

Univerzita Pardubice
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

**OVLADATELNOST TŘÍNÁPRAVOVÉHO AUTOBUSU
PŘI ZVÝŠENÉM RYCHLOSTNÍM LIMITU ODLEHČENÍ 3. NÁPRAVY
Z 30 KM/H NA 62 KM/H**

Petr Uhlíř

Bakalářská práce

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr Uhlíř
Osobní číslo: D16252
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Ovladatelnost třínápravového autobusu při zvýšeném rychlostním limitu odlehčení 3. nápravy z 30 km/h na 62 km/h
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je ověřit bezpečnou ovladatelnost třínápravového autobusu při zvýšeném rychlostním limitu odlehčení 3. nápravy ze současných 30 km/h na požadovaných 62 km/h a současně sledovat chování systému řízení výšky podvozku autobusu během přechodových stavů.

Autor práce bude postupovat podle sestavené osnovy a to dle svých vědeckých možností. Současně bude získané výsledky konzultovat s vedoucím práce, tak, aby byly splněny cíle práce.

- 1) Úvod
- 2) Ovladatelnost silničního vozidla z pohledu zatáčení
- 3) Vliv parametrů vozidla na ovladatelnost silničního vozidla
- 4) Hodnocení ovladatelnosti silničních vozidel
- 5) Jízdní zkoušky pro ověřování stability silničních vozidel
- 6) Subjektivní hodnocení řidičů ve vztahu k experimentálně naměřeným hodnotám při běžné jízdě v provozu
- 7) Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] VALA, M., TESAŘ, M.: Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X.

[2] VLK, F.: Zkoušení a diagnostika vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

[3] VLK, F.: Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2001. ISBN 80-238-5273-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Jilek, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2019

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 5. 2019

Petr Uhlíř

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé práce, panu Ing. Petru Jilkovi, Ph.D., za jeho odbornou pomoc při vzniku této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům z oddělení zkušebny společnosti IVECO ve Vysokém Mýtě za napomáhání při zpracování experimentálního měření. Na závěr patří poděkování všem, kteří mi přispěli cennými informacemi.

ANOTACE

Předmětem bakalářské práce je ověření ovladatelnosti třínápravového autobusu složeného z jedné části, a to při navýšení rychlostního limitu odlehčení aktivně řízené vlečené třetí nápravy z 30 km/h na 62 km/h.

Teoretická část popisuje základní definici pohybů vozidla, ale také rozdělení a druhy řídicích ústrojí. Následuje velmi důležitý popis kinematiky a dynamiky pohybu vozidla z pohledu zatačení. V poslední řadě pak hodnocení ovladatelnosti vozidel.

Praktická část obsahuje experiment zahrnující měření s následným ohodnocením vlivu navýšení rychlosti. S vozidlem byla provedena ustálená jízda v kruhu, skokové natočení volantem a dvojitá změna jízdního pruhu. Vše bylo realizováno alespoň ve dvou jízdních nastaveních pro komplexnější porovnání. V závěru bylo uskutečněno subjektivní hodnocení vozidla v reálném provozu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ovladatelnost vozidla, stabilita vozidla, řízená třetí náprava, odlehčení třetí nápravy.

TITLE

The manoeuverability of three-axle bus at increased speed limit for unloading of 3rd axle from 30 km/h to 62 km/h.

ANNOTATION

The subject of the bachelor thesis is verification of manoeuverability of a three-axle bus consisting of one part, with increased the speed limit for unloading of actively controlled towed third axle from 30 km/h to 62 km/h.

The theoretical part describes the basic definition of vehicle movements and classification and types of different steering mechanisms. Consequently, a very important description of the kinematics and dynamics vehicle movement from the point of view of turning is explained. Lastly, the vehicle manoeuverability evaluation are mentioned.

The practical part contains the experimental measurements including evaluation of the speed increase effect. With the vehicle were done tests at stable driving in circle, sudden steering-angle change, double lane change. All of tests were realized minimally at two running setting for complex comparisons. In the end, subjective evaluation in real vehicle operation was realized.

KEYWORDS

Vehicle manoeuverability, vehicle stability, steered third axle, unloading third axle.

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Seznam zkratk	12
Použité symboly	13
Úvod	14
1 Ovladatelnost silničního vozidla z pohledu zatáčení	15
1.1 Definice souřadného systému.....	15
1.2 Pohyby vozidla.....	16
1.3 Řídící ústrojí.....	16
1.3.1 Kinematika zatáčení vozidel.....	17
1.3.2 Dynamika zatáčení vozidel.....	18
1.4 Směrová dynamika (ovladatelnost).....	20
1.4.1 Statická říditelnost.....	20
1.4.2 Dynamická říditelnost.....	21
1.4.3 Směrová stabilita v přímé jízdě.....	21
2 Vliv parametrů vozidla na ovladatelnost silničního vozidla	23
2.1 Aktivní ovládání jízdny dynamiky – řízení všech kol.....	23
2.1.1 Pasivní řízení zadních kol.....	24
2.1.2 Aktivní řízení zadních kol.....	24
2.2 Řízení bez mechanické vazby (drive-by-wire).....	25
2.3 Regulace jízdny dynamiky.....	25
3 Hodnocení ovladatelnosti silničních vozidel	26
3.1 Metodiky zkoušek ovladatelnosti.....	27
3.1.1 Objektivní zkoušky.....	28
3.1.2 Zkoušky dynamické říditelnosti.....	29
3.1.3 Citlivost na boční vítr.....	30
3.1.4 Zkoušky kloubových autobusů.....	31
3.1.5 Čistě subjektivní hodnocení vozidel.....	31
4 Jízdní zkoušky pro ověření stability silničních vozidel	32

4.1	Vlastní měření a jejich podmínky	35
4.1.1	Navržení experimentů pro ověření ovladatelnosti vozidla	35
4.1.2	Zatížení vozidla.....	37
4.1.3	Použité měřicí zařízení a jeho umístění	38
4.2	Výsledky ověření jízdní stability	41
4.2.1	Ustálená jízda po kruhové dráze o poloměru 30 m	41
4.2.2	Skokové natočení volantu při rychlosti 60 km/h	42
4.2.3	Dvojitá změna jízdního pruhu dle ISO 3888	42
5	Subjektivní hodnocení řidičů ve vztahu k experimentálně naměřeným hodnotám při běžné jízdě v provozu	46
6	Závěr	48
	Použitá literatura	49
	Přílohy	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Souřadný systém k vyjádření pohybů vozidla a názvy jednotlivých pohybů karoserie.	15
Obrázek 2 Způsoby řízení.....	17
Obrázek 3 Kinematika zatáčení dvounápravového vozidla s rejdovými koly.....	18
Obrázek 4 Působení boční síly na kolo s pneumatikou.	19
Obrázek 5 Dynamika jízdy v zatáčce – teoretický a skutečný poloměr zatáčení.	19
Obrázek 6 Blokové schéma řízení automobilu.	20
Obrázek 7 Možné druhy pohybu při působení příčné síly.....	22
Obrázek 8 Příklad zkušební dráhy "Vyhýbací manévr" dle ISO 3888.....	29
Obrázek 9 Zkouška citlivosti na boční vítr.	30
Obrázek 10 Elektrohydraulický systém řízení třetí nápravy.	32
Obrázek 11 Funkční schéma.....	33
Obrázek 12 Zkušební úsek vyhýbacího manévru dle ISO 3888.....	36
Obrázek 13 Umístění zátěže vpředu.	38
Obrázek 14 Umístění zátěže vzadu – figuríny.....	38
Obrázek 15 GPS systém se dvěma anténami a inerciální jednotkou umístěnou na střeše vozidla.	39
Obrázek 16 Světelná závora na boku vozidla.....	40
Obrázek 17 DEWESoft SIRIUSi a DS-CAN2.	40
Obrázek 18 Testované vozidlo na letištní ploše Ralsko, vytyčený úsek pro vyhýbací manévr.	40
Obrázek 19 Závislosti úhlu naklonění vozidla a úhlu natočení volantu s bočním zrychlením (D0 – odlehčení třetí nápravy neaktivní; D1 – odlehčení třetí nápravy aktivní).	41
Obrázek 20 Vozidlo během jízdy po kruhové dráze.....	41
Obrázek 21 Trajektorie vozidla při skokovém natočení volantu při rychlosti 60 km/h (dosahované hodnoty bočního zrychlení vozidla jsou popsány barevnou škálou).	42
Obrázek 22 Trajektorie vozidla při dvojité změně jízdního pruhu (dosahované hodnoty bočního zrychlení vozidla jsou popsány barevnou škálou).	43
Obrázek 23 Úhel klopení vozidla a úhel natočení volantu v závislosti na bočním zrychlení vozidla.....	43
Obrázek 24 Průběh vyhýbacího manévru s neaktivním odlehčením.....	44
Obrázek 25 Průběh vyhýbacího manévru s aktivním odlehčením.	44

Obrázek 26 Průběh vyhýbacího manévru, aktivace odlehčení před započítím manévru.	45
Obrázek 27 Průběh vyhýbacího manévru, deaktivace odlehčení před započítím manévru.....	45
Obrázek 28 Průběh jízdy Stradouň-Vraclav, záznam chování vozidla.	47
Obrázek 29 Rozměry vozidla	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozložení hmotnosti vozidla na jednotlivé nápravy.....	37
Tabulka 2 Rozměry vozidla.....	51
Tabulka 3 Poloha těžiště vozidla (COG).....	52
Tabulka 4 Stupnice bodového hodnocení ovladatelnosti a stability vozidel.....	53
Tabulka 5 Doporučené hodnoty bodového hodnocení vozidel.	53

SEZNAM ZKRATEK

4WS – Four Wheel Steering

ISO – International Organization for Standardization

ČSN – Československá Státní Norma

FBW – Fly By Wire

ESP – Elektronick Stability Program

ABS – Anti-lock Brake System

ASR – Ant-Slip Regulation

ECU – Electronic Control Unit

VBC – Vehicle Body Controller

ELC – Electronic Leveling Control

DELESTAGE – z francouzského překladu: odlehčení

CAN – Contoller Area Network

GPS – Global Positioning Systém

GLONASS – Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma

VBOX – Velocity BOX

RMS – Root Mean Square

COG – Centre Of Gravity

POUŽITÉ SYMBOLY

Rovnice (1-1)

$\dot{\epsilon}$ rychlost stáčení vozidla [m/s]

β_{v^*} vztažný úhel natočení volantu [°]

Rovnice (1-2)

β_{v^*} vztažný úhel natočení volantu [°]

β_v úhel natočení volantu [°]

i_c celkový převod řídicího ústrojí [-]

Rovnice (1-3)

a_d dostředivé zrychlení [m/s²]

v rychlost vozidla [m/s]

R poloměr zatačení [m]

Rovnice (3-1)

F_{od} odstředivá síla [N]

m hmotnost vozidla [kg]

v rychlost vozidla [m/s]

R poloměr zatačení [m]

ÚVOD

Toto téma jsem si zvolil především z toho důvodu, abych se dozvěděl více o dané problematice, která mě velmi zajímá. Téma se také dotýká mé profese, proto jsem si chtěl rozšířit vědomosti a detailněji porozumět účinkům ovlivňujícím ovladatelnost vozidla.

Ovladatelnost vozidla je jedním z aktivních prvků bezpečnosti vozidla. Pro bezpečné provozování silničních vozidel jsou velmi důležité jízdní vlastnosti dané výrobcem, do kterých může řidič zasahovat i svými schopnostmi. Tyto klíčové vlastnosti napomáhají plynulosti a rychlosti provozu vozidel, ale také zabraňují vzniku dopravních nehod. S přisunem nových technických inovací, týkajících se zlepšení ovladatelnosti vozidel, jsou výrobci nuceni nacházet řešení pro jejich aplikace. Aby se tyto inovace mohly prohlásit za výhodné, vznikla během desítek let rozvoje automobilového zkušebnictví řada zkoušek pro prověření ovladatelnosti vozidel. Zkoušky simulující určité děje probíhají při řízení a ovládání vozidel. Simulovány jsou přitom nejen kritické, ale i běžné jízdní stavy.

Pro vylepšení pohybu vozidel ve městech i mimo ně byla již několika výrobci realizována možnost natáčení kol více náprav, proto i název 4WS je toho důkazem. Tyto systémy řízení prostřednictvím natáčení kol zadních náprav napomáhají a usnadňují zatáčení vozidlům s větší délkou a větším poloměrem zatáčení. Jedním z takových vozidel je i třínápravový autobus o maximální délce 15 m. Ten je opatřen systémem natáčení kol třetí vlečené nápravy a je někdy vhodnější, než kloubový autobus při použití v příměstských i městských linkách. Důkazem toho je nižší hmotnost, menší valivý odpor, nižší spotřeba paliva, vyšší maximální rychlost pro využití na dálnicích a v neposlední řadě cena. Pokud však porovnáme třínápravové autobusy složené z jedné části s autobusy kloubovými, které se skládají z více částí, zjistíme, že kloubové autobusy jsou výhodnější z hlediska manévrovatelnosti v omezeném prostoru. Z toho důvodu je kladeno velké úsilí na zdokonalování systému natáčení třetích náprav, avšak vždy ve spojení se zkušenostmi řidičů.

Cílem této práce je ověřit bezpečnou ovladatelnost třínápravového autobusu při zvýšeném rychlostním limitu odlehčení třetí nápravy ze současných 30 km/h na požadovaných 62 km/h a zároveň sledovat chování systému řízení výšky podvozku autobusu během přechodových stavů.

1 OVLADATELNOST SILNIČNÍHO VOZIDLA Z POHLEDU ZATÁČENÍ

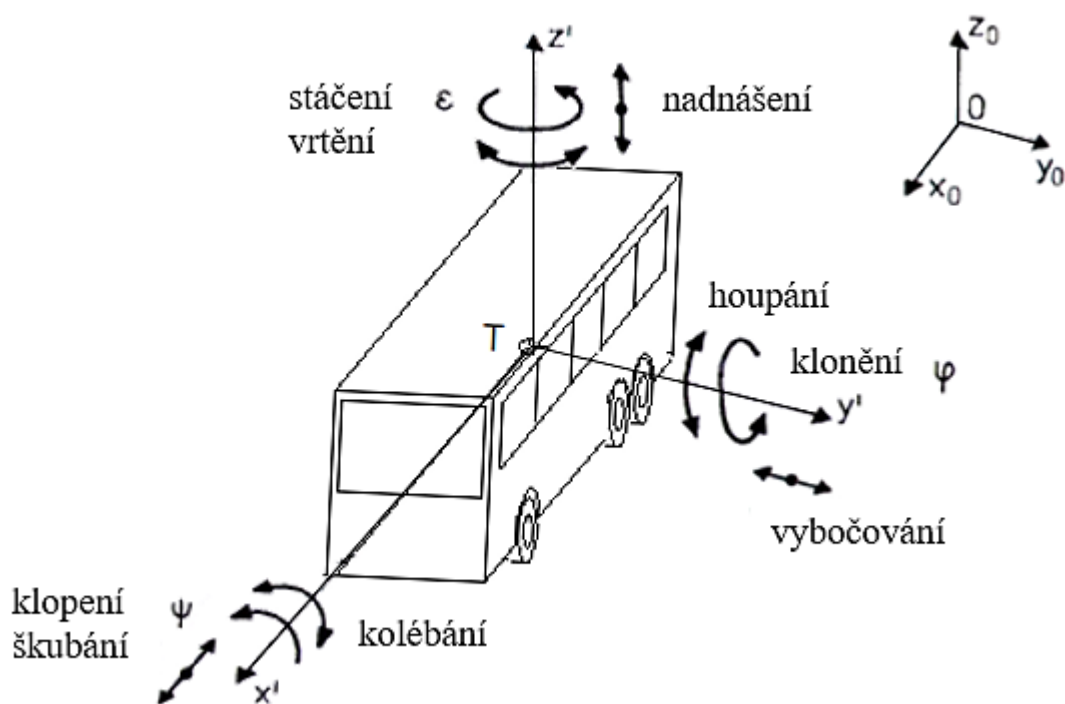
Pod pojmem ovladatelnost se v dynamice pohybu motorového vozidla rozumí jízdní vlastnosti celkového systému „řidič – vozidlo – okolí“.

Pro přiblížení problematiky ovladatelnosti silničního vozidla z pohledu zatáčení je nutné si určit souřadné systémy, definovat jednotlivé pohyby vozidla a zavést veličiny a pojmy ze směrové dynamiky vozidel. Třírozměrná referenční soustava vozidel je definována normou ISO 4130. Jako počátek trojrozměrné souřadnicové soustavy zvolíme těžiště vozidla – referenční bod. [2]

1.1 Definice souřadného systému

$x_0; y_0; z_0$ – pevný souřadný systém;

$x'; y'; z'$ – tělesový souřadný systém s počátkem v těžišti T celého vozidla;



Zdroj: [Autor]

Obrázek 1 Souřadný systém k vyjádření pohybů vozidla a názvy jednotlivých pohybů karoserie.

1.2 Pohyby vozidla

Každý obecný pohyb lze rozložit na dvě složky – posun a rotaci.

Přehled definic pohybů vozidla dle ISO 8855:

Posuvné pohyby vozidla dělíme na (viz. Obrázek 1):

- **Přímá jízda:** pohyb ve směru podélné osy x .
- **Škubání:** trhavý pohyb ve směru podélné osy x , způsobený např. nerovnoměrným chodem motoru, špatnou funkcí spojky apod.
- **Vybočování:** pohyb ve směru příčné osy y , způsobený např. nárazem bočního větru, příčným sklonem vozovky apod.
- **Nadnášení:** pohyb ve směru svislé osy z , způsobený např. vlnitostí vozovky ve svislém směru, aerodynamickou vztlakovou silou apod.

Rotační pohyby vozidla dělíme na (viz. Obrázek 1):

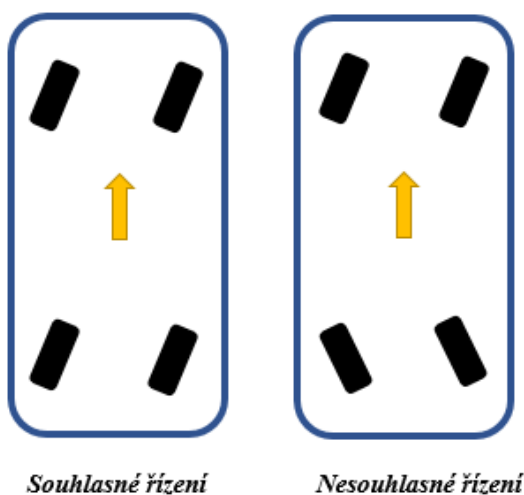
- **Klopení:** pootáčení kolem podélné osy x , způsobené např. odstředivou silou při průjezdu zatáčkou.
- **Kolébání:** periodické pootáčení kolem podélné osy x , způsobené např. přejezdem nerovnosti jedním kolem, po němž následuje vlastní kmitání odpružené hmoty vozidla
- **Klonění:** pootáčení kolem příčné osy y , způsobené např. setrvačnou silou při rozjezdu nebo brzdění.
- **Houpání:** periodické pootáčení kolem příčné osy y , způsobené např. přejezdem nerovnosti.
- **Stáčení:** pootáčení kolem svislé osy z , způsobené např. natáčením volantu, ztrátou směrové stability, aerodynamickými silami (bočním větrem) apod.
- **Vrtění:** periodické pootáčení kolem svislé osy z , způsobené např. jako přechodový děj při prudkém natočení volantu apod.

1.3 Řídící ústrojí

Slouží k udržování nebo ke změně směru jízdy automobilu v závislosti na požadavku řidiče nebo situace v silničním provozu. Řízení u automobilů je realizováno: natáčením předních kol kolem rejdových čepů, natáčením kol zadní nápravy, natáčením kol všech náprav, kloubovým rámem a nezávislým pohonem levých a pravých kol.

Podle směru natočení kol zadní nápravy rozlišujeme u dvounápravových vozidel způsoby řízení [1]:

- **Souhlasné** – kola zadní nápravy se natáčí stejně jako kola přední nápravy. Tím se zlepšuje dynamická říditelnost a stabilita (předjíždění, změna jízdního pruhu). V případě natočení všech kol o stejný úhel, můžeme říci, že se vozidlo pohybuje bokem, tudíž nedochází ke stáčení.
- **Nesouhlasné** – kolo zadní nápravy se natáčí v opačném smyslu než kola přední nápravy. Zmenšuje se poloměr otáčení, usnadňuje se parkování a zatáčení vozidla při malých rychlostech.
- **Konvenční** – klasické provedení, natáčejí se pouze kola přední nápravy.

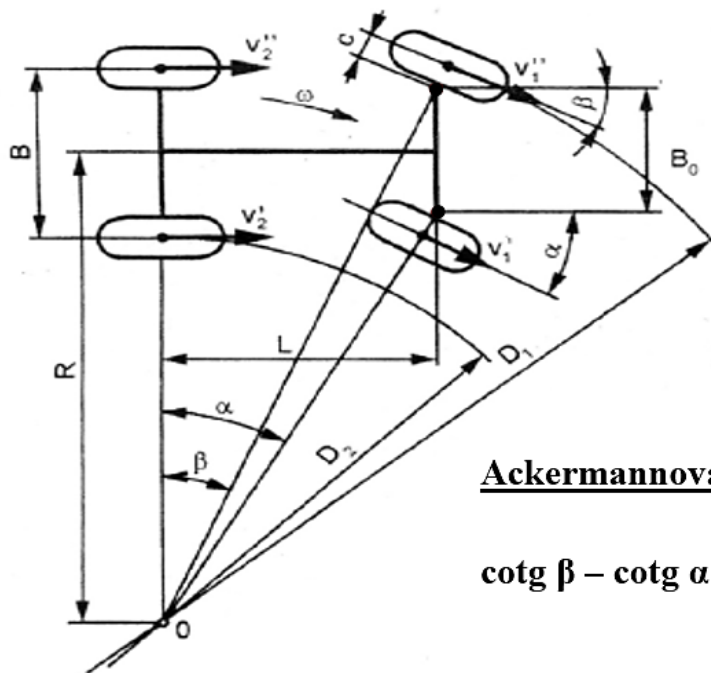


Zdroj: [Autor]

Obrázek 2 Způsoby řízení.

1.3.1 Kinematika zatáčení vozidel

Natáčení vnitřního a vnějšího kola musí splňovat (Ackermannovy) geometrické podmínky pro ideální odvalování po křivkách se společným středem. Aby v zatáčce nedocházelo k prokluzu kol, ale pouze k odvalování, musí se vnitřní kolo řídicí nápravy natočit o větší úhel než kolo vnější – musí být však zachován jeden společný střed (pól) otáčení, jak je znázorněno na (Obrázek 3).



Ackermannova podmínka:

$$\cotg \beta - \cotg \alpha = \frac{B_0}{L}$$

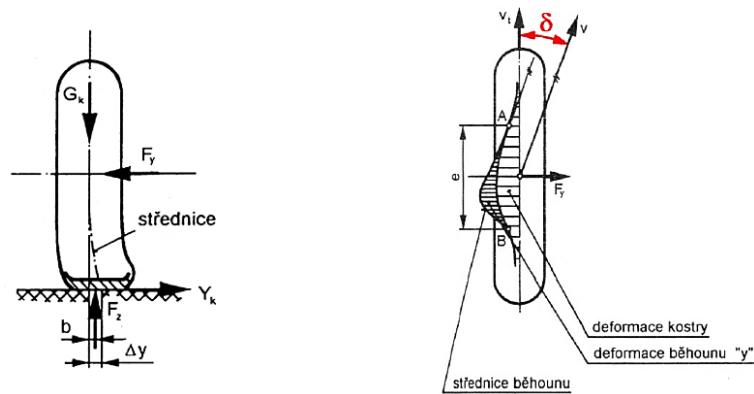
Zdroj: [1]

O – střed otáčení; R – teoretický poloměr zatáčení; D₁ – vnější stopový průměr; D₂ – vnitřní stopový průměr; L – rozvor náprav; B – rozchod kol zadní nápravy; B₀ – vzdálenost rejdových čepů předních kol; α, β – úhly natočení vnějšího a vnitřního kola; v₁['], v₁^{''}, v₂['], v₂^{''} – vektory rychlostí pohybu jednotlivých kol; c – vzdálenost podélné osy kola od rejdového čepu; ω – úhlová rychlost stáčení vozidla

Obrázek 3 Kinematika zatáčení dvounápravového vozidla s rejdovými koly.

1.3.2 Dynamika zatáčení vozidel

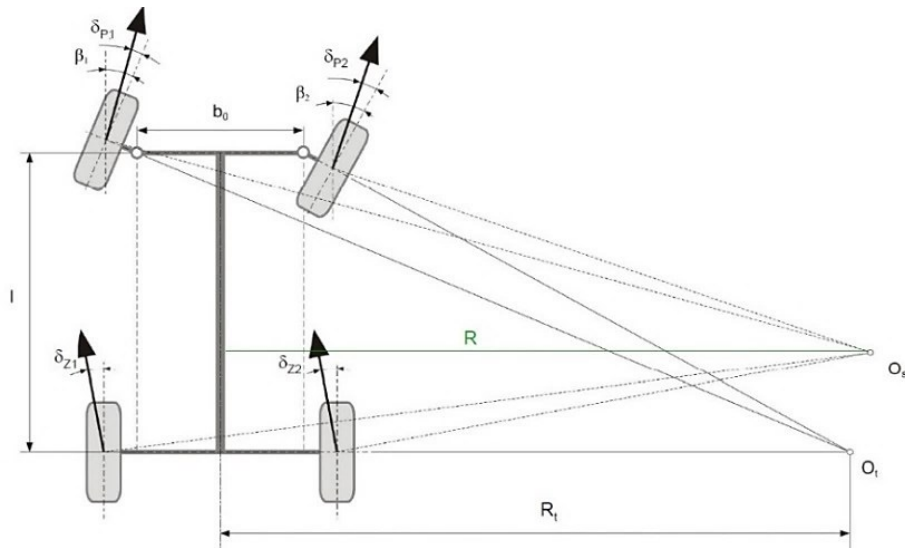
Dynamika zatáčení vozidel popisuje působení odstředivé síly v těžišti a její zachycení bočními reakcemi kol (dynamické zatáčení). Boční síla působící na stojící kolo způsobuje příčnou deformaci pneumatiky kola, jak je zřejmé z (Obrázek 4). Působí-li však na odvalující se kolo boční deformace, způsobí změnu pohybu od původního směru rovnoběžného se střední podélnou rovinou kola, odklonění o tzv. **úhel směrové úchytky** (δ). Dochází pak k posouvání skutečného středu otáčení ve směru osy x blíže k přední nápravě, jak zobrazuje (Obrázek 5). Avšak mnohem důležitější je jeho poloha vůči ose y, která určuje skutečný poloměr zatáčení. Jeho velikost pak záleží na vzájemné poloze velikostí směrových úchylek přední a zadní nápravy. V těžišti vozidla pak vznikne odstředivá síla úměrná dostředivému zrychlení těžiště (a_d). Takovéto zatáčení můžeme nazývat dynamickým.



Zdroj: [9]

e – délka kontaktní plochy; Y_k – boční reakce kola; δ – směrová úchylka kola; F_y – boční síla působící za jízdy; G_k – tíha přenášená kolem

Obrázek 4 Působení boční síly na kolo s pneumatikou.



Zdroj: [9]

β_1, β_2 – úhel rejdu předních kol; R – skutečný poloměr zatáčení; R_t – teoretický poloměr zatáčení; O_t – teoretický střed otáčení; O_s – skutečný střed otáčení; δ_i – směrové úchylky jednotlivých kol; l – rozvor náprav; b_0 – vzdálenost rejdových čepů předních kol

Obrázek 5 Dynamika jízdy v zatáčce – teoretický a skutečný poloměr zatáčení.

Směrové úchylky jsou příčinou odlišnosti skutečného (dynamického) a teoretického (kinematického) poloměru zatáčení: $R \neq R_t$.

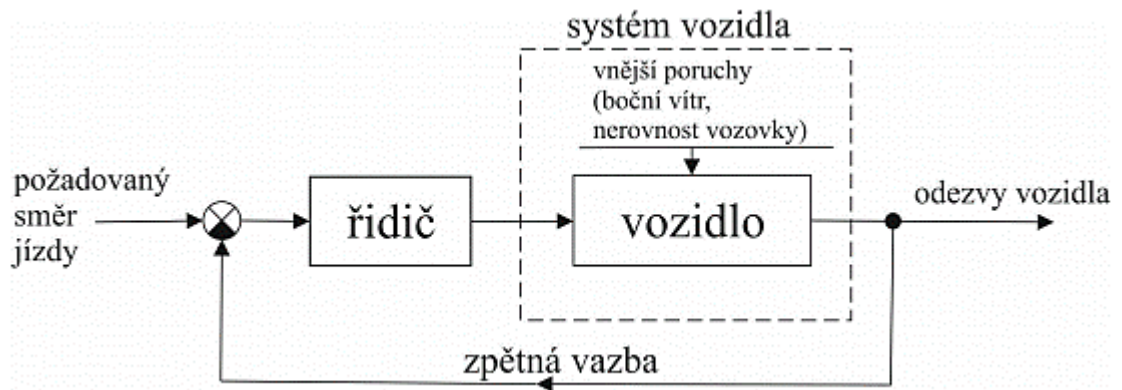
Na rozdílu velikostí teoretického a skutečného poloměru zatáčení je založena důležitá charakteristika vozidel, tzv. zatáčivost.

- **Neutrální zatáčivost** – zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení roven gradientu Ackermannova úhlu rejdu; $R = R_t$.

- **Nedotáčivost** – zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení větší než gradient Ackermannova úhlu rejdu; $R > R_t$.
- **Přetáčivost** – zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení menší než gradient Ackermannova úhlu rejdu; $R < R_t$.

1.4 Směrová dynamika (ovladatelnost)

Pojem směrová dynamika označuje pohyb vozidla v bočním směru. Vyšetřuje tedy pohyby vozidla kolem osy (z) a ve směru příčné osy (y), obvykle při stálé rychlosti jízdy na rovné vozovce, jako odezvy vozidla na natočení volantu. Určitému natočení volantu a dopředné rychlosti odpovídá například určitá hodnota úhlové rychlosti otáčení vozidla kolem svislé osy značená jako $\dot{\epsilon}$ (tzv. stáčivá rychlost), která je odezvou vozidlového systému (Obrázek 6). [1]



Zdroj: [1]

Obrázek 6 Blokové schéma řízení automobilu.

Směrovou dynamiku lze rozdělit v závislosti na ovládnání vozidla:

- **Řiditelnost vozidla** – ovládnání vozidla řidičem bez působení rušivých vlivů. Taktéž nazývanou subjektivní řiditelností, kterou dále rozlišujeme na statickou a dynamickou.
- **Směrová stabilita** – ovládnání rušivými vlivy bez působení řidiče.

1.4.1 Statická řiditelnost

Je určena odezvami vozidla na natáčení volantu při ustálené jízdě po kruhové dráze, případně úhlem natočení, který je v závislosti na rychlosti jízdy potřebný k tomu, aby vozidlo jelo po dané dráze o stálém poloměru. [3]

Vyhodnocením dat z experimentálních měření obdržíme charakteristiky:

1) rychlostní charakteristika statického zisku stáčivé rychlosti: grafické znázornění závislosti poměru ustálené rychlosti stáčení a vztažného úhlu natočení volantu na rychlosti vozidla.

$$\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\beta_{v^*}}\right) = f(v) \quad (1-1)$$

Vztažný úhel natočení volantu je definován dle rovnice (1-2).

$$\beta_{v^*} = \frac{\beta_v}{i_c} \quad (1-2)$$

Kde β_v je natočení volantu a i_c je celkový převod řídicího ústrojí. Tuto charakteristiku lze velice lehce získat díky měření úhlu natočení volantu, dopředné rychlosti a rychlosti stáčení. Dále se zjišťují rychlostní charakteristiky statického zisku úhlu směrové úchylky těžiště, bočního zrychlení těžiště a momentu na volantu.

2) charakteristika zatačivosti vozidla: grafické znázornění závislosti ustáleného úhlu natočení volantu β_{Vstat} na dostředivém zrychlení.

$$a_d = \frac{v^2}{R} \quad (1-3)$$

Kde v je rychlost vozidla a R poloměr zatačení. Při překročení kritické rychlosti v_k je u přetáčivého vozidla úhel $\beta_{Vstat} < 0$, tzn., aby vozidlo projíždělo kruhovou dráhu o daném poloměru, musí řidič natáčet volantem v opačném směru (tzv. protiřídít). [1]

1.4.2 Dynamická říditelnost

Je vyjádřena přenosovými funkcemi vozidlového systému, tzn. závislostí mezi budícím signálem z úhlu natočení volantu a odezvami pohybu vozidla. Pokud je natočení volantu vozidla skokovou funkcí, jsou odezvy vozidla znázorněny přechodovými matematickými funkcemi. V případě grafického znázornění v závislosti na čase jsou odezvy vozidla popsány tzv. přechodovými charakteristikami. Při harmonickém natočení volantu je říditelnost vozidla vyjádřena frekvenčními odezvami vozidla.

Uvedené charakteristiky vytváříme pro stáčivou rychlost, úhel směrové úchylky těžiště a boční zrychlení těžiště.

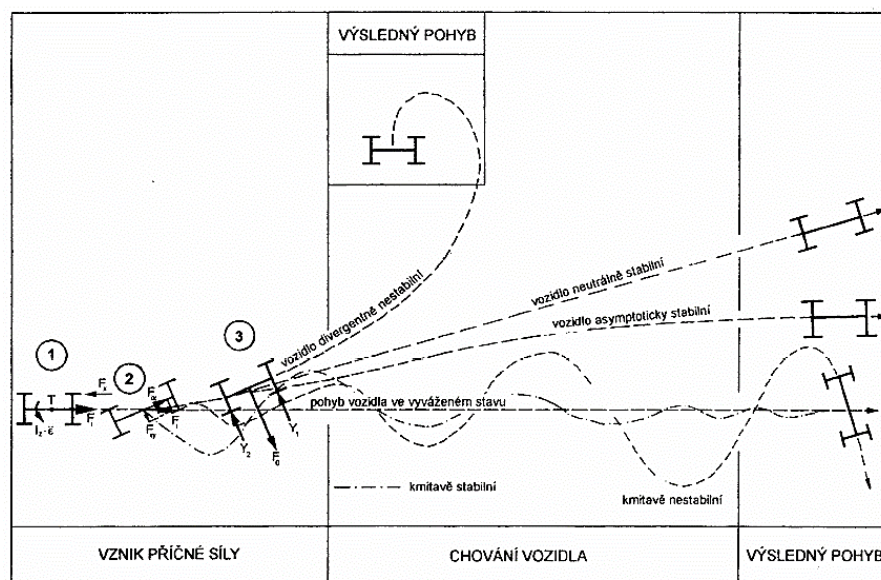
1.4.3 Směrová stabilita v přímé jízdě

Vyjadřuje schopnost vozidla udržet požadovaný směr pohybu. „*Je charakterizována časovým průběhem pohybu vozidla, které je vychýleno z rovnovážného stavu impulsem řízení nebo rušivým vlivem.*“ [1] Směrovou stabilitu nejvíce ovlivňují hodnoty příčného zrychlení

a dostředivé rychlosti. Jako rušivé elementy se pak mohou chápat vlivy prostředí, kde se vozidlo pohybuje (sklon vozovky, proudění vzduchu, nerovnosti). Tyto rušivé vlivy pak nejčastěji způsobují vznik setrvačných a odstředivých sil, jež mají za následek stáčení a vybočování vozidla. Vzniklé reakce, nazývané bočními silami, ve styku kol s vozovkou posouvají valení kol o jednotlivé úhly směrových úchylek. Tyto reakce pak určují výsledné chování vozidla a taktéž jeho směrovou stabilitu.

Výsledné případy směrové stability pohybu vozidla definované normou ČSN 300034:

- **Asymptotická stabilita** – Dočasným působením rušivého vlivu po krátkou dobu se výsledný pohyb vozidla asymptoticky blíží k pohybu odpovídajícímu stavu před působící změnou.
- **Neutrální stabilita** – Dočasným působením rušivého vlivu po krátkou dobu se bude výsledný pohyb vozidla blížit pohybu odpovídajícímu stavu před působící změnou, ale nesplyne s ním.
- **Divergentní nestabilita** – Stále rostoucí směrové vychýlení vozidla bez kmitání způsobené krátkodobým působením rušivého vlivu.
- **Kmitavá nestabilita** – Směrové vychýlení vozidla s rostoucí amplitudou bude kmitat kolem původního rovnovážného stavu, který byl způsoben rušivým vlivem.



Zdroj: [1]

Obrázek 7 Možné druhy pohybu při působení příčné síly.

Požadovaných jízdních vlastností z hlediska směrové stability lze dosáhnout například vhodnou volbou polohy těžiště, polohy aerodynamického středu, pneumatikami a tuhostí řízení.

Směrově stabilní vozidlo je nedotáčivé či neutrální. Směrově nestabilní vozidlo se chová po překročení kritické rychlosti přetáčivě. „*Kritická rychlost (ČSN 300034) je definována jako, dopředná rychlost vozidla v přetáčivém stavu, při které je citlivost řízení (poměr změny ustáleného příčného zrychlení a natočení volantu) nekonečně velká.*“ [1]

2 VLV PARAMETRŮ VOZIDLA NA OVLADATELNOST SILNIČNÍHO VOZIDLA

Základní parametry, podílející se na ovladatelnosti vozidla, jsou stanoveny již během konstrukce. V průběhu technického života automobilu jsou ovlivňovány samotným provozem, opravami aj. Vozidla jsou konstruována tak, aby se při zatížení v přímé jízdě chovala stabilně tj. neutrálně až mírně nedotáčivě. Nestabilní (přetáčivé) směrové chování automobilu můžeme nechtěně zapříčinit:

- Nevhodným procentuálním rozložením hmotnosti vozidla na řízenou nápravu.
- Pozicí těžiště, například jeho umístěním do zadní části vozidla.
- Chybným rozložením nákladu, případně počtem osob ve vozidle.
- Podhuštěním pneumatik.
- Užitím pneumatik s menší boční tuhostí.
- V případě jízdy zatáčkou a současným navýšením hnací síly je snižována boční tuhost pneumatiky, čímž se zvyšuje směrová odchylka. Vozidlo s pohonem zadní nápravy se v tomto případě chová přetáčivě a vozidlo s pohonem přední nápravy se chová nedotáčivě.
- Užitím nákladové plachty za jízdy při silném bočním větru.

2.1 Aktivní ovládání jízdní dynamiky – řízení všech kol

Zlepšení ovladatelnosti (zmenšení poloměru otáčení – snadnější parkování) a směrové stability (zlepšení chování vozidla při vyšších rychlostech) lze docílit pomocí řízení, natáčením všech či více než dvou kol u jiných než čtyřkolových vozidel. Při současném natočení předních i zadních kol v opačném smyslu – nesouhlasné řízení, se okamžitě zvyšuje stáčivý moment a obratnost vozidla kolem svislé osy. V případě souhlasného řízení – natočení zadních kol ve stejném smyslu jako předních kol, se stáčivý moment snižuje a bezprostředně dochází k bočnímu pohybu celého vozidla, což zajistí zvýšení směrové stability. Je proto nutné najít takové

technické řešení, které podle zamýšleného jízdního manévru zajistí souhlasné nebo nesouhlasné řízení zadních kol.

Rozlišují se dva základní principy řízení všech kol. Tzv. princip pasivního řízení zadních kol (tj. elastokinematický), nebo aktivní nucené zatáčení zadních kol pomocí akčních členů (mechanická převodka řízení, hydraulicky nebo elektricky ovládaný mechanismus řízení zadní nápravy).

2.1.1 Pasivní řízení zadních kol

„Je tvořeno elastokinematickým závěsem zadní nápravy, který natáčí kola do rejdu souhlasně vlivem působících bočních sil a změny svislého zatížení kol.“ [1] Ramena nápravy elastokinematického zavěšení jsou uložena pružně, pomocí pryžových lůžek. Další provedení tohoto typu řízení může být uskutečněno na základě víceprvkového zavěšení kol zadní nápravy. Zavěšení kola je provedeno na více v prostoru uspořádaných ramenech. Díky tomu je jejich kinematika zavěšení přesně programovatelná.

Nevýhodou tohoto systému je, že působí nezávisle na vůli řidiče a působí i při jízdě v přímém směru. Dojde-li k najetí jedním z kol nápravy vozidla na nerovnost, může dojít ke zhoršení směrové stability.

2.1.2 Aktivní řízení zadních kol

Tímto způsobem řízení je docíleno zlepšení obratnosti vozidla při malých rychlostech a zároveň zlepšení stability při vyšších rychlostech. Natačení kol zadní nápravy je zpravidla odvozeno od závislosti na natočení kol přední nápravy, respektive od natočení volantu. Avšak tento děj lze rozdělit s ohledem na rychlost vozidla. Při nízkých rychlostech, přibližně do 30 km/h, jsou zadní kola natáčena proti smyslu natočení předních kol – nesouhlasně, což zajišťuje menší poloměr zatáčení. V případě vyšších rychlostí jsou zadní kola natáčena ve stejném smyslu natočení předních kol – souhlasně, zvyšuje se poloměr zatáčení. To způsobuje přemísťování pólu pohybu směrem dopředu. Zád' vozidla pak znatelně vybočuje a hrozí častěji situace, které vedou ke kolizi s jinými vozidly či předměty.

Původní aktivní systémy 4WS se používaly výhradně u japonských vozů. Dnes je tento systém rozšířen i u nás v Evropě. [3], [7]

Nucené zatáčení zadních kol pomocí akčních členů lze rozdělit:

- Řízení zadních kol v závislosti na úhlu natočení volantu (Honda 4WS).
- Řízení zadních kol v závislosti na rychlosti jízdy (Mazda).

- Řízení zadních kol s kompenzací úhlu směrové úchylky těžiště.
- Řízení zadních kol v závislosti na stáčivé rychlosti.

2.2 Řízení bez mechanické vazby (drive-by-wire)

Tento typ řízení je odvozen od známějšího označení pocházejícího z oboru letectví „fly-by-wire“ (FBW). V podstatě se jedná o princip, kdy je mechanická vazba k ovládní řízení nahrazena elektrickou vazbou po drátech. V automobilovém průmyslu tomu předcházela postupný vývoj. V první etapě hydraulicky, následně hydraulicko-elektricky a posléze čistě elektricky. Hlavním cílem je dosažení okamžité odezvy na pohyb volantu, a to bez prodlevy. Pohybem volantu jsou generovány elektrické impulzy. Ty jsou následně zpracovány počítačem s ohledem na další vstupní data. Výsledkem je natočení kola do žádané polohy díky elektrickému servomotoru. To znamená úplné vyrušení mechanické vazby mezi volantem – sloupkem řízení – hřebenovou tyčí – koly.

2.3 Regulace jízdní dynamiky

Většina vozidel je v dnešní době vybavena aktivním regulačním systémem ke zlepšování stability vozidla, systémem ESP (Electronic Stability Program). Tento systém je schopen aktivně zasáhnout do brzdové soustavy i do hnacího ústrojí a tím zajistit stabilitu vozidla, ne však se stoprocentní účinností. Systém využívá další aktivně bezpečnostní systémy vozidla, jakými jsou ABS a ASR. ABS zajišťuje, aby při brzdění nedocházelo k zablokování kol a bylo možné řídit vozidlo i při prudkém brzdění. ASR zajišťuje, aby nedošlo k prokluzu kol při akceleraci. ESP systém je nejvýše účinný při krizových situacích, kdy na vozidlo působí boční síly, snažící se destabilizovat vozidlo. Nejvíce napomáhá za snížené adheze (deště, sněžení nebo náledí), a to při průjezdu vozidla zatáčkou nebo náhlé změně směru jízdy. Právě v tomto případě se systém snaží zabránit smyku. Při aktivaci systému bez zásahu do hnacího ústrojí využívá brzdění jednotlivých kol. V případě řešení nedotáčivosti vozidla přibrzdí systém zadní kolo na straně ke středu projížděné zatáčky. Systém však prošel mnoha evolucionemi a užívá taktéž přibrzdění i předního vnitřního kola. Dále může zasáhnout i do řízení točivého momentu motoru. Při přetáčivosti vozidla přibrzdí naopak přední kolo na vnější straně, aby se vozidlo stabilizovalo.

Cílem systému je udržovat v ovladatelné míře podélnou rychlost, příčnou rychlost a stáčivou rychlost. Schéma regulace jízdní dynamiky se skládá z požadavku řidiče (jak se má vozidlo chovat) a jaké je skutečné chování vozidla. Odchylka regulované veličiny udává rozdíl mezi oběma vstupy. Čím větší je odchylka, tím se stává vozidlo více nestabilní. Na základě

odchyly zasáhnou akční členy a pokud je to fyzikálně možné dovedou vozidlo do stabilní pozice. Požadovaný směr vozidla je definován signály z příslušných snímačů, plynového pedálu, brzdového pedálu a úhlu natočení volantu, čímž systém zjistí, jestli chce řidič akcelarovat, brzdít nebo zatáčet a v jaké míře. Regulační obvod má k dispozici tyto veličiny: stáčivou rychlost, úhel natočení volantu, boční zrychlení, podélnou rychlost vozidla, podélné síly pneumatik, hodnoty jejich skluzu, z nichž se určují boční síly na kolech, úhly směrových úchylek kol, úhel směrové úchylky těžiště a příčnou rychlost vozidla. Použité hodnoty podélné rychlosti vozidla a přilnavosti pneumatik se odhadují ze snímačů otáček kol, bočního zrychlení, brzdných tlaků a stáčivé rychlosti. „*Souvislost mezi úhlem natočení volantu a stáčivou rychlostí tvoří základ pro požadovaný pohyb vozidla pro jízdu konstantní rychlostí i pro brzdění a zrychlení; tato souvislost je uložena v řídicí jednotce systému ESP.*“ [3] Jako zajímavá nadstavbová funkce, dodávaná se systémem ESP osmé a vyšší generace, je zabezpečení čistoty a suchého stavu brzdových kotoučů a obložení pro potřebu maximálního brzdného účinku. Za jízdy v dešti se spuštěnými stěrači, pokud řidič delší dobu nepoužil brzdový pedál, se brzdové destičky v naprogramovaných intervalech samy lehce přitlačí ke kotoučům. Ty se tím rychle vysuší a dokáží i za mokra okamžitě a bez prodlevy účinně zpomalovat rozjetý vůz. Systém ESP může být u některých automobilových výrobců označován jinak.

3 HODNOCENÍ OVLADATELNOSTI SILNIČNÍCH VOZIDEL

Jednou z metod hodnocení je porovnání časů vozidel na závodním okruhu. Není to však úplně nejobjektivnější řešení, jelikož hodnocená vozidla nemají vždy dokonale stejné vlastnosti a současně může hodnotiteli vyhovovat nastavení vozidla více či méně. Ovladatelnost silničního vozidla může tedy být do jisté míry značně subjektivní. Vozidla s nejvyšším výkonem a dosažitelnou rychlostí nemusí být zároveň nejlépe ovladatelná a stabilní.

Z hlediska legislativy patří zkoušky ovladatelnosti mezi nepovinné, to znamená, že nejsou nutné pro schválení technické způsobilosti vozidla pro provoz na pozemních komunikacích. Jedním z důvodů tohoto stavu je vysoký podíl subjektivity v hodnocení, jak již bylo napsáno. Přesto lidský faktor (subjektivita) hraje v ovladatelnosti a stabilitě vozidla stále zásadní roli. V dnešní době elektronických systémů, jež napomáhají v aktivní bezpečnosti provozu vozidla, je však zručnost řidiče stále potřebná, neboť může eliminovat nedostatky těchto systémů. [4]

Objektivní hodnocení ovladatelnosti: kvantitativní hodnocení s vysokým vyloučením lidského činitele, jenž je přítomen. Měří se chování vozidla bez vlivu řidiče. Vlastnosti vozidla se posuzují měřením odezev vozidla na definované ovládací úkony. [4]

- Poměr stáčivé rychlosti ϵ .
- Úhel stáčení při uvolnění volantu.
- Stáčivá rychlost při ustáleném zatačení.
- Citlivost na boční vítr.
- Boční zrychlení při brzdění.
- Stabilita jízdní soupravy.

Pro zvýšení reprodukovatelnosti lze užít místo řidiče „řídící stroj“.

Subjektivní hodnocení ovladatelnosti: toto hodnocení patří k nejstarším metodám. Kvalitativně hodnotí jízdní vlastnosti. Zkušební řidič projíždí vozidlem zadanou dráhu, přičemž vozidlo nesmí vybočit z dráhy vytyčené vodícími kužely. Ovladatelnost je hodnocena například podle rychlosti jízdy ale i dalších veličin. [4]

- Přetáčivost/nedotáčivost.
- Časová odezva na ovládací úkon (reakce).
- Věcná odezva na ovládací úkon (intenzita reakce).
- Operační stabilita (jde o posouzení kvality ovládání, např. změn výhledu nebo operačních dosahů, v souvislosti s dynamikou vozidla).
- Jiné.

Hodnocení může být provedeno:

- Alternativním způsobem (ano/ne; vyhovuje/nevyhovuje; dobré/špatné, ...).
- Bodovou stupnicí.
- Subjektivním posudkem.

Čisté subjektivní hodnocení: jízdní vlastnosti vozidla posuzuje pouze řidič. Metoda není založena na žádném objektivním měření, její reprodukovatelnost a přesnost je zcela omezena. Výsledkem může být opět slovní, bodové nebo subjektivně posudkové hodnocení. [2]

3.1 Metodiky zkoušek ovladatelnosti

Pomocí těchto zkoušek lze posoudit míru ovladatelnosti vozidla.

3.1.1 Objektívni zkoušky

Nejčastěji používané zkušební metody:

Brzdění při přímé jízdě (směrová stabilita): hodnoceným kritériem je vybočení vozidla způsobené brzdícím účinkem. Tato zkouška může být provedena jako jízdni, kdy se vozidlo pohybuje po vodící čáře nebo rovnoběžně s ní a hodnotí se vzdálenost po zabrzdění. Další způsob provedení je na válcové zkušební, kde jsou měřeny a hodnoceny brzdící síly jednotlivých kol. [4]

Brzdění při jízdě po kruhové dráze: hodnoceným kritériem je účinné zabrzdění, nevybočení z kruhového směru, otáčení kolem svislé osy a zda se budou kola odvalovat či smýkat. Zkouška probíhá jízdou po dané kruhové dráze, kde jsou sledovány veličiny: příčná a podélná rychlost a zrychlení, stáčivá rychlost a úhly směrových úchylek. [4]

Ustálená jízda po kruhové dráze: (tato jízda byla i součástí mého experimentu) hodnoceným kritériem je odezva vozidla na natočení volantu při jízdě konstantní rychlostí (jízda po kruhové dráze), která je dále navyšována do rychlosti, při které dojde ke ztrátě stability. Vznikající odstředivá síla způsobuje destabilizaci vozidla.

$$F_{OD} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (3-1)$$

Odstředivá síla je přímoúměrná součinu hmotnosti vozidla s kvadrátem rychlosti a nepřímo úměrná poloměru dráhy. Z výsledků jsme schopni stanovit, zda se vozidlo chová přetáčivě nebo nedotáčivě. Sledováno je boční zrychlení, úhel natočení volantu, úhel směrové výchyly podélné osy vozidla, úhly směrových úchylek přední a zadní nápravy, úhel naklonění karoserie, síla a moment na volantu. [4]

Přejezd nerovnosti při ustálené jízdě po kruhové dráze: hodnoceným kritériem je nestabilita vozidla ovlivněná silami přenesenými pneumatikou při přejetí překážky za jízdy konstantní rychlostí po kruhové dráze, která je dále navyšována do rychlosti, při které dojde ke ztrátě stability. Pokud nemá dojít ke ztrátě stability (neřízenému smyku), musí být v rovnováze odstředivá síla a síla přenášená pneumatikou. Sledováno je boční a svislé zrychlení, úhel natočení volantu, úhel směrové výchyly podélné osy vozidla, úhly směrových úchylek přední a zadní nápravy, úhel naklonění karoserie a síla na volantu. [4]

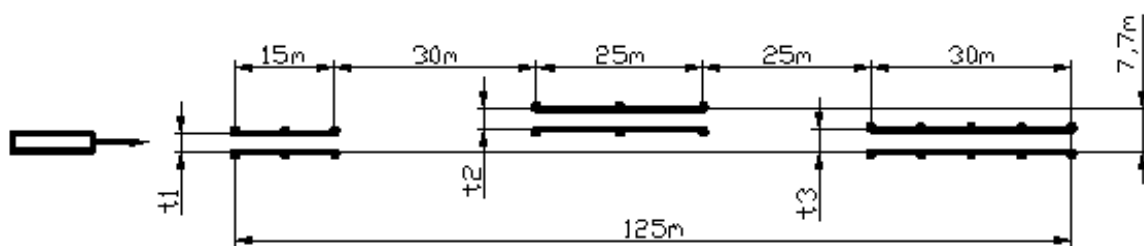
Změna zatížení motoru při ustálené jízdě po kruhové dráze: zde hodnotíme reakci vozidla na uvolnění či sešlápnutí akceleračního pedálu při jízdě konstantní rychlostí po kruhové dráze.

Při uvolnění akceleračního pedálu dochází zpravidla k vybočení směrem dovnitř kruhu. V případě sešlápnutí akceleračního pedálu, může dojít k vybočení ven, mimo kruh. Důležitým aspektem je pozice hnací nápravy, jež může zapříčinit opačný efekt chování vozidla. Stabilnější jsou ta vozidla, která mají nižší stáčivou rychlost při zrychlení či zpomalení. Sledováno je boční zrychlení, stáčivá úhlová rychlost, úhel natočení volantu, úhel směrové výchylky podélné osy vozidla a úhly směrových úchylek přední a zadní nápravy. [4]

3.1.2 Zkoušky dynamické říditelnosti

Tyto typy zkoušek slouží k hodnocení přechodového chování vozidla, vzniklého jako odezva na dynamické natočení volantu.

Impulsivní natočení volantu (bylo součástí mého experimentu). Mezi velmi často používané zkušební metody, z pohledu subjektivního zkoušení, patří vyhýbací manévr. Tato zkouška slouží k hodnocení chování vozidla při prudkém natočení volantu a znovunavrácení do původního směru. Na výsledek testu mají velký vliv řidičovy schopnosti. Vyhýbací manévr, nazývaný také „losím testem“, se blíží reálnému provozu a lze snadněji stanovit kritéria pro hodnocení chování vozidla, neboli čas potřebný k projetí zkušebního úseku s podmínkou neopuštění vytyčené zkušební dráhy. Navíc není ve většině případů nutné používat drahé měřicí zařízení. Z těchto důvodů je vyhýbací manévr jednou z nejpoužívanějších zkoušek ovladatelnosti.



Zdroj: [6]

Obrázek 8 Příklad zkušební dráhy "Vyhýbací manévr" dle ISO 3888.

Vozidlo projíždí zkušební úsek počáteční nízkou rychlostí, kterou při dalších průjezdech navyšuje, dokud nezačne srážet kužely naznačené v (Obrázek 8). Cílem je dosáhnout maximální rychlosti bez sražení kuželů. Test je potřeba vykonávat v dostatečně volném prostoru z hlediska bezpečnosti. Během zkoušky lze měnit či zachovávat polohu plynového pedálu. Pro úspěšné zhodnocení výsledků je nutné test několikrát opakovat, nejlépe jej provést i s větším počtem řidičů.

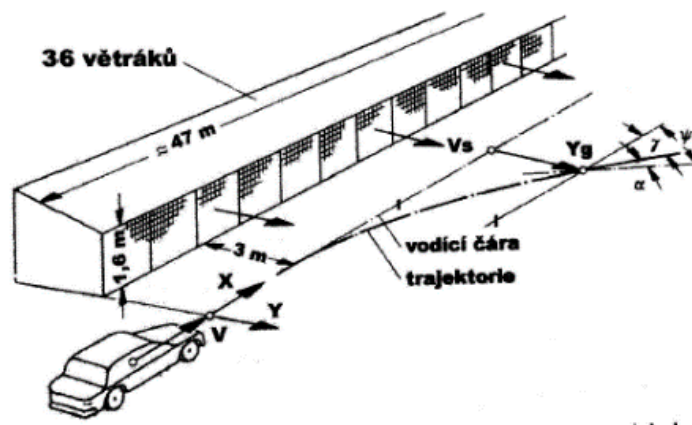
Skokové natočení volantu: vozidlo projíždí přímý úsek konstantní rychlostí a řidič skokově natočí volantem o předem známý úhel (značka, doraz na volantu). Natočení volantu musí být

provedeno s maximální razancí, má vytrvat na předepsané hodnotě několik sekund nebo do doby, než se ustálí sledované veličiny. Nesmí se měnit poloha plynového pedálu při případném klesání rychlosti vozidla. Amplituda úhlu natočení volantu musí být taková, aby při zvolené testovací rychlosti dávala předem stanovené příčné zrychlení. Celé měření musí být provedeno několikrát pro oba směry zatáčení. Sledovány jsou hodnoty: boční zrychlení, úhel natočení volantu, úhel natočení předních kol a stáčivá rychlost. [4]

Harmonické natáčení volantu: vozidlo projíždí přímý úsek konstantní rychlostí. Volantem střídavě vychylujeme vpravo a vlevo sinusovým průběhem určité frekvence a amplitudy. Reakce vozidla má taktéž sinusový průběh, ale s časovým posunem vůči budící frekvenci volantu. Sledovány jsou hodnoty: fázový úhel, frekvenční přenos, stáčivá rychlost a úhel natočení volantu. Tento test se často používá při zkouškách jízdních souprav, kde se sleduje úhel lomení soupravy. [4]

3.1.3 Citlivost na boční vítr

Zkouška slouží k hodnocení chování vozidla při prudkém nárazu bočního větru na speciální dráze, ke kterému v provozu dochází např. při předjíždění jiného vozidla nebo při výjezdu z chráněného úseku za působení bočního větru. Citlivost na boční vítr ovlivňuje nejvíce podélná poloha těžiště vozidla a jeho aerodynamický tvar. Hodnocena je vzdálenost vychýlení od přímé dráhy.



Zdroj: [4]

Obrázek 9 Zkouška citlivosti na boční vítr.

3.1.4 Zkoušky kloubových autobusů

Zkoušky jsou určeny k hodnocení chování vozidla složeného z více navzájem na sebe působících částí (kloubový autobus). K tomuto účelu se používají tři základní manévry: skokové natáčení volantu, jednoduchá změna jízdního pruhu a impulsní natočení volantu.

3.1.5 Čistě subjektivní hodnocení vozidel

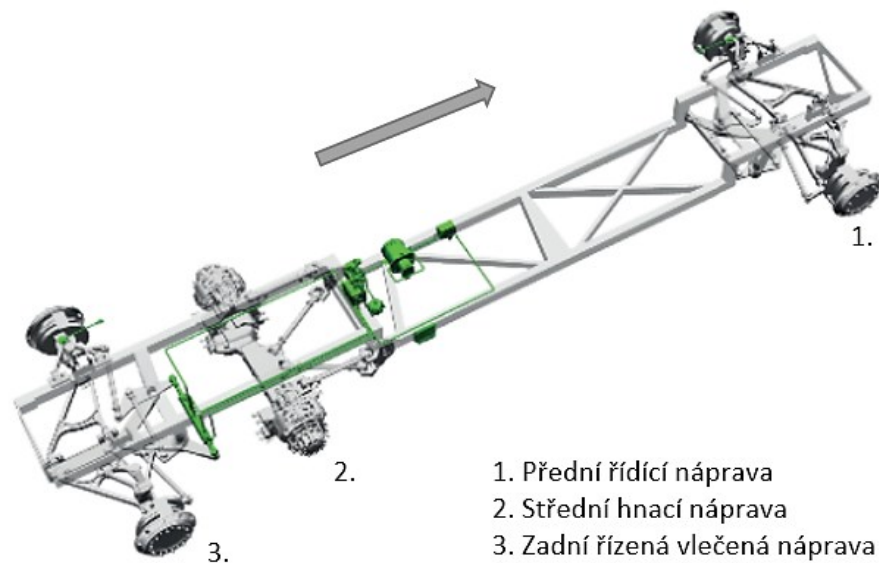
Zkoušky tohoto typu slouží k subjektivnímu kvalitativnímu hodnocení chování vozidla při provádění různých provozních manévru. Nejčastěji zkoušky probíhají v běžném provozu a také často podle vlastní představy zkušebního řidiče. Jedním z podkladů může být předpis Gosstandart Ruska 15471. Ten pomocí (Tabulka 4) o pětibodové stupnici může být zkušebnímu řidiči nápomocen k bodovému hodnocení daného vozidla. Ohodnocení nesmí být nižší, než předepsané hodnoty dle (Tabulka 5). Ohodnocení kteréhokoliv ukazatele známkou nižší, než 3,5 bodu vyžaduje, aby byla zkouška opakována ještě vícero zkušebními řidiči. Ohodnocení kteréhokoliv ukazatele známkou nižší, než je doporučená hodnota, je příznakem nevhodného chování vozidla. V tomto případě může být dovoleno provozovat vozidlo na pozemních komunikacích za podmínky, že bude omezena jeho maximální rychlost na hodnotu, která zajistí požadovanou úroveň bezpečnosti provozu. [5]

Zkušební řidič hodnotí chování vozidla při následujících manévrech:

- jízda v úseku napodobující horské podmínky (rychle po sobě následující levotočivé a pravotočivé zatáčky s malým poloměrem, suchý i mokrý povrch, maximální možná rychlost jízdy),
- rozjezd a brzdění při přímé jízdě (suchý i mokrý povrch),
- manévrování v omezeném prostoru rychlostí do 10 km/h s natáčením volantu z krajní levé do krajní pravé polohy a naopak,
- přímá jízda na vozovce se suchým a mokrým povrchem,
- zatáčení na vozovce s mokrým povrchem při akceleraci a brzdění,
- změna jízdního pruhu na vozovce s mokrým povrchem při akceleraci a brzdění,
- manévrování v podmínkách intenzivní městské dopravy

4 JÍZDNÍ ZKOUŠKY PRO OVĚŘENÍ STABILITY SILNIČNÍCH VOZIDEL

Objektem mého experimentu je třínápravový autobus, model Crossway Low Entry Line o délce 14,5 m (Příloha č. 1). Autobus díky třetí nápravě poskytuje nejen vyšší kapacitu pro cestující, ale i dobrou ovladatelnost, srovnatelnou s dvounápravovým vozidlem délky 13 m [10]. Vozidlo je vybaveno nesouhlasně aktivně řízenou třetí nápravou. Tato náprava je dvouokruhově řízena aktivním řídicím okruhem a pasivním centrovacím okruhem (pro případ výpadku aktivního okruhu). Tlakový olej od elektricky poháněného hydraulického čerpadla ovládá dvouokruhový ovládací válec, zajišťující natáčení vlečené třetí nápravy. Řízení je odvozeno od přední nápravy vozidla – od „úhlu natočení volantu“. Systém řízení s integrovaným elektrohydraulickým pohonem zabezpečuje dokonalou ovladatelnost vozidla, manévrovatelnost a nízké opotřebení pneumatik v plně automatickém režimu. Náprava je aktivně řízena při jízdě vpřed i vzad, a to v nízkém a středním rozmezí rychlostí. Ve vyšších rychlostech je řízená náprava uzamčena v přímém směru.



Zdroj: [12]

Obrázek 10 Elektrohydraulický systém řízení třetí nápravy.

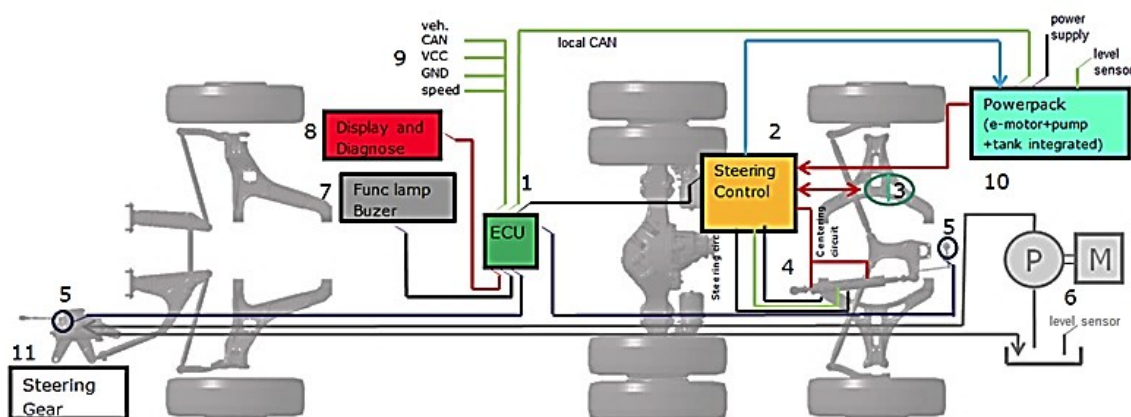
Dále budu používat názvosloví náprav jako: první; druhá; třetí, dle (Obrázek 10).

Řízení třetí nápravy

Systém řízení se skládá z elektrohydraulické a řídicí části. Elektrohydraulická část obsahuje elektromotor, hydraulické čerpadlo, rozvodné potrubí, rozvaděč k ovládání a centrování nápravy, ovládací válec, akumulátor obsahující plyn a olej, které od sebe odděluje membrána

pro udržení tlaku středícího obvodu. Řídící část se skládá ze snímače úhlu natočení volantu (je součástí výbavy vozidla), úhlového snímače namontovaného na řízené třetí nápravě, dvou snímačů tlaku (v pracovním a centrovacím okruhu), teplotního čidla a elektronické řídicí jednotky ECU. Tato jednotka obsahuje dva mikroprocesory pro řízení či centrování třetí nápravy. Je-li v systému řízení třetí nápravy zjištěna porucha, řidič obdrží varování. Řídící jednotka je naprogramována tak, aby ovládala chování řízení třetí nápravy ve vztahu k úhlu natočení přední nápravy a rychlosti vozidla. Maximální možný úhel natočení řízené třetí nápravy závisí na aplikaci v kombinaci s rychlostí jízdy. Během natočení kol první nápravy o $\pm 5^\circ$ (úhel na převodce řízení) není třetí náprava aktivní. Tato ztracená oblast pohybu je nutná, potlačuje nervozitu vozu při jízdě v přímém směru. Charakteristiky řízení třetí nápravy jsou vztaženy k rychlosti vozidla následovně:

- Při rychlostech do 25 km/h se řízená třetí náprava natáčí podle úhlu natočení první nápravy v plně závislém vztahu.
- Od 25 km/h do 45 km/h je maximální úhel natočení řízené třetí nápravy omezen nebo nulový.
- Při překonání rychlosti 45 km/h je třetí náprava vystředěna a hydraulicky zajištěna pomocí rozdělovače řízení, akumulátoru a válce řízení. Dále se již nenatáčí. [12]



Zdroj: [12]

1 - ECU – Elektronická řídicí jednotka; 2 - Rozvaděč řízení; 3 - Akumulátor tlaku středícího obvodu; 4 - Ovládací a centrovací válec; 5 - Úhel natočení přední nápravy; 6 - Hydraulické čerpadlo posilovače řízení vozidla; 7 - Kontrolka a bzučák na přístrojové desce; 8 - Diagnostická přípojka, displej; 9 - Komunikace s ostatními sběrníkovými systémy; 10 - Elektrohydraulické čerpadlo; 11 - Převodka řízení vozidla

Obrázek 11 Funkční schéma.

Funkce odlehčení třetí nápravy („Delestage“)

Na vozovkách s nízkou adhezí je možné zvýšit trakci druhé hnací nápravy jejím přitížením. To se děje díky odlehčení třetí nápravy za pomoci rozdělení tlaků pneumatického odpružení vozidla mezi druhou a třetí nápravou. Jednotka VBC nejprve přeruší pomocí ventilů tlakové propojovací hadice mezi vaky druhé a třetí nápravy, ve kterých je za běžného provozu stejný tlak, a poté pomocí dalších ventilů upustí do ovzduší část tlaku z vaků třetí nápravy. Díky tomu dojde k přenesení části zátěže ze třetí na druhou nápravu. Negativním jevem je mírný pokles vozidla, který je ale následně dorovnán systémem ELC na požadovanou úroveň.

Funkce odlehčení je dostupná pro rozjezd vozidla a jízdu při nízké rychlosti do 30 km/h. Je možné ji aktivovat pouze manuálně řidičem pomocí tlačítka na přístrojové desce, a to za stání, nebo při rychlostech do 30 km/h (standardně) s nutností zavření všech vstupních dveří. Řidič může odlehčení ukončit tlačítkem, případně se funkce automaticky deaktivuje při překročení rychlosti 30 km/h, nebo při poruše. Při deaktivaci odlehčení vozidlo opět mírně poklesne, ale systém ELC výšku vozidla následně dorovná na požadovanou úroveň.

Pokud dojde k překročení limitu zatížení druhé nápravy při aktivní funkci odlehčení třetí nápravy, je funkce odlehčení třetí nápravy automaticky deaktivována a zatížení se znovu přerozdělí mezi obě nápravy – ochrana proti přetížení druhé nápravy.

Ochrana proti přetížení třetí nápravy

Maximální povolené zatížení je 6,3 tun z důvodu pevnosti uchycení nápravy a dodržení mezní hodnoty předepsaného zatížení pneumatik. Monitorování zatížení řízené třetí nápravy je založeno na snímání tlaku ve vacích této nápravy. V případě detekce hmotnostního přetížení (6,3 tun = 6,2 bar ve vacích) elektricky ovládané ventily přeruší tlakové hadice mezi vaky druhé a třetí nápravy, další ventily upustí během 0,5 sekundy malou část tlaku z vaků třetí nápravy do atmosféry. Tím se přenesou část zátěže ze třetí nápravy na druhou. Po 10 sekundách dojde ke kontrole tlaku třetí nápravy a pokud překračuje 6,2 bar, opět dojde ke krátkému upuštění tlaku. Tato smyčka se opakuje až do dosažení tlaku $\leq 6,2$ bar. Přetížení třetí nápravy je řidiči na přístrojové desce signalizováno pomocí piktogramu. Po vyrovnání tlaků s následkem akceptovatelného zatížení třetí nápravy jsou funkce řízení a odlehčení zachovávány dle daných specifik. Ochrana proti přetížení je nadřazená funkci odlehčení z důvodu bezpečnosti provozu. Informace o hodnotách tlaků a jejich rozdílech jsou filtrovány a průměrovány po 5 sekundách, aby se zabránilo nestabilitě systému při krátkodobém propružení vozidla. Tlak ve vacích třetí nápravy je vždy roven nebo nižší, než ve vacích druhé nápravy.

4.1 Vlastní měření a jejich podmínky

Cílem experimentu bylo ověření požadavku navýšení rychlostního limitu odlehčení třetí nápravy tzv. „Delestage“. Předpokládalo se, že chování vozidla bude za takových podmínek nestabilní, tudíž bylo nutno provést ověření. Vozidla sériově vyrobená mají rychlostní limit pro funkci odlehčení třetí nápravy nastaven na hodnotu 30 km/h, avšak požadováno bylo navýšení na 62 km/h. To bylo provedeno změnou interního parametru softwaru VBC. Současně však muselo dojít k navýšení rychlostního limitu ochrany (sledování) provozní výšky vozidla v jednotce ELC, jelikož provozní výška vozidla je nadřazeným parametrem funkce odlehčení třetí nápravy. V opačném případě by mohlo dojít ke stavu, kdy by zadní převis vozidla zůstal pod úrovní provozní výšky karoserie vozidla. Po aktivaci odlehčení nad rámec rychlostního limitu by mohlo docházet v reálných provozních podmínkách ke kontaktu rámu vozidla s vozovkou při přejezdu nerovností, zpomalovacích prahů atd. Právě na tuto problematiku jsem se také ve svém experimentu zaměřil a to formou subjektivního hodnocení.

4.1.1 Navržení experimentů pro ověření ovladatelnosti vozidla

Ověřování zmíněných stavů jsem provedl v bývalém vojenském prostoru letiště Ralско v blízkosti města Mimoň, kde je dostatečně velká a bezpečná plocha k provedení experimentu. K prošetření zmíněných stavů byly navrženy tyto zkušební metody:

1) Ustálená jízda po kruhové dráze dle ISO 4138

Zkouška byla provedena na kruhové trase s konstantním poloměrem 30 m metodou postupného zrychlení. Vozidlo nejprve najelo na kruhovou dráhu a provedlo její opsání tak, aby ji bylo možno při spuštěném měření co nejpřesněji sledovat svou podélnou osou. S vozidlem se muselo zastavit tak, aby při následném velmi pomalém rozjezdu vozidlo opisovalo kruhovou dráhu bez potřeby korekce natočením volantů. Ustavily se přístroje (odečtení nuly úhlu natočení volantů apod.) a byl zahájen záznam měřených veličin. Následoval velmi pomalý plynulý rozjezd a urychlování vozidla na takový rychlostní stupeň, kterým bylo vozidlo schopno dosáhnout mezního stavu (vyjetí z dráhy nebo dosažení maximální rychlosti vozidla bez dalšího urychlování). Vozidlo muselo dosáhnout maximální možné hodnoty bočního zrychlení (mezního stavu) během 3 až 4 objezdů kruhové dráhy. Jízda byla provedena s aktivním a následně neaktivním odlehčením třetí nápravy v obou směrech.

2) Skokové natočení volantu

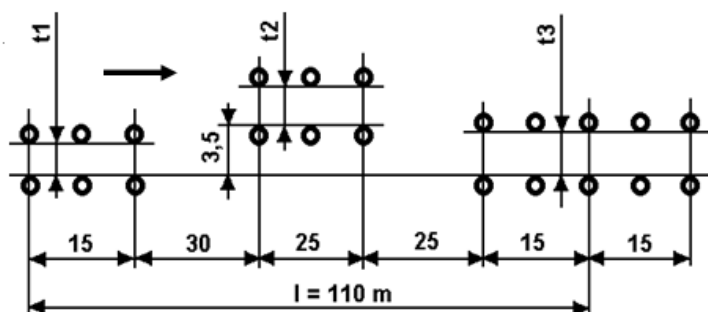
Postup byl následující. Pomocí elektronicky nastavené rychlosti vozidla aktivováním tempomatu na hodnotu rychlosti 60 km/h, se následně skokově natočilo volantem o více než 70 °. K manévru bylo využito celé šíře letištní plochy. Cílem bylo posoudit směrovou stabilitu vozidla s počátečními podmínkami:

- aktivní odlehčení třetí nápravy,
- bez odlehčení třetí nápravy,
- aktivováním odlehčení s následnou manuální deaktivací, provedenou řidičem pomocí tlačítka, krátce před zahájením natočení

3) Dvojitá změna jízdního pruhu (vyhýbací manévr) dle ISO 3833

Tentokrát jsem se nezaměřil na dosažení maximální rychlosti vozidla, dokud nedojde ke srážení kuželů vytyčeného úseku, ale pouze jsem ověřil, zda vozidlo může bezpečně projet vytyčeným úsekem uvedeným na (Obrázek 12) při konstantní rychlosti 60 km/h nastavené pomocí tempomatu, a to při podmínkách:

- s neaktivním odlehčením,
- s aktivním odlehčením,
- s manuálním deaktivováním odlehčení třetí nápravy řidičem, přibližně 60 m před vjezdem do vytyčeného úseku (6 sekund před zahájením manévrování) pro ověření rychlosti reakce systému ELC z hlediska poklesu/změny výšky pérování,
- s manuálním aktivováním odlehčení třetí nápravy řidičem, přibližně 60 m před vjezdem do vytyčeného úseku (6 sekund před zahájením manévrování) pro ověření rychlosti reakce systému ELC z hlediska poklesu/změny výšky pérování,



Směr pohybu, zleva doprava.

L – měřená část trajektorie

W – šířka vozidla [m] bez zpětných zrcátek (2,55m)

$$t1 = 1,1 \cdot w + 0,25m = 3\ 055\ m$$

$$t2 = 1,2 \cdot w + 0,25m = 3\ 310\ m$$

$$t3 = 1,3 \cdot w + 0,25m = 3\ 565\ m$$

Zdroj: [6]

Obrázek 12 Zkušební úsek vyhýbacího manévru dle ISO 3888.

4.1.2 Zatížení vozidla

Zatížení vozidla bylo provedeno takovým způsobem, aby bylo dosaženo co nejhoršího možného případu z hlediska stability, čemuž odpovídala částečná hmotnost vozidla 16 800 kg. Rozložení bylo provedeno následovně (Tabulka 1): co největší hmotnost v zadní části vozidla se snahou o dosažení největšího přípustného rozdílu mezi druhou a třetí nápravou a zároveň dodržení technického limitu zatížení druhé nápravy. Současné zachování nejnižší technicky dovolené hmotnosti přední nápravy. Přípustné procentuální rozložení aktuální celkové hmotnosti vozidla stanovené zákonným požadavkem podle předpisu R107 připadající na přední říditelnou nápravu nesmí poklesnout pod 25 % v případě vozidla s jednou říditelnou nápravou a 20 % u vozidla s dvěma říditelnými nápravami. V našem případě tedy 20 %. Dále pak zajištění nejvyšší možné polohy těžiště vozidla užitím a rozložením zátěže, jež negativně ovlivní stabilitu (Příloha č.: 2).

K zatížení zadní části vozidla bylo použito 25 plastových figurín naplněných vodou a upevněných k sedačkám cestujících (Obrázek 14). Hmotnost jedné figuríny se rovnala 75 kg. V přední části vozidla byly použity vaky s ocelovými broky položenými na podlaze. Hmotnost jednoho vaku odpovídala 25 kg (Obrázek 13).

Tabulka 1 Rozložení hmotnosti vozidla na jednotlivé nápravy

Zkoušená celková hmotnost vozidla: 16 800 kg		
Rozložení hmotnosti jednotlivých náprav při provozní výšce vozidla (bez odlehčení třetí nápravy)		
První (řídící) náprava	3940 + 240 kg	~ 25 % zkoušené hmotnosti vozidla
Druhá (hnací) náprava	7930 kg	~ 47 % zkoušené hmotnosti vozidla
Třetí (řízená) náprava	4690 kg	~ 28 % zkoušené hmotnosti vozidla
Rozložení hmotnosti jednotlivých náprav s aktivním odlehčením třetí nápravy		
První (řídící) náprava	3300 + 240 kg	~ 21 % zkoušené hmotnosti vozidla*
Druhá (hnací) náprava	11 410 kg	~ 68 % zkoušené hmotnosti vozidla
Třetí (řízená) náprava	1 850 kg	~ 11 % zkoušené hmotnosti vozidla

* odpovídá limitu 20 % dle předpisu R107, procentuální rozložení hmotnosti vozidla připadající na říditelnou nápravu – OK.



Obrázek 13 Umístění zátěže vpředu.



Obrázek 14 Umístění zátěže vzadu – figuríny.

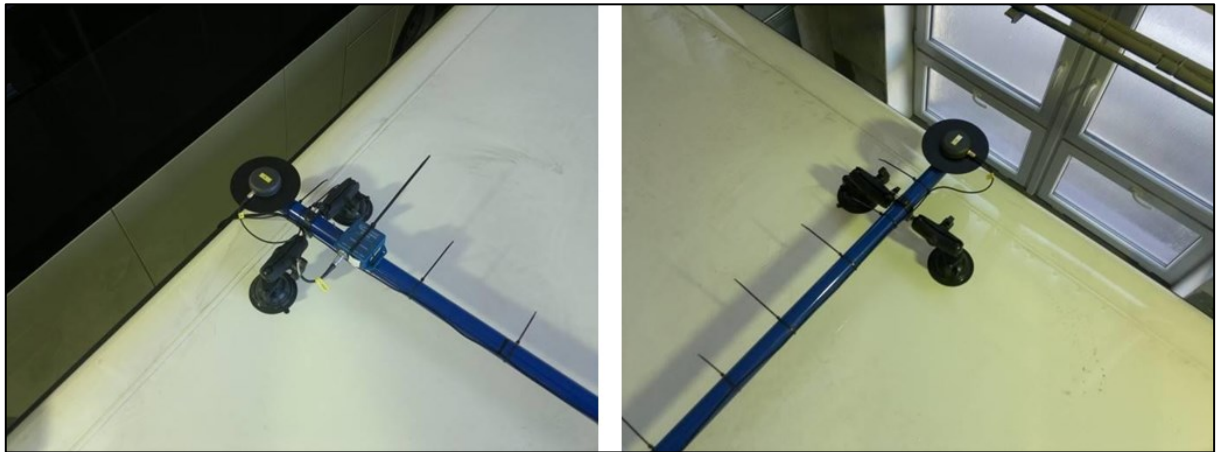
4.1.3 Použité měřicí zařízení a jeho umístění

K uskutečnění měření bylo použito měřicí zařízení zkušebního oddělení IVECO BUS. Kladná orientace všech měřených veličin byla zvolena při natočení vozem vlevo. Pro měření bylo využito mobilního osmikanálového analyzáru DEWESoft SIRIUSi s instalovaným měřícím softwarem DEWESoft X3. Zvolena byla vzorkovací frekvence 100 Hz. K monitorování a zaznamenávání dat vozidlové sběrnice CAN byl použit dvoukanálový vysokorychlostní interface DEWESoft DS-CAN2. Toto zařízení bylo současně využito pro záznam dat z Data Loggeru VBOX 3i pro sledování dynamiky vozidla v provedení s dvěma anténami, které byly od sebe vzdáleny 2500 mm a instalovány na spojovací tyč, příčně upevněnou na střeše vozidla a v podélné rovině odpovídající poloze těžiště vozidla. K dosažení vysoké přesnosti s měřicí frekvencí 100 Hz je zařízení schopno měřit polohu o přesnosti ± 2 cm díky příjmu signálů ze satelitů GPS a GLONASS. Dvojice antén má schopnost měřit úhel klonění, popřípadě klopení v závislosti na pozici instalace. Současně bylo použito inerciální jednotky VBOX

RLVBIMU04-V2. Ta poskytovala vysoce exaktní informace o podélné, příčné a stáčivé rychlosti, ale zároveň i zrychlení prostřednictvím tří akcelerometrů o vysokém stupni přesnosti, s rozlišením stáčivé rychlosti $0,0137$ [$^{\circ}/s$] a rozlišením zrychlení na $1,5$ mg. Zároveň poskytuje korektnější informace o úhlu klonění a klopení vozidla [$0,06^{\circ}$ (RMS)] díky třem integrovaným frekvenčním gyroskopům. [11] Pro získání informace o vjezdu vozidla do zkušebního úseku byl na pravý bok vozidla umístěn optoelektronický snímač SICK W12-3. Ten poskytl informaci o počátku vjezdu vozidla do sledovaného úseku, a to díky odrazu světelného paprsku od reflexní pásky umístěné na statickém sloupku na začátku úseku.

Během testování byl uvnitř vozidla přítomen řidič a já, jakožto zkušební technik.

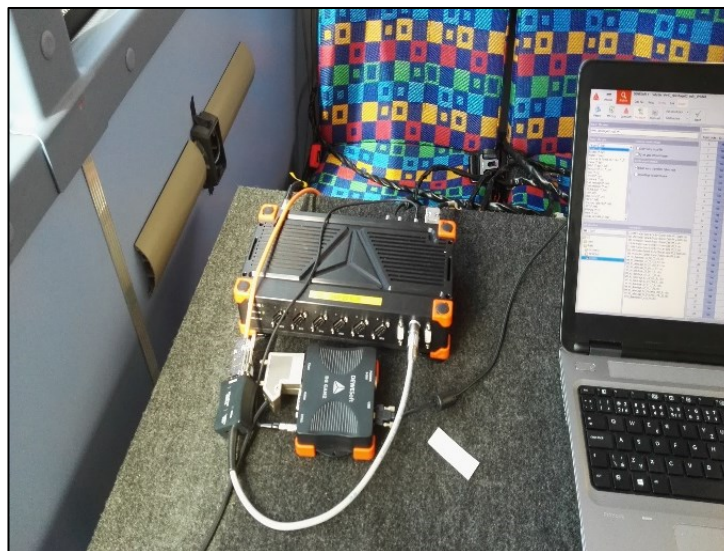
Výsledná naměřená data byla vyhodnocena softwarem FAMOS Professional 7.3, rev3.



Obrázek 15 GPS systém se dvěma anténami a inerciální jednotkou umístěnou na střeše vozidla.



Obrázek 16 Světelná závora na boku vozidla.



Obrázek 17 DEWESoft SIRIUSi a DS-CAN2.

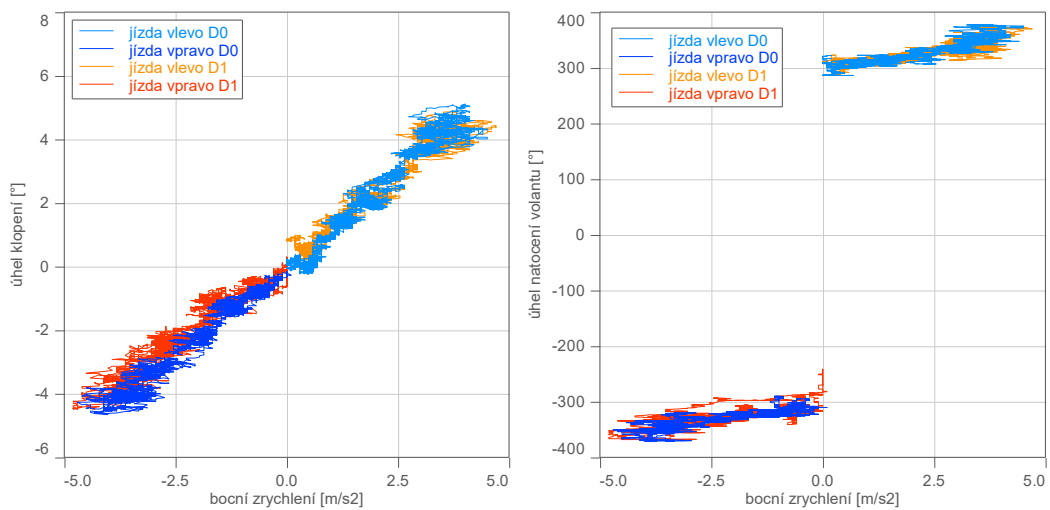


Obrázek 18 Testované vozidlo na letištní ploše Ralsko, vytyčený úsek pro vyhýbací manévr.

4.2 Výsledky ověření jízdní stability

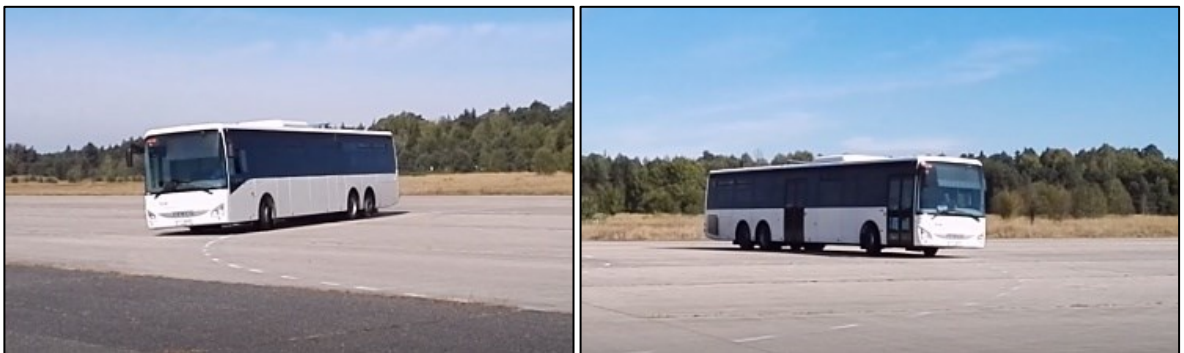
4.2.1 Ustálená jízda po kruhové dráze o poloměru 30 m

Při dosažení maximální rychlosti 40 km/h, kdy se aktivoval systém ESP a začal omezo-
vat moment motoru s následnou neschopností zrychlovat, vozidlo nevykazovalo žádnou zře-
telnou změnu směrové dynamiky, jak je zřejmé při porovnání jízd v (Obrázek 19). Charakte-
ristická nedotáčivost vozidla, četnější shluk barev na koncích křivek, zůstala zachovaná v obou
stavech třetí nápravy. Subjektivně nedošlo k žádnému neakceptovatelnému chování vozidla bě-
hem manévru.



Obrázek 19 Závislosti úhlu naklopení vozidla a úhlu natočení volantu s bočním zrychlením
(D0 – odlehčení třetí nápravy neaktivní; D1 – odlehčení třetí nápravy aktivní).

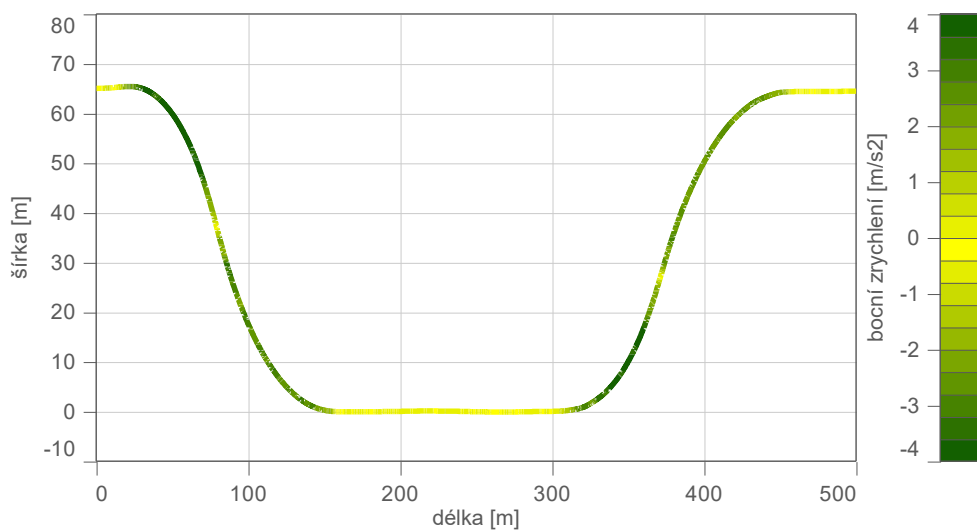
Aby byla řádně prověřena funkčnost systému ELC, rozšířil jsem následně testovací
scénář. V průběhu kruhové jízdy se aktivovalo odlehčení třetí nápravy s vědomím, že jednotka
ELC z důvodu velkého úhlu natočení volantu nesmí povolit změnu výšky vozidla. ELC obdr-
žela požadavek od VBC a zmírnila efekt poklesu zadní části vozu během aktivace odlehčení.



Obrázek 20 Vozidlo během jízdy po kruhové dráze.

4.2.2 Skokové natočení volantu při rychlosti 60 km/h

Při zkoušce skokového natočení volantu rovněž nedošlo k žádné významné změně. Směrové chování vozidla s aktivovanou nebo deaktivovanou funkcí odlehčení třetí nápravy zůstalo akceptovatelné. Krátce před zahájením manévru s aktivováním odlehčení nápravy systém VBC převzal kontrolu nad odlehčením v plném rozsahu a vozidlo se chovalo stabilně dle očekávání. V případě deaktivování odlehčení třetí nápravy tlačítkem u řidiče krátce před zahájením natočení se výška zádi měnila v přípustných mezích, nedostala se však do provozní výšky. Nicméně ihned po srovnání vozidla do přímého směru byla výška vyrovnána zásahem ELC logiky. Tento děj však negativně neovlivnil schopnost manévrovatelnosti vozidla.



Obrázek 21 Trajektorie vozidla při skokovém natočení volantu při rychlosti 60 km/h (dosahované hodnoty bočního zrychlení vozidla jsou popsány barevnou škálou).

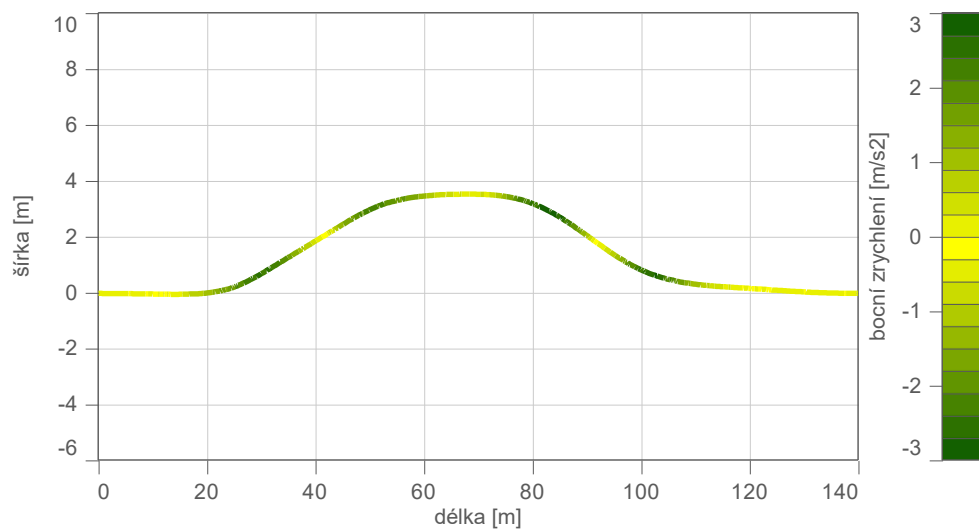
4.2.3 Dvojitá změna jízdního pruhu dle ISO 3888

Během „vyhýbacího manévru“ - dvojitě změny jízdního pruhu, řidič rozeznal odlišnosti mezi aktivním a neaktivním odlehčením třetí nápravy. Z (Obrázek 23) je tento rozdíl patrný. Při aktivní funkci odlehčení třetí nápravy bylo dosaženo menšího úhlu klopení vozidla na (Obrázek 23 vlevo), oproti tomu však většího rozsahu dráhy natočení volantu na (Obrázek 23 vpravo). Oba případy jsou znázorněny červenou křivkou. I přes tento fakt je vozidlo při rychlosti 60 km/h stále dobře ovladatelné.

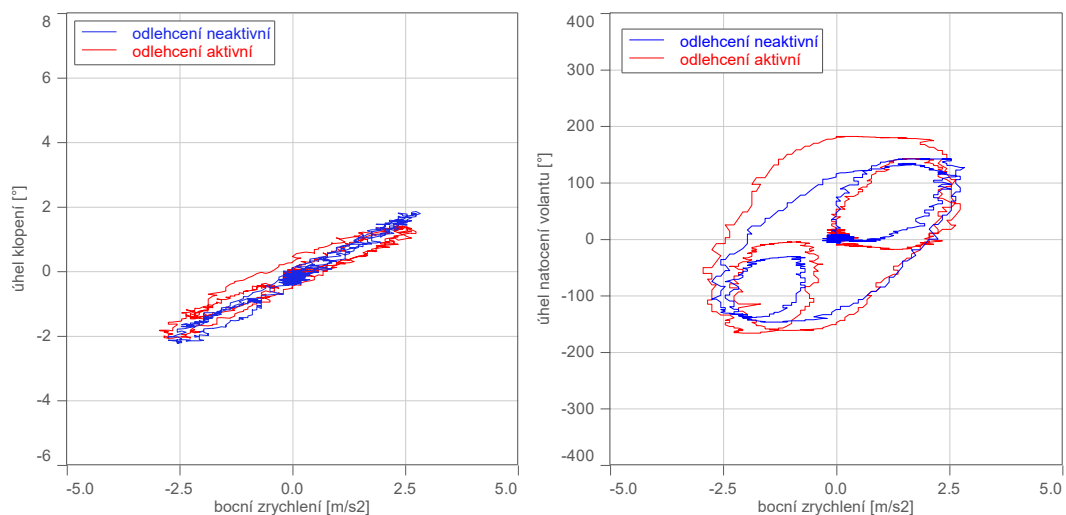
V případě jízdy, kdy řidič manuálně aktivoval/deaktivoval odlehčení před započatím manévru, vozidlo začalo odlehčovat/přítěžovat třetí nápravu obvyklým způsobem. Z (Obrázek 26 a Obrázek 27) je patrné rozdílné nastavení výšky odpružení přední a zadní části vozidla během jízdy úsekem a po výjezdu z úseku. Výsledná výška podvozku vozidla nebyla ideální,

a to hlavně v případě jízdy s deaktivováním odlehčení, před započítím úseku. Tuto skutečnost přisuzují reakční době systému ELC na velmi časově krátký přechodový stav. Na druhou stranu nedošlo k neakceptovatelnému poklesu zadního převisu vozidla. Po celou dobu manévrování byla výška zadního převisu vozidla na bezpečně vysoké úrovni.

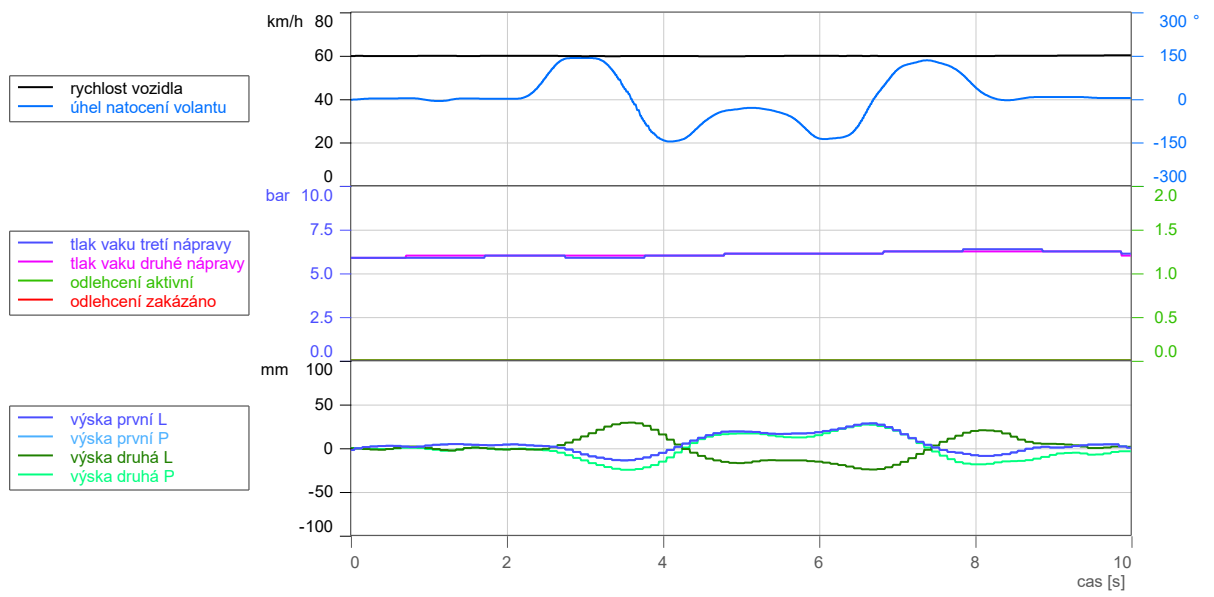
Podle mého názoru by nemělo dojít k ohrožení provozu na pozemních komunikacích přílišným vychýlením zadní části vozidla. A to z důvodu, že ani při jednom ze zkoušených stavů nebyl sražen kužel z dráhy zkušební úseku. Stejně tak nedošlo ke smýknutí jediného z kol náprav vozidla.



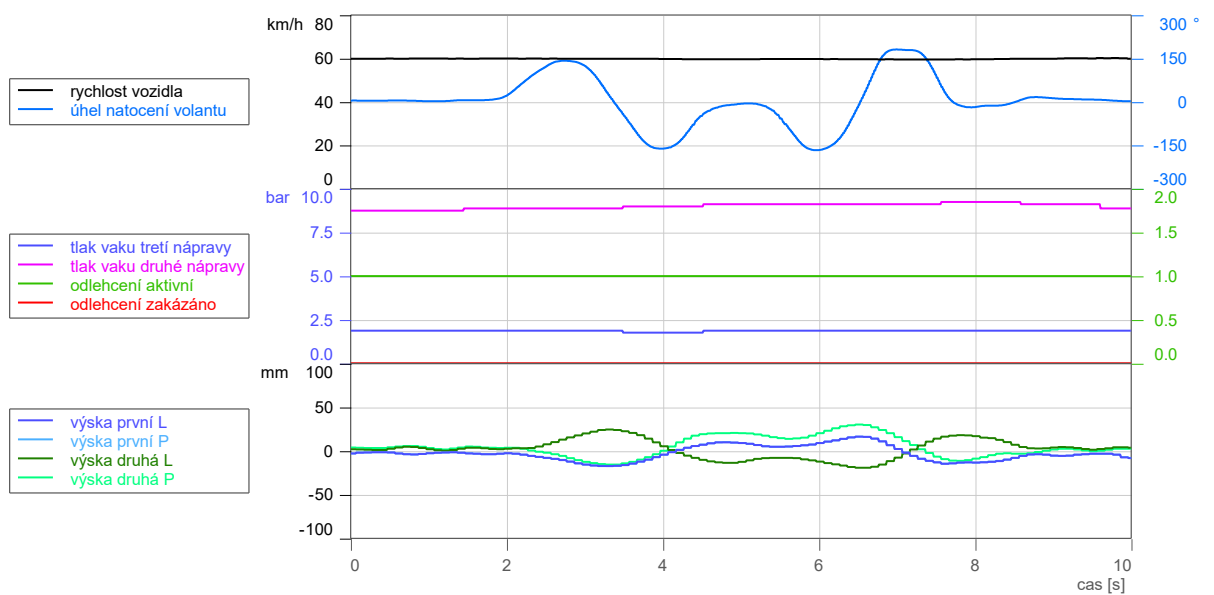
Obrázek 22 Trajektorie vozidla při dvojité změně jízdního pruhu (dosahované hodnoty bočního zrychlení vozidla jsou popsány barevnou škálou).



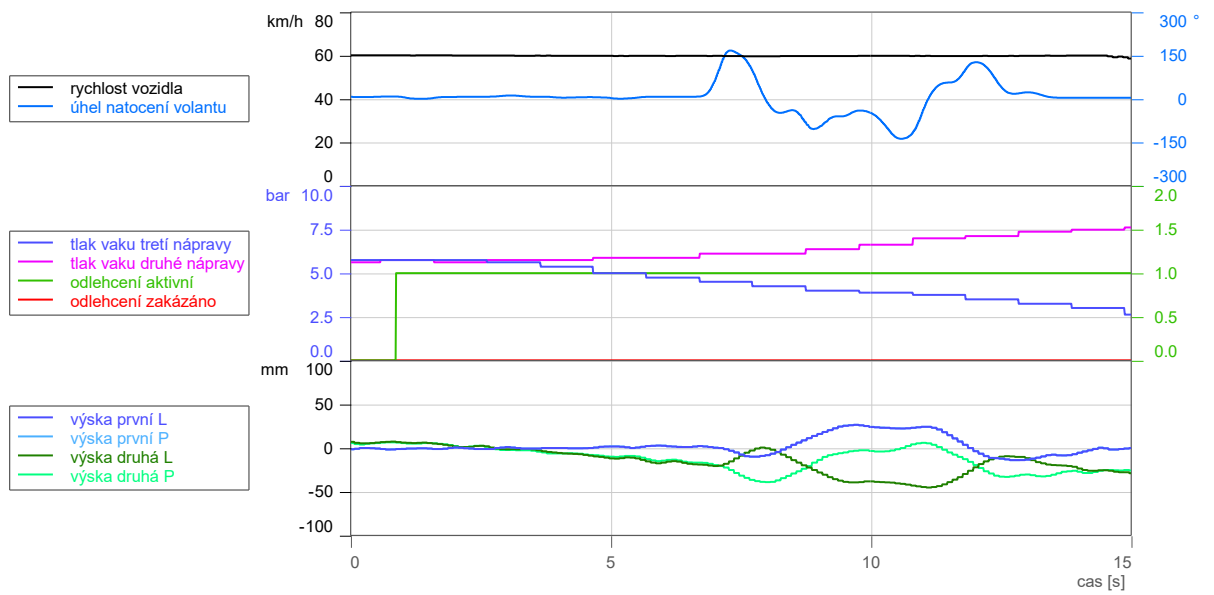
Obrázek 23 Úhel klopení vozidla a úhel natočení volantu v závislosti na bočním zrychlení vozidla.



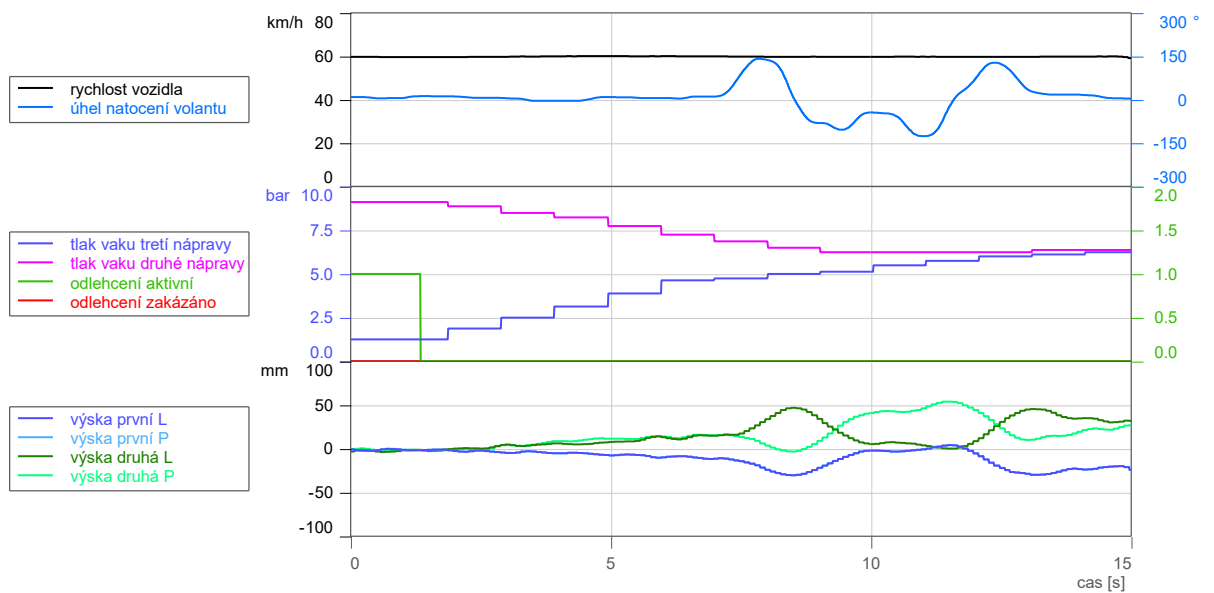
Obrázek 24 Průběh vyhýbacího manévru s neaktivním odlehčením.



Obrázek 25 Průběh vyhýbacího manévru s aktivním odlehčením.



Obrázek 26 Průběh vyhýbacího manévru, aktivace odlehčení před započítím manévru.



Obrázek 27 Průběh vyhýbacího manévru, deaktivace odlehčení před započítím manévru.

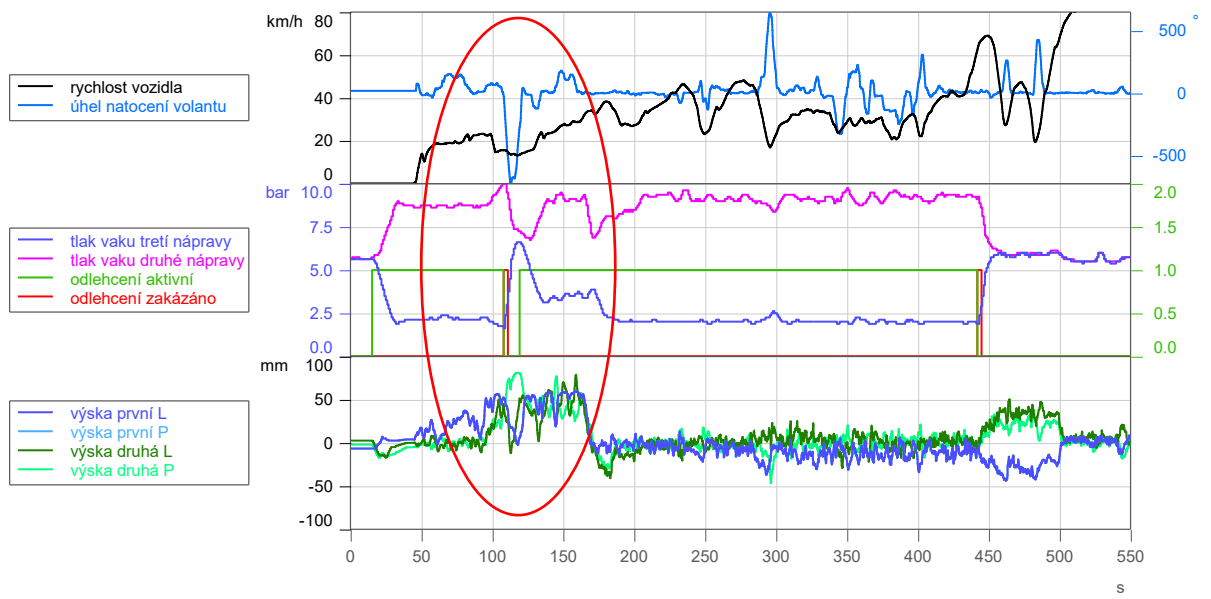
5 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ ŘIDIČŮ VE VZTAHU K EXPERIMENTÁLNĚ NAMĚŘENÝM HODNOTÁM PŘI BĚŽNÉ JÍZDĚ V PROVOZU

Jak jsem se již zmínil, pro dokonalejší ohodnocení chování vozidla po aktivaci odlehčení třetí nápravy při vyšší rychlosti vozidla v reálném provozu bylo na regionálních silnicích provedeno subjektivní hodnocení chování vozidla i po aktivaci funkce odlehčení „delestage“ a to ve stejném provozním stavu (o stejné hmotnosti, poloze těžiště, ...) jako v předešlých testech. Chování vozidla bylo prověřováno hlavně na výjezdech z kruhových objezdů a na vozovce s výrazným klesáním nebo stoupáním. Během těchto zmíněných případů se vozidlo nedostalo do žádného neakceptovatelného stavu. Ovladatelnost, manévrovatelnost, a především bezpečnost provozu vozidla zůstala zachována.

Velmi zajímavé mi přišlo ověřit chování vozidla při jízdě po pozemní komunikaci odpovídající horskému charakteru, tedy vozovce složené ze zatáček, které se otáčejí o 160 a více stupňů, tzv. „serpentin“. Jako reprezentativní příklad takové situace, bylo využito vozovky č. 30523 z obce Stradouň do obce Vraclav. Délka úseku byla 650 m a převýšení zhruba 51 m. Jízda obsahovala dvě levotočivé zatáčky a jednu extrémní pravotočivou, se změnou směru jízdy o více jak 130 °. Jízda proběhla následovně: řidič aktivoval odlehčení třetí nápravy před zahájením jízdy. Po projetí první levotočivé zatáčky stiskl řidič z bezpečnostních důvodů tlačítko s požadavkem na zvýšení výšky podvozku. Došlo k zvýšení celého podvozku vozidla do maximální možné úrovně. Cílem bylo zabránění kontaktu vozidla s povrchem vozovky. Následně během průjezdu pravotočivou zatáčkou ve zvýšené poloze vozidlo zaznamenalo přetížení druhé nápravy a odlehčení třetí nápravy se automaticky deaktivovalo. Výška podvozku se nezměnila. Vše je vyznačeno červeně na (Obrázek 28). Při výjezdu ze zatáčky řidič opět aktivoval odlehčení a následně při překročení rychlosti 62 km/h došlo k deaktivaci odlehčení a vyrovnání výšky podvozku vozidla.

Z chování vyplývá, že při detekci přetížení druhé nápravy a následné automatické deaktivaci odlehčení třetí nápravy, vozidlo zůstalo stále v požadované výšce pérování. To zachovalo bezpečné projetí zatáčkou bez následku poškození. K vyrovnání výšky na provozní úroveň došlo dle předpokladu logikou ELC.

Celý průběh jízdy je znázorněn na (Obrázek 28).



Obrázek 28 Průběh jízdy Stradouň-Vraclav, záznam chování vozidla.

6 ZÁVĚR

Úlohou mé práce bylo prověřit ovladatelnost třinápravového autobusu složeného z jedné části. Hlavní řídicí nápravy, hnací nápravy a aktivní vlečené řízené nápravy. Snížením tlaku ve vacích vzduchové soustavy pérování řízené třetí nápravy je možné zvýšit celkovou trakci vozidla přitížením druhé hnací nápravy. Zmíněné odlehčení lze standardně aktivovat pouze manuálně řidičem, a to do rychlosti 30 km/h. Po přesáhnutí této rychlosti se odlehčení automaticky deaktivuje. Tento standard byl však požadován navýšit na hodnotu 62 km/h. Na základě změny rychlosti vzniklo mnoho otázek k zamýšlení o možném dopadu na chování vozidla, tudíž bylo nutné ověření.

Z provedeného experimentu jsem zjistil, že zvýšením rychlostního limitu pro odlehčení třetí nápravy ze současných 30 km/h na 62 km/h (změnou interního parametru v softwaru VBC), nevzniká významné riziko pro bezpečný provoz vozidla. Jediný způsob, jak tuto funkci aktivovat, je pomocí tlačítka na přístrojové desce, takže případná dočasná změna (přechodový stav) chování vozidla je řidičem vyvolána vědomě.

Otázkou ještě zůstává, jak by se vozidlo chovalo na vozovce s nízkou adhezí. To však nebylo možné ověřit z důvodu nedostačujících klimatických podmínek. Na druhou stranu by měl systém ESP zmírnit případné riziko smyku vozidla.

Odlehčení třetí nápravy prodlužuje převis zadní části vozidla. Zároveň dochází k odlehčení přední nápravy z 25 % na 21 % a omezuje tak její přilnavost. Vozidla schválená pro provoz na pozemních komunikacích musí dodržet limit hmotnostního zatížení 25 % ve prospěch přední nápravy. Existuje výjimka z tohoto pravidla, pokud jsou dvě ze tří náprav říditelné (což je náš případ), přední náprava musí být zatížena alespoň 20% hmotností vozidla.

V neposlední řadě, spolu s navýšením rychlosti odlehčení třetí nápravy, musí být také zvýšen rychlostní limit pro změnu výšky pérování vozidla. Jednotka ELC musí být nastavena na hodnotu 65 km/h, aby byla zajištěna správná úroveň výšky pérování vozidla po aktivaci odlehčení.

Závěrem bych chtěl říci, že jsem si tímto experimentem doplnil nespočet dalších znalostí a představ z teorie pohybu vozidla, které mi mohou být užitečné do budoucna. Zároveň jsem se více seznámil s vozidlem a pochopil možnosti využití třetí nápravy, a to nejen v autobusovém sektoru.

POUŽITÁ LITERATURA

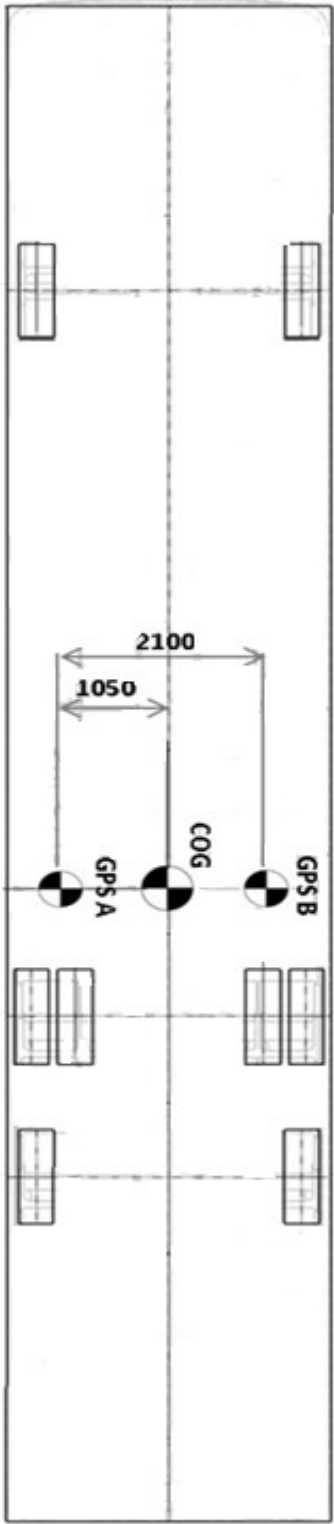
- [1] VALA, Miroslav, TESAŘ, Miroslav, 2003. Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-7194-503-X.
- [2] VLK, František, 2001. Zkoušení a diagnostika vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. ISBN 80-238-6573-0.
- [3] VLK, František, 2001. Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. ISBN 80-238-5273-6.
- [4] FIRST, Jiří a kol., 2008. Zkoušení automobilů a motocyklů. Příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ s.r.o. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [5] Gosstandart Ruska 15471 – Ovladatelnost a stabilita dopravních prostředků – návrh normy
- [6] ISO 3888/1994 – Passenger cars – Test procedure for severe lane-change manoeuvre
- [7] ŽÁKOVÁ Monika. Vliv řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru. V Pardubicích 2009. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pokorný.
- [8] BUDKA Josef. Simulace zkoušky stability vozidla. V Praze 2016. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří First.
- [9] Směrové řízení vozidla, [online]. 2019 [cit. 2019-03-16] Dostupné z: <https://docplayer.cz/334958-Smerove-rizeni-vozidla-ing-pavel-brabec-ph-d-ing-robert-vozenilek-ph-d>
- [10] Iveco Czech Republic, [online]. 2019 [cit. 2019-03-16] Dostupné z: <https://www.ivecocr.cz/data/files/filemanager/372/crossway-low-entry-cs-1172.pdf>
- [11] VBOX AUTOMOTIVE Products [online]. 2019 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vbox-3i-dual-antenna>
- [12] ELECTRONIC STEERING SYSTEM FOR BUSES [online]. 2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.v-s-e.com/bussen/electronic-steering-system-for-buses>

PŘÍLOHY

Příloha A – ROZMĚRY VOZIDLA.....	51
Příloha B – POLOHA TĚŽIŠTĚ VOZIDLA (COG)	52
Příloha C - GOSSTANDART RUSKA 15471	53

PŘÍLOHA A – ROZMĚRY VOZIDLA

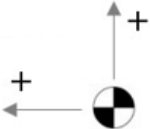
Tabulka 2 Rozměry vozidla

 <p>The diagram shows a top-down view of a vehicle chassis. A vertical dashed line represents the centerline. Two GPS units, labeled 'GPS A' and 'GPS B', are positioned on the centerline. A 'COG' (Center of Gravity) symbol is also on the centerline. Two horizontal dimension lines are shown: one spanning 2100 mm between two vertical lines, and another spanning 1050 mm from the centerline to the left vertical line. Various rectangular components are distributed symmetrically on both sides of the centerline.</p>	<p>Délka vozidla: 14 490 mm</p> <p>Šířka vozidla: 2 550 mm</p> <p>Výška vozidla: 3 210 mm</p> <p>Rozvor vozidla: 1.-2. náprava: 6 945 mm 2.-3. náprava: 1 530 mm</p> <p>Rozchod pneumatik: 1. a 3. náprava: 2 087 mm 2. náprava: 2 158 mm vnitřní kola 2. nápravy: 1 472 mm</p> <p>Převis vozidla: Přední: 2 723 mm Zadní: 3 292 mm</p> <p>Provozní hmotnost vozidla: 13 670 kg</p>
--	--

Obrázek 29 Rozměry vozidla

PŘÍLOHA B – POLOHA TĚŽIŠTĚ VOZIDLA (COG)

Tabulka 3 Poloha těžiště vozidla (COG)

Výška těžiště v provozní hmotnosti vozidla (13 670 kg): 1 080 mm		
Výška těžiště v částečném zatížení vozidla (17 000 kg): 1 186 mm		
	Podélná poloha [mm] vůči anténě GPS A	Příčná poloha [mm] vůči anténě GPS A
Těžiště vozidla	+0	+1 050
Přední levé kolo 1. nápravy	+5 720	+7
Přední pravé kolo 1. nápravy	+5 720	+2 094
Levé vnější kolo 2. nápravy	-1 255	-29
Levé kolo 3. vlečené nápravy	-2 755	+7

PŘÍLOHA C – GOSSTANDART RUSKA 15471

Tabulka 4 Stupnice bodového hodnocení ovladatelnosti a stability vozidel

Slovní ohodnocení	Bodová stupnice
výborná, zlepšení není nutné	5
mezi dobrá a výborná	4,5
dobrá, zlepšení je žádoucí	4
mezi průměrná a dobrá	3,5
průměrná, zlepšení je nutné	3
mezi průměrná a špatná	2,5
špatná	2
velmi špatná	1

Tabulka 5 Doporučené hodnoty bodového hodnocení vozidel.

Ukazatele	Bodové hodnocení pro jednotlivé kategorie vozidel								
	M1	M1*	M1 + O	M2	M3	N1	N2	N3	N2(3) + O3(4)
dodržování trajektorie a směru	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
stabilita trajektorie	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
stabilita směru	4,5	4,0	4,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	3,5
odolnost proti převrnutí	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0
ovládání rychlosti	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
ovládání zpomalení	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5
dodržování trajektorie při brzdění	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5
dodržování směru při brzdění	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5
manévrování v omezeném prostoru	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5

* automobily zvýšené průchodnosti.