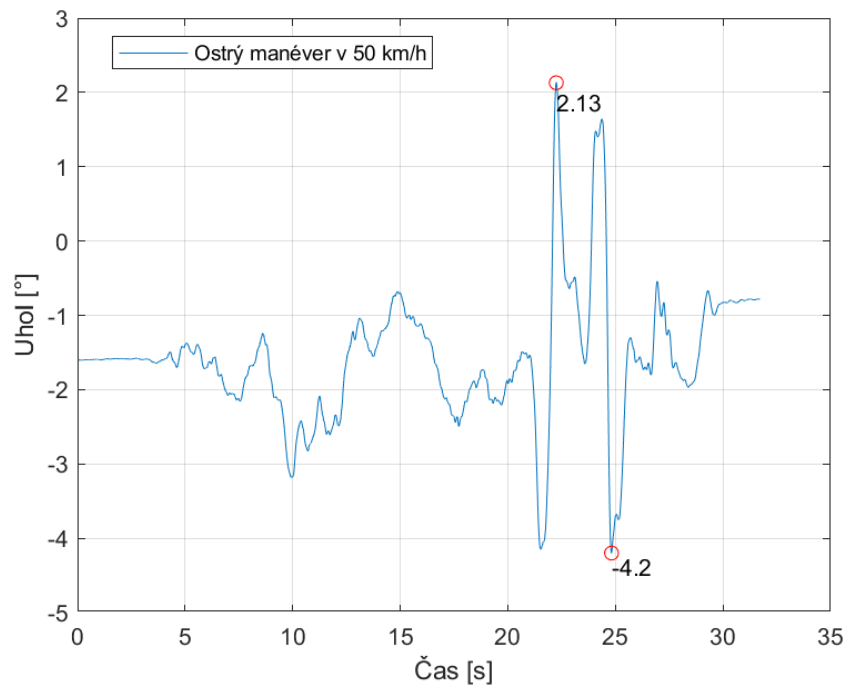


Obrázok 20 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - druhé vybočenie.

Pri prvých dvoch testoch vozidlo bez akéhokoľvek problému zvládlo uskutočniť pokyn vodiča na vyhnutie sa prekážke v danej rýchlosti. ESC zaznamenal úkon v pravej chvíli a vozidlo vrátil do stabilného stavu. Nedošlo tu k žiadnej extrémnej situácií.

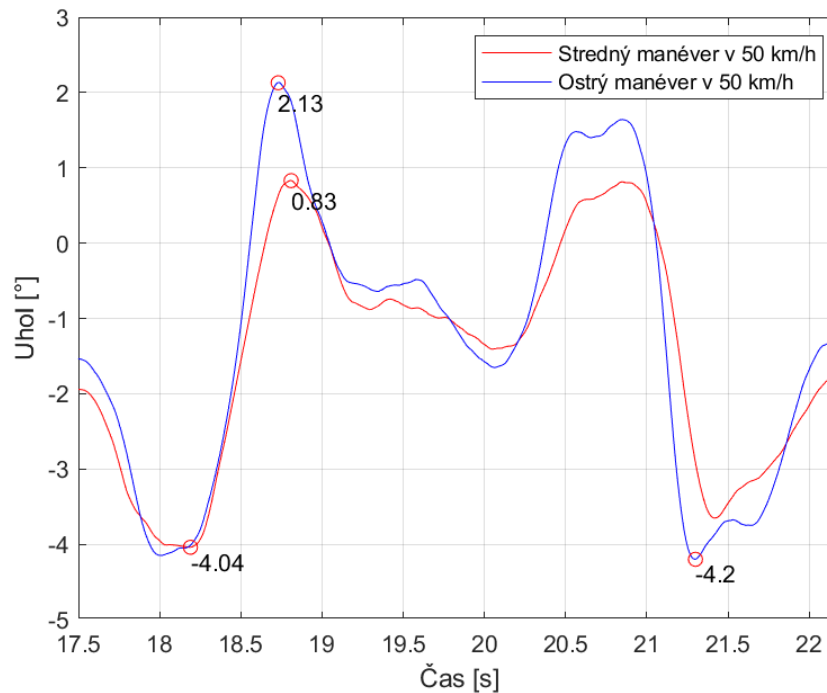


Graf 3 Priebek stredného vyhýbacieho manévru pri rýchlosti 50 km/h.



Graf 4 Priebek ostrého vyhýbacieho manévru pri rýchlosti 50 km/h.





Graf 5 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 50 km/h.

Grafy 3 a 4 reprezentujú celý priebeh stredného a ostrého manévru losieho testu pri rýchlosti 50 km/h. Os x predstavuje čas celého testu od počiatočného rozbehnutia, vykonania manévru a zastavenia vozidla v sekundách [s]. Os y reprezentuje uhol natočenia vozidla v priečnom smere v stupňoch [°]. Takto samostatné grafy jednej rýchlosti boli použité iba na ukážku. V ďalších rýchlostiach už boli vždy vyobrazené len porovnávacie grafy oboch manévrov spolu.

Krivky v Grafe 5 predstavujú oba manévry spolu. Červená krivka reprezentuje stredný manéver a modrá ostrý. Nie je v nich už vykreslený celý priebeh testu, len výrez konkrétnych manévrov pre ich lepšie porovnanie. V grafe sú taktiež vyznačené jednotlivé limitné hodnoty uhlov a pre lepšie porovnanie manévrov sú zarovnané v čase.

Zatiaľ čo náklon vozidla do jednej strany pri ostrom manévri dosahuje hodnotu  $-4,2^\circ$ , do strany opačnej je to  $2,13^\circ$ . V strednom manévri to je hodnota  $-4,04^\circ$  a  $0,83^\circ$ . To znamená, že náklon vozidla pri strednom vybočení bol menší, ako pri ostrom. Rozdiely náklonov sú viditeľné aj na Obrázku 19 a Obrázku 20.

#### 6.4.2 Rýchlosť 70 km/h

Tretie a štvrté meranie boli tvorené stredným a ostrým manévrom pri rýchlosti o 20 km/h vyššej, ako v predošlom prípade.

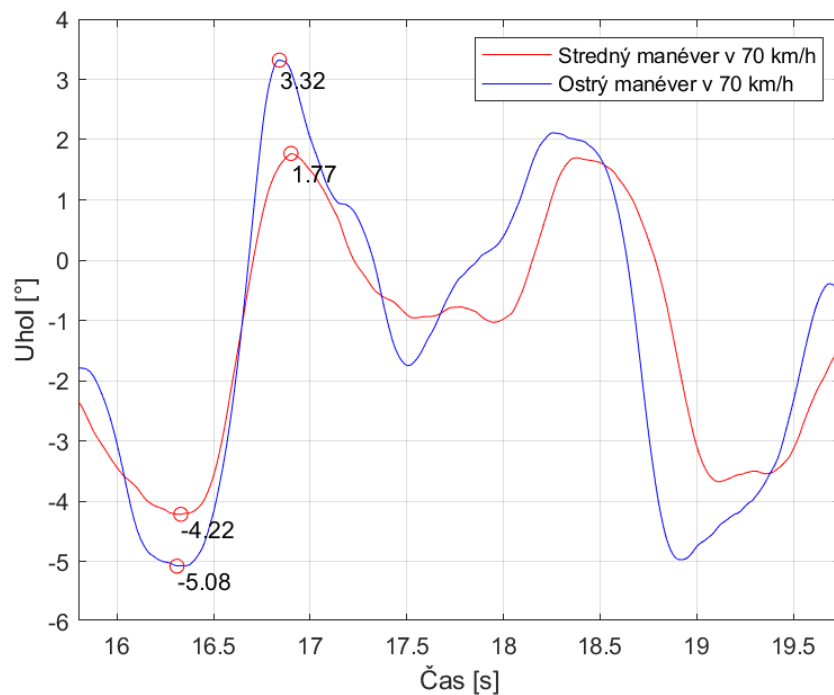


Obrázok 21 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie.



Obrázok 22 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - druhé vybočenie.

Na Obrázku 21 vpravo a Obrázku 22 vpravo je už lepšie viditeľný jav prenosu síl na zaťaženie stranu nápravy, kvôli prudkému výkyvu, spôsobenému náhlou zmenou smeru jazdy. Automobil situáciu s pomocným zásahom ESC a nízkym ťažiskom zvládol.



Graf 6 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 70 km/h.

V Grafe 6 sú vyobrazené obe krivky súčasne (červená – stredný manéver, modrá – ostrý manéver), pre podrobnejší pohľad na limitné hodnoty. Limitné hodnoty pre stredný manéver sa pohybovali v rozmedzí od  $-4,22^\circ$  až po  $1,77^\circ$ . Interval limitných hodnôt pre ostrý manéver je už omnoho vyšší, a to od  $-5,08^\circ$  po  $3,32^\circ$ . Ostrý manéver pri zvýšenej rýchlosti na 70 km/h, predstavuje väčšie zaťaženie karosérie na stranu vozidla, než pri rýchlosti 50 km/h. Tento jav je dobre viditeľný aj na Obrázku 21 vpravo a Obrázku 22 vpravo, ako už bolo spomenuté vyššie v texte.

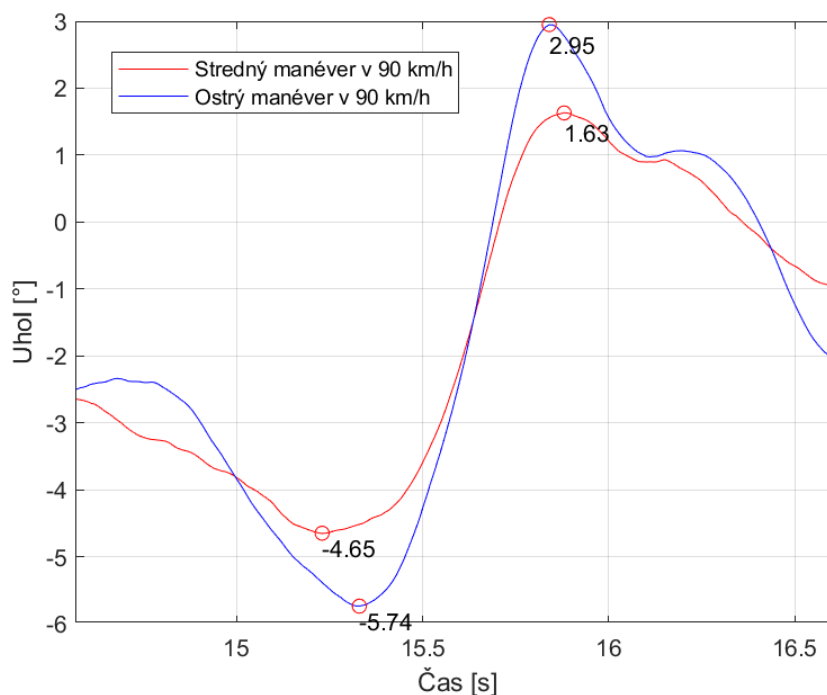
### 6.4.3 Rýchlosť 90 km/h

Posledné dve merania v rámci losieho testu boli uskutočnené pri najvyššej vybranej rýchlosti, ktorá činila 90 km/h.



Obrázok 23 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie.

Na Obrázku 23 vpravo došlo k maximálne možnému prenosu síl na pravú stranu vozidla, v rámci všetkých šiestich meraní v teste. Jednalo sa o vrcholný manéver v najvyššej dohodnutej rýchlosti. Sprievodným javom bolo „jemné vyhodenie“ zadnej časti automobilu, z dôvodu veľkej zaťažovacej sily na jednu stranu vozidla pri vysokej rýchlosti. To bolo ukorigované pomocou ESC a vozidlo vrátené s malým odklonom, do pôvodnej línie.



Graf 7 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 90 km/h.

V Grafe 7 sú viditeľné krivky predstavujúce obidva manévry. Červená symbolizujúca stredný a modrá ostrý manéver. Ich rozmedzia limitných hodnôt sú pre stredný manéver od  $-4,65^\circ$  až po horný limit  $1,63^\circ$ . Pre ostrý manéver je rozmedzie väčšie, konkrétne  $-5,74^\circ$  až  $2,95^\circ$ . To znamená, že s vozidlom bolo vybočené o niečo prudšie, čo bolo aj cieľom.

## 6.5 Zhrnutie výsledkov losieho testu

Pre lepší prehľad výstupov z losieho testu bola vytvorená sumarizačná tabuľka zhrňujúca všetky výsledky z merania (Tabuľka 4).

Tabuľka 4 Súhrn výsledkov Losieho testu.

Losí test	50 km/h	50 km/h	70 km/h	70 km/h	90 km/h	90 km/h
typ manévru	stredný	ostrý	stredný	ostrý	stredný	ostrý
dolný limit [°]	-4,04	-4,20	-4,22	-5,08	-4,65	-5,74
horný limit [°]	0,83	2,13	1,77	3,32	1,63	2,95
absolútny rozdiel [°]	4,87	6,33	5,99	8,40	6,28	8,69

Z Tabuľky 4 je dobre viditeľné, že najmenší absolútny rozdiel patrí strednému manévru pri rýchlosti 50 km/h, a to  $4,87^\circ$ . Najväčší absolútny rozdiel zasa naopak ostrému manévru v 90 km/h, ktorého hodnota dosahuje  $8,69^\circ$ , čo je skoro dvojnásobok najmiernejšej varianty. Z toho sa dá vyvodiť, že svojimi výsledkami sa test blíži správnosti.

## 6.6 Meranie maximálneho brzdenia

V tomto pokuse bolo potrebné zastaviť rozbehnuté vozidlo z definovaných rýchlostí vo vopred určenom, kužeľmi vyznačenom bode. Po pretnutí označenej línie bolo nutné začať brzdiť maximálnou možnou silou, až do úplného zastavenia vozidla.

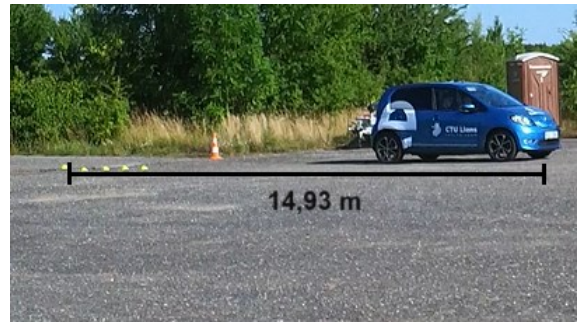
Celkovo prebehli s jedným vodičom tri merania. Úplne zastavenie z rýchlosti 50 km/h, 70 km/h a 90 km/h. Jednotlivé priebehy a scenáre tejto skúšky boli graficky vyhodnotené a opísané v kapitole nižšie.

### 6.6.1 Brzdenie z rýchlosti 50 km/h

Obrázok 24 symbolizuje začiatok brzdenia vozidla. Obrázok 25 stav po jeho zastavení. Je z nich patrná vzdialenosť hranice, od ktorej sa začalo intenzívne brzdiť, až po polohu vozidla v stabilizovanom stave, ktorá predstavovala 14,93 metra.

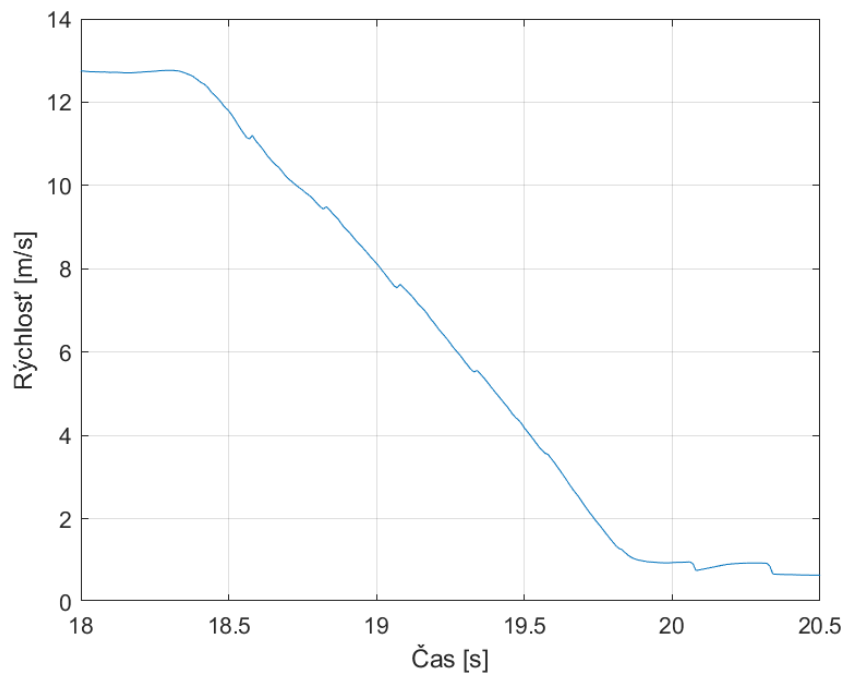


Obrázok 24 Stav začiatku brzdenia.



Obrázok 25 Stav po maximálnom brzdení v 50 km/h.

Na detailnejší pohľad brzdenia bol použitý výrez grafu (Graf 8) reprezentujúci závislosť rýchlosti na čase. Bola v ňom zobrazená časť testu od vyššie spomínaného začiatku brzdenia, až po úplné zastavenie.

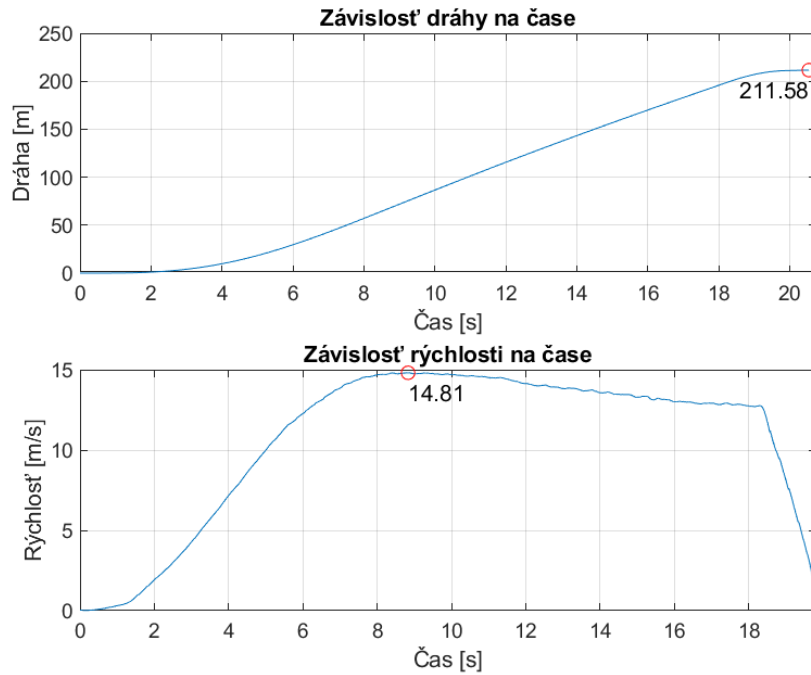


Graf 8 Priebeh maximálneho brzdzenia pri rýchlosti 50 km/h.

Približne v 18. sekunde a 33. stotine bolo uskutočnené intenzívne brzdzenie s cieľom úplne zastaviť vozidlo z rýchlosti 50 km/h. Presná rýchlosť tesne pred momentom brzdzenia dosahovala hodnotu 12,76 m/s, čo je v prepočte 45,94 km/h. Táto rýchlosť pri výpočtoch nižšie nebola zohľadnená, z dôvodu pustenja plynu pred začiatkom brzdného manévru. Počítalo sa so stanovenými rýchlosťami.

Taktiež je dôležité objasniť, prečo podľa krivky v grafe nedošlo k úplnému zastaveniu vozidla a hodnoty sa pohybujú zľahka nad nulou. Je to spôsobené tým, že testovací vodič na základe svojich skúseností zaznamenal úplné zastavenie automobilu, v dôsledku čoho došlo k ľahkému uvoľneniu brzdového pedálu, a tým spomaleniu k približujúcej sa nulovej hodnote iba zotrvačným dopredným pohybom vozidla. Reálna hodnota rýchlosti bola nepatrne nad nulou, a v tomto momente došlo k prerušeniu merania v 20. sekunde a 48. stotine.

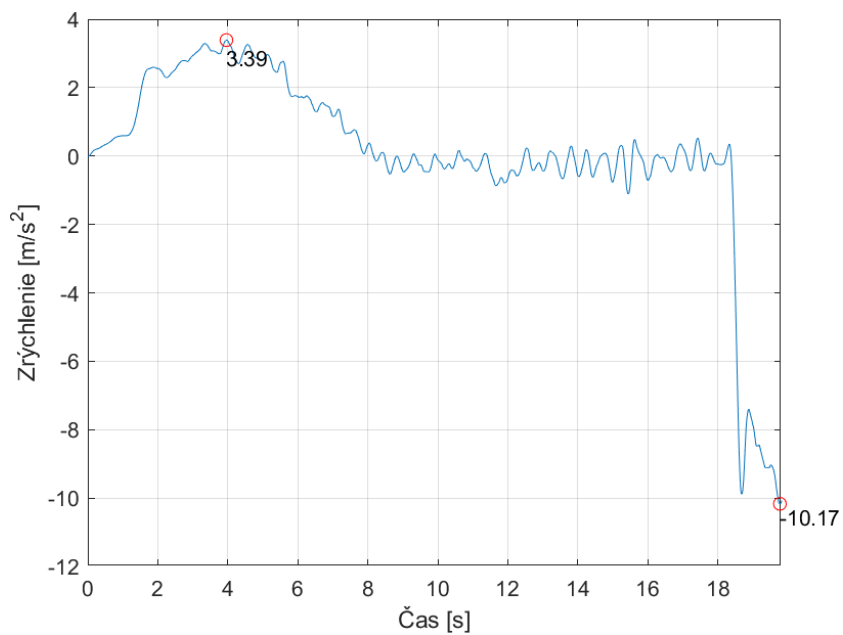
Ďalej v rámci Grafu 9 a Grafu 10 boli spracované zaujímavé situácie celého priebehu testu. Graf závislosti dráhy na čase, graf závislosti rýchlosti na čase a graf závislosti zrýchlenia na čase.



Graf 9 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 50 km/h.

Z grafu závislosti dráhy na čase je patrné, že celková prejdená dráha v rámci priebehu celého testu brzdenia (od rozbehnutia sa na požadovanú rýchlosť, začiatku brzdného momentu až po úplné zastavenia) pri rýchlosti 50 km/h bola 211,58 m.

V tomto teste bola dosiahnutá maximálna rýchlosť 14,81 m/s, čo po prepočte predstavuje 53,32 km/h. Rýchlosť bola o 3,32 km/h prekročená.



Graf 10 Priebeh zrýchlenia/spomalenia pri maximálnom brzdení z rýchlosti 50 km/h.

Maximálne zrýchlenie činilo  $3,39 \text{ m/s}^2$ . Bolo najvyššie v prvých sekundách a reprezentuje rozbiehanie vozidla s úsilím čo najrýchlejšie nadobudnúť potrebnú rýchlosť.

Naopak k maximálnemu spomaleniu došlo až pri úplnom konci merania. Je to spôsobené maximálnym brzdením vozidla. Keďže sa jedná o deceleráciu, hodnota predstavuje záporné číslo, a to  $-10,17 \text{ m/s}^2$ . Pri všetkých ďalších rýchlostiach už bolo do grafickej podoby zobrazované iba maximálne spomalenie.

Ďalej bol vypočítaný celkový čas, za ktorý vozidlo od počiatku brzdienia kompletne zastavilo a celková dráha, ktorú prešlo vozidlo od začiatku brzdienia, až po úplné zastavenie.

#### Postup výpočtu celkového času brzdienia v rýchlosti 50 km/h:

$$t_b = t_2 - t_1$$

$$t_b = 20,48 - 18,33$$

$$t_b = 2,15 \text{ s}$$

Pričom:

- $t_b$  = čas brzdienia [s]
- $t_2$  = čas zastavenia [s]
- $t_1$  = čas začiatku brzdienia [s]

Z výpočtu vyplýva, že vozidlo Škoda Citigo-e IV je schopné pri intenzívnom brzdení z rýchlosti 50 km/h úplne zastaviť za **2,15 sekúnd**.

#### Postup výpočtu celkovej dráhy brzdienia v rýchlosti 50 km/h:

Najprv bolo potrebné vypočítať deceleráciu. Tá sa získa rozdielom konečnej a počiatočnej rýchlosti podelených časom brzdienia. Počiatočná rýchlosť bola udaná v km/h, preto ju bolo nutné previesť na m/s.

$$a = \frac{v_k - \frac{v_p}{3,6}}{t_b}$$

$$a = \frac{0 - \frac{50}{3,6}}{2,15}$$

$$a = -6,46 \text{ m/s}^2$$

Keďže sa jedná o brzdienie, hodnota akcelerácie, je záporná.

Kde:

- $a$  = spomalenie, decelerácia [ $\text{m/s}^2$ ]



- $v_p$  = počiatočná rýchlosť [m/s]
- $v_k$  = konečná rýchlosť [m/s]
- $t_b$  = čas brzdenia [s]

Následne už bolo vďaka všetkým známym veličinám možné vypočítať brzdnú dráhu. Tá sa vypočíta ako súčet súčinu počiatočnej rýchlosti a času, so súčinom polovičnej veľkosti spomalenia a druhej mocniny času brzdenia.

$$s = \frac{v_p}{3,6} \cdot t_b + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_b^2$$

$$s = \frac{50}{3,6} \cdot 2,15 + \frac{1}{2} \cdot (-6,46) \cdot 2,15^2$$

$$s = 14,93 \text{ m}$$

Celková potrebná dráha na úplné zastavenie vozidla Škoda Citigo-e IV z rýchlosti 50 km/h predstavuje **14,93 metrov**.

### 6.6.2 Brzdenie z rýchlosti 70 km/h

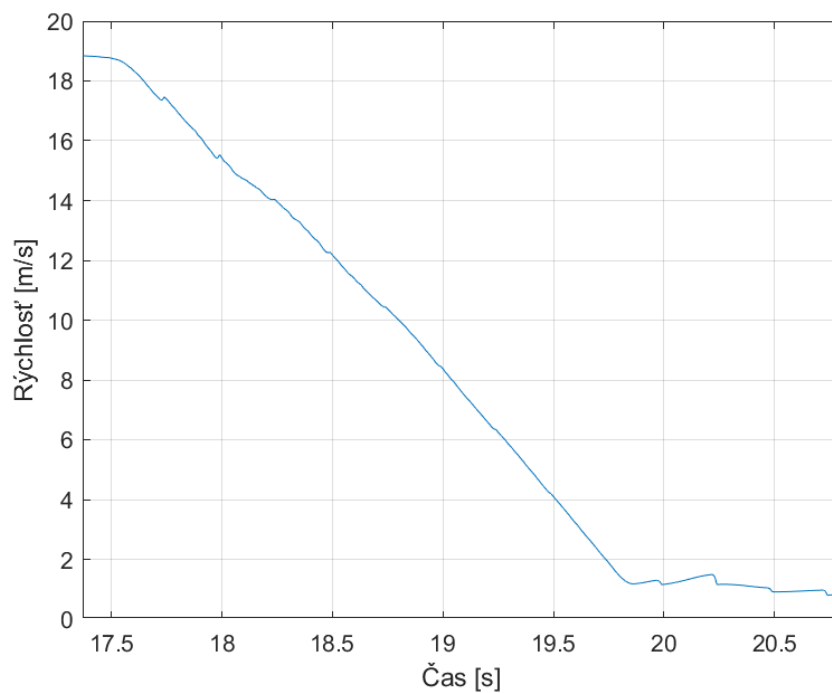
Druhý test s rovnakým postupom bol realizovaný pri rýchlosti 70 km/h. V rovnakom mieste, ako je viditeľné na Obrázku 24 nastal brzdiaci manéver. Konkrétne miesto zastavenia a brzdná vzdialenosť sú vyobrazené na Obrázku 26.



Obrázok 26 Stav po maximálnom brzdení v 70 km/h.

Z Obrázku 26 je na prvý pohľad viditeľné, že vozidlo z rýchlosti 70 km/h potrebovalo dlhšiu dráhu na zastavenie, ako v prípade rýchlosti 50 km/h (Obrázok 25). ABS bol zapojený hneď v prvom momente silného stlačenia brzdového pedálu a auto disponovalo dostatočným tlakom brzdovej kvapaliny.

Na detailnejší pohľad brzdenia bol znova použitý výrez grafu predstavujúci závislosť rýchlosti na čase pre konkrétnu rýchlosť (Graf 11).

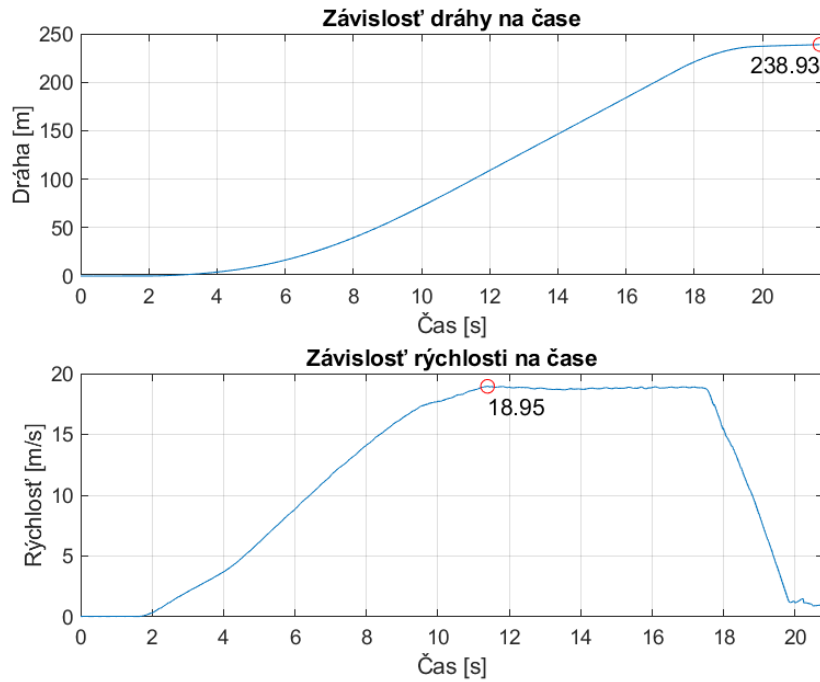


Graf 11 Priebeh maximálneho brzdzenia pri rýchlosti 70 km/h.

V 17. sekunde a 37. stotine začalo maximálne brzdzenie z rýchlosti 70 km/h. V momente začiatku brzdzenia činila rýchlosť 18,84 m/s, čo v prepočte predstavuje 67,82 km/h.

Úplne nulová rýchlosť pri zastavení nebola dosiahnutá z rovnakého dôvodu, ako pri rýchlosti 50 km/h.

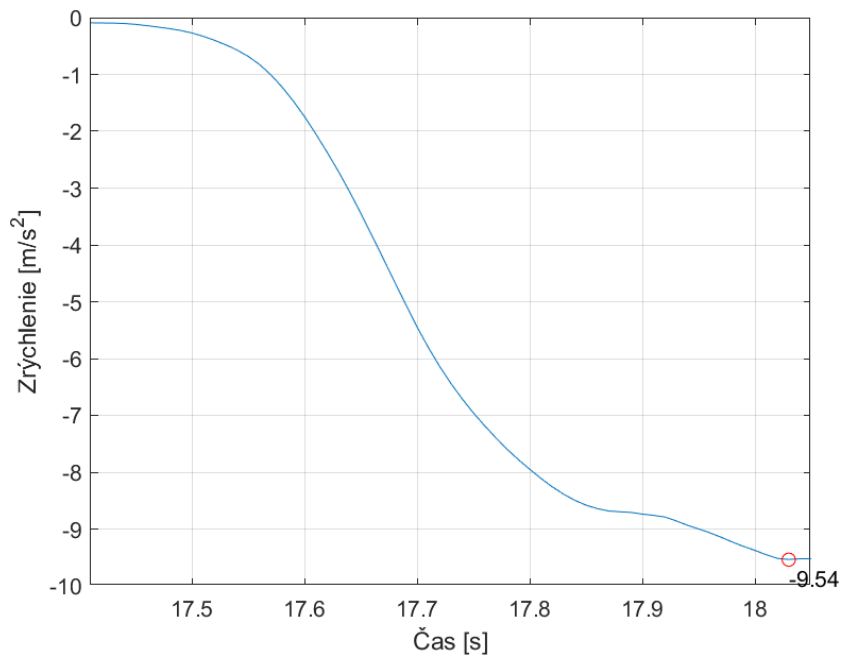
Následne boli v rámci Grafu 12 a Grafu 13 spracované zaujímavé situácie priebehu testu.



Graf 12 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 70 km/h.

Celková prejdená dráha od odštartovania, prenutia miesta brzdenia až po celkové zastavenie značila 238,93 m.

Maximálna nameraná rýchlosť v rámci tohto testu bola 18,95 m/s, čo po premene na km/h predstavuje 68,22.



Graf 13 Spomalenie pri maximálnom brzdení z rýchlosti 70 km/h.

Najväčšie spomalenie, záporné zrýchlenie, bolo zaznamenané v posledných sekundách na konci testu. To dosahovalo hodnotu  $-9,54 \text{ m/s}^2$  a predstavovalo úsilie v čo najkratšom čase zastaviť automobil na nulu.

Ďalej bol podľa rovnakého matematického postupu, ako pri rýchlosti 50 km/h vypočítaný celkový čas, za ktorý vozidlo od počiatku brzdienia úplne zastavilo. Taktiež rovnakým postupom vypočítaná celková dráha, ktorú auto prešlo od začiatku brzdienia až do úplného zastavenia.

#### **Výpočet celkového času brzdienia v rýchlosti 70 km/h:**

$$t_b = 3,37 \text{ s}$$

Škoda Citigo-e IV je schopná pri intenzívnom brzdení z rýchlosti 70 km/h úplne zastaviť za **3,37 sekundy**.

#### **Výpočet celkovej dráhy brzdienia v rýchlosti 70 km/h:**

$$s = 32,76 \text{ m}$$

Celková potrebná dráha na úplné zastavenie vozidla Škoda Citigo-e IV z rýchlosti 70 km/h predstavuje **32,76 metrov**.

### **6.6.3 Brzdenie z rýchlosti 90 km/h**

Ako posledné, tretie meranie maximálneho brzdienia, bolo otestovanie bŕzd v rýchlosti 90 km/h. Brzdiaci manéver bol odštartovaný v rovnakom mieste ako v pri predošlých dvoch rýchlostiach. Konečný bod zastavenia s vyznačenou brzdou dráhou je patrný z Obrázku 27.



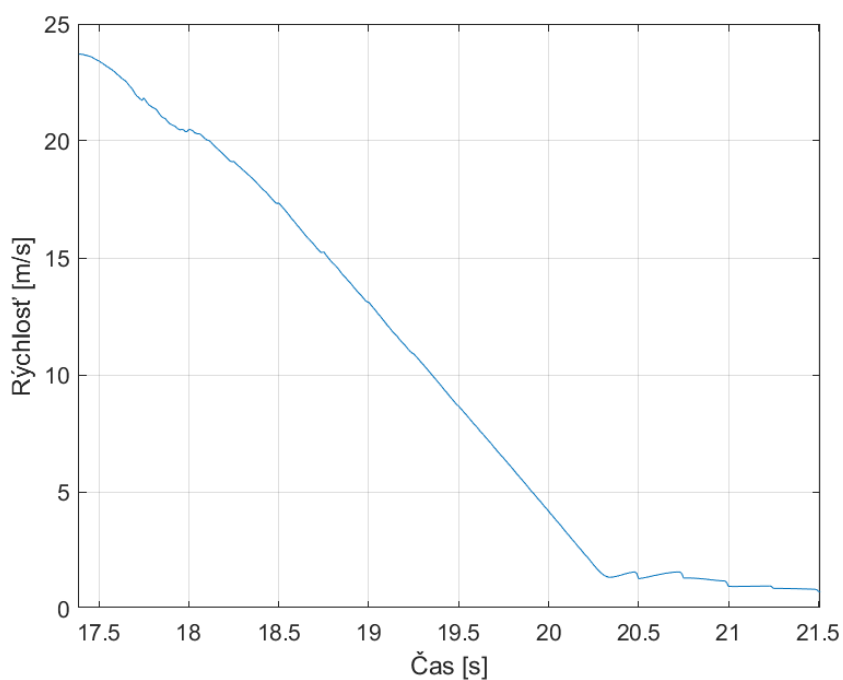
*Obrázok 27 Stav po maximálnom brzdení v 90 km/h.*

Je možné skonštatovať, že sa jedná o najdlhšiu brzdnu dráhu z celého merania.

Pri manévri opäť nastala bezprostredná odpoveď vozidla na reakciu jazdca, s cieľom čo najrýchlejšie zastaviť. V danom momente došlo k aktivácii ABS. Odozva brzdového pedálu od stlačujúcej sily vodiča tlačila pedál proti jeho vôli. To je dôkazom, že jazdec v tejto núdzovej situácii chcel vtlačiť pedál čo najhlbšie do podlahy.

Ani pri tomto poslednom, a zároveň najnáročnejšom teste brzdenia v rámci všetkých troch meraní, nedošlo k výraznému oslabnutiu brzdového systému. V istom momente pred koncom manévru však nastalo jemné šklbnutie brzdového pedálu, čo mohlo byť spôsobené nedostačujúcim tlakom brzdovej kvapaliny.

Na detailnejší pohľad brzdenia bol znova použitý výrez grafu predstavujúci závislosť rýchlosti na čase pre rýchlosť 90 km/h (Graf 14).

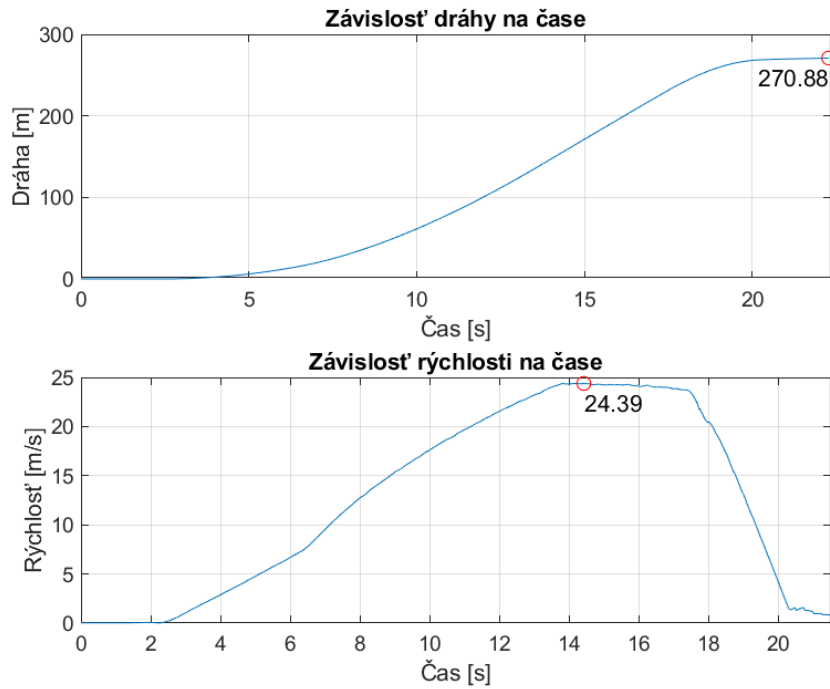


Graf 14 Priebeh maximálneho brzdenia pri rýchlosti 90 km/h.

17. sekunda a 39. stotina predstavuje čas, kedy bolo započaté intenzívne brzdenie, s cieľom úplného zastavenia vozidla. Testovací jazdec už zrejme o niečo skôr pustil plynový pedál a pripravoval sa na samotnú situáciu, pretože v tomto momente začiatku manévru ukazovala rýchlosť 23,71 m/s, čo v prepočte predstavuje len 85,36 km/h.

K úplnému zastaveniu na nulu došlo v 21. sekunde a 51. stotine, avšak s rovnakým záverom, ako v predošlých dvoch meraniach.

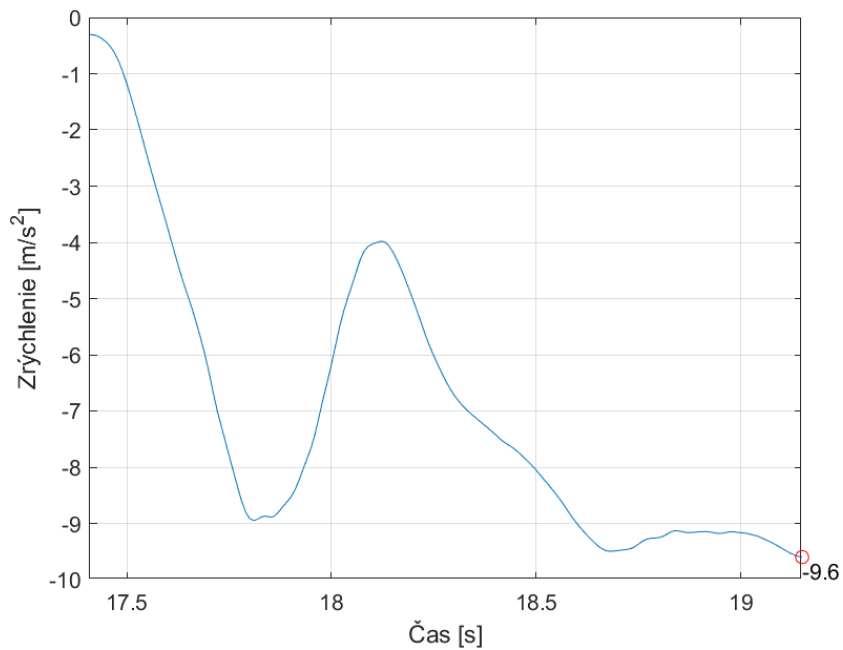
Do Grafu 15 a Grafu 16 boli vyobrazené závislosti dráhy na čase, rýchlosti na čase a zrýchlenia na čase.



Graf 15 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 90 km/h.

Výsledná prejdená dráha celého testu bola 270,88 m, čím sa stala najdlhšou urazenou dráhou zo všetkých troch meraní.

Maximálna nameraná rýchlosť z testovacej dráhy pre túto skúšku činila 24,39 m/s, čo po prevedení na km/h predstavuje číslo 87,80.



Graf 16 Spomalenie pri maximálnom brzdení z rýchlosti 90 km/h.

Záporné zrýchlenie, decelerácia, bolo zaznamenaná tesne pred koncom nahrávania testu. Tá dosahovala hodnotu  $-9,60 \text{ m/s}^2$  a predstavovala úsilie, čo možno najrýchlejšie zastaviť vozidlo.

Až v tomto poslednom meraní nastal pozoruhodný jav, ktorý bol citeľný aj pre testovacieho jazdca. Ako už bolo spomenuté vyššie v opise, v priebehu núdzového brzdienia došlo k šklbnutiu brzdového pedálu, z dôvodu nedostatočného tlaku brzdovej kvapaliny v brzdnom ústroji vozidla. To je v grafe zobrazené vyšším vrcholkom v 18. sekunde a 12. stotine.

Ďalej boli podľa rovnakého matematického postupu, ako pri rýchlosti 50 km/h a 70 km/h vypočítané ďalšie veličiny.

#### Výpočet celkového času brzdienia v rýchlosti 90 km/h:

$$t_b = 4,12 \text{ s}$$

Škoda Citigo-e IV je schopná pri intenzívnom brzdení z rýchlosti 90 km/h úplne zastaviť za **4,12 sekundy**.

#### Výpočet celkovej dráhy brzdienia v rýchlosti 90 km/h:

$$s = 51,48 \text{ m}$$

Celková potrebná dráha na úplné zastavenie vozidla Škoda Citigo-e IV z rýchlosti 90 km/h predstavuje **51,48 metrov**.

## 6.7 Zhrnutie výsledkov maximálneho brzdienia

Na zosumarizovanie výsledkov maximálneho brzdienia a pre ich lepší prehľad bola vytvorená tabuľka (Tabuľka 5) zhrňujúca dôležité a zaujímavé hodnoty merania.

*Tabuľka 5 Súhrn výsledkov testu maximálneho brzdienia.*

<b>Maximálne brzdienie</b>	50 km/h	70 km/h	90 km/h
prejdená dráha [m]	211,58	238,93	270,88
max. rýchlosť [m/s]	14,81	18,95	24,39
max. rýchlosť [km/h]	53,32	68,22	87,80
max. zrýchlenie [m/s <sup>2</sup> ]	3,39	3,19	4,03
max. spomalenie [m/s <sup>2</sup> ]	-10,17	-9,54	-9,6
čas brzdienia [s]	2,15	3,37	4,12
brzdná dráha [m]	14,93	32,76	51,48

Z uskutočneného testovania a spracovania jeho výsledkov je možné z Tabuľky 5 vycítať dôležité hodnoty.

Maximálna dosiahnutá rýchlosť v prvom teste bola o 3,32 km/h vyššia ako dohodnutá rýchlosť, v druhom teste o 1,78 km/h nižšia a v treťom teste taktiež nižšia, konkrétne o 2,20 km/h.

Najnižšia hodnota spomalenia bola pri rýchlosti 50 km/h s hodnotou  $-10,17 \text{ m/s}^2$ . Pri ostatných dvoch rýchlostiach boli hodnoty spomalenia takmer totožné.

Škoda Citigo-e IV pri zvýšení z rýchlosti 50 km/h na 70 km/h potrebuje viac ako dvojnásobok dráhy na jej úplné zastavenie. Pri zvýšení rýchlosti z 70 km/h na 90 km/h potrebuje brzdnú dráhu dlhšiu o 18,72 metra.

## **6.8 Postup vyhodnotenia v programe**

Na vyhodnotenie nameraných dát z testov do ich grafickej podoby s vyznačením zaujímavých bodov bol použitý program Matlab.

Súbor dátovej sady vo formáte *.txt* poskytoval viaceré kanále, pričom na losí test bol použitý kanál *Roll* (náklon vozidla) a na brzdenie *Acc\_X* (akcelerácie v smere osi x).

### **6.8.1 Vyhodnotenie losieho testu**

Dáta na x-ovej osi na začiatku prezentovali frekvenciu, ktorú bolo potrebné previesť na čas. Keďže vzorkovacia frekvencia (počet vzoriek za sekundu [62]) bola 100 hertzov, každý prvok frekvencie bol vydelený číslom 100, čím bol vytvorený časový vektor. Pre lepšie porovnanie výsledkov boli dáta stredného a ostrého manévru zarovnané podľa času tak, aby sa prekrývali. Jednotlivé grafické podoby sú vyobrazené v kapitole 6 vyššie.

### **6.8.2 Vyhodnotenie testu brzd**

Na začiatku boli dáta rovnako prevedené z frekvencie na čas, ako pri losom teste. Po prvom grafickom zobrazení dát z testu brzd z kanálu *Acc\_X* bola nutná ich filtrácia, nakoľko boli zašumené. Na to bol použitý Butterworthov filter s priepustnosťou frekvencie dvoch hertzov. Takto bolo postupované pri každej z troch rýchlostí, pričom boli vykreslené dáta, ktorých grafické podoby sú vyobrazené v kapitole 6 vyššie.



## 7 Diskusia výsledkov

V kapitole výberu automobilov (kapitola 4) a porovnaní ich technických parametrov, bolo cieľom poukázať na ich rôzne hodnoty parametrov. Vyššia váha elektromobilov oproti modelom so spaľovacím motorom môže byť spôsobená uložením batérií, a tiež silnejšie vystuženou konštrukciou. Pri zrýchleniach z nuly do rozličných rýchlostí vždy vedú zástupcovia s elektrickým pohonom. Tam môže hrať rolu krútiaci moment, ktorý je k dispozícii od 0 otáčok. ICE modely majú horšie koeficienty odporu, čo môže byť spôsobené napríklad prítomnosťou mriežky chladiča alebo iného typu či rozmeru pneumatík. U BEV modelov sa vyššia hmotnosť môže odzrkadliť na potrebnej brzdnnej dráhe, ktorá môže byť v porovnaní s ľahším ICE dlhšia. Taktiež by BEV modely mohli byť vďaka vyššej hmotnosti schopné manévrovania aj vo vyšších rýchlostiach.

V metodike bola navrhnutá dĺžka testovacej dráhy na rozmedzie 200 až 400 metrov, dĺžka dráhy v pozícií po prvom manévri na 30 až 40 metrov a dĺžka brzdnnej dráhy na 100 metrov. V praxi sa ukázalo, že použitá dráha s celkovou dĺžkou 300 metrov a dráha v pozícií po prvom manévri s dĺžkou 33 metrov splňujú návrhy z metodiky, čím sa dá prehlásiť, že schémy boli navrhnuté správne. V prípade ďalšieho návrhu by nemusela byť zamýšľaná brzdná dráha až tak dlhá, pokiaľ by sa test uskutočňoval s podobným testovacím vozidlom. Ukázalo sa, že bezpečný priestor bol navrhnutý ako dlhší.

V rámci prvej jazdnej skúšky boli s automobilom Škoda Citigo-e IV zvládnuté všetky manévry pri každej z vybraných rýchlostí. Pri rýchlosti 50 km/h sa očakávalo bezproblémové zvládnutie, nakoľko sa jednalo o bežnú rýchlosť mestských podmienok. Keďže nedošlo k žiadnej extrémnej situácii, je možné konštatovať, že test pri tejto rýchlosti bol úspešne splnený. Pri rýchlosti 70 km/h došlo s testovacím vozidlom taktiež k zvládnutiu oboch typov manévrov, čo sa nedá povedať o jeho konkurenčnom konkurentovi značky Seat. Seat Mii Electric tento test nezvládol pri rýchlosti 73 km/h (viď kapitola 3.5.3). Rozdiel týchto vozidiel bol v obutí pneumatík. Seat mal obuté pneumatiky Continental EcoContact 5 s rozmerom 185/50 R16 a testovaná Škoda pneumatiky Barum Bravuris 5 185/50 R16. Je pravdepodobné, že značka pneumatík, možno iné nahustenie, štruktúra, či tvar drážok, spôsobujú lepšie manévrovanie a ukorigovanie vozidla v stope. Pravdou však je, že Seat mal vymedzenú dráhu kužeľov z oboch strán, zatiaľ čo Škoda podľa návrhu testu kužeľa iba po jednej strane, z dôvodu neprofesionálneho testovacieho jazdca. Pri poslednom teste, v najvyššej 90km rýchlosti, už očakávanie správnosti testu a udržania vozidla na vozovke nebolo až tak jednoznačné, keďže sa jednalo o vysokú rýchlosť. Stále však ostávali zapnuté všetky asistenčné systémy, aby v prípade extrémnej situácie pomohli udržať vozidlo stabilne na vozovke, čo sa aj podarilo. Horný limit náklonu pri ostróm manévri v 70 km/h predstavoval 3,32° a pri 90 km/h 2,95°. I keď

je rozdiel týchto čísel malý, môže to byť zapríčinené obavou testovacieho vodiča pri uskutočňovaní manévru z dôvodu neskúsenosti pri ostrom manévrovaní v takto vysokej rýchlosti, a tým zatočeniu volantu nepatrne menšou intenzitou. Z výsledkov je viditeľné, že k väčšiemu náklonu dochádzalo pri pravotočivom manévri, z čoho vyplýva, že vodič mal tendenciu zatáčať viac vpravo. Celkovo vzhľadom na zvyšujúcu sa rýchlosť, dochádzalo k zväčšeniu náklonov automobilu, čo evokuje správnosť výsledkov. Pre komplexnejšiu analýzu by v budúcnosti mohol byť pri rovnakých podmienkach uskutočnený tento test s rovnakým vozidlom, ale so spaľovacím motorom. Dokázalo by sa tak lepšie porovnať, ako veľmi má uloženie batérií, či váha samotného vozidla vplyv na jeho stabilitu.

V druhej jazdnej skúške maximálneho brzdenia z definovaných rýchlostí nedošlo ani v jednom prípade k strate účinnosti bŕzd. Pri každom z testov došlo tesne pred úplným zastavením vozidla na nulu k ľahkému uvoľneniu brzdového pedálu, z dôvodu úplného pocitového zastavenia pri silnej intenzite brzdenia, a tým spomaleniu k približujúcej sa nulovej hodnote zotrvačným dopredným pohybom vozidla. Rýchlosti sa líšili vždy len nepatrne o niekoľko jednotiek km/h. Pri zastavovaní z 50km, 70km a 90km rýchlosti, predstavovali presné rýchlosti tesne pred momentom brzdenia hodnoty 45,94 km/h, 67,82 km/h a 85,36 km/h. Tieto zľahka nižšie rýchlosti boli pravdepodobne spôsobené prípravou vodiča na očakávaný akt brzdenia, a taktiež jeho nedostatočnou skúsenosťou odhadnúť rýchlosť približovania sa k danému bodu. To bolo spôsobené pustením plynového pedálu, a tým nepatrným spomalením z predtým udržiavanej rýchlosti. Namerané maximálne hodnoty rýchlosti v teste činili 53,32 km/h, 68,22 km/h a 87,80 km/h. Testovací vodič sa riadil len tachometrom v automobile, ktorý mohol ukazovať hodnoty rýchlosti o niečo vyššie. Zároveň pri teste nebol v automobile použitý tempomat, ktorý by nadefinovanú rýchlosť udržiaval, preto v rámci pôsobenia čisto ľudského faktora je možné uvažovať, že požadované tri rýchlosti boli dodržané. Dôležité je podotknúť, že čas brzdenia pri 90 km/h (4,12 sekúnd) je skoro dvojnásobné vyšší ako čas pri najnižšej rýchlosti (2,15 sekúnd). Čisto hypoteticky je možné prehlásiť, že táto hodnota by mohla byť v ideálnom prípade o čosi nižšia, pokiaľ by pri manévri brzdenia nedošlo k nedostatočnému doplnovaniu brzdovej kvapaliny v brzdnom systéme vozidla. To zapríčinilo spomínané tlačenie brzdového pedálu proti vôli vodiča, a tým oneskorenie brzdného účinku, čo sa odzrkadľuje aj na brzdných dráhach. Z rýchlosti 50 km/h bola potrebná dráha na zabrzdenie 14,93 m a z rýchlosti 90 km/h až 51,48 m. Táto dráha bola zároveň maximálnou brzdovou dráhou zaznamenanou vo všetkých troch skúškach, z čoho vyplýva, že aj návrh brzdných dráh bol stanovený s dostatočnou bezpečnou rezervou. V budúcnosti by mohlo byť otestované brzdenie v iných podmienkach, ako napríklad mokrá alebo zľadovatená plocha.

V rámci ďalších jazdných skúšok by bolo vhodné ešte otestovať polomer otáčania vozidla (viď kapitola 3.6.1), ktorý si myslím, že je dôležitým ukazovateľom obratnosti mestského EV.

## 8 Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zhodnotiť jazdné vlastnosti mestského elektromobilu po uskutočnení dvoch dynamických jazdných skúškach. Zhodnotiť včasné reakcie testovaného vozidla na pokyny vodiča.

Na začiatku boli popísané dôležité atribúty ovplyvňujúce a úzko súvisiace s jazdnými vlastnosťami vozidiel, s priblížením potrebných vlastností automobilov využívajúcich sa v mestskej premávke.

V ďalšej časti boli opísané skúšky jazdnej dynamiky využívané pri testovaní automobilov. Skúšky boli vybrané na základe výkonnostného, brzdného a riadiaceho charakteru či charakteru stability.

Medzi sebou boli porovnané parametre dvoch malých, mestských, konštrukčne rovnakých modelov vozidiel, s rozličnými typmi motorizácií. Taktiež dve autá rovnakej značky, ale inej kategórie s veľmi podobnými technickými parametrami, s výnimkou agregátov, kde jeden tvoril spaľovací a druhý elektrický motor.

Z opísaných skúšok jazdnej dynamiky bola navrhnutá metodika na otestovanie jazdných vlastností mestského vozidla na navrhnutej dráhe. Vybrané boli dve dynamické skúšky.

Losí test pri troch definovaných rýchlostiach a dvoch intenzitách zatočenia volantu s jedným testovacím vodičom, dopadol podľa môjho úsudku v poriadku. Pri každej z dohodnutých rýchlostí sa dokázalo vozidlo udržať v stabilnom stave a ani v jednej z nich nedošlo k náznaku šmyku či zhodenia kužeľov. S postupne zvyšujúcou sa rýchlosťou vzhľadom na použitú intenzitu manévru, uhly náklonu vozidla rástli. Po vyhodnotení a zohľadnení výsledkov sa dá konštatovať, že v daných podmienkach tento test naplnil očakávania. V budúcnosti pre komplexnejšiu analýzu výsledkov by losí test mohol byť absolvovaný s rovnakým vozidlom, ale so spaľovacím motorom.

Test maximálneho brzdzenia prebehol v rovnakých rýchlostiach, ako predošlý losí test. Škoda Citigo-e IV bola schopná z rýchlosti 50 km/h zastaviť na dráhe o dĺžke 14,93 metra za 2,15 sekundy. Z rýchlosti 70 km/h na úseku dlhom 32,76 metra za 3,37 sekundy. Z finálnej 90km rýchlosti zastavila na dráhe dlhej 51,48 metra za 4,12 sekundy. Pri poslednej rýchlosti došlo k predĺženiu dráhy, pravdepodobne z dôvodu vystrelenia brzdového pedálu proti sile vodiča, čo mohlo brzdný čas predĺžiť. Napriek tejto skutočnosti dokázalo vozidlo vždy včasne reagovať na podnety a aj dostatočne rýchlo zabrzdiť, a preto výsledné hodnoty považujem za relevantné.

## POUŽITÉ ZDROJE

- [1] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [2] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory : hnací charakteristika : brzdění : odpruženost : říditelnost, ovladatelnost : stabilita*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [3] BERGMANN, Petr. Co je to rekuperace, jak funguje a proč je u elektromobilu natolik důležitá? In: *Elektrické vozy* [online]. 2022 [cit. 2024-05-30]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/co-je-to-rekuperace-a-jak-funguje-u-elektromobilu>
- [4] SZUMSKA, Emilia M. a Rafał JURECKI. The Analysis of Energy Recovered during the Braking of an Electric Vehicle in Different Driving Conditions. *Energies* [online]. 2022, **15**(24) [cit. 2024-05-30]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en15249369
- [5] SAJDL, Jan. ABS (Anti-lock Braking System). In: *Autolexicon* [online]. 2023 [cit. 2024-05-30]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/en/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [6] Anti-lock braking system (ABS) modeling and simulation (Xcos). In: *X-engineer* [online]. [cit. 2024-05-30]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/anti-lock-braking-system-abs-modeling-simulation-xcos/>
- [7] What is Brake Assist? Understanding Brake Assist. In: *Caradas* [online]. 2021 [cit. 2024-05-30]. Dostupné z: <https://caradas.com/understanding-adas-brake-assist/>
- [8] LUKOŠEVIČIUS, Vaidas, Rolandas MAKARAS, Arūnas RUTKA, Robertas KERŠYS, Andrius DARGUŽIS a Ramūnas SKVIRECKAS. Investigation of Vehicle Stability with Consideration of Suspension Performance. *Applied Sciences* [online]. 2021, **11**(20) [cit. 2024-06-01]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11209778
- [9] ESC Electronic Stability Control. In: *Asistencnisystemy* [online]. [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://www.asistencnisystemy.cz/esc-electronic-stability-control>
- [10] Electronic Stability Control. In: *Euroncap* [online]. [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/car-safety/the-ratings-explained/safety-assist/previous-tests/esc/>
- [11] THE DYNAMIC TEST OF CAR ELECTRONIC STABILITY CONTROL (ESC) SYSTEMS PROTOCOL. In: *Euroncap* [online]. 2011 [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://cdn.euroncap.com/media/1444/euro-ncap-esc-testing-protocol-v12.pdf>

- [12] Karoserie. In: *Bezpecneesty* [online]. [cit. 2024-06-02]. Dostupné z: <https://www.bezpecneesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti/karoserie>
- [13] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 6. vydání. Brno: Avid, spol. s r.o., 2018. ISBN 978-80-87143-40-7.
- [14] ŠVANDOVÁ, Kateřina. Karoserie a podvozek. In: *Autaveskole* [online]. 2010 [cit. 2024-06-15]. Dostupné z: [http://autaveskole.jaknahmyz.cz/karoserie\\_a\\_podvozek](http://autaveskole.jaknahmyz.cz/karoserie_a_podvozek)
- [15] SHAH, Vivek. SUV body types: Monocoque vs body-on-frame. In: *Carexpert* [online]. 2021 [cit. 2024-06-15]. Dostupné z: <https://www.carexpert.com.au/car-news/suv-body-types-monocoque-vs-body-on-frame>
- [16] MARKUS, Frank. Body-on-Frame vs. Unibody vs. Monocoque: What's the Difference? In: *Motortrend* [online]. 2020 [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/features/body-on-frame-vs-unibody-vs-monocoque-what-is-the-difference/>
- [17] SAJDL, Jan. Ackermannova podmínka. In: *Autolexicon* [online]. 2011 [cit. 2024-06-20]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/ackermannova-podminka/>
- [18] KARTHICK, K. Four wheel steering system for a car. In: *ResearchGate* [online]. 2016 [cit. 2024-06-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/311770755\\_Four\\_wheel\\_steering\\_system\\_for\\_a\\_car](https://www.researchgate.net/publication/311770755_Four_wheel_steering_system_for_a_car)
- [19] EVANS, Andrew. Understeer vs oversteer: What's the difference? In: *Carwow* [online]. 2022 [cit. 2024-06-20]. Dostupné z: <https://www.carwow.co.uk/guides/glossary/what-is-oversteer-understeer#gref>
- [20] Understeer. In: *Drivingfast* [online]. 2018 [cit. 2024-06-20]. Dostupné z: <https://drivingfast.net/understeer/>
- [21] Oversteer. In: *Drivingfast* [online]. 2018 [cit. 2024-06-20]. Dostupné z: <https://drivingfast.net/oversteer/>
- [22] FWD vs 4WD vs AWD vs RWD - A Drivetrain Guide. In: *Drivparts* [online]. [cit. 2024-06-21]. Dostupné z: <https://www.drivparts.com/parts-matter/learning-center/driver-education-and-vehicle-safety/drivetrain-guide.html>
- [23] DUSIL, Tomáš. Motor vpředu a pohon zadní nápravy. In: *Auto.cz* [online]. 2016 [cit. 2024-06-21]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prehled-koncepci-pohonu-osobnich-automobilu-predohrab-nebo-zadokolka-94416?chapter=3>

- [24] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0.
- [25] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [26] Single vs dual-motor electric cars: which is best? In: *Startrescue* [online]. 2022 [cit. 2024-06-21]. Dostupné z: <https://www.startrescue.co.uk/breakdown-cover/motoring-advice/motoring-developments-and-the-future/single-vs-dual-motor-electric-cars-which-is-best>
- [27] What is Quad-Motor Drive? In: *Rivian* [online]. [cit. 2024-06-21]. Dostupné z: <https://rivian.com/support/article/what-is-quad-motor-drive>
- [28] ASR Protikluzový systém. In: *Asistenční systémy* [online]. [cit. 2024-06-21]. Dostupné z: <https://www.asistenční systémy.cz/asr-protikluzovy-system>
- [29] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel: [diagnostické testery, motortestery, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7064-X.
- [30] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9.
- [31] FARNÍK, M., O. HARTVICH a F. ŠIRC. Aerodynamický tunel. In: *Fyzsem.fjfi.cvut.cz* [online]. [cit. 2024-06-24]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2013-2014/Zima13/proc/tunel.pdf>
- [32] Inertial Measurement Unit (IMU) – an introduction. In: *Advancednavigation* [online]. 2024 [cit. 2024-07-02]. Dostupné z: <https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-measurement-unit-imu-an-introduction/>
- [33] Barometer. In: *Britannica* [online]. 2024 [cit. 2024-07-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/barometer>
- [34] Titanium Outriggers. In: *Exactmachine* [online]. [cit. 2024-07-23]. Dostupné z: <https://exactmachine.com/titanium-outriggers>
- [35] MTi-G-710. In: *Movella* [online]. 2023 [cit. 2024-07-05]. Dostupné z: [https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Leaflets/MTi-G-710.pdf?\\_hstc=157421285.168c1e303bd187446fe620d38aba5223.1717073442295.1721835665815.1721845996328.8&\\_hssc=157421285.5.1721845996328&\\_hsfp=291361656](https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Leaflets/MTi-G-710.pdf?_hstc=157421285.168c1e303bd187446fe620d38aba5223.1717073442295.1721835665815.1721845996328.8&_hssc=157421285.5.1721845996328&_hsfp=291361656)

- [36] XSENS MTI-G-710-2A8G4. In: *Farnell* [online]. [cit. 2024-07-05]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/xsens/mti-g-710-2a8g4/mems-module-4-5v-34v/dp/3514478>
- [37] MTi User Manual. In: *Movella* [online]. 2020 [cit. 2024-07-05]. Dostupné z: [https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/usermanual/MTi\\_usermanual.pdf](https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/usermanual/MTi_usermanual.pdf)
- [38] VANDERWERP, Dave. Everything You Need to Know about Our Comprehensive Car Testing. In: *Caranddriver* [online]. 2020 [cit. 2024-07-09]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/features/a32018270/how-we-test-cars/#performance>
- [39] LIU, Mengfei, Xinyu OUYANG, Ruikai LU, Zijun HAO, Raphael BLUMENFELD, Xin TANG, Gang LEI a Hongwu OUYANG. An Evaluation Method for Automotive Technical and Comprehensive Performance. *Automotive Innovation* [online]. 2023, **6**(2), 231-243 [cit. 2024-07-09]. ISSN 2096-4250. Dostupné z: doi:10.1007/s42154-022-00213-0
- [40] Dry Braking. In: *Tiretesting* [online]. [cit. 2024-07-14]. Dostupné z: <https://www.tiretesting.com/tires-testing/objective-evaluation/objective-dry-condition/dry-braking>
- [41] Wet Braking. In: *Tiretesting* [online]. [cit. 2024-07-14]. Dostupné z: <https://www.tiretesting.com/tires-testing/objective-evaluation/objective-wet-condition/wet-braking>
- [42] Aquaplaning. In: *Bezpecnecesty* [online]. 2018 [cit. 2024-07-14]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecna-jizda-v-aute/aquaplaning>
- [43] Snow Braking. In: *Tiretesting* [online]. [cit. 2024-07-14]. Dostupné z: <https://www.tiretesting.com/tires-testing/objective-evaluation/objective-snow-condition/snow-braking>
- [44] Ice Braking. In: *Tiretesting* [online]. [cit. 2024-07-14]. Dostupné z: <https://www.tiretesting.com/tires-testing/objective-evaluation/objective-ice-condition/ice-braking>
- [45] Braking In a Turn. In: *Altair* [online]. [cit. 2024-07-15]. Dostupné z: [https://help.altair.com/hwdesktop/hwx/topics/motionview/braking\\_in\\_a\\_turn\\_r.htm](https://help.altair.com/hwdesktop/hwx/topics/motionview/braking_in_a_turn_r.htm)
- [46] SAJDL, Jan. Losí test. In: *Autolexicon* [online]. 2011 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/losi-test/>
- [47] All About Moose Test. In: *Dubizzle* [online]. 2021 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://www.dubizzle.com/blog/cars/moose-test-of-cars/>

- [48] MAJURNÍK, Jan. Bratr elektrické škodovky měl potíže v losím testu. In: *Garaz.cz* [online]. 2020 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/bratr-elektricke-skodovky-mel-potize-v-losim-testu-21004449>
- [49] Driving maneuver during a moose test. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moose\\_test#/media/File:Moose\\_test.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Moose_test#/media/File:Moose_test.svg)
- [50] Dry Slalom. In: *Tiretesting* [online]. [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://www.tiretesting.com/tires-testing/subjective-evaluation/subjective-dry-condition/dry-slalom>
- [51] Slalom Event. In: *Altair* [online]. [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: [https://help.altair.com/hwdesktop/hwx/topics/motionview/slalom\\_event\\_r.htm](https://help.altair.com/hwdesktop/hwx/topics/motionview/slalom_event_r.htm)
- [52] What Is Turning circle radius or diameter & how is it measured? In: *Carbiketech* [online]. 2016 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://carbiketech.com/turning-circle-radius-diameter/>
- [53] Internal Combustion Engine Basics. In: *Energy.gov* [online]. 2013 [cit. 2024-07-17]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/internal-combustion-engine-basics>
- [54] Jak funguje elektromobil a jaké jsou jeho výhody? In: *Cez* [online]. 2021 [cit. 2024-07-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/jak-funguje-elektromobil-a-jake-jsou-jeho-vyhody-148953>
- [55] Skoda Citigo 1.0 MPI. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: <https://www.automobile-catalog.com/img/pictonorzw/skoda/2018-skoda-citigo-monte-carlo-95802.jpg>
- [56] Skoda Citigo iV. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: <https://www.automobile-catalog.com/img/pictonorzw/skoda/2020-skoda-citigoe-iv-105317.jpg>
- [57] Comparison table. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: [https://www.automobile-catalog.com/auta\\_cmp2.php#gsc.tab=0](https://www.automobile-catalog.com/auta_cmp2.php#gsc.tab=0)
- [58] Audi RS7 Sportback Performance. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: <https://www.automobile-catalog.com/img/pictonorzw/audi/2023-rs7-performance-a233031.jpg>
- [59] Audi RS e-tron GT. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: <https://www.automobile-catalog.com/img/pictonorzw/audi/2021-audi-e-tron-gt-rs-a210739.jpg>
- [60] Comparison table. In: *Automobile-catalog* [online]. [cit. 2024-07-21]. Dostupné z: [https://www.automobile-catalog.com/auta\\_cmp2.php#gsc.tab=0](https://www.automobile-catalog.com/auta_cmp2.php#gsc.tab=0)



- [61] Porovnání: Průměr otáčení Audi Q6 vs. konkurence 2024. In: *Motorvize* [online]. [cit. 2024-07-22]. Dostupné z: <https://www.motorvize.cz/katalog/audi/q6/turning-circle/>
- [62] Sampling frequency. In: *Fon.hum* [online]. [cit. 2024-07-30]. Dostupné z: [https://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/sampling\\_frequency.html](https://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/sampling_frequency.html)
- [63] ŠTEFFLOVÁ, Hana. Rychlostní limity. In: *Policie* [online]. 2016 [cit. 2024-08-01]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/rychlostni-limity-512706.aspx>
- [64] ŠTAJER, Zbyněk. Jak se na emisích skleníkových plynů podílí osobní doprava? In: *Faktaoklimatu* [online]. 2024 [cit. 2024-08-01]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emise-doprava#fn:kultura>

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Situácia bez ABS [5].....	11
Obrázok 2 Situácia s ABS [5].....	11
Obrázok 3 Účinok ESC pri vyhýbacom manévri v rýchlosti 80 km/h [10].....	14
Obrázok 4 Ackermannová schéma [17]. .....	16
Obrázok 5 Nedotáčavosť [20] (upravené autorom). .....	17
Obrázok 6 Pretáčavosť [21] (upravené autorom). .....	18
Obrázok 7 XSens MTi-G-710 [36].....	24
Obrázok 8 Schéma losieho testu [49] (upravené autorom – preklopenie obrázka).....	28
Obrázok 9 Schéma slalomu [51]. .....	28
Obrázok 10 Škoda Citigo-e IV [56]. (upravené autorom – vymazané pozadie) .....	30
Obrázok 11 Škoda Citigo 1.0 MPI [55]. (upravené autorom – vymazané pozadie).....	30
Obrázok 12 Audi E-Tron GT Fastback [59]. (upravené autorom – vymazané pozadie).....	31
Obrázok 13 Audi RS7 Sportback [58]. (upravené autorom – vymazané pozadie) .....	31
Obrázok 14 Navrhovaná schéma losieho testu. ....	34
Obrázok 15 Navrhovaná schéma testu maximálneho brzdenia.....	34
Obrázok 16 Testovacia dráha. ....	35
Obrázok 17 Testovacie vozidlo. ....	36
Obrázok 18 Počiatočná poloha vozidla - priamy smer.....	37
Obrázok 19 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie. ....	37
Obrázok 20 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - druhé vybočenie. ....	37
Obrázok 21 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie. ....	40
Obrázok 22 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - druhé vybočenie. ....	40
Obrázok 23 Stredný manéver (vľavo) ostrý manéver (vpravo) - prvé vybočenie. ....	41
Obrázok 24 Stav začiatku brzdenia.....	43
Obrázok 25 Stav po maximálnom brzdení v 50 km/h. ....	43
Obrázok 26 Stav po maximálnom brzdení v 70 km/h. ....	47

Obrázok 27 Stav po maximálnom brzdení v 90 km/h. ....	50
---	----

## **ZOZNAM GRAFOV**

Graf 1 Vzďialenosť kolesa a vozidla bez ABS [6]. ....	12
Graf 2 Vzďialenosť kolesa a vozidla s ABS [6]. ....	12
Graf 3 Priebeh stredného vyhýbacieho manévru pri rýchlosti 50 km/h. ....	38
Graf 4 Priebeh ostrého vyhýbacieho manévru pri rýchlosti 50 km/h. ....	38
Graf 5 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 50 km/h. ....	39
Graf 6 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 70 km/h. ....	40
Graf 7 Stredný a ostrý manéver pri rýchlosti 90 km/h. ....	42
Graf 8 Priebeh maximálneho brzdenia pri rýchlosti 50 km/h. ....	44
Graf 9 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 50 km/h. ....	45
Graf 10 Priebeh zrýchlenia/spomalenia pri maximálnom brzdení z rýchlosti 50 km/h. ....	45
Graf 11 Priebeh maximálneho brzdenia pri rýchlosti 70 km/h. ....	48
Graf 12 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 70 km/h. ....	49
Graf 13 Spomalenie pri maximálnom brzdení z rýchlosti 70 km/h. ....	49
Graf 14 Priebeh maximálneho brzdenia pri rýchlosti 90 km/h. ....	51
Graf 15 Priebeh dráhy a rýchlosti pri maximálnom brzdení z rýchlosti 90 km/h. ....	52
Graf 16 Spomalenie pri maximálnom brzdení z rýchlosti 90 km/h. ....	52

## **ZOZNAM TABULIEK**

Tabuľka 1 Jednotlivé povrchy a ich súčinitele valivého odporu [2]. ....	21
Tabuľka 2 Technické parametre vozidiel [57]. ....	30
Tabuľka 3 Technické parametre vozidiel [60]. ....	31
Tabuľka 4 Súhrn výsledkov Losieho testu. ....	42
Tabuľka 5 Súhrn výsledkov testu maximálneho brzdenia. ....	53