



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Veronika Hegerová
ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ
DOPRAVNÍ TECHNIKY

Bakalářská práce

Praha 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Veronika Hegerová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Zpracování výsledků experimentů dopravní techniky**

Název tématu (anglicky): The processing of the results of experiments transport technology

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Uved'te experimenty prováděné na dopravních prostředcích a klasifikujte tyto
- Zařaďte experimenty podle klasifikace a zvolte representační pro každou třídu
- Uved'te matematické (exaktní) nebo subjektivní metody vhodné pro zpracování experimentů vybraných pro každou třídu podle bodu 2
- Uved'te pravěpodobnost výsledku experimentů hodnocených různými metodami
- Navrhňte metodu provedení a vyhodnocení vybraného experimentu s exaktními i subjektivními prvky



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Ing. Jiří First. Zkoušení automobilů a motocyklů. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5
Kepka, M.: Management výpočtových a experimentálních metod pro vývoj spolehlivých dopravních prostředků, FD ČVUT, Praha, 2006. ISBN 80-01-03436-4

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

Datum zadání bakalářské práce: **23. června 2015**
(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: **28. srpna 2017**
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. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Veronika Hegerová
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D., dále panu Ing. Jiřímu Firstovi a panu Doc. Ing. Ivanu Nagyovi, CSc. za jejich vstřícnost, odborné vedení a konzultování bakalářské práce. Dále jim děkuji za cenné rady a informace, které mi poskytovali po celou dobu mého studia.

V neposlední řadě patří dík mé rodině za podporu, které se mi dostávalo taktéž po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám žádný závažný důvod proti užití tohoto školního díle ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právech autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20. srpna 2017

.....

Veronika Hegerová

ČESKÉ VYSOKÉ TECHNICKÉ UČENÍ V PRAZE

Fakulta dopravní

ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ DOPRAVNÍ TECHNIKY
THE PROCESSING OF THE RESULTS OF EXPERIMENTS
TRANSPORT TECHNOLOGY

Bakalářská práce
Srpen 2017
Veronika Hegerová

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Zpracování výsledků experimentů dopravní techniky“ je popis problematiky zkoušení vozidel ve fázích technického života výrobku. V posledních kapitolách jsou uvedeny základy pravděpodobnosti používané při zpracování výsledků zkoušek. Cílem této práce je navrhnout metody zkoušení a hodnocení zahrnující exaktní a subjektivní prvky a následně statistické porovnání těchto metod.

ABSTRACT

The subject of the bachelor's thesis „The processing of the results of experiments transport technology“ is a description of the problems of vehicle testing in phases of the technical life of the product. In the last chapters, the basics of probability used in the processing of test results are given. The aim of this work is to propose methods of testing and evaluation involving exact and subjective elements and then statistical comparison of these methods.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zkoušení vozidel, experiment, měření, vozidlo, pravděpodobnost, objektivní hodnocení, subjektivní hodnocení

KEYWORDS

Testing of vehicles, experiment, measurement, vehicle, probability, objective evaluation, subjective evaluation

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Úvod | 9 |
| 2. | Zkoušení dopravních prostředků | 11 |
| 3. | Kvalifikace zkoušek | 12 |
| 3.1 | Výzkum | 12 |
| 3.1.1 | Zkouška materiálu | 12 |
| 3.2 | Vývoj | 13 |
| 3.2.1 | Zkouška modelu/makety | 13 |
| 3.2.2 | Zkouška funkčního vzorku/prototypu | 15 |
| 3.2.3 | Zkouška typu | 15 |
| 3.3 | Výroba | 19 |
| 3.4 | Provoz | 20 |
| 3.4.1 | Měření emisí | 20 |
| 3.4.2 | Technické prohlídky | 21 |
| 3.5 | Likvidace | 22 |
| 4. | Metody zpracování výsledků experimentů | 23 |
| 4.1 | Zkouška tahem | 23 |
| 4.2 | Testování modelu v programu Rhinoceros | 26 |
| 4.3 | Zkouška výkonu na válcovém dynamometru | 27 |
| 4.3.1 | Dynamická metoda | 27 |
| 4.3.2 | Statická metoda | 28 |
| 4.4 | Zkouška ovladatelnosti | 29 |
| 4.4.1 | Losí test | 29 |
| 4.5 | Měření hluku | 30 |
| 4.5.1 | Podmínky měření | 30 |
| 4.5.2 | Měření vnějšího hluku jedoucích vozidel | 31 |
| 4.5.3 | Měření vnějšího hluku stojících vozidel | 33 |
| 4.5.4 | Měření vnějšího hluku stlačeného vzduchu | 34 |
| 5. | Pravděpodobnost výsledků experimentů hodnocených různými metodami | 35 |
| 5.1 | Jednorázové měření diskrétní hodnoty | 37 |
| 5.2 | Násobné měření diskrétní hodnoty | 37 |
| 5.3 | Měřicí proces | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6. | Návrh metody provedení a vyhodnocení s exaktními a subjektivními prvky | 39 |
| 6.1 | Objektivní hodnocení | 45 |
| 6.1.1 | Měřicí zařízení | 45 |
| 6.2 | Subjektivní hodnocení | 48 |
| 6.3 | Korelace mezi subjektivním a objektivním hodnocením | 48 |
| 6.3.1 | Statistická analýza hypotéz..... | 51 |
| 7. | Závěr | 52 |
| 8. | Seznam použitých zdrojů | 53 |
| 8.1 | Literatura | 53 |
| 8.2 | Internetové zdroje..... | 54 |
| 8.3 | Legislativa | 57 |

1. Úvod

Doprava člověku zpřístupnila svět a patří mezi přirozené součásti lidské civilizace. Jako první využívali lidé k přepravě svou vlastní sílu (chůze, plavání) a sílu zvířat. Po vynálezu chomoutu, postroje a následně kola mohla být zvířata zapřáhnuta k povozu. Hustota i rychlost dopravy se postupně zvyšovala a s vynálezem parního stroje, spalovacího motoru a prvního automobilu došlo k velkému zkvalitnění a zefektivnění dopravy. Od počátku 2. poloviny 20. století začal obrovský rozvoj dopravní infrastruktury i dopravních prostředků hlavně v oblasti elektroniky, bezpečnosti a alternativních pohonů, který pokračuje do dnes.

Pro lepší plynulost, bezpečnost a sjednocení dopravy bylo nutné zavést legislativu týkající se dopravních prostředků a jejich zkoušení. První takovýto zákon vznikl v roce 1861 ve Velké Británii. Nesl název Locomotive Act a omezoval rychlost mechanicky poháněných vozidel mimo obec na 26 km/h a v obci na 8 km/h. Druhý Locomotive Act, známý také jako Red Flag Act, nařizoval, že alespoň 55 m před jedoucím vozidlem musí kráčet osoba nesoucí červený praporek viz obrázek č. 1. Omezoval také rychlost a to na 6,4 km/h mimo obec a 3,2 km/h v obci.



Obrázek 1: Ilustrace „Red Flag Act“ [25]

Až do roku 1909 se legislativa v dopravě týkala převážně omezení rychlosti a osvětlení. V tomto roce byla ve Francii vydána mezinárodní smlouva o jízdě automobilů. Československo tuto smlouvu podepsalo o 12 let později. V roce 1926 proběhla revize smlouvy a zdokonalení některých usnesení. V letech 1931 – 1947 většina evropských států přijala mezinárodní smlouvu z let 1909 a 1926. Byly zavedeny detailnější popisy a rozdělení vozidel do kategorií. V roce 1950 bylo v Československu vydáno první znění zákona č. 56/1950 Sb., z něhož

vyplývala pravidla pro užívání motorových vozidel a pro jejich technickou způsobilost. V roce 1959 vešla v Ženevě, sídle OSN, v platnost Dohoda o přijetí jednotných podmínek pro homologaci. Tuto dohodu podepsalo 20 států, mezi které patřilo také Československo. Podepsáním Dohody se státy zavazují ke společné tvorbě jednotných pravidel zkoušení a následnému hodnocení vozidel. Všechny tyto státy také mohou vozidlu udělit homologační značku, která bude ostatními uznána. V roce 1970 začala Evropská unie vydávat soubor směrnic EHS/ES, které určují podmínky zkoušení a kritéria hodnocení vozidel. Česká republika tyto směrnice přijala v roce 2004, respektuje je však již od devadesátých let. V současnosti se v České republice provozu vozidel týká zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, dále vyhláška 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a vyhláška 302/2001 Sb. o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Dále stavbu vozidel ovlivňuje soubor technických norem. [1]

Tato práce sestává ze 7 kapitol. Teoretická část se týká kapitol 1 až 5, ve kterých seznamují se základními pojmy týkající se zkoušení vozidel, s legislativou a popisují fáze technického života výrobku, jimiž jsou výzkum, vývoj, výroba, provoz a likvidace. Do jejich charakteristik je také zahrnut popis experimentů, které se v těchto fázích provádí. V 5. kapitole je shrnut teoretický základ o využití pravděpodobnosti při vyhodnocování experimentů. Praktická část se týká kapitoly 6., ve které je cílem práce navrhnout metody hodnocení experimentů, které by zahrnovaly subjektivní i objektivní prvky.

2. Zkoušení dopravních prostředků

Pod pojmem zkoušení se rozumí činnost, při které se zjišťují vlastnosti hmotných (např. vozidlo, části vozidla, materiál) či nehmotných (např. počítačový software, pracovní postupy, výkresová dokumentace) objektů. Ty jsou pak dále porovnávány s jinými hmotnými (např. jiná vozidla) nebo nehmotnými (např. předpisy) objekty. Srovnání vlastností vede k hodnocení zkoušeného objektu. Toto hodnocení může nabývat kladných nebo záporných výsledků. Pak je činnost ukončena. Zkoušení obecně může zahrnovat i subjektivní hodnocení, ale v případě zkoušení strojů se jedná pouze o objektivní ověřování vlastností. Zkušebnictví se neobejde bez znalostí z jiných technických oborů jako je např. matematika, fyzika, elektrotechnika, systémové vědy, metodologie měření atd. Zkoušení je obvykle prováděno s využitím zkušebních zařízení, které mnohdy obsahují také měřicí systémy. Aby bylo dosaženo úspěšného provedení experimentů, je nutné si podle požadovaného účelu určit tzv. harmonogram zkoušení. Ten by měl obsahovat popis zkoušeného předmětu, vytčení cíle, analýzu dostupných informací, volbu experimentálních metod, personální zajištění, provedení experimentů a jejich vyhodnocení a závěr.

Prostředky pozemní dopravní techniky jsou provázeny technickým zkoušením a měřením ve všech fázích svého technického života. Experimenty lze rozdělit podle několika hledisek, což je uvedeno v tabulce č. 1.

Veškeré zkoušky prováděné na dopravních prostředcích a jejich komponentech podléhají zákonným a normalizačním ustanovením. Zákonná ustanovení jsou obsažena v zákoně č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Dalšími velmi důležitými jsou mezinárodní předpisy EHK/OSN a Směrnice EHS/ES. Jedná se o tzv. homologační předpisy, které určují podmínky provádění zkoušek a předepsané vlastnosti. Splnění těchto homologačních předpisů mohou ověřovat pouze autorizované zkušebny jako je například DEKRA CZ a. s. nebo TÜV SÜD Czech s. r. o. V normách ČSN jsou uvedeny způsoby provádění některých zkoušek. [1], [8]

Tabulka 1: Rozdělení zkoušek dopravních prostředků podle různých hledisek [1]

| Hledisko | Členění zkoušek |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Fáze technického života | Výzkum |
| | Vývoj |
| | Výroba |
| | Provoz |
| | Likvidace |
| Legislativa | Předepsané zákonem |
| | Prováděné dobrovolně |
| Čas | Krátkodobé |
| | Dlouhodobé |
| Dynamika | Statické |
| | Dynamické |
| Statistika | Jednorázové |
| | Násobné |
| Použitelnost | Destrukční |
| | Nedestrukční |
| Objekt | Vozidlo jako celek |
| | Ústrojí |
| | Díly |
| Vlastnosti | Hmotnostní charakteristiky |
| | Geometrické charakteristiky |
| | Výkonové parametry |
| | Ekonomické parametry |
| | Prvky aktivní bezpečnosti |
| | Prvky pasivní bezpečnosti |
| | Emise |

3. Klasifikace zkoušek

Jak je již zmíněno v předchozím textu, každý výrobek prochází pěti fázemi života. U dopravních prostředků tomu není jinak. Jedná se o tzv. stupně rozvoje, jimiž jsou výzkum, vývoj, výroba, provoz a likvidace. Pořadí fází není legislativně předepsané, ale z dlouhodobých zkušeností je vhodné jej dodržet.

3.1 Výzkum

Jedná se o první vědeckotechnickou fázi při vývoji výrobku, ve které se pomocí experimentů odvozují zákonitosti, potvrzují teoretické závěry a ověřují platnosti hypotéz. Rozlišuje se

Základní výzkum – obvykle prováděn akademickými pracovišti. Používá teoretické metody na zaměření obecných zákonitostí jevů přírodních a technických věd.

Aplikovaný výzkum – obvykle prováděn výzkumným oddělením výrobce (dodavatele). Jedná se o aplikaci výsledků základního výzkumu pro další vývoj výrobku. Výsledky zkoušek jsou porovnávány s normami nebo smlouvami. Aby měl odběratel jistotu provedení zkoušek, může dodavatel k dodávanému hmotnému materiálu dokládat atest, což je písemné osvědčení určitých vlastností. Pokud hovoříme o nehmotném materiálu, potom provádí ověření jeho funkce autor. [1], [9]

3.1.1 Zkouška materiálu

Pro správnou volbu materiálu je potřeba znát jeho vlastnosti. Cílem zkoušky je tedy ověření vlastností technického materiálu. Tyto vlastnosti se rozdělují na fyzikální, chemické, mechanické a technologické. Mezi fyzikální vlastnosti patří hustota, teplota tání, délková roztažnost, tepelná vodivost, elektrická vodivost a magnetické vlastnosti. Jsou již předem známy nebo ověřeny ve fyzikálních laboratořích. Podobné to může být i u chemických vlastností, do kterých lze zařadit odolnost proti korozi, kyselinám nebo žárovzdornost. Protože tyto vlastnosti závisí na několika aspektech, je důležité při zkouškách vytvořit co nejvěrnější podmínky. Tyto zkoušky lze rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Při dlouhodobých zkouškách jsou vzorky materiálu přímo umístěny do nejnepříznivějších podmínek (např. minerální voda, půda). Mohou trvat až několik měsíců, a proto jsou prováděny jen u nových a nově vyvinutých materiálů. Krátkodobé zkoušky se provádějí v laboratořích, kde se zjišťuje odolnost látek v chemicky působících kapalinách a plynech.

Při navrhování a konstruování strojů je důležité zkoušení mechanických vlastností. Materiál je při zpracování i v provozu vystaven různým druhům namáhání jako je tah, tlak, krut, smyk

a ohyb. Mechanické vlastnosti pomáhají odolávat těmto namáháním. Jedná se hlavně o pružnost, pevnost, tvrdost, tvárnost, houževnatost a křehkost. Při jejich ověřování by měly být přesně definované zkušební postupy a podmínky. Také proto je velká část těchto zkoušek normovaná. Protože při těchto experimentech dochází ve většině případů k poškození, neprovádějí se přímo na součásti, ale na zkušebních vzorcích ze stejného materiálu. Rozdělují se tři základní druhy zkoušek mechanických vlastností, a to zkoušky statické, kde je vzorek zatěžován statickou silou. Ta se v průběhu experimentu zvolna zvětšuje. Základem statického zkoušení jsou zkoušky pevnosti a tvrdosti. Typickým příkladem je zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1, zkouška tvrdosti podle Brinella dle ČSN EN ISO 6506-1, zkouška tvrdosti podle Vickerse dle ČSN EN ISO 6507-1, zkouška tvrdosti podle Rockwella dle ČSN EN ISO 6508-1.

Dalším druhem jsou zkoušky dynamické. Jedná se o zkoušky rázové, při kterých působí síla jen v určitém okamžiku a zkoušky cyklické (únavové), při kterých se proměnné zatížení opakuje v mnoha cyklech za sebou. Příkladem je zkouška rázem v ohybu metodou Charpy dle ČSN ISO 148-1. Třetím druhem jsou zvláštní technické zkoušky, což jsou zkoušky prováděné za nízkých a vysokých teplot.

Dalšími vlastnostmi, které souvisí se zpracováním materiálu na polotovár nebo hotový výrobek jsou vlastnosti technologické. Zde patří např. slévatelnost, svařitelnost, obrobitelnost, tvárnost nebo kalitelnost. Při zkoušení je snaha o co nejdokladnější napodobení výrobních podmínek. [43]

3.2 Vývoj

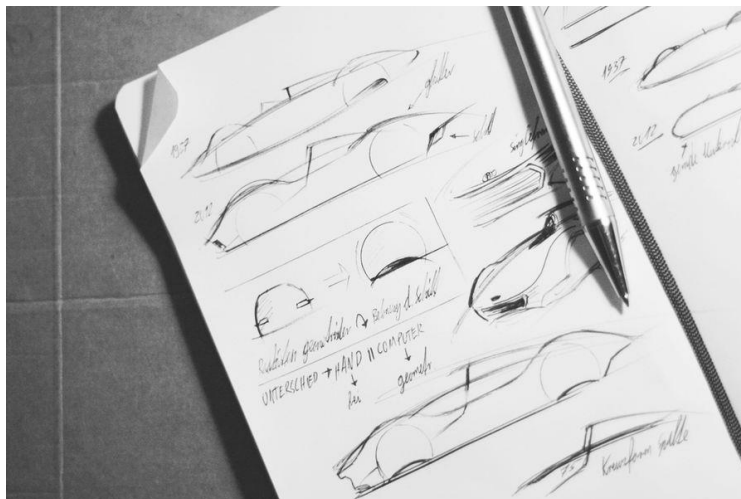
V této fázi se vývojové oddělení výrobce zaměřuje na vývoj a modernizaci výrobku, tak aby splňoval požadované vlastnosti v každém stádiu životního cyklu. Hmotným výstupem může být model, maketa, funkční vzorek nebo prototyp.

3.2.1 Zkouška modelu/makety

Model i maketa jsou předlohou pro budoucí výrobek. Provádí se na nich poslední designerské úpravy a lze předběžně stanovit součinitel aerodynamického odporu a chování modelu v proudu vzduchu viz obrázek č. 2. Většinou jsou zhotoveny z jiných materiálů, než ze kterých bude vyroben budoucí výrobek. V dnešní době většina výrobců vozidel využívá pro vývoj nejrůznějších technologií. Vytváří modely v počítačích pomocí různých softwarů. Urychluje to tak vývoj, eliminují se provozní problémy již v procesu návrhu a také se snižují náklady. [1]



Obrázek 2: Sestavování modelu DrivAer v aerodynamickém tunelu [12]



Obrázek 3: Designerský návrh Audi Stromlinie 75 [14]

3.2.2 Zkouška funkčního vzorku/prototypu

Funkční vzorek je obdobou prototypu s tím rozdílem, že k jeho zhotovení nemusí být použity stejné materiály a technologie jako u budoucího výrobku a bezprostředně po jeho zhotovení nedochází k sériové výrobě. U funkčního vzorku příp. prototypu se provádí zkoušky statické, dynamické a životností. Nejedná se však o zkoušky dané legislativou, slouží pouze pro potřebu výrobce.

3.2.3 Zkouška funkčního vzorku/prototypu

Funkční vzorek je obdobou prototypu s tím rozdílem, že k jeho zhotovení nemusí být použity stejné materiály a technologie jako u budoucího výrobku a bezprostředně po jeho zhotovení

nedochází k sériové výrobě. U funkčního vzorku příp. prototypu se provádí zkoušky statické, dynamické a životností. Nejedná se však o zkoušky dané legislativou, slouží pouze pro potřebu výrobce.

3.2.4 Zkouška typu

Na základě výsledků zkoušky typu, která bývá dlouhodobého charakteru a jejímž cílem je ověřit vlastnosti výrobku z prvního výrobního stádia, je dopravní prostředek schválen k provozu na pozemních komunikacích. Aby bylo dosaženo nestrannosti, provádí tyto zkoušky nezávislé zkušebny.

Homologační zkoušky, jak je zmíněno již výše, jsou předepsány mezinárodními předpisy a normami. Každý dopravní prostředek musí být homologován podle metody uvedené v těchto zákonech. Schválení provádí instituce tomu určená. Ta po splnění podmínek předpisů vystaví protokol o zkoušce, na jehož základě je vystaven certifikát a poté je výrobku udělena homologační značka.

- **Zkoušky statické**

Zkouškami statickými se zjišťují hmotnostní a geometrické parametry vozidla. Nejčastěji je zjišťována hmotnost, poloha těžiště, a moment setrvačnosti. [1]

- Hmotnost

Hmotnost patří mezi důležité charakteristiky vozidla. Dle vyhlášky č. 341/2014 Sb. se rozděluje na největší povolenou hmotnost, největší povolenou hmotnost na nápravu, maximální technicky přípustnou hmotnost na nápravu, maximální technicky přípustnou hmotnost naloženého vozidla, maximální technicky přípustnou hmotnost naložené jízdní soupravy, okamžitou hmotnost vozidla, hmotnost v provozním stavu u motorových vozidel a v případě přípojného vozidla. Pro zjišťování hmotnosti je využíváno několik druhů vah a siloměrů. [1], [46]

- Poloha těžiště

Stanovení polohy těžiště je důležité při výpočtech, které souvisí s boční a podélnou stabilitou vozidla. Těžiště je totiž jedním z činitelů, kteří ovlivňují chování vozidla. Poloha těžiště může být vyjádřena v třírozměrné referenční soustavě, kde osa x je vzdálenost od svislé roviny procházející osou předních kol, osa y je vzdálenost od svislé roviny procházející středem kontaktních bodů pneumatik na levé či pravé straně vozidla (u jednostopých vozidel se nezjišťuje) a osa z je výška nad vodorovnou rovinou procházející kontaktními body pneumatik s vozovkou. Podélná a příčná poloha těžiště

je zjišťována vážením, při kterém se určí hmotnost vozidla připadající na přední nápravu. Výšková poloha těžiště vozidla se určuje naklápěním, kdy jsou kola jedné nápravy na váze a kola druhé nápravy jsou zvednuta do výšky. Toto měření by se mělo provádět na váhách s vysokou přesností. Pro vyloučení chyb měření je nutné toto měření provést vícekrát a výsledky zpracovat statisticky. [1], [8]

- Moment setrvačnosti

Další geometricko-hmotnostní charakteristikou je moment setrvačnosti vozidla či jeho částí. Je důležitý např. při navrhování odpružení vozidla nebo pro výpočet směrové stability. Pro zjišťování momentu setrvačnosti existuje několik metod, které jsou založeny na principu závislosti mezi momentem setrvačnosti tělesa a frekvencí vlastního kmitání. Předpokladem pro toto měření je netlumené kmitání, při kterém se měří doba kmitu. Zpravidla se měří doba více kmitů a následně se vypočítá doba jednoho kmitu. Základní metody pro zjišťování momentu setrvačnosti jsou torzní kyvadlo, fyzikální kyvadlo podepřené pružinou, fyzikální kyvadlo volně zavěšené a bifilární, trojvláknový nebo čtyřvláknový závěs. U všech těchto metod by se měla dodržovat určitá pravidla jako např. zajištění aretace pérování, zamezení pohybu kapalin, opakované měření a následné statistické zpracování výsledků. [1], [8], [10]

• **Zkoušky dynamické**

V dnešní době širokého využití výpočetní techniky se s dynamikou počítá již při prvotním návrhu vozidla. Při zkouškách typu se jedná o praktické ověření předpokládaných dynamických vlastností. Dynamickými zkouškami jsou zjišťovány výkonové vlastnosti výrobku. U těchto zkoušek obvykle dochází k měření výkonu motoru, rychlosti a akcelerace, stoupavosti a spotřeby paliva.

- Výkon

Výkon motoru a točivý moment patří mezi základní specifikace vozidla. Výkon má velký vliv na jízdní vlastnosti, ovladatelnost vozidla a s tím související bezpečnost. Rozlišuje se výkon indikovaný, efektivní a ztrátový.

Indikovaný výkon

Hodnota indikovaného výkonu je získána prací během pracovního oběhu spalovacího motoru ve vnitřním prostoru válce při zanedbání ztrát. Zjišťuje se měřením a zpracováním $p - V$ diagramu, ve kterém se určí plocha získané indikované práce viz obrázek č. 4.

Platí následující vztahy:

$$W_i = W_{už} - W_z \quad (1)$$

kde W_i ...indikovaná práce [J]

$W_{už}$...užitečná práce [J]

W_z ...ztrátová práce [J]

$$W_i = \int p \cdot dV_\alpha \quad (2)$$

kde W_i ...indikovaná práce [J]

p ...tlak [Pa]

V_α ...změna objemu V v závislosti na natočení klikové hřídele α

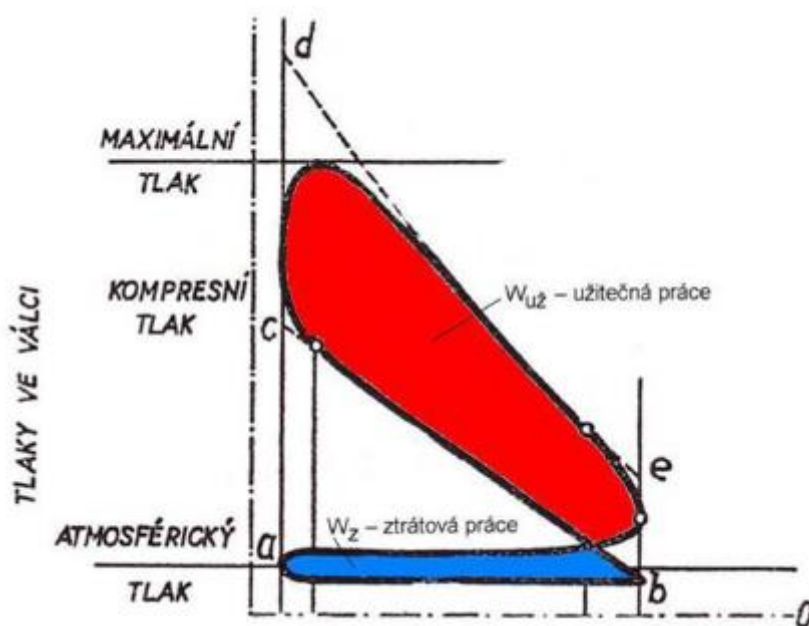
Pro indikovaný výkon pak platí vztah:

$$P_i = \frac{W_i}{t} \quad (3)$$

kde P_i ...indikovaný výkon [W]

W_i ...indikovaná práce [J]

t ...doba jednoho oběhu [s]



Obrázek 4: Indikátorový diagram [2]

Efektivní výkon

Efektivní výkon je zjišťován měřením točivého momentu na výstupním konci klikového hřídele. Motor vyjmutý z vozidla se připojí k zařízení tak, aby byl klikový hřídel spojen přímo s hřídelem motorové brzdy. Současně jsou zjišťovány otáčky motoru a moment síly na hřídeli. Pro výpočet výkonu se používá vztah:

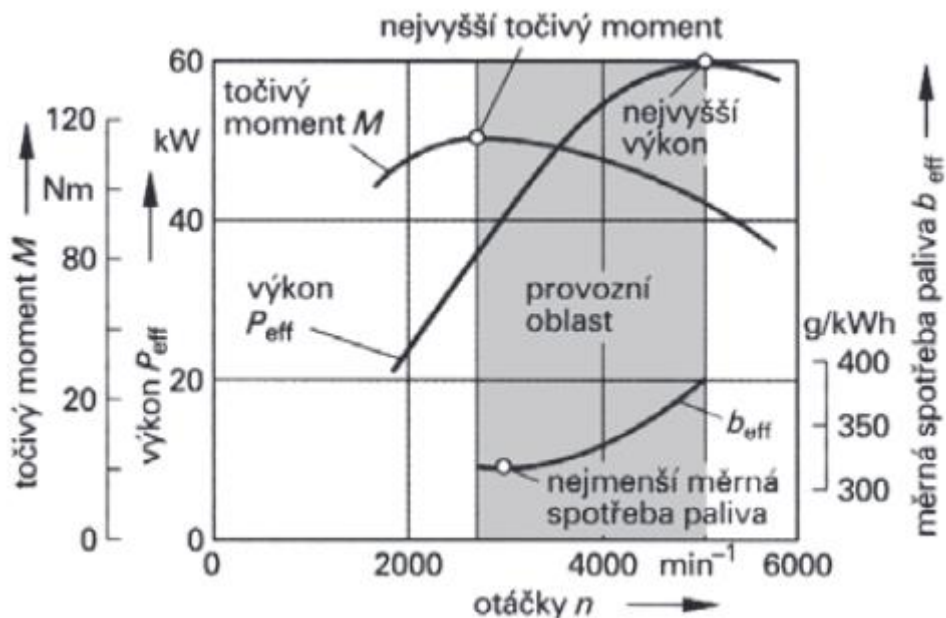
$$P = M_t \cdot n \quad (4)$$

kde P ...výkon [W]

M_t ...točivý moment [Nm]

n ...otáčky motoru [s^{-1}]

Oproti indikovanému výkonu je tato hodnota snižená o ztráty způsobené třením pohybujících se součástí motoru, ztráty následkem pohonu zařízení potřebných k chodu motoru, o hydraulické ztráty a o ztráty způsobené odpory při výměně pracovní náplně válců. Výstupem z tohoto měření je výkonová, momentová a spotřební křivka, která závisí na otáčkách motoru viz obrázek č. 5.



Obrázek 5: Charakteristika čtyřdobého motoru při plném zatížení [1]

Ztrátový výkon

Ztrátový výkon zahrnuje ztráty vzniklé třecími odpory a příkony pomocných zařízení spalovacího motoru, které jsou důležité pro jeho činnost. Jedná se například o rozvodové ústrojí, chladicí a mazací systémy, řídicí systémy. Ztráty mohou být vyjádřeny pomocí mechanické účinnosti. Ta je dána poměrem efektivního a indikovaného výkonu.

Měření výkonu

Pro stanovení výkonu motoru jsou určeny výkonové zkušebny. Z hlediska způsobu měření výkonu motoru je lze rozdělit na motorové dynamometry a válcové vozidlové zkušebny.

Pro měření výkonu pomocí motorového dynamometru je nutné demontovat testovaný motor z vozidla. Tato skutečnost s sebou nese finanční i časovou náročnost. Na druhou stranu je tento způsob měření velice přesný. Neměří se přímo výkon motoru, ale točivý moment. Motorové dynamometry lze dále rozdělit na pasivní a aktivní.

Při měření na válcích je možné měřit výkon při provozní zátěži. Testované vozidlo je zajištěno proti pohybu a je postaveno hnacími koly na válce. Motor se zahřeje na provozní teplotu a je zařazen převodový stupeň, který odpovídá požadované rychlosti. Otáčky jsou ustáleny na hodnotě, která odpovídá maximálnímu výkonu. Měří se síla, kterou působí kola na válce. Následně je rychlostní stupeň vyřazen a motor se ustálí do volnoběžných otáček. Dle potřeby se toto měření opakuje s větším zatížením brzdy. Tato metoda je dále popsána v odstavci 4.3 [1], [11], [18], [22]

- Rychlost

Rychlost je charakteristika pohybu, která udává, jakou dráhu urazí hmotný bod za jednotku času. Jedná se o důležitý parametr, který slouží k hodnocení chování vozidla v různých situacích. Pro měření rychlosti lze využít několik způsobů, ať už se jedná o rychloměr ve vozidle, modul GPS nebo přístroje umístěné mimo vozidlo. Dalším faktorem, který ovlivňuje jízdní zkoušky, je testovací dráha. Různé typy povrchů dráhy, sklon dráhy, jízda v přímém úseku či v kruhu nebo povětrnostní a okolní podmínky ovlivňují výsledek měření. Proto je nutné uvést tyto okolnosti v měřicích záznamech. Pro jízdní zkoušky byly vybudovány speciální testovací polygony s různými typy tratí a povrchů. [32]

- Zrychlení

Zrychlení udává zvýšení rychlosti tělesa v čase. Je to jeden z parametrů, který charakterizuje dynamiku vozidla a má pro ni velký význam. Zrychlení může být zjišťováno z různých důvodů např. pro hodnocení vlastností motoru a převodů nebo pro zjištění maximálního dosažitelného brzdného zpomalení. Pro měření zrychlení se používají elektronická zařízení. Dnes je na trhu k dispozici několik typů snímačů zrychlení. Vhodné zvolení těchto zařízení ovlivňuje přesnost a objektivnost dat. [1], [32], [34]

- Stoupavost

Stoupavost určuje schopnost vozidel překonávat jeden z odporů, odpor stoupání, aniž by docházelo k přílišnému prokluzu kol. Rozlišuje se stoupavost teoretická (zjištěná výpočtem) a skutečná (zjištěná zkouškou). [1]

- Měření spotřeby paliva

Množství paliva, které je pro dopravu spotřebováno, je ukazatelem hospodárnosti a technického stavu vozidla. Měření spotřeby paliva lze zjistit jízdními i laboratorními zkouškami. [1]

• **Zkoušky životnosti**

Vozidlo v provozu je vystavováno mnoha namáhání. Jeho konstrukce musí být tedy navržena tak, aby splňovala podmínky nejen normálního užívání ale i podmínky extrémních situací, jako je například dopravní nehoda. V podstatě se jedná o ověření spolehlivosti prvků pasivní a aktivní bezpečnosti. Toto ověřování bývá nejčastěji prováděno v laboratořích nebo jízdní zkouškou, kterou je možno realizovat na zkušebních polygonech nebo ojediněle přímo v provozu. V obou případech jsou zkoušky charakterizovány časovou a tím i ekonomickou náročností. [1]

3.3 Výroba

Výroba je třetí fází života výrobku, kde dochází k přeměně vstupů na výstupy. V tomto případě se výstupy rozumí výsledná vozidla určená k prodeji, kde následně dojde ke změně vlastníka. Mezi experimenty prováděné v průběhu výroby patří nejen kontrola polotovarů, subdodávek, hotových výrobků, ale také zkoušky a kontroly kvality při dodržování výrobních postupů. Dopravní prostředek je složitý výrobek, a proto jsou na něj kladeny nejrůznější požadavky jako je například použitelnost, bezpečnost, životnost nebo zajištěnost údržby. Zajištění těchto požadavků je také odrazem kvality výrobku a žádá si vynaložení značného úsilí a času v procesech jako je řídicí činnost, poskytování zdrojů, výrobní proces a měření.

Před výdejem do prodeje jsou vozidla podrobena výstupní kontrole. Tyto zkoušky mohou být statické a dynamické a jsou hodnoceny kvalitativně nebo kvantitativně. Statické kvalitativní zkoušky jsou vizuální a hmatové kontroly laku, lícování či znečištění, což lze vidět na obrázku č. 6. U zkoušek statických kvantitativních se hodnotí hlavně rozměrové charakteristiky. Pro

poslední prověření všech funkcí vozidla jsou prováděny zkoušky dynamické. Tyto kontroly jsou pak prováděny smysly nebo měřicími přístroji. [1]



Obrázek 6: Kontrola povrchu karoserie [40]

3.4 Provoz

V této čtvrté fázi je výrobek určen k užívání. V případě dopravních prostředků se jedná o dopravu osob a nákladů. S uvedením vozidla do provozu souvisí legislativa týkající se technického stavu vozidla a silničního provozu. Ze zákona č. 56/2001 Sb. vyplývá povinnost provozovatele udržovat vozidlo v řádném technickém stavu dle pokynů stanovených výrobcem a přistavit vozidlo k pravidelné technické prohlídce a k měření emisí. [1], [44]

3.4.1 Měření emisí

Problematiku emisí lze nalézt v každé lidské činnosti. Politika životního prostředí se nejvíce zaměřuje na emise, které vznikají v průmyslových podnicích. Emise v dopravě patří mezi jednu z nejvíce zatěžujících životní prostředí. Jako nejzávažnější se posuzují exhalace. Proto je povinností každého provozovatele motorového vozidla přistoupit v předepsaných termínech ke kontrole měření emisí.

Kontroluje se technický stav částí vozidla, motoru a dílů, které ovlivňují tvorbu škodlivých emisí ve výfukových plynech. Po naměření hodnot, které charakterizují emisní chování vozidla, se zjišťuje, zda nepřekračují stanovené limity a případně dochází k jejich seřízení nebo odstranění závad. Měření emisí se netýká motocyklů, jejichž provozní hmotnost nepřesahuje 400 kg, jinak jsou vozidla dle zákona č. 56/2001 Sb. pro měření emisí rozdělena na [44]:

- a) *silniční motorová vozidla se zážehovými motory s neřízenými emisními systémy, včetně systémů s neřízenými katalyzátory*
- b) *silniční motorová vozidla se zážehovými motory s řízenými katalytickými systémy*
- c) *silniční motorová vozidla se zážehovými motory s řízenými katalytickými systémy a systémem palubní diagnostiky EOBD*
- d) *silniční motorová vozidla se vznětovými motory*
- e) *vozidla s alternativním pohonem.*

Stanice, která měření emisí provádí, vystaví protokol obsahující informace o stanici a o mechanikovi, který měření prováděl, informace o vozidle, měřené parametry a jejich předepsané i naměřené hodnoty, informace o měřicích zařízeních, výsledek měření a termín příštího měření. Tento protokol je vydán provozovateli, který jej předloží před zahájením technické kontroly vozidla. [44], [45]

3.4.2 Technické prohlídky

Tyto prohlídky provádí stanice technické kontroly (STK). Jedná se o porovnání skutečného stavu vozidla a jeho identifikačních údajů s informacemi uvedenými v technickém průkazu a v osvědčení o registraci vozidla. Podle zákona č. 56/2001 Sb. se pro posouzení technického stavu kontrolují [44]:

- a) *brzdové soustavy,*
- b) *řízení,*
- c) *nápravy, kola, pneumatiky, pérování, hřídele, klouby,*
- d) *podvozek a karoserie,*
- e) *světelné zařízení a světelné signalizace,*
- f) *ostatní ústrojí a zařízení, zejména elektrické zařízení a vedení, rychloměr a tachograf, palivové soustavy, těsnost motoru a převodovky, spojky, řazení rychlostních stupňů, vytápění a větrací systém, spojovací zařízení, výfukové soustavy, hluk,*
- g) *předepsané a zvláštní vybavy*

Frekvence prohlídek závisí na kategorii vozidel [44]:

- a) *osobní automobil, nákladní automobil, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, motocykl, přípojné vozidlo, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, kromě nebrzděného přívěsu, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg, nejpozději ve*

- lhůtě čtyř let po prvním zápisu silničního vozidla do registru silničních vozidel (dále jen "zaregistrování silničního vozidla") a potom pravidelně nejpozději ve lhůtách dvou let,*
- b) nákladní automobil, jehož přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, speciální automobil, autobus, silniční vozidlo s právem přednosti v jízdě, vozidlo taxislužby, vozidlo půjčovny automobilů určené k nájmu, kromě nebrzděného přívěsu, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg, přípojné vozidlo, jehož přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, nejpozději ve lhůtě jednoho roku po zaregistrování silničního vozidla a potom pravidelně nejpozději v jednoročních lhůtách,*
- c) nebrzděný přívěs, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg, motocykl, jehož zdvihový objem pístového spalovacího motoru pohonu silničního vozidla nepřevyšuje 50 cm³ nebo jehož nejvyšší konstrukční rychlost nepřevyšuje 50 km.h⁻¹, s výjimkou motocyklu opatřeného šlapadly, nejpozději ve lhůtě šest let po zaregistrování silničního vozidla a potom pravidelně nejpozději ve lhůtách čtyř let.*

Po provedení prohlídky vystaví stanice protokol obsahující informace o stanici a o technikovi, který měření prováděl, informace o vozidle, zjištěné závady, výsledek hodnocení technické způsobilosti vozidla k provozu, výsledek evidenční kontroly a termín příští technické prohlídky. Po kladném výsledku je vozidlo vybaveno kontrolní nálepkou na tabulce registrační značky. [44], [45]

3.5 Likvidace

V této fázi se vozidlo nachází na konci svého technického života. Dochází k ukončení jeho užívání, vyloučení z evidence a fyzické likvidaci. Vzhledem k tomu, že automobily i motocykly obsahují množství recyklovatelného materiálu, ale zároveň obsahují škodlivé až toxické látky, je nutné najít správný způsob ekologické likvidace. Provozovatel je povinen vozidlo s ukončenou životností předat provozovatelům zařízení pro sběr, výkup, zpracování nebo likvidaci autovraků. Zde pak dochází k demontáži, kdy se vozidlo rozebere na jednotlivé komponenty nebo šredrování, což je slisování a drcení. Ideální je však kombinace těchto dvou metod. Mezi legislativu zabývající se likvidací autovraků patří zákon č. 56/2001 Sb. a zákon č. 185/2001 Sb. [19]

4. Metody zpracování vybraných experimentů

V rámci mé bakalářské práce jsem si k popisu charakteristických zkoušek pro každou třídu vybrala tyto zkoušky:

Výzkum – zkouška tahem

Vývoj – testování modelu v programu Rhinoceros, zkouška výkonu motoru vozidla

Výroba – zkouška ovladatelnosti a pohodlí jízdy

Provoz – měření emisí (hluku)

4.1 Zkouška tahem

K výrobě jakéhokoliv produktu je nutné znát mechanické vlastnosti materiálů, ze kterých se produkt skládá. Podle získaných charakteristik mechanických vlastností daného materiálu pak lze hodnotit jeho jakost a určit možnosti namáhání při následném použití nebo zpracování. Zda daný materiál odolá namáháním, která na něj budou v provozu působit, se zjišťuje zkouškami mechanických vlastností viz kapitola 3.1.1 Zkouška materiálu.

Jednou z těchto zkoušek mechanických vlastností je zkouška tahem. S pomocí trhacího stroje při ní dochází k přetržení vzorku (zkušební tyč kruhového, čtvercového nebo obdélníkového průřezu). Dle normy ČSN ISO EN 6892-1 se zkouška tahem rozděluje podle provádění za teploty pokojové, zvýšené nebo nízké, tedy teploty v rozmezí 10 – 35 °C. Norma dále určuje rozměry tyče podle tvaru průřezu a délky viz tabulka č. 2.

Tabulka 2: Rozměry zkušební tyče pro tahovou zkoušku [5]

| | Dlouhé tyče | Krátké tyče |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Kruhový průřez | $l_0 = 10 d_0$ | $l_0 = 5 d_0$ |
| Jiný průřez | $l_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$ | $l_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ |

Kde d_0 je průměr a S_0 je průřez tyče.

Zkušební tyč je v trhacím stroji upevněna tak, aby zatížení působilo jen v její ose a je deformována tahem až po svou destrukci. Zařízení působí na vzorek silou F [N], čímž se prodlužuje z původní délky l_0 [mm] na délku $l_0 + \Delta l$. Zároveň se také zmenšuje průřez tyče z původního S_0 [mm²] na S . Tím vznikne ve vzorku skutečné napětí:

$$\sigma = F/S \text{ [MPa]} \quad (5)$$

kde F ...působící síla [N]

S...zmenšený průřez vzorku [mm²]

Ve strojírenské praxi se však používá tzv. smluvní napětí

$$R = F/S_0 \text{ [MPa]} \quad (6)$$

kde F...působící síla [N]

S₀...původní průřez vzorku [mm²]

Pro poměrné prodloužení platí vztah:

$$\varepsilon = \Delta l/l_0 \text{ [1]} \quad (7)$$

kde Δl ...absolutní prodloužení [mm]

l_0 ...původní délka vzorku [mm]

U malých poměrných prodloužení se může vypořádat, že závislost mezi σ a ε je lineární.

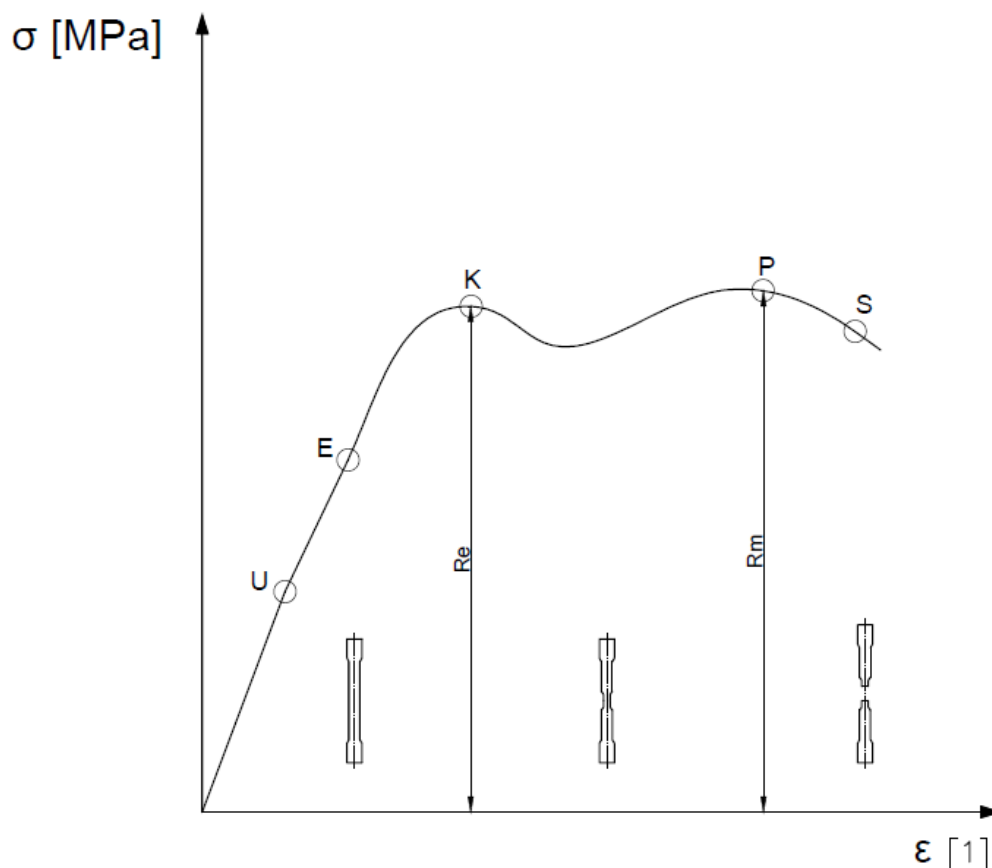
Vztah (5) se nazývá Hookův zákon.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ [Pa]} \quad (8)$$

kde E...modul pružnosti v tahu [Pa]

ε ...poměrné prodloužení [1]

Pokud v této oblasti dojde k přerušení zkoušky, deformace vymizí. Materiál se zde totiž chová jako pružný a po odlehčení zatěžovací síly se vrátí do původního tvaru. Po dosažení meze smluvního napětí R_e je deformace vzorku trvalá. Až do bodu meze pevnosti, kdy je dosaženo maximálního smluvního napětí R_m , nedochází k přetržení zkušební tyče. Za touto hodnotou se zvětšují lokální plastické deformace a vytvoří se krček, kde se později materiál poruší lomem. Výsledkem je pracovní diagram viz obrázek č. 7, kde je znázorněna tahová křivka. Její tvar je různý pro různé látky. Při této zkoušce lze také provést výpočet přetvárné práce či pozorovat kluzné čáry. [5], [29], [39]



Obrázek 7: Univerzální pracovní diagram tahové zkoušky [5]

Kde U...mez úměrnosti

E...mez pružnosti

K...mez kluzu

P...mez pevnosti

S...bod přetržení

R_e ...smluvní napětí

R_m ...maximální smluvní napětí.

4.2 Testování modelu v programu Rhinoceros

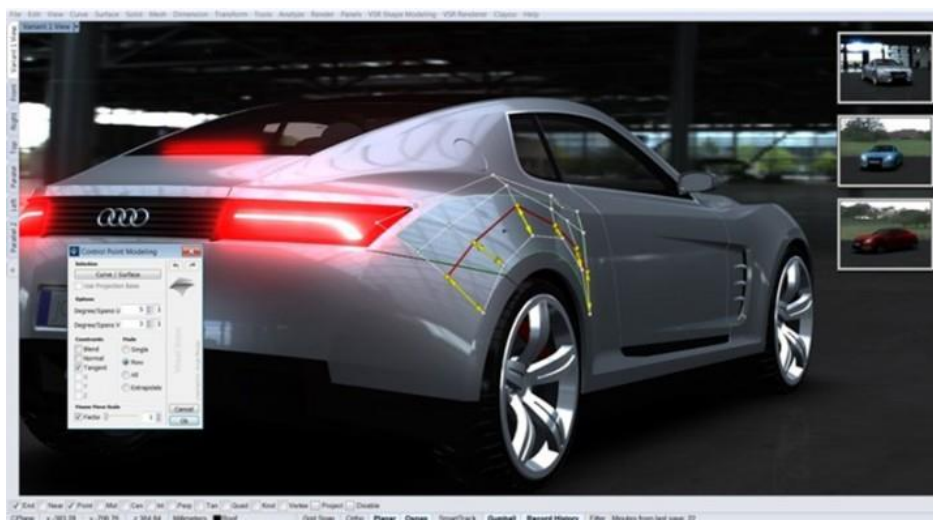
Při vývoji nového modelu vozidla je jeho neoddělitelnou součástí simulace. Na těchto simulačních modelech je možné provádět virtuální pokusy a simulovat tak důsledky různých rozhodnutí. Existuje řada softwarů jako například CATIA, Rhinoceros nebo Autodesk Alias sloužící pro návrh, kontroly a testy před fyzickou výrobou vozidla. Pro svou bakalářskou práci jsem k popisu vybrala jeden z 3D programů, program Rhinoceros.

Tuto aplikaci vyvinul Robert McNeel & Associates. Základním modelovacím prvkem jsou NURBS křivky, pomocí kterých lze přesně vymodelovat i tvarově velmi komplikované objekty. [38]

Existuje několik pluginů, které mohou v tomto softwaru doplnit jeho funkčnost podle aplikace. Například pluginy určené pro náhled (Brazil for Rhino), analýzu mechanických vlastností (ScanSolve) nebo pro výrobu na číselně řízených obráběcích strojích (RhinoCAM). Jedním z nejužitečnějších pluginů pro Rhinoceros je plugin VSR Shape Modelling for Rhino, který je využíván v automobilovém průmyslu. Díky tomuto pluginu lze vytvářet, editovat a analyzovat A-Class plochy. Výrobce je společnost Autodesk. Program je používán hlavně ve společnostech, které se zabývají výrobou prvků pro automobilové karosérie a interiéry. Součástí tohoto modulu je také **VSR Shape Analysis**, který nabízí dynamickou a asociativní analýzu u všech funkcí pro tvorbu a úpravy geometrie. Je zde plná kontrola návazností ploch a další funkce, jako je řez a dynamické řezy, které udávají cenné informace o vnitřních částech objektu v průběhu modelování. [22], [33]



Obrázek 8: Ukázka 3D modelu vytvořeného v programu Rhino [22]



Obrázek 9: Screenshot 3D modelu vytvořeného v programu Rhino a VSR [21]

4.3 Zkouška výkonu na válcovém dynamometru

U zkoušky na válcovém dynamometru nedochází k demontáži vozidla. Vozidlo musí být vybaveno předepsanými pneumatikami o správném tlaku a musí být důkladně zajištěno proti pohybu. Výsledný výkon motoru je měřen na hnacích kolech vozidla. Naměřená hodnota je však snižena o ztráty v převodovém ústrojí, v hřídelích nebo o ztráty způsobené valivým odporem pneumatik.

Při zkoušce je výkon přenášen spalovacím motorem na hnací kola vozidla. Třením se pak roztáčí zkušební válec dynamometru. Je možné použít dvě metody zkoušení, a to dynamickou a statickou. Je výhodné, pokud lze provést porovnání těchto metod a tím ověřit správnost zadaných momentů setrvačnosti u dynamické metody.

4.3.1 Dynamická metoda

Dynamická metoda je oproti metodě statické časově méně náročná a motor není tolik tepelně a mechanicky zatěžován. U této metody je možné znázornit křivky výkonu a momentu, které závisí na otáčkách. Ocelový válec, na kterém je měření prováděno, musí být co nejlépe staticky vyvážený a má přesně stanovený moment setrvačnosti. Také celá soustava pohonného ústrojí má svůj moment setrvačnosti, který je na počátku měření neznámý a do softwaru se zadává jen přibližná hodnota, která závisí na typu konstrukce motoru, převodů a zkušeností technika. Hnací kola vozidla roztáčí ocelový válec, který klade odpor jakémukoliv zrychlení. Zkouška probíhá od počátečních otáček po maximální otáčky vozidla, kde je získán točivý moment jako funkce známého momentu setrvačnosti a úhlového zrychlení:

$$M_t = J \cdot \varepsilon \quad (9)$$

kde M_t ...točivý moment [Nm]

J ...moment setrvačnosti [kg·m²]

ε ...úhlové zrychlení [rad·s⁻²]

Pomocí spočteného točivého momentu lze dopočítat výkon:

$$P = \frac{M_t \cdot n}{9550} \quad (10)$$

kde P ...výkon [W]

M_t ...točivý moment [Nm]

n ...otáčky motoru [min⁻¹]

Pro vykreslení grafu závislosti výkonu a momentu na otáčkách motoru je nutné určit převodový poměr. Ten je možné získat měřením otáček motoru vůči otáčkám válce při požadovaném rychlostním stupni. Praxe je taková, že se měření u slabších strojů (maximální rychlost nepřesahuje maximální konstrukční rychlost měřícího válce) provádí na posledním rychlostním stupni a u silných strojů na předposledním rychlostním stupni. [1], [10]

4.3.2 Statická metoda

Statická metoda nezávisí na momentu setrvačnosti. Princip spočívá v měření velikosti síly, kterou motor působí na brzděný válec. Zařízením, které působí proti otáčejícímu se kolu může být vířivá, hydraulická nebo elektrická brzda. Během měření je motor držen v konstantních otáčkách a je po určitou dobu vystaven měnícímu se zatížení. Obvykle je měřena série s odlišnými hodnotami konstantních otáček. Dynamometr bývá propojen s počítačem, který na základě zapsaných hodnot z tenzometru a snímače otáček vypočítá výkon motoru. Tato metoda má svou výhodu v lepším ohřevu motoru a ve větší přesnosti, než je tomu u metody dynamické. Na druhou stranu zde nelze získat spojitý průběh charakteristik, ale pouze momentální hodnoty výkonu a momentu za daných otáček. [1]

4.4 Zkouška ovladatelnosti

Vhodně navržený prostor pro řidiče a cestující zaručuje vysokou míru bezpečnosti. Při konstrukci kabiny jsou kladeny vysoké nároky na všechny indikační přístroje a ovladače, které řidič během jízdy sleduje a ovládá. Důležitá jsou také ergonomicky optimalizovaná sedadla, která přispívají k dobré kondici i pohodlí pasažérů vozidla. Mezi cíle výzkumu a vývoje vozidel patří tedy i přizpůsobení vozidla schopnostem řidiče. [15]

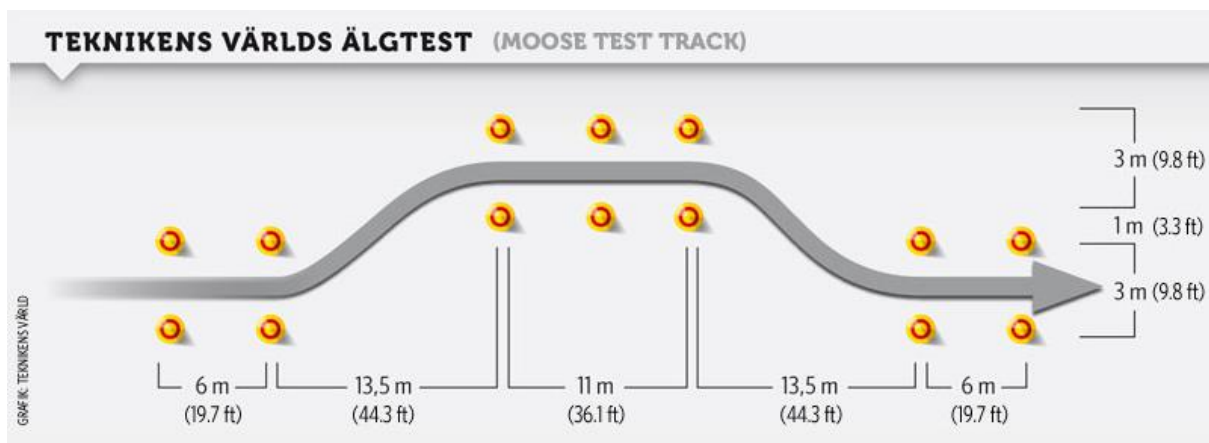
U zkoušek ovladatelnosti vozidla se využívají tyto metody [10]:

- a) *čistě subjektivní hodnocení: jízdní vlastnosti vozidla posuzuje řidič. Metoda není založena na žádném objektivním měření; její reprodukovatelnost a přesnost je zcela omezena.*
- b) *subjektivní zkoušky ovladatelnosti: zkušební řidič projíždí vozidlem zadanou dráhu, přičemž vozidlo nesmí vybočit z dráhy vytečené vodíci kužely. Ovladatelnost je hodnocena podle rychlosti jízdy, vzdálenosti značek a dalších veličin.*
- c) *objektivní zkoušky ovladatelnosti: měří se chování samotného vozidla, tzn. Vliv řidiče je vyloučen. Vlastnosti vozidla se posuzují měřením odezev vozidla na definované ovládací úkony, aby byly tyto úkony reprodukovatelné, nahrazuje se řidič „řídícím strojem“*

Dnes je poměrně velká snaha o automatizaci, která snižuje potřebu přítomnosti člověka nejen u vykonávání zkoušek, ale například i ve výrobě. Výhodou objektivních zkoušek, kde je řidič nahrazen právě řídicím zařízením je snadná opakovatelnost a přesnost dosažených výsledků. Zkoušky hodnocené subjektivně velice závisí na vlastnostech řidiče jako je například jeho věk, zdravotní stav nebo zkušenosti, přesto jsou stále využívány. Proto je velice důležitá souvztažnost mezi objektivně a subjektivně zjištěnými jízdními vlastnostmi. [27]

4.4.1 Losí test

Při tzv. losím testu se zjišťuje chování vozidla při prudkém vyhýbacím manévru. Lze zjišťovat také přilnavost, schopnost rychle změnit směr, náklon či přetáčivost zadních kol po odlehčení. Losí test byl vynalezen ve Švédsku, kde je právě nejčastější nečekanou překážkou los. [autičkar](#) Tato zkouška se provádí podle normy ISO 3888-2:2011. Na testovacím polygonu je dopravními kužely vytýčena dráha, kterou musí vozidlo v rychlosti 80 – 100 km/h projet. Úkolem testovacího řidiče je objet řadu kuželů a vrátit se zpět do původního jízdního pruhu. Rozměry vytýčené dráhy lze vidět na obrázku č. 10. Zkouška se většinou opakuje se zvyšující se rychlostí do té doby, než se vozidlo přetočí nebo manévr nezvládne. Při opakování je důležité, aby bylo rozmístění kuželů stále stejné a výsledky pak mohly být porovnány. Existuje několik serverů (například <http://teknikensvarld.se/>), kde lze vidět výsledky a porovnání různých automobilů v tomto testu. Podrobněji je tato metoda rozebrána v kapitole 6. [13], [16]



Obrázek 10: Losí test [41]

4.5 Měření hluku

Hlukem se rozumí zvuk obecného charakteru, který je rušivý a je nepříjemný lidskému sluchu. Nejzávažnější vlastností zvuku a hluku je šíření se na poměrně velké vzdálenosti. Šíří se stejně dobře vzduchem, vodou nebo i pevnou látkou. Akustické vlnění se může za určitých podmínek

odrážet, lomit či ohýbat. Technická akustika se zabývá zvuky pouze ve frekvenčním pásmu 20 – 20 000 Hz. Mimo toto pásmo lidské ucho zvuky nevnímá. Hluk nelze nijak fyzikálně definovat, protože zde záleží na vztahu člověka k danému zvuku.

V současnosti patří k významným hlukům právě motorová vozidla. Zdrojem bývá spalování motorů, pohyb mechanismů, proudění vzduchu a rozhraní dopravního prostředku. U zkoušek hluku se měří vnější hluk jedoucího a stojícího vozidla. Dále se provádí zkouška vnitřního prostoru vozidla, která není ovlivněna legislativou. [1] Legislativa týkající se hluku nutí výrobce hledat účinné metody na snižování hlučnosti agregátů jako například úplné krytování motorů, aktivní systémy snižování hluku, moderní tlumící hmoty, vrstvy a povlaky. [35]

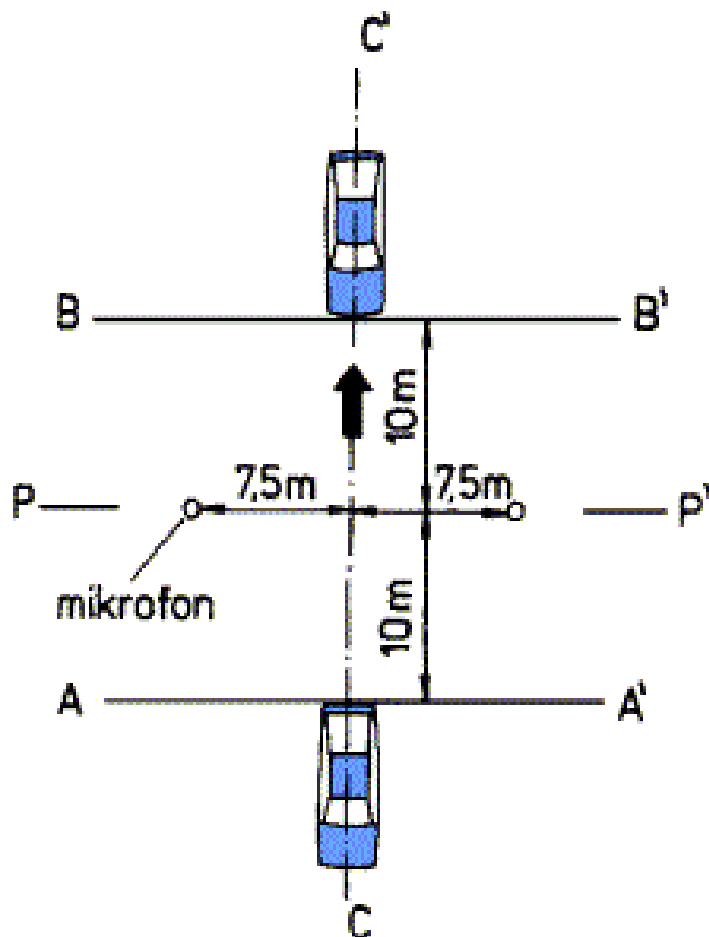
4.5.1 Podmínky měření

U zkoušení hluku musí být zaručeno, že výsledky měření nebudou znehodnoceny vnějšími vlivy. Jedním z faktorů, které ovlivňují měření hluku je místo měření. Tato plocha musí splňovat tyto parametry: rovná dráha, suchý povrch bez překážek. Ve vzdálenosti 50 m od vozovky nesmí být žádné velké objekty, které by mohly odrážet zvuk. Jedná se hlavně o ploty, stromy, vrchy či budovy. Při měření musí být zaručeno, že mezi zkoušeným vozidlem a mikrofonem nebude stát žádný objekt ani osoby provádějící měření. Další podmínkou, která musí být při měření splněna jsou příznivé povětrnostní podmínky. Při každém zopakování měření musí být provedeno také měření rychlosti větru. Zkoušky hluku vozidel se provádí v teplotách 0 – 40°C. V záznamu o měření musí být také uvedena rychlost a směr větru, vlhkost, teplota a barometrický tlak. Maximální reziduální pórovitost struktury zkušební dráhy je 8%. Při překročení této hodnoty je nutné sledovat koeficient absorpce zvuku. Povrch zkušební dráhy vyhovuje, pokud byl vytvořen podle předpisu EHK č. 51 nebo ISO 10844.1994. [1]

4.5.2 Měření vnějšího hluku jedoucích vozidel

Tato metoda je zobrazena na obrázku č. 11. Měření probíhá za jízdy na úseku, který je dlouhý 20 m. Vozidlo se pohybuje po referenční čáře CC', která je na úseku vyznačena. V polovině úseku ve vzdálenosti $0,75 \pm 0,2$ m od čáry CC' a $1,2 \pm 0,1$ m nad povrchem měřicí plochy je umístěn mikrofon zvukoměru. Akcelerační úsek je vyznačen čárami AA' a BB', které jsou vzdálené od rovnoběžné čáry PP' 10 m. Vozidlo jede tak, aby najíždělo na čáru AA' ustálenou rychlostí. Ve chvíli, kdy vozidlo přejezdí předním okrajem čáru AA', začne plně akcelarovat dokud svým zadním okrajem nepřejezdí čáru BB'. U vozidel se čtyřmi a méně převody je při jízdě zařazen druhý rychlostní stupeň. U vozidel s více než čtyřstupňovou převodovkou se zařadí třetí rychlostní stupeň. Nejnižší nájezdová rychlost na čáru AA' se volí takto: rychlost, která odpovídá $\frac{3}{4}$ maximálních otáček motoru omezených regulátorem nebo rychlost 50 km/h. Hluk se měří po dobu, kdy je vozidlo v akceleračním úseku. Zaznamenává se maximální

hladina hluku [dB]. V obou směrech jízdy se provádí minimálně dvě měření. Výsledky těchto měření se nesmí lišit o více než 2 dB. Použitá vozidla pro měření jsou nenaložená a bez přívěsů nebo návěsů (výjimkou jsou nerozpojitelné soupravy jako je například kloubový autobus). [1], [36]

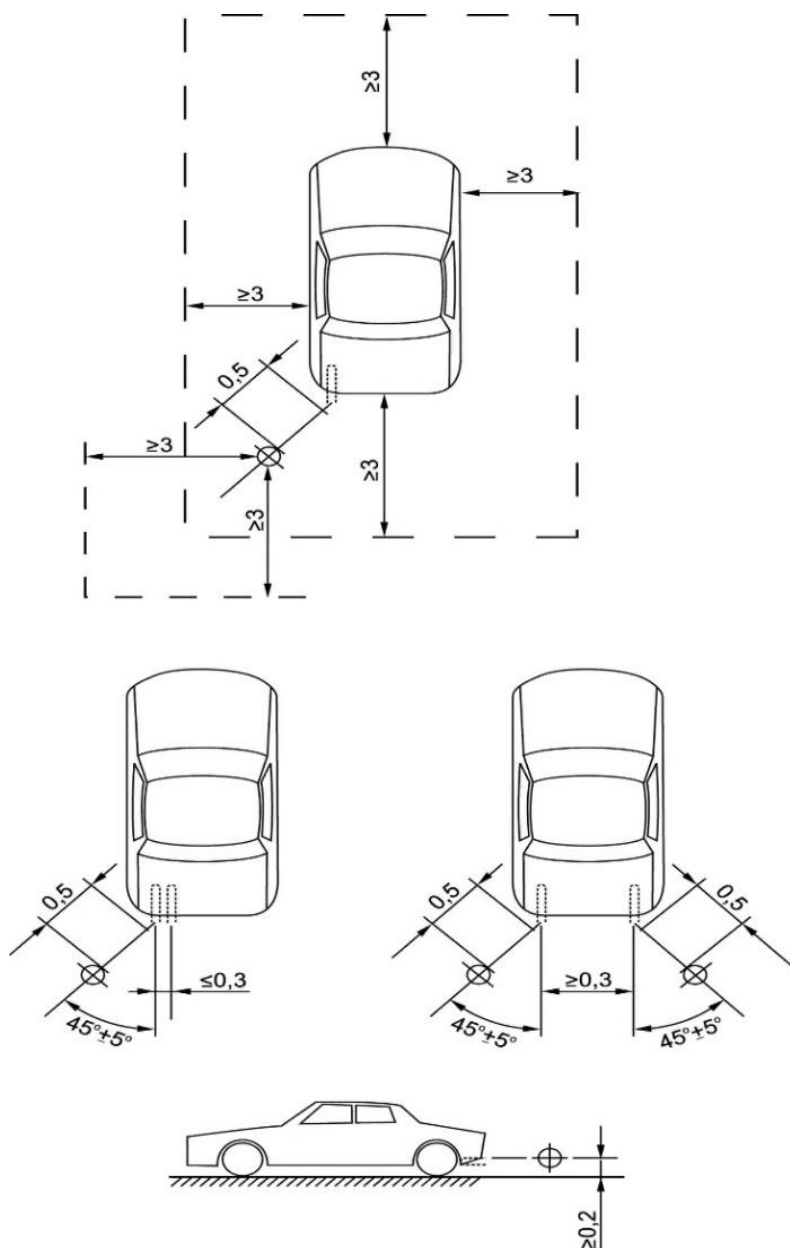


Obrázek 11: Měření vnějšího hluku jedoucích vozidel [36]

4.5.3 Měření vnějšího hluku stojících vozidel

Metoda měření vnějšího hluku stojících vozidel je na obrázku č. 12. U tohoto měření je mikrofon zvukoměru umístěn ve vzdálenosti 0,5 m od výfuku vozidla a ve výšce minimálně 0,2 m nad povrchem vozovky. Mikrofon je umístěn tak, aby jeho osa maximální citlivosti byla rovnoběžná s vozovkou a svírala úhel $45^\circ \pm 10^\circ$ se svislou rovinou, která leží ve směru toku výfukových plynů. Pokud má vozidlo více výfuků a jejich vzdálenost je větší než 3 m, měří se každý zvlášť. Vozidlo stojící v měřícím místě má spuštěný motor, která je zahřátý na provozní teplotu. Řadící páka je v neutrální poloze. Motor se vytočí na předepsané otáčky. Je-li motor bez regulátoru, má mít $\frac{3}{4}$ otáček, při kterých motor dosahuje maximálního výkonu (otáčky musí být měřeny). Je-li motor s regulátorem, zkouška je provedena při otáčkách určených

regulátorem. Po dosažení otáček se měří hladina hluku. Následně se akcelerátor uvolní a hladina hluku se měří do klesnutí otáček na volnoběh. Měření se považuje za platné, pokud se výsledky třech po sobě jdoucích měření neliší o více než 2 dB.

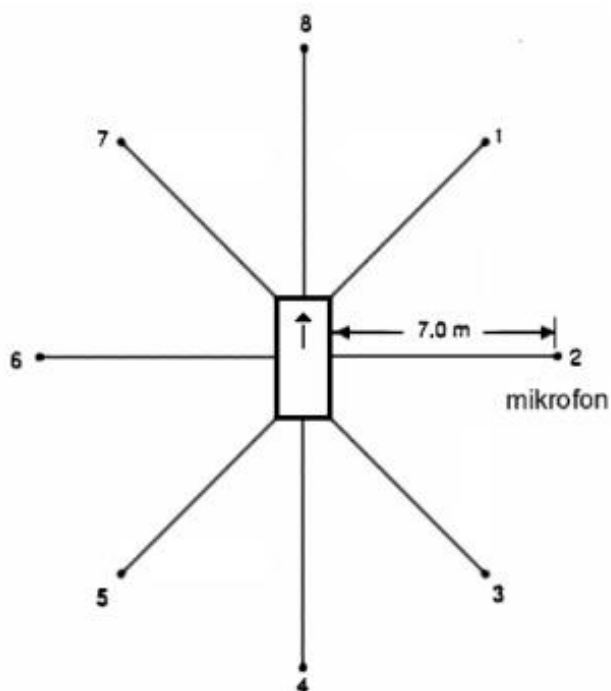


Obrázek 12: Polohy mikrofonu při měření vnějšího hluku stojících vozidel [24]

4.5.4 Měření vnějšího hluku stlačeného vzduchu

Toto měření se provádí především u vozidel s brzdovým systémem na bázi stlačeného vzduchu. Metoda je zobrazena na obrázku 13. Ve vzdálenosti 7 m okolo vozidla a ve výšce 1,2 m nad povrchem vozovky je umístěn mikrofon zvukoměru. Měření se provádí při volnoběžných otáčkách. Brzdová soustava se natlakuje do nejvyšší provozní hodnoty. Zaznamenána je nejvyšší hodnota hladiny hluku při otevření tlakového regulátoru. Ten se

otevře při použití provozní nebo parkovací brzdy. Měření se provádí minimálně dvakrát ve všech polohách mikrofonu.



Obrázek 13: Polohy mikrofonu při měření vnějšího hluku stlačeného vzduchu [1]

5. Pravděpodobnost výsledků experimentů hodnocených různými metodami

Teorie pravděpodobnosti i matematická statistika patří mezi mladé vědecké obory rozvíjející se od 20. století. V přírodních i technických vědách se lze často dostat do stavu, kdy výsledek experimentu není jednoznačný. I přesto, že při opakování experimentu budou počáteční podmínky stejné, může dojít k rozdílným výsledkům. *Maximální informaci, kterou můžeme o jednotlivých výsledcích získat, je míra očekávání, že ten či onen výsledek v konkrétním opakování nastane.* [17]

Pravděpodobnost se zabývá matematickými zákonitostmi, které se projevují v náhodných pokusech. Udává kvantitativní míru možnosti, že náhodný jev nastane. Řešení většiny experimentů je ovlivněno vysokým počtem významných nejistot, které lze dělit takto [4]:

- *přirozené náhodnosti základních, dílčích a výsledných veličin*
- *statistické nejistoty v důsledku omezeného rozsahu dostupných dat*
- *nejistoty analytických modelů v důsledku zjednodušení skutečných podmínek*
- *neurčitosti vyvolané nepřesnými definicemi veličin a požadavků*
- *nedostatek poznatků o chování systémů ve skutečných podmínkách*
- *hrubé lidské chyby při realizaci a užívání systémů*

Přirozené náhodnosti a statické nejistoty není možné úplně odstranit. Je zde ale možnost je relativně dobře popsat prostředky pravděpodobnosti a matematické statistiky. Nejistoty analytických modelů lze odhalit na základě teoretického a experimentálního výzkumu. Neurčitosti, které jsou vyvolány nepřesnými definicemi lze stejně jako přirozené náhodnosti a statistické nejistoty popsat prostředky teorie pravděpodobnosti. Je zde ale nedostatek vhodných experimentálních podkladů. Neznalost nových systémů ve skutečných podmínkách lze na základě porovnání výsledků teoretických rozborů a experimentálních výzkumů odstranit. Pro popis a rozbor hrubých chyb je nejméně prostředků. Účinně lze hrubé chyby omezit různými systémy řízení jakosti zahrnujících statistické metody přejímky.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro lepší pochopení a práci s nejistotami mohou nástroje pravděpodobnosti a statistických metod účinně ovlivnit analýzu uvedených nejistot. V současnosti lze veškerou namáhavou práci nechat na počítačích, na uživateli pak už jen zbývá pochopení základních pojmů a postupů. [4], [6]

Pravděpodobnost používá bezrozměrné veličiny, které mohou nabývat hodnot od 0 až do 1, přičemž nula znamená, že je jev nemožný a jedna, že je jev jistý. Náhodná veličina může nabývat různých reálných hodnot. Lze je rozdělit na spojité a diskrétní. Příklad diskrétní náhodné veličiny může být například počet zraněných/mrtvých při dopravní nehodě. Příkladem pro spojitou náhodnou veličinu může být například pevnost materiálu. Nabývá jakýchkoliv hodnot v určitém intervalu.

Existují čtyři definice pravděpodobnosti. Klasická definice vychází ze tří požadavků kladených na náhodný pokus: 1. počet všech možných výsledků je konečný, 2. po vykonání náhodného pokusu jsou všechny výsledky stejně možné, 3. výsledky se vzájemně vylučují. Vychází se z četnosti výskytu dané události při několikanásobném opakování pokusu:

$$P \approx n/N \quad (11)$$

kde N ...celkový počet pokusů ($N \rightarrow \infty$)

n ...počet výskytů daného jevu

Geometrická definice pravděpodobnosti je založena na porovnávání délek, ploch či objemů nějakých geometrických útvarů. Pravděpodobnost nějakého jevu A je pak určen vztahem:

$$P(A) = \omega/S \quad (12)$$

kde ω ...celkový obsah plochy představující výsledky, při kterých dojde k výskytu jevu A

S ...obsah plochy, která představuje všechny možné výsledky náhodného pokusu

U statistické definice pravděpodobnosti se opakuje náhodný pokus N -krát, přitom se předpokládá, že se přítomnost náhodného jevu A pozoruje v K případech. Číslo K je četnost jevu A . Pro relativní četnost jevu A pak platí poměr K/N . Pokud se se zvyšováním počtu opakování pokusu relativní četnost blíží číslu, pak lze toto číslo pokládat za pravděpodobnost daného jevu. [26]

Axiomatická definice pravděpodobnosti říká, že pravděpodobnost je nezáporná, normovaná aditivní funkce definovaná na množině jevů. Je to vlastně zobrazení funkce z jevového pole A do množiny reálných čísel R : $P: A \rightarrow R$. [7]

V počátečním stádiu zkoumání je žádoucí stanovit si nutný rozsah experimentů. Provádění experimentů je náročné nejen finančně (koupě/výroba materiálů, vzorků a dalších zařízení, která jsou k měření potřeba), časově, ale i z hlediska pracovní kapacity. Proto by měl rozsah experimentů odpovídat účelu zkoumání, důležitosti očekávaných výsledků a požadované

přesnosti. Informace o požadované přesnosti zkoumaného parametru je možné získat z intervalu spolehlivosti. Rozsah tohoto intervalu je závislý na počtu naměřených hodnot.

Zkoušení se z hlediska statistiky rozděluje podle toho, jakým způsobem je měřená veličina získána. Zda se jedná o jednorázové měření diskrétní hodnoty, násobné měření diskrétní hodnoty či měřící proces spojitě hodnoty.

5.1 Jednorázové měření diskrétní hodnoty

Při jednorázovém měření je zjištěna pouze jedna hodnota, která je uvedena jako výsledek. Příkladem mohou být zkoušky destrukční (crash test, zkoušky mechanických vlastností materiálů), při kterých dochází k poškození zkoušeného předmětu a tím i nemožnosti opakování zkoušky. Kam až dosahuje věrnost výsledku při jednorázovém zkoušení je ovlivněno faktory, které při zkoušce působí. Každý z faktorů může výsledek ovlivňovat jinou vahou. Platí, že čím více faktorů ovlivňujících měření, tím větší rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou. [1], [30]

5.2 Násobné měření diskrétní hodnoty

Příkladem pro násobné měření diskrétní hodnoty mohou být zkoušky hluku, při kterých je nutné měření několikrát opakovat. Každé zjišťování sledované veličiny je zatíženo různými chybami, které ovlivňují výsledek měření. Opakováním měření lze míru ovlivnitelnosti chyb snížit či eliminovat. Tyto chyby lze rozdělit na náhodné, systematické a hrubé.

Náhodné chyby nelze kontrolovat ani definovat. Hodnoty těchto náhodných veličin se řídí zákony pravděpodobnosti. Zatěžují výsledek měření náhodně. Proto je dobré stanovit si nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny a tím vymežit vliv těchto náhodných chyb. Jedná se například o čtení z měřidla.

Systematické chyby mohou být způsobeny například nevhodným použitím měřícího zařízení nebo měřící metody. U těchto chyb lze určit, z jaké příčiny vznikly, a proto je možné je odhadnout a následně je eliminovat.

Hrubé chyby jsou viditelné a také je lze snadno odstranit. Mohou vznikat například nedokonalým seřízením přístroje. Při opakovaném měření se naměřená hodnota zatížená hrubou chybou výrazně liší od hodnot ostatních. Pro zamezení zkreslení výsledků se s touto hodnotou nepracuje. [1]

5.3 Měřící proces

Veličiny, které jsou funkcí jiné veličiny, jako je například čas, mají spojitý průběh. Jejich tok je souvislý. Tento děj lze nazvat stochastickým procesem. Grafickým obrazem zpravidla bývá složený periodický signál. K jeho zpracování se používají matematické nástroje, jako je například Fourierova transformace. Příklad takovýchto zkoušek může být měření vibrací či dlouhodobé zkoušky například zkouška korozní odolnosti. [1]

6. Návrh metody provedení a vyhodnocení s exaktními a subjektivními prvky

Pro tuto část práce jsem zvolila jízdní zkoušku ovladatelnosti, a to především proto, že na ní lze jasně ukázat subjektivní i objektivní metodu hodnocení, které jsou popsány dále.

Ovladatelnost neboli směrová dynamika či řiditelnost a stabilita vozidla se vztahuje k celkovému systému „řidič-vozdlo-okolí“. Tyto tři prvky na sebe vzájemně působí a ovlivňují se. Při výzkumu a vývoji motorových vozidel je jedním z cílů přizpůsobit vozidlo schopnostem řidiče, což může mít velký vliv na celkový počet dopravních nehod. Nejedná se však o snadný úkol, protože každý člověk má jiné charakteristiky, které nelze přesně simulovat nebo matematicky popsat. Navíc každé nepředvídatelné chování může být ovlivněno dalšími faktory jako je únava, drogy, stres a další. Mezi vnější činitele ovlivňující stabilitu vozidla patří povrch vozovky, který má výrazný vliv na adhezi, povětrnostní podmínky, zejména vliv bočního větru a jiné klimatické podmínky. Stabilita je také výrazně ovlivňována těžištěm vozidla. Poloha těžiště je určena konstrukcí a v nezátíženém stavu je neměnná. Až v okamžiku zatěžování dochází ke změně polohy těžiště a tím i změně jízdních vlastností. Každé vozidlo má svou maximální nosnost, při níž je ještě zaručena stabilita. Dojde-li k přetížení, těžiště se vychýlí z přípustných mezí a prudce se zhorší řiditelnost. Polohu těžiště neovlivňuje jen zatěžování, ale také neupevnění či nerovnoměrné rozložení nákladu. Při jízdě je nutné ovládnutí a udržení vozidla v kontrolovaném stavu a to snadno, včas a při všech rychlostech.

Metody zkoušek stability lze rozdělit následovně [1]:

podle stupně objektivity:

- Objektivní
- Subjektivní

podle druhu vozidla:

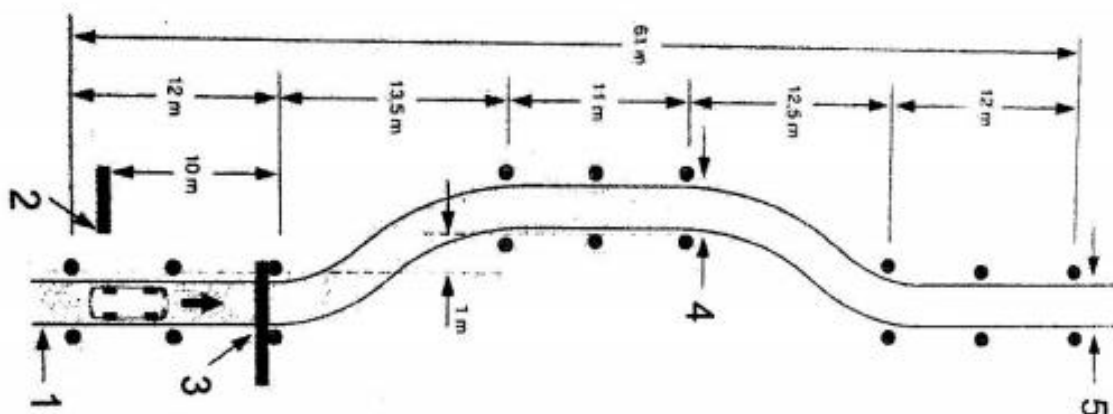
- Dvoukolová
- Tříkolová
- Čtyřkolová
- Samostatná vozidla
- Soupravy s přívěsem nebo návěsem

podle situací, které mohou nastat v provozu:

- Brzdění v přímém směru
- Brzdění při zatáčení

- Ustálené zatáčení
- Zatáčení přes ojedinělou překážku
- Změna hnací síly při zatáčení
- Dynamická říditelnost (skokové, impulsové, harmonické natáčení řízení)
- Citlivost na boční vítr

V následujících odstavcích bude podrobně popsána objektivní a subjektivní metoda hodnocení při impulsivním natočením volantu při jízdě zkoušce. Zkouška je známá také jako „vyhýbací manévr“ či „losí test“. Tato metoda zkoušení pochází ze Švédska, kde se provádí již od 70. let. Proslavilo ji vozidlo německé značky Mercedes-Benz třídy A, které test nezvládlo a převrátilo se na střechu. Poškodila se tím tehdejší pověst automobilky Mercedes-Benz a nově uvedené třídy A. Losí test má simulovat reálnou situaci, kdy je řidič nucen využít rychlého vyhýbacího manévru, což může být například vyhnutí se náhlému vbehnutí dítěte do vozovky a následně se vrátit zpět do svého jízdního pruhu. Zkouška se provádí na ploše se suchým povrchem a adhezními vlastnostmi, které odpovídají vozovce. Dopravní kužely se nastaví do tvaru S podle normy daných rozměrů, tak jak je uvedeno na obrázku č. 14. V bodě 1 se zařadí nejvyšší rychlostní stupeň při otáčkách motoru 2000 min^{-1} . Krátce před vjezdem do dráhy, což značí bod 2, je uvolněn akcelerační pedál. V bodě 3 se měří rychlost vozidla a dochází k natočení volantu doleva. Ve 4. bodě se volant natočí doprava a v 5. bodě test končí. Vozidlo při provádění testu nesmí opustit vytyčenou trať.



Obrázek 14: Zkušební dráha pro Losí test [1]

6.1 Objektivní hodnocení

(Zkoušky jsou hodnoceny kvantitativně a s vyloučením lidského činitele.)

V současnosti téměř všechna odvětví průmyslu využívají automatizovaných systémů. Konkrétně v automobilovém průmyslu je snaha o rozvoj automatizace nejen ve výrobě a při vývoji, ale i ve fázích testování vozidel. Například u jízdních zkoušek je s využitím automatizace možnost vyloučit chyby lidského činitele. Pokud je vozidlo řízeno člověkem, je nutné tuto skutečnost následně zohlednit při vyhodnocování experimentu. Totiž ani nejzkušenější řidič není schopen odjet dvakrát po sobě jeden test stejně. Tuto nevýhodu lze vyloučit využitím robotických systémů schopných ovládnout vozidlo, u kterých je možnost opakovatelnosti a tím dosažení větší přesnosti výsledků. Příkladem takového robota může být Robot driver od firmy Froude Hofmann, který je určen pro ovládání zapalování, řazení a pedálů viz obrázek č. 15



Obrázek 15: Robot Driver [28]

6.1.1 Měřicí zařízení

Pro objektivní hodnocení Losího testu je nutné měřit tyto veličiny: úhel natočení volantu, rychlost jízdy, boční zrychlení, úhel stáčení, úhlová rychlost stáčení, úhel klopení a úhlová rychlost klopení. Pro měření těchto veličin je nutné využívat techniku, která je nejen přesná a spolehlivá, ale která také dokáže odolávat okolním vlivům (např. vibrace).

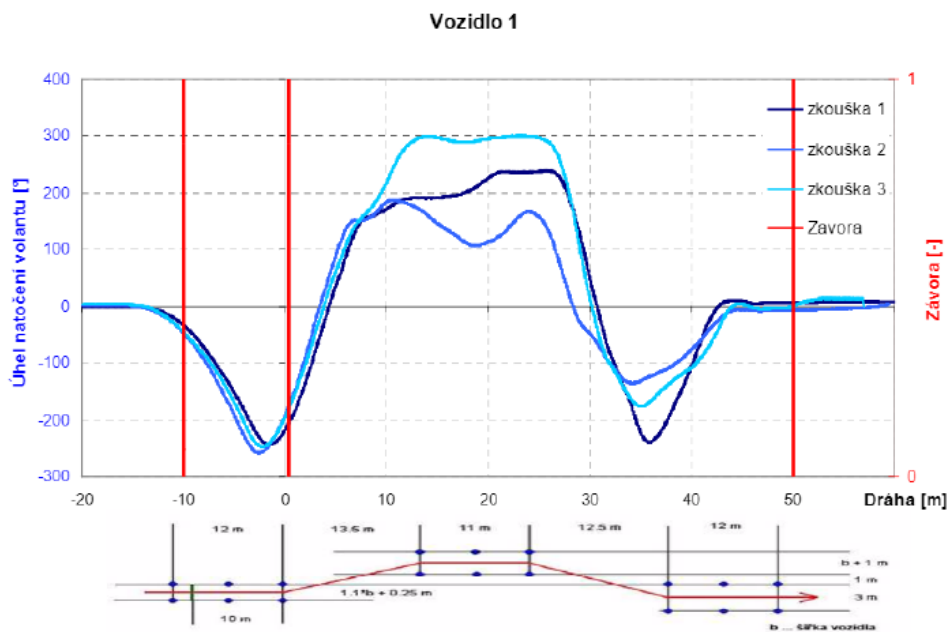
Pro měření některých pohybových veličin jsou využívány gyroskopické přístroje. Příkladem může být stabilizovaná plošina řady RT3000 Family od firmy OxTS viz obrázek č. 16. Obsahuje tři snímače úhlové rychlosti, tři akcelerometry a přijímač GPS. Jedná se o kompaktní zařízení obsahující systém servopohonů a snímačů natočení, které stabilizují celý systém s akcelerometry a udávají informace o jednotlivých úhlech. Pomocí měření z GPS je systém

RT3000 schopen udržovat velmi přesná měření a opravit chyby inerciálních čidel. Toto zařízení se umísťuje do těžiště vozidla nebo v jeho blízkosti. [1], [10]

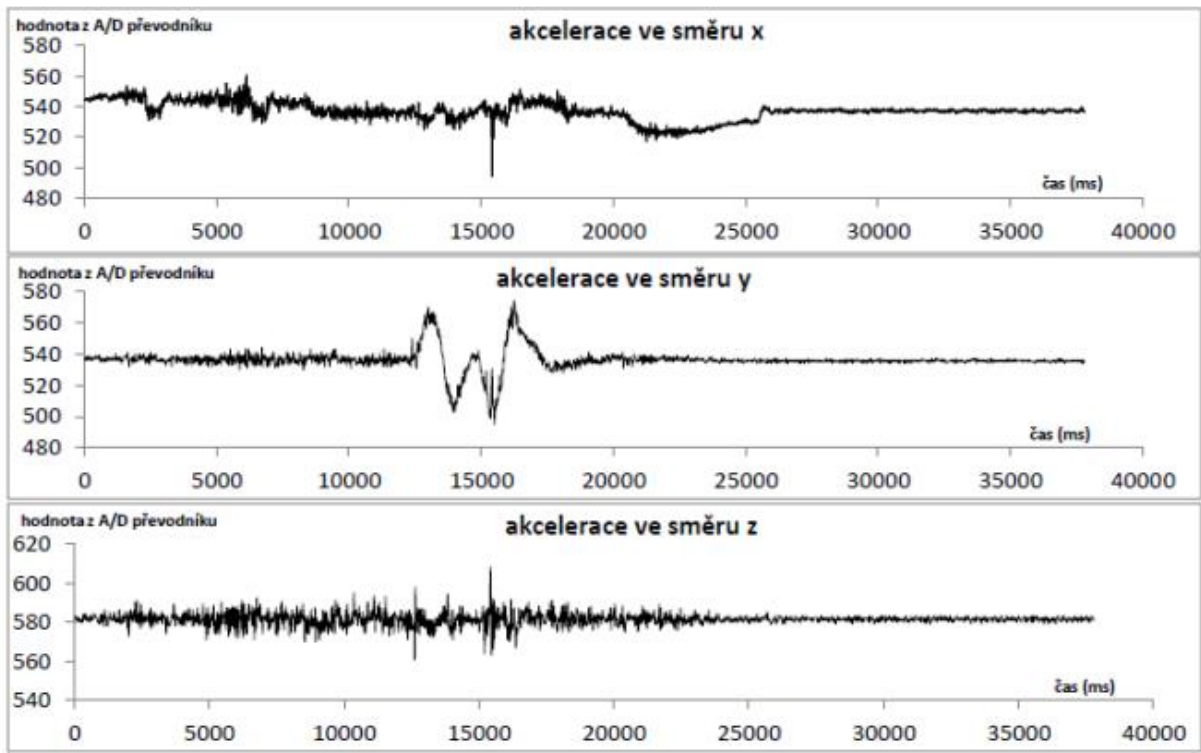


Obrázek 16: Umístění stabilizované plošiny RT3000 ve vozidle – „červená krabička“ [37]

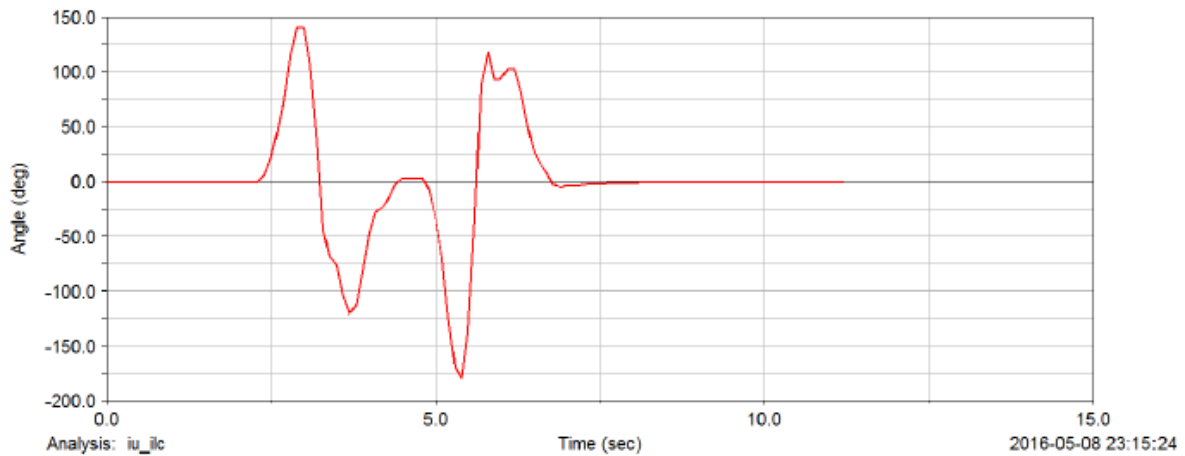
Výstupem měření jsou spojitě signály měřených veličin. Pro příklad naměřených dat slouží obrázek č. 17, č. 18 a č. 19. Na Obrázku č. 17 lze vidět průběh natočení volantu v závislosti na dráze. Na obrázku č. 18 lze vidět průběh zrychlení v závislosti na čase ve třech směrech a na obrázku č. 19 je znázorněn průběh úhlu natočení volantu. Výsledek statistického zpracování těchto dat je uveden v tabulkách č. 3 a č. 4.



Obrázek 17: Natočení volantu v závislosti na dráze [23]



Obrázek 18: Naměřená data [20]



Obrázek 19: Průběh úhlu natočení volantu [20]

Tabulka 3: Akcelerace a úhel natočení volantu pro jednotlivé oblouky [20]

| veličina | akcelerace v bočním směru (g) | | | | úhel natočení volantu (°) | | | |
|-----------|-------------------------------|---------|---------|--------|---------------------------|---------|---------|--------|
| | levá 1 | pravá 1 | pravá 2 | levá 2 | levá 1 | pravá 1 | pravá 2 | levá 2 |
| průměr | 0,7543 | 0,7180 | 0,8646 | 0,8607 | 111,7 | 75,1 | 99,3 | 117,3 |
| sm. odch. | 0,1000 | 0,1219 | 0,1147 | 0,2084 | 14,4 | 26,8 | 32,4 | 31,7 |

Tabulka 4: Akcelerace a úhel natočení volantu pro celou dráhu [20]

| veličina | akcelerace v bočním směru (g) | úhel natočení volantu (°) |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|
| průměr | 0,7994 | 100,8 |
| sm. odch. | 0,1547 | 31,2 |

6.2 Subjektivní hodnocení

Jedná se o jeden z nejstarších způsobů hodnocení stability, které je závislé na představách účastníků experimentu. Při těchto zkouškách je potřeba zkušených řidičů. Ti kvalitativně hodnotí například přetáčivost/nedotáčivost, reakce na ovládací úkon, intenzita reakce, posouzení kvality ovládání atd. K výsledkům subjektivního hodnocení lze dospět dotazováním například pomocí dotazníku. Ten může obsahovat otázky uzavřené (ano/ne; dobré/špatné atd.), otevřené (odpověď závisí pouze na hodnotiteli) nebo škálové (stupnice 1-10; výborný – dobrý – dostatečný – špatný atd.).

6.3 Korelace mezi subjektivním a objektivním hodnocením

Protože je snahou konstruktérů přizpůsobit vozidlo schopnostem řidiče, je nutné při zkouškách ovladatelnosti využívat subjektivního hodnocení. Na druhou stranu není možné touto metodou dospět k přesným vlastnostem popisujících ovladatelnost vozidla. Je tedy žádoucí hledat mezi těmito metodami vzájemný vztah. Jednou z možností statistického porovnání může být využití Studentova t-testu. V této práci je konkrétně použit Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu se stanovenou hladinou významnosti 5%. Pro nalezení přesné hodnoty statistické významnosti jsem použila statistického modulu programu Excel. [31], [42]

Jak jsem již zmínila v úvodu této kapitoly, cílem této práce není provedení experimentu a následné zpracování dat z experimentu, ale pouze určení metod hodnocení a jejich porovnání. Proto jsou následující data vymyšlená a slouží pouze pro názornou ukázkou. Tabulka č. 5 představuje již zpracované výsledky jízdní zkoušky získané měřicí technikou. První sloupec obsahuje čísla testovaných vozidel. Ve druhém sloupci je vyhodnoceno chování vozidla (neutrální chování – kódováno 0, přetáčivost – kódováno 1, nedotáčivost – kódováno 2). Ve třetím sloupci je hodnocena reakce na ovládací úkon (rychlá/vyhovující – kódováno 1, pomalá/nevhovující – kódováno 2) a čtvrtý sloupec obsahuje posouzení kvality ovládání vozidla (dobré – kódováno 1, špatné – kódováno 2), přičemž při využití řídicích robotů je kvalita ovládání vyhodnocena vždy jako dobrá. Roboti jsou přizpůsobeni prostoru pro řidiče a nelze tak vyvolat potřebu po lepší ovladatelnosti. Proto tyto hodnoty nebyly z hlediska hypotéz

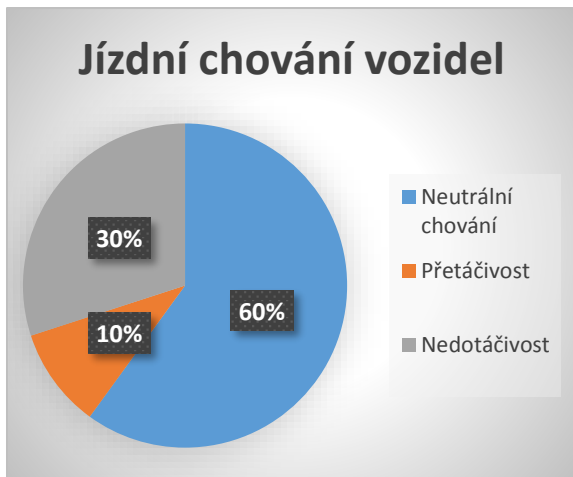
hodnoceny. Tabulka č. 6 se liší pouze tím, že výsledky byly získány dotazováním se řidičů, kteří zkoušku prováděli. Výsledky jsou také graficky zpracovány na obrázcích č. 20 až č. 24.

Tabulka č. 5: Výsledky objektivního hodnocení

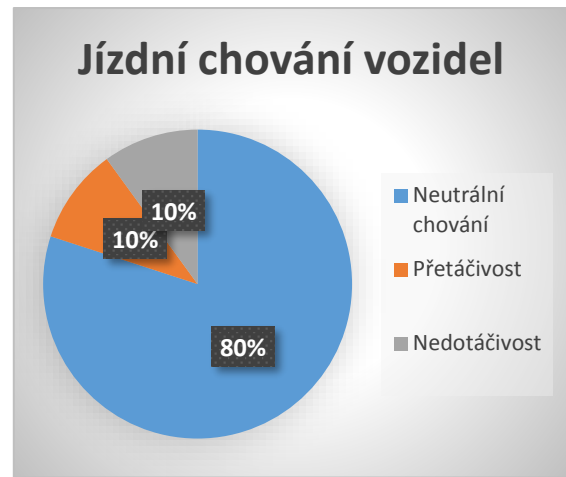
| Číslo vozidla | Chování vozidla | Reakce na ovládací úkon | Kvalita ovládní vozidla |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 2 | 1 |
| 6 | 2 | 2 | 1 |
| 7 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 0 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 1 | 1 |

Tabulka č. 6: Výsledky subjektivního hodnocení

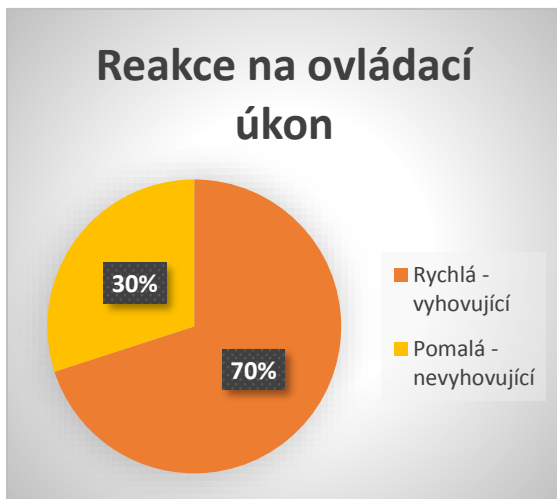
| Číslo vozidla | Chování vozidla | Reakce na ovládací úkon | Kvalita ovládní vozidla |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 2 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 2 |
| 5 | 0 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 2 | 1 |
| 7 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 0 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 1 | 1 |



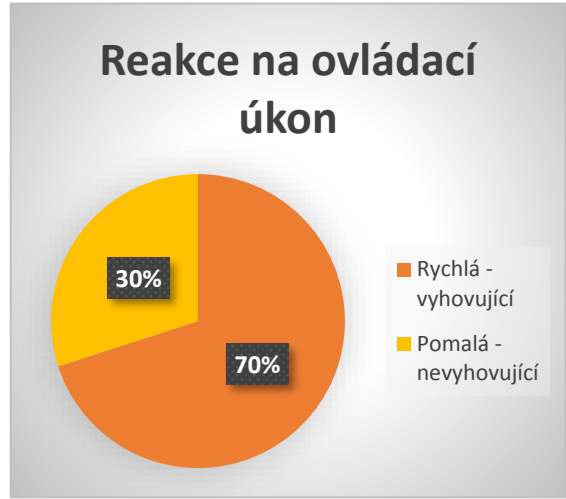
Obrázek 20: Jízdní chování vozidel vyhodnocené objektivní metodou



Obrázek 21: Jízdní chování vozidel vyhodnocené subjektivní metodou



Obrázek 22: Reakce vozidla na ovládací úkon vyhodnocená objektivní metodou



Obrázek 23: Reakce vozidla na ovládací úkon vyhodnocená subjektivní metodou



Obrázek 24: Hodnocení ovládání vozidla vyhodnocené subjektivní metodou

6.3.1 Statistická analýza hypotéz a vyhodnocení

Před začátkem hodnocení jsem stanovila následující hypotézy, které se v závěru pokusím potvrdit či vyvrátit.

- **Nulové hypotézy**

Nulová hypotéza předpokládá nulový rozdíl mezi průměry subjektivního a objektivního hodnocení.

H01 - Rozdíl středních hodnot objektivního a subjektivního hodnocení je stejný

H02 – Rozdíl středních hodnot posuzování chování vozidla objektivním a subjektivním hodnocením je stejný

H03 – Rozdíl středních hodnot posuzování reakce na ovládací úkon objektivním a subjektivním hodnocením je stejný

- **Vlastní hypotézy**

H1 – Předpokládám, že hodnoty získané subjektivním a objektivním hodnocením se budou lišit minimálně v 15% případů

H2 – Předpokládám, že hodnoty chování vozidla získané objektivním hodnocením se budou od subjektivního hodnocení lišit minimálně ve 20% případů

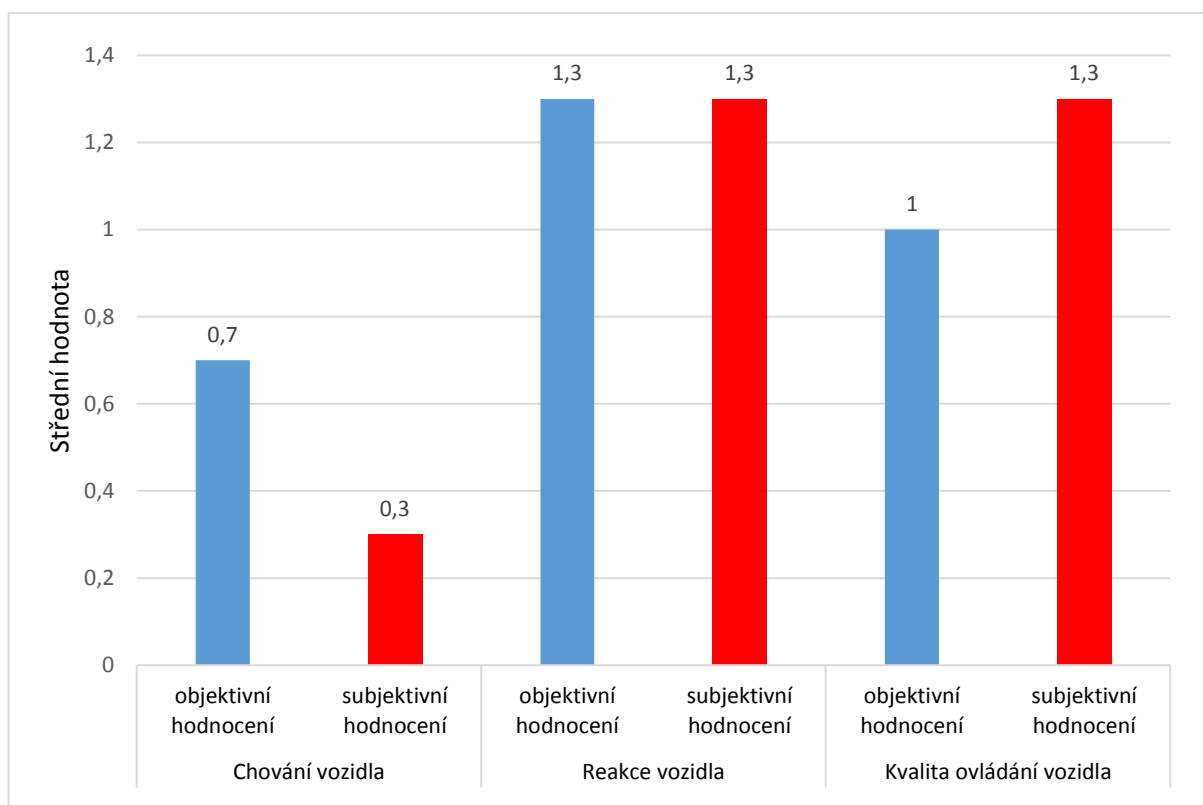
H3 - Předpokládám, že hodnoty reakce na ovládací úkon získané objektivním hodnocením se budou od subjektivního hodnocení lišit minimálně v 10% případů

Výchozí data určená ke zpracování statistické analýzy obsahuje tabulka č. 7.

| | Objektivní měření | | | Subjektivní měření | | |
|----------------------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| | Chování vozidla | Reakce vozidla | Kvalita ovladatelnosti | Chování vozidla | Reakce vozidla | Kvalita ovladatelnosti |
| Střední hodnota | 0,700 | 1,300 | 1 | 0,300 | 1,300 | 1,300 |
| Rozptyl | 0,900 | 0,233 | 0 | 0,456 | 0,233 | 0,233 |
| Směrodatná odchylka | 0,900 | 0,458 | 0 | 0,640 | 0,458 | 0,458 |

Tabulka 7: Výchozí hodnoty pro stanovení statistické analýzy

Střední hodnoty pro Dvouvýběrový párový test na střední hodnotu jsou znázorněny na obrázku č. 25. Hladina významnosti byla stanovena na 5%. U nulové hypotézy H01 se porovnávaly střední hodnoty všech charakteristik vozidel. U nulových hypotéz H02 a H03 se porovnávala každá charakteristika zvlášť.



Obrázek 25: Střední hodnoty charakteristik vozidel hodnocené subjektivní a objektivní metodou

U hypotézy H01 se hladina statistické významnosti rovná 0,786. Je zřejmé, že převyšuje hodnotu stanovené hladiny 0,05 a tedy není možné tuto hypotézu zamítnout. Statisticky vychází, že je objektivní a subjektivní hodnocení charakteristik vozidel stejné.

Pro hypotézu H02 byly statisticky porovnány střední hodnoty subjektivního a objektivního hodnocení chování vozidla. Hladina významnosti je rovna 0,168 a stejně jako u hypotézy H01 převyšuje 5% hranici a nelze tak hypotézu zamítnout.

Také u hypotézy H03 nastal opět stejný případ, jako u předchozích hypotéz. Hladina významnosti je rovna hodnotě 1 a proto ani hypotézu H03 není možné zamítnout.

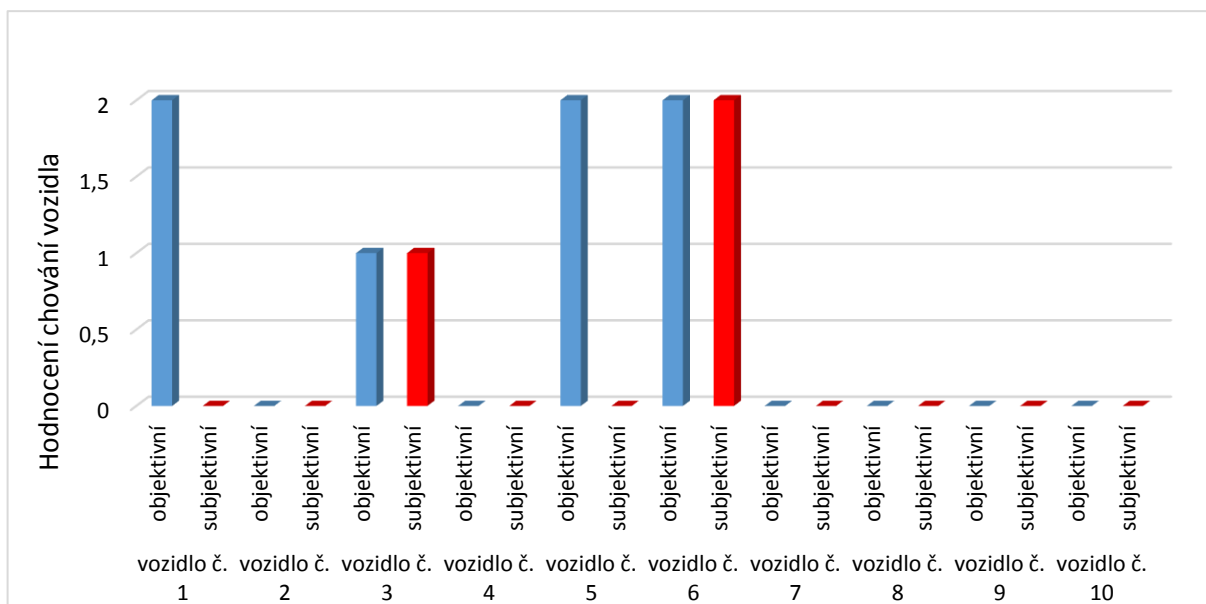
Přehled výsledků nulových hypotéz je uveden v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Výsledky nulových hypotéz

| Hypotéza | Hladina významnosti (%) | Nelze zamítnout/ lze zamítnout |
|----------|-------------------------|--------------------------------|
| H01 | $p = 79$ | Nelze zamítnout |
| H02 | $p = 17$ | Nelze zamítnout |
| H03 | $p = 100$ | Nelze zamítnout |

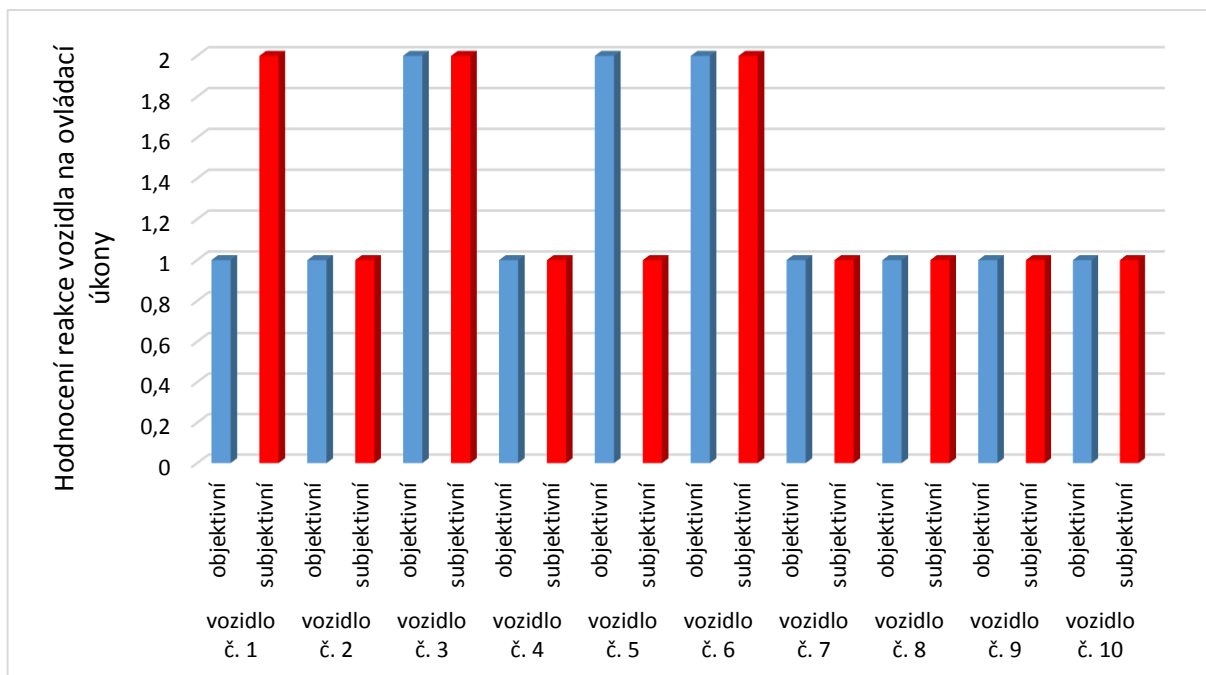
V případě hypotézy H1 předpokládám, že hodnoty získané subjektivním a objektivním hodnocením se budou lišit minimálně v 15% případech. Při porovnávání se hodnoty lišily ve čtyřech případech z dvaceti. Naměřené hodnoty se tedy liší ve 20% a hypotézu H1 nelze zamítnout.

U hypotézy H2 předpokládám, že hodnoty chování vozidla získané objektivním hodnocením se budou od subjektivního hodnocení lišit minimálně ve 20% případů. Z deseti hodnocených vozidel se hodnoty ve dvou případech liší. Konkrétně u vozidla č. 1 a vozidla č. 5, což je graficky znázorněno na obrázku č. 26. Hypotéza H2 tedy byla potvrzena.



Obrázek 26: Hodnoty hodnocení chování vozidla

U třetí hypotézy H3 předpokládám, že hodnoty reakce na ovládací úkon získané objektivním hodnocením se budou od subjektivního hodnocení lišit minimálně v 10% případů. Z obrázku č. 27 je patrné, že výsledky hodnocení se lišily ve dvou případech z deseti, a to konkrétně u vozidla č. 1 a vozidla č. 5. Hypotéza tedy byla potvrzena.



Obrázek 27: Hodnoty hodnocení reakce vozidla na ovládací úkony

V tabulce č. 9. jsou uvedeny výsledky vlastních hypotéz.

Tabulka 9: Výsledky vlastních hypotéz

| Hypotéza | Kritérium (%) | Výsledek (%) | Nelze zamítnout/ lze zamítnout |
|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| H1 | 15 | 20 | Nelze zamítnout |
| H2 | 20 | 20 | Nelze zamítnout |
| H3 | 10 | 20 | Nelze zamítnout |

7. Závěr

Z výsledků a hodnocení nulových hypotéz je patrné, že mezi subjektivním a objektivním hodnocením jízdního experimentu není statistický rozdíl.

Cílem této části však není jen statistická analýza. Při hodnocení korelace mezi subjektivní a objektivní metodou hodnocení je dle mého názoru nutné přistupovat více individuálně. Proto jsem stanovila vlastní hypotézy, které jsou nezávislé na hypotézách nulových. U hypotézy H1 se výsledky objektivního a subjektivního hodnocení lišily ve čtyřech případech z celkových dvaceti.

V hypotéze H2 se hodnotila přetáčivost, nedotáčivost a neutrální chování vozidla. Ve 20% případech se hodnoty subjektivního hodnocení lišily od hodnot objektivního hodnocení. Pomocí měřicí techniky se určila nedotáčivost vozidel, ale zkušební řidič hodnotil vozidla kódem 0, což značí neutrální chování. Důvodem může být, že hodnoty zjištěné objektivním hodnocením byly na hranici neutrálního chování a nedotáčivosti vozidla.

V hypotéze H3 se hodnotila reakce vozidla na ovládací úkon. Zde jsem předpokládala nejmenší rozdíl ve výsledcích, a to v 10% případech. Hypotéza byla potvrzena, protože se výsledky lišily dokonce ve 20% případech. V případě, kdy subjektivní metodou byla reakce vozidla hodnocena jako nevyhovující a objektivní metodou jako vyhovující, mohlo dojít o špatné nastavení přístroje.

Z těchto výsledků vyplývá, že je zde poměrně vysoká korelace mezi subjektivní a objektivní metodou hodnocení. V případě, že by bylo použito pouze objektivní hodnocení experimentu, tzn. bylo by využito moderní techniky a vyloučil by se lidský činitel, dostali bychom přesné hodnoty popisující chování vozidla a následně by bylo možné dle stanovených mezí určit, zda vozidlo vyhovuje či nevyhovuje. Při měřeních je sice snahou vyloučit lidské činitele a tím zvýšit přesnost výsledků, na druhou stranu nelze tak zjistit vnímání a potřeby řidičů, které jsou důležité pro zlepšení ergonomie vozidla a tím i bezpečnosti. Využitím subjektivní i objektivní metody hodnocení experimentů lze spojit pozitiva obou metod a tím docílit kvalitnějších výsledků pro následný vývoj či úpravy vozidel.

8. Seznam použitých zdrojů

8.1 Literatura

[1] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.

[2] FIRST, Jiří. *Energetická analýza pozemní dopravy*. Vydání 1. elektronické. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05664-6.

[3] HLAVŇA V., KUKUČA P., ISTENÍK R., LABUDA R., LIŠČÁK Š., *Dopravný prostriedok-jeho motor*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2000. 442s. ISBN 80-7100-665-3.

[4] HOLICKÝ, Milan. *Aplikace teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05803-9.

[5] MACHEK, Václav a Jaromír SODOMKA. *[Nauka o materiálu]*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03686-0.

[6] MENČÍK, Jaroslav. *Úvod do experimentální analýzy*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017. ISBN isbn978-80-7560-066-0.

[7] NAGY, Ivan. *Pravděpodobnost a matematická statistika: cvičení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02454-7.

[8] PANÁČEK, Vladimír. *Zkoušení vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4558-1.

[9] REMEK, Branko, Petr HATSCHBACH a Jiří VÁVRA. *Experimentální metody a měření v dopravní technice*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04921-1.

[10] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

[11] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s. ISBN 80-238-8756-4.

8.2 Internetové zdroje

[12] 3ders [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.3ders.org/articles/20120907-3d-printed-car-model-driver-as-a-key-to-vehicle-air-circulation.html>>

[13] Autickar [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<https://www.autickar.cz/clanek/neobvkyle-testy-moose/>>

[14] Autoevolution [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<https://www.autoevolution.com/news/auto-union-type-c-record-car-revived-with-audi-stromlinie-75-concept-55051.html#>>

[15] Autolexicon [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z:

<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/ergonomie/>>

[16] Autolexicon [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/losi-test/>>

[17] Artemis.osu [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<http://artemis.osu.cz/mmfyz/qm/qm_6_3.htm>

[18] BEROUN, Stanislav. Vozidlové motory [online]. Liberec: TUL, 2005 [cit. 2012-05-20].

Dostupné z:

<www.kvm.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf>

[19] BLAŽEK, Pavel. Metody likvidace autovraků způsobem šetrným k životnímu prostředí.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. Bachelor Thesis.

Dostupné z:

<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14333>

[20] BUDKA, Josef. Simulace zkoušky stability vozidla. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2016. Diploma Thesis. Dostupné z:

<<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/64924>>

[21] Carbodydesign [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.carbodydesign.com/2013/06/car-design-with-rhinoceros-2013-workshop-in-barcelona/>>

[22] ČUPERA J., Typy zkušebních zařízení. [online]. 2013 [cit. 13. ledna 2013]. Dostupné na:
<<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/vykon.htm>>

[22] Dimensio [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://www.dimensio.cz>>

[23] Docplayer [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://docplayer.cz/11067407-34a101-navrh-objektivniho-hodnoceni-jizdnich-vlastnosti-provedeni-experimentu-s-vice-vozidly-a-zkusebnimi-ridici.html>>

[24] eur-lex.europa [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0540>>

[25] Google Plus [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<https://plus.google.com/+Notbeinggoverned-dotcom/posts/JZ7MiYN2Ake>>

[26] Hazardní-hry [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://www.hazardni-hry.eu/pravdepodobnost/definice-pravdepodobnosti.html>>

[27] HODBOŇ, Jan. Automatizace jízdních zkoušek. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2010. Diploma Thesis. Dostupné z:
<<https://dspace.tul.cz/handle/15240/9866>>

[28] Hofmannpt [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://hofmannpt.com/robot-driver/#1470126580857-7d48dc72-3377>>

[29] Homel.vsb [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<http://homel.vsb.cz/~lic098/files/3.cviceni_VZM.pdf>

[30] Homel.vsb [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=chyby>>

[31] Homen.vsb [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<https://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP11/KAP12.HTM>>

[32] CHOLASTA, Lukáš. Měření a porovnání jízdních parametrů vozidel v různých jízdních režimech. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2010. Diploma Thesis. Dostupné z:

<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33506>

[33] KOMKOV, Valentin. Modelování ploch pro automobilové karosérie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2016. Bachelor Thesis. Dostupné z:

<<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66556/F2-BP-2016-Komkov-Valentin-BP%20Komkov%20Valentin.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>

[34] MAREŠ, Milan. Měření zrychlení vozidla. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2012. Diploma Thesis. Dostupné z:

<<https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10873;studium=50549;...1>>

[35] Ottp.fme.vutbr [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka05-00.htm>>

[36] Ottp.fme.vutbr [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/vozidla/ka01-05.htm>>

[37] Oxts [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.oxts.com/products/rt3000-family/>>

[38] Rhinocad [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.rhinocad.cz/produkty/mcneel/rhino/>>

[39] Sssebrno [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf>

[40] Sunderlandecho [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://www.sunderlandecho.com/news/business/in-pictures-q30-infiniti-revealed-at-sunderland-nissan-1-7605604>>

[41] Teknikensvarld [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:

<<http://teknikensvarld.se/koreansk-katastrof-i-algtestet-193477/>>

[42] Ulb.upol [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://ulb.upol.cz/praktikum/statistika4.pdf>>

[43] Unicprum [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z:
<<http://www.unicprum.cz/index.php/component/phocadownload/category/9-ucebnice?...>>

8.3 Legislativa

[44] ČESKO. fragment #f2161086 zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 28. 8. 2017]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56#f2161086>

[45] ČESKO. fragment #f2230324 vyhlášky č. 302/2001 Sb., Ministerstva dopravy a spojů o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 28. 8. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-302#f2230324>

[46] ČESKO. fragment #f5479097 vyhlášky č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 28. 8. 2017]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-341#f5479097>