VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL
DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND VEHICLE ASSESSMENT

VLIV ZATÍŽENÍ PŘÍPOJNÝCH VOZIDEL NA JÍZDNÍ VLASTNOSTI SOUPRAVY
INFLUENCE OF TRAILERS LOAD ON DRIVING PROPERTIES OF TRAIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Monika Pečová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Michal Belák, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ | ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Studentka:	**Bc. Monika Pečová**
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Michal Belák, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22
Ústav:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem '

Vliv zatížení přípojných vozidel na jízdní vlastnosti soupravy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat analýzou vlivu přípojného vozidla a jeho zatížení (umístění nákladu) na dynamiku jízdní soupravy (např. při akceleraci, brzdění atd.) Jízdní zkoušky se mohou týkat jak souprav osobního vozidla s přívěsem, tak nákladních návěsových souprav aj.

Cíle diplomové práce:

Mezi cíle práce bude patřit důkladná rešerše současného stavu poznání dané problematiky.
V dalším student na základě získaných vědomostí navrhne vhodný způsob měření a vyhodnocení dat , tak aby získaná data bylo možné dostatečně kvalitně vyhodnotit a porovnat. Takto získána data pak budou analyzována a vhodným způsobem srovnána a prezentována.

Seznam doporučené literatury:

[1] BRADÁČ, Albert a kol.: Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM Brno, 1999, 725s, ISBN 80-7204-133-9

[2] VLK, František. Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory : hnací charakteristika : brzdění : odpruženost : řiditelnost, ovladatelnost : stabilita. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

.....	.....
doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D. vedoucí odboru	prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M. ředitel

Abstrakt

Tato diplomová práce popisuje chování jízdních souprav a to především návěsového typu při prázdném a naloženém stavu. V této práci jsou kromě základních konstrukčních rozdílů jízdních souprav uvedeny mj. vlivy působení bočního větru, vlastnosti pneumatik a důležitost umístění těžiště soustavy a volba typu nápravy na směrovou dynamiku.

Abstract

This diploma thesis describes the behavior combination of vehicles, especially the semitrailer type when empty and loaded. In addition to the basic design differences of vehicle combinations this work presents the effects of crosswinds, tire properties and the importance of the center of gravity of the system and choice of axle type for directional dynamics.

Klíčová slova

přívěs, návěs, tahač, jízdní soupravy, analýza, zatížení, hmotnost, dynamika, brzdění, brzdná dráha, testování

Keywords

trailer, semitrailer, truck, combination of vehicles, analysis, load, mass, dynamics, braking, braking distance, testing

Bibliografická citace

PEČOVÁ, Monika. *Vliv zatížení přípojných vozidel na jízdní vlastnosti soupravy* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127961. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Michal Belák.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Vliv zatížení přípojných vozidel na jízdní vlastnosti soupravy jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského 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, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně ……

……

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalovi Belákovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Za podporu v průběhu celého studia děkuji také své rodině a přátelům.

OBSAH

OBSAH 13
1 ÚVOD 15
2 POJEM JÍZDNÍ SOUPRAVA 16
2.1 Přívěs 16
2.1.1 Točnicový přívěs 16
2.1.2 Tandemový přívěs 17
2.1.3 Připojení oje 17
2.1.4 Systémy zkrácené oje 17
2.2 Návěs 18
2.2.1 Valníkový návěs 20
2.2.2 Skříňový návěs 20
2.2.3 Sklápěcí návěs 20
2.2.4 Podvalníky 20
2.2.5 Speciální návěsy 20
3 HMOTNOSTNÍ KRITÉRIUM 21
4 ZÁKONEM STANOVENÉ MAXIMÁLNÍ ROZMĚRY JÍZDNÍCH SOUPRAV 23
5 JÍZDNÍ SOUPRAVY Z HLEDISKA PŮSOBENÍ BRZDNÝCH SIL 24
5.1 Samostatné vozidlo 24
5.2 Přívěsová souprava 24
5.3 Návěsová jízdní souprava 25
6 BRZDOVÁ SOUSTAVA 26
6.1 Koncepce brzdových soustav tažného a přípojného vozidla 26
6.1.1 Konvenční brzdové soustavy 26
6.1.2 Elektronické brzdové systémy (EBS) 27
7 ROZDĚLENÍ BRZDNÝCH SIL 28
7.1 Proměnné rozdělování brzdných sil na nápravy při provozním brzdění 29
7.1.1 Omezovač brzdného tlaku 29
7.1.2 Rozdělovač brzdného tlaku 29
7.1.3 Zátěžový regulátor 30
7.2 Protiblokovací systém ABS 30
7.3 Systém ESP 31
8 SOUČINITEL ADHEZE 32
8.1 Vlastnosti povrchu vozovky 32
8.2 Vliv vlastností pneumatik 32
9 SMĚROVÁ DYNAMIKA 34
9.1 Směrové vlastnosti pneumatiky 36
9.2 Typy náprav a jejich chování 36

9.3 Vliv polohy těžiště 39
9.4 Odpor vzduchu a boční vítr 39
10 UŽÍVÁNÍ JÍZDNÍCH SOUPRAV 41
10.1 Zatáčení a couvání návěsové soupravy 42
10.2 Zatáčení a couvání přívěsové soupravy 43
11 VÝSLEDKY VÝZKUMŮ A TESTŮ 44
12 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ 48
13 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ 49
14 VLASTNÍ ŘEŠENÍ 50
14.1 Příprava jízdních zkoušek 51
14.1.1 Kontrola stavu členů návěsové jízdní soupravy 52
14.1.2 Materiál určený pro zatížení jízdní soupravy 53
14.1.3 Vážení jízdní soupravy 53
14.1.4 Zkušební dráha 54
14.1.5 Seznámení řidiče s cílem měření 55
14.1.6 Instalace akcelerometru do vozidla a provedení zkušební jízdy 56
14.2 Vlastní brzdné jízdní zkoušky 57
14.2.1 Prázdný a maximálně naložený návěs 57
14.2.2 Mezihodnoty naložení návěsu 59
15 VÝSLEDKY MĚŘENÍ 61
16 ANALÝZA DAT 63
17 SUMARIZACE A VYHODNOCENÍ 64
18 ZÁVĚR 65
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 66
SEZNAM TABULEK 68
SEZNAM GRAFŮ 68
SEZNAM OBRÁZKŮ 68
SEZNAM PŘÍLOH 70

1 ÚVOD

Dnes je čím dál tím častěji pokládána otázka, jak přepravit za co nejkratší dobu, co možná nejvíce materiálu. A to nejen v motorizovaném světě. Všemožnými rudly, vozíky, bryčkami, přívěsy, karavany, návěsy apod. se snažíme o optimalizování procesů - jejich zjednodušení a zrychlení. Je však důležité, aby nejen nakládku a vykládku onoho přepravovaného materiálu prováděli profesionálové, ale aby i na samotné trase byla zajištěna maximální bezpečnost.

Tato diplomová práce se zaměřuje na popis jízdy s jízdní soupravou, neboť tento způsob přepravy je hojně využíván. Mj. bude uvedeno nejen názvosloví týkající se tohoto odvětví, ale také stručný popis přívěsů a návěsů. Teoretická část se zabývá způsobem jízdy, směrovou dynamikou a brzdovou soustavou, na což navazuje praktická část, která jízdními zkouškami stanovuje délku brzdných drah návěsové jízdní soupravy tahače MAN a návěsu Panav. Tyto zkoušky doprovázely značné přípravy, které probíhaly především v areálu firmy EMPEC s.r.o., která vozidlo pro tyto účely zapůjčila. S přístroji XL Meter poskytnutými Ústavem soudního inženýrství v Brně pak následně v průmyslovém areálu města Bruntál podstoupila návěsová jízdní souprava měřené brzdné jízdy. Získané naměřené hodnoty z jednotlivých jízd jsou sepsány v závěru této práce.

2 POJEM JÍZDNÍ SOUPRAVA

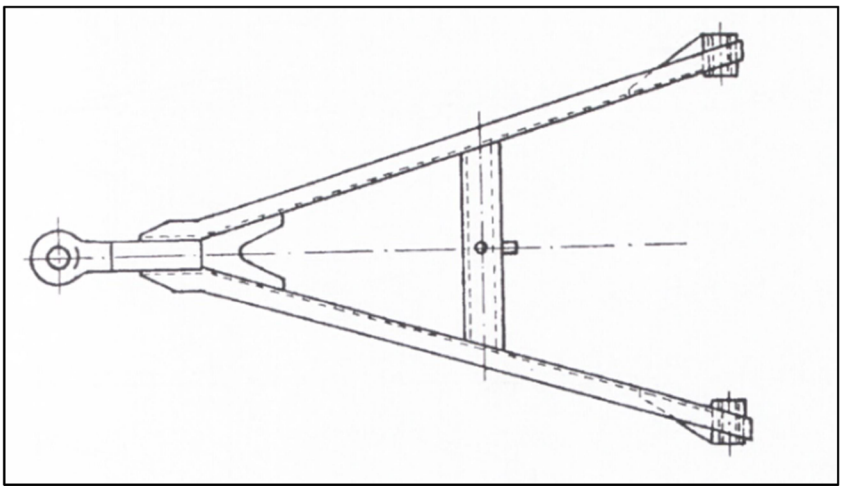
Zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích popisuje přípojné vozidlo jako silniční nemotorové vozidlo určené k tažení jiným vozidlem, s nímž je spojeno do soupravy. Je třeba upozornit na to, že jízdní soupravu může tvořit jedno nebo více motorových vozidel a jedno nebo více přípojných vozidel, což je skupina, která se dále dělí na přívěsy a návěsy. [1]

2.1 PŘÍVĚS

Nákladní přívěs je určen k provozu na pozemních komunikacích, používaný pro přepravu nákladu. Nemá vlastní zdroj pohonu a zpravidla ani vlastní hnací ústrojí, přičemž je určen k zavěšení za tažné vozidlo, na které přenáší nepatrnou část svoji hmotnosti. Náklad zatěžuje nápravy samotného přívěsu a na vozidlo, především oj, jenž přívěs táhne, působí pouze tahová síla. Tažný člen přívěsu je bezesporu stěžejní částí těchto typů vozidel a může být v mnohých konstrukčních provedeních, přičemž se rozlišily dva základní typy: klasická a tandemová (tuhá) oj. [2]

2.1.1 Točnicový přívěs

Jedním ze znaků tohoto přívěsu je rozložení náprav. Umístění náprav vpředu a vzadu má určitou výhodu ve stabilitě vozidla, naopak to však vyvolává větší ohybové momenty v rámu podvozku. Tyto typy přívěsů jsou řízeny tažnou ojí, díky níž se natáčí celá přední náprava, ta je společně s točnicovým řízením a odpružením připevněna na otočném podvozku. [2]



Obr. č. 1 – Oj přívěsu. [2]

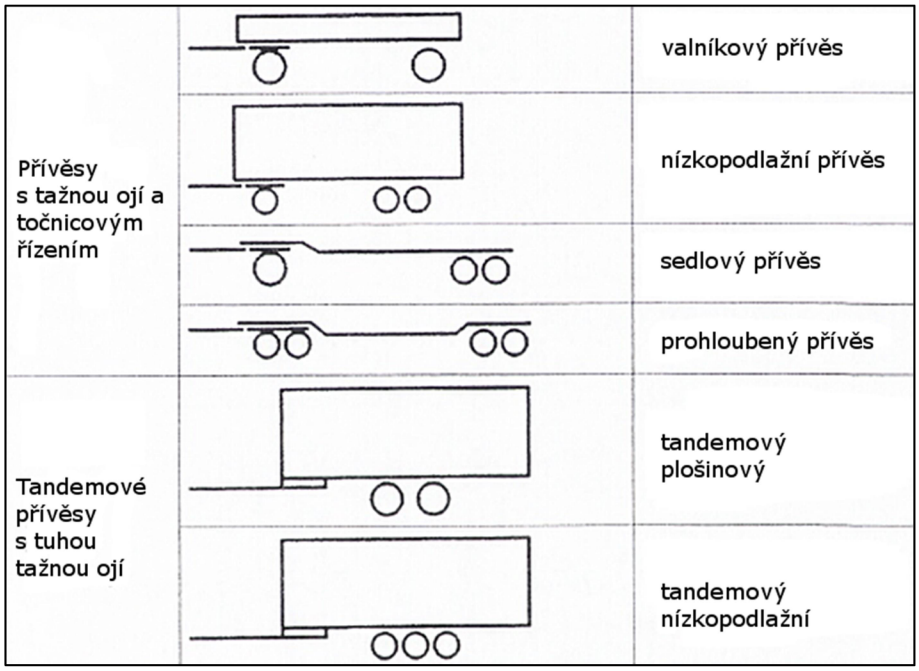
Klasická tažná oj se zpravidla skládá z oka, jedné nebo dvou příčných vzpěr a dvou šikmých vzpěr. Vzhledem k namáhání této části jsou šikmé vzpěry většinou konstruovány v profilech „I“ a „U“. Příčné vzpěry slouží jako výztuhy a bývají profilovány podobně. Oko plní funkci připojovacího členu k tažnému vozidlu a umožňuje rotaci kolem svislé osy, díky tomu je zajištěn vzájemný pohyb tažného a taženého vozidla při průjezdu zatáčkou. Šikmé vzpěry mají na konci umístěna pouzdra pro připojení pomocí čepu s oky přední nápravy. Z konstrukčního hlediska je tento čep důležitý spojovací prvek. Je nutné jej dostatečně dimenzovat, neboť je

oproti oji namáhán na střih. Opět je umožněna pouze rotace kolem osy čepu, jelikož je potřeba počítat se vzájemnou výškovou změnou polohy jízdní soupravy. [2][3]

2.1.2 Tandemový přívěs

Základním rozlišitelným prvkem tandemového přívěsu je umístění náprav, ty jsou na rozdíl od točnicových přívěsů, umístěny uprostřed přípojného vozidla. Základní výhodou tandemového přívěsu je snadná manipulace a to především při couvání. Při nakládání a vykládání materiálu je však nutné zajistit přívěs podpěrami vpředu i vzadu. [2]

Pro připojení tandemového přívěsu k tažnému vozidlu se používají pevná tažná zařízení různých konstrukcí. Problémové však je zatěžování takového přívěsu. Tažné zařízení auta je namáhané nejen v jeho ose ale také ve směru svislém způsobené rozložením nákladu. [2]



Obr. č. 2 Druhy přívěsů. [2]

2.1.3 Připojení oje

K tažnému vozidlu se oj připojuje třemi různými způsoby. Prvním z nich je systém „koule“, což je nejběžnější spojení soupravy u osobních automobilů. Konstrukce je velmi jednoduchá a tento typ disponuje dlouhou životností, příliš se neopotřebovává a umožňuje velké úhly natočení, a to jak horizontální tak i vertikální. Dalším základním spojovacím elementem je čep, což je nejvíce využívané především u nákladních automobilů. Poslední typ spojení je pomocí „háku“. Používá se především v zemědělství. [2]

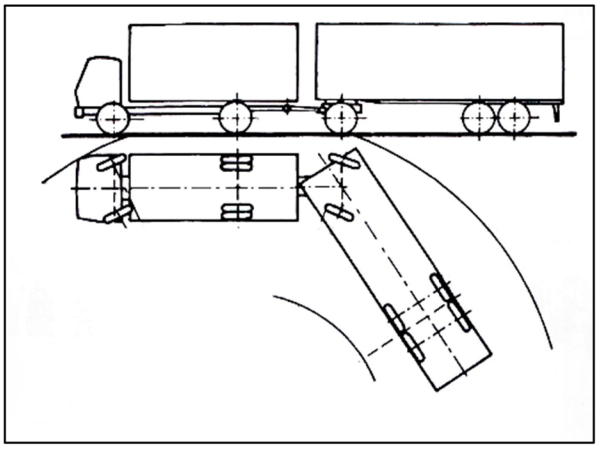
2.1.4 Systémy zkrácené oje

Vzhledem k tomu, že smyslem každého přívěsu je přepravit co nejvíce nákladu, pakliže šířka, délka i výška jízdní soupravy je omezena normami, vyvstává otázka jak přepravní prostor navýšit. Nejvhodnější se jeví

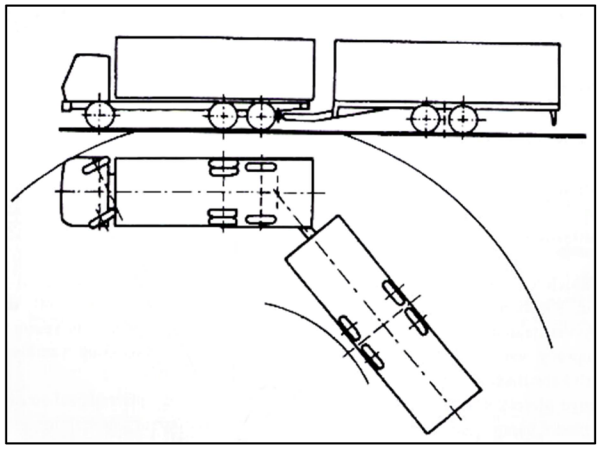
zkrátit oj a využít tak mezeru mezi přívěsem a tažným vozidlem pro navýšení celkového využitelného objemu. To se podařilo už v roce 1979 u soupravy GLZ, a to na 0,7 m, místo obvyklých 1,6 m. [2]

U tandemových přívěsů se toho příliš nemění a název „zkrácená oj“ je zde docela nevhodně použit, neboť se oj naopak prodlužuje. Spojení s tažným vozidlem je posunuto do míst zadní nápravy, přičemž s délkou oje se také zvětší poloměr zatáčení, což má za následek menší vzájemné přiblížení a proto se vzdálenost mezi členy jízdní soupravy zkrátí. [2]

Pro točnicové přívěsy je to poněkud složitější. Konstrukčních řešení je více, ale fungují na podobném principu. K rámu přívěsu je připojen pevný prvek, jehož pohyb je totožný jako jeho celkový pohyb přívěsu, na něj je klasickým způsobem připevněna točnicová zkrácená oj, pomocí níž je člen pouze tažen. Kromě modifikované tažné oje a točnice je přidán další člen, který řídí přední nápravu přívěsu tak, aby nedošlo ke kolizi s tažným partnerem. [2]



Obr. č. 3 Systém zkrácené oje pro točnicové zapojení přívěsu. [2]



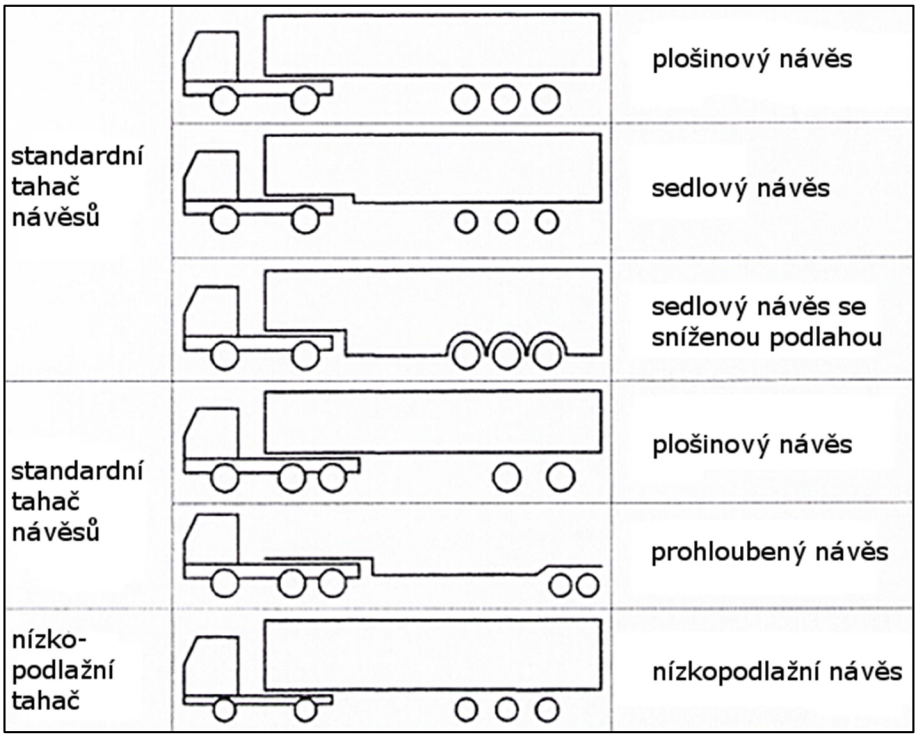
Obr. č. 4 – Systém zkrácené oje pro tandemové zapojení přívěsu. [2]

2.2 NÁVĚS

Stěžejní rozdíl mezi přívěsem a návěsem je ten, že u návěsu se jeho podstatná část celkové hmotnosti přenáší na tahač návěsu, přesněji přes návěsový čep na jeho točnici a následně na nápravy tahače, zbylou hmotnost nesou nápravy návěsu. Před odpojením tahače jsou vysunuty mechanické pomocné podpěry, které umožňují bezpečnou vykládku/nakládku a zajišťují návěs proti naklápění. [2][3]

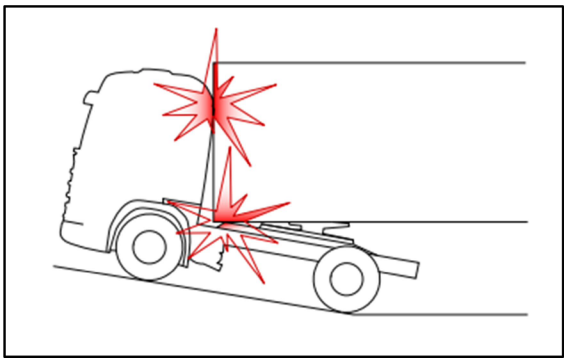
Samotný návěs se skládá z podvozkové a nástavbové části. Podvozková část je tvořena rámem, který zachycuje a přenáší vzniklá zatížení, dále pak nápravami a brzdovým systémem. Hlavním konstrukčním prvkem rámu jsou zpravidla dva profily ve tvaru „I“ tzv. podélníky. Na ně jsou připevněny nápravy, které mají plnit funkci odpružení a přenášet a eliminovat otřesy a rázy, zajistit styk s vozovkou a zmírnit namáhání rámu. Podélníky jsou spojeny příčníky (nejčastěji profilu „U“) a většinou vytvářejí žebřinový rám. [31][32]

Základním prvkem pro připojení návěsu k tahači je točnice a návěsový čep. Návěsový čep musí být schopen odolávat velkému zatížení, neboť přenáší všechny síly mezi tahačem a návěsem. Musí být umožněna jeho demontáž, proto je připevněn šrouby k nosné desce. Standardně jsou vyráběny ve 2“ u běžných návěsů a pro speciální návěsy určené pro přepravu nadrozměrných nákladů 3 ½“. [32]

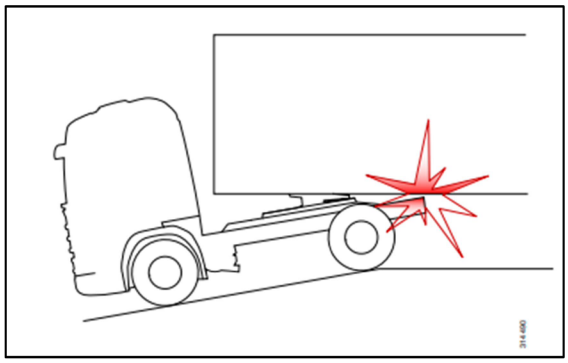


Obr. č. 5 – Návěsové jízdní soupravy. [2]

Umístění spojení je velmi důležité z hlediska optimalizování jízdních vlastností a dodržení bezpečnosti. Závisí na mnohých faktorech, jako je konfigurace podvozku, zatížení nápravy a rozměry vozidla. Pokud je točnice umístěna příliš daleko před hnanou nápravu dvounápravového vozidla může mj. nastat, že je překročeno maximální povolené zatížení přední nápravy. Naopak, pokud je vzdálenost točnice vzhledem ke středu zadní nápravy příliš krátká, může návěs při zatáčení příliš přesahovat do protisměru. [2][20]



Obr. č. 6 – Možný kolizní stav návěsové jízdní soupravy v přední části návěsu. [20]



Obr. č. 7 – Možný kolizní stav návěsové jízdní soupravy v zadní části tahače. [20]

Pro zachování bezpečnosti musí tahač také umožnit návěsu naklopení návěsu, a to alespoň 6° dopředu, 7° dozadu, do boku pak 3°. Dále je třeba zajistit dostatek místa mezi rámem nebo karoserií tahače a návěsu tak, aby nedocházelo ke kolizi. [20]

Návěsy se rozdělují podle použití do několika skupin. Rozdělují se podle typu přepravovaného nákladu.

2.2.1 Valníkový návěs

Tato nejrozšířenější skupina je tvořena podvozkem a valníkovou nástavbou. Nástavba bývá vyrobena z hliníku, čímž se návěs značně odlehčí a umožní přepravu materiálu o větší hmotnosti. Navíc lze nakládat a vykládat materiál z bočních stran a zezadu. Kostra je zakryta textilní plachtou, proto je potřeba zvýšené pozornosti při manipulaci s nákladem, aby nedošlo k proděravění.[36]

2.2.2 Skříňový návěs

Skříňový návěs je obdobou valníkového návěsu s tím rozdílem, že nástavba je z pevné plně zakryté kostry. Tento typ neumožňuje otevírání z bočních stran, což se z hlediska údržby může jevit jako výhoda. Dalšími výhodami je prachotěsná a termoregulační schopnost. [36]

2.2.3 Sklápěcí návěs

Tento typ nejčastěji používaný ve stavebnictví a potravinářském průmyslu je dělen na dvě skupiny – vany a bodex. Charakteristické pro sklápěcí návěsy je jejich konstrukce, neboť jsou tvořeny podvozkem a pohyblivou nástavbou. Přední díl nástavby je pomocí pístu (ovládaného hydraulickým čerpadlem) zdvižen a záď nástavby je elektronicky nebo automatický otevřena po překonání sypného úhlu. [36]

2.2.4 Podvalníky

Nízkopodlažní návěs určený pro přepravu pracovních strojů, nadměrných nákladů a technologických celků. Lože podvalníku je umístěna pod úrovní točnice, nízko nad pozemní komunikací a tudíž umožňuje snadnější přepravu především pro stavební stroje (hlubinové provedení podvalníku). Mnohdy jsou podvalníky také opatřeny nájezdovými rampami nebo je jejich ložná plocha roztažitelná a tedy variabilní. [36]

2.2.5 Speciální návěsy

V dřevařském průmyslu nejběžnější kladnicové návěsy pro přepravu surového, ale i zpracovaného dřeva, opatřené kladnicovými příčkami. Dále cisternové návěsy pro přepravu kapalin, silocisterny pro přepravu jemných sypkých materiálů, návěsy kontejnerové pro přepravu normalizovaných kontejnerů, aj. [36]

3 HMOTNOSTNÍ KRITÉRIUM

Vyhláška č. 341/2014 Sb. a norma ČSN ISO 1176 definuje tyto druhy hmotností [33][34]:

Hmotnost motorových vozidel v provozním stavu - hmotnost vozidla, jehož palivová nádrž se naplní alespoň na 90 % svého objemu, včetně hmotnosti řidiče, paliva a kapalin, vybaveného standardním vybavením podle specifikací výrobce, a jsou-li součástí vybavení, i hmotnost karosérie, kabiny, spojovacího zařízení a náhradního kola, jakož i nářadí.

Hmotnost v provozním stavu v případě přípojného vozidla - hmotnost vozidla, včetně paliva a kapalin, vybaveného standardním vybavením podle specifikací výrobce, a jsou-li součástí vybavení, i hmotnost karosérie, dalšího spojovacího zařízení a náhradního kola a nářadí.

Okamžitá hmotnost vozidla nebo jízdní soupravy - hmotnost zjištěná v určitém okamžiku při jejich provozu na pozemních komunikacích.

Největší povolená hmotnost - největší hmotnost, se kterou smí být vozidlo užíváno v provozu na pozemních komunikacích v České republice.

Největší povolená hmotnost na nápravu - největší hmotnost na nápravu, se kterou smí být vozidlo užíváno v provozu na pozemních komunikacích v České republice,

Maximální technicky přípustná hmotnost na nápravu - hmotnost odpovídající největšímu technicky přípustnému statickému svislému zatížení, kterým působí náprava vozidla na povrch vozovky.

Maximální technicky přípustná hmotnost naloženého vozidla - maximální hmotnost stanovená pro vozidlo na základě jeho konstrukčních vlastností a provedení; největší technicky přípustná hmotnost přívěsu nebo návěsu zahrnuje statickou hmotnost přenesenou na tažné vozidlo, je-li přívěs nebo návěs připojen.

Maximální technicky přípustná hmotnost naložené jízdní soupravy - maximální hmotnost stanovená pro kombinaci motorového vozidla a jednoho nebo více přípojných vozidel na základě jeho konstrukčních vlastností a provedení nebo maximální hmotnost určená pro jízdní soupravu složenou z tahače návěsu a návěsu.

Celková konstrukční hmotnost - je největší celková hmotnost stanovená jeho výrobcem. Tato hmotnost může být větší než přípustná celková hmotnost stanovená správními orgány.

Přípustná celková hmotnost - stanovuje nejvyšší, legislativně limitovanou hmotnost pro provoz na pozemních komunikacích.

Hmotnosti silničních vozidel, jakožto i jízdních souprav jsou uvedeny v technickém průkazu vozidla respektive v osvědčení o registraci vozidla. Tyto hodnoty nesmí být překročeny a řidič musí být obeznámen s rozměrovými a hmotnostní údaje (v případě překročení je vozidlo (souprava) technicky nezpůsobilé k provozu na pozemních komunikacích). Ustanovení o hmotnostech vyžadovaných pro provoz na pozemních komunikacích uvádí Vyhláška č. 209/2018 Sb. o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. Mj. stanovuje hodnoty hmotností na nápravu, skupinu náprav vozidla a jízdních souprav včetně nákladu a hodnoty hmotností vozidel a jízdních souprav včetně nákladu. [35]

Největší povolená hmotnost silničních vozidel nesmí překročit [35]:

- u motorových vozidel se dvěma nápravami - 18,00 t,
- u motorových vozidel se dvěma nápravami, jedná-li se o vozidlo kategorie M3 - 19,50 t,
- u motorových vozidel se třemi nápravami - 25,00 t,
- u motorových vozidel se třemi nápravami, je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží pneumatik a vzduchovým pérováním nebo pérováním uznaným za rovnocenné, nebo pokud je každá hnací náprava opatřena dvojitou montáží pneumatik a maximální zatížení na nápravu nepřekročí 9,50 t - 26,00 t,
- u motorových vozidel se čtyřmi a více nápravami - 32,00 t,
- u přívěsů se dvěma nápravami - 18,00 t,
- u přívěsů se třemi nápravami - 24,00 t,
- u přívěsů se čtyřmi a více nápravami - 32,00 t,
- u dvoučlánkových kloubových autobusů - 28,00 t,
- u tří a vícečlánkových kloubových autobusů - 32,00 t,
- u jízdních souprav - 48,00 t,
- u pásových vozidel - 18,00 t.

4 ZÁKONEM STANOVENÉ MAXIMÁLNÍ ROZMĚRY JÍZDNÍCH SOUPRAV

Vyhláška č. 209/2018 Sb. udává vzhledem k bezpečnosti provozu na pozemních největší povolené rozměry vozidel a jízdních souprav, a to jak jejich šířku a výšku tak také délku. [35]

Největší povolená šířka, která činí u: [35]

- vozidel kategorií M, N, O, R, T nebo C, není-li v této vyhlášce stanoveno jinak - 2,55 m,
- vozidel, jejichž pevné nebo pohyblivé nástavby jsou speciálně vybaveny - 2,60 m,
- u zvláštních vozidel podkategorie SS - 3,50 m,
- dvoukolových mopedů - 1,00 m,
- ostatních vozidel kategorie L - 2,00 m,
- přípojných vozidel za dvoukolová motorová vozidla - 1,00 m,
- samojízdných a výměnných tažených strojů, nesených pracovních strojů a traktorů - 3,00 m,
- tramvají - 2,65 m.

Největší povolená výška, která činí u

- vozidel, včetně sběračů tramvají a trolejbusů v nejnižší pracovní poloze - 4,00 m,
- vozidel kategorie L - 2,50 m,
- vozidel kategorií N nebo O, určených pro přepravu vozidel - 4,20 m,
- jízdní soupravy tažného vozidla s návěsem - 4,08 m.

Největší povolená délka, která činí u

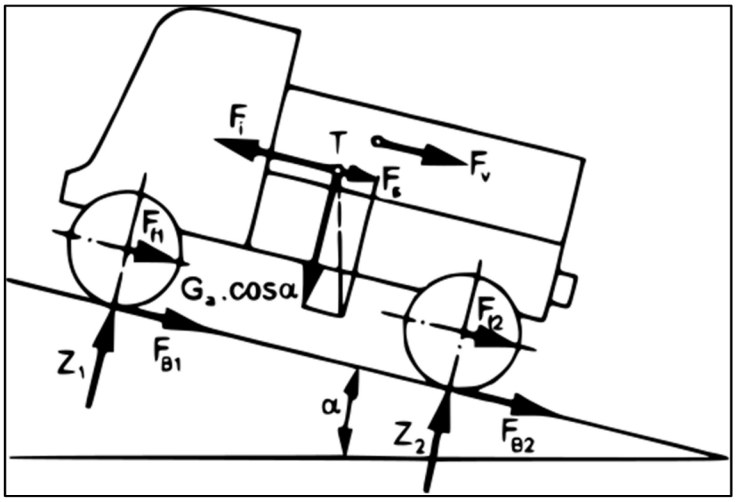
- jednotlivého vozidla s výjimkou autobusu a návěsu - 12,00 m,
- trolejbusu a autobusu se dvěma nápravami - 13,50 m,
- trolejbusu a autobusu se třemi a více nápravami - 15,00 m,
- kloubového dvoučlánkového autobusu a trolejbusu - 18,75 m,
- kloubového tří a vícečlánkového autobusu a trolejbusu - 22,00 m,
- jízdní soupravy motorového vozidla s návěsem - 16,50 m,
- jízdní soupravy motorového vozidla s jedním přívěsem - 18,75 m,
- jízdní soupravy motorového vozidla s přívěsem kategorie O, určeným pro přepravu vozidel - 20,75 m,
- vozidla kategorie L - 4,00 m,
- tramvaje - 18,00 m,
- jízdní soupravy tramvají a kloubové tramvaje - 65,00 m,
- jízdní soupravy traktoru s jedním přípojným vozidlem - 18,00 m,
- jízdní soupravy traktoru se dvěma přípojnými vozidly - 22,00 m,
- jízdní soupravy samojízdného stroje s podvozkem pro přepravu pracovního zařízení stroje - 20,00 m,
- jízdní soupravy se dvěma přívěsy nebo s kombinací návěsu a jednoho přívěsu - 22,00 m. [35]

5 JÍZDNÍ SOUPRAVY Z HLEDISKA PŮSOBENÍ BRZDNÝCH SIL

Brzdění jakožto standardně používané úmyslné snižování rychlosti vozidla (až do případného zastavení) způsobené zvětšováním vnitřních jízdních odporů. Proces brzdění jízdní soupravy je o něco složitější než brzdění samotného vozidla. Jedná se vlastně o brzdění dvou nebo i více samostatných vozidel, jejichž brzdný systém je propojen. Sjednocení brzdného účinku těchto dvou soustav pak ovlivňuje celkovou brzdnou dráhu a stabilitu jízdní soupravy při brzdění. [2][3]

5.1 SAMOSTATNÉ VOZIDLO

Při brzdění vzniká v těžišti vozidla setrvačná síla, její velikost je rovna velikosti brzdné síly, která působí společně s jízdními odpory v opačném směru. Pro umožnění účinného a rychlého zastavení vozidla tak nestačí pouze jízdní odpory, ale je třeba intenzivnějšího zpomalení. Proto je třeba zabývat se možnostmi dosažitelného zpomalením. Složky brzdných sil brzděných kol jsou omezeny adhezí. V ideálním případě se budou všechna kola odvalovat se skluzem odpovídajícím součiniteli adheze. Maximální hodnota celkové brzdné síly pak bude dosažena v případě, že brzdná síla vozidla je na jednotlivá kola rozdělena úměrně k jejich radiálnímu zatížení. [3][4]



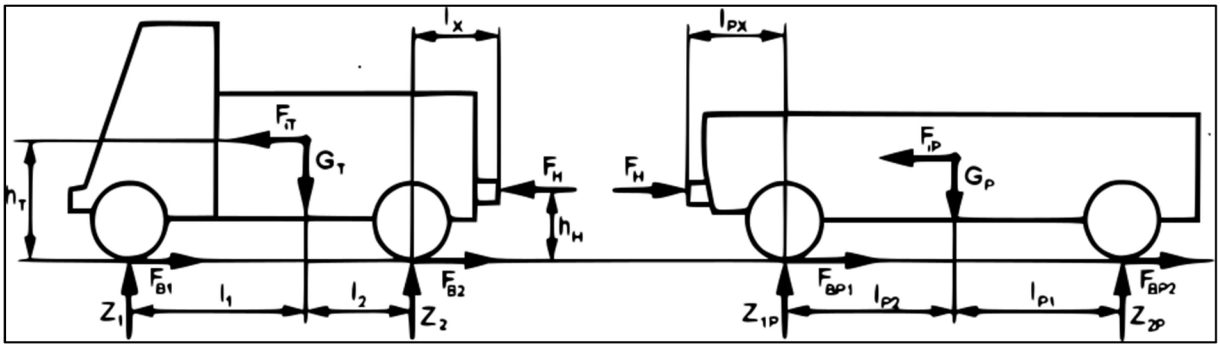
Obr. č. 8 – Síly působící na brzdící vozidlo. [3]

S tím souvisí také směrová stabilita vozidla. Jestliže působí kromě brzdných sil i síly boční, pak vektorové síly nesmí být větší než adhezní schopnost nápravy. Protože kolo (pneumatika), které má přenášet obvodovou sílu na hranici adheze nemá téměř žádnou schopnost přenášet boční síly a vést tak vozidlo ve směru jízdy, může tak nastat stav smyku. [3]

5.2 PŘÍVĚSOVÁ SOUPRAVA

Stejně jako u samostatného vozidla platí i u skupiny tažné vozidlo-přívěs, že k ideálnímu brzdění dochází, pokud jsou brzdné síly rozloženy úměrně k zatížení náprav, jakožto i k celé jízdní soupravě. Účinnost brzdění takové sestavy pak bude stejná jako brzdění jejich jednotlivých členů.

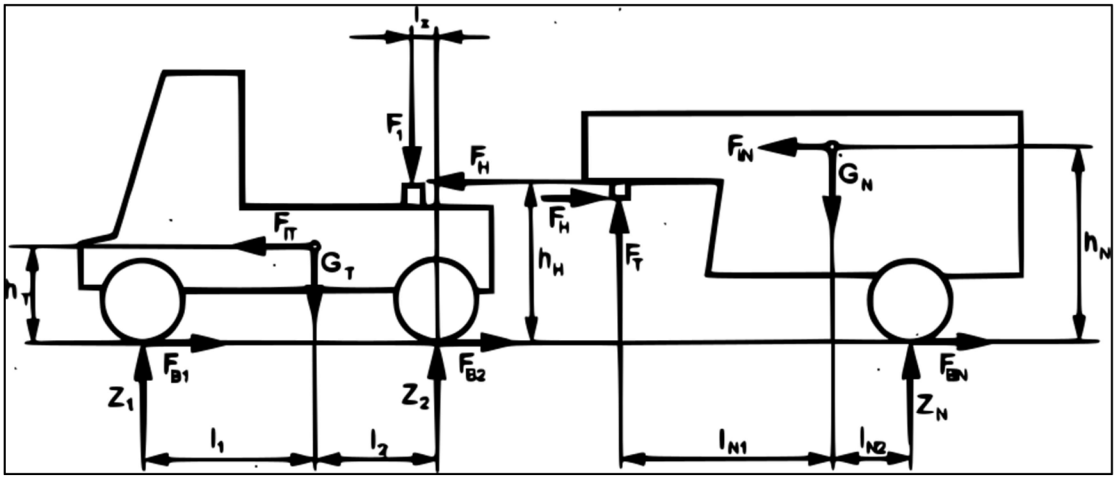
Pokud rozložení brzdných sil nebude v rovnováze, nastává určitý vztah mezi tažným a taženým členem, vazba mezi nimi je na **Obr. č. 9** vyjádřena jako F_H. Pokud bude zpomalení tažného vozidla větší než zpomalení přívěsu, ve spojení vzniká tlak (vozidlo najíždí na přívěs). Naopak pokud bude zpomalení přívěsu větší, vznikne ve spojení tah, což umožní lepší řiditelnost soupravy. [3]



Obr. č. 9 – Rozložení sil brzdící přívěsové jízdní soupravy. [3]

5.3 NÁVĚSOVÁ JÍZDNÍ SOUPRAVA

Situace u návěsové soupravy je složitější, neboť zde nemůže nastat ideální brzdění samostatného návěsu, neboť je pro brzdění využita jen částečná hmotnost. Ve spojení tahač-návěs tak vzniká podélná tlaková síla vyjádřená na **Obr. č. 10** jako F_H. Opět platí, že nevhodnější pro jízdní stabilitu by tato síla byla jako tahová. [3]



Obr. č. 10 – Rozložení sil brzdící návěsové jízdní soupravy. [3]

6 BRZDOVÁ SOUSTAVA

Brzdové soustavy rozdělujeme na konvenční brzdové soustavy a elektronické brzdové soustavy, přičemž na základě stability byly stanoveny koncepce brzdových soustav. [7]

6.1 KONCEPCE BRZDOVÝCH SOUSTAV TAŽNÉHO A PŘÍPOJNÉHO VOZIDLA

Hlavním parametrem, který ovlivní brzdný účinek a vlastně celkový proces brzdění soupravy, je zatížení soupravy. Další velmi důležitý vliv na brzdění a s tím spojenou jízdní stabilitu má osazení tažného vozidla a přípojného vozidla bubnovými nebo kotoučovými brzdami. Kotoučové brzdy se společně se systémem EBS oproti bubnovým brzdám vyznačují vyšším brzdným účinkem avšak náročnější údržbou. Na základě jízdních zkoušek výrobce náprav BPW, byly vyhodnoceny kombinace brzdových systémů jízdní soupravy. Přičemž hodnocení bylo stanoveno na základě stability jízdní soupravy, vzájemného zesouladění brzdných účinků. Tento výzkum byl prezentován na Mezinárodní vědecké konferenci soudního inženýrství Expert Forensic Science v Brně v roce 2013. [7]

- jako velmi dobrá jsou vyhodnoceny tyto kombinace:
  - Tahač: EBS + kotoučové brzdy, návěs: EBS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: EBS + kotoučové brzdy, návěs: EBS + bubnové brzdy.
  - Tahač: ABS + kotoučové brzdy, návěs: EBS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: EBS + bubnové brzdy, návěs: EBS + bubnové brzdy.
- jako dobré jsou vyhodnoceny tyto kombinace:
  - Tahač: EBS + kotoučové brzdy, návěs: ABS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: EBS + kotoučové brzdy, návěs: ABS + bubnové brzdy.
  - Tahač: EBS + bubnové brzdy, návěs: EBS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: ABS + kotoučové brzdy, návěs: ABS + bubnové brzdy.
  - Tahač: EBS + bubnové brzdy, návěs: ABS + bubnové brzdy.
  - Tahač: ABS + bubnové brzdy, návěs: ABS + bubnové brzdy.
- jako vyhovující byly vyhodnoceny tyto kombinace:
  - Tahač: ABS + bubnové brzdy, návěs: ABS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: ABS + bubnové brzdy, návěs: EBS + bubnové brzdy.
- jako horší a nevyhovující byly vyhodnoceny tyto kombinace:
  - Tahač: EBS + bubnové brzdy, návěs: ABS + kotoučové brzdy.
  - Tahač: ABS + bubnové brzdy, návěs: EBS + kotoučové brzdy.

6.1.1 Konvenční brzdové soustavy

Konvenční brzdové soustavy jsou založeny na nožní síle, kterou vyvíjí řidič na brzdový pedál, a tím také ovlivňuje velikost brzdných momentů na kolech. Ve výjimečných situacích, kdy je řidič nucen k razantnímu

brzděn, tak může dojít k zablokování kol. Pro brzdění těžších vozidel a zvláště pak pro brzdění jízdních souprav, se používá nepřímočinná brzdová soustava. Brzdná síla je zde tvořena jiným zdrojem energie, a podle níž se také dělí na přetlakové (vzduchové) a kapalinové. [6]

6.1.2 Elektronické brzdové systémy (EBS)

Příkaz k vytvoření potřebného tlaku pro každé kolo vozidla určuje centrální řídící jednotka. Vstupní hodnoty tvoří skupina signálů. Jedná se o elektronické hodnoty, jako jsou brzdné požadavky, zatížení, opotřebení brzdných kotoučů. Tyto požadavky jsou zaznamenány z čidel a brzdových ventilů do řídící jednotky, přičemž současně samotný řídící modul zajišťuje potřebný brzdový tlak pro návěs. [6]

EBS je nezávislá brzdová soustava, která spojuje provozní brzdu s odlehčovací brzdnou soustavou. Systém se skládá z následujících konstrukčních skupin [6]:

- elektronicky řízené provozní brzdové soustavy (EPB),
- protiblokovací systém (ABS),
- protiprokluzový systém (ASR).

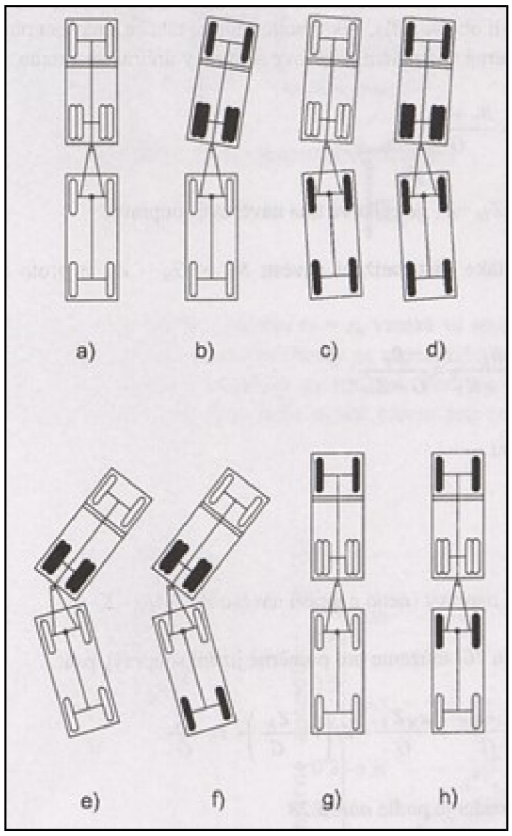
Systém navíc využívá [6]:

- elektronickou řídící jednotku,
- snímače otáček,
- moduly regulace tlaku,
- snímač zatížení (nahrazuje zátěžový regulátor tlaku),
- snímače pro měření opotřebení brzdového obložení,
- hlavní brzdič s elektrickým snímačem dráhy brzdového pedálu,
- sedmipólovou zásuvku, která je vůči zásuvce ABS rozšířena pro připojení přívěsu. [6]

7 ROZDĚLENÍ BRZDNÝCH SIL

Nejsou-li brzdné síly rozloženy na jednotlivé nápravy jízdní soupravy úměrně k jejich adhezním schopnostem, může při intenzivním brzdění docházet k blokování kol některých náprav. Při blokování přední nápravy tahače souprava prakticky vyjíždí tečně z původní dráhy a při blokování zadní nápravy tahače dochází k tzv. lámání soupravy (návěs se smykem natáčí vůči tahači). Při blokování náprav návěsu dochází k vybočení návěsu. Proto se vyžaduje rozložení brzdných sil takové, aby při zvyšování tlaku v brzdové soustavě byla jako první blokována přední náprava tahače, pak nápravy návěsu a nakonec zadní náprava tahače. [3]

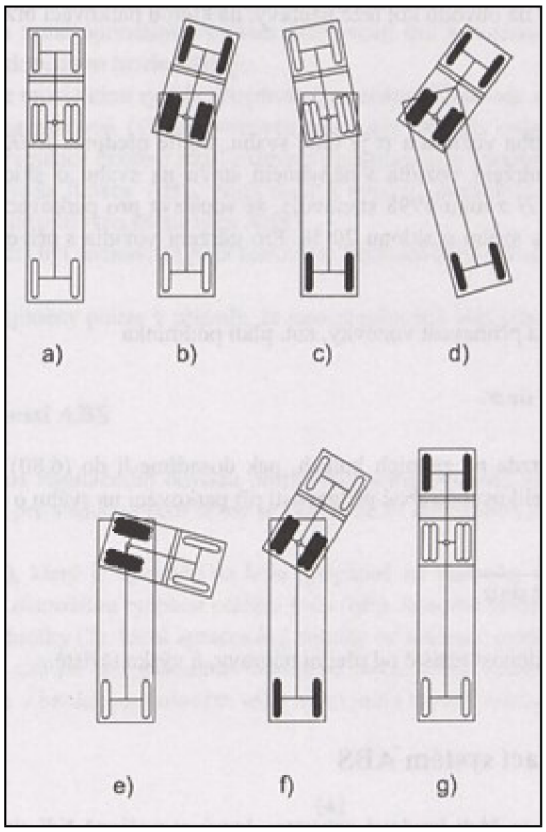
Jako nejvhodnější se jeví systém ABS a ESP. Pokud se návěsová souprava začne chovat přetáčivě (souprava vjíždí směrem k menšímu poloměru zatáčky) a dochází k jejímu lámání, pak pro vyrovnání soupravy dojde k individuálnímu brzdění vnějšího předního kola tahače. Při nedotáčivém chování dojde k brzdění vnitřního zadního kola tahače, čímž se tahač natočí směrem do zatáčky. [2][3]



Obr. č. 11 – Přívěsová jízdní souprava. [4]

<u>Přívěsová jízdní souprava:</u>

a) všechny nápravy pod mezí blokování, směrová stabilita plně zachována
b) blokují obě nápravy tažného vozidla, tažné vozidlo mírně stočeno
c) blokují obě nápravy přívěsu, tažné vozidlo stočeno nepatrně
d) blokují obě nápravy obou vozidel, tažné vozidlo stočeno nepatrně
e) blokuje zadní náprava tažného vozidla, výrazné narušení směrové stability - lámání soupravy
f) blokuje zadní náprava tažného vozidla a zadní náprava přívěsu, výrazné narušení směrové stability - lámání soupravy
g) blokuje přední náprava tažného vozidla
h) blokuje přední náprava tažného vozidla a přední náprava přívěsu



Obr. č. 12 – Návěsová jízdní souprava. [4]

Návěsová jízdní souprava:

a) všechny nápravy pod mezí blokování, směrová stabilita plně zachována
b) blokují obě nápravy tahače, tažné vozidlo mírně stočeno
c) blokuje náprava návěsu, tažné vozidlo mírně stočeno
d) blokují obě nápravy tahače i náprava návěsu, souprava mírně stočena
e) blokuje zadní náprava tahače, výrazné narušení směrové stability, - lámání soupravy
f) blokuje zadní náprava tahače i návěsu, narušení směrové stability - lámání soupravy
g) blokuje jen přední náprava tahače, směrová stabilita plně zachována

7.1 PROMĚNNÉ ROZDĚLOVÁNÍ BRZDNÝCH SIL NA NÁPRAVY PŘI PROVOZNÍM BRZDĚNÍ

Nejintenzivnějšího ideálního brzdění je dosaženo v případě, když se vozidlo nachází na mezi adheze a brzdná reakce je rozdělena úměrně k jejich radiálnímu zatížení. K takovému rozdělení se lze přiblížit dynamickou regulací brzdných sil. Toho jsou schopné jen propracované systémy. Regulace brzdného účinku se dosahuje regulací brzdného tlaku vzduchu, případně kapaliny v jednotlivých brzdových okruzích. K tomu jsou využívány následující typy. [3]

U brzdových systémů vozidel vybavených prvkem ABS „přebírá“ rozdělování brzdných sil ABS.

7.1.1 Omezovač brzdného tlaku

Na obou nápravách je stejný tlak v brzdných válcích až do okamžiku, kdy tlak překročí přepínací hodnoty, pak ventil omezí přísun dalšího pracovního média pro zadní nápravu a udržuje pro ni hodnoty konstantní, další zvyšování tlaku pak probíhá pouze na brzdných válcích přední nápravy. [3][5]

7.1.2 Rozdělovač brzdného tlaku

Slouží k tomu, aby tlak v hlavním brzdovém válci byl rozdělen úměrně zatížení mezi přední a zadní nápravou. Stejně jako omezovač má nastavené hodnoty, při kterých je další zvyšování tlaku k zadní nápravě při

dosažení přepínacího tlaku přerušeno a brzdný tlak zůstává na zadních kolech konstantní nebo vzrůstá i při zvětšující se síle na brzdovém pedálu pomaleji, než brzdný tlak na přední nápravě. [5]

7.1.3 Zátěžový regulátor

Brzdný tlak je rozdělován v určitém poměru dle změny statického zatížení a změny vzdálenosti mezi karoserií a nápravou. Obvykle se tohoto regulátoru využívá u vozidel, u kterých lze předpokládat výrazné změny zatížení zadní nápravy. [5]

7.2 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM ABS

Systém ABS je prvek aktivní bezpečnosti, který je docela odlišný od regulátorů brzdných sil. Funguje totiž samočinně na principu přerušovaného brzdění, přičemž se snaží zamezit zablokování kola a tím neztratit adhezní vlastnosti mezi kolem a vozovkou. [4]

Zjednodušeně se systém ABS skládá ze tří hlavních částí, které na sebe navazují [4]:

- informační prvek - snímač otáček kol,
- vyhodnocovací část- řídící jednotka,
- výkonný člen- řídící ventily (tzv. modulátor brzdného tlaku). [4]

Podstatou tohoto systému je dobrá informovanost o okamžité rychlosti ideálně na jednotlivých kolech vozidla. Otáčky kol se neustále porovnávají a zjišťují aktuální stav vzhledem k referenční rychlosti vozidla. Pokud dojde ke změně rychlosti některého kola, řídící jednotka vydá povel modulátoru brzdného tlaku, který na základě tohoto signálu sníží tlak v brzdovém válci. Protože však klesne tlak, vzrostou otáčky a proces se tak opakuje. [4]

Požadavky na ABS [4]:

- během brzdění musí být zachována řiditelnost a stabilita vozidla,
- funkce musí být zajištěna v celém rychlostním rozsahu vozidla,
- regulace brzdné síly se musí rychle adaptovat na změny adheze vozovky,
- stejně tak vozidlo musí zachovat ovladatelnost i při nerovnostech na vozovce a
- rozeznat případný aquaplaning a přizpůsobit se tomu,
- bezpečnostní systém musí neustále kontrolovat funkčnost ABS, v případě závady informovat řidiče, případně jej vypnout,
- při poruše neovlivnit funkci základní brzdové soustavy. [4]

Grandel [26]v rámci soudního stanoviska prezentuje výsledky středního brzdného zpomalení vozidla o hmotnosti 1310 kg a nebrzděného přívěsu o hmotnosti 230 kg v prázdném stavu. Zkoušky byly prováděny s ABS, bez ABS a s následným zatěžováním přívěsu. Tento experiment byl následně vyhodnocen a ověřen. Je zjevné, že přívěs a systém ABS ovlivňuje střední brzdné zpomalení. [26]

- střední brzdné zpomalení auta bez přívěsu:
  - auto s ABS (bez přívěsu): 7,9 - 8,5 m/s^2

- auto bez ABS (bez přívěsu): 7,4 - 7,5 m/s^2

- střední brzdné zpomalení auto bez ABS s přívěsem:
  - auto bez ABS s přívěsem 230 kg (bez nákladu): 6,2 - 6,5 m/s^2
  - auto bez ABS s přívěsem 430 kg (zatížení 200 kg): 5,4 - 5,7 m/s^2
  - auto bez ABS s přívěsem 600 kg (zatížení 370 kg): 4,9 - 5,3 m/s^2

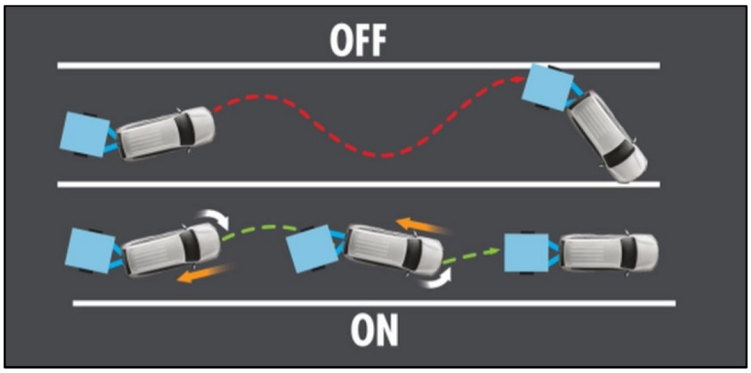
- střední brzdné zpomalení auta s ABS s přívěsem:
  - auto s ABS s přívěsem 600 kg (zatížení 370 kg): 6,3 m/s^2

7.3 SYSTÉM ESP

Další prvek aktivní bezpečnosti je systém ESP (Electronic Stability Program) nebo také známý pod označením ESC (Electronic Stability Control). Jedná se o systém elektrického řízení stability, jenž má pomocí vyhodnocování informací ze snímače natočení volantu, snímačů otáček kol, záznamů příčného a podélného zrychlení udržovat stabilitu vozidla. Cílem je nejen udržet při vzniku smyku směr jízdy určený řidičem, ale také předcházet těmto situacím. [5]

Pokud nastane nedotáčivost, jedná se o smyk přední nápravy. Systém ESP cíleným přibrzďováním jednoho nebo více kol vytvoří opačný otáčivý moment. Při přetáčivosti dochází k přílišnému zatočení vozidla, smyku zadní nápravy. Tento stav je z hlediska řiditelnosti vozidla horší. ESP systém se snaží přibrzďováním vnějšího kola dostat vozidlo zpět pod kontrolu řidiče. [23]

Zajímavým komplementem ESP se ukázal program stabilizace přívěsu. Pro tlumení příčného kmitání se používalo speciálního spojovacího zařízení. Hlavice tohoto zařízení v sobě nesla třecí segmenty, které se značně opotřebovávaly, a bylo nutné je měnit, což bylo značně neekonomické. Tento mechanický typ tlumení byl použit především u obytných přívěsů. Oproti tomu systém rozpoznávající připojení přívěsu detekuje kývavý pohyb přívěsu a cíleně krátkým brzdným impulzem přibrzdí správná kola. Toto ESP rozšíření tak může reagovat na vznik nebezpečných kmitů rychleji a bezpečněji než zasáhne řidič. [22][24]



Obr. č. 13 – Systém ESP rozpoznávající přívěs. [24]

Dodatečné vybavení ESP rozpoznávajícího přívěs se u starších vozidel bohužel ukázalo jako příliš komplikované. Pro tato vozidla však byla vyvinuta praktická alternativa. Externí varianta ESP pro přívěsy. Systém není instalován na tažném vozidle, ale na samotném přívěsu. [24]

8 SOUČINITEL ADHEZE

Adheze, obecně a zjednodušeně také přilnavost. Je to veličina, která popisuje styk kola s vozovkou, přesněji schopnost ve styku dvou povrchů přenášet síly. Tato adhezní síla je výslednicí obvodové a boční síly a umožňuje vyvíjet tažné a brzdné síly dopravních prostředků. Velikost této síly je závislá na tzv. adhezní tíze a na velikosti součiniteli adheze. [3]

Součinitel adheze je poměr svislého zatížení kola a podélné, nebo boční síly. Okamžitá velikost tohoto součinitele je určena jakostí styčných ploch pneumatiky a vozovky, podmínkami ve stopě. [3]

8.1 VLASTNOSTI POVRCHU VOZOVKY

Běžně se uvažuje těchto součinitelů adheze:

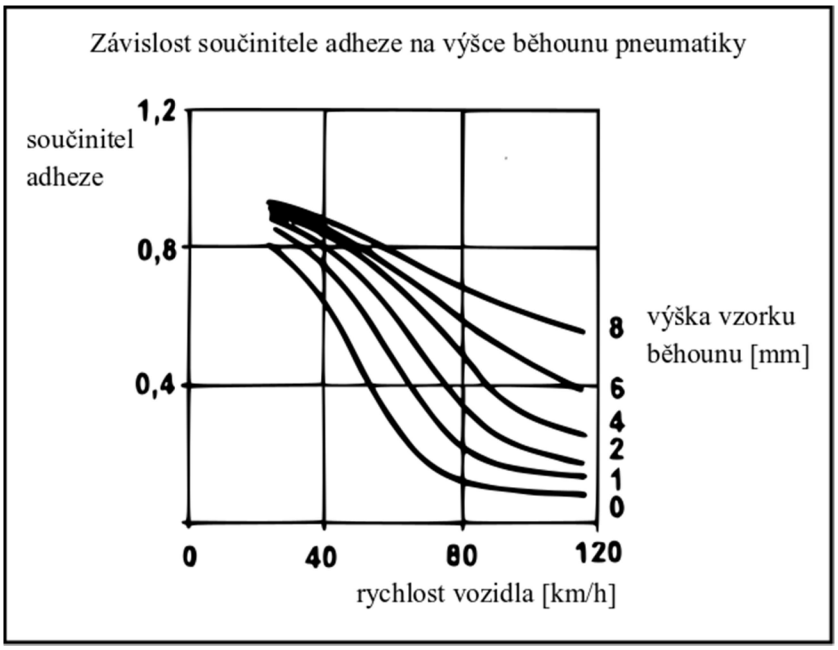
Tab. č. 1 – Přehled průměrných hodnot součinitele adheze. [8]

Povrch vozovky		**Součinitel adheze**	**Povrch vozovky**		**Součinitel adheze**
beton	suchý	0,8 - 1,0	polní cesta	suchá	0,4 - 0,6
	mokrý	0,5 - 0,8		mokrá	0,3 - 0,4
asfalt	suchý	0,6 - 0,9	tráva	suchá	0,4 - 0,6
	mokrý	0,3 - 0,8		mokrá	0,2 - 0,5
dlažba	suchá	0,6 - 0,9	hluboký písek		0,2 - 0,4
	mokrá	0,3 - 0,5	náledí	0°C	0,05 - 0,10
makadam	suchý	0,6 - 0,8		-10°C	0,08 - 0,15
	mokrý	0,3 - 0,5		-20°C	0,15 - 0,20

8.2 VLIV VLASTNOSTÍ PNEUMATIK

Stěžejním ovlivňujícím faktorem součinitele adheze je mimo jiné vlastnost povrchu pneumatiky. Jedná se především o výšku a tvar vzorku běhounu a jejich projevy jsou zřejmé především při vysokých rychlostech a na mokré vozovce. Je patrné (**Graf č. 1**), že nový vzorek běhounu dosáhne vyšší adheze než u vzorku ojetého. [3]

Další vliv má tvar vzorku, neboť vzorek v různém provedení přenáší jinak boční síly a jinak reaguje na nerovnosti vozovky. Např. běžný pásový lamelový vzorek, který se běžně používá u osobních automobilů, má v obvodovém směru vyšší adhezi než čistě pásový nebo šípový vzorek. Pneumatiky pro nákladní automobily se dělí podle typu nápravy na hnané a hnací. Hnací náprava slouží převážně k zatáčení, oproti tomu hnaná náprava bývá často sestavena jako dvojmontáž kol, což umožňuje dosažení vyšší nosnosti a zajišťuje dostatečné adhezní schopnosti (zvětšení styčných ploch) pro přenos výkonu motoru. [3]



Graf č. 1 – Závislost součinitele adheze na rychlosti vozidla a výšce vzorku běhounu pneumatiky. [3]

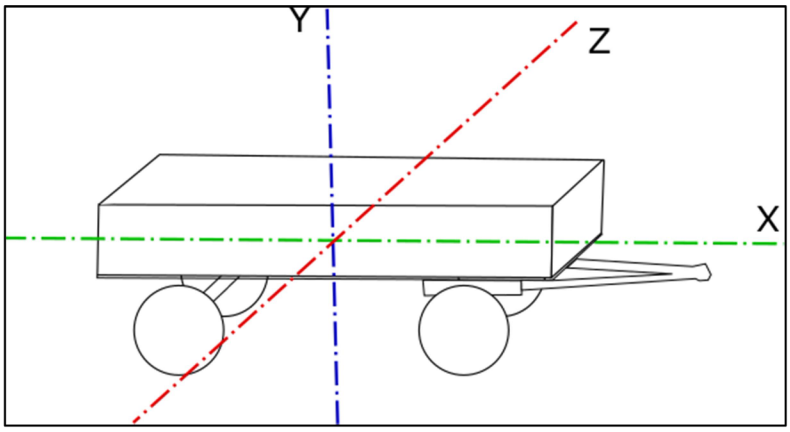
Dále jsou podmínky definovány okamžitou rychlostí jízdy a velikostí měrného tlaku pro pneumatiky vozidla. Měrný tlak pneumatik je závislý na huštění pneumatiky a jejího zatížení. Nižší hustící tlak a vyšší zátěž než je doporučeno výrobcem tak může razantně snížit životnost pneumatiky a tím zvýšit provozní náklady. [3]

Zároveň je třeba zdůraznit, že pokud kolo jakožto pneumatika přenáší současně obvodovou (tečnou) a boční sílu, potom vektorový součet těchto sil nesmí překročit adhezní sílu.

9 SMĚROVÁ DYNAMIKA

Směrová dynamika se zabývá řiditelností a směrovou stabilitou, která určuje vlastnost vozidla udržovat požadovaný směr pohybu vozidla při působení vnějších vlivů. Řiditelnost lze charakterizovat jako soubor reakcí vozidla, jedoucího konstantní rychlostí, na okamžité natočení volantu. Pokud se vyloučí vliv řidiče, jedná se o tzv. objektivní řiditelnost, kterou pak dále definují ustálené (statické) a neustálené (dynamické) odezvy. Statická řiditelnost (schopnost vozidla reagovat na natočení volantu při ustálené jízdě po kruhové dráze popř. úhel natočení, který je potřebný, aby vozidlo opisovalo daný poloměr) rozlišuje vozidla nedotáčivé a přetáčivé. Naopak dynamická řiditelnost popisuje přenosové funkce systému, tedy závislost mezi budícím impulsem a reakcí vozidla. [9]

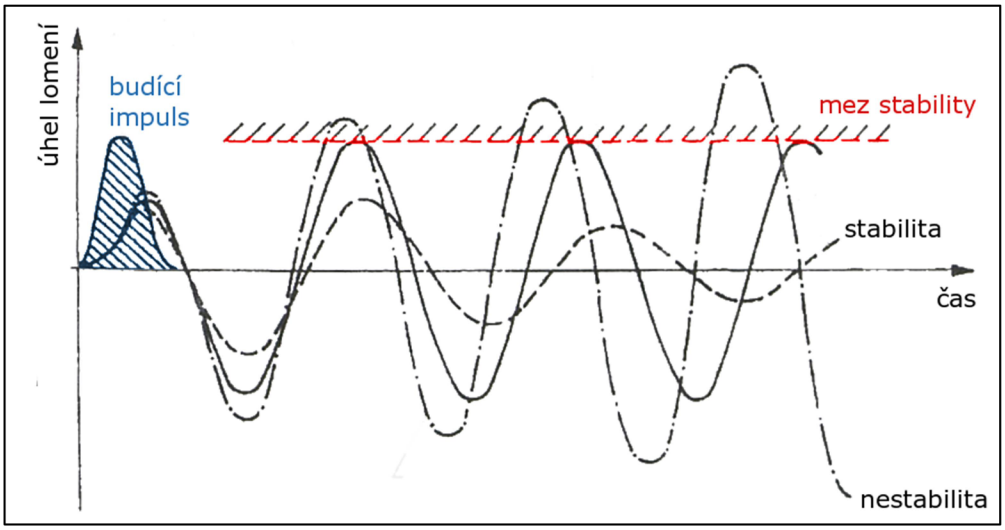
Návěs či přívěs je složen ze tří druhů hmot: z odpružených (rám, karoserie, případně náklad), z neodpružených (nápravy s koly) a hmot pružících (pera a pneumatiky). Budeme-li uvažovat, že jde o pevné, pružně uložené těleso, pak je třeba zabývat se příčným kmitáním okolo podélné osy, bočním kmitáním okolo vertikální osy a podélným kmitáním okolo horizontální osy. [3][17]



Obr. č. 14 – Znázornění os pro definování kmitání přívěsu. [vlastní obrázek]

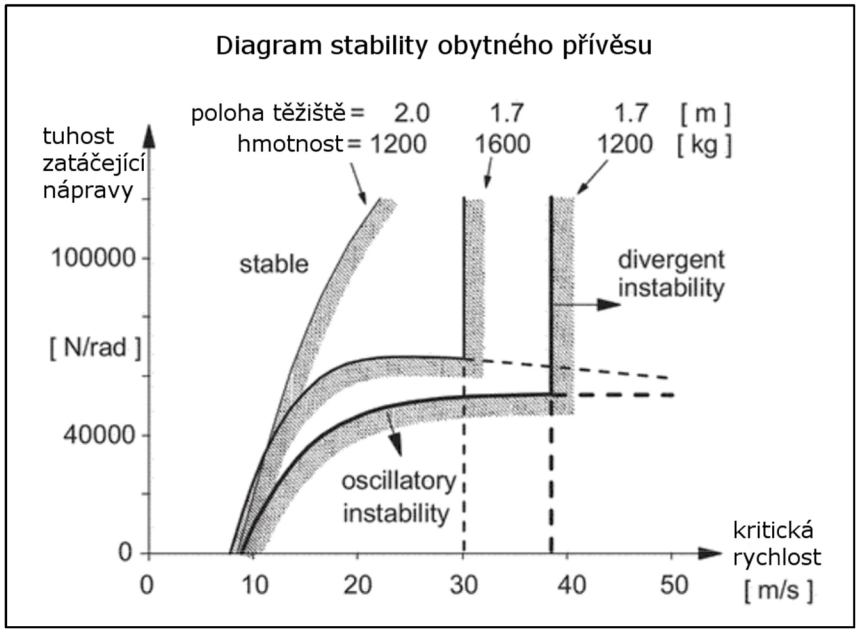
Příčné kmitání kolem osy X je způsobeno deformací pružných částí, tedy pera a pneumatiky, proto je snaha volit tvrdší pera a umístit je co nejblíže ke kolům, zvětšit rozchod, snížit těžiště aj. Kmitání kolem osy Z vzniká především při jízdě po nerovnostech vozovky. Stabilitu jízdy příliš neovlivňuje, jeví se však jako nekomfortní a předchází se mu vhodnou volbou pérování a snižováním těžiště. Nejnepříznivěji však působí na stabilitu přívěsových souprav boční kmitání kolem osy Y, které může být způsobené např. bočním nárazem zadních kol na překážku. Přívěs pak nepřesně kopíruje přímou jízdu tažného vozidla, pohybuje se ze strany na stranu a může ohrozit nejen jízdní soupravu, ale také ostatní účastníky provozu. Jízda s takto rozkmitaným přívěsem zvyšuje opotřebení členů jízdní soupravy, může vést k „lámání“ soupravy a nutí řidiče dbát zvýšené pozornosti zaměřené právě na přívěs. Mezi hlavní činitelé, kteří zapříčiňují boční kmitání a snižují tak stabilitu soupravy, patří rozdílné jízdní odpory kol a jejich nesoučasné brzdění, nadměrná pružnost pneumatik a rozdílnost tlaku v nich, vysoko položené těžiště a jeho excentricita. U návěsových souprav je sklon k bočnímu kmitání minimalizován vzhledem k výhodnější poloze těžiště, většímu rozvoru a absenci tažné oje. [4][17]

Boční kmitání může být také vybuzeno náhlým natočením volantu. Tuto nestabilitu lze vyjádřit časovým průběhem úhlu zlomení. Kmitání kolem osy Y se při nízkých rychlostech projeví velmi málo a rychle odezní. Při rychlostech vyšších se amplitudy kmitání stále zvětšují, neboť nevzniká časová mezera pro stáčení přívěsu zpět do ustálené polohy. [4]



Obr. č. 15 – Odezvy jízdní soupravy na budící impuls a posuzování stability. [4]

Mez nestability by se tak dala definovat jako mez překročení kritické rychlosti. Určitý vliv na oscilační nestabilitu má také tuhost nápravy. Touto zajímavou oblastí se zabývá Pacejka v [16], kde jsou mj. popisovány hranice stability ve spojitosti s tuhostí nápravy pohybující se ve směrovém oblouku oproti rychlosti. Toto je modelováno s ohledem na polohu těžiště a hmotnost nejen tak ledajakého člena soupravy, ale obytného přívěsu. [16]



Graf č. 2 – Diagram stability karavanu v závislosti na tuhosti nápravy a kritické rychlosti. [16]

Výsledkem **Graf č. 2** je, že nižší tuhost nápravy podporuje nestabilní kmitání a kritická rychlost, nad kterou k nestabilitě dochází, klesá. Při změně parametrů polohy těžiště vpřed je systém stabilnější, což se

projeví v posunu meze nestability (umožnění větší kritické rychlosti). Dále bylo zjištěno, že těžší karavan se projeví jako méně stabilní, oproti tomu vyplývá, že větší délka oje je příznivější z hlediska stability. Může však také nastat rozpor (divergent instability), k této nestabilitě dochází, pokud je příliš velká hmotnost přívěsu přenesena na tažné vozidlo. Tažné vozidlo má pak větší sklony k přetáčivosti. [16]

9.1 SMĚROVÉ VLASTNOSTI PNEUMATIKY

Pneumatika se vzhledem k působení boční síly neodvaluje ve směru podélné osy kola, ale pod úhlem směrové úchylky. Díky tomu vznikají ve stopě síly, jejichž výslednicí je boční vodící síla. Společně s touto silou na kolo působí ještě moment, který má za následek natáčení kola kolem jeho svislé osy zpět do směru valení, a proto je nazýván vratným momentem. [9]

Toto působení úhlu směrové úchylky nenastává pouze na řídící nápravě, ale i na ostatních nápravách vlivem např. bočního větru, odstředivou silou při průjezdu zatáčkou apod. Měření boční síly a vratného momentu pro různé hodnoty úhlu směrové úchylky probíhá na válcových zkušebnách, nebo na dynamometrech a výsledky se vynáší do diagramů v závislosti na svislém zatížení kola. Jedná se o směrové charakteristiky pneumatiky, které určují vlastnosti a chování pneumatiky. [9][16]

Zajímavý pohled na vliv pneumatiky sestavy přívěs a automobil poskytla studie zveřejněná pod názvem „*Tyre induced vibrations of the car–trailer system.*“ [10]. Tato studie se zabývala zohledněním tlumícího efektu z hlediska stability. Při vytvoření mechanického modelu kombinací automobil-přívěs jsou kladeny otázky, jak může vertikální dynamika ovlivnit boční stabilitu. Vertikální zatížení v bodě závěsu má vliv na třecí síly v závěsu, vzniká tak určitý točivý moment, který je však rozptýlen oscilací. Kromě toho zatížení tažného zařízení má vliv na zatížení zadní nápravy automobilu, což ovlivňuje kontaktní plochy pneumatik s vozovkou a také odpovídající boční tuhost pneumatik. [10]

9.2 TYPY NÁPRAV A JEJICH CHOVÁNÍ

Vozidlo má kromě pružných pneumatik další důležitý prvek pro zachování směrové stability – druh nápravy a její uložení. Náprava má výrazný vliv nejen na směrovou stabilitu, ale také na příčnou stabilitu (v zatáčce a na příčném svahu) a podélnou stabilitu (při brzdění a na podélném svahu). Při jízdě dochází ke vzájemnému pohybu karoserie a náprav, což se projevuje [3]:

- propružením kola,
- odpružení nápravy,
- klonění karoserie,
- klopení karoserie.

Pojem „náprava“ je obecné označení, které označuje několik funkčních celků jako je: zavěšení kola, uložení kola a jeho odpružení, brzdný nebo hnací systém společně s řídícím ústrojím. U přívěsů je jednoduché členění podle brzdné soustavy. Jednoduše je přítomna, nebo není, jedná se o brzděný/nebrzděný přívěs. Pokud rozdělíme nápravy podle odpružení, bude se jednat v případě ocelových pružin [12]:

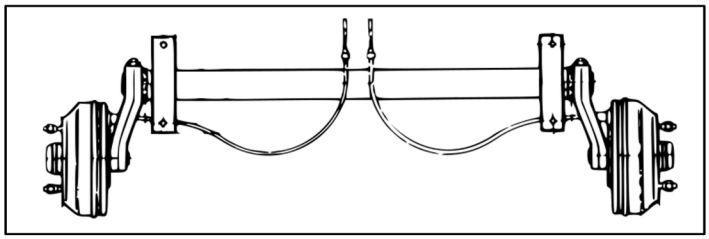
- torzní,

- listové,
- vinuté.

U návěsů se nejčastěji pro odpružení využívá listových ocelových pružin nebo vzduchových pružin (měchů), jejichž médium je získáváno propojením vzduchové soustavy tahače. [31]

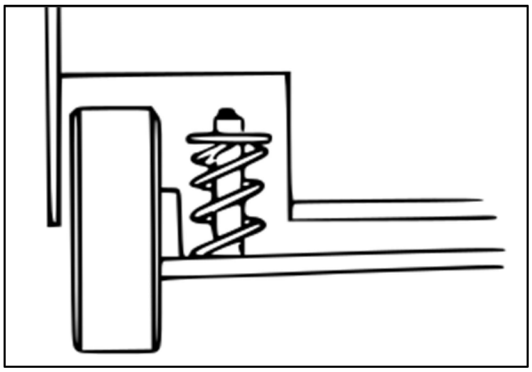
Torzní odpružení

Nebo také torzní či zkrutná tyč je prvek, který má kruhový nebo čtvercový profil. Zkrutná tyč uložena v krycím obalu je pomocí pouzder uchycena v kyvných ramenech, které dále nesou kolo. Spojení pravého a levého kola nápravy tímto způsobem, umožňuje vyvolání kroutícího momentu, který tak reaguje na výchylky vratným momentem. Tuto vlastnost lze výborně uplatnit při přejetí jízdní soupravy přes nerovnosti. Najedou-li obě kola na stejně vysokou nerovnost, torzní tyč se pouze pootočí v pouzdře. Pokud však najede na překážku jedno kolo, tak se zdvih kola přenese přes rameno na torzní tyč, která vybudí stejný pohyb i na druhém rameni, a protože je vyvolán vratný moment, zmenšuje se úhel náklonu karoserie. Stejně tak při průjezdu zatáčkou. Na vnitřní straně vozidla se bude rameno zkrucovat, což vyvolá zkrucování i na vnější straně, čímž se zmenší úhel klopení karoserie. [12][13]

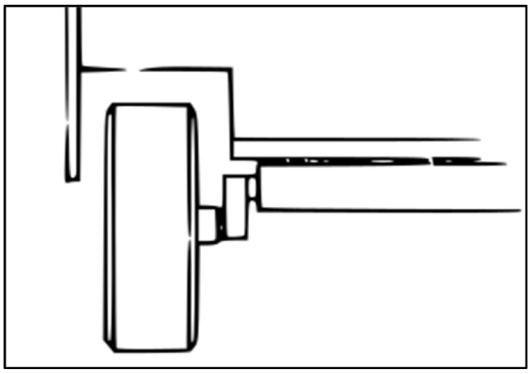


Obr. č. 16 – Schéma zavěšení ocelového torzního pérování s brzdným systémem. [14]

Zkrutná tyč se do vozidel montuje s předpětím a její výhodou je zvětšená užitná plocha oproti odpružení vinutou pružinou, snadná údržba, relativně nízká hmotnost, nízké pořizovací náklady, nevýhodou relativní tvrdost, jež způsobuje při jízdě odskakování nezatížených nebrzděných přívěsů a možnost tzv. „náhlé smrti“ nápravy, kdy se při příliš velkém přetížení rameno už nevrátí do výchozí polohy. [14]



Obr. č. 17 – Prostor podběhu pro umístění pérování s využitím vinuté pružiny. [14]



Obr. č. 18 – Prostor podběhu pro umístění pérování s využitím torzní tyče. [14]

Listová pera

Nejvyužívanější typ odpružení pro nákladní automobily. Listová pružina je svazek ocelových plátů naskládaných na sebe a spojeny sponou nebo třmeny. Na koncích hlavního listu jsou oka, přičemž jeden z konců

je většinou uchycen otočně k rámu a druhý na závěs pera tak, aby umožňoval změnu délky při propružení. Při vzájemném posunu mezi listy vzniká tření na styčných plochách, důsledkem toho se zvyšuje odpor proti deformaci pružiny. Tato reakce definuje tlumící účinky v pružící soustavě. Další vlastností je schopnost vést nápravu (přenášet podélné a boční síly) a rapidní zvýšení odolnosti ve srovnání s ostatními typy odpružení. Vyvstávají však problémy, které jsou spojeny s konstrukční složitostí a to vysoká hmotnost, zvýšené nároky na údržbu a opravu. [12][13]

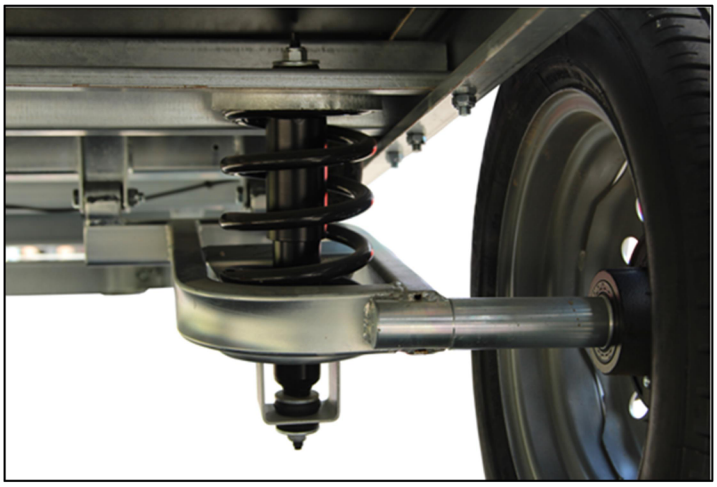
Listová pera mohou být umístěna podélně, ale i příčně. Příčné použití způsobí vyšší uložení dna přívěsu. Tato skutečnost by mohla zapříčinit nepříznivé zvednutí těžiště přívěsu a tím i nepříznivé jízdní vlastnosti. [13]

Obr. č. 19 – Možné uložení listového pera. [15]

Vinuté pružiny

Tato varianta má široké uplatnění při konstrukci osobních automobilů, u přívěsů je méně obvyklá. Jedná se o pružinu, která je navinuta z drátu kruhového průřezu, musí být uložena tak, aby stlačovací síla působila v její ose. Toho se dosahuje zbroušením koncových závitů, případně použitím opěrných talířů a pryžových podložek. Obecně platí, že stoupání pružin musí být takové, aby při jejich stlačení byla zachována vůle mezi jednotlivými závity, v opačném případě by docházelo k výraznému opotřebení, hluku a přenosu rázů na vozidlo způsobené nerovnostmi vozovky. [13][14]

Uložení tohoto typu pružin závisí na druhu nápravy. Zpravidla jsou jedním koncem spojeny s výkyvným ramenem a druhým s rámem či karoserií. Jejich výhodou je nenáročnost na údržbu, malá konstrukční obtížnost a ve srovnání s listovými pery jsou menší a lehčí. Navíc se jízda s přívěsem se dá klasifikovat jako jízda vysoce komfortní, neboť jsou tlumeny nerovnosti vozovky i při malém zatížení ložné plochy. Jako problémové se jeví neschopnost vést nápravu a absence samotlumících účinků. [15]



Obr. č. 20 – Možné uložení vinuté pružiny. [15]

9.3 VLIV POLOHY TĚŽIŠTĚ

Z hlediska stability jízdy je důležitá poloha těžiště. Rozhodně se bude chovat jinak přívěs, který veze nastojato loženou šatní skříň a přívěs, který veze pytle pelet rozložené rovnoměrně. V případě jízdy v přímém směru může být přívěs rozkmitán a ohrozit tak bezpečnost na pozemních komunikacích. Při jízdě zatáčkou se zase může stát, že vozidlo překlene mez, která je stanovena pro předpoklady smyku/převrácení.

Všeobecně působí odstředivá síla na vozidlo o určité hmotnosti pohybující se rychlostí na dráze o určitém poloměru. Pakliže je těžiště vozidla ve výšce h, působí na vozidlo také moment, který se snaží vozidlo převrhnout. Snížením těžiště se tedy zmenší i velikost momentu působící na vozidlo. Protože fyzikální zákony nelze změnit, platí totéž i pro přívěs a společně s dalšími faktory jako je boční vítr, druh použitých pružin, tah/tlak v oji přívěsu, nerovnosti vozovky a stav pneumatik určují možnosti převrácení vozidla. Je však třeba připomenout, že těžiště ani z konstrukčního hlediska není vždy v ose vozidla. Posun těžiště k některé nápravě pak zvětšuje její boční sílu a tím i směrovou úchylku. Rozdělení hmotnosti na jednotlivé nápravy tak může výrazně ovlivnit řiditelnost. [17]

9.4 ODPOR VZDUCHU A BOČNÍ VÍTR

Při jízdě vozidla vniká určitý rozdíl tlaků nad a pod vozidlem, přičemž nad vozidlem podtlak a pod vozidlem přetlak a kvůli proudění vzduchu podél karoserie pak dochází k víření vzduchu za vozidlem. Mezi vzdušné odpory je také zahrnut průchod vzduchu chladícím a větracím systémem a zvířením vzduchu u otáčejících se kol. Celkový vzdušný odpor vozidla je závislý na výsledné rychlosti proudění vzduchu kolem vozidla, čelní ploše vozidla, měrné hmotnosti vzduchu a součiniteli vzdušného odporu, jehož hodnoty se zjišťují v aerodynamickém tunelu. [4]

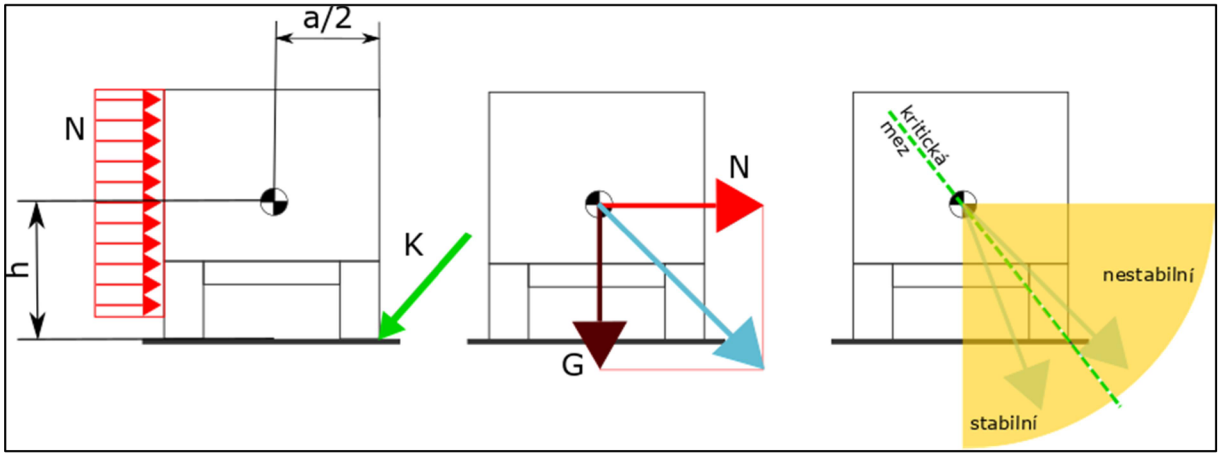
Tab. č. 2 – Hodnoty součinitele odporu pro vybraná vozidla. [4]

Typ vozidla	**Hodnoty součinitele vzdušného odporu [-]**	**Hodnoty čelní plochy [m^2]**
osobní automobily	0,3 - 0,4	1,6 - 2,0
sportovní vozy	0,3 - 0,35	1,3 - 1,6

Typ vozidla	Hodnoty součinitele vzdušného odporu [-]	Hodnoty čelní plochy [m^2]
závodní vozy - nekrytá kola	0,4 - 0,6	0,7 - 1,3
závodní vozy - krytá kola	0,25 - 0,35	0,8 - 1,5
nákladní vozy - valník	0,8 - 1,0	4 - 7
nákladní vozy - s plachtou	0,6 - 0,8	5 - 8
nákladní vozy - s přívěsem	1,0 - 1,2	5 - 8
nákladní vozy - s kontejnerovým návěsem	1,0 - 1,2	9
autobusy	0,5 - 0,7	5 - 7

Vzdušný odpor přívěsu se neurčuje samostatně, ale je dán pro celou jízdní soupravu. Velikost součinitele vzdušného odporu má vliv na spotřebu pohonných hmot, a proto je snaha o dosažení co nejnižších hodnot. U návěsových souprav se pro snížení toho součinitele využívá nástavby nad kabinou řidiče. [4]

Otevřené dálnice a mosty jsou často vystaveny působení bočního větru, který může způsobit problémy s jízdními vlastnostmi silničních vozidel, a v některých případech tyto komplikace mohou vést k vážným dopravním nehodám. V časopise Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics zveřejnili výsledky výzkumu [11], který se zabýval vlivem rychlosti nákladního vozidla na aerodynamické síly. Přesněji byly provedeny experimenty, které měli simulovat jízdu standartního severoamerického tahače s návěsem po mostě, který vede přes úžinu Northumberland a je 12,9 km dlouhý. Při jízdě v bezvětří působí tažná síla na relativně malou čelní plochu návěsu či přívěsu a je směrována téměř rovnoběžně s jeho podélnou osou. Za přítomnosti bočního větru se však zvyšuje velikost relativní rychlosti tahače a návěsu, návěs je vychýlen a jeho boční plocha je vystavena působením bočních poryvů. Výsledná tažná síla je mnohem větší a má složky paralelní i kolmé ke směru pohybu návěsu. [11]



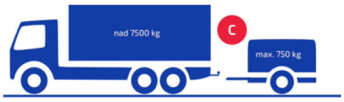
Obr. č. 21 – Kritická mez stability při působení bočního větru (N). [vlastní]

Pro zjednodušení této problematiky zanedbáme ostatní vlivy a předpokládáme, že jízdní souprava stojí a opírá se do ní vítr v kolmém směru. Přívěs, případně návěs se tak může dostat do stavu nestability (převrácení), právě tehdy pokud výslednice vzdušné boční síly a tíhové síly překročí mez - klopnou hranu (na **Obr. č. 21** označeno písmenem K).

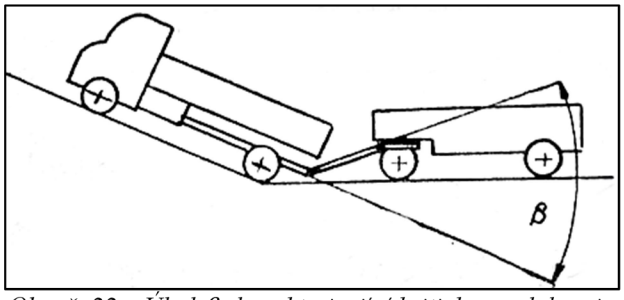
10 UŽÍVÁNÍ JÍZDNÍCH SOUPRAV

Zcela zásadní na bezpečnost provozu na pozemních komunikacích je chování řidičů, neboť právě řidič zodpovídá za vozidlo jakožto i za náklad. Dle zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích smí držitelé řidičského průkazu skupiny B táhnout přípojné vozidlo o největší povolené hmotnosti nepřevyšující 750 kg, nebo převyšující 750 kg, pokud největší povolená hmotnost jízdní soupravy nepřevyšuje 3500 kg, případně pak platí, že s řidičským oprávněním v rozšířeném rozsahu je horní mez navýšena na 4250 kg. Poněkud komplikovanější jsou z hlediska variability vozidla skupiny C1, C, D1, D. [19]

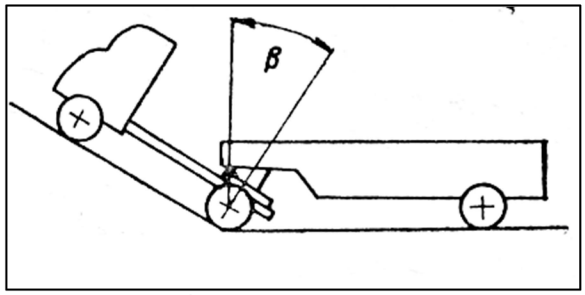
Tab. č. 3 – Skupiny řidičského oprávnění z pohledu nejvyšší povolené hmotnosti. [18][19]

Skupina	**Modelová jízdní souprava**	**Nejvyšší povolená hmotnost**		
		Tažné vozidlo	Přípojné vozidla	Jízdní souprava
B		max. 3500 kg	max. 750 kg	
B		max. 3500 kg	nad 750 kg	max. 3500 kg
B96		max. 3500 kg	nad 750 kg	max. 4250 kg
B+E		B	max. 3500 kg	
C1		max. 7500 kg	max. 750 kg	
C1+E		C1	nad 750 kg	max. 12000 kg
C1+E		B	nad 3500 kg	max. 12000 kg
C		nad 3500 kg	max. 750 kg	
C+E		C	nad 750 kg	
D1			max. 750 kg	
D1+E		D1	nad 750 kg	
D			max. 750 kg	
D+E		D	nad 750 kg	

Přívěsné či návěsné zařízení musí být schopno reagovat na změny úhlů a bezpečně se odchylovat od tažného vozidla. To jest konstrukční otázka, ale také důležitá znalost pro řidiče těchto dopravních prostředků. Nejde pouze o pohyb v „ostrých“ zatáčkách, ale také o překonávání výškových rozdílů ať už se jedná o nerovnosti vozovky nebo jiné stoupání/klesání. Kdyby nebyly dodrženy bezpečné úhly, mohlo by dojít k poškození přípojného nebo tažného vozidla. [17]



Obr. č. 22 – Úhel β charakterizující kritickou polohu oje přívěsu v nerovném terénu. [17]

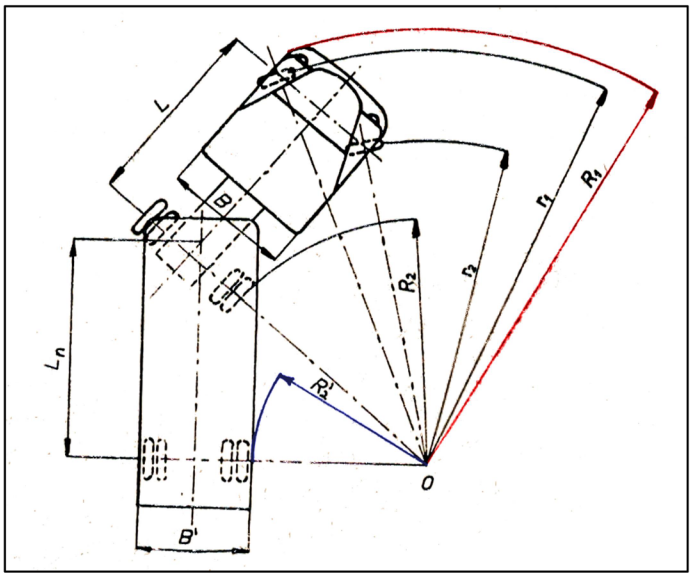


Obr. č. 23 – Úhel β charakterizující vzájemnou polohu členů návěsové jízdní soupravy. [17]

„Pro posouzení celkových provozně technických vlastností jízdních souprav je důležitá i jejich manévrovatelnost.“ [17]. Vyvstává tedy požadavek na schopnost obrátit se s jízdní soupravou na ploše co nejmenší, případně umožnit couvání a při jízdě ve směrovém oblouku či v křižovatce neúprosně minimalizovat prostor potřebný pro projetí. [4][17]

10.1 ZATÁČENÍ A COUVÁNÍ NÁVĚSOVÉ SOUPRAVY

Tahač s návěsem zatáčí natočením předních kol tahače. Aby smýkání kol a namáhání spojovaných částí bylo co nejmenší, musí být zajištěno odklonění podélné osy návěsu od podélné osy tahače a to jak v horizontální tak ve vertikální rovině, přičemž odklon je omezen kontaktem rámu nebo karoserií tahače s návěsem. Pro zatáčení s minimálním smýkáním kol platí, že se návěs musí otáčet v točnici tak, aby se všechny prodloužené přímky os kol protínaly v jednom bodě (střed otáčení). Přičemž vzniká problém při zvětšené délce návěsu obzvláště pak v městském provozu a v zatáčkách. [3][17]



Obr. č. 24 – Schéma zatáčející návěsové soupravy (R_1 nejmenší vnější poloměr jízdní soupravy, R_2‘ nejmenší vnitřní poloměr jízdní soupravy, O střed otáčení). [17]

V levotočivé zatáčce tak návěs najíždí na levý okraj jízdního pruhu, při pravotočivé zatáčce nelze kopírovat pravý okraj komunikace, neboť by se návěs nebezpečně vychyloval a ohrožoval protijedoucí vozidla. Toto chování u některých návěsových souprav alespoň částečně eliminuje řízená náprava návěsu. [3][17]

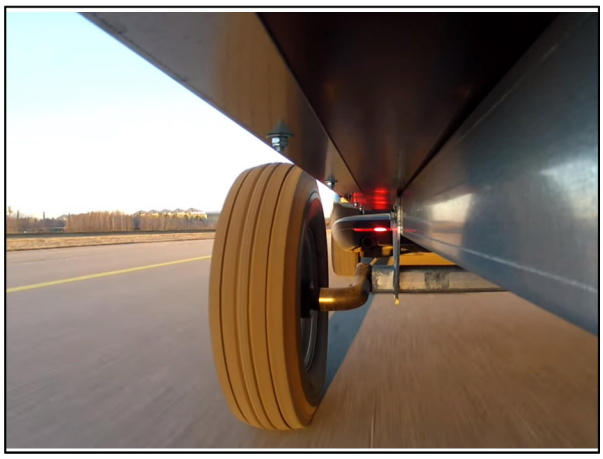
Pokud jsou známy poloměry pro otáčení, je pak také možno určit potřebnou šířku vozovky pro průjezd soupravy a to jednoduše z rozdílu nejmenšího vnějšího poloměru a nejmenšího vnitřního poloměru otáčení. V případě couvání je soupravě umožněn pohyb vzad tehdy, jestliže se prodloužené osy otáčení všech kol protínají v jednom bodě, ve středu otáčení. Pokud tomu tak není, návěsu je sice umožněno couvání, avšak ne v požadovaném úhlu a může dojít ke kolizi karoserií. Couvání obzvláště s dlouhou soupravou je značně obtížné a vyžaduje zkušenosti řidiče. [17]

10.2 ZATÁČENÍ A COUVÁNÍ PŘÍVĚSOVÉ SOUPRAVY

Pohyb přívěsové soupravy v zatáčce je nejčastěji provázen smýkáním kol, vzhledem k tomu, že vzájemná poloha prodloužených os všech kol zpravidla nezaujímají správnou polohu. Pro průjezd zatáčkou bez prokluzu by se měli osy otáčení všech kol (stejně jako u návěsové soupravy) protínat ve středu zatáčení. A stejně tak jako návěsová souprava, tak i vozidlo s přívěsem v zatáčkách potřebuje širší prostor při průjezdu oproti přímočarému pohybu. Nejlepší manévrovatelnost se zajistí použitím natáčivých náprav. Oproti tomu je při couvání nejvhodnější znemožnit natáčení řízené nápravy. V každém případě je při manévru couvání namáhána tažná oj a to na ohyb, dále se zvyšuje opotřebení pneumatik, neboť jsou nuceny k bočnímu smýkání. [4][17]

11 VÝSLEDKY VÝZKUMŮ A TESTŮ

Testy jízdních souprav jsou prováděny především výrobci, ale existují také publikace, které mají za úkol především informovat řidiče o správné technice jízdy s jízdní soupravou. Např. organizace německých motoristů ADAC popsala, jak se má řidič chovat při jízdě s přívěsem a také provedla zkoušky, jež měli odhalit nedostatky samotného přívěsu při jízdě. Během jízdních zkoušek se vyskytlo několik problémů, přičemž u dvou subjektů (ze šesti) se pneumatika přívěsu dotkla rámu nebo karoserie přívěsu. To je nepřijatelná závada a takové přívěsy by se v provozu neměli používat. [21]



Obr. č. 25 – Pohled na levé kolo přívěsu během přímé jízdy. [21]

Obr. č. 26 – Pohled na levé kolo přívěsu během výhybného manévru (kontakt pneumatiky s karoserií přívěsu). [21]

Problém nastává také při tzv. závleku pneumatiky, kdy hrozí netěsnost kola. Vlivem odstředivé síly může závlek pneumatiky překročit kritickou mez a následné oddělení patky od disku kola má za následek únik tlaku [22]

Mj. organizace ADAC prováděla jízdní zkoušky, kdy se měnilo rozložení zátěže na nebrzděném přívěsu značky Humbaur HA75/100 o celkové hmotnosti do 750 kg tažené vozidlem Opel Astra 1.9 CDTI. Předmětem zkoušek bylo změření brzdné dráhy z výchozí rychlosti 80 km/h s demonstrací chování soupravy. Provedeno bylo několik jízd, přičemž se jednalo o jízdu prázdného přívěsu, jízdu rovnoměrně a nerovnoměrně naloženého přívěsu. V tomto testu roli zátěže hrál náklad tvořený kanystry s vodou. Nerovnoměrné rozmístění nákladu bylo rozvrženo ve dvou variantách. První varianta svisle zatěžovala tažné zařízení (680 kg), v druhém případě byl náklad přemístěn na záď přívěsu a vznikla tak absence svislého zatížení oje směrem k vozovce a zadní náprava tažného vozidla tím byla nadlehčena. [21][22]

Prázdná přívěsová souprava zabrzdila na dráze 26,5 m, s rovnoměrně naloženým přívěsem se brzdná dráha prodloužila na 33,8 m a s nerovnoměrně rozloženým nákladem tažné vozidlo zastavilo až na 35,7 m. [21]

Obr. č. 27 – Rovnoměrné rozložení nákladu během ADAC testu. [21]

Jízda s rovnoměrně zatíženým přívěsem vedla k rozkývání přívěsu, avšak tažné vozidlo zůstalo řiditelné a zachovalo směr jízdy. Jako výrazně problematická se jevila jízdní souprava s nerovnoměrným zatížením. Během výhybného manévru již systém ESP nebyl schopen udržet soupravu řiditelnou a došlo k vychýlení ze směru jízdy a smyku soupravy.

Obr. č. 28 – Rozjezd jízdní soupravy v přímém směru. [21]

Obr. č. 29 – Prvotní příčné přemístění přívěsu jako reakce na výhybný manévr tažného vozidla. [21]

Obr. č. 30 – Kmitání přívěsu v příčném směru. [21]

Obr. č. 31 – Překročení vymezeného prostoru přívěsu, strhnutí zádě tažného vozidla a lámání soupravy. [21]

Obr. č. 32 – Po vychýlení soupravy ze směru jízdy se přívěs příčným kmitáním částečně vrací zpět do vymezeného prostoru. [21]

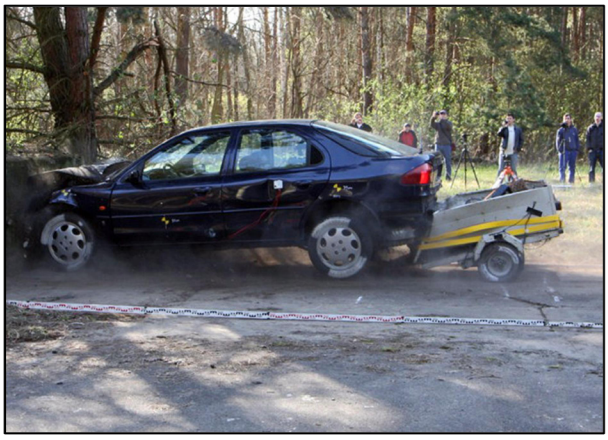
Obr. č. 33 – Konečné postavení jízdní soupravy. [21]

Tažený přívěs může výrazně zkomplikovat průběh dopravní nehody, obzvláště pokud je nesprávně rozložen nebo upevněn převážený náklad. Nastává jev proniknutí oje přívěsu do zadní části tažného vozidla. Náklad vlivem setrvačného pohybu často deformuje zadní část vozidla a bezprostředně tím ohrožuje posádku. Relativně četné zkoušky pronikání oje přívěsu realizuje Berlínská technická a ekonomická univerzita (Hochschule für Technik und Wirtschaft – HTW Berlin). Tato univerzita organizovala v roce 2019 crashtest [27], který měl za cíl zkontrolovat účinky nárazu automobilu s přetíženým a nedostatečně zajištěným přívěsem. Testovanými subjekty bylo vozidlo Volkswagen Golf (rok výroby 1997) a přívěs o celkové hmotnosti do 750 kg. Náklad přívěsu byl tvořen svazkem lešenářských tyčí. Při jízdě rychlostí 50 km/h došlo během čelního nárazu do pevné překážky k proniknutí oje přívěsu do vozidla Golf a k přesunutí veškerého nákladu přívěsu. [27]

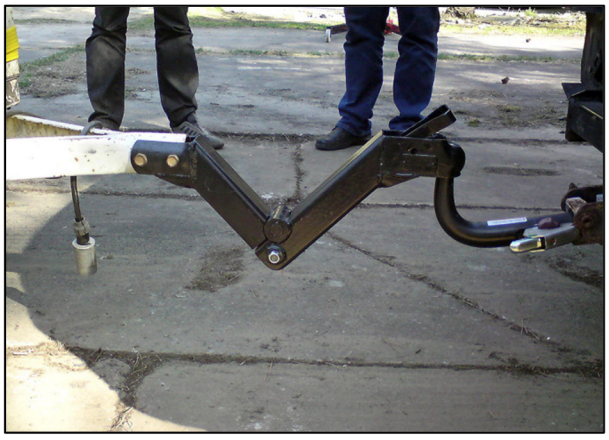
Obr. č. 34 – Deformace zadní části vozidla Golf a začátek přemístění lešenářských tyčí. [27]

Obr. č. 35 – Vniknutí nákladu přívěsu do tažného vozidla. [27]

HTW se snaží zamezit pronikání oje do tažného vozidla. Jedním z řešení je konstrukce Knickdeichsel (lomená oj), jejíž podstatou je vychýlit směr vektoru síly působící přes oj na tažné vozidlo Tento systém využívá přídavného kloubu, který je jištěn střižným kolíkem, ten je při nárazu prudkým působením sil přestřihnut a oj je vychýlena směrem k vozovce a tedy mimo podélnou osu vozidla. Ke střetu vozidla s přívěsem sice dojde, ale díky větším styčným plochám a odklonu směru působení sil je zmenšena hloubka deformace. [28]

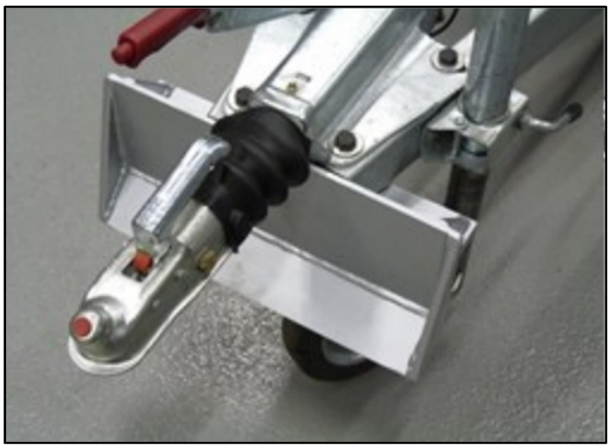


Obr. č. 36 – Odklon oje směrem k vozovce a následný náraz čela přívěsu do zadní části tažného vozidla. [28]

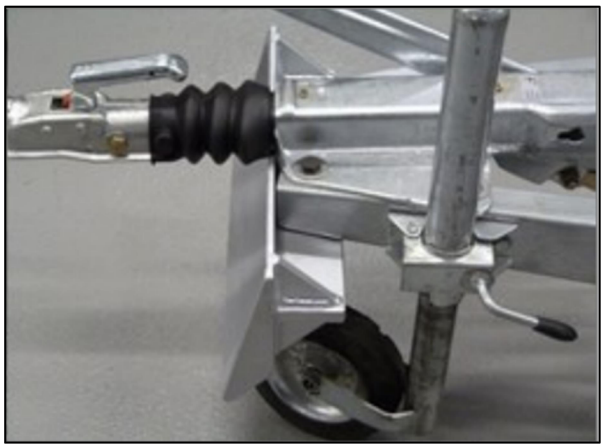


Obr. č. 37 – Použitý systém lomené oje. [28]

Druhé konstrukční řešení HTW Berlín představuje použití Anhängerschutzplatte (ochranný štít přívěsu), kde byla aplikována myšlenka zvětšení styčných ploch a přesměrování působení sil oje přívěsu. Relativně malá plocha zamezí proniknutí oje do tažného vozidla, přičemž většina energie je zmařena na deformaci spojovacího zařízení a absorbována zadní příčnou výztuhou nárazníku. [29]



Obr. č. 38 – Anhängerschutzplatte (ochranný štít přívěsu). [29]



Obr. č. 39 – Anhängerschutzplatte (ochranný štít přívěsu) boční pohled. [29]

12 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

Jako nejkritičtější u jízdních souprav se jeví chování zatíženého přípojného členu. Je zřejmé, že s těžší pohybující se hmotou jsou úměrně zvětšovány také setrvačné síly, což ovlivňuje nejen brzdnou dráhu vozidla, ale také schopnost udržení směrové stability. Opomíjeným tématem je také upevnění převáženého nákladu pro zamezení vzniku škod nejen na lidském zdraví, ale také na majetku a životním prostředím.

Cílem je pomocí praktického měření vyhodnotit chování jízdní soupravy v izolovaném prostředí a následně aplikovat tato zjištění na reálný provoz na pozemních komunikacích. Budou stanoveny brzdné dráhy, jakožto i brzdné zpomalení pro modelovou jízdní soupravu s nákladem i bez něj. Následně budou tyto data porovnány a vyhodnoceny.

Předmětem testování délky brzdných drah bude návěsová jízdní souprava, přičemž série měření bude rozdělena na několik variant:

- tažné vozidlo a prázdný návěs,
- tažné vozidlo rovnoměrně zatížený návěs.

U jízdních zkoušek by mělo být dbáno na fixaci nákladu a jeho správné rozložení (pokud se nebude jednat o úmyslně chybně rozložený náklad). Monitorovány budou také pneumatiky tažného vozidla a návěsu. Průběžně bude před každou započatou jízdou vizuálně kontrolován celkový stav jízdní soupravy.

Během jízdního manévru - brzdění - budou mj. detekovány výchylky směrové stability jízdní soupravy a možné přemístění nákladu.

13 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ

Pro zachycení brzdné dráhy a brzdného zpomalení bude potřeba vhodných měřících přístrojů. Jako přijatelný kandidát na provedení zkušebních jízd se ukázalo zařízení XL Meter, který zaznamenává průběh podélného a bočního zrychlení/zpomalení vozidla, čas, vzdálenost a jiné. Všechny parametry jsou zaznamenány na paměť, přičemž přístroj umožňuje několik měření v sérii. Instaluje se většinou na čelní sklo vozidla, ale lze jej upevnit případně i na jinou část, jakou by mohlo být např. čelo či záď přívěsu/návěsu. Přístroj disponuje svou přenositelností, rozměry, jednoduchým a přístupným ovládáním pro kalibraci, spuštění a zastavení měření. Navíc nevyžaduje externí zdroj napájení. Data získané na paměť zařízení lze mezi jednotlivými sériemi snadno bez demontáže stáhnout do notebooku a poté zpracovat pomocí programu XL Vision.

Obr. č. 40 – Akcelerometr XL Meter. [30]

Pro okamžité ověření výstupních dat by mohlo být kromě měřicího přístroje využito měřící pásmo či GPS. To společně s dopravními kužely vyznačujícími začátek měřeného úseku a počátek brzdění poslouží k rychlému vizuálnímu zhodnocení proběhlé jízdy a případně by tak zamezilo výskytům chybných jízd v následném zpracování. Tyto chyby budou minimalizovány také v případě dostatečného množství testovacích jízd a to za shodných podmínek.

14 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Na začátek bylo potřeba zvolit předmětné vozidlo testovacích jízd, následně pak trať a samotné provedení těchto zkoušek. Jako tažné vozidlo byl vybrán tahač MAN TGA 26.480 6x4 BLS, r.v. 2004, o výkonu 353 kW a o zdvihovém objemu 12 816 cm^3. Toto vozidlo bylo ve výborném technickém stavu, avšak používané pro převoz stavebního materiálu v kombinaci s návěsem a pro převoz stavebních strojů v kombinaci s podvalníkem, proto jevilo známky mírného opotřebení. Pro účely diplomové práce tahač tvoří jízdní soupravu s návěsem Panav NS 1 40, r.v. 2008 sklápěcího typu.

Firmě EMPEC Martin Peč s.r.o., které vozidlo vlastní a provozuje, je povoleno Ministerstvem dopravy zvláštní užívání pozemních komunikací pro přepravu zvlášť těžkých nebo nadrozměrných předmětů a užívání vozidel, jejichž rozměry nebo hmotnost přesahují míru stanovenou vyhláškou č 209/2018 Sb., o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel.

Obr. č. 41 – Tahač MAN TGA 26.480 se sklápěcím návěsem Panav NS 1 40. [vlastní]

Detailní informace o tažném vozidle, jakožto i o návěsu, jsou uvedeny v Osvědčení o registraci vozidla a to především v části D) Technický popis vozidla, v němž se mj. nachází údaje o hmotnostech a rozměrech konkrétního vozidla.

Tab. č. 4 – Rozměry a hmotnosti z Osvědčení o registraci vozidla pro předmětný tahač a návěs.

Člen jízdní soupravy:		**Tahač** **MAN TGA 26.480**	**Návěs** **Panav NS 1 40**
Rozměry	Celková délka [mm]:	6 900	10 100
	Celková šířka [mm]:	2 550	2 550
	Celková výška [mm]:	3 650	3 650
	Rozvor [mm]:	3 200; 1 400	T 4 390; 1 410; 1 410
Hmotnosti	Provozní hmotnost [kg]:	9 500	7 970
	Největší technicky přípustná hmotnost [kg]:	28 000	40 000
	Největší technicky povolená hmotnost [kg]:	26 000	40 000
	Největší technicky přípustná hmotnost na nápravu [kg]: (1-2-3-4…)	7 500; 11 500; 11 500	9 000; 9 000; 9 000
	Největší technicky povolená hmotnost na nápravu [kg]: (1-2-3-4…)	7 500; 9 500; 9 500	9 000; 9 000; 9 000
	Největší technicky přípustná hmotnost jízdní soupravy [kg]:	60 000	
	Největší technicky povolená hmotnost jízdní soupravy [kg]:	48 000	

Tahač byl opatřen kotoučovými brzdami na přední nápravě brzdami a bubnovými brzdami na zadních nápravách. Návěs byl vybaven bubnovými brzdami, jejichž ovládací medium pocházelo ze vzduchové soustavy tahače návěsu. Vzduch byl přiváděn pomocí přípojných hadic a to do vzduchojemů s pojistnými ventily, což zaručuje dostatečné množství vzduchu za jakýchkoliv provozních podmínek. Brzdová soustava návěsu je tvořena dvěma okruhy – provozním a parkovacím. Přičemž platí, že brzdový systém musí být konstruován, namontován a provozován tak, aby vyhovoval předpisům EHK OSN č. 13 a to i při vibracích, kterým může být vystaven. Stanoveno předpisem je spojení mezi motorovými a přípojnými vozidly s pneumatickými brzdovými systémy. Tento systém musí být opatřen jedním pneumatickým přívodním vedením a jedním pneumatickým ovládacím vedením a případně také jedním elektrickým ovládacím vedením. Pneumatické vedení je zajištěno barevně rozlišenými hadicemi, přičemž červená barva zpravidla označuje přívod a žlutá barva pak ovládací vedení. Hadice jsou od ostatních kabelů snadno rozeznatelná díky kovovým spojovacím kohoutům.

14.1 PŘÍPRAVA JÍZDNÍCH ZKOUŠEK

Před samotnými testovacími jízdami byla provedena příprava. Ta popisovala kroky potřebné především pro zajištění bezpečnosti při následném získávání dat. Byly provedeny záznamy o všech vstupních prvcích, jež by měření mohli ovlivnit a provedena opatření proti nežádoucím vlivům.

14.1.1 Kontrola stavu členů návěsové jízdní soupravy

Příprava začala kontrolou vozidla MAN. Toto vozidlo je standardně vybaveno dvěma sedadly a jedním lůžkem, vzhledem k tomu, že nebylo používáno k nocování a bylo obsluhováno pouze jedním řidičem, byly vnitřní prostory udržované. Předměty v kabině nesloužící k měření byly zajištěny proti pohybu. Zpětná zrcátka a stejně tak jako čelní sklo byli bez prasklin a nečistot. Tahač nejevil žádné vizuální známky poškození.

Sklápěcí návěs Panav naopak jevil známky používání vlivem přepravy stavebních materiálů. Samotná ocelová vana však nebyla poškozena natolik, aby znečišťovala místní pozemní komunikace. Nevýhodou těchto masivních velkoobjemových návěsů je jejich hmotnost, naopak jejich výhodou je díky tvaru samočistící schopnost.

Spojovací zařízení tvořené 3 ½“ královským čepem a točnicí nebylo znečištěno ani poškozeno, umožnilo tak dokonalé spojení a přebrání části návěsové hmotnosti na tahač. Poněkud nestandartní stav byl zaznamenán na přípojkách tlakového a elektronického systému. Vyskytly se známky hrubé manipulace a některé kryty zásuvek elektrických kabelů byly zlomeny a konzola na připojení byla znečištěna.

Obr. č. 42 – Tlakový a elektronický systém připojení tahače a návěsu. [vlastní]

Co se týče pneumatik, tak ty také jevily známky užívání. Tahač i návěs byly vybaveny předepsanými pneumatikami dle Osvědčení o registraci vozidla. Třínápravový tahač byl osazen v zadní části dvěma zdvojenými nápravami, návěs taktéž třínápravový byl nesen jednoduchými nápravami, přičemž jedna z nich byla konstruována jako zvedací. Tuto zvedací nápravu však nebylo možné manuálně ovládat, neboť manuální mechanismus zvedání/pokládání nebyl používán a ve spojitosti se stářím došlo k jeho vyřazení.

Tab. č. 5 – Pneumatiky testovacího jízdní soupravy.

Člen jízdní soupravy:		**Tahač MAN TGA 26.480**	**Návěs Panav NS 1 40**
Pneumatiky	1. náprava	385/65 R22.5 158 G	385/65 R22.5 160 J
	2. náprava	315/80 R22.5 150 M *	385/65 R22.5 160 J
	3. náprava	315/80 R22.5 150 M *	385/65 R22.5 160 J

** zdvojená montáž*

Kromě malých povrchových oděrek a škrábanců byly pneumatiky shledány jako způsobilé k použití a jejich stav před jízdními zkouškami by neměl negativně ovlivnit výsledky těchto testů.

Před jízdou byla provedena také prohlídka, zda nedochází k úniku provozních kapalin. Vzhledem ke značnému užívání vozidla, byla kontrola tohoto bodu společně s kontrolou brzdového systému předána servisnímu týmu, který byl zajištěn majitelem.

Nebyl zjištěn žádný únik kapalin a brzdový systém nevykazoval nežádoucí opotřebení či jiné poruchy. Jízdní souprava tak byla uschopněna na následující testovací jízdy.

14.1.2 Materiál určený pro zatížení jízdní soupravy

Jako zátěž bylo zvoleno kamenivo s označením DK 32/63, dané normou ČSN EN 13242+A1 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace. Toto drcené kamenivo taktéž známé jako makadam se používá jako drenážní štěrk nebo jako spodní vrstva pod vysoce zatěžované plochy. Byl vybrán pro svoji dostupnost s úmyslem jej po měření uskladnit.

Tento materiál měl být odebrán ze společnosti Kamenolomy ČR s.r.o. v den měření.

14.1.3 Vážení jízdní soupravy

Vážení probíhalo hned na kolika místech a mělo tak zamezit navážení nepřesných hodnot. Hlavní vážení bylo provedeno na pracovišti Správy silnic Moravskoslezského kraje v Bruntále (SSMSK Bruntál). Toto středisko disponuje váhami s automatickou činností pro vážení silničních vozidel za pohybu. Jedná se o dynamickou váhu typu VM-1.2 s výrobním číslem 11/07 jejímž výrobcem je společnost Tenzováhy s.r.o. podrobné specifikace uvádí **Příloha č. 3**: Potvrzení o ověření stanoveného měřidla.

Výhodou této váhy je také vážení jednotlivých náprav jízdní soupravy. Toho bylo využito při kontrole, zda se náklad při jízdních zkouškách nepřesunul, případně jak se přemístil a jaké bylo následné rozložení na jednotlivé jízdní členy, přesněji na jejich nápravy.

Obr. č. 43 – Dynamická váha na pracovišti SSMSK Bruntál. [vlastní]

V poslední řadě bylo naplánováno vážení na další mostové váze před odběrem materiálu určeného k zatěžování jízdní soupravy v kamenolomu.

14.1.4 Zkušební dráha

Jako stěžejním faktorem pro výběr zkušební dráhy byla vzdálenost od nepřenosných vah, kamenolomu a depa vozidla. Ve městě Bruntál se nenachází zpevněné netravnaté letištní plochy ani závodní dráhy, které by byly vhodné jako prostory na provedení podobných jízdních zkoušek, proto byla využita soukromá účelová pozemní komunikace. Po souhlasu majitele bylo nutné trať prohlédnout a stanovit úsek měření. Při výběru úseku bylo nutné zajistit dostatečně rozsáhlé plochy na otočení jízdní soupravy.

Bezejmenná slepá pozemní komunikace se nachází v průmyslovém areálu v blízkosti firmy Linaset a.s. v Bruntále a je na ni umožněn přístup z ulice Zahradní. Tato komunikace byla na podzim 2020 rekonstruována a opatřena novým živičným povrchem, byla tedy ve výborné kondici bez nerovností a výškových rozdílů. Na jedné straně byla ohrazena pletivovým plotem a na straně druhé byly umístěny betonové kvádry. Na jízdy byla zvolena téměř v celé délce (465 m).

Obr. č. 44 – Trať. [vlastní]

Nezpevněná krajnice mírně svojí výplní znečišťovala povrch pozemní komunikace jemnými kamínky, nikoli však v celé šířce vozovky, proto se měření mělo soustředit mimo tuto oblast. Betonové kvádry umístěné na této straně byly svým vhodným umístěním vybrány jako vhodné ukazatele vzdálenosti a společně se svislým dopravním značením měly sloužit místo dopravních kuželů či značek pro orientaci na trati.

Bezprostředně před samotnými zkušebními jízdami byly vyhodnoceny meteorologické podmínky. V pátek 27.8.2021 v 10:10 bylo vozidlo v domovské stanici na firmě EMPEC Martin Peč s.r.o.. Teplota vzduchu se pohybovala kolem 14 až 16 °C s oblačností 8/8 (zataženo) bez deště. Trať a okolí byly však mokré, spíše vysychajícího charakteru z předešlých nočních přeháněk.

14.1.5 Seznámení řidiče s cílem měření

Řidiči jízdní soupravy byl vyložen plán příjezdu na jízdní zkoušky:

1. po skončení příprav přemístit prázdnou jízdní soupravu na první kontrolní vážení do střediska SSMSK Bruntál (**Obr. č. 45** pozice 3),
2. po vážení vyčkat na vážní lístek (**Příloha č. 4**: Vážní lístek dané prázdné jízdní soustavy),
3. přistavit vozidlo k vykonání jízd s prázdnou jízdní soupravou.

Obr. č. 45 – Mapa cesty z depa (START) přes vážení náprav na pobočce SSMSK (3) a přistavení vozidla k provedení jízdních zkoušek (CÍL).

Před instalací XL Meteru byl řidič obeznámen s účelem měření a tratí. Po domluvě s řidičem byla po celou dobu zkoušek odpojena elektrická přípojka ABS pro návěs, vzhledem k nálezu zjištěnému při kontrole spouštění zvedací nápravy. Tak byly zajištěny shodné podmínky pro jízdy s prázdným i plným návěsem. Byly stanoveny mety (betonové kvádry), které sloužili pro orientaci v měřícím úseku. Výchozí rychlost brzdění byla domluvena na 30 km/h a pro dostatečné množství dat, bylo nutno zaznamenat alespoň 6 jízd.

14.1.6 Instalace akcelerometru do vozidla a provedení zkušební jízdy

Měřicí přístroj byl zapůjčen na Ústavu soudního inženýrství v Brně a následně byl umístěn v kabině řidiče. Jednalo se o tento přístroj:

Tab. č. 6 – Použitý přístroj a jeho specifikace.

Přístroj	**Umístění**	**ID číslo**	**Charakteristika**
XL Meter 1	kabina řidiče	ID 1000086919	měřicí rozsah pro podélné i příčné zrychlení: -20,0 m/s^2 až 20,0 m/s^2 záznamová frekvence 200 Hz citlivost 0,002 m/s^2

Upevnění XL Meteru přísavkou jej umožňuje dostatečně upevnit a zajistit přístroj proti nežádoucímu pohybu. Přístroj byl ovládán spolujezdcem, proto nebylo nutné seznamovat řidiče s jeho obsluhou.

Po kalibraci zařízení v klidové vodorovné poloze a následnému spuštění byla odstartována zkušební jízda. Po uvedení vozidla do klidu bez kmitání kabiny byl akcelerometr vypnut a zkontrolovány získané data. Tato jízda úspěšně simulovala brzdný manévr v křižovatce a byl tím ověřen způsob měření „ostrých“ jízd.

14.2 VLASTNÍ BRZDNÉ JÍZDNÍ ZKOUŠKY

Cílem jízd bylo získat dostatečné množství dat pro vykreslení křivky závislosti celkové hmotnosti soupravy na délce brzdné dráhy. Byl stanoven minimální potřebný počet jízdních zkoušek. A měření rozděleno do dvou dnů. První den byl zahájen testem s prázdným návěsem, přičemž následovalo měření s návěsem naloženým. Tyto dvě sady zkoušek byly označeny jako hraniční a tedy stěžejní pro vyhodnocení.

Mezihodnoty byly určeny ve stavu k zatížení návěsu ve třech úrovních na 1/4, 1/2, a 3/4. Nakládka materiálu však probíhala v relativně velkém množství a nejednalo se o laboratorní podmínky, proto byly tyto poměry stanoveny jen jako ideální.

Během celého tohoto experimentu nebyla brána v potaz spotřeba provozních kapalin, tudíž ani změna hmotnosti nádrže.

14.2.1 Prázdný a maximálně naložený návěs

Zkoušky probíhaly dle **Příloha č. 2**: Postup vlastních brzdných jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy s jejím zatěžováním. Po zběžné kontrole stavu jízdní soupravy po zkušební jízdě a odsouhlasení způsobu jízdy s řidičem byly zahájeny měřené jízdy s prázdnou soupravou tahače MAN a návěsu Panav. První jízda ze série měření byla poněkud obezřetná. Rozsah kmitání kabiny tahače při brzdném manévru byl poněkud nečekaný. Bylo nutné vyčkat na dokmitání kabiny a následně zastavit akcelerometr. Následovala kontrola, zda nedošlo k poškození soustavy.

Obr. č. 46 – Upevnění měřicího přístroje XL Meter ID 1000043954. [vlastní]

Po vykonání šesti samostatných měření byla data uložena a společně s řidičem byla provedena kontrola pneumatik. Nebyly zjištěny žádné stavy poškození. Vozidlo bylo tedy připraveno na nakládku kameniva, která se měla uskutečnit v obci Valšov.

Provozovna Valšov Kamenolomy ČR s.r.o. je od místa testování vzdálena asi 20 km. Zde se jako zátěž jízdní soupravy odebralo drcené kamenivo s označením DK 32/63 o hmotnosti 28,86 t (naváženo na místní

mostové váze). Tímto bylo absolvováno poslední vážení prázdné soupravy a zároveň první vážení naložené soupravy.

Hlavní vážení se uskutečnilo cestou zpět na trať v areálu SSMSK v Bruntále, poté se daná souprava vrátila na trať k vykonání jízdních zkoušek ve stavu naloženém.

Tab. č. 7 – Data získaná z vážení, které absolvovala prázdná a naložená předmětná jízdní souprava.

	Váha	**Lokace**	**Datum a čas**	**Celková hmotnost**	**Rozložení hmotnosti na nápravy**
Prázdný návěs	Dynamické nápravové váhy *	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	27.08 2021 10:31	18,18 t	1. náprava: 5 740 kg 2. náprava: 3 060 kg 3. náprava: 3 260 kg 4. náprava: 1 600 kg 5. náprava: 2 280 kg 6. náprava: 2 240 kg
	Mostová silniční váha	Kamenolomy ČR s.r.o., Provozovna Valšov II	27.08 2021 11:50	18,06 t	-
Nakládka materiálu.					
Naložený návěs	Mostová silniční váha	Kamenolomy ČR s.r.o., Provozovna Valšov II	27.08 2021 11:54	46,92 t	-
	Dynamické nápravové váhy **	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	27.08 2021 12:08	47,22 t	1. náprava: 6 380 kg 2. náprava: 7 820 kg 3. náprava: 8 120 kg 4. náprava: 7 140 kg 5. náprava: 9 760 kg 6. náprava: 8 000 kg
Kontrolní vážení, zda nedošlo k přesunu materiálu.					
Naložený návěs	Dynamické nápravové váhy ***	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	27.08 2021 12:49	46,94 t	1. náprava: 6 380 kg 2. náprava: 7 820 kg 3. náprava: 8 120 kg 4. náprava: 7 140 kg 5. náprava: 9 760 kg 6. náprava: 8 000 kg

** viz Příloha č. 4: Vážní lístek dané prázdné jízdní soustavy*
*** viz Příloha č. 5: Vážní lístek dané naložené jízdní soustavy*
**** viz Příloha č. 6: Vážní lístek po kontrolním vážení naložené jízdní soupravy*

Z **Tab. č. 7** lze vyčíst, že hmotnost po nakládce materiálu zjištěná na dynamické váze byla oproti hmotnosti navážené na mostové silniční váze z kamenolomu poněkud vyšší, přesně o 120 kg. Pokud je však vzato v úvahu také kontrolní vážení, které proběhlo po 3. měřené jízdě naloženého návěsu, jsou tyto hmotnostní hodnoty s menším rozdílem. Tyto odchylky jsou však nepatrné v porovnání s celkovou hmotností jízdní soupravy.

Zřejmé ze získaného je také neměnnost rozložení hmotnosti na jednotlivé nápravy. A po rozhovoru s obsluhou dynamických vah, je rozdíl 280 kg zapříčiněn způsobem jízdy přes vážící systém (rychlejší/pomalejší

přejezd), nebo směr nájezdu na vážnou plochu (můstek) a v neposlední řadě také zaokrouhlování samotného přístroje. Proto rozdíly nebudou brány v potaz a lze usoudit, že při rychlosti 30 km/h a převozu materiálu DK 32/63 se při náhlém brzdném manévru materiál nepřemístí a náklad tak zůstává v nákladové zóně v klidu.

Po ukončení poslední 6. jízdy naložené jízdní soupravy byla data zálohována. Byla prohlédnuta trať, zda nedošlo k jejímu znečištění či poškození. Proběhla také kontrola návěsové soupravy. Vzhledem k tomu, že nebyla zjištěna žádná změna stavu, byl náklad přepraven a uskladněn.

Obr. č. 47 – Vykládka materiálu použitého pro zatížení návěsové soupravy. [vlastní]

Obr. č. 48 – Podpěry vysouvatelné manuálně – klikou. [vlastní]

14.2.2 Mezihodnoty naložení návěsu

Tyto jízdy vyžadovaly stejný přístup (dle **Příloha č. 2**: Postup vlastních brzdných jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy s jejím zatěžováním) jako předchozí měření včetně podmínek měření. Materiál na zatížení byl použit tentýž s rozdílem, že nebyl nasypán ze sila v kamenolomu, ale byl naložen nakladačem a to na konci zkušební dráhy. Po prvním naložení byla souprava zvážena a opět proběhla série brzdných zkoušek, následná kontrola stavu vozidla a tratě. Jednalo se tedy o postupné přidávání kameniva, a proto byly jízdy pracovně nazvány jako Naložení A, B a C.

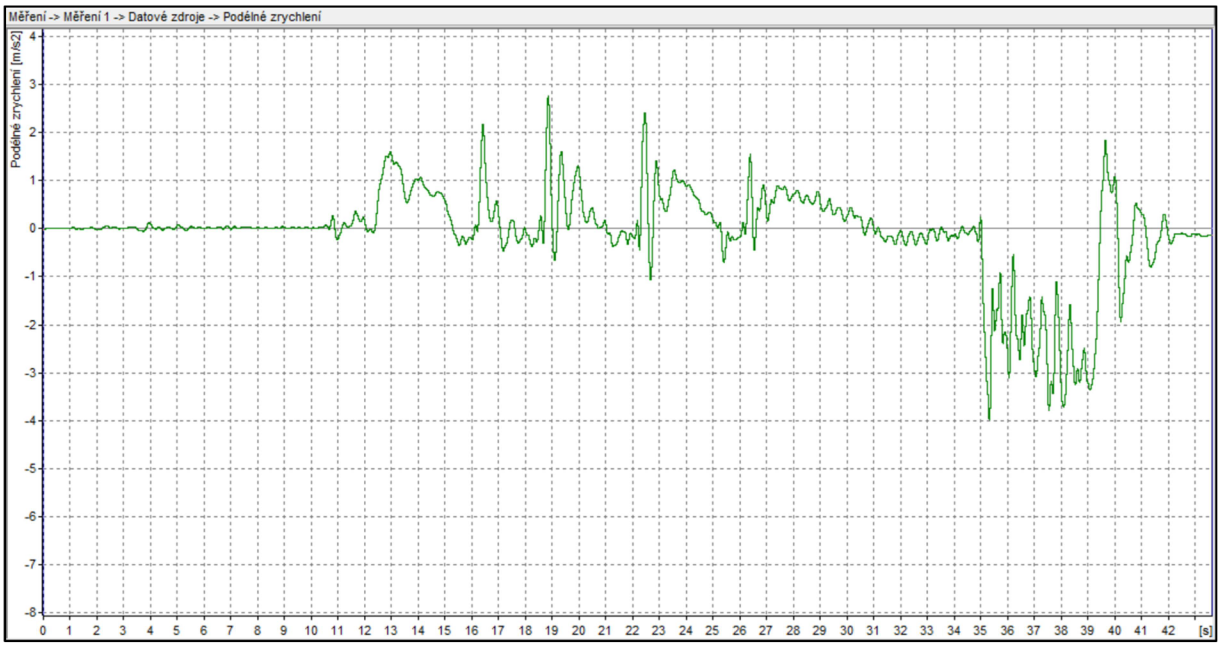
Tab. č. 8 – Data získaná z vážení jízdní soupravy se třemi rozdílnými stupni zatížení.

	Váha	**Lokace**	**Datum a čas**	**Celková hmotnost**	**Rozložení hmotnosti na nápravy**
Nakládka materiálu o hmotnosti 7,76 t.					
Naložení A	Dynamické nápravové váhy	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	28.08 2021 9:49	25,94 t	1. náprava: 5 980 kg 2. náprava: 4 200 kg 3. náprava: 4 560 kg 4. náprava: 2 920 kg 5. náprava: 4 380 kg 6. náprava: 3 900 kg
Nakládka materiálu o hmotnosti 15,84 t.					
Naložení B	Dynamické nápravové váhy	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	28.08 2021 10:33	34,02 t	1. náprava: 6 260 kg 2. náprava: 5 360 kg 3. náprava: 5 680 kg 4. náprava: 4 380 kg 5. náprava: 6 540 kg 6. náprava: 5 800 kg
Nakládka materiálu o hmotnosti 19,78 t.					
Naložení C	Dynamické nápravové váhy	SSMSK Zahradní 1949, Bruntál	28.08 2021 11:03	37,96 t	1. náprava: 6 160 kg 2. náprava: 5 760 kg 3. náprava: 6 180 kg 4. náprava: 5 360 kg 5. náprava: 7 680 kg 6. náprava: 6 820 kg

Z **Tab. č. 7** a **Tab. č. 8** je patrné, že nejméně byla vždy zatížena 4. náprava, tedy první náprava návěsu a naopak nejvíce zatížena byla 5. náprava (druhá náprava návěsu) s výjimkou prázdné jízdní soupravy. V jednom případě však došlo k překročení největší technicky povolené hmotnost na nápravu a to v případě plně naloženého návěsu, kdy byla povolená hodnota (9 000 kg) překročena o 760 kg. Tento stav by mohl vést k ohrožení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích a k rychlému snižování životnosti návěsu.

15 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Ze získaných dat byly pomocí programu XL Vision společně s nezbytným tabulkovým kalkulátorem Microsoft Excel zpracovány všechny potřebné výstupy a vytvořeny výpočty. Tyto použité programy se velmi vhodně doplňovaly, neboť XL Vision zpracovává data převážně v grafické formě, oproti tomu Microsoft Excel dokáže zobrazit výsledky v číselných řadách.



Graf č. 3 – Vizualizace 1. jízdní zkoušky prázdné návěsové jízdní soupravy v programu XL Vision.

Pro některé měření bylo nutno číselné výsledky zrychlení zatížit korekcí, tak aby se počáteční hodnoty blížili co možná nejvíce nule a nedošlo k výrazným skokovým výkyvům v konečném vyhodnocení. Následně se pomocí grafů vyhodnocovaly tyto ukazatele:

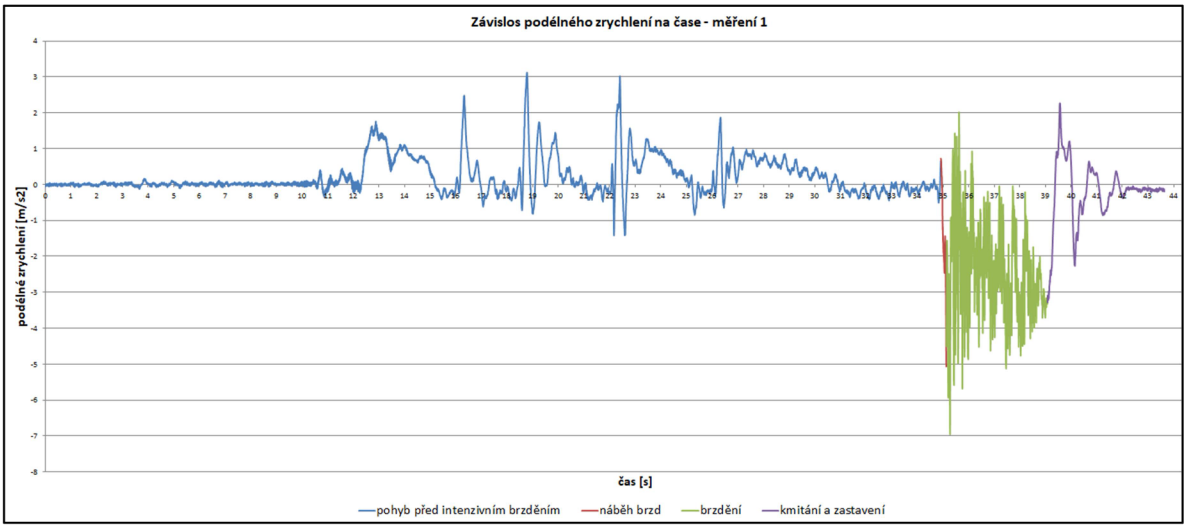
- čas brzdění jízdní soupravy,
- doba náběhu brzd,
- celkové průměrné zpomalení,
- maximální zpomalení.

Z těchto záznamů byly dále pomocí jednoduchých výpočtů získány výstupy jako:

- okamžitá rychlost,
- délka brzdné dráhy.

Současně se zaznamenáním výsledů byly také vytvořeny grafy závislosti podélného zrychlení na čase. Ke grafu byly připojeny popisky vyjadřující, v jaké části činnosti se vozidlo nacházelo. Grafické znázornění koresponduje se záznamem ze zařízení XL Meter.

Po vyhodnocení jednotlivých jízd a jejich grafickém znázornění byly výsledky podrobeny kontrole a dále porovnány data akcelerometru pro prázdný návěs a v návaznosti na to také varianty naloženého návěsu.



Graf č. 4 – Ukázka vizualizace 1. jízdní zkoušky prázdné návěsové soupravy v programu Microsoft Excel.

Akcelerometr při šesti zkouškách jízdy s prázdným návěsem zaznamenal hodnoty uvedené v **Příloha č.** 7: Výsledky jízdních zkoušek předmětné jízdní soupravy, přičemž následně byla vypočtena délka brzdné dráhy, určená pro následné porovnání. Zprůměrované výsledky jsou pak zaznamenané v následující tabulce.

Tab. č. 9 – Průměrné hodnoty získané ze všech jízdních zkoušek.

Stav naložení návěsu	XL meter				výpočty			Celková hmotnost soupravy [t]
	průměrné hodnoty				průměrné hodnoty			
	Čas brzdění [s]	Náběh brzd [s]	Průměrné zpomalení [m/s2]	Maximální zpomalení [m/s2]	Okamžitá rychlost [m/s]	Okamžitá rychlost [km/h]	Délka brzdné dráhy [m]	
0	2,26	0,40	3,63	6,91	8,21	30	9,3	**18,18**
A	2,69	0,25	3,57	7,51	9,57	34	12,9	**25,94**
B	3,17	0,27	3,16	7,79	9,98	36	15,9	**34,02**
C	3,34	0,25	2,97	6,27	9,86	36	16,4	**37,96**
MAX	3,86	0,29	2,39	6,90	9,23	33	17,8	**46,94**

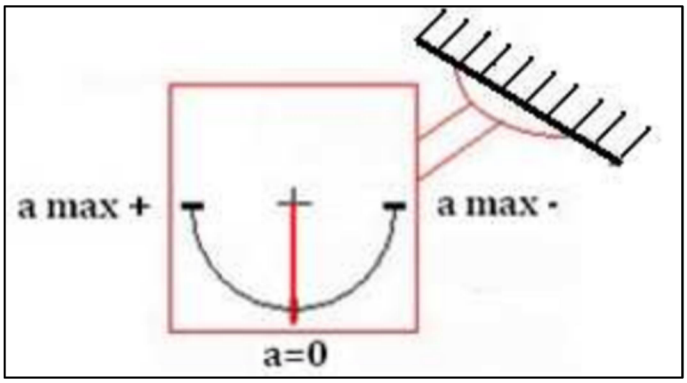
Současně s výsledky brzdných zkoušek byly získány i data o akceleraci předmětné jízdní soupravy. Rozjezd takové tonáže vyžaduje vhodné podmínky jako je dostatečně dlouhá pozemní komunikace. Veškerý pohyb vozidla byl monitorován v přímém směru na vozovce s minimálním sklonem a minimálními nerovnostmi. Z rychlosti 0 km/h na průměrných 33 km/h bylo řazeno plynule ale v co nejkratším možném čase. Získané hodnoty zpracovány pomocí již zmíněných programů a následně byly zprůměrovány.

Tab. č. 10 – Výsledné akcelerační časy dle stavu naložení návěsu.

Pořadí jízdy	Stav naložení návěsu				
	prázdný návěs	naložený A	naložený B	naložený C	maximálně naložený
	čas akcelerace				
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	10,94	10,20	10,85	13,83	16,75
2	8,89	11,85	11,55	11,75	12,85
3	9,48	10,60	11,63	11,43	14,40
4	10,45	10,90	11,94	14,53	13,80
5	9,86	11,35	11,85	11,30	13,65
6	10,38	11,50	10,99	13,84	13,75
průměr	**10,00**	**11,07**	**11,47**	**12,78**	**14,20**

16 ANALÝZA DAT

U přístroje XL Meter je oproti jeho výhodám nutno poukázat na nevýhodu, jež je způsobena podélným kolébáním karoserie. Přistroj je kalibrován v klidové poloze, ideálně vodorovné. Při akceleraci dochází k nadlehčení přídi a současně k poklesu zádi a naopak při deceleraci je záď nadlehčena a příď umístěna níže. Zjednodušeně si tuto situaci lze představit na modelu akcelerometru na **Obr. č. 49**. Hmotný bod zavěšený na nehmotném rameni s ručičkou měřidla volně se vychylující v podélném směru se zrychlením určeným setrvačnými silami. Ve svislé poloze ručička setrvá v případě klidového stavu a zrychlení je tedy nulové. Pokud však dojde k naklonění stupnice, poloha ručičky se nezmění. [22]



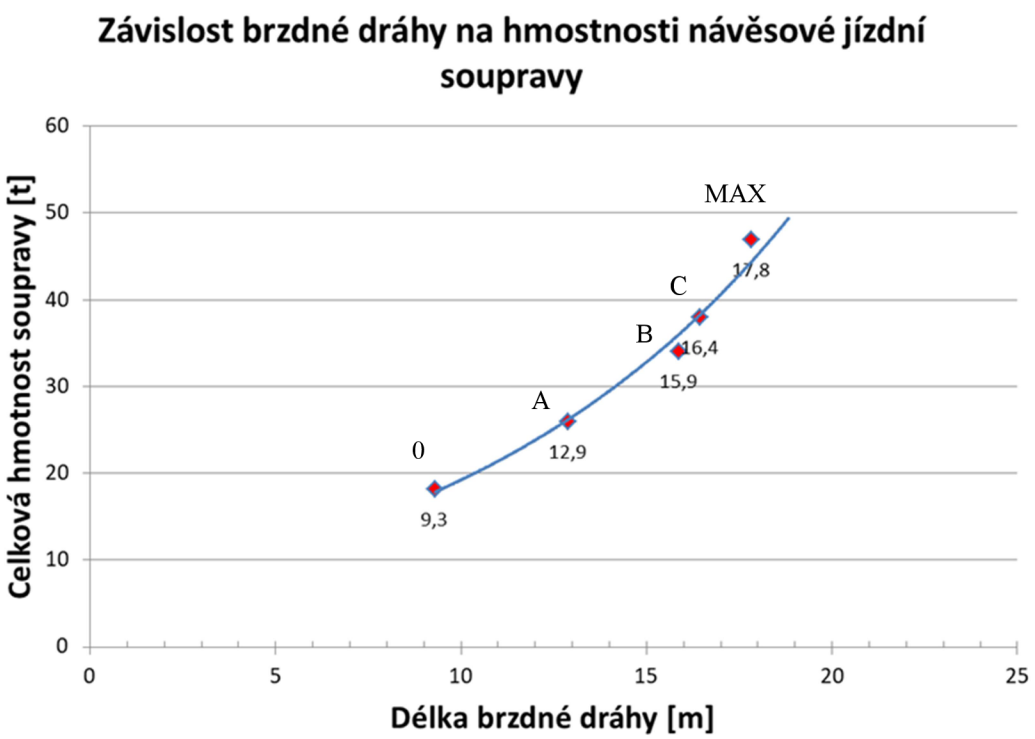
Obr. č. 49 – Model ideálního akcelerometru v klidu. [22]

Vlivem setrvačných sil se ručička snaží zachovat svoji původní polohu, avšak působí na ní síla způsobující zrychlení/zpomalení a tím je zapříčiněno vychýlení. V neposlední řadě je třeba upozornit na další vlivy, které by mohly negativně zkreslit výsledky:

- účinnost brzd v souvislosti s jejich teplotou,
- reakční doba řidiče,
- intenzita působení na brzdový pedál,
- chybná fixace měřících přístrojů,
- zaokrouhlovací a výpočtové chyby.

17 SUMARIZACE A VYHODNOCENÍ

Brzdné dráhy, jež jsou výstupem, poukazují na výrazné prodloužení po přidání zatížení, rozdíl mezi prázdnou jízdní soupravou (18,18 t) a soupravou s naloženým návěsem (46,94 t) činil v průměru 8,5 m a to už při této relativně nízké rychlosti v průměru 33 km/h. Výrazné je také rozkmitání kabiny tahače, což mohlo mít výrazný vliv na přístroje.



Stav naložení návěsu	0	A	B	C	MAX
Délka brzdné dráhy [m]	9,3	12,9	15,9	16,4	17,8
Celková hmotnost soupravy [t]	18,18	25,94	34,02	37,96	46,94

Graf č. 5 – Závislost brzdné dráhy na hmotnosti návěsové soupravy tahače MAN TGA 26.480 a návěsu Panav NS 1 40.

Všechny zkušební jízdy probíhaly v přímém směru s rovnoměrně zatíženým návěsem. Nejednalo se však o laboratorní podmínky. Během těchto jízd vozidlo nejevilo nežádoucí ztrátu směrové stability a nijak těmito brzdnými manévry neohrozilo bezpečnost provozu na pozemních komunikacích.

Při bližší analýze získaných dat (**Tab. č. 10**) bylo také zjištěno, že zrychlení z klidové pozice na průměrných 33 km/h trvalo cca 12 sekund, přičemž rozdíl mezi nenaloženou a naloženou jízdní soupravou činil více jak 4 sekundy.

18 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala analýzou vlivu přípojného vozidla a jeho zatížení na dynamiku jízdní soupravy. První část se zaměřila na rešerši současného stavu přívěsových a návěsových jízdních souprav včetně jejich členění (**kapitola 2**), definování hmotnostních kritériích a jejich zahrnutím ve vyhláškách a zákonech (**kapitoly 3** a **4**).

Druhá část již podrobněji vysvětlovala problematiku rozložení a působení brzdných sil na jízdní soupravy a osvětlila koncepci brzdové soustavy (**kapitoly 5** až **7**). Tyto teoretické poznatky byly stěžejní pro pochopení dynamiky vozidel během jízdy. Chování nejen silničních vozidel je zatíženo velkým množstvím vstupních proměnných, ať už se jedná o konstrukční parametry jako je výška, šířka, délka, umístění těžiště, návrh nápravy z hlediska pérování a brzdění. Vždy však má rozhodující vliv chování řidiče v krizových situacích a způsob jízdy. S připojením přívěsu či návěsu nenarůstá pouze délka řízeného objektu, ale obvykle se také mění způsob samotné manipulace, zvětšují se odpory a nároky.

Pro dosažení cíle bylo potřeba seznámit se s publikacemi a zkouškami zabývajícími se problematikou dynamiky motorových vozidel. Tyto požadavky byly splněny v **kapitole 11**. Při brzdných zkouškách organizace ADAC bylo u osobního automobilu Opel Astra 1.9 CDTI a malého nebrzděného přívěsu Humbaur zjištěno, že z rychlosti 80 km/h byly brzdné dráhy u prázdného přívěsu 26,5 m, u rovnoměrně naloženého přívěsu 33,8 m a u nerovnoměrně naloženého 35,7 m, přičemž zátěží byly kanystry s vodou o hmotnosti 680 kg. Následně byl formulován problém a stanoven cíl pro vlastní experimentální řešení. To mělo potvrdit tvrzení, že je-li přívěs nebo návěs naložen je časově náročnější akcelerace, ale také decelerace.

Po nalezení vhodného způsobu měření a vyhodnocení dat, bylo možno následnou analýzou získaného, výsledky interpretovat. **Kapitola 14** zpracovává vlastní řešení s cílem vyhodnotit způsob jízdy návěsové jízdní soupravy. V experimentální části práce bylo provedeno celkem pět sérií zkušebních jízd demonstrovaných na vozidle MAN a návěsu Panav se zaměřením na brzdné zkoušky a to při rychlosti cca 33 km/h. Tyto zkoušky se konaly v Bruntále za podpory firmy EMPEC Martin Peč s.r.o. Bylo zjištěno, že brzdné dráhy se v závislosti na míře naložení prodlužují. U plně naloženého (46,94 t) předmětného návěsu tato dráha, potřebná pro zastavení, činila průměrně 17,8 metrů, tj. o 8,5 metru delší než u návěsu prázdného (18,18 t). Tato závislost byla následně vykreslena do grafu a shrnuta v **kapitole 17**.

Během testovacích bloků byly sesbírány data o podélném a příčném pohybu vozidla. Podařilo se tak získat také údaje o akceleračních časech pro testovanou jízdní soupravu. Na dosažení rychlosti cca 33 km/h uplynulo u plně naložené soupravy průměrně 14 sekund, u prázdné jízdní soupravy se jednalo o 10 sekund.

Při srovnání brzdných zkoušek přívěsu Humbaur a návěsu Panav je i přes rozdílné rychlostní a hmotností vstupní parametry zřejmý výrazný vliv zatížení na brzdnou dráhu. Závěrem, pokud výsledky proběhlých jízdních zkoušek předmětného vozidla budou aplikovány i na obdobné jízdní soupravy lze tedy tvrdit, že délka brzdné dráhy exponenciálně poroste v závislosti na míře naložení návěsu a bude nutná také větší časová dotace pro rozjezd.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Zákon č. 56/2001 Sb.: Zákon 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. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů* [online]. Parlament České republiky, 2021, 01.01.2021 [cit. 2021-01-01]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56/zneni-20210101?text

[2] VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.

[3] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. 2003. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-719-4503-X.

[4] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

[5] POST, Wulf. *Konvenční a elektronické brzdové soustavy* [online]. Praha: Robert Bosch, 2004 [cit. 2021-03-15]. Technické vzdělávání. ISBN 80-903-1326-4.

[6] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.

[7] ANDREJ, Haring. Brzdění jízdních souprav. In: *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2013* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013, s. 109-117 [cit. 2021-01-24]. ISBN 978-80-214-4675-5. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/52590

[8] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1997. ISBN 80-720-4057-X.

[9] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.

[10] BEREGI, S., D. TAKÁCS a G. STÉPÁN. Tyre induced vibrations of the car–trailer system. *Journal of Sound and Vibration*. 2016, **362**, 214-227. ISSN 0022-460X. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.09.015

[11] BETTLE, J., A.G.L. HOLLOWAY a J.E.S. VENART. A computational study of the aerodynamic forces acting on a tractor-trailer vehicle on a bridge in cross-wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2003, **91**(5), 573-592. ISSN 0167-6105. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00461-0

[12] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9.

[13] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 6. vydání. Brno: Avid, spol. s r.o., 2018. ISBN 978-80-87143-36-0.

[14] JAKUBEC, Julius, Štefan NAGY a Petr TŮMA. *Přívěsy za osobní automobil*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1980, 168 s.

[15] *EUROPRIVESY.CZ: Přívěsné vozíky a příslušenství* [online]. Vendryně: TRAILERS & FACILITY [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.europrivesy.cz/

[16] PACEJKA, Hans B. *Tire and vehicle dynamics* [online]. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012 [cit. 2021-03-17]. ISBN 978-0-08-097016-5. Dostupné z: DOI:10.1016/B978-0-08-097016-5.00001-2

[17] KUBJATKO, Cyril. *Přívěsy a návěsy v nákladní automobilové dopravě*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1964.

[18] Skupiny řidičského oprávnění k tažení přívěsu. *VAPP: přívěsy a příslušenství* [online]. Praha: VAPP [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vapp.cz/skupiny-ridicskeho-opravneni-k-tazeni-privesu

[19] Zákon č. 361/2000 Sb.: Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů* [online]. Parlament České republiky, 2021, 01.10.2020 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361

[20] Všeobecné informace o tahačích. *Scania* [online]. Sweden: Scania CV AB, 2014 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/mdaw/mjq2/~edisp/bwm_0000453_22.pdf

[21] ADAC Test: Anhänger bis 750 kg. *ADAC* [online]. Mnichov (Německo): ADAC, c2021, 29.04.2019 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/technik/anhaengertest-750kg/

[22] ŠUJAN, Tomáš. *Analýza jízdy osobního vozidla s přívěsem*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D..

[23] ESP (Electronic Stability Programme). *Autolexicon.net* [online]. Sajdl, c2021 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/cs/articles/esp-electronic-stability-programme/

[24] Kann man Anhänger erkennendes ESP beim Auto nachrüsten? *Tuningblog.eu* [online]. Breitenbrunn: Tuningblog, 2020 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuning-wiki/anhaenger-esp-260673/

[25] SHARP, R S. VEHICLE STABILITY. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. London: SAGE PUBLICATIONS, 2007, **221**(C3), 393-397. ISSN 09544062. Dostupné také z: https://search.proquest.com/scholarly-journals/vehicle-stability/docview/234906300/se-2?accountid=17115

[26] GRANDEL, Jürgen. Bremsverzögerungen eines Pkw mit ungebremstem und unterschiedlich beladenem Anhänger. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*. 1987, **25**(10), 271 – 273. ISSN 0724 – 2050.

[27] Crashversuch: Frontalaufprall mit überladenem und nicht ausreichend gesichertem Anhänger. *YouTube* [online]. Berlín: HTW Berlin, 2020, 13. 12. 2019 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=R2vpSPwjBkE&list=PL0CX66g9YIlsWtkuiH8Ehh6ZHu9eyeZQD&index=3&ab_channel=HTWBerlin

[28] Knick-Deichsel schützt Insassen. *AutoBild* [online]. Berlín: AutoBild, 2010 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.autobild.de/artikel/crashtest-mit-anhaenger-1188597.html

[29] *PROJEKT FAHRZEUGSICHERHEIT: Auffahrunfall auf einen BE-Zug* [online]. Berlín, 2013 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: http://unfallschutzvorrichtung.de/Unfallschutzvorrichtung%20Crashbericht%20HTW-Berlin.pdf. Projekt. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Vedoucí práce Hanns -Lüdecke Rodewald.

[30] SERGIJENKO, Dina, Žilvinas PEKARSKAS a Laurynas MATONIS. Patikrinome: kuo skiriasi stabdymas žieminėmis ir vasarinėmis padangomis, kai lauke 15 laipsnių šilumos. *15 min* [online]. Vilnius (Litva): 15 min, 2018 [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: https://www.15min.lt/gazas/naujiena/saugukelyje-lt/15min-eksperimentas-kuo-skiriasi-ziemines-ir-vasarines-padangos-kai-lauke-15-laipsniu-silumos-787-962254

[31] STANIK, Jan. *Zařízení pro tažení automobilových návěsů za zemědělskými stroji*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.

[32] PLACHKÝ, Jakub. *Komplet návěsu se skříňovou nástavbou s výsuvnými boky*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

[33] ČSN ISO 1176. *Silniční vozidla. Hmotnosti. Terminologie a kódy*. Druhé vydání. Praha: Český normalizační institut, 1994.

[34] Vyhláška č. 341/2014 Sb.: Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů* [online]. Parlament České republiky, 2021, 21.04.2020 [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-341

[35] Vyhláška č. 209/2018 Sb.: Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů* [online]. Parlament České republiky, 2021, 01.10.2018 [cit. 2021-8-29]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-209

[36] PLESNÍK, Lukáš. *Návrh a konstrukce mobilní sprchy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 68 s. Dostupné také z: http://hdl.handle.net/10563/40776. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Škrobák, Adam.

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 – Přehled průměrných hodnot součinitele adheze. [8] 32

Tab. č. 2 – Hodnoty součinitele odporu pro vybraná vozidla. [4] 39

Tab. č. 3 – Skupiny řidičského oprávnění z pohledu nejvyšší povolené hmotnosti. [18][19] 41

Tab. č. 4 – Rozměry a hmotnosti z Osvědčení o registraci vozidla pro předmětný tahač a návěs. 51

Tab. č. 5 – Pneumatiky testovacího jízdní soupravy 53

Tab. č. 6 – Použitý přístroj a jeho specifikace. 56

Tab. č. 7 – Data získaná z vážení, které absolvovala prázdná a naložená předmětná jízdní souprava. 58

Tab. č. 8 – Data získaná z vážení jízdní soupravy se třemi rozdílnými stupni zatížení. 60

Tab. č. 9 – Průměrné hodnoty získané ze všech jízdních zkoušek 62

Tab. č. 10 – Výsledné akcelerační časy dle stavu naložení návěsu. 62

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Závislost součinitele adheze na rychlosti vozidla a výšce vzorku běhounu pneumatiky. [3] 33

Graf č. 2 – Diagram stability karavanu v závislosti na tuhosti nápravy a kritické rychlosti. [16] 35

Graf č. 3 – Vizualizace 1. jízdní zkoušky prázdné návěsové jízdní soupravy v programu XL Vision. 61

Graf č. 4 – Ukázka vizualizace 1. jízdní zkoušky prázdné návěsové soupravy v programu Microsoft Excel. 62

Graf č. 5 – Závislost brzdné dráhy na hmotnosti návěsové soupravy tahače MAN TGA 26.480 a návěsu Panav NS 1 40. 64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Oj přívěsu. [2] 16

Obr. č. 2 Druhy přívěsů. [2] 17

Obr. č. 3 Systém zkrácené oje pro točnicové zapojení přívěsu. [2] 18

Obr. č. 4 – Systém zkrácené oje pro tandemové zapojení přívěsu. [2] 18

Obr. č. 5 – Návěsové jízdní soupravy. [2] 19

Obr. č. 6 – Možný kolizní stav návěsové jízdní soupravy v přední části návěsu. [20] 19

Obr. č. 7 – Možný kolizní stav návěsové jízdní soupravy v zadní části tahače. [20] 19

Obr. č. 8 – Síly působící na brzdící vozidlo. [3] 24

Obr. č. 9 – Rozložení sil brzdící přívěsové jízdní soupravy. [3] ... 25
Obr. č. 10 – Rozložení sil brzdící návěsové jízdní soupravy. [3] ... 25
Obr. č. 11 – Přívěsová jízdní souprava. [4] ... 28
Obr. č. 12 – Návěsová jízdní souprava. [4] ... 29
Obr. č. 13 – Systém ESP rozpoznávající přívěs. [24] ... 31
Obr. č. 14 – Znázornění os pro definování kmitání přívěsu. [vlastní obrázek] ... 34
Obr. č. 15 – Odezvy jízdní soupravy na budící impuls a posuzování stability. [4] ... 35
Obr. č. 16 – Schéma zavěšení ocelového torzního pérování s brzdným systémem. [14] ... 37
Obr. č. 17 – Prostor podběhu pro umístění pérování s využitím vinuté pružiny. [14] ... 37
Obr. č. 18 – Prostor podběhu pro umístění pérování s využitím torzní tyče. [14] ... 37
Obr. č. 19 – Možné uložení listového pera. [15] ... 38
Obr. č. 20 – Možné uložení vinuté pružiny. [15] ... 39
Obr. č. 21 – Kritická mez stability při působení bočního větru (N). [vlastní] ... 40
Obr. č. 22 – Úhel β charakterizující kritickou polohu oje přívěsu v nerovném terénu. [17] ... 42
Obr. č. 23 – Úhel β charakterizující vzájemnou polohu členů návěsové jízdní soupravy. [17] ... 42
Obr. č. 24 – Schéma zatáčející návěsové soupravy (R_1 nejmenší vnější poloměr jízdní soupravy, R_2‘ nejmenší vnitřní poloměr jízdní soupravy, O střed otáčení). [17] ... 42
Obr. č. 25 – Pohled na levé kolo přívěsu během přímé jízdy. [21] ... 44
Obr. č. 26 – Pohled na levé kolo přívěsu během výhybného manévru (kontakt pneumatiky s karoserií přívěsu).[21] ... 44
Obr. č. 27 – Rovnoměrné rozložení nákladu během ADAC testu. [21] ... 45
Obr. č. 28 – Rozjezd jízdní soupravy v přímém směru. [21] ... 45
Obr. č. 29 – Prvotní příčné přemístění přívěsu jako reakce na výhybný manévr tažného vozidla. [21] ... 45
Obr. č. 30 – Kmitání přívěsu v příčném směru. [21] ... 45
Obr. č. 31 – Překročení vymezeného prostoru přívěsu, strhnutí zádě tažného vozidla a lámání soupravy. [21] ... 45
Obr. č. 32 – Po vychýlení soupravy ze směru jízdy se přívěs příčným kmitáním částečně vrací zpět do vymezeného prostoru. [21] ... 46
Obr. č. 33 – Konečné postavení jízdní soupravy. [21] ... 46
Obr. č. 34 – Deformace zadní části vozidla Golf a začátek přemístění lešenářských tyčí. [27] ... 46
Obr. č. 35 – Vniknutí nákladu přívěsu do tažného vozidla. [27] ... 46
Obr. č. 36 – Odklon oje směrem k vozovce a následný náraz čela přívěsu do zadní části tažného vozidla. [28] ... 47
Obr. č. 37 – Použitý systém lomené oje. [28] ... 47
Obr. č. 38 – Anhängerschutzplatte (ochranný štít přívěsu). [29] ... 47
Obr. č. 39 – Anhängerschutzplatte (ochranný štít přívěsu) boční pohled. [29] ... 47
Obr. č. 40 – Akcelerometr XL Meter. [30] ... 49
Obr. č. 41 – Tahač MAN TGA 26.480 se sklápěcím návěsem Panav NS 1 40. [vlastní] ... 50
Obr. č. 42 – Tlakový a elektronický systém připojení tahače a návěsu. [vlastní] ... 52
Obr. č. 43 – Dynamická váha na pracovišti SSMSK Bruntál. [vlastní] ... 54
Obr. č. 44 – Trať. [vlastní] ... 55
Obr. č. 45 – Mapa cesty z depa (START) přes vážení náprav na pobočce SSMSK (3) a přistavení vozidla k provedení jízdních zkoušek (CÍL). ... 56

Obr. č. 46 – Upevnění měřicího přístroje XL Meter ID 1000043954. [vlastní] 57
Obr. č. 47 – Vykládka materiálu použitého pro zatížení návěsové soupravy. [vlastní] 59
Obr. č. 48 – Podpěry vysouvatelné manuálně – klikou. [vlastní] 59
Obr. č. 49 – Model ideálního akcelerometru v klidu. [22] 63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Postup přípravy vlastních jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy
Příloha č. 2: Postup vlastních brzdných jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy s jejím zatěžováním
Příloha č. 3: Potvrzení o ověření stanoveného měřidla
Příloha č. 4: Vážní lístek dané prázdné jízdní soustavy
Příloha č. 5: Vážní lístek dané naložené jízdní soustavy
Příloha č. 6: Vážní lístek po kontrolním vážení naložené jízdní soupravy
Příloha č. 7: Výsledky jízdních zkoušek předmětné jízdní soupravy

Příloha č. 1: Postup přípravy vlastních jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy

1. Kontrola stavu členů návěsové jízdní soupravy:
    a. příprava tahače návěsu (odstrojit nepotřebné a doplňkové vybavení v kabině řidiče),
    b. vizuální kontrola samotného návěsu,
    c. kontrola přípojného zařízení – točnice, královský čep, hadicový přípojný systém
    d. kontrola stavu a nahuštění pneumatik,
    e. kontrola úniku provozních kapalin, případně jejich doplnění a opětovná revize,
    f. prohlídka brzdového systému.
2. Dokumentace materiálu určeného pro zatížení soupravy.
3. Vážení jízdní soupravy:
    a. samostatný tahač návěsu,
    b. propojení tahače s návěsem a opětovné vážení, tentokrát celé jízdní soupravy.
4. Stanovení zkušební dráhy, dokumentace a označení.
    a. Vizuální kontrola stavu pozemní komunikace,
    b. úklid pozemní komunikace,
    c. zaznamenání stavu zkušební dráhy (nerovnosti, sklon, kryt vozovky) včetně jejího okolí,
    d. vyznačení měřícího úseku,
    e. provedení záznamu o meteorologických prvcích a atmosférických jevech.
5. Seznámení řidiče s cílem měření, jízdní soupravou a s měřicími přístroji.
6. Instalace záznamového zařízení XL Meter do vozidla.
7. Spuštění akcelerometru a provedení zkušební jízdy ve vyznačeném prostoru.

Příloha č. 2: Postup vlastních brzdných jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy s jejím zatěžováním

1. Spuštění série jízdních zkoušek návěsové jízdní soupravy.
    a. Spuštění akcelerometru.
    b. Opakování jízdních zkoušek, v celkovém počtu 6 jízd.
2. Stažení dat z přístroje XL Meter do přenosného pc a jejich pojmenování a zálohování.
3. Kontrola, zda nedošlo k poškození pneumatik či změně podmínek měření (trať, atmosférické podmínky, aj.).
4. Naložení návěsu předem definovaným materiálem.
5. Zvážení naložené jízdní soupravy.
6. Spuštění druhé série jízdních zkoušek naložené návěsové jízdní soupravy.
    a. Spuštění akcelerometru a zahájení první jízdy série.
    b. Po ukončení jízdy provedena vizuální kontrola soupravy a stavu převáženého materiálu.
    c. Kontrolní vážení jízdní soupravy.
7. Opakování 2. a 3. kroku.
8. Uvést trať (pozemní komunikaci) do původního stavu.
9. Získaná data zpracovat pomocí vhodného softwaru.

Příloha č. 3: Potvrzení o ověření stanoveného měřidla

Český metrologický institut
Okružní 31, 638 00 Brno
tel. +420 545 555 111
www.cmi.cz

Pracoviště: Oblastní inspektorát Opava, Gudrichova 41, 746 01 Opava
tel. +420 553 625 308 nebo +420 605 208 026, email: oiopava@cmi.cz

POTVRZENÍ O OVĚŘENÍ STANOVENÉHO MĚŘIDLA

Datum vydání: 29. září 2020 — List 1 z 1 listu

Zákazník: **SSMSK, příspěvková organizace, středisko Bruntál**
Zahradní II/19
721 11 Bruntál

Měřidlo - druh: Váhy s automatickou činností pro vážení silničních vozidel za pohybu
Třída přesnosti v dynamickém režimu pro celk. hmotnost :1

výrobce: Tenzováhy s.r.o., Olomouc

typ: VM-1.2

výrobní číslo: 11/07

specifikace: MAX = 20 000 kg MIN = 400 kg e = 20 kg d = e

Vlastník měřidla: ----
(je-li odlišný od zákazníka)

Použité etalony: Etalonová závaží třídy F_2, 1 mg – 5 kg, kalibrační list č. 7051-KL-Z0166-20.
Etalonová závaží třídy M1, 84 ks 10 kg - 20 kg, kalibrační list č. 7051-KL-Z0359-20.
Etalonová závaží třídy M1, 34 ks 500 kg – 1000 kg, kalibrační list č. 6151-KL-H0591-19.

Datum provedení: 29. září 2020

Místo provedení: viz zákazník – provoz

Výrok o výsledku: Měřidlo má požadované metrologické vlastnosti a v souladu s § 9, odst. 2 zákona č. 505/1990 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a § 6 vyhlášky č. 262/2000 Sb., v platném znění, bylo opatřeno úředními značkami na místech určených v certifikátu o schválení (resp. ES přezkoušení) typu měřidla.

Doba platnosti ověření je stanovena vyhláškou č. 345/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Platnost ověření zaniká v případech uvedených v § 7, odst. 2 vyhlášky č. 262/2000 Sb. v platném znění.

Ověření provedl: **Ředitel organizační jednotky:**

Český metrologický institut -70-

Pavel Malý Ivo Pitra

Toto potvrzení nesmí být bez písemného souhlasu ověřující laboratoře rozmnožováno jinak než v celkovém počtu listů.
Potvrzení o ověření stanoveného měřidla se vydává jako nepovinný doklad na základě zvláštního požadavku zákazníka.

Příloha č. 4: Vážní lístek dané prázdné jízdní soustavy

Dodavatel:	**SSMSK, středisko Bruntál** **Zahradní II/19** **792 01 Bruntál** IČ: DIČ: Bank. účet:	**Vážní lístek - Dodací list č.: 5777** Datum tisku: 27.8.2021 12:12
Materiál:	Akce:	
Brutto: -	**Tára: 18 180 kg**	**Spotřeba: -** **Netto: -**
Nápravy:		
1. 5 740 kg	2. 3 060 kg	3. 3 260 kg
4. 1 600 kg	5. 2 280 kg	6. 2 240 kg
Reg. značka:	JINA	Řidič, podpis:
Váženo:	27.8.2021 10:31	
Vážný:	Administrátor	Odběratel:
		IČ: DIČ:
Váženo na silniční váze Tenzováhy, s.r.o. Olomouc		

Příloha č. 5: Vážní lístek dané naložené jízdní soustavy

Odběratel:	**SSMSK, středisko Bruntál** **Zahradní II/19** **792 01 Bruntál** IČ: DIČ: Bank. účet:	**Vážní lístek - Dodací list č.: 5776** Datum tisku: 27.8.2021 12:11
Materiál:	13 ostatní	Akce:
Brutto: 47 220 kg	**Tára: -**	**Spotřeba: -** **Netto: -**

Nápravy:

1. 6 380 kg	2. 7 820 kg	3. 8 120 kg	4. 7 140 kg	5. 9 760 kg	6. 8 000 kg

Reg. značka:	JINA	Řidič, podpis:	
Váženo:	27.8.2021 12:08		
Vážný:	Administrátor	Dodavatel:	
		IČ: DIČ:	

Váženo na silniční váze Tenzováhy, s.r.o. Olomouc

Příloha č. 6: Vážní lístek po kontrolním vážení naložené jízdní soupravy

Odběratel:	**SSMSK, středisko Bruntál** **Zahradní II/19** **792 01 Bruntál** IČ: DIČ: Bank. účet:	**Vážní lístek - Dodací list č.: 5778** Datum tisku: 27.8.2021 12:49
Materiál:	13 ostatní	Akce:
Brutto: 47 220 kg	**Tára: 46 940 kg**	**Spotřeba: -** **Netto: 280 kg**

Nápravy:

1. 6 380 kg	2. 7 820 kg	3. 8 120 kg	4. 7 140 kg	5. 9 760 kg	6. 8 000 kg

Reg. značka:	JINA	Řidič, podpis:	
Váženo:	27.8.2021 12:08		
Vážný:	Administrátor	Dodavatel:	
		IČ: DIČ:	

Váženo na silniční váze Tenzováhy, s.r.o. Olomouc

Příloha č. 7: Výsledky jízdních zkoušek předmětné jízdní soupravy

Celková hmotnost jízdní soupravy 18,18 t - PRÁZDNÝ NÁVĚS							
	naměřené hodnoty				výpočty		
Číslo měření	**Čas brzdění [s]**	**Náběh brzd [s]**	**Průměrné zpomalení [m/s2]**	**Maximální zpomalení [m/s2]**	**Okamžitá rychlost [m/s]**	**Okamžitá rychlost [km/h]**	**Délka brzdné dráhy [m]**
1	2,30	0,38	3,73	5,99	8,55	31	9,8
2	2,26	0,30	3,88	6,29	8,76	32	9,9
3	2,15	0,45	3,66	7,78	7,86	28	8,4
4	2,38	0,41	3,40	7,12	8,09	29	9,6
5	2,15	0,50	3,51	6,44	7,52	27	8,1
6	2,36	0,34	3,57	7,15	8,41	30	9,9
průměrné hodnoty	2,26	0,40	3,62	6,80	8,20	29,5	9,3

Celková hmotnost jízdní soupravy 25,94 t							
	naměřené hodnoty				výpočty		
Číslo měření	**Čas brzdění [s]**	**Náběh brzd [s]**	**Průměrné zpomalení [m/s2]**	**Maximální zpomalení [m/s2]**	**Okamžitá rychlost [m/s]**	**Okamžitá rychlost [km/h]**	**Délka brzdné dráhy [m]**
1	2,61	0,22	3,64	6,95	9,50	34	12,4
2	2,87	0,31	3,37	7,44	9,65	35	13,8
3	2,94	0,27	3,49	9,40	10,25	37	15,0
4	2,43	0,24	3,77	5,86	9,17	33	11,1
5	2,57	0,25	3,71	6,78	9,53	34	12,2
6	2,71	0,21	3,55	8,60	9,61	35	13,0
průměrné hodnoty	2,69	0,25	3,59	7,51	9,62	34,6	12,9

Celková hmotnost jízdní soupravy 34,02 t							
	naměřené hodnoty				výpočty		
Číslo měření	**Čas brzdění [s]**	**Náběh brzd [s]**	**Průměrné zpomalení [m/s2]**	**Maximální zpomalení [m/s2]**	**Okamžitá rychlost [m/s]**	**Okamžitá rychlost [km/h]**	**Délka brzdné dráhy [m]**
1	3,46	0,25	3,00	8,80	10,38	37	17,9
2	3,34	0,23	3,13	8,14	10,46	38	17,5
3	3,01	0,32	3,21	8,30	9,65	35	14,5
4	2,61	0,31	3,74	5,97	9,73	35	12,7
5	3,41	0,32	2,94	9,13	10,01	36	17,1
6	3,23	0,21	3,11	6,42	10,03	36	16,2
průměrné hodnoty	3,17	0,27	3,19	7,79	10,04	36,2	16,0

Celková hmotnost jízdní soupravy 37,96 t							
	naměřené hodnoty				výpočty		
Číslo měření	**Čas brzdění [s]**	**Náběh brzd [s]**	**Průměrné zpomalení [m/s2]**	**Maximální zpomalení [m/s2]**	**Okamžitá rychlost [m/s]**	**Okamžitá rychlost [km/h]**	**Délka brzdné dráhy [m]**
1	3,63	0,31	2,70	7,85	9,79	35	17,8
2	3,23	0,32	3,02	4,85	9,76	35	15,8
3	3,13	0,23	3,03	4,99	9,47	34	14,8
4	3,02	0,21	3,41	5,32	10,30	37	15,6
5	3,44	0,24	2,95	7,70	10,15	37	17,5
6	3,57	0,21	2,76	6,91	9,84	35	17,6
průměrné hodnoty	3,34	0,25	2,98	6,27	9,88	35,6	16,5

Celková hmotnost jízdní soupravy 46,94 t - MAXIMÁLNĚ NALOŽENÝ NÁVĚS							
	naměřené hodnoty				výpočty		
Číslo měření	**Čas brzdění [s]**	**Náběh brzd [s]**	**Průměrné zpomalení [m/s2]**	**Maximální zpomalení [m/s2]**	**Okamžitá rychlost [m/s]**	**Okamžitá rychlost [km/h]**	**Délka brzdné dráhy [m]**
1	3,94	0,22	2,43	5,68	9,58	34	18,9
2	3,83	0,37	2,45	5,38	9,37	34	17,9
3	3,70	0,26	2,44	7,89	9,00	32	16,6
4	3,97	0,30	2,28	7,42	9,03	33	17,9
5	3,89	0,30	2,22	8,04	8,64	31	16,8
6	3,85	0,31	2,32	5,74	8,95	32	17,2
průměrné hodnoty	3,86	0,29	2,36	6,69	9,10	33	17,6