



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 NÁKLADNÍCH VOZIDEL NA
JEJICH DOSAŽITELNÉ ZPOMALENÍ**

INFLUENCE OF HEAVY VEHICLE LOAD TO THE VEHICLE DECELERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Iveta Jirásková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Studentka: **Bc. Iveta Jirásková**
Studijní program: Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Albert Bradáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21
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 VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vliv zatížení nákladních vozidel na jejich dosažitelné zpomalení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je:

- provést rešerši dostupné literatury k danému tématu, včetně zahraniční;
- naplánovat sérii experimentů;
- realizovat experimentální ověření dosažitelného zpomalení nákladních vozidel na jejich okamžité hmotnosti vždy od pohotovostní hmotnosti do celkové (lépe také přetížené vozidlo);
- vyhodnotit výsledky;
- učinit závěry.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je zjistit závislost dosažitelného zpomalení nákladních automobilů na jejich okamžité hmotnosti.

Seznam doporučené literatury:

BRADÁČ, A. a kol. Soudní inženýrství. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1997. ISBN 80-7204-057-X. s. 719

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
vedoucí odboru

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou brzdění nákladních vozidel při jejich různém zatížení. Teoretická část vymezuje konstrukci nákladních vozidel, brzdy nákladních vozidel, průběh brzdění a faktory, které brzdění ovlivňují, brzdné zpomalení a legislativní požadavky na brzdy nákladních vozidel. Praktická část popisuje průběh experimentálního měření, použité přístroje, místo měření, atmosférické podmínky a použitá nákladní vozidla. V závěru práce jsou na základě experimentálního měření vyhodnoceny získané hodnoty brzdného zpomalení nákladních vozidel.

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of braking trucks at different loads. The theoretical part defines the basic construction of trucks, truck brakes, the braking process and the factors that affect braking, braking deceleration, and legislative requirements for truck brakes. The practical part describes the course of experimental measurements, the use of the technique, the place of measurement, atmospheric conditions and used trucks. At the end of the work, based on experimental measurements, the obtained values of braking deceleration of trucks are evaluated.

Klíčová slova

Nákladní vozidlo, brzdění, brzdy, brzdné zpomalení, brzdná dráha, jízdní odpory.

Keywords

Truck, braking, brakes, braking deceleration, breaking distance, driving resistances.

Bibliografická citace

JIRÁSKOVÁ, Iveta. *Vliv zatížení nákladních vozidel na jejich dosažitelné zpomalení*. Brno, 2020. 60 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120413>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Albert Bradáč.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vliv zatížení nákladních vozidel na jejich dosažitelné zpomalení“ 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 neporušil/a 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 dne 9. října 2020

.....

Podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat panu Ing. Albertu Bradáčovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, za cenné rady a čas, který této práci věnoval. Dále patří mé poděkování panu doc. Ing. Emilu Doupalovi, CSc. a panu Ing. Ondřeji Koutníkovi za realizaci vážení zkušebních vozidel. Děkuji firmě DOBEŠ-STAVBY s.r.o. a zúčastněným řidičům za propůjčení nákladních vozidel a provedení brzdných zkoušek. Děkuji panu npor. Bc. Igoru Sobotkovi a panu Ing. Petru Křížovi za pomoc při poskytnutí zkušební plochy. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu během celého studia a pomoc při realizaci experimentálního měření.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	11
2.1	Nákladní vozidla	11
2.2	Konstrukce nákladních vozidel	12
2.2.1	Podvozek	12
2.2.2	Kabina pro řidiče	15
2.2.3	Nástavba	16
2.3	Brzdy nákladních vozidel	17
2.3.1	Vzduchotlaké brzdy	18
2.3.2	Hydraulické brzdy	20
2.4	Průběh brzdění	22
2.4.1	Stanovení brzdné dráhy	23
2.4.2	Stanovení brzdného zpomalení	24
2.4.3	Brzdné zpomalení s uvažováním součinitele adheze	24
2.5	Zákonné předpisy a požadavky na brzdy nákladních vozidel	27
2.6	Elektronické systémy	28
2.6.1	Protiblokovací brzdový systém ABS	28
2.6.2	Regulace prokluzu ASR	28
2.6.3	Elektronický stabilizační program ESP	29
2.7	Jízdní odpory	29
2.7.1	Odpor valivý	30
2.7.2	Odpor vzdušný	32
2.7.3	Odpor stoupání	35
2.7.4	Odpor zrychlení	35
2.7.5	Odpor přívěsu	37
3	METODIKA MĚŘENÍ	38
3.1	Místo měření a atmosférické podmínky	38
3.2	Měřicí technika	39
3.3	Použitá vozidla	41
3.4	Vlastní měření	43
4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45
4.1	Brzdné zpomalení vozidla Man	45
4.2	Brzdné zpomalení vozidla Tatra	47
4.3	Vliv zatížení vozidel na dosažitelné zpomalení	49

5 ZÁVĚR.....	51
SEZNAM ZDROJŮ	53
SEZNAM TABULEK	55
SEZNAM GRAFŮ	56
SEZNAM OBRÁZKŮ	57
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	58
SEZNAM PŘÍLOH	60

1 ÚVOD

Na základě Ročenky nehodovosti 2019 zpracované Policií ČR způsobí řidiči nákladních vozidel asi 10,7 % dopravních nehod. Nedobrzdnění nákladního vozidla tvoří zhruba pětinu dopravních nehod. To je doprovázeno nárůstem objemu přepravovaných věcí u nákladní silniční dopravy a přepravní objem byl v roce 2019 největší za posledních 20 let. Naopak budování silniční infrastruktury neroste dostatečně rychle jako počet vozidel na silnicích, což má za následek rostoucí hustotu provozu.

Dopravním nehodám se dá předcházet dodržením bezpečné vzdálenosti a včasným zabrzděním vozidla. Při analýze dopravní nehody je jedním z údajů, který se zjišťuje, brzdná dráha vozidla, a to úzce souvisí s dosažitelným zpomalením. Tato práce má za cíl provést experimentální měření a na základě naměřených dat vyhodnotit, zda má okamžitá hmotnost vozidla vliv na dosažitelné zpomalení. Bude naložené vozidlo brzdit hůře než vozidlo prázdné?

V první části práce bylo potřeba provést rešerši dostupné literatury a vymezit pojmy související s danou problematikou. Kapitola pojednává o konstrukci nákladních vozidel, brzdových soustavách, průběhu brzdění. Zabývá se i legislativními požadavky na brzdy nákladních vozidel, elektronickými systémy, které pomáhají vozidlu při brzdění, a jízdními odpory, které taktéž ovlivňují brzdění vozidel.

Druhá část je věnována provedení experimentálního měření. Nachází se zde popis místa měření a atmosférické podmínky v den měření. Dále měřicí technika, která byla použita ve vozidlech k zaznamenání potřebných dat, použitá vozidla a průběh vlastního měření. Měření se uskutečnilo ve Vyškově na příjezdové cestě k letišti. Byla použita dvě nákladní vozidla Man a Tatra o různé hmotnostní kategorii a při různém zatížení.

V poslední části jsou zpracována a vyhodnocena data, která byla naměřena při experimentálním měření. Součástí je interpretace výsledků a učinění závěrů.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

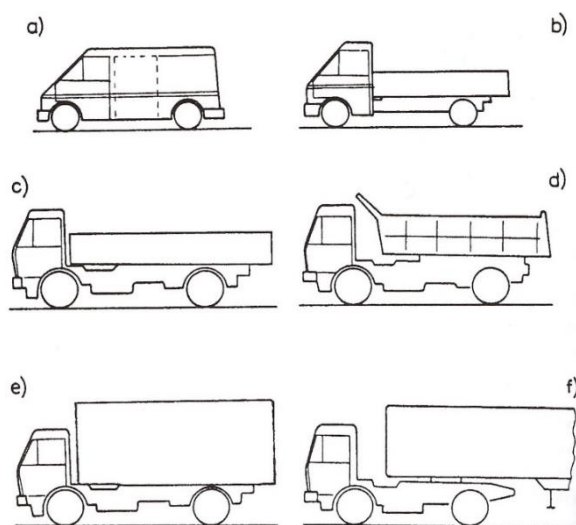
V této části diplomové práce jsou pomocí odborné literatury získána teoretická východiska důležitá pro pochopení problematiky nákladních vozidel a vlivu zatížení na jejich brzdné zpomalení. Dále jsou zde vymezené základní pojmy jako nákladní vozidlo, brzdné soustavy, jízdní odpory, které jsou pro diplomovou práci stěžejní.

2.1 NÁKLADNÍ VOZIDLA

Nákladní vozidla jsou motorová vozidla, která jsou konstruovaná a vyrobená především pro dopravu nákladů. Dle vyhlášky Ministerstva dopravy č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích spadají nákladní automobily do kategorie N a dále se dělí se do tří kategorií:

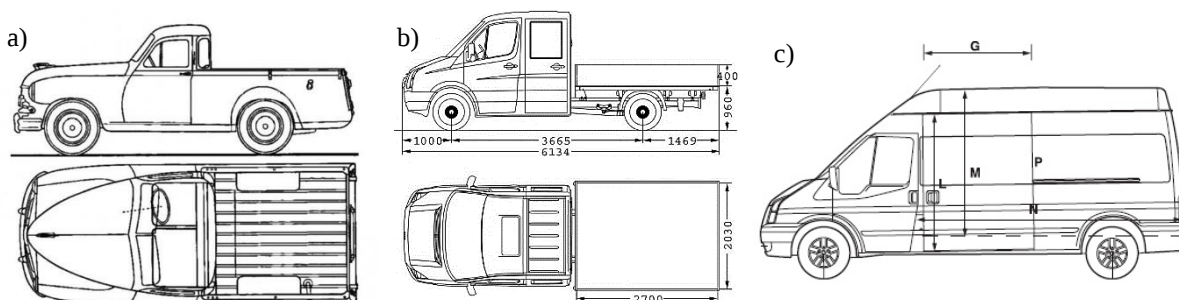
- kategorie N1 – nákladní vozidla, jejichž maximální hmotnost nepřesahuje 3,5 tuny;
- kategorie N2 – nákladní vozidla, jejichž maximální hmotnost větší než 3,5 tuny a současně nepřesahuje 12 tun;
- kategorie N3 – nákladní vozidla, jejich maximální hmotnost přesahuje 12 tun (Vyhláška MD č. 341/2014 Sb., příloha č. 2).

Do nákladních vozidel spadají i malá nákladní vozidla (tzv. dodávky), která jsou určena pro přepravu nákladu o hmotnosti od 1,5 tuny do 3,5 tuny. Základní druhy nákladních automobilů jsou zobrazeny na **Obr. č. 1**, kde a) skříňový dodávkový automobil, b) valníkový dodávkový automobil, c) valníkový nákladní automobil, d) sklápěčkový nákladní automobil, e) skříňový nákladní automobil, f) tahač návěsů (Vlk, 2003, s. 113-114).



Obr. č. 1 - Základní druhy nákladních vozidel
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 114))

Dodávková vozidla mohou mít karoserii rozdělenou na prostor pro posádku a zvláštní prostor pro náklad. Například pikap má ložný prostor od kabiny ohraničený pevnými stěnami s dveřmi v zadní stěně, valníková karoserie má ložný prostor ohraničený sklopnými bočnicemi a sklopným zadním čelem, někdy může být zakryt plachtou. Skříňový dodávkový automobil má prostor pro náklad a posádku uzavřený, ložný prostor od prostoru pro posádku může oddělovat pevná přepážka přístup k nákladu je z boku nebo zezadu (Vlk, 2003, s. 115).



Obr. č. 2 - Karoserie dodávkových vozidel: a) pikap; b) valníková karoserie; c) skříňová dodávka
(Zdroj: Převezato z (Hostálka, 2013), (Dacko, 2009), (Roučka, b.r.))

2.2 KONSTRUKCE NÁKLADNÍCH VOZIDEL

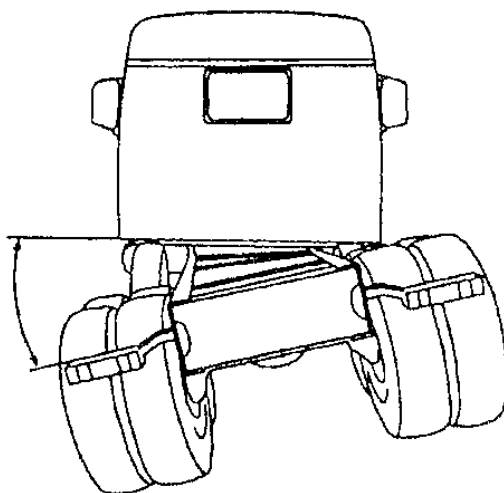
Nákladní vozidla se skládají ze tří částí:

- podvozek;
- kabina pro řidiče;
- nástavba (Vlk, 2003, s. 129).

2.2.1 Podvozek

Do podvozkové části nákladních vozidel patří rám, nápravy, motor a další agregáty. Hlavní konstrukcí je rám. Na rámu jsou uchyceny nápravy, hnací ústrojí, palivová nádrž a různá zařízení. Nástavba a kabina řidiče je upevněna na rám pomocí šroubového spojení. Kabina je pro větší jízdní pohodlí uložena na silentblocích.

Rám je obvykle žebřinový. Je tvořen ze dvou podélníků a několika příčníků. Geometrie rámu a průřezy rámu jsou způsobeny účelu použití nákladního vozidla. Vozidla určená na provoz po dobrých silnicích např. na dálkovou rozvážku zboží, musí mít pro lepší jízdní stabilitu rám s vyšší tuhostí v krutu. Naopak vozidla určená pro použití v terénu musí mít rám měkký na krut, aby udržely jízdní stabilitu při potřebném propružení podvozku. Rybinový tvar mají rámy, které jsou tuhé na ohyb a krut. To zvětšuje stabilitu v hlavních zátěžových oblastech, kterými jsou oblast za kabinou řidiče a oblast těžiště nákladu. Rybinový tvar lze docílit proměnlivostí příčného průřezu v závislosti na zatížení vozidla (Vlk, 2003, s. 131).



Obr. č. 3 - Zkroucení podvozku nákladního vozidla při jízdě v terénu (rám měkký na krut)
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 132))

Kromě vertikálního zatížení může být rám zatížen ještě bočními silami. Ty vytváří v podélnících příčný ohyb a současně se snaží rovnoběžně posunout strukturu žebřinového rámu. K tomuto dochází především u nákladních automobilů s dlouhým rozvorem, u nákladních automobilů s tandemovými nápravami při zatáčení na zpevněné nebo rozježděné vozovce a u nákladních automobilů s dlouhým zadním převisem při tažení přívěsu. Bočního kmitání (vlnění) se zabrání pomocí výztužného příčníku, který zvyšuje tuhost rámu na příčný ohyb (Vlk, 2003, s. 133).

Hnací náprava s diferenciálem bývá u nákladních automobilů zpravidla tuhá. Nejčastěji má dva konstrukční typy – tuhá nedělená hnací náprava typu „banjo“ a tuhá dělená „trychtýřovitá“ hnací náprava viz **Obr. č. 4**, kde 1 – rozvodovka, 2 – příčné dělení. Výhodou nedělené nápravy je, že celá rozvodovka s diferenciálem je montovaná a seřizovaná jako samostatná skupina mimo těleso nápravy. Jednodílnou nápravu nelze rozložit, jelikož montáž a seřizování je velmi nákladné. Používá se především u dodávkových automobilů (Vlk, 2003, s. 145).

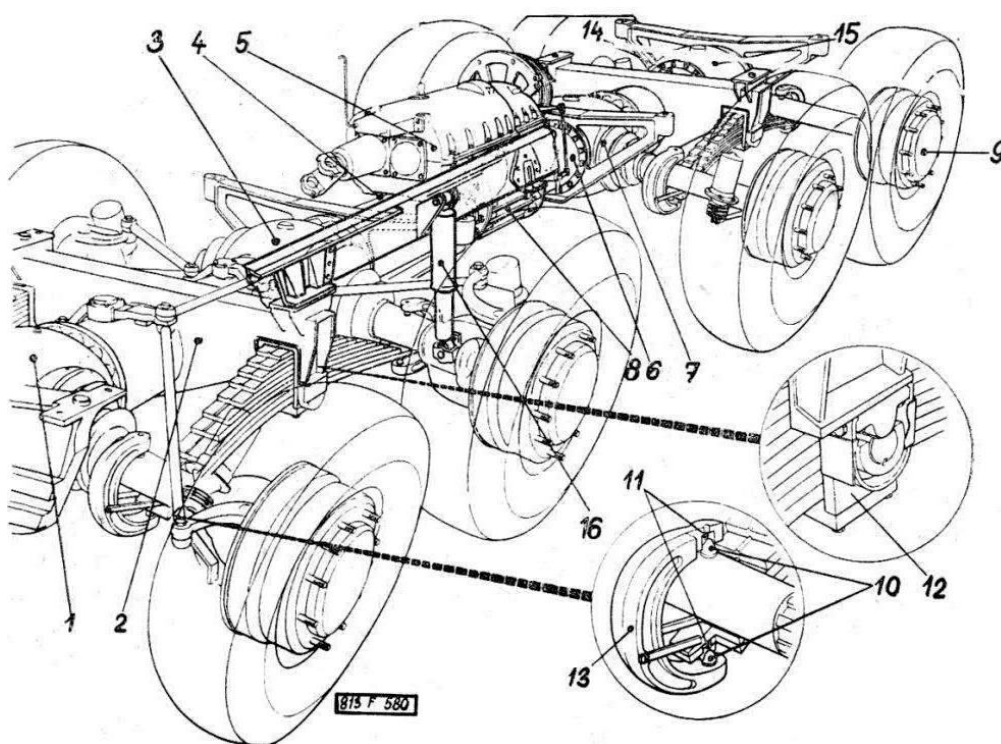


Obr. č. 4 - Vlevo: nedělená tuhá hnací náprava "banjo"; vpravo: dělená tuhá hnací náprava
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 145))

Užitečné zatížení se dá zvýšit použitím dvojnápravy a některé nákladní automobily mají zdvojenou nápravu vpředu i vzadu. Statické zatížení vyrovnává otočně uložené listové pero. Na každé nápravě se nachází rozvodovka a dvě výkyvné nezávisle odpružené kyvadlové

polonápravy. Osa, kolem které se polonáprava vozu vykyvuje, je rovnoběžná se směrem působení svislé a brzdící síly. Radiální reakce na jednotlivých nápravách dvojnápravy nejsou závislé na velikosti svislé síly ani valivého odporu, a to právě tehdy, pokud je statické zatížení jednotlivých náprav vyrovnáno otočně uloženou podélnou listovou pružinou. Rovnost radiálních reakcí jednotlivých náprav zůstane zachována za všech provozních podmínek (Vlk, 2003, s. 145).

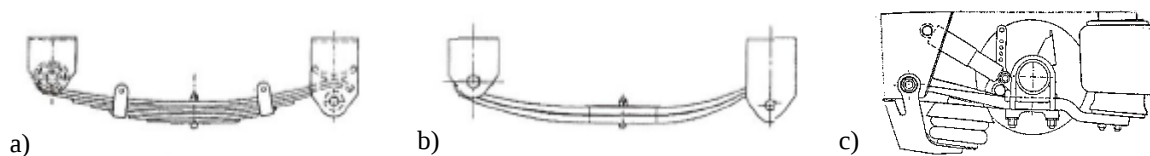
Kyvadlová náprava je zachycena na obrázku **Obr. č. 5**, kde 1 – rozvodovka 1. nápravy, 2 – přední spojovací díl, 3 – rozvodovka 2. nápravy, 4 – spojovací nosná roura, 5 – převodovka, 6 – spojovací nosná roura, 7 – rozvodovka 3. nápravy, 8 – přidavná převodovka, 9 – náboj kola, 10 – opěrné čochy, 11 – opěrné příložky, 12 – třmen pera, 13 – závěsný třmen pera, 14 – zadní spojovací díl, 15 – rozvodovka 4. nápravy, 16 – tlumič pérování.



Obr. č. 5 - Podvozek nákladního automobilu s kyvadlovými dvojnápravami

(Zdroj: Převezato z (Vlk, 2003, s. 146))

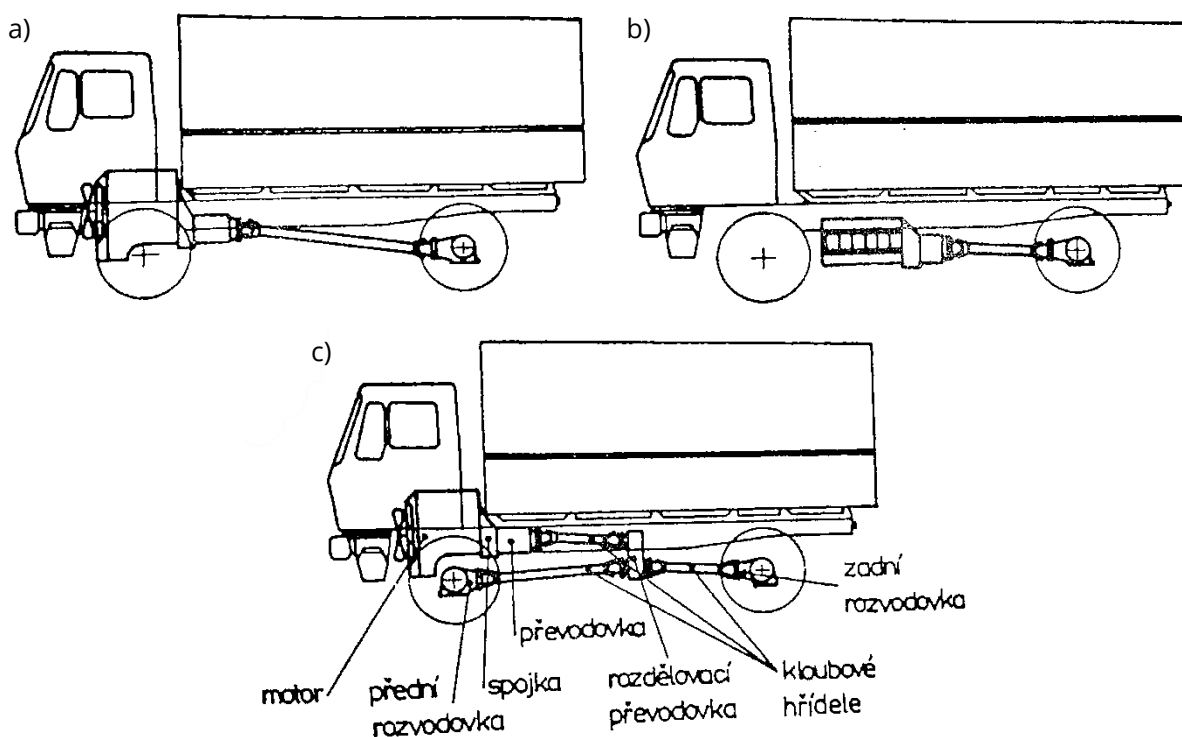
Jednoduché nápravy nákladních vozidel mohou být **odpruženy** listovými pružinami, parabolickými pružinami nebo vzduchovými vaky. Jelikož jsou nákladní vozidla určena převážně k přepravě nákladu, výrazně se mění jejich hmotnost při prázdném a plně zatíženém ložním prostoru. Z tohoto důvodu se používají přidavné pružiny, které jsou u prázdného vozidla mimo činnost. Z ekonomických důvodů se často používají zdvihatelé zadní nápravy, čímž se užitečná hmotnost vozidla zvýší až o 12 tun. Výhodou je, že se při jízdě prázdného vozidla šetří pneumatiky, snižuje se valivý odpor a krátkodobě se zvyšuje trakce hnací nápravy při obtížných silničních podmínkách (Vlk, 2003, s. 148-150).



Obr. č. 6 - Odpružení nákladních vozidel: a) listové pružiny, b) parabolické pružiny, c) vzduchové vaky

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 148, 151))

Hnací ústrojí je u nákladních vozidel uspořádáno podle 3 základních principů: standardní pohon, umístění motoru mezi nápravami a pohon všech kol. Standardní koncepce má motor umístěn vepředu a spojovací hřídel je veden do rozvodovky na zadní nápravě. Motor za přední nápravou zvětšuje prostor v kabině a umožňuje použít místo kapotové kabiny čelní kabinu, a tím zvětšit ložnou plochu vozidla. U nákladních vozidel určených do terénních podmínek je často využita koncepce pohonu všech kol. Z motoru je točivý moment přenášen přes převodovku do rozdělovací převodovky a poté rozdělen na přední a zadní nápravu (Vlk, 2003, s. 126).



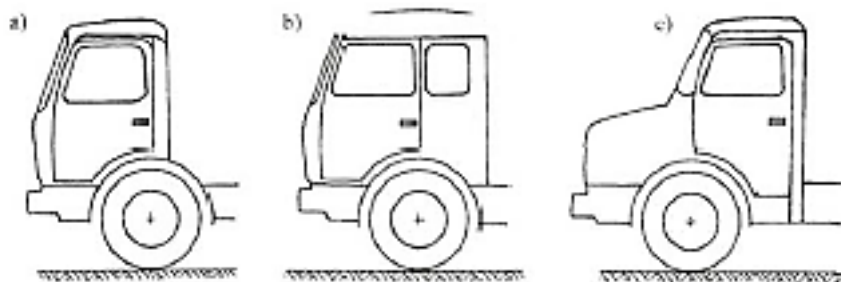
Obr. č. 7 - Uspořádání hnacího ústrojí u užitkových motorových vozidel: a) standardní pohon, b) motor mezi nápravami, c) pohon všech kol

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 127))

2.2.2 Kabina pro řidiče

Mezi základní druhy kabin pro řidiče patří čelní trambusová kabina, čelní kabina s prostorem na spaní a kabina kapotová. Jednotlivé druhy zachycuje **Obr. č. 8**. Výhodou čelní kabiny je možnost jejího sklopení směrem dopředu, což usnadňuje přístup k motoru. Stále častěji

se využívá uložení motoru za kabinou řidiče (podpodlažní uspořádání), tedy motor je uložen za přední nápravou (Vlk, 2003, s. 122).

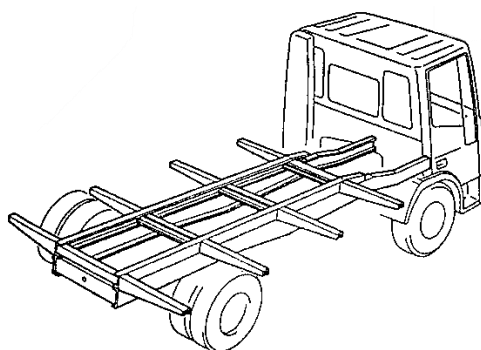


Obr. č. 8 - Kabiny pro řidiče: a) čelní (trambusová), b) čelní s prostorem na spaní, c) kapotová
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 123))

Kabina je uchycena na dvou podélných nosnících, pomocí dvou otočných bodů vpředu a dvou úložných bodů vzadu. Otočné upevňovací body umožňují sklopení kabiny dopředu. Zadní úložné body zabezpečují odpružení a tlumení kabiny (Vlk, 2003, s. 125).

2.2.3 Nástavba

Podvozky nákladních vozidel se vybavují různými nástavbami. Nástavby se připevňují na tzv. pomocný (montážní) rám. Pomocný rám se připevňuje na žebřinový rám a vede od zadního konce rámu k zadnímu konci uložení přední pružiny. Tímto konstrukčním provedením dojde k odlehčení rámu podvozku a zvýšení celkové tuhosti na ohyb a tím zmenšení sklonu k ohybovému kmitání. Optimálního přenosu sil se docílí tím, že pomocný rám má po celé délce stejnou vnější šířku jako rám podvozku a kopíruje jeho vnější obrys. Přerušování nebo zalomení pomocného rámu není přípustné (Vlk, 2003, s. 135).



Obr. č. 9 - Pomocný rám s dělenými příčníky upevněný na rámu
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2003, s. 139))

Prvky pro uchycení nástavby k rámu podvozku jsou voleny podle torzní tuhosti nástavby. Torzně měkké nástavby se používají u valníkové korby, sklápěčky a návěsové točnice. Nástavby extrémně tuhé na krut, používané u cisterny, sila nebo samonosné skříně, mají zvláštní požadavky

na upevňovací prvky, protože musí v extrémních situacích umožňovat omezení a nadzvednutí nástavby. Bývají uloženy pružně nebo alternativně bez pomocného rámu, a to přímo na rám podvozku ve třech bodech. Zadní uchycení je uchyceno na obou stranách tuhými nebo odpruženými konzolami, přední opěrný bod je proveden jako vahadlo a může vyrovnávat zkroucení rámu podvozku pomocí pružně uloženého kloubu (Vlk, 2003, s. 135-136).

2.3 BRZDY NÁKLADNÍCH VOZIDEL

„Brzda je ta část brzdové soustavy, která vytváří sílu působící proti pohybu vozidla.“ (Jan, 2008, s. 172) Mezi brzdové zařízení patří všechny brzdové soustavy, jejichž funkcí je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla, popřípadě jeho zastavení nebo udržení stojícího vozidla ve svahu. K brzdění dochází záměrně vyvolaným třením mezi rotujícími a pevnými částmi motorového vozidla, např. mezi brzdovým kotoučem a brzdovými čelistmi. Pohybová energie (kinetická) se ve třecích částech mění v tepelnou energii (teplo), kterou je potřeba odvést do ovzduší, aby nedošlo k poškození brzd (Vlk, 2000, s. 253).

Rozdělení brzdových soustav podle účelu:

- **provozní brzdová soustava** – soubor prvků, které umožňují řidiči snížit přímo nebo nepřímo rychlost vozidla při obvyklé jízdě, popřípadě vozidlo zastavit, jsou ovládány nohou řidiče, tudíž musí být jejich účinek regulovatelný a musí působit na všechna kola;
- **nouzová brzdová soustava** – soubor prvků, které umožňují řidiči snížit přímo nebo nepřímo rychlost vozidla, popřípadě jej zastavit v případě, že dojde k selhání provozní brzdové soustavy, účinek je regulovatelný a musí působit alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla, může být součástí nepřerušného okruhu dvouokruhových provozních brzd nebo parkovací brzdy;
- **parkovací brzdová soustava** – soubor prvků, které umožňují řidiči udržet stojící vozidlo mechanickými prostředky ve svahu, zejména v nepřítomnosti řidiče;
- **zpomalovací brzdová soustava** – soubor prvků, které umožňují řidiči přímo i nepřímo snížit nebo ustálit rychlost vozidla na dlouhém svahu, jejich úkolem není vozidlo zastavit (Vlk, 2000, s. 254, 255).

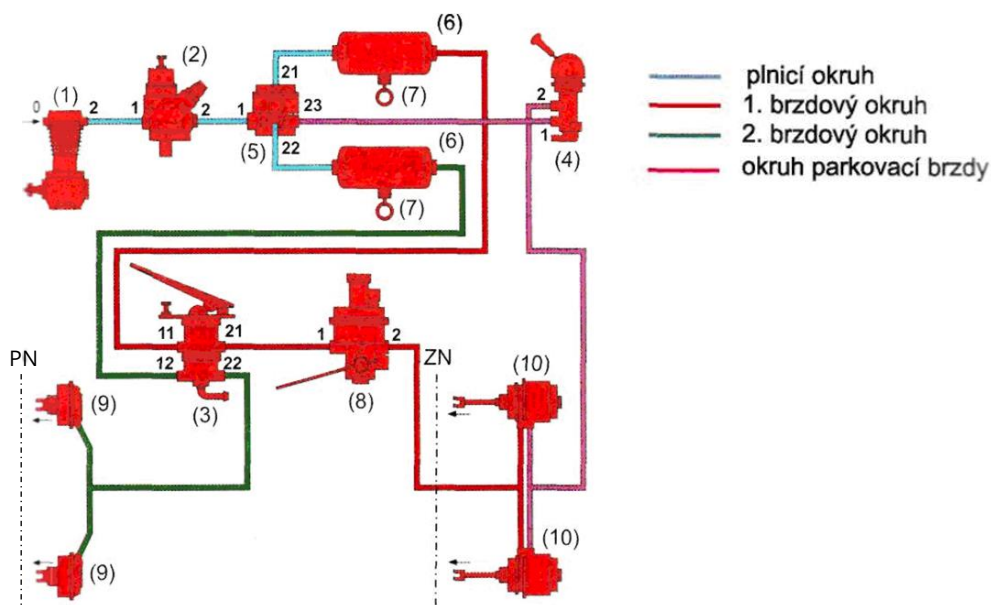
Ovládací orgány brzdové soustavy jako pedál, ruční páka apod. jsou umístěny v kabině řidiče. Třecí části se nacházejí na koncích náprav a v kolech. Jednotlivé části jsou podle způsobu ovládání spojeny táhly, lanky, ocelovým potrubím a pryžovými hadicemi (Jan, 2008, s. 83).

U nákladních vozidel se na ovládání provozního, nouzového a parkovacího brzdění zpravidla používají strojní brzdové soustavy, nejčastěji vzduchové. U strojních brzd je energie potřebná pro vytvoření brzdné síly dodávána jedním nebo několika ústrojími pro dodávku energie oproti přímočinné brzdě, kdy je brzdná síla vytvořena pouze svalovou silou řidiče. U lehkých a středních nákladních vozidel se používají hydraulické strojní brzdové soustavy (Vlk, 2000, s. 326).

2.3.1 Vzduchotlaké brzdy

Přetlaková vzduchová brzdná soustava se využívá zejména u těžších nákladních automobilů a autobusů. Důvodem je, že u vozidel s vyšší hmotností nestačí pro vyvolání dostatečné brzdné síly pouze fyzická síla řidiče. Řidič působí na pedál svalovou silou a tím se uvolňuje energie stlačeného vzduchu, která je regulovaně použita na brzdění vozidla. Požadovaný tlak vzduchu zabezpečuje ve vzduchotlaké soustavě kompresor a regulaci regulátor tlaku. Regulátor tlaku odvádí stlačený vzduch z kompresoru do vzduchojemů a v případě přebytku vzduchu jej vypouští do ovzduší čímž reguluje pracovní tlak (Jan, 2008, s. 138). Nejčastěji se využívá dvouokruhová brzdová soustava s převodem brzdy, která má dva okruhy. V případě poruchy v převodu brzdové soustavy je energie pro vytvoření přitlačné síly přenášena druhým převodem (Vlk, 2000, s. 257).

Příklad **jednoduché dvouokruhové vzduchotlaké brzdové soustavy** je zobrazen na **Obr. č. 10**, kde 1 – kompresor, 2 – regulátor tlaku, 3 – dvouokruhový hlavní brzdíč, 4 – ovládací ventil parkovací brzdy, 5 – čtyřokruhový pojistný ventil, 6 – vzduchojem, 7 – odkalovací, 8 – zátěžový regulátor brzdného tlaku, 9 – membránový brzdový válec, 10 – kombinovaný pružinový brzdový válec, PN – přední náprava, ZN – zadní náprava.



Obr. č. 10 - Dvouokruhová vzduchotlaká brzdová soustava

(Zdroj: Převzato z (Jan, 2004, s. 126))

Dvouokruhová vzduchotlaká brzdová soustava se skládá ze 3 hlavních částí: plnicí části, ovládací části a brzd. Plnicí část je zařízení, které vytváří zásobu stlačeného vzduchu. Patří do ní kompresor, regulátor tlaku, čtyřokruhový pojistný ventil, dva vzduchojemy s odkalovacími ventily a tlakoměry. Ovládací část řídí brzdny účinek soustavy. Patří sem pedálový dvouokruhový brzdič, samočinný zátěžový regulátor tlaku, pružinové brzdové válce (zadní náprava), jednoduché brzdové válce (přední náprava) a ovládací ventil parkovací brzdy. Samotné brzdy mění pohybovou energii na energii tepelnou. Provozní a parkovací brzdy bývají třecí (bubnové nebo kotoučové) (Jan, 2008, s. 139).

Princip činnosti dvouokruhové vzduchotlaké brzdové soustavy je následující:

V plnicím okruhu je kompresorem nasáván a vytlačován vzduch přes regulátor tlaku a vysoušeč vzduchu do čtyřokruhového pojistného ventilu. Regulátor tlaku zabráňuje překročení maximální dovolené hodnoty tlaku (0,8 MPa, tj. 8 bar) a to tak, že přebytečný vzduch vypouští do ovzduší. Vysoušeč vzduchu pracuje na principu absorpce a zbavuje vzduch vlhkosti. Ten je dále veden do regeneračního vzduchojemu. Stlačený vzduch je čtyřokruhovým pojistným ventilem rozdělen do 1. a 2. okruhu provozních brzd a parkovací brzdy. Stlačený vzduch může být přiváděn také do brzdy přívěsu a do přídavných vzduchových systémů. Zásobníkem stlačeného vzduchu pro provozní a parkovací brzdy (popřípadě i brzdy přívěsu) jsou vzduchojemy. Zkondenzovaná voda je ze vzduchojemu vypuštěna odkalovacím ventilem. Při poklesu tlaku pod minimální hodnotu vyvolají tlakové spínače akustický nebo optický varovný signál (Jan, 2008, s. 140).

V okruzích provozních brzd vytváří brzdny účinek na přední a zadní nápravě stlačený vzduch. Brzdny účinek je závislý na síle sešlápnutí brzdového pedálu řidičem a je řízen pedálovým dvouokruhovým brzdičem. Čím více působí řidič na brzdový pedál, tím proudí ze vzduchojemů větší množství vzduchu přes pedálový dvouokruhový brzdič do brzdových válců přední nápravy a přes zátěžový regulátor tlaku do pružinových brzdových válců zadní nápravy. Vysunutí pístnice brzdového válce odpovídá množství vzduchu, které je přivedeno do brzdových válců. Tlak v brzdách zadní nápravy se samočinně upravuje zátěžovým regulátorem tlaku podle zatížení. Nezátížené vozidlo má přívod vzduchu do zadních pružinových brzdových válců omezen. Při plném zatížení vozidla je do brzdových válců přiveden plný brzdny tlak (Jan, 2008, s. 141).

Parkovací brzda je ovládána pneumaticky. Do činnosti je uvedena ruční pákou ventilu parkovací brzdy. Při jejím odbrzdění se propojí pružinové brzdové válce zadní nápravy přes ventilové relé s příslušným vzduchojemem a zavzdušněny. V pracovní poloze jsou odvzdušněny. Ventilové relé je napojeno na čtyřokruhový pojistný ventil a urychluje zavzdušnění (při odbrzdění) a odvzdušnění (při zabrzdění) pružinových brzdových válců. Úniku vzduchu při netěsnostech

zabraňuje zpětný ventil. Když dojde k poruše na provozní brzdě, může pracovat parkovací brzda jakou nouzová s regulovaným účinkem (Jan, 2008, s. 141).

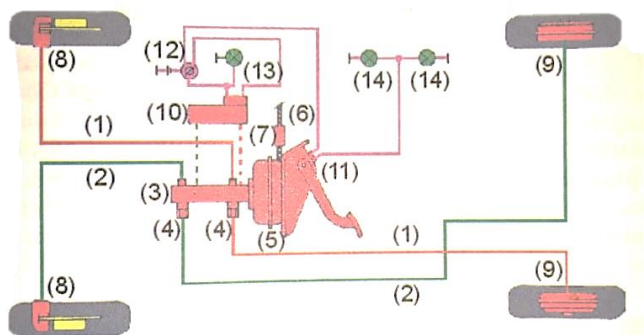
Dvouokruhová dvouhadicová vzduchotlaká brzdová soustava se používá u nákladních vozidel s přívěsem a celkovou přípustnou hmotností nad 16 tun. Skládá se z plnicího okruhu, který připravuje zásobu stlačeného vzduchu a dodává jej dále, z okruhů provozních brzd, okruhu parkovací brzdy, a navíc okruhu řízení brzd přívěsu. S přívěsem je brzdová soustava spojena pomocí plnicí a ovládací hadice. Při sešlápnutí pedálu dvouokruhového brzdiče je do brzdového okruhu přívěsu vozidla přiveden stejný tlak vzduchu jako do brzdového okruhu tažného vozidla. Snížení tlaku na ventilu přívěsu způsobí odpovídající nárůst tlaku v brzdovém okruhu přívěsu, což znamená, že nouzové brzdění tažného vozidla vyvolá provozní brzdění přívěsu. Když dojde k odtržení přívěsu od tažného vozidla, přeruší se plnicí a ovládací hadice a pokles tlaku v plnicím okruhu zapříčiní zabrzdění přívěsu brzdičem přívěsu. Při odtržení dochází k samočinnému zabrzdění přívěsu (Jan, 2008, s. 141-142).

Dvouokruhová dvouhadicová vzduchotlaká brzdová soustava s ABS se používá u nákladních automobilů s přívěsem a celkovou přípustnou hmotností nad 16 tun a nadto je vybavena systémem ABS. Skládá se ze stejných okruhů jako předchozí varianta, ale na rozdíl od ní je vybavena regulací brzdné síly i na přední nápravě, třetí nepoháněnou zvedací nápravou (provedení 6x2) a ABS. Okruhy provozních brzd se liší tím, že mechanicky ovládaný regulátor brzdného tlaku samočinně redukuje tlak vzduchu v brzdách zadní nápravy podle zatížení a v předních brzdách redukuje tlak střídavým tlakovým ventilem v hlavním brzdiči. Pokud elektronická řídicí jednotka zjistí, že při brzdění je jedno nebo více kol blokováno, redukuje brzdný tlak kol majících náběh na blokování až do odstranění nebezpečí zablokování kol (Jan, 2008, s. 142-144).

2.3.2 Hydraulické brzdy

U lehkých a středních nákladních vozidel se mohou použít také hydraulické strojní brzdové soustavy. Hydraulická strojní brzdová soustava má hydraulickou centrálu s motoricky poháněným čerpadlem a s akumulátory tlakové kapaliny. Řidič ovládá velikost brzdového tlaku, ale tlak není vyvíjen svalovou silou řidiče (Vlk, 2000, s. 326). Kapalinová brzdová soustava je tvořena brzdovým pedálem, hlavním tandemovým brzdovým válcem, brzdovým potrubím, brzdovými hadičkami, kolovými brzdovými válečky a vlastními kolovými brzdami. Výhodou hydraulické brzdové soustavy je její jednoduchost a malé nároky na údržbu (Jan, 2008, s. 86).

Na **Obr. č. 11** je zachycena dvouokruhová hydraulická brzdová soustava osobního automobilu, kde 1 – 1. okruh, 2 – 2. okruh, 3 – hlavní tandemový brzdový válec, 4 – redukční ventil, 5 – posilovač brzdného účinku, 6 – podtlakové potrubí, 7 – zpětný ventil, 8 – přední kotoučová brzda, 9 – zadní bubnová brzda, 10 – nádržka brzdové kapaliny, 11 – brzdový spínač, 12 – spínací skříňka, 13 – kontrolní svítidla brzdové soustavy, 14 – brzdová světla.



Obr. č. 11 - Dvouokruhová hydraulická brzdová soustava
(Zdroj: Převzato z (Jan, 2004, s. 83))

Princip přenosu síly u hydraulických brzd je založen na využití Pascalova zákona. „*Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na povrch kapaliny v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný.*“ (Jan, 2008, s. 86) Řidič působí na brzdový pedál svalovou silou a ta tlačí na píst hlavního brzdového válce, kde se vytváří potřebný tlak kapaliny. Vytvořený tlak kapaliny přenáší sílu na pístky v kolových brzdových válečcích. Jako kolové brzdy se používají brzdy kotoučové, často ale bývají na zadní nápravě brzdy bubnové. Hydraulické brzdy pracují s tlakem 120 až 180 bar což umožňuje, aby rozměry jednotlivých částí brzdové soustavy mohly být malé. Brzdová kapalina je téměř nestlačitelná a vůle brzd jsou malé, proto okamžitě po stlačení pedálu dojde k nárůstu tlaku a brzdy začnou téměř bez zpoždění účinkovat. V případě poruchy na jednom z okruhů brzdové soustavy lze vozidlo zastavit druhým nezávislým okruhem (Jan, 2008, s. 86-87).

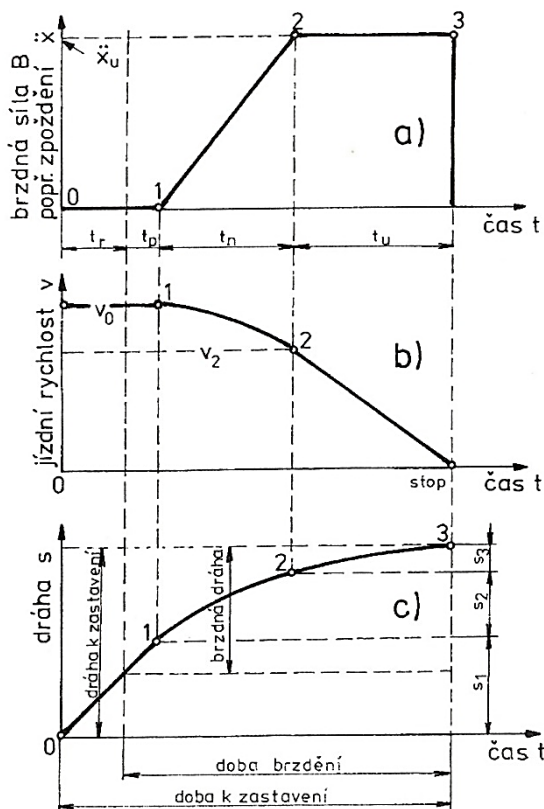
Brzdová kapalina má za úkol přenášet brzdnou sílu od hlavního brzdového válce k brzdovým mechanismům jednotlivých kol. Brzdová kapalina musí splňovat podle předpisů DOT 3, DOT 4 a DOT 5 co nejmenší stlačitelnost, vysoký bod varu a nízký bod tuhnutí, odolnost proti stárnutí, nízkou a konstantní viskozitu, mísitelnost s ostatními brzdovými kapalinami. Kapalina musí být neutrální, nesmí způsobovat korozi jednotlivých částí brzdového systému. Nejčastěji jsou brzdové kapaliny vyráběny na bázi alkoholu a používají se především glykolové směsi se speciálními přísadami. Nevýhodou je, že jsou hygroskopické (pohlcují vzdušnost a vlhkost), což může zhoršovat vlastnosti kapaliny. Při nízké teplotě se v ní mohou tvořit bublinky vzdušných par, a to může vést k selhání brzd. Doporučená doba výměny brzdové kapaliny je 1 rok (Jan, 2008, s. 100).

2.4 PRŮBĚH BRZDĚNÍ

Kvalitu brzdové soustavy, tedy jak rychle má být vozidlo zastaveno, lze posoudit podle délky brzdné dráhy. Délka brzdné dráhy závisí na různých faktorech.

Mezi zpozorováním překážky a začátkem působení svalové síly řidiče na brzdový pedál uběhne reakční doba t_r . Mezi začátkem působení řidiče na brzdový pedál a okamžikem, kdy se začne projevovat účinnost brzdění, uběhne doba prodlevy brzdění t_p . Doba prodlevy představuje dobu, během které jsou překonány vůle v kloubech a ložiskách a brzdové obložení dolehne na třecí plochu brzd. Při zanedbání jízdních odporů je během doby $t_r + t_p$ rychlost vozidla stálá a vozidlo ujede v tomto časovém úseku určitou dráhu. Doba mezi začátkem projevu brzdného účinku a okamžikem, kdy se brzdný účinek dosáhne své plné výše, se nazývá doba náběhu brzd t_n . V posledním úseku se projevuje plné brzdění a zpoždění vozidla je konstantní. Při plném brzdění uběhne doba plného brzdění t_u (Vlk, 2000, s. 121).

Na **Obr. č. 12** lze vidět **průběh brzdění vozidla**. Jednotlivé grafy zachycují za a) závislost brzdné síly na čase v průběhu brzdění vozidla, b) průběh rychlosti vozidla v závislosti na čase, c) průběh dráhy, kterou vozidlo ujede od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdný pedál včetně reakční doby a prodlevy brzd, do zastavení vozidla v závislosti na čase.



Obr. č. 12 - Průběh brzdění: a) zpoždění vozidla, b) rychlost, c) dráha
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 121))

2.4.1 Stanovení brzdné dráhy

Dráha potřebná k zastavení vozidla se dá taktéž rozdělit do několika úseků. Dráha ujetá za dobu $t_r + t_p$ (úsek 0-1), kdy vozidlo jede konstantní rychlostí v_0 se vyjádří dle (Vlk, 2000, s. 122):

$$s_1 = v_0(t_r + t_p) \quad (2.1)$$

kde s_1 je dráha ujetá za dobu reakce řidiče a prodlevy brzd [m], v_0 je rychlost vozidla [m/s], t_r je doba reakce řidiče [s], t_p je doba prodlevy brzd [s].

Dráha uražená vozidlem během náběhu brzd za dobu t_n (úsek 1-2), kdy má vozidlo záporné zrychlení a postupně zpomaluje se po úpravě vyjádří dle (Vlk, 2000, s. 122):

$$s_2 = v_0 t_n - \frac{\ddot{x}_u}{6} t_n^2 \quad (2.2)$$

kde s_2 je dráha ujetá za dobu náběhu brzd [m], v_0 je rychlost vozidla [m/s], t_n je doba náběhu brzd [s], $\ddot{x}_u$ je zpomalení vozidla [m/s²].

Při plném účinku brzd ujede vozidlo dráhu za dobu plného brzdění t_u (úsek 2-3) a za konstantního zpomalení $\ddot{x} = \ddot{x}_u$ při odpovídající rychlosti po úpravě dle (Vlk, 2000, s. 123):

$$s_3 = \frac{1}{2\ddot{x}_u} \left(v_0^2 - v_0 \ddot{x}_u t_n + \frac{\ddot{x}_u^2}{4} t_n^2 \right) \quad (2.3)$$

kde s_3 je dráha ujetá za dobu plného účinku brzd [m], v_0 je rychlost vozidla [m/s], t_n je doba náběhu brzd [s], $\ddot{x}_u$ je zpomalení vozidla [m/s²].

Celková dráha do zastavení vozidla se určí součtem rovnic (2.1), (2.2) a (2.3):

$$s_c = v_0 \left(t_r + t_p + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2\ddot{x}_u} \quad (2.4)$$

kde s_c je celková dráha do zastavení vozidla [m], v_0 je rychlost vozidla [m/s], t_r je doba reakce řidiče [s], t_p je doba prodlevy brzd [s], t_n je doba náběhu brzd [s], $\ddot{x}_u$ je zpomalení vozidla [m/s²].

Brzdná dráha je dráha, kterou ujede vozidlo od okamžiku působení řidiče na brzdový pedál do zastavení vozidla a nezahrnuje dráhu ujetou za reakční dobu řidiče t_r . Určí se vztahem:

$$s \approx v_0 \left(t_p + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2\ddot{x}_u} \quad (2.5)$$

kde s je brzdná dráha [m], v_0 je rychlost vozidla [m/s], t_p je doba prodlevy brzd [s], t_n je doba náběhu brzd [s], $\ddot{x}_u$ je zpomalení vozidla [m/s²].

2.4.2 Stanovení brzdného zpomalení

Brzdné zpomalení představuje úbytek rychlosti vozidla za sekundu a je způsobené účinkem brzd. Brzdné zpomalení je okamžité nebo střední. Okamžité brzdné zpomalení se zjišťuje přímým měřením nebo z dat naměřených speciálními měřicími přístroji. Střední brzdné zpomalení se vypočítá dle (Jan, 2008, s. 84):

$$a = \frac{v^2}{25,9s} \quad (2.6)$$

kde a je brzdné zpomalení [m/s^2], v je rychlost vozidla [m/s], s je brzdná dráha [m].

2.4.3 Brzdné zpomalení s uvažováním součinitele adheze

Síly, které působí při styku kola vozidla s vozovkou se odvíjejí od Colombova zákona o třecí síle:

$$F_T = F_N f \quad (2.7)$$

kde F_T je třecí síla [N], F_N je normálová síla kolmá k podložce [N], f je součinitel tření [-].

Normálová síla je na vodorovné vozovce rovna síle tíhové (gravitační):

$$F_N = F_G = mg \quad (2.8)$$

kde F_N je normálová síla kolmá k podložce [N], F_G je síla tíhová (gravitační) [N], m je hmotnost vozidla [kg], g je tíhové zrychlení [m/s^2].

V případě styku otáčejících kol vozidla s vozovkou bývá součinitel tření označován jako součinitel adheze (přilnavosti) μ . Potom může být vzorec třecí síly upraven jako:

$$F_T = F_N \mu \quad (2.9)$$

kde F_T je třecí síla [N], F_N je normálová síla kolmá k podložce [N], μ je součinitel adheze [-].

Při přímočarém pohybu vozidla po rovině je v rovnováze třecí síla se silou setrvačnou, která se snaží udržet vozidlo v rovnoměrném pohybu:

$$F_T = F_S \quad (2.10)$$

kde F_T je třecí síla [N], F_S je setrvačná síla [N], ($F_S = ma$, kde m je hmotnost vozidla [kg] a a je dosažitelné zrychlení [m/s^2]).

Po dosazení a úpravě je brzdné zpomalení:

$$a \leq g\mu \quad (2.11)$$

kde a je dosažitelné zrychlení [m/s^2], g je tíhové zrychlení [m/s^2] a μ je součinitel adheze [-].

Z upraveného vzorce vyplývá, že maximální možné brzdné zpomalení nezávisí na hmotnosti vozidla. To platí v případě, že dojde k blokování všech kol nebo je zatížení náprav ve vzájemném vztahu s tangenciální brzdou silou, které v daném okamžiku vyvine mechanismus brzdy na obvodu kola (Bradáč, 1999, s. 348-349).

Součinitel adheze

Okamžitá velikost součinitele adheze závisí na:

- kvalitě a stavu povrchu vozovky;
- kvalitě a stavu povrchu pneumatiky;
- rychlosti jízdy vozidla;
- poměrech ve stopě kole, především na velikosti skluzu (Bradáč, 1999, s. 354).

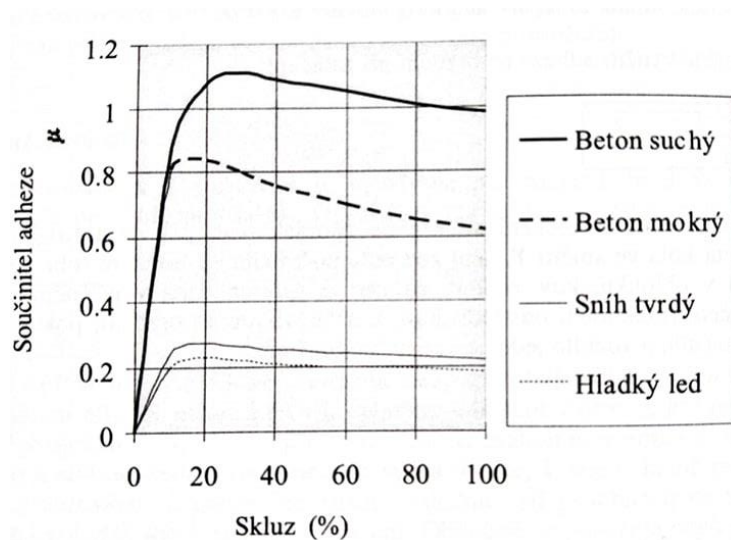
Následující tabulka zachycuje hodnoty součinitele adheze pro různé povrchy vozovky.

Tab. č. 1 - Součinitel adheze na různém povrchu

(Zdroj: Zpracováno dle (Bradáč, 1999, s. 357))

Povrch vozovky		Součinitel adheze μ	Povrch vozovky		Součinitel adheze μ
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, sníh		0,2 – 0,4
	mokrá	0,3 – 0,5			
makadam	suchý	0,6 – 0,8	náledí	0 °C	0,05 – 0,10
	mokrý	0,3 – 0,5		-10 °C	0,08 – 0,15
				-20 °C	0,15 – 0,20

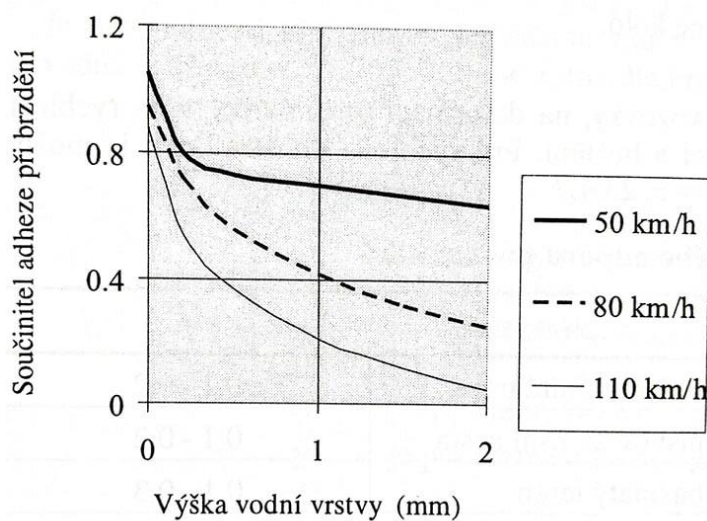
Součinitel adheze je nejvyšší při optimálním skluzu kola. Po překročení klesá až na hodnotu, která odpovídá 100% skluzu, tedy kdy se kolo neotčí a dochází k jeho smyku (Bradáč, 1999, s. 356). Závislost skluzu a součinitele adheze zachycuje **Obr. č. 13**.



Obr. č. 13 - Vliv skluzu kola na součinitel adheze

(Zdroj: Zpracováno dle (Bradáč, 1999, s. 354))

Vliv na hodnotu součinitele adheze má také výška vrstvy vody na vozovce. Když dezén pneumatiky nestačí odvádět vodu ze stopy tak, aby byla pneumatika ve styku s vozovkou, dochází k tzv. aquaplaninku a mezi pneumatikou a vozovkou se nachází vrstva vody (Bradáč, 1999, s. 356). Vliv vodní vrstvy ve stopě na součinitel adheze zachycuje **Obr. č. 14**.



Obr. č. 14 - Vliv výšky vodní vrstvy ve stopě na součinitel adheze

(Zdroj: Zpracováno dle (Bradáč, 1999, s. 357))

2.5 ZÁKONNÉ PŘEDPISY A POŽADAVKY NA BRZDY NÁKLADNÍCH VOZIDEL

Technické požadavky na konstrukci vozidel kategorie N upravuje vyhláška Ministerstva dopravy č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Vyhláška MD je v souladu s předpisem Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 13, která předepisuje jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění. Tento předpis stanovuje limitní hodnoty pro jednotlivé typy zkoušek brzd, maximální povolenou brzdňou dráhu a minimální brzdňého zpomalení.

Tab. č. 2 - Předpisy pro provozní brzdy
(Zdroj: Zpracováno dle (Předpis EHK OSN č. 13))

Kategorie vozidel podle EHK R13 (druh, maximální hmotnost)		Nákladní vozidla		
		N1 $m \leq 3,5 \text{ t}$	N2 $3,5 \text{ t} \leq m \leq 12 \text{ t}$	N3 $m \geq 12 \text{ t}$
Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	Zkušební rychlost v_0 [km/h]	80 km/h	60 km/h	60 km/h
	Max. brzdňá dráha s_c [m]	$0,15v_0 + \frac{v_0^2}{130}$		
		$s_c = 61,2 \text{ m}$	$s_c = 36,7 \text{ m}$	$s_c = 36,7 \text{ m}$
	Zpomalení a [m/s^2]	$5,0 \text{ m/s}^2$		
Zkouška typu 0 se zapojeným motorem	Zkušební rychlost $v_0 = 0,80v_{max}$, ale ne více než [km/h]	120 km/h	100 km/h	90 km/h
	Max. brzdňá dráha s_c [m]	$0,15v_0 + \frac{v_0^2}{103,5}$		
		$s_c = 157,1 \text{ m}$	$s_c = 111,6 \text{ m}$	$s_c = 111,6 \text{ m}$
	Zpomalení a [m/s^2]	$4,0 \text{ m/s}^2$		
Síla působící na brzdový pedál F [N]		700 N		

Dále předpis stanovuje požadavky na brzdové systémy, jako např.:

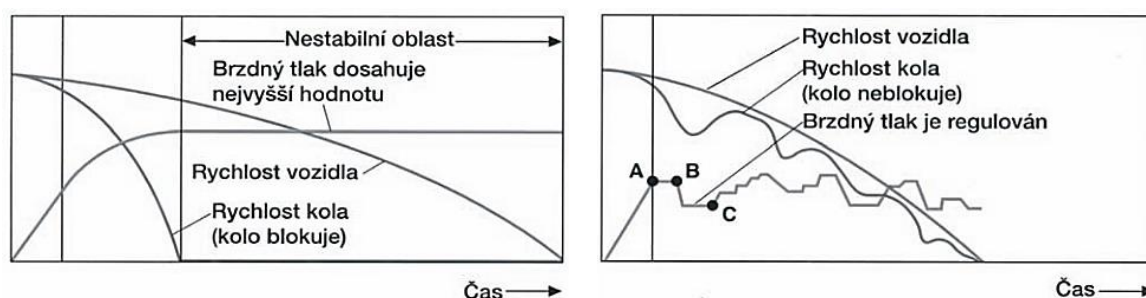
- předepsaný brzdňý účinek musí být dosažen bez blokování kol;
- NA mohou mít u brzdové soustavy zajišťující provozní, nouzové, parkovací a zpomalovací brzdění společné části, ale alespoň dva okruhy na sobě nezávislé;
- ovládací ústrojí provozního a parkovacího brzdění musí být nezávislé;
- parkovací brzdy musí zabránit protáčení kol NA při jejich celkové hmotnosti na svahu o stoupání nejméně 18 %, u souprav nejméně 12 % (Jan, 2008, s. 85).

2.6 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY

Elektronické systémy aktivně zasahují řidiči do řízení a chování vozidla v kritických situacích. Systémy pomáhají regulovat brzdovou soustavu, především regulují skluz a prokluz kola, zlepšují řiditelnost a stabilitu vozidla při brzdění a akceleraci, a zlepšují dynamiku jízdy vozidla. Mezi elektronické systémy, které regulují brzdovou soustavu patří protiblokovací brzdový systém ABS, protiprokluzový systém ASR a systém regulace dynamiky jízdy ESP.

2.6.1 Protiblokovací brzdový systém ABS

Protiblokovací brzdový systém je součástí brzdové soustavy a dokáže samočinně řídit skluz v podélném směru kola na jednom nebo více kolech. Hlavním úkolem ABS (Anti-lock Brake System) je regulovat brzdění v kritických situacích (brzdění na mokré nebo zamrzlé vozovce) a zachovat řiditelnost a stabilitu vozidla. ABS optimalizuje brzdnou dráhu a může ji zkracovat. Protiblokovací systém včas rozezná, kdy dochází k blokování jednoho nebo více kol a sníží tlak v brzdové soustavě, aby nedošlo ke ztrátě směrové stability a ke smyku vozidla (Vlk, 2000, s. 154).



Obr. č. 15 - Vlevo brzdění bez ABS, vpravo brzdění s ABS

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2006, s. 113))

Systém ABS je vybaven snímačem otáček upevněným na kole, který snímá okamžitou rychlost otáčení kola. Ze snímače otáček kola jsou signály posílány a zpracovávány v elektrické řídicí jednotce. Ta pomocí změny otáček kola vyhodnocuje zpomalení, zrychlení a brzdý skluz jednotlivých kol. Z těchto údajů určí odpovídající brzdý tlak a posílá elektrické impulsy do modulátoru brzdého tlaku. V závislosti na elektrických impulsch mění tlak v brzdovém kolovém válci tak, aby brzdá síla vytvořila maximální brzdý účinek bez blokování kol (Jan, 2008, s. 177).

2.6.2 Regulace prokluzu ASR

Protiprokluzový systém ASR (Anti Skid Regulation) je rozšířením ABS a jeho hlavní úlohou je regulovat prokluz, zajistit stabilitu a řiditelnost vozidla při akceleraci. To znamená, že ASR zabráňuje protáčení kol při rozjezdu nebo zrychlení na vozovce s různou přilnavostí na pravé a levé

straně, kdy v důsledku rozdílných přilnavostí se kolo s menší přilnavostí protáčí. Pro rozjezd vozidla je přenášeny hnací moment nedostačující a vozidlo zůstává stát (Jan, 2008, s. 184).

Snímače otáček kola posílají signály do řídicí jednotky, ta rozpozná začínající prokluz na hnacím kole. Řídicí jednotka vyšle impulsy do elektromagnetického ventilu a elektropneumatického řídicího ventilu a pokud dochází k prokluzu kola, je toto kolo přibrzděno. Kolo s větší přilnavostí může nyní přenášet na vozovku hnací moment. Regulace prokluzu přibrzděním prokluzujícího kola se využívá do rychlosti 30 km/h. U vyšších rychlostí se využívá regulace prokluzu snížením výkonu motoru (Jan, 2008, s. 184).

2.6.3 Elektronický stabilizační program ESP

Systém regulace dynamiky jízdy ESP (Electronic Stability Program) pomáhá řidiči zvládnout kritické situace, které jsou způsobeny jeho nesprávným odhadem, např. velké pohyby volantu, které vedou vozidlo do smyku. Systém ESP je určitým rozšířením systémů ABS a ASR. Ty regulují skluz a prokluz při brzdění nebo akceleraci v podélném směru. Systém stabilizace jízdy oproti nim reguluje skluz pneumatiky i ve směru příčném. Příčný skluz pneumatiky způsobuje ztrátu bočního vedení a zapříčiňuje vybočení vozidla do strany. Systém ESP zvyšuje stabilitu vozidla při průjezdu zatáčkou a snižuje možnost smyku při brzdění, akceleraci a volném pohybu vozidla. Regulační technika tohoto systému se neobejde bez velmi výkonné elektroniky a snímačů (Vlk, 2006, s. 127).

ESP se skládá z hydraulického agregátu a řídicí jednotky, která je vybavena senzory snímajícími a vyhodnocujícími jízdní situaci. V kritických situacích zvýší hydraulický systém brzdový tlak na jednotlivých kolech a zabrání smyku vozidla. Přibrzděním jednotlivých kol se vytvoří točivý moment kolem svislé osy vozidla, a to zabraňuje nežádoucí nedotáčivosti nebo přetáčivosti vozidla. Brzdový tlak je zvyšován samočinně a bez zásahu řidiče. Brzdící impuls může vozidlo stabilizovat a opět jej uvést do správného směru jízdy. Pokud je potřeba, systém napomáhá stabilizovat vozidlo také snížením točivého momentu motoru (Vlk, 2006, s. 128).

2.7 JÍZDNÍ ODPORY

Pohyb vozidla ovlivňují jízdní odpory, které působí proti směru jeho pohybu. Na vozidlo vždy působí odpor valivý a odpor vzdušný, a to bez ohledu na to, po jakém terénu vozidlo jede a zda jede konstantní rychlostí nebo zrychluje. Některé jízdní odpory působí jen za určitých podmínek. Při akceleraci vozidlo překonává odpor zrychlení, při jízdě do svahu odpor stoupání a v případě, že je za vozidlem připojen přívěs, odpor přívěsu (Vlk, 2000, s. 21).

Celkový jízdní odpor působící na vozidlo se určí dle (Vlk, 2000, s. 35) sečtením dílčích jízdních odporů, které jsou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách 2.7.1 až 2.7.5:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p \quad (2.12)$$

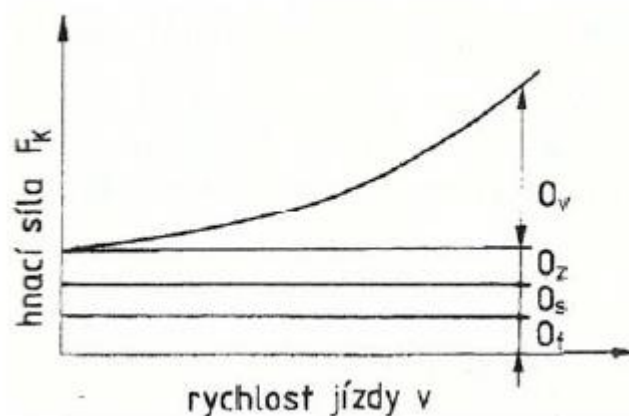
kde O_c je celkový jízdní odpor [N], O_f je odpor valivý [N], O_v je odpor vzduchu [N], O_s je odpor stoupání [N], O_z je odpor zrychlení [N] a O_p je odpor přívěsu [N].

Pro překonání jízdních odporů je nutné přivést odpovídající hnací sílu na kola vozidla. Hnací síla nutná na překonání všech jízdních odporů je dle (Vlk, 2000, s. 35) rovna celkovému jízdnímu odporu:

$$F_K = O_c \quad (2.13)$$

kde F_K je hnací síla vozidla [N] a O_c je celkový jízdní odpor [N].

Na vozidlo bez přívěsu působí při jízdě po rovině (sklon svahu $s = 0 \%$) a bez zrychlení ($a = 0 \text{ m/s}^2$) pouze odpor valivý a odpor vzdušný. Závislost jízdních odporů na rychlosti vozidla zachycuje obrázek níže.



Obr. č. 16 - Hnací síla potřebná na překonání jízdních odporů

(Zdroj: Převezato z (Vlk, 2000, s. 36))

2.7.1 Odpor valivý

Valivý odpor vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Deformace pneumatiky nastává, pokud je vozovka tuhá. Styčná plocha pneumatiky s vozovkou se nazývá stopa pneumatiky a působí v ní síly různých směrů. V přední části stopy dochází ve směru valení ke stlačování obvodu pneumatiky do roviny vozovky a následně se v zadní části stopy vrací zpátky do kruhového tvaru. Síly nutné ke stlačení pneumatiky jsou větší než síly, které působí pneumatika na vozovku při navrácení do kruhového tvaru. Je to dáno vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo.

Svislou výslednici elementárních sil ve stopě pneumatiky nazýváme radiální reakce vozovky Z_K , a jelikož jsou měrné tlaky v přední části stopy větší než v zadní, je předsunuta před svislou osu kola. Poměr délky předsunutí výslednice a dynamického poloměru kola vyjadřuje součinitel valivého odporu f (Vlk, 2000, s. 21).

Valivý odpor vozidla dle (Vlk, 2000, s. 23) je dán součtem valivých odporů jednotlivých kol vozidla:

$$O_f = \sum_i Z_{Ki} f_{Ki} \quad (2.14)$$

kde O_f je valivý odpor vozidla [N], Z_K je radiální reakce vozovky [N] a f_K je součinitel valivého odporu kola [-].

Součinitel valivého odporu f je ovlivněn zejména:

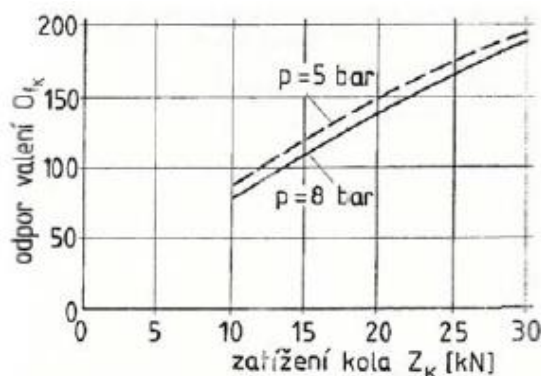
- povrchem vozovky;
- dále deformací pneumatiky;
- rychlostí vozidla (Vlk, 2000, s. 22).

Hodnoty součinitele f_K pro různé povrchy vozovek zachycuje následující tabulka.

Tab. č. 3 - Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek
(Zdroj: Zpracováno dle (Vlk, 2000, s. 23))

Povrch	Součinitel valivého odporu f_K [-]	Povrch	Součinitel valivého odporu f_K [-]
asfalt	0,01 – 0,02	travnatý terén	0,08 – 0,15
beton	0,015 – 0,025	hluboký písek	0,15 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,03	čerstvý sníh	0,20 – 0,30
makadam	0,03 – 0,04	bahnitá půda	0,20 – 0,40
polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

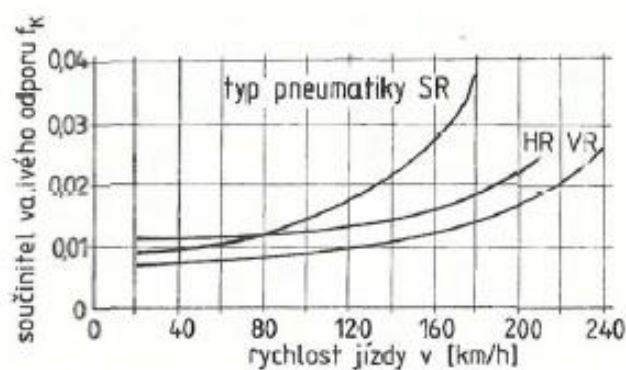
Deformace pneumatiky zvláště na huštění pneumatiky. Čím je pneumatika huštěna menším tlakem vzduchu, tím dochází k větší deformaci pneumatiky, to má za následek vzrůst deformační a tlumící práce a dochází ke zvýšení valivého odporu. Následující obrázek zobrazuje vliv huštění pneumatiky na odpor valení (Vlk, 2000, s. 22).



Obr. č. 17 - Vliv huštění pneumatiky na odpor valení

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 23))

Vliv rychlosti vozidla na součinitel odporu valení má význam především při vyšších rychlostech, kdy pneumatiky v poměrně krátkém čase nezvládají vyrovnávat deformace vznikající v přední části stopy. Měrné tlaky v zadní části klesají a radiální reakce vozovky Z_k se posouvá více dopředu čímž se součinitel valivého odporu f zvětšuje. Součinitel valivého odporu se může při nízkých rychlostech (u osobních vozidel do 80 km/h, u nákladních vozidel do 50 km/h) zanedbat. Na obrázku níže je zachycen vliv rychlosti na odpor valení (Vlk, 2000, s. 22).

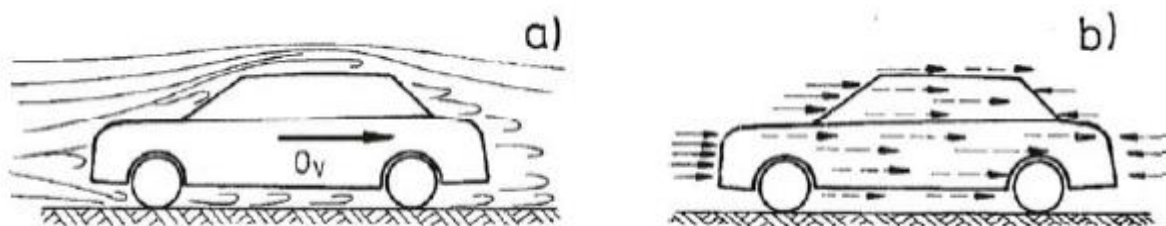


Obr. č. 18 - Vliv rychlosti vozidla na odpor valení

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 24))

2.7.2 Odpor vzdušný

Vzdušný odpor vzniká z nutnosti vytlačit vzduch z přední části vozidla do prostoru za vozidlem. Proud vzduchu zčásti obtéká karoserii přes její horní část, zčásti proudí mezi spodní částí vozidla a vozovkou. Za vozidlem dochází k víření proudnic, které se neuzavírají, a tím vzniká odpor viz **Obr. č. 19a**). Tento odpor se nazývá odpor vzduchu a jeho velikost je dána výslednicí normálových tlaků vzduchu na povrch karoserie a třecích sil působících v tečném směru proudění vzduchu kolem karoserie viz **Obr. č. 19b**) (Vlk, 2000, s. 25).



Obr. č. 19 - a) průběh proudnic vozidla obtékaného vzduchem; b) vznik vzdušného odporu z tlakových sil (vytažené šipky) a třecích sil (čárkované šipky)

(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 26))

Tlaky vznikající nad a pod vozidlem jsou různé. Nad vozidlem vzniká velký podtlak, naopak pod vozidlem vzniká mírný přetlak. Tím nastává víření vzduchu v příčné rovině vozidla neboli indukovaný vzdušný odpor, který tvoří složku celkového vzdušného odporu. Mimo něj se do celkového vzdušného odporu promítá také odpor vznikající při průchodu vzduchu chladícím a větracím systémem, odpor třením a vířením vzduchu otáčejících se kol vozidla (Vlk, 2000, s. 26).

Celkový **vzdušný odpor** vozidla dle (Vlk, 2000, s. 26) se počítá z aerodynamického vztahu:

$$O_v = c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 \quad (2.15)$$

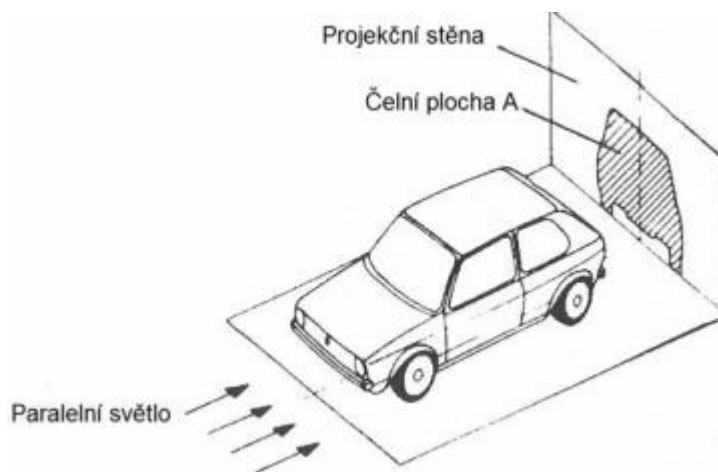
kde O_v je vzdušný odpor [N], c_x je součinitel vzdušného odporu [-], ρ je měrná hmotnost vzduchu [kg/m^3], S_x je čelní plocha vozidla [m^2] a v_r je výsledná (náporová) rychlost proudění vzduchu kolem vozidla [m/s].

Součinitel vzdušného odporu c_x závisí zejména na tvaru karoserie vozidla. Jeho hodnoty se stanovují experimentálně, měřením v aerodynamickém tunelu na modelech nebo skutečných vozidlech, anebo dobíhací zkouškou skutečném vozidle. Vyšší přesnost má měření skutečného vozidla v aerodynamickém tunelu, kde měření probíhá tak, že vozidlo stojí na válcích a jeho kola se otáčejí. Velký součinitel vzdušného odporu má za důsledek vyšší spotřebu paliva. Z tohoto důvodu je snahou docílit co nejnižších hodnot c_x . U osobních vozidel lze součinitel vzdušného odporu snížit vhodným provedením předě a zádě vozidla. U nákladních vozidel se ke snížení využívá nástavby nad kabinou řidiče, což sníží součinitel vzdušného odporu až o 35 %. Mezi úpravy na tahači návěsu, které dále přispívají snížit součinitel odporu vzduchu, patří střešní spoilery, krycí plech nad kabinou, zaoblování hran a další (Vlk, 2000, s. 27-29).

Tab. č. 4 - Hodnoty součinitele vzdušného odporu c_x a čelní plochy S_x
(Zdroj: Zpracováno dle (Vlk, 2000, s. 29))

Typ vozidla	Součinitel vzdušného odporu c_x [-]	Čelní plocha vozidla S_x [m ²]
osobní automobily	0,3 – 0,4	1,6 – 2,0
sportovní vozy	0,3 – 0,35	1,3 – 1,6
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	4,0 – 7,0
nákladní vozy – s plachtou	0,6 – 0,8	5,0 – 8,0
nákladní vozy – s přívěsem	1,0 – 1,2	5,0 – 8,0
nákladní vozy – s kontejnerovým návěsem	1,0 – 1,2	9,0
autobusy	0,5 – 0,7	5,0 – 7,0

Čelní plocha S_x se zjišťuje čelní projekcí vozidla na svislou stěnu, což lze vidět na **Obr. č. 20**. Pro přibližné výpočty lze brát za čelní plochu součin rozchodu kol a výšku vozidla. Z tabulky **Tab. č. 4** lze vyčíst některé hodnoty součinitele vzdušného odporu c_x a hodnoty čelní plochy S_x pro jednotlivé typy vozidla.



Obr. č. 20 - Zjištění čelní plochy vozidla projekcí
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 27))

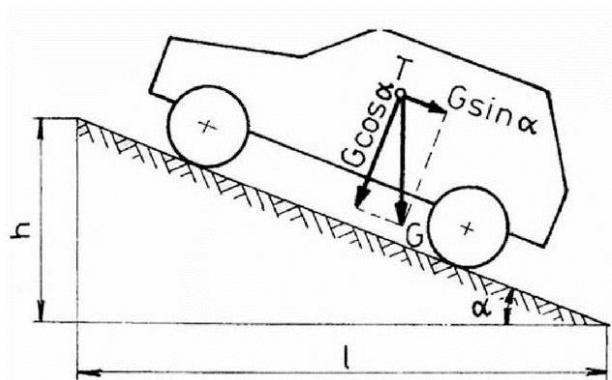
Měrná hmotnost vzduchu ρ je závislá na teplotě a tlaku vzduchu. Při našich nadmořských podmínkách se uvažuje $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. Náporová rychlost v_r sestává ze záporné rychlosti pohybu vozidla, při které vozidlo projíždí klidným vzduchem a z rychlosti větru. Ve výpočtech vzdušného odporu se počítá s průměrnou rychlostí větru $\bar{v}_v = 4,7 \text{ m/s} \approx 17 \text{ km/h}$ (Vlk, 2000, s. 26-27).

2.7.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání je dle (Vlk, 2000, s. 31) vymezen tíhovou složkou vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky:

$$O_s = \pm G \sin \alpha \quad (2.16)$$

kde O_s je odpor vzduchu [N], G je celková tíha [N] a α je úhel, který svírá rovina vozovky s vodorovnou rovinou, tzv. úhel stoupání [°].



Obr. č. 21 - Rozklad tíhové síly na podélném svahu
(Zdroj: Převzato z (Vlk, 2000, s. 31))

Rozklad tíhové síly je zobrazen na **Obr. č. 21**. Se znaménkem plus se v rovnici počítá, pokud vozidlo jede do svahu, se znaménkem mínus, když vozidlo jede ze svahu. Při jízdě ze svahu není tíhová složka vozidla odporem, ale naopak vozidlo pohání. Odpor stoupání působí z těžiště vozidla T . Při výpočtech se zpravidla místo úhlu stoupání ve stupních uvažuje sklon svahu s [%]. Na přepočet sklonu svahu na úhel stoupání se používá vztah $\alpha = \arctg(s / 100)$. Stoupání silnic bývá maximálně 10 až 12 %, dálnic asi 6 %. Vyšší stoupání mají jen vysokohorské silnice (Vlk, 2000, s. 31).

2.7.4 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení vzniká při zrychlování vozidla tak, že proti pohybu vozidla působí setrvační síla. Skládá se dle (Vlk, 2000, s. 32-34) z:

- a) odporu zrychlení posuvné části o hmotnosti

$$O_{zp} = ma \quad (2.17)$$

kde O_{zp} je odpor zrychlení posuvné části o hmotnosti [N], m je hmotnost vozidla [kg] a a je zrychlení vozidla [m/s^2];

b) a odporu zrychlení otáčejících se částí

$$O_{Zr} = \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} r_{Ki}} a \quad (2.18)$$

kde O_{Zr} je odpor rotačních částí [N], J_K je moment setrvačnosti kola [kg.m²], r_a je dynamický poloměr kola [m], r_K je valivý poloměr kola [m] a a je zrychlení vozidla [m/s²].

Výsledný **odpor zrychlení** O_Z je dán součinem těchto dvou odporů a je vyjádřen vztahem $O_Z = O_{Zp} + O_{Zr}$. Po dosazení a úpravách vypadá konečný vztah pro výpočet odporu zrychlení následovně:

$$O_Z = \vartheta m a \quad (2.19)$$

kde O_Z je odpor zrychlení [N], ϑ je součinitel vlivu rotačních částí [-], m je hmotnost vozidla [kg] a a je zrychlení vozidla [m/s²].

Součinitel vlivu rotačních částí ϑ je možné vypočítat, pokud jsou známi momenty setrvačnosti jednotlivých rotujících částí vozidla a jednotlivé převodové poměry. Součinitel ϑ není veličinou stálou, ale závisí především na zařazeném rychlostním stupni a zatížení vozidla. Zjistit momenty rotačních částí vozidla pro stanovení součinitele ϑ , je náročné a nebývá vždy možné. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty součinitele vlivu rotačních částí při plně zatíženém vozidle a nulovém skluzu (Vala, 2003, s. 37).

Tab. č. 5 - Průměrné hodnoty součinitele vlivu rotačních částí ϑ

(Zdroj: Zpracováno dle (Vala, 2003, s. 37))

Automobil	Součinitel vlivu rotačních částí ϑ [-]	
	Nejvyšší rychlostní stupeň	Nejnižší rychlostní stupeň
osobní	1,04 – 1,07	1,20 – 1,80
nákladní silniční	1,06 – 1,10	1,40 – 3,00
nákladní terénní	1,08 – 1,25	5,00 – 8,00

Dle (Vala, 2003, s. 38), který uvádí empirický vzorec pro výpočet součinitele ϑ pro nákladní vozidla, je výpočet následující:

$$\vartheta = 1 + (0,055 + 0,22 i_k^2) \gamma \quad (2.20)$$

kde ϑ je součinitel vlivu rotačních částí [-], i_k je měřitelný převod v převodovce [-] a γ je poměr maximální hmotnosti a skutečné hmotnosti vozidla v daném případě [-].

2.7.5 Odpor přívěsu

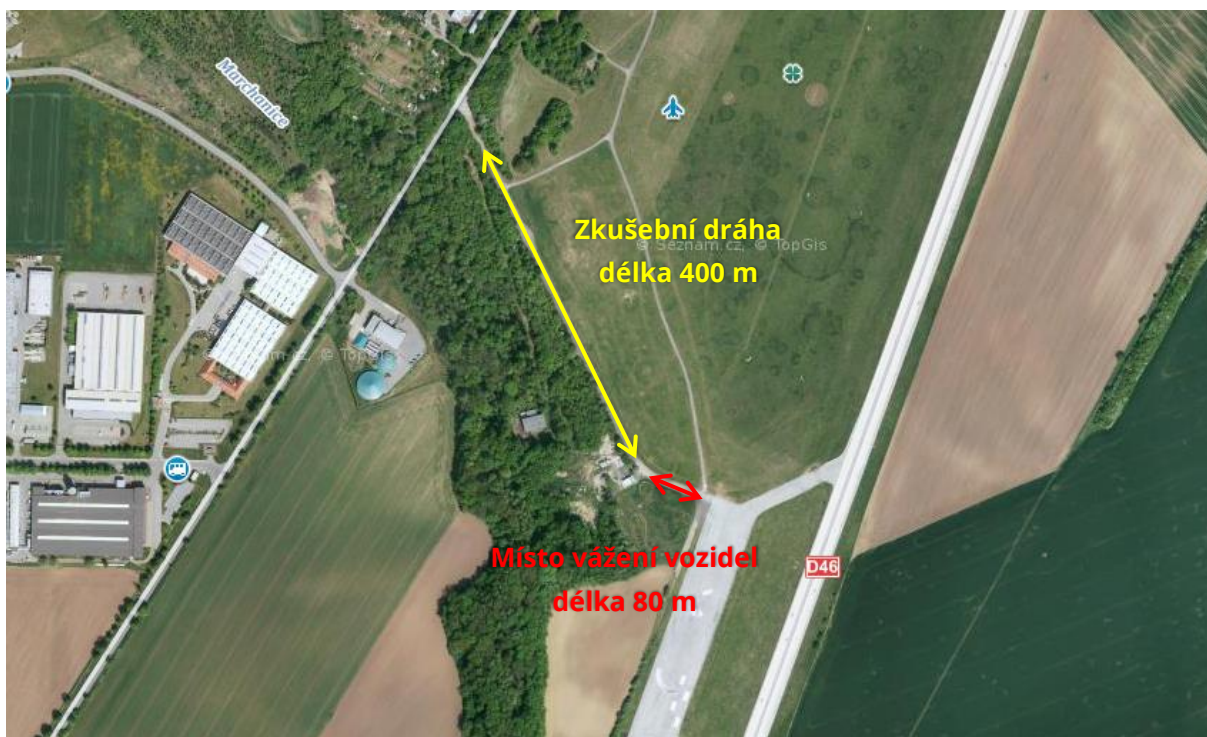
Odpor přívěsu O_p vzniká v ose spojovacího zařízení jako síla působící mezi tažným vozidlem a přívěsem, kterou musí tažné vozidlo překonávat. Na přívěs mohou působit stejné odpory jako na tažné vozidlo, které jsou uvedeny v kapitole 2.7. Při výpočtu sil působících proti směru přívěsu se zohledňují všechny odpory mimo odpor vzdušný, který se neurčuje pro samotný přívěs, ale pro celou jízdní soupravu. Stanovit odpor přívěsu je důležité především z důvodu vyšší potřebné hnací síly tažného vozidla (Vlk, 2000, s. 35).

3 METODIKA MĚŘENÍ

Tato kapitola diplomové práce se zabývá metodikou a popisem průběhu uskutečněných měření, použitou měřicí technikou, místem měření a použitými vozidly. Cílem experimentálního měření je zjistit dosažitelné zpomalení a brzdnou dráhu v závislosti na okamžitém zatížení nákladního vozidla. Zpracovat naměřená data a následně vyhodnotit a porovnat výsledky brzdného zpomalení při různém zatížení vozidla.

3.1 MÍSTO MĚŘENÍ A ATMOSFÉRICKÉ PODMÍNKY

Měření se uskutečnilo 21. 7. 2020 na letišti ve Vyškově. Pro měření brzdného zpomalení byla využita příjezdová cesta k letišti dlouhá 400 metrů a 6,5 metru široká s asi 1-2% sklonem. Kolem cesty z jedné strany rostly stromy. Vážení vozidel bylo v těsné blízkosti zkušební dráhy na rovném a pevném povrchu dlouhém asi 80 metrů. Povrch vozovky byl asfaltový bez zjevných nerovností a poškození. V den měření byla vozovka mokrá bez znečištění. Teplota se pohybovala kolem 15 °C, obloha byla zatažená, rychlost větru byla kolem 10 km/h.



Obr. č. 22 – Místo měření

(Zdroj: Převzato z (Seznam.cz, a.s., 2018))

3.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

Při experimentálním měření byl jako hlavní přístroj použit **PerformanceBox** od společnosti Racelogic, díky kterému byly sbírány potřebná data a následně analyzována. PerformanceBox pracuje v 6 režimech, obsahuje výkonnou 10 Hz GPS s integrovanou anténou a data zaznamenává desetkrát za sekundu na SD kartu. Součástí balení měřicího přístroje je držák s přísavkami na sklo vozidla, 12 V zástrčku do zapalování, 4 GB SD karta a software Circuit Tools, ve kterém je možné data analyzovat.

Zařízení dokáže měřit zrychlení, zpomalení, maximální rychlost a brzdnou dráhu. V rámci režimů si lze přímo nastavit např. měření zrychlení 0-60, 0-100, 0-160, 0-200 km/h, měření brzdné dráhy 100-0, 60-0 km/h nebo měření časů jednotlivých kol na závodním okruhu ad. PerformanceBox zaznamenává maximální rychlost 1600 km/h s přesností 0,01 km/h, maximální zrychlení 4 G (39,24 m/s²) s přesností 0,01 G (0,1 m/s²) při provozní teplotě od -20 °C do +50 °C. Předností tohoto přístroje je snadná ovladatelnost, jednoduchá instalace a přesnost pozitivně ovlivňuje možnost připojení externí antény. Nevýhodou může být absence napájení z baterie, což je řešeno napájením ze zapalování vozidla (RACELOGIC Ltd, 2019, s. 1-3).



Obr. č. 23 - Racelogic PerformanceBox
(Zdroj: Převzato z (RACELOGIC Ltd, 2019, s. 1, 3))

Postup při měření přístrojem Racelogic PerformanceBox byl následující. Zařízení bylo upevněno do držáku s přísavkami a připevněno na čelní sklo vozidla. Na střechu vozidla byla upevněna externí anténa a zařízení bylo zapojeno 12 V zástrčkou do zapalování vozidla, čímž se zařízení zapnulo a začalo vyhledávat satelitní spojení. Po spojení s dostatečným počtem satelitů, zařízení začalo zaznamenávat data na vloženou SD kartu. Záznam se ukončil po vypojení zástrčky ze zapalování. Před a po každém měření bylo vozidlo uvedeno do klidu. Naměřená data byla následně exportována a analyzována pomocí programů PerformanceTools a Circuit Tools.

Pro kontrolu dat byl využit druhý přístroj **VBOX Sport** taktéž od společnosti Racelogic, který je určen pro sportovní potřeby a může být umístěn do vozidel, na motocykly, kola nebo vodní skútry. Zařízení je určeno ke sběru a podrobné analýze dat pomocí již zmiňovaných softwarů. Pomocí 10 Hz GPS měří rychlost, zrychlení, vzdálenost a čas. Jeho předností je malá hmotnost (pouze 130 gramů), je napájen z baterie s výdrží přes 6 hodin, data jsou zapisována na SD kartu, podporuje Bluetooth a je voděodolný.

VBOX Sport zaznamenává maximální rychlost 1800 km/h s přesností 0,01 km/h, maximální zrychlení 4 G ($39,24 \text{ m/s}^2$) s přesností 0,01 G ($0,1 \text{ m/s}^2$) při provozní teplotě od -20°C do $+60^\circ\text{C}$. Data začne zaznamenávat automaticky při pohybu vozidla, ale záznam lze zapnout nebo stopnout i pomocí tlačítka. Výhodou tohoto zařízení je jeho malá hmotnost, jednoduchá instalace, snadná ovladatelnost a možnost připojení externí antény. Nevýhodou je samovolné zapínání záznamu při pohybu vozidla (RACELOGIC Ltd, 2019, s. 1-3).



Obr. č. 24 - Racelogic VBOX Sport
(Zdroj: Převzato z (RACELOGIC Ltd, 2019, s. 1))

Postup při měření přístrojem Racelogic VBOX Sport byl následující. Zařízení bylo upevněno do držáku s přísavkou a připevněno na čelní sklo vozidla. Po manuálním zapnutí zařízení začal VBOX Sport automaticky vyhledávat satelitní spojení a při napojení na dostatečný počet satelitů se rozsvítila LED kontrolka. Nahrávání dat bylo zapnuto před rozjezdem vozidla v jeho klidovém stavu a vypnuto po skončení experimentu a uvedení vozidla opět do klidu. Naměřená data byla následně exportována a analyzována pomocí programů PerformanceTools a Circuit Tools.

K vážení vozidel byla použita mechanická váha od švýcarské firmy **Haenni WL 101**. Váha je nezávislá na akumulátorovém zdroji. Díky své nízké hmotnosti (16 kg) se s váhou snadno manipuluje a může být použita kdykoli bez nutnosti použití ramp. Pro efektivní měření se doporučuje pracovat s alespoň dvěma váhami. Vážení musí být prováděno na pevném a rovném povrchu. Stupnice je umístěna před plošinou, na kterou najíždí kolo váženého vozidla a zatížení kola lze odečíst přímo na číselníku váhy.

Haenni WL 101 pracuje v provozních teplotách od -20 °C do +60 °C. Váživost přístroje je 10 t na kolo a 20 t na nápravu s minimálním zatížením 500 kg a s přesností ± 50 kg. Při vážení nesmí být sklon v žádném směru větší jak 5 % a kola, která nejsou vážena musí být podložena podložkami. Konstrukce je hliníková, váha je vodotěsná. Rok výroby použité váhy 2012 a výrobní číslo 34499 (HAENNI, 2018, s. 1-2).



Obr. č. 25 - Přenosná váha Haenni WL 101 a příprava na vážení vozidla
(Zdroj: Vlastní)

3.3 POUŽITÁ VOZIDLA

Experimentální měření bylo provedeno na dvou nákladních vozidlech.

Prvním nákladním vozidlem byl MAN L2000 8.163 LC v provedení 4x2 o největší povolené hmotnosti 8 600 kg. Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v **Příloha č. 1**.



Obr. č. 26 - Nákladní vozidlo MAN L2000
(Zdroj: Vlastní)

Druhým použitým nákladním vozidlem byla Tatra Phoenix EURO 6 T 158-8P6R33 v provedení 6x6 o největší povolené hmotnosti 26 000 kg. Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v **Příloha č. 2**.



Obr. č. 27 - Nákladní vozidlo Tatra Phoenix EURO 6
(Zdroj: Vlastní)

3.4 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Před zahájením experimentálního měření došlo k vizuální kontrole technického stavu nákladních vozidel, proběhla kontrola tlaku v pneumatikách a hloubky dezénu pneumatik vozidel. Zkušební plocha byla mokrá bez nečistot. Řidiči vozidel byli seznámeni s průběhem měření. Vozidla byla před každým měřením zvážena (situaci těsně před vážením zachycuje **Obr. č. 27**).

Samotné měření započalo instalací měřících zařízení do vozidla. Pro zaznamenávání dat byly použity PerformanceBox a VBOX Sport, více o postupech v kapitole 3.2. Řidič vozidla se rozjel na požadovanou rychlost a po jejím dosažení a ustálení rychlosti intenzivně zabrzdil vozidlo. Před a po každém měření bylo vozidlo uvedeno do klidového stavu. Měření bylo provedeno pro dvě výchozí rychlosti 30 km/h a 50 km/h a pro tři různé zatížení vozidla (prázdné, částečně naložené a přetížené). Pro každou rychlost a zatížení se měření opakovalo čtyřikrát. Celkem 24 jízdních zkoušek pro jedno vozidlo.

Jízdní zkoušky byly z důvodu organizace započaty s přetíženými vozidly. Po zvážení a provedení 8 měření jeli řidiči vozidel odsypat část nákladu. Totéž se opakovalo s částečně naloženými vozidly, a nakonec proběhlo měření s prázdnými vozidly. Z důvodu, že by bylo složité odhadovat kolik nákladu vysypat, nebylo provedeno měření s plně naloženým vozidlem. Jako náklad bylo použito kamenivo (štěrk) o rozměru mezi 16 až 32 mm.



Obr. č. 28 - Štěrk 16/32 mm
(Zdroj: Vlastní)

Zatížení nákladního vozidla Man, jehož maximální povolená hmotnost je 8 600 kg, bylo následovné:

- prázdné vozidlo – 5 090 kg;
- částečně naložené vozidlo – 7 820 kg;
- přetížené vozidlo – 10 870 kg.



Obr. č. 29 – Zleva: prázdné, částečně zatížené a přetížené vozidlo MAN
(Zdroj: Vlastní)

Zatížení nákladního vozidla Tatra, jehož maximální povolená hmotnost je 26 000 kg, bylo následovné:

- prázdné vozidlo – 13 320 kg;
- částečně naložené vozidlo – 20 960 kg;
- přetížené vozidlo – 28 320 kg.



Obr. č. 30 - Zleva: prázdné, částečně zatížené a přetížené vozidlo Tatra
(Zdroj: Vlastní)

Podrobnější záznam z vážení se nachází v **Příloha č. 3.**

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Naměřená data byla z PerformanceBox a VBOX Sport stažena do počítače, vyexportována do Excelu a zpracována. Zpracované grafy z měření jsou k nalezení v **Příloha č. 4**. Pro lepší orientaci byly data zpracována do tabulek níže.

Brzdění vozidla je do značné míry ovlivněno počáteční reakcí řidiče na sešlápnutí brzdového pedálu. Tento vliv se pokouší odstranit výpočet pomocí průměrného plného brzdného zpomalení. MFDD [m/s²] v tabulkách představuje průměrné plné brzdné zpomalení, mezi okamžikem, kdy zpomalení dosáhne stabilizované hodnoty (při 80 % počáteční rychlosti), a okamžikem, kdy se vozidlo zastaví (při 10 % počáteční rychlosti). MFDD_{max} [m/s²] v tabulce zobrazuje nejvyšší zaznamenanou hodnotu plného brzdného zpomalení (Aswan, 2018, s. 2).

4.1 BRZDNÉ ZPOMALENÍ VOZIDLA MAN

Tab. č. 6 zobrazuje brzdné zpomalení prázdného vozidla Man o hmotnosti 5 090 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 8,96 m, průměrný čas brzdění 2,08 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,44 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení, kterého bylo dosaženo při jízdách zkouškách, byla 7,13 m/s². Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 26,45 m, průměrný čas brzdění 3,35 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,86 m/s², což je vyšší než při nižší výchozí rychlosti. Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla při výchozí rychlosti 50 km/h 8,11 m/s².

Tab. č. 6 - Stanovené brzdné zpomalení pro prázdné vozidlo Man
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Prázdné vozidlo Man (5 090 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	29,51	9,10	2,30	4,10	7,25
2	30,00	30,35	10,07	2,10	4,36	6,70
3	30,00	31,32	8,39	1,90	5,00	7,39
4	30,00	31,41	8,29	2,00	4,31	7,17
průměr	30,00	30,65	8,96	2,08	4,44	7,13
5	50,00	51,28	21,10	3,10	5,52	8,36
6	50,00	53,66	26,43	3,40	4,44	7,03
7	50,00	53,48	29,43	3,50	4,85	7,50
8	50,00	53,52	28,82	3,40	4,61	9,56
průměr	50,00	52,99	26,45	3,35	4,86	8,11

Tab. č. 7 zachycuje brzdné zpomalení částečně naloženého vozidla Man s hmotností 7 820 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 9,46 m, průměrný čas brzdění 2,05 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,47 m/s², což je o 0,03 m/s² více než průměrné brzdné zpomalení prázdného vozidla ze stejné výchozí rychlosti. Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 7,74 m/s². Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 24,51 m, průměrný čas brzdění 3,25 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,83 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 7,42 m/s². Částečně naložené vozidlo Man brzdilo téměř stejně dobře jako vozidlo prázdné.

Tab. č. 7 - Stanovené brzdné zpomalení pro částečně naložené vozidlo Man
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Částečně naložené vozidlo Man (7 820 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	30,22	11,58	2,30	4,36	8,75
2	30,00	29,73	8,32	1,90	4,01	6,14
3	30,00	31,40	8,44	2,00	4,71	7,59
4	30,00	33,02	9,48	2,00	4,81	8,48
průměr	30,00	31,09	9,46	2,05	4,47	7,74
5	50,00	51,66	24,96	3,10	5,08	7,89
6	50,00	52,29	22,15	3,20	5,10	7,75
7	50,00	51,70	25,12	3,30	4,56	7,11
8	50,00	51,69	25,80	3,40	4,57	6,92
průměr	50,00	51,84	24,51	3,25	4,83	7,42

V **Tab. č. 8** lze vidět zpracovaná data brzdného zpomalení přetíženého vozidla Man o hmotnosti 10 870 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 10,35 m, průměrný čas brzdění 2,38 s a průměrné plné brzdné zpomalení 3,59 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 6,18 m/s². Brzdná dráha a čas brzdění se prodloužily a MFDD kleslo. Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 30,90 m, průměrný čas brzdění 4,15 s a průměrné plné brzdné zpomalení 3,64 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 8,23 m/s². U výchozí rychlosti 50 km/h se taktéž prodloužila brzdná dráha a čas brzdění a MFDD kleslo.

Tab. č. 8 - Stanovené brzdné zpomalení pro přetížené vozidlo Man
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Přetížené vozidlo Man (10 870 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	31,80	9,76	2,40	3,32	5,42
2	30,00	32,74	11,18	2,60	3,48	5,70
3	30,00	32,78	10,26	2,30	3,69	6,86
4	30,00	32,84	10,19	2,20	3,88	6,72
průměr	30,00	32,54	10,35	2,38	3,59	6,18
5	50,00	50,91	32,72	4,30	3,50	9,75
6	50,00	50,46	28,86	3,90	3,87	8,31
7	50,00	51,29	29,92	4,00	3,84	6,56
8	50,00	51,12	32,09	4,40	3,35	8,31
průměr	50,00	50,95	30,90	4,15	3,64	8,23

4.2 BRZDNÉ ZPOMALENÍ VOZIDLA TATRA

Tab. č. 9 zachycuje brzdné zpomalení prázdného vozidla Tatra o hmotnosti 13 320 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 8,16 m, průměrný čas brzdění 2,10 s a průměrné plné brzdné zpomalení 5,19 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení, byla 7,61 m/s². Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 23,87 m, průměrný čas brzdění 3,45 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,62 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 8,26 m/s².

Tab. č. 9 - Stanovené brzdné zpomalení pro prázdné vozidlo Tatra
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Prázdné vozidlo Tatra (13 320 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	30,86	7,64	1,80	5,06	6,84
2	30,00	30,90	8,94	1,80	5,43	6,75
3	30,00	30,81	6,60	2,30	5,18	9,36
4	30,00	29,85	9,45	2,50	5,10	7,47
průměr	30,00	30,61	8,16	2,10	5,19	7,61
5	50,00	47,66	19,66	3,20	4,54	9,42
6	50,00	49,16	24,33	3,80	4,11	7,45
7	50,00	48,32	28,63	3,60	4,88	7,20
8	50,00	47,96	22,87	3,20	4,95	8,95
průměr	50,00	48,28	23,87	3,45	4,62	8,26

V **Tab. č. 10** je zobrazeno brzdné zpomalení částečně naloženého vozidla Tatra o hmotnosti 20 960 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 9,40 m, průměrný čas brzdění 2,28 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,50 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení, kterého bylo dosaženo při jízdách zkouškách, byla 7,59 m/s². Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 20,73 m, průměrný čas brzdění 3,63 s a průměrné plné brzdné zpomalení 4,18 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 7,30 m/s². U částečně naloženého vozidla Tatra průměrné plné brzdné zpomalení kleslo při obou výchozích rychlostech.

Tab. č. 10 - Stanovené brzdné zpomalení pro částečně naložené vozidlo Tatra
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Částečně naložené vozidlo Tatra (20 960 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	30,24	11,32	2,50	4,09	6,97
2	30,00	29,64	7,53	1,80	4,58	8,09
3	30,00	35,69	10,84	3,00	4,48	8,61
4	30,00	30,55	7,91	1,80	4,85	6,67
průměr	30,00	31,53	9,40	2,28	4,50	7,59
5	50,00	48,01	21,58	4,20	4,01	7,78
6	50,00	48,34	21,08	3,70	3,99	7,67
7	50,00	48,82	19,53	3,00	4,53	6,45
průměr	50,00	48,39	20,73	3,63	4,18	7,30

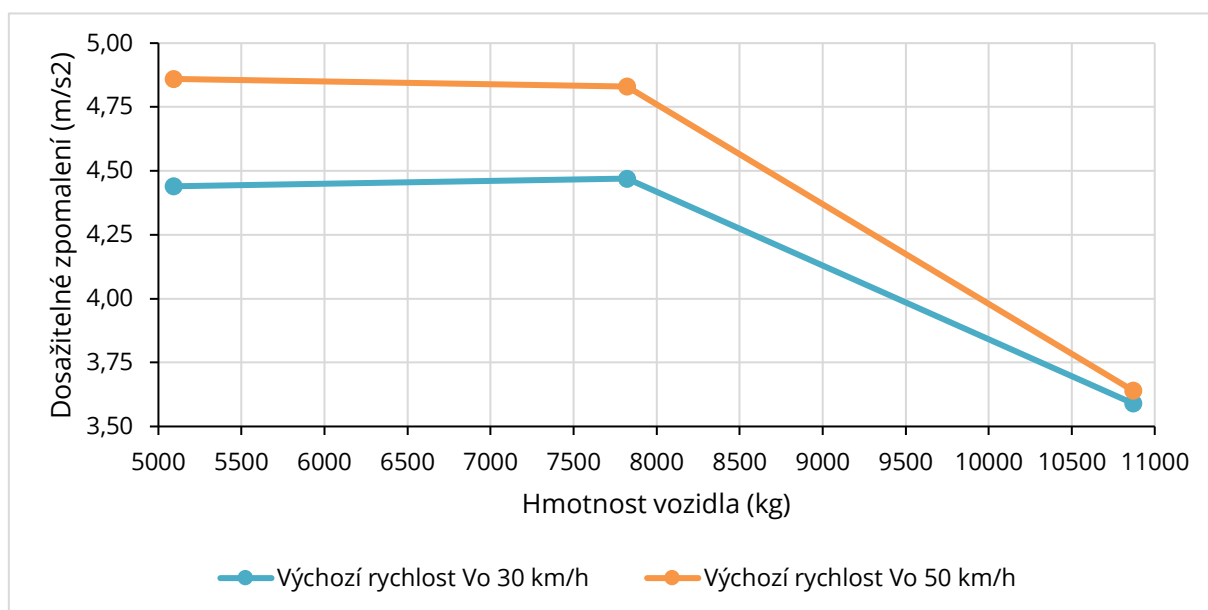
Tab. č. 11 zachycuje data brzdného zpomalení přetíženého vozidla Tatra s celkovou okamžitou hmotností 28 320 kg. Pro výchozí rychlost 30 km/h byla průměrná brzdná dráha 10,97 m, průměrný čas brzdění 2,68 s a průměrné plné brzdné zpomalení 3,36 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného zpomalení byla 5,65 m/s². Pro výchozí rychlost 50 km/h byla průměrná brzdná dráha 24,49 m, průměrný čas brzdění 3,88 s a průměrné plné brzdné zpomalení 3,75 m/s². Průměrná maximální hodnota plného brzdného byla 7,32 m/s². U nákladního vozidla Tatra dosažitelné zpomalení klesalo s narůstající okamžitou hmotností vozidla. U přetíženého vozidla se brzdná dráha i čas brzdění prodloužily a MFDD se snížilo.

Tab. č. 11 - Stanovené brzdné zpomalení pro přetížené vozidlo Tatra
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Přetížené vozidlo Tatra (28 320 kg)						
Číslo měření	Požadovaná rychlost	Okamžitá rychlost	Brzdná dráha	Čas brzdění	MFDD	MFDD _{max}
	(km/h)	(km/h)	(m)	(s)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	30,00	28,76	10,29	2,50	3,24	5,31
2	30,00	29,30	10,94	2,60	3,44	6,06
3	30,00	29,93	11,10	3,10	3,02	5,45
4	30,00	32,82	11,55	2,50	3,73	5,78
průměr	30,00	30,20	10,97	2,68	3,36	5,65
5	50,00	48,38	22,37	3,40	3,72	6,11
6	50,00	50,13	29,11	4,90	3,28	8,28
7	50,00	49,53	21,95	3,40	4,12	8,95
8	50,00	50,81	24,53	3,80	3,86	5,95
průměr	50,00	49,71	24,49	3,88	3,75	7,32

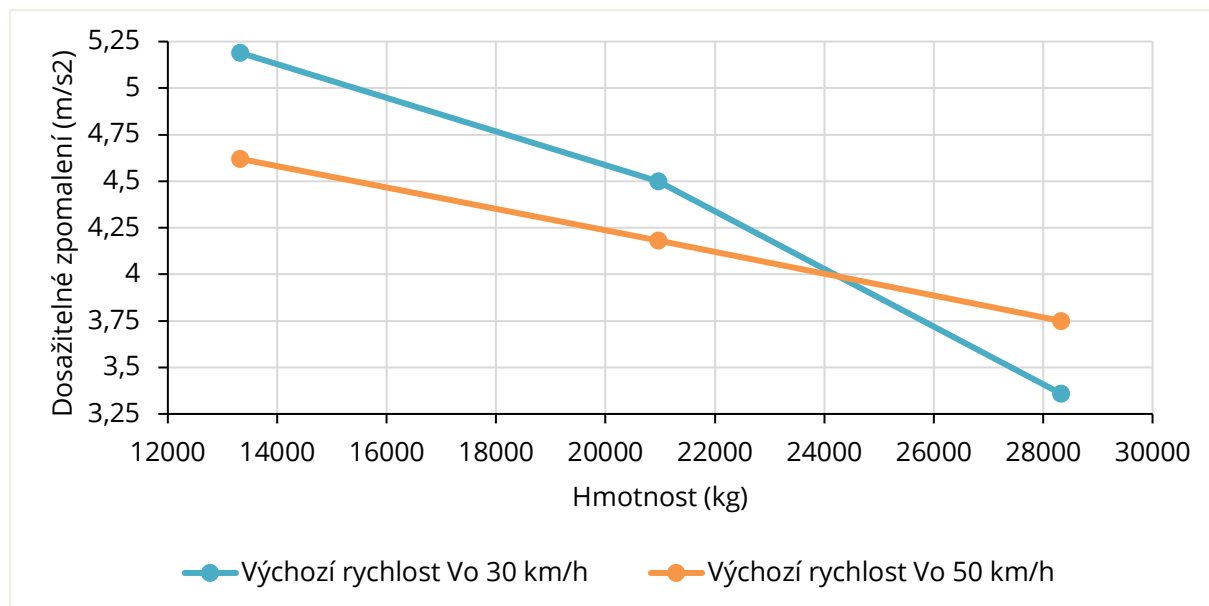
4.3 VLIV ZATÍŽENÍ VOZIDEL NA DOSAŽITELNÉ ZPOMALENÍ

V **Graf č. 1** je zachycen vliv hmotnosti nákladního vozidla Man na experimentálně zjištěné dosažitelné zpomalení. Na základě naměřených dat lze usoudit, že částečně naložené vozidlo dosahuje téměř stejných hodnot dosažitelného zpomalení jako prázdné vozidlo. Při vyšší rychlosti dochází u přetíženého vozidla k výraznému poklesu dosažitelného zpomalení, což také dokazuje prodloužení brzdné dráhy zjištěné v předchozích **tabulkách č. 6, č. 7 a č. 8**.



Graf č. 1 - Vliv hmotnosti vozidla Man na dosažitelné zpomalení
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Graf č. 2 zobrazuje vliv hmotnosti nákladního vozidla Tatra na experimentálně zjištěné dosažitelné zpomalení. Z grafu je patrné, že s přibývající hmotností dosažitelné zpomalení klesá. Oproti prvnímu nákladnímu vozidlu dochází k většímu poklesu dosažitelného zpomalení při nižší rychlosti.



Graf č. 2 - Vliv hmotnosti vozidla Tatra na dosažitelné zpomalení

(Zdroj: Vlastní zpracování)

5 ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřuje na vliv okamžité hmotnosti nákladního vozidla na jeho dosažitelné zpomalení. Cílem bylo provést rešerši dostupné literatury k danému tématu, naplánovat experimentální měření. Realizovat experimentální měření a ověřit, zda se dosažitelné zpomalení vlivem zatížení vozidla mění. Na základě naměřených dat vyhodnotit výsledky a učinit závěry.

Experimentální měření bylo provedeno 21. 7. 2020 na příjezdové cestě na letištní plochu ve Vyškově. Zkušební dráha byla 400 m dlouhá se sklonem kolem 1-2 %. V den měření byla vozovka mokrá a bez znečištění, teplota se pohybovala kolem 15 °C, obloha byla zatažená a rychlost větru kolem 10 km/h. Měření bylo realizováno na dvou nákladních vozidlech. První nákladní vozidlo byl Man L2000 o největší povolené hmotnosti 8 600 kg spadající do kategorie N2. Druhým nákladním vozidlem byla Tatra Phoenix EURO 6 o největší povolené hmotnosti 26 000 kg spadající do kategorie N3. Měření se uskutečnilo ze dvou počátečních rychlostí a to 30 km/h a 50 km/h. Obě vozidla brzdila s různým zatížením, konkrétně prázdné, částečně naložené a přetížené. Jako náklad bylo použito kamenivo o rozměru mezi 16 až 32 mm. Celkem bylo provedeno 48 jízdních zkoušek.

Z analýzy naměřených dat bylo zjištěno, že nákladní vozidlo Man dosahovalo téměř stejných hodnot dosažitelného zpomalení při variantě prázdné a částečně naložené. Dosažitelné zpomalení prázdného vozidla se u výchozí rychlosti 30 km/h pohybovalo kolem 4,44 m/s² a u výchozí rychlosti 50 km/h kolem 4,86 m/s². U výchozí rychlosti 30 km/h bylo průměrné plné brzdné zpomalení o 0,3 m/s² u částečně naloženého Manu větší než u prázdného vozidla. Výrazný pokles dosažitelného zpomalení nastal při přetížení vozidla a jeho hodnota byla 3,59 m/s² a 3,64 m/s².

Dosažitelné zpomalení prázdného nákladního vozidla Tatra bylo při výchozí rychlosti 30 km/h 5,19 m/s² a při výchozí rychlosti 50 km/h 4,62 m/s². S rostoucím zatížením vozidla Tatra dosažitelné zpomalení klesalo. U částečně naloženého vozidla se průměrné plné brzdné zpomalení pohybovalo kolem 4,18 m/s² a 4,50 m/s². Při přetížení nákladního vozidla dosažitelné zpomalení jako u nákladního vozidla Man výrazně kleslo, a to na hodnoty 3,36 m/s² a 3,75 m/s².

Je zřejmé, že okamžitá hmotnost vozidla má vliv na jeho dosažitelné zpomalení, a to především pokud je vozidlo naložené nad svou největší povolenou hmotnost. Při přetížení použitých vozidel dosažitelné zpomalení klesalo. U vozidla Man nabývalo dosažitelné zpomalení při částečném naložení a při brzdění s prázdným vozidlem téměř stejných hodnot. Naopak u vozidla Tatra s přirůstající hmotností dosažitelné zpomalení klesalo. Tyto rozdíly mohly vzniknout

z důvodu, že nebylo možné zajistit, aby řidiči působili na brzdový pedál při každém pokusu stejnou silou. Pokud bychom chtěli, aby měly výsledky lepší vypovídající hodnotu, bylo by potřeba provést více měření s větší škálou zatížení vozidel.

Výsledky v této práci mohou mít další využití např. při znalecké praxi v oboru analýzy dopravních nehod s nákladními vozidly. Lze předpokládat, že dosažitelné zpomalení s rostoucím zatížením vozidla klesá a brzdná dráha se prodlužuje. Zároveň tato práce může být podnětem pro provedení dalších experimentálních měření a ověření výsledků.

SEZNAM ZDROJŮ

- ASWAN, Yadhu, Ankit PANDEY a P SRIHARI, 2018. Comparative Study on Brake Testing Standards of Trucks and Buses. *I-Manager's Journal on Mechanical Engineering* [online]. 8. Nagercoil: iManager Publications, 8(3), 1-8 [cit. 2020-09-27]. DOI: 10.26634/jme.8.3.14052. ISSN 22309055. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/2155528136/>
- BRADÁČ, Albert, 1999. *Soudní inženýrství*. Dot. 1. vyd. Brno: CERM. ISBN 80-720-4133-9.
- DACKO, Boris, 2009. Šikovný Crafter 35 - valník s dvojkabinou. In: *Automobil Revue* [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/presunuto-na-trucker-cz-truck-bus/predstavujeme/sikovny-crafter-35-valnik-s-dvojkabinou_38270.html
- HAENNI, , 2018. *Wheel Load Scale WL 101* [online]. In: . Kirchberg, Switzerland [cit. 2020-09-14]. Dostupné z: https://www.haenni-scales.com/fileadmin/redakteur/datenblaetter/Radlastwaagen/WL101/WL101_A8490_en_e.pdf
- HOSTÁLKA, Petr, 2013. The Standard - nákladní Pick-up Truck. In: *Jihočeské motocyklové museum* [online]. České Budějovice [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: https://motomuseum-hostalek.cz/index.php?grhead=2&nav=01&id_group=24&t=_art_print&id_art=996
- JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÁ, 2004. *Automobily I: Podvozky*. 3. vyd. Brno: Avid s.r.o. ISBN 80-239-6479-8.
- JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ, 2008. *Automobily. 1. díl*. Brno: Technické překladatelství a vydavatelství, 215 s.
- Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 13 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění [2016/194]
- RACELOGIC LTD, , 2019. PerformanceBox. In: *VBOX Motorsport* [online]. Buckingham UK [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPB_Data.pdf
- RACELOGIC LTD, , 2019. VBOX Sport. In: *VBOX Motorsport* [online]. Buckingham UK [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/VBOX%20Sport%20Datasheet.pdf>
- ROUČKA, Luděk, b.r. Autodoprava. In: *Combinata s.r.o.* [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: http://combinata.cz/index.php?route=information/information&information_id=26
- SEZNAM.CZ, A.S., 2018. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2020-10-06]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=17.0189074&y=49.2953949&z=16&base=ophoto&source=coor&id=17.01935804691314%2C49.29545437016512>
- VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ, 2003. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-719-4503-X.
- VLK, František, 2000. *Dynamika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: VLK. ISBN 80-238-5273-6.
- VLK, František, 2000. *Podvozky motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: VLK. ISBN 80-238-5274-4.
- VLK, František, 2003. *Stavba motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: František Vlk. ISBN 80-238-8757-2.

VLK, František, 2006. *Automobilová elektronika*. 1. vydání. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-7062-3.

Vyhláška Ministerstva dopravy č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 - Součinitel adheze na různém povrchu	25
Tab. č. 2 - Předpisy pro provozní brzdy.....	27
Tab. č. 3 - Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek	31
Tab. č. 4 - Hodnoty součinitele vzdušného odporu c_x a čelní plochy S_x	34
Tab. č. 5 - Průměrné hodnoty součinitele vlivu rotačních částí ϑ	36
Tab. č. 6 - Stanovené brzdné zpomalení pro prázdné vozidlo Man	45
Tab. č. 7 - Stanovené brzdné zpomalení pro částečně naložené vozidlo Man	46
Tab. č. 8 - Stanovené brzdné zpomalení pro přetížené vozidlo Man	47
Tab. č. 9 - Stanovené brzdné zpomalení pro prázdné vozidlo Tatra	47
Tab. č. 10 - Stanovené brzdné zpomalení pro částečně naložené vozidlo Tatra	48
Tab. č. 11 - Stanovené brzdné zpomalení pro přetížené vozidlo Tatra	49

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 - Vliv hmotnosti vozidla Man na dosažitelné zpomalení	49
Graf č. 2 - Vliv hmotnosti vozidla Tatra na dosažitelné zpomalení.....	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 - Základní druhy nákladních vozidel	11
Obr. č. 2 - Karoserie dodávkových vozidel: a) pikap; b) valníková karoserie; c) skříňová dodávka	12
Obr. č. 3 - Zkroucení podvozku nákladního vozidla při jízdě v terénu (rám měkký na krut)	13
Obr. č. 4 - Vlevo: nedělená tuhá hnací náprava "banjo"; vpravo: dělená tuhá hnací náprava	13
Obr. č. 5 - Podvozek nákladního automobilu s kyvadlovými dvojnápravami	14
Obr. č. 6 - Odpružení nákladních vozidel: a) listové pružiny, b) parabolické pružiny, c) vzduchové vaky	15
Obr. č. 7 - Uspořádání hnacího ústrojí u užitkových motorových vozidel: a) standardní pohon, b) motor mezi nápravami, c) pohon všech kol	15
Obr. č. 8 - Kabiny pro řidiče: a) čelní (trambusová), b) čelní s prostorem na spaní, c) kapotová	16
Obr. č. 9 - Pomocný rám s dělenými příčnicí upevněný na rámu	16
Obr. č. 10 - Dvouokruhová vzduchotlaká brzdová soustava	18
Obr. č. 11 - Dvouokruhová hydraulická brzdová soustava	21
Obr. č. 12 - Průběh brzdění: a) zpoždění vozidla, b) rychlost, c) dráha	22
Obr. č. 13 - Vliv skluzu kola na součinitel adheze	26
Obr. č. 14 - Vliv výšky vodní vrstvy ve stopě na součinitel adheze	26
Obr. č. 15 - Vlevo brzdění bez ABS, vpravo brzdění s ABS	28
Obr. č. 16 - Hnací síla potřebná na překonání jízdních odporů	30
Obr. č. 17 - Vliv huštění pneumatiky na odpor valení	32
Obr. č. 18 - Vliv rychlosti vozidla na odpor valení	32
Obr. č. 19 - a) průběh proudnic vozidla obtékaného vzduchem; b) vznik vzdušného odporu z tlakových sil (vytažené šipky) a třecích sil (čárkované šipky)	33
Obr. č. 20 - Zjištění čelní plochy vozidla projekcí	34
Obr. č. 21 - Rozklad tíhové síly na podélném svahu	35
Obr. č. 22 - Místo měření	38
Obr. č. 23 - Racelogic PerformanceBox	39
Obr. č. 24 - Racelogic VBOX Sport	40
Obr. č. 25 - Přenosná váha Haenni WL 101 a příprava na vážení vozidla	41
Obr. č. 26 - Nákladní vozidlo MAN L2000	42
Obr. č. 27 - Nákladní vozidlo Tatra Phoenix EURO 6	42
Obr. č. 28 - Štěrka 16/32 mm	43
Obr. č. 29 - Zleva: prázdné, částečně zatížené a přetížené vozidlo MAN	44
Obr. č. 30 - Zleva: prázdné, částečně zatížené a přetížené vozidlo Tatra	44

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	$[m/s^2]$	brzdné zpomalení
c_x	$[-]$	součinitel vzdušného odporu
f	$[-]$	součinitel valivého odporu
F_G	$[N]$	tíhová síla
f_k	$[-]$	součinitel valivého odporu kola
F_K	$[N]$	hnací síla vozidla
F_N	$[N]$	normálová síla kolmá k podložce
F_S	$[N]$	setrvačná síla
F_T	$[N]$	třecí síla
g	$[m/s^2]$	tíhové zrychlení
G	$[N]$	celková tíha
i_k	$[-]$	měrný převod v převodovce
J_k	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti kola
m	$[kg]$	hmotnost vozidla
MFDD	$[m/s^2]$	průměrné plné brzdné zpomalení
O_c	$[N]$	celkový jízdní odpor
O_f	$[N]$	valivý odpor vozidla
O_p	$[N]$	odpor přívěsu
O_s	$[N]$	odpor stoupání
O_v	$[N]$	odpor vzduchu
O_z	$[N]$	odpor zrychlení
r_d	$[m]$	dynamický poloměr kole
r_k	$[m]$	valivý poloměr kola
s	$[m]$	brzdná dráha
s_1	$[m]$	dráha ujetá za dobu reakce a prodlevy brzd
s_2	$[m]$	dráha ujetá za dobu náběhu brzd
s_3	$[m]$	dráha ujetá za dobu plného účinku brzd
s_c	$[m]$	celková dráha do zastavení vozidla
S_x	$[m^2]$	čelní plocha vozidla
t_n	$[s]$	dobu náběhu brzd
t_p	$[s]$	dobu prodlevy
t_r	$[s]$	dobu reakce
t_u	$[s]$	dobu plného brzdění

a	$[m/s^2]$	brzdné zpomalení
v	$[m/s]$	rychlost vozidla
v_0	$[m/s]$	výchozí rychlost vozidla
v_r	$[m/s]$	rychlost proudění vzduchu
$\ddot{x}_u$	$[m/s^2]$	zpomalení vozidla
Z_k	$[N]$	radiální reakce vozovky
α	$[^\circ]$	úhel
γ	$[-]$	poměr maximální hmotnosti a skutečné hmotnosti vozidla
ϑ	$[-]$	součinitel vlivu rotačních částí
μ	$[-]$	součinitel adheze
ρ	$[kg/m^3]$	měrná hmotnost vzduchu

SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha č. 1 - Technická data nákladního vozidla Man</i>	<i>I</i>
<i>Příloha č. 2 - Technická data nákladního vozidla Tatra.....</i>	<i>II</i>
<i>Příloha č. 3 - Protokol o vážení vozidel.....</i>	<i>III</i>
<i>Příloha č. 4 - Výstupy z PerformanceBox zpracované do grafů.....</i>	<i>VII</i>

Příloha č. 1 - Technická data nákladního vozidla Man

Rozměry vozidla:

Celková délka	5 800 mm
Šířka	2 300 mm
Výška	2 500 mm
Rozvor	3 350 mm

Hmotnosti:

Celková hmotnost	8 600 kg
Maximální zatížení přední nápravy	3 200 kg
Maximální zatížení zadních náprav	5 600 kg
Provozní hmotnost	4 100 kg

Motor:

Typ MAN D 0824 LFL 09 čtyřválcový řadový dieselový motor	
Maximální výkon	114 kW při 2400 ot/min
Maximální točivý moment	454 Nm
Obsah motoru	4 580 cm ²
Vrtání	Ø 108 mm
Počet válců / ventilů na válec	4 / 8

Převodovka:

Manuální 5rychlostní

Spojka:

ZF jednolamelová suchá o průměru kotouče 362 mm ovládaná hydraulicky

Přední a zadní náprava:

Přední náprava řízená, zadní náprava hnaná, přední i zadní náprava s listovým pérováním

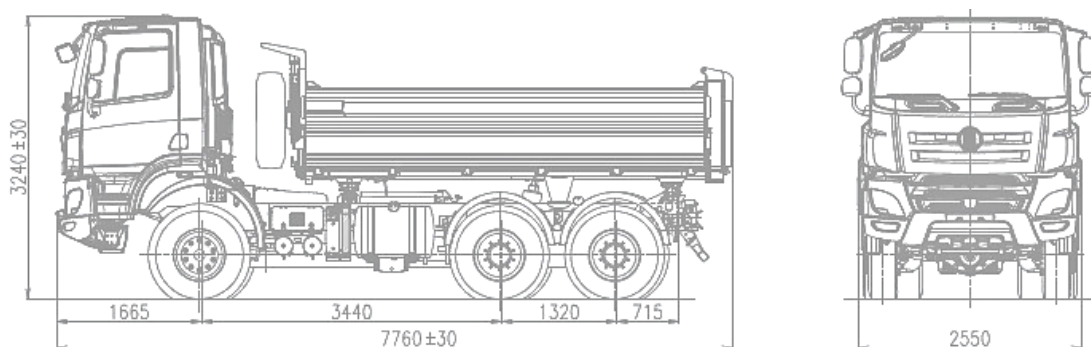
Pneumatiky a disky:

Přední náprava – Matador FR3 225/75 R17,5 129/127M, huštěno na 650 kPa, disky 17,5 x 6,75

Zadní náprava – Kormoran 235/75 R17,5 Roads 2D 132/130M TL, huštěno na 650 kPa, disky 17,5 x 6,75

Příloha č. 2 - Technická data nákladního vozidla Tatra

Rozměry vozidla v mm:



Hmotnosti:

Celková hmotnost	26 000 kg
Maximální zatížení přední nápravy	9 000 kg
Maximální zatížení zadních náprav	2 x 9 500 kg
Provozní hmotnost	13 250 kg

Motor:

Typ PACCAR MX-13 Euro 6 – šestiválcový řadový dieselový přeplňovaný motor s mezichladičem

Maximální výkon	340 kW při 1700 ot/min
Maximální točivý moment	2300 Nm při 1000 až 1425 ot/min
Obsah motoru	12 902 cm ²
Vrtání	130 x 162 mm
Počet válců / ventilů na válec	6 / 4
Kompresní poměr	1:17,5

Převodovka:

ZF EcoSplit, manuální 16 rychlostní

Spojka:

ZF-Sachs jednodamelová suchá o průměru kotouče 430 mm ovládaná hydraulicky se vzduchotlakovým posilovačem

Přední náprava:

Řízená, hnaná s výkyvnými polonápravami, zapínatelný, pohon, osový diferenciál. Pérování vzduchovými vlnovci, s teleskopickými tlumiči.

Zadní náprava:

Hnané, s výkyvnými polonápravami, uzávěrky osových diferenciálů, uzávěrka mezinápravového diferenciálu. Pérování vzduchovými vlnovci v kombinaci s vinutými pružinami, s teleskopickými tlumiči a torzním stabilizátorem.

Pneumatiky a disky:

Přední náprava – Matador F HR 4 385/65 R22,5 160K, huštěno na 900 kPa, disky 22,5x11,5

Zadní nápravy – Barum BS73 Road Special 315/80 R22,5 156/150K, huštěno na 550 kPa, disky 9,00x22,5

Příloha č. 3 - Protokol o vážení vozidel

Vážení vozidla MAN a hmotnosti na nápravách:

1 700 kg		3 500 kg
◁		
1 870 kg		3 800 kg

Celková hmotnost vozidla Man = 10 870 kg

1 450 kg		2 300 kg
◁		
1 620 kg		2 450 kg

Celková hmotnost vozidla Man = 7 820 kg

1 250 kg		1 150 kg
◁		
1 480 kg		1 210 kg

Celková hmotnost vozidla Man = 5 090 kg

Doklad o naložení vozidla MAN:

Dodací list		číslo: 29005668	
Prodávající: Českomoravský štěrk, a.s. Mokrá 359 664 04 Mokrá		ČO: 25502247 DIČ: CZ25502247 Expediční místo: Opatovice	
Kupující: DOBES-STAVBY s.r.o. Drysice 109 68321 Drysice		Adresa příjemce: DOBES-STAVBY s.r.o. Drysice 109 68321 Drysice	
		ČO: 29227682 DIČ: CZ29227682 Kupní sml: 1501932731 Objednávka: - Zakázka:	
Materiál : 105206 Přír. kamenivo DK 16/32 Opatovice Množství : 5,8 tun			
Certifikát SAV č. 1392-CPD-245;RV 20; Kamenivo je dodáváno ve shodě s ČSN EN 12620, 13242 Výst. kontrolu provedl prac. expedice. Výrobce vydal prohlášení o vlastnostech č. Op4/18 Společnost je zapsána v Obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Brně, oddíl B, vložka 2389.			
Registrační zn./Vlek: 482 5285 Táha: 5,02 tun Doprava: Místo dodání: VYŠKOV		Datum (DUZF) 21.07.2020 Pozn.: AM: T-1 B-32787 Exp/převzal: Sebelova/Lakomý Čas vjezdu/odjezdu: 6:54:32 Podpis:	

Vážení vozidla Tatra a hmotnosti na nápravách:

4 600 kg		4 000 kg	4 700 kg
◁			
4 500 kg		5 260 kg	5 260 kg

Celková hmotnost vozidla Tatra = 28 320 kg

4 100 kg		2 650 kg	3 050 kg
◁			
4 210 kg		3 500 kg	3 450 kg

Celková hmotnost vozidla Tatra = 20 960 kg

3 320 kg		1 440 kg	1 510 kg
◁			
3 350 kg		1 900 kg	1 800 kg

Celková hmotnost vozidla Tatra = 13 320 kg

Doklad o naložení vozidla Tatra:

Dodací list vydáný

Číslo dokladu: DV2006039

Dodavatel

**Kámen Brno, spol. s r.o. Kamenolom
Kobeliče**

Mezírka 775/1

60200 Brno-střed

IČ: 44963386 DIČ: CZ44963386

Společnost je zapsána v Obchodním rejstříku
veřejněn Krajským soudem v Brně, oddíl C, vložka
4103.

Tel.: 724077463

Fax:

WWW: www.kamenbrno.cz

E-mail: info@kamenbrno.cz

DOBEŠ-STAVBY s.r.o.

Dryšice 109

68321 Dryšice

Česká republika

IČ: 29227682

DIČ: CZ29227682

Datum vystavení: 21.07.2020

Datum zdanitelného plnění: 21.07.2020



**Osvědčení o shodě řízení výroby
(Certifikát SRV) č. : 1392-CPD-032**

Místo určení: VYŠKOV

Objednávka: ze dne 16.1.2020

Dopravce: 1BY 8361, HODULÍK

DoP Číslo	Název	Počet MJ
80/Ko/CPR/2020	KOBEŘICE 16/32	14,7000 t

Kamenivo pro přípravu betonu pro pozemní stavby, pozemní komunikace a jiné inženýrské stavby podle
EN 12620:2002 + A1:2008

Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace podle
EN 13242:2002 + A1:2007

Seznam základních charakteristik a úrovně vlastností jsou uvedeny v Prohlášení o vlastnostech.

Potvrzují převzetí výrobku v deklarované kvalitě a množství

Nettováha:

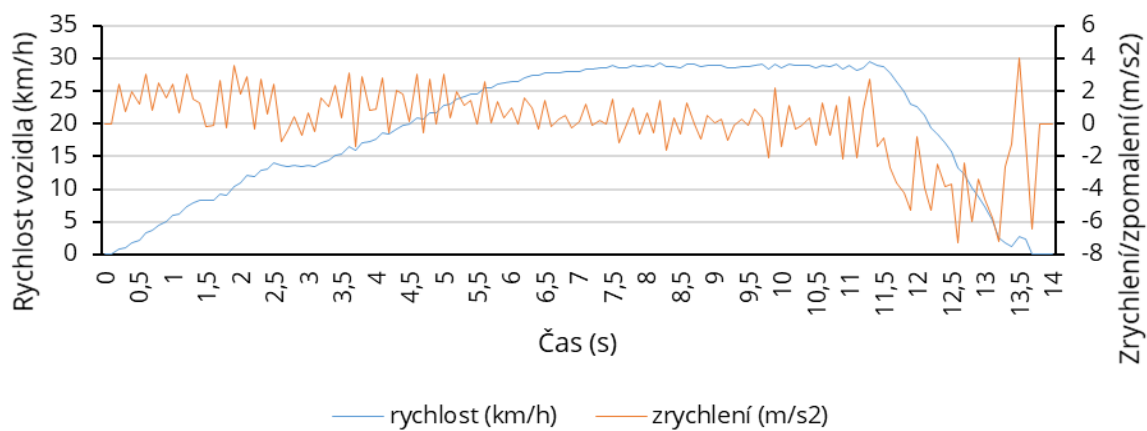
14,70 t

.....
Převzal

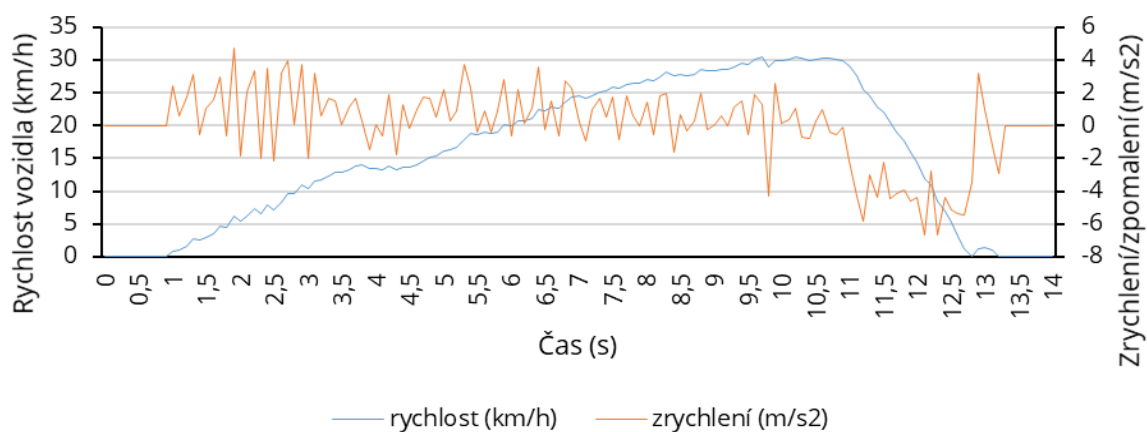
.....
Předal

Příloha č. 4 - Výstupy z PerformanceBox zpracované do grafů

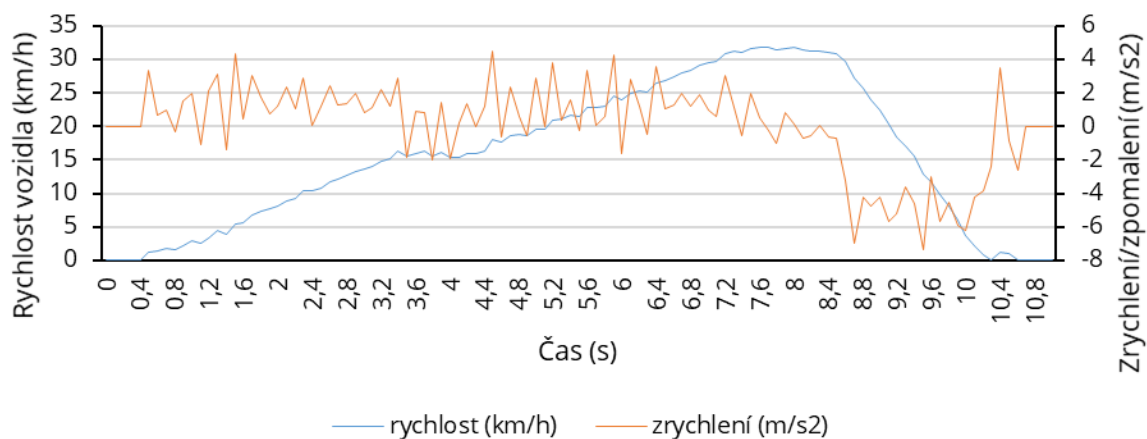
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření



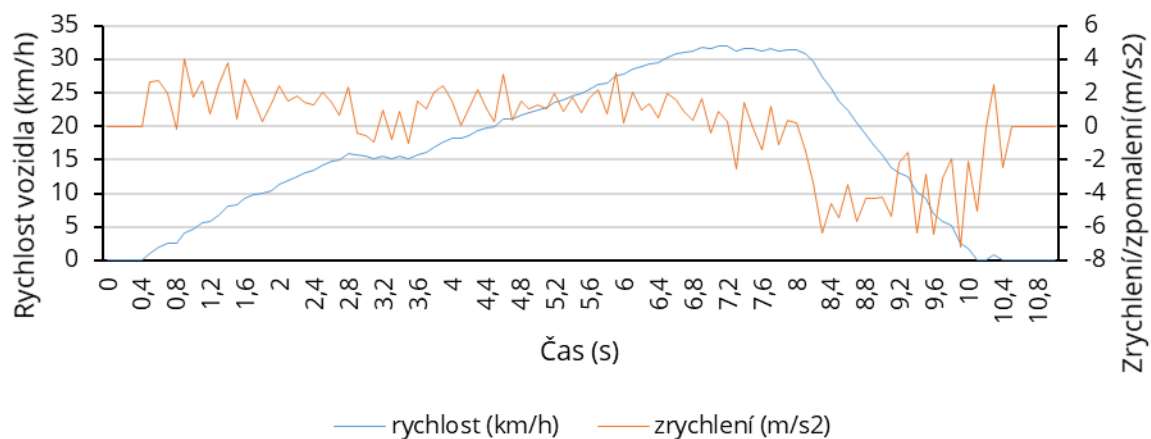
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření



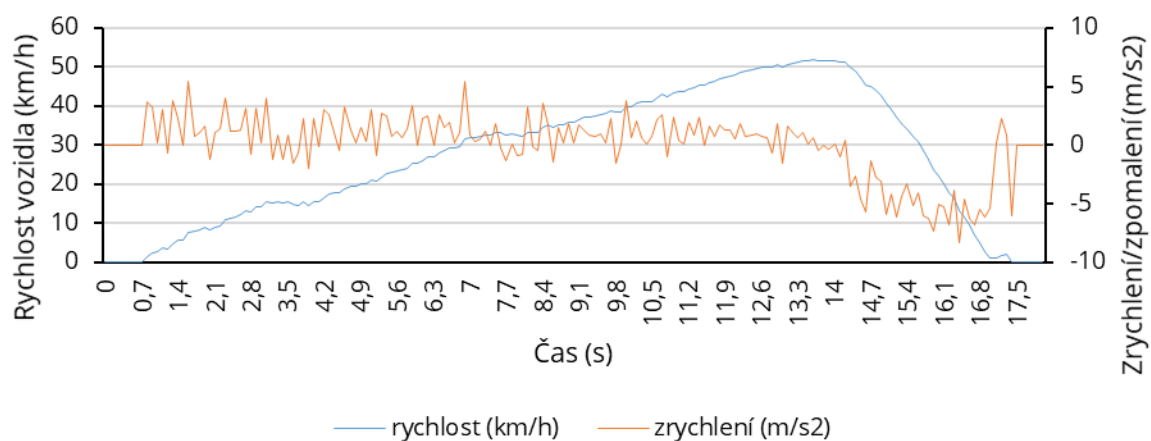
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 30 km/h
3. měření



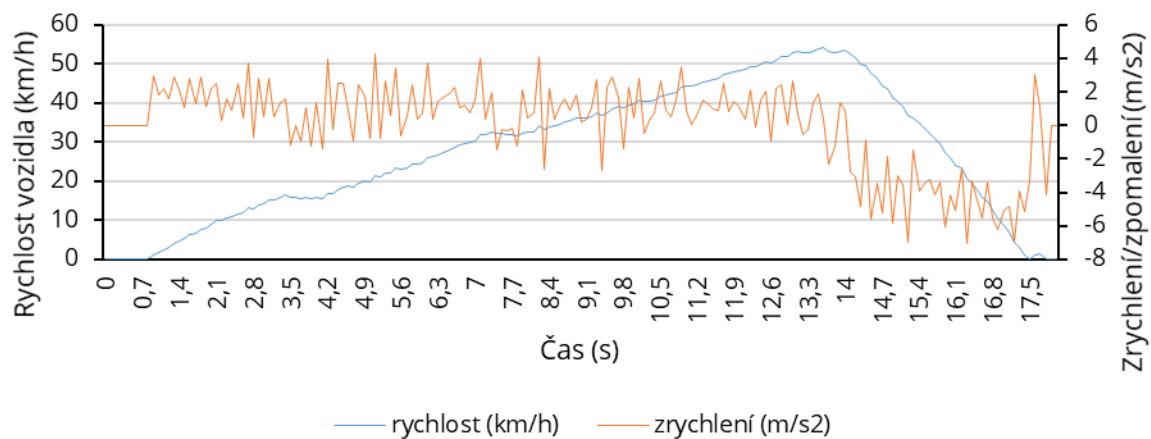
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 30 km/h
4. měření



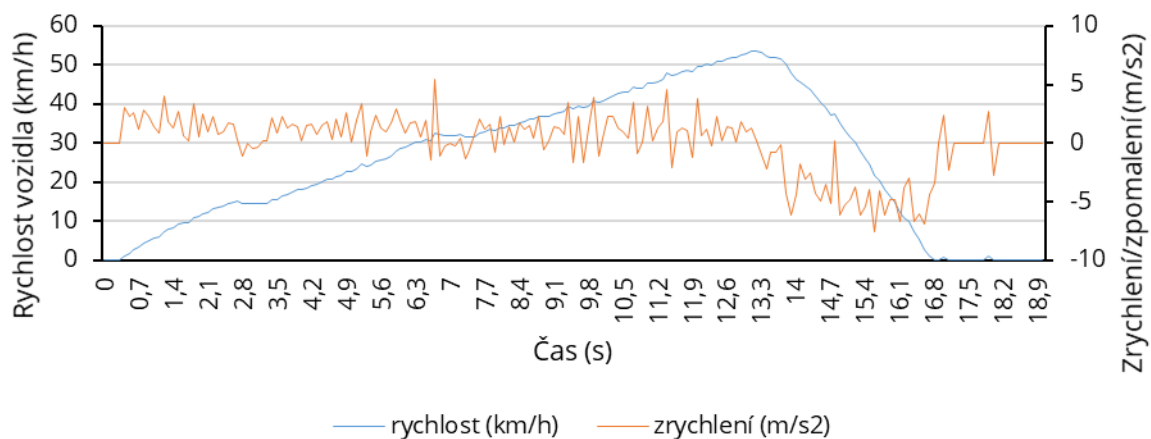
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 50 km/h
1. měření



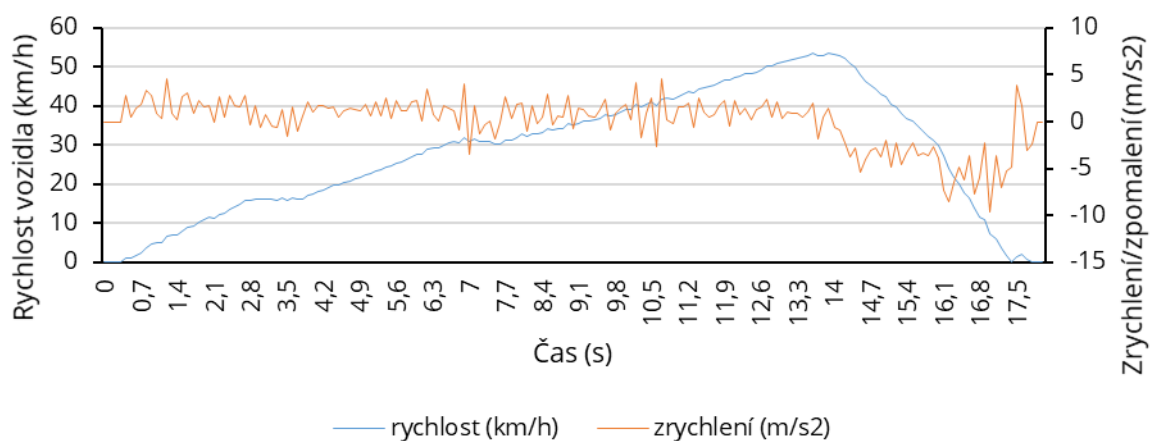
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



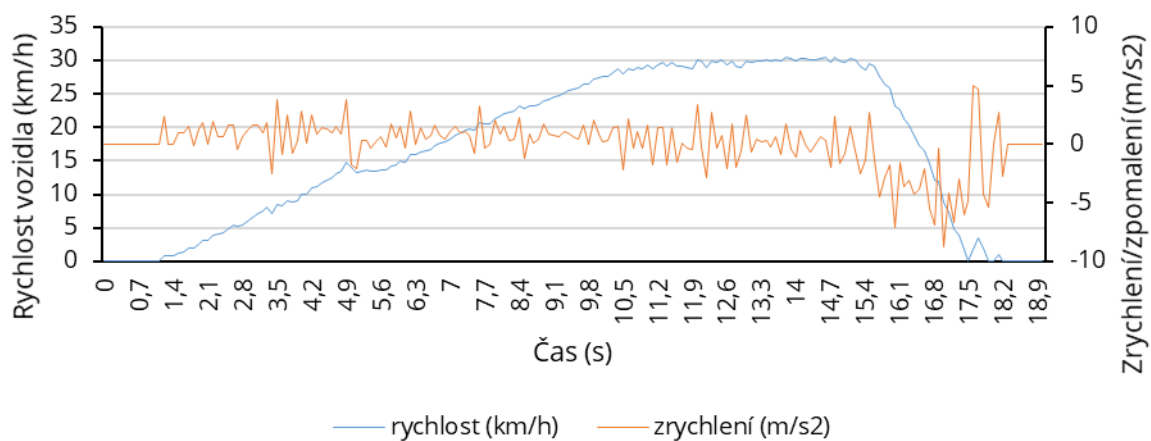
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



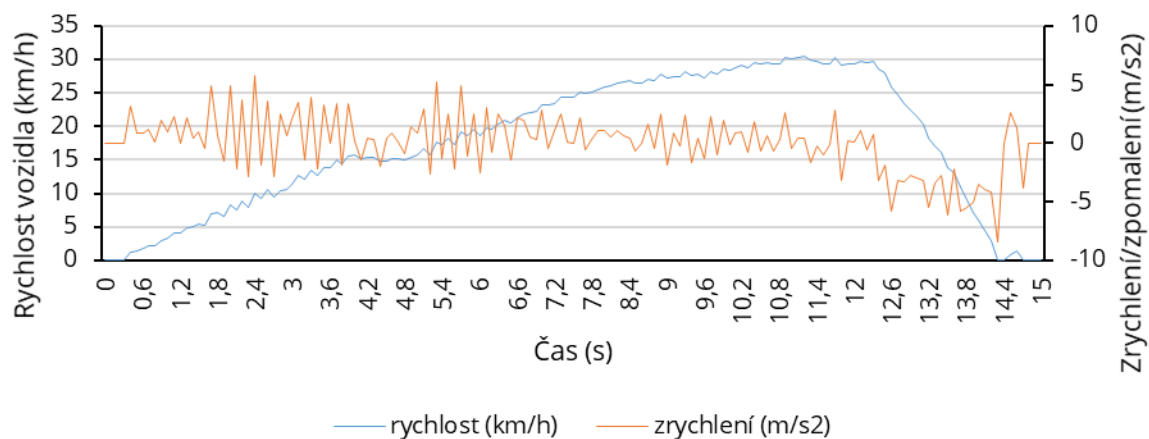
Zkušební jízda vozidla Man, prázdný, výchozí rychlost 50 km/h
4. měření



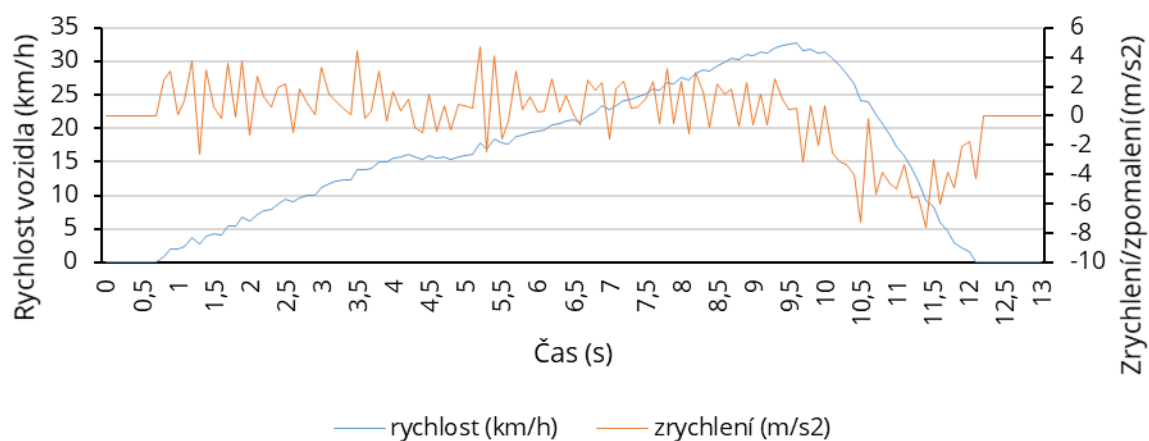
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření



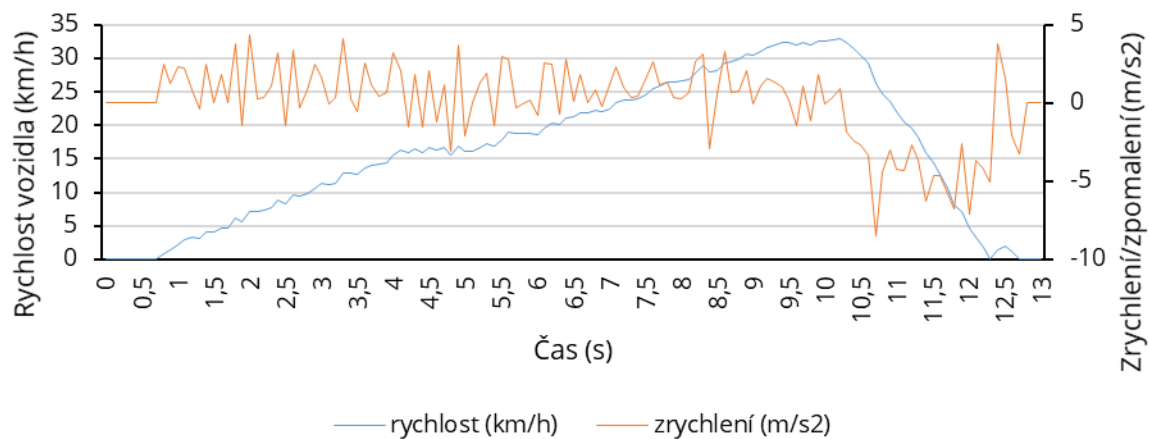
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření



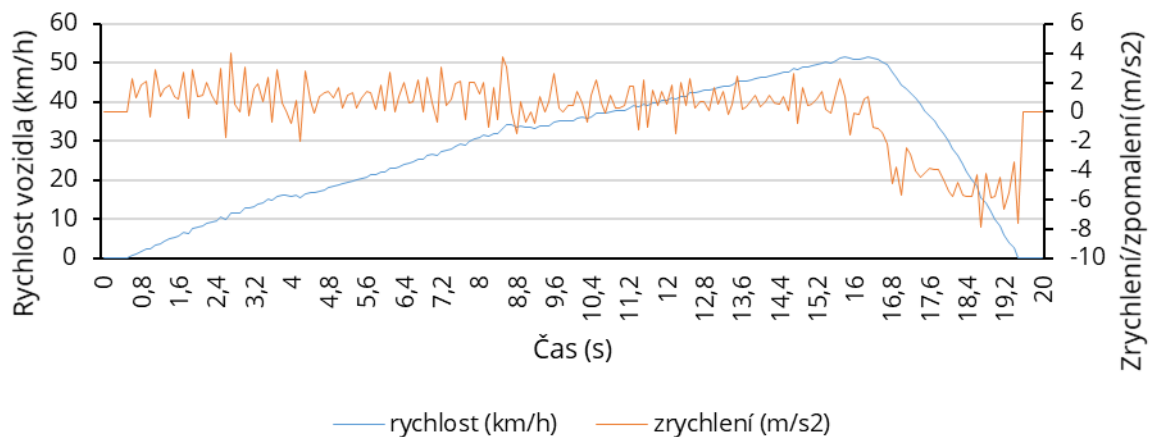
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 30 km/h
3. měření



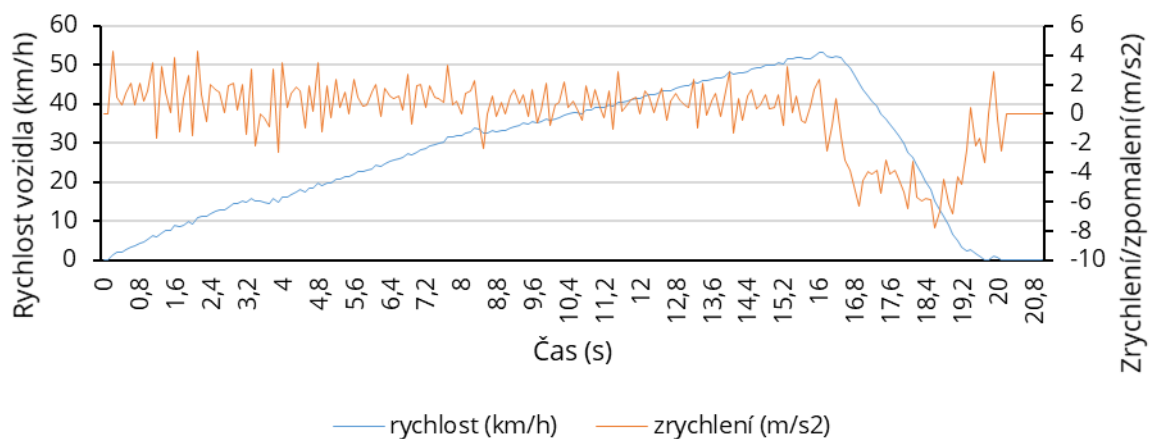
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 30 km/h
4. měření



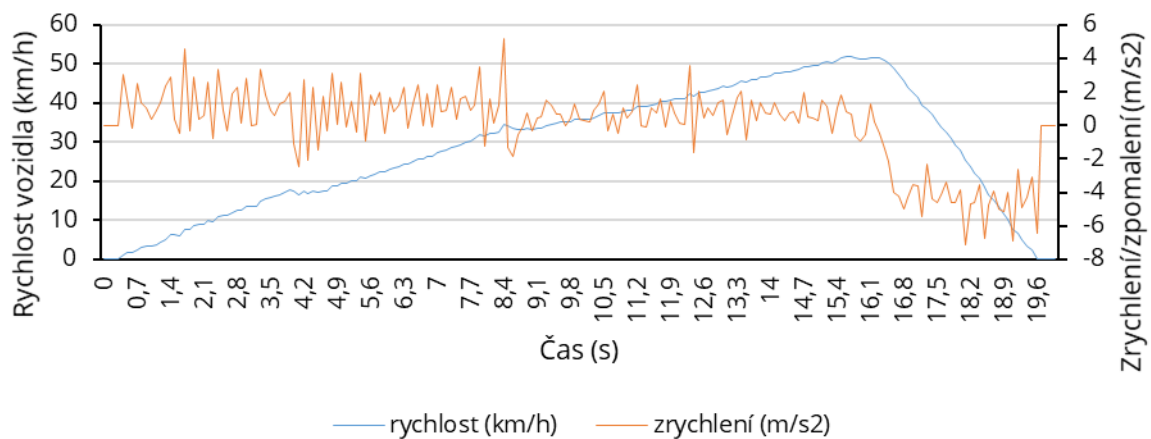
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 50 km/h
1. měření



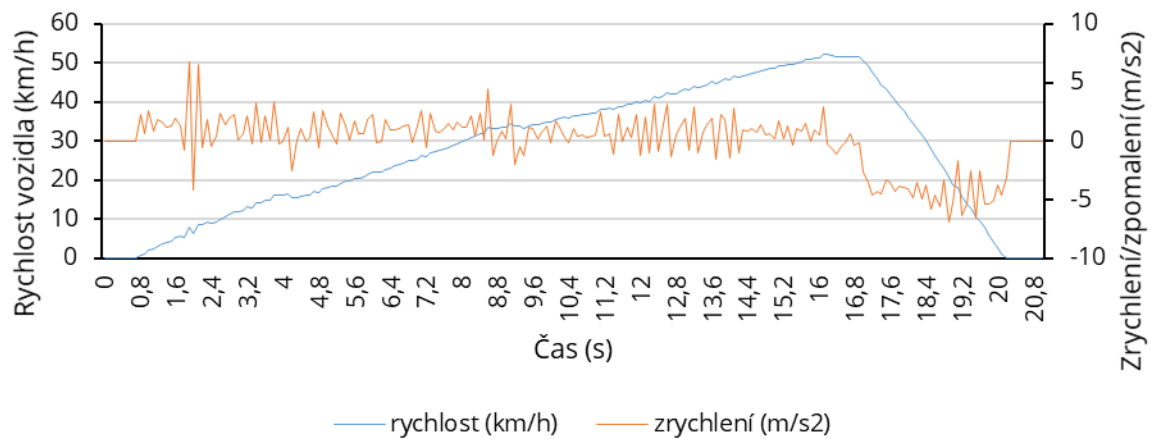
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



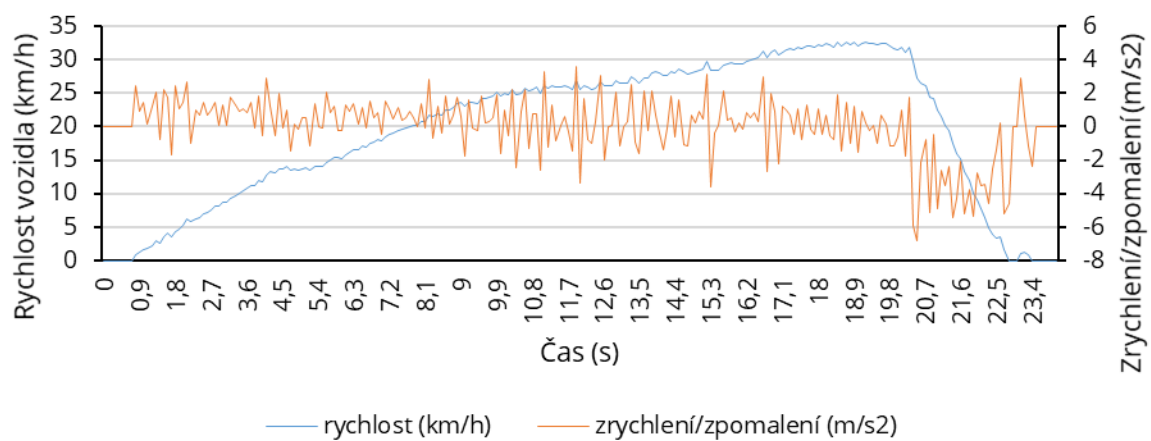
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



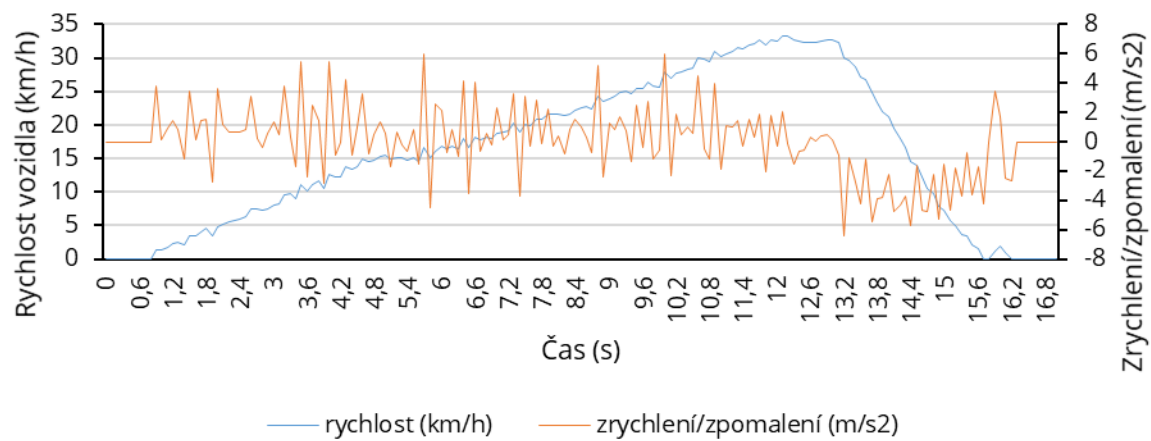
Zkušební jízda vozidla Man, částečně naložený, výchozí rychlost 50 km/h
4. měření

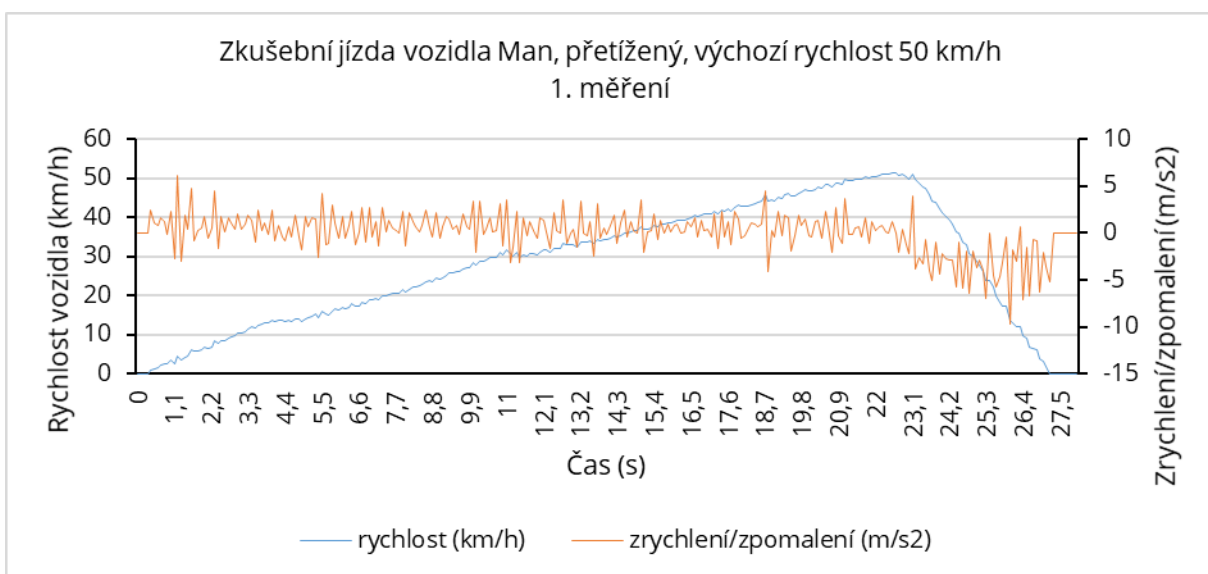
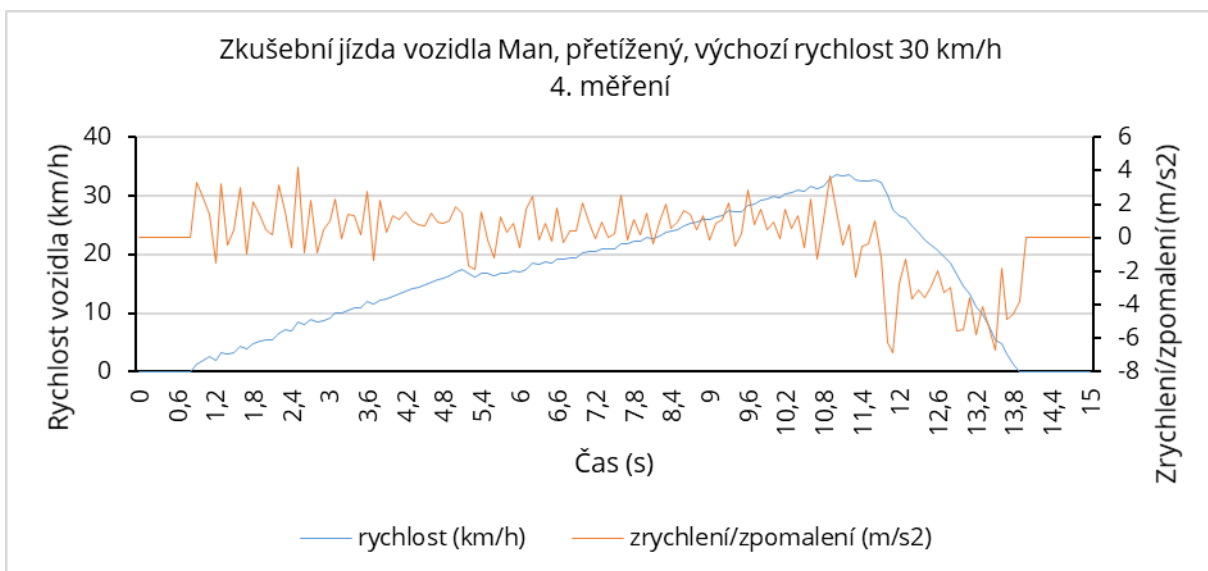
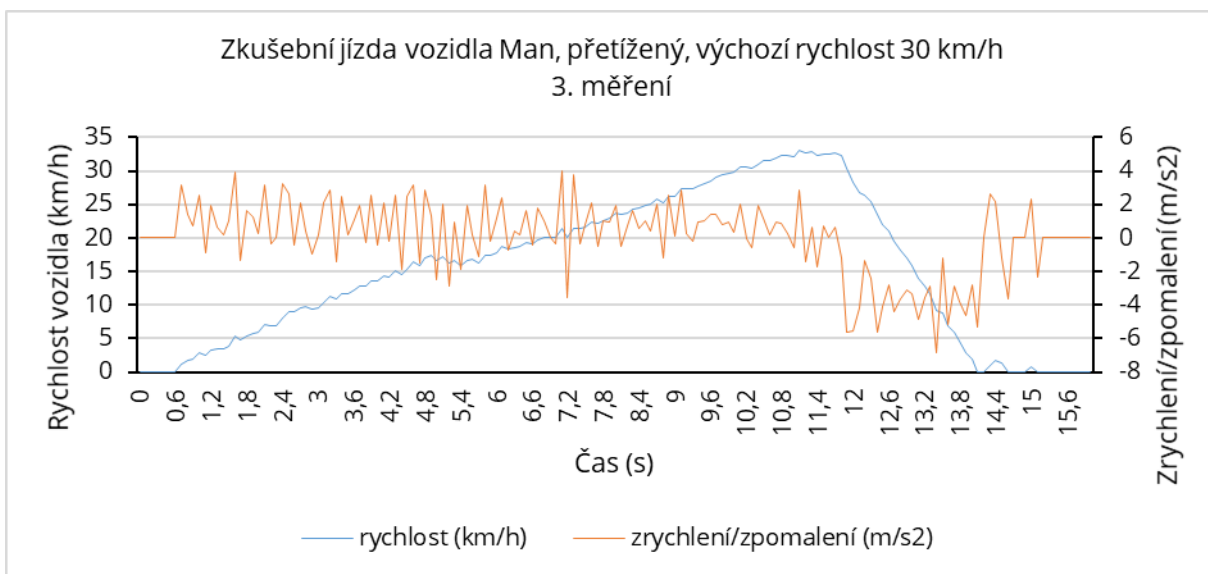


Zkušební jízda vozidla Man, přetížený, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření

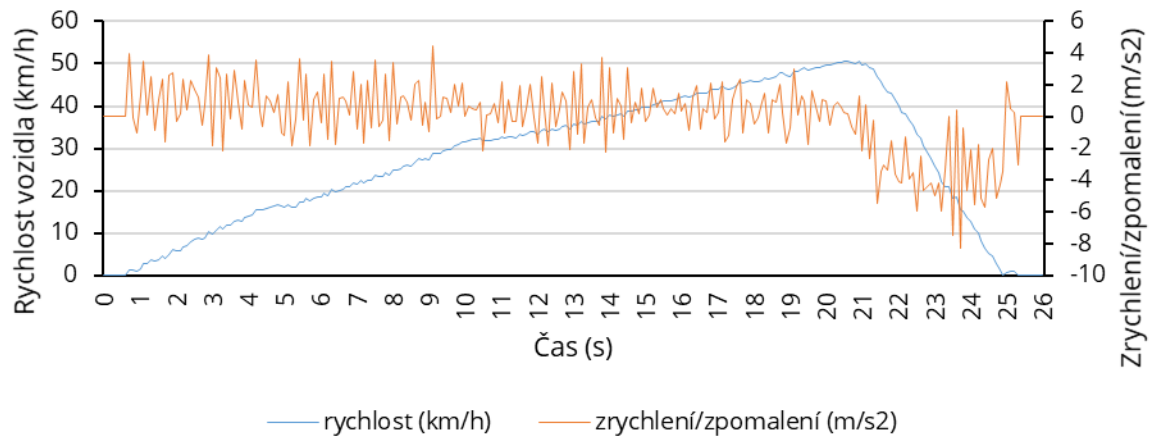


Zkušební jízda vozidla Man, přetížený, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření

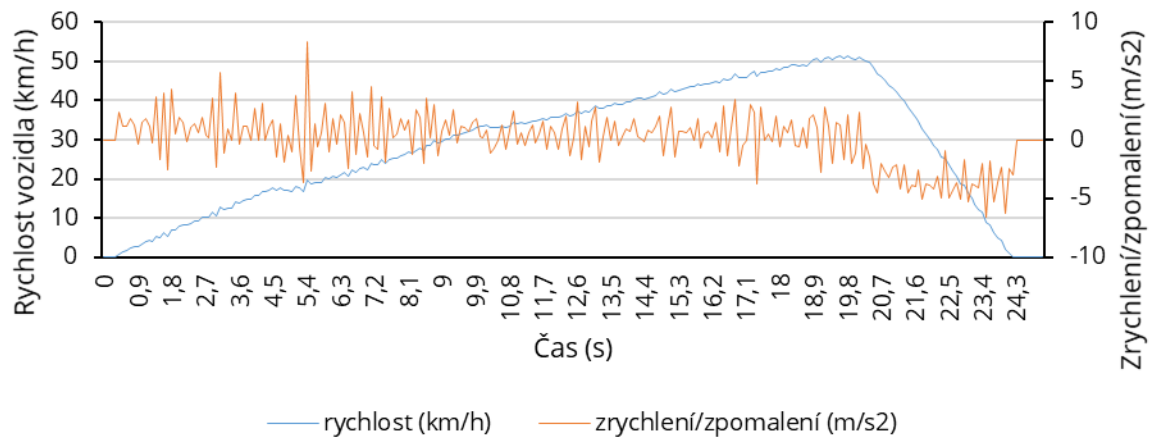




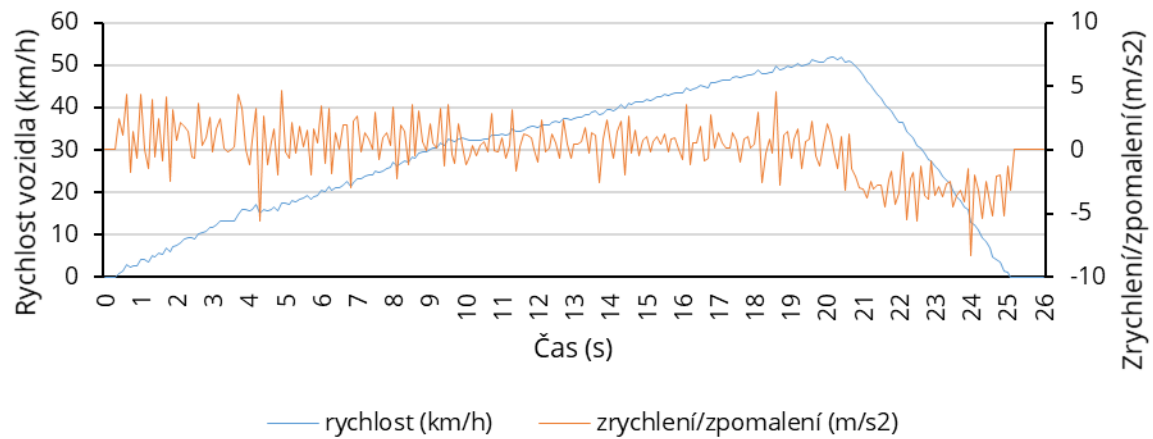
Zkušební jízda vozidla Man, přetížený, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



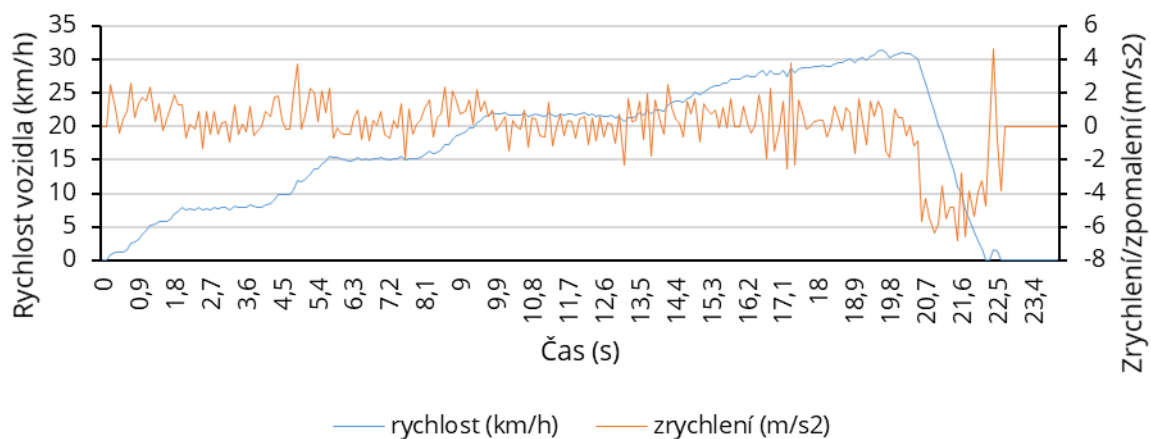
Zkušební jízda vozidla Man, přetížený, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



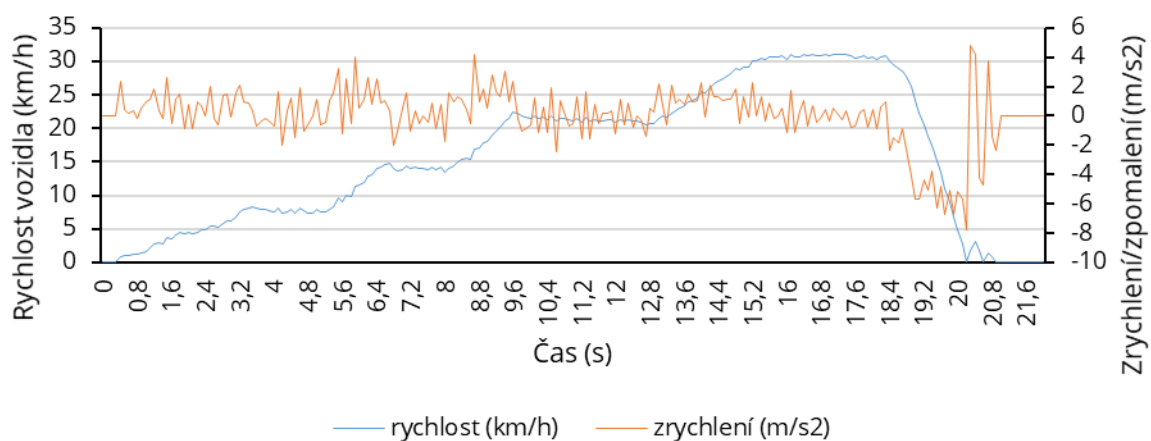
Zkušební jízda vozidla Man, přetížený, výchozí rychlost 50 km/h
4. měření



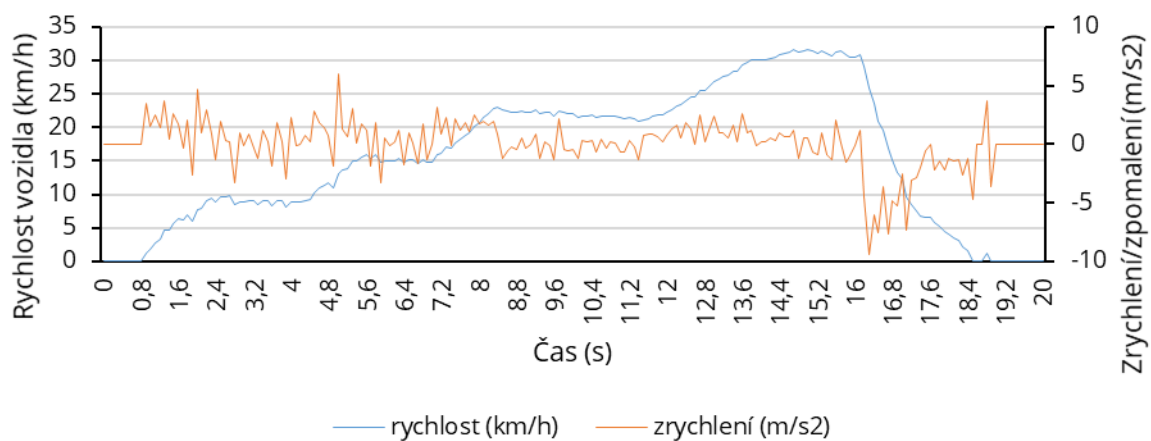
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření



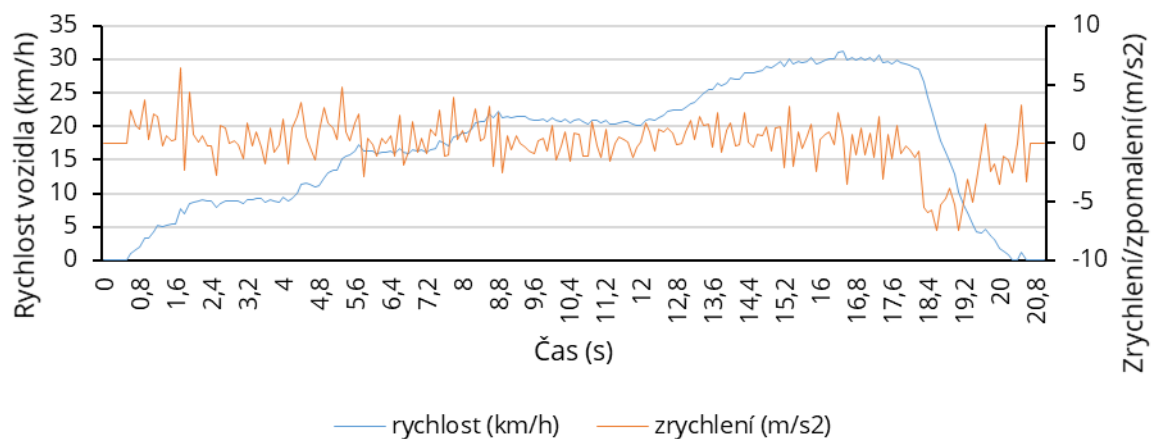
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření



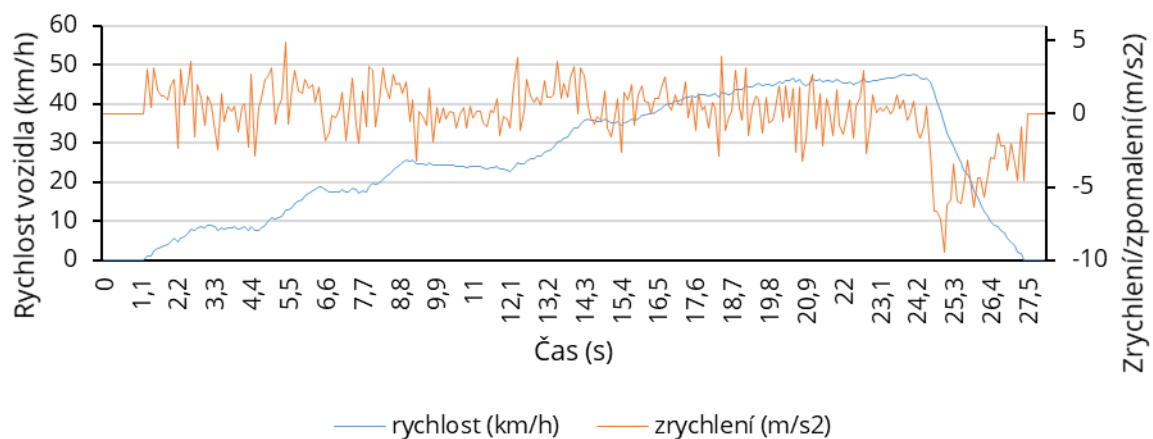
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 30 km/h
3. měření



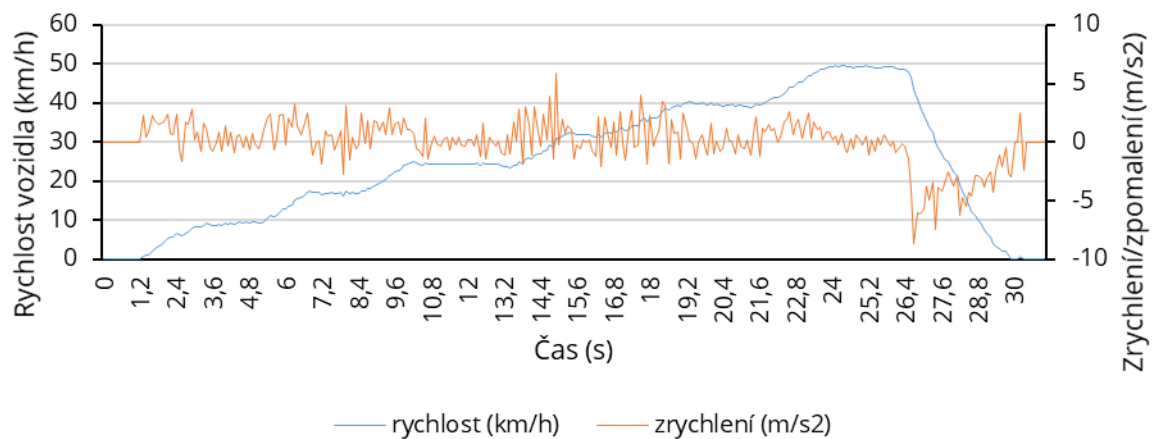
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 30 km/h
4. měření



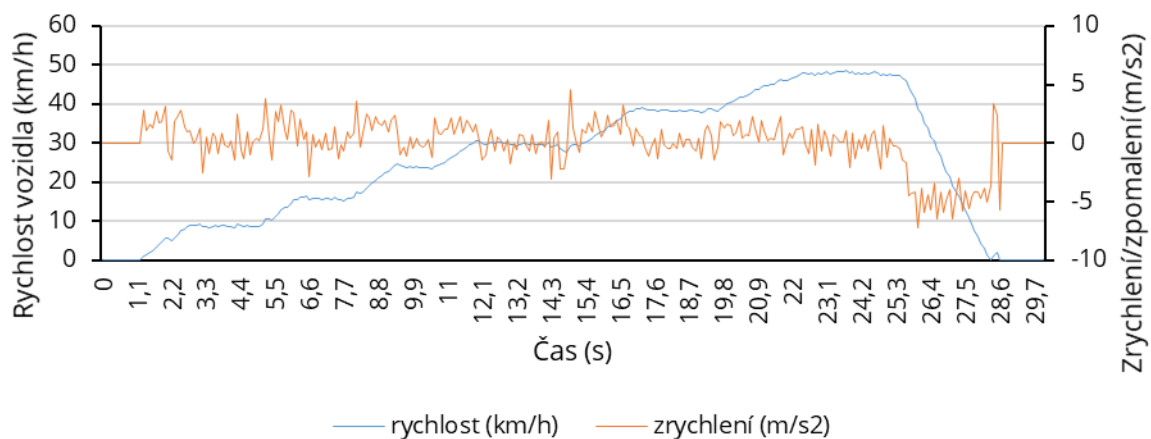
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 50 km/h
1. měření



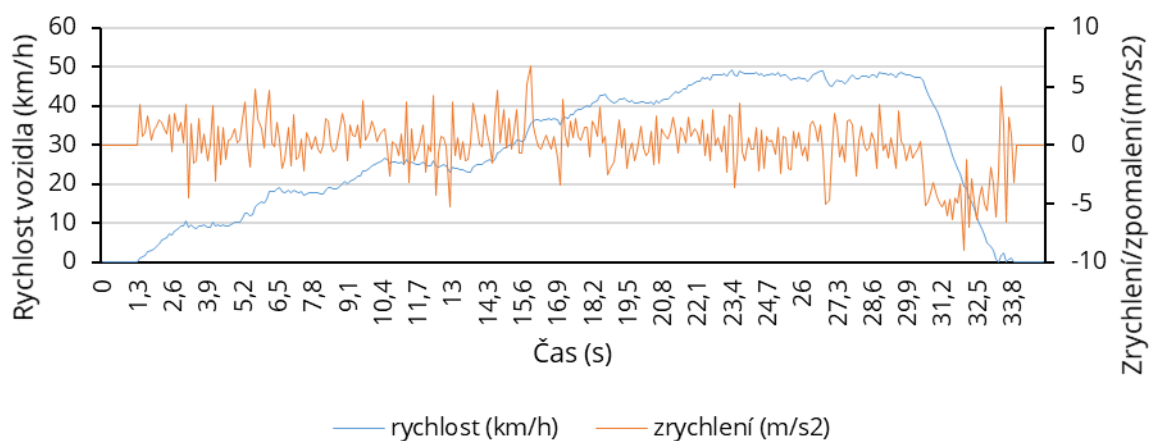
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



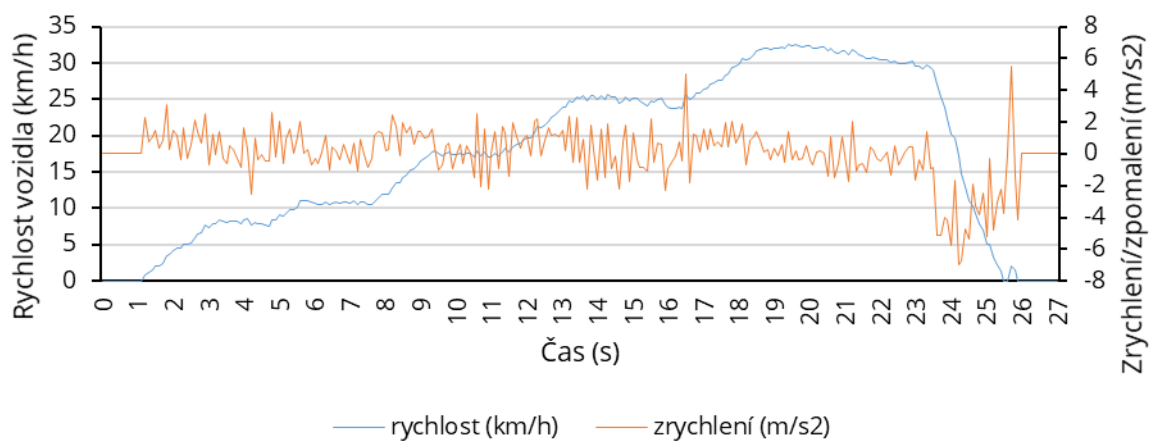
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



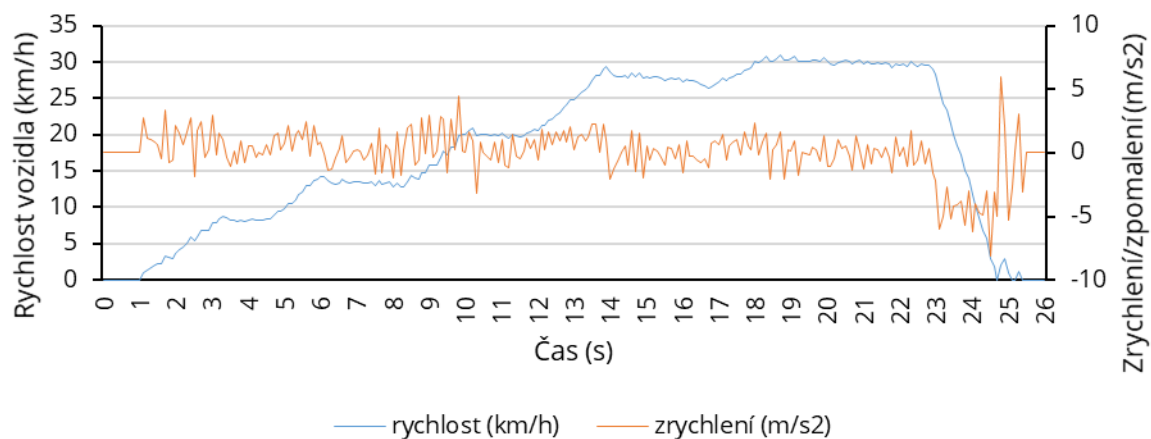
Zkušební jízda vozidla Tatra, prázdná, výchozí rychlost 50 km/h
4. měření



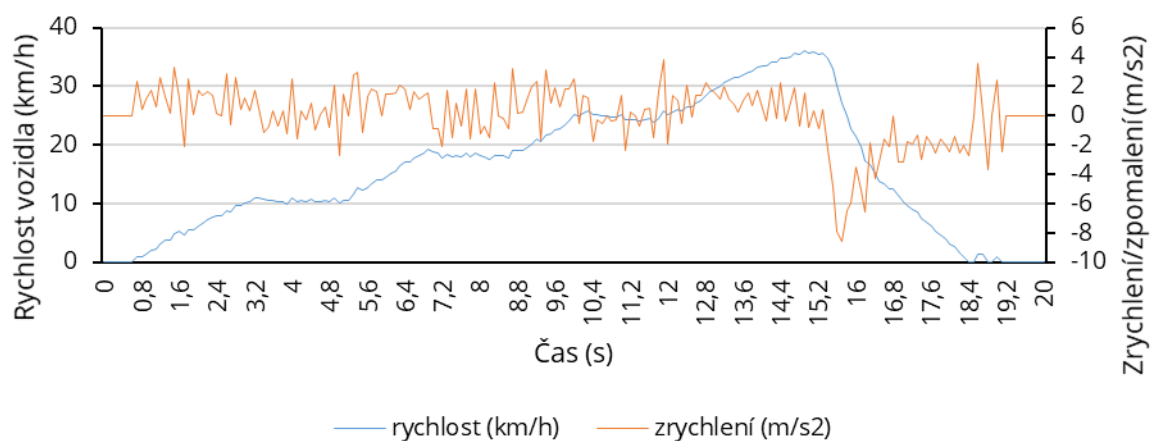
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření



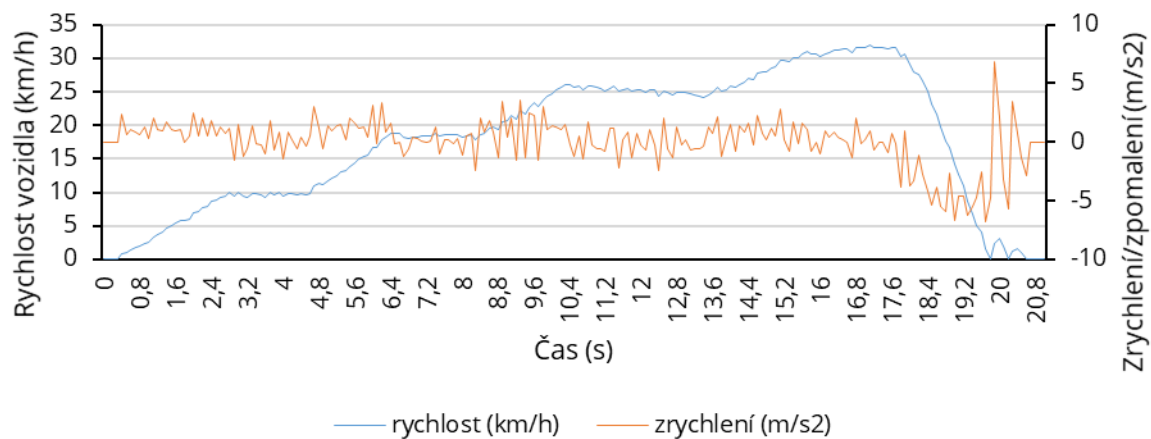
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření



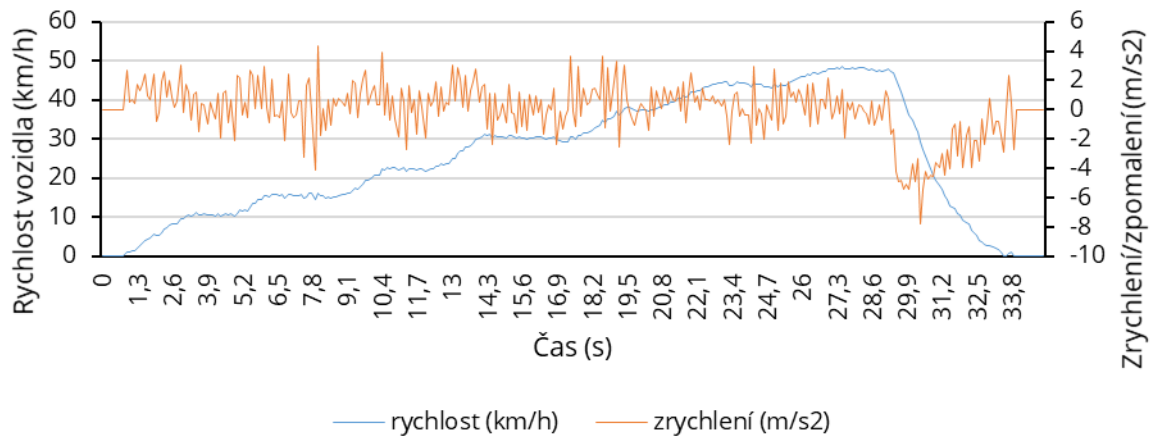
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 30 km/h
3. měření



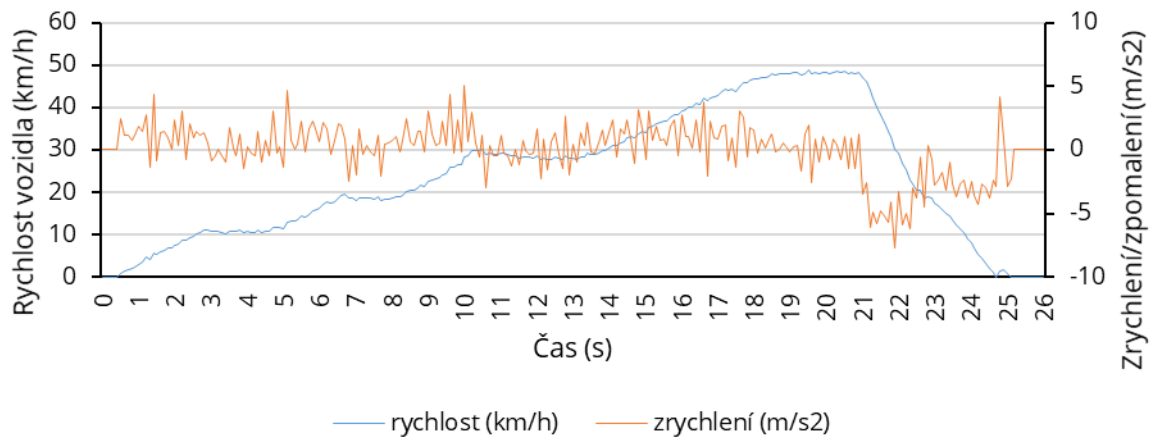
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 30 km/h
4. měření



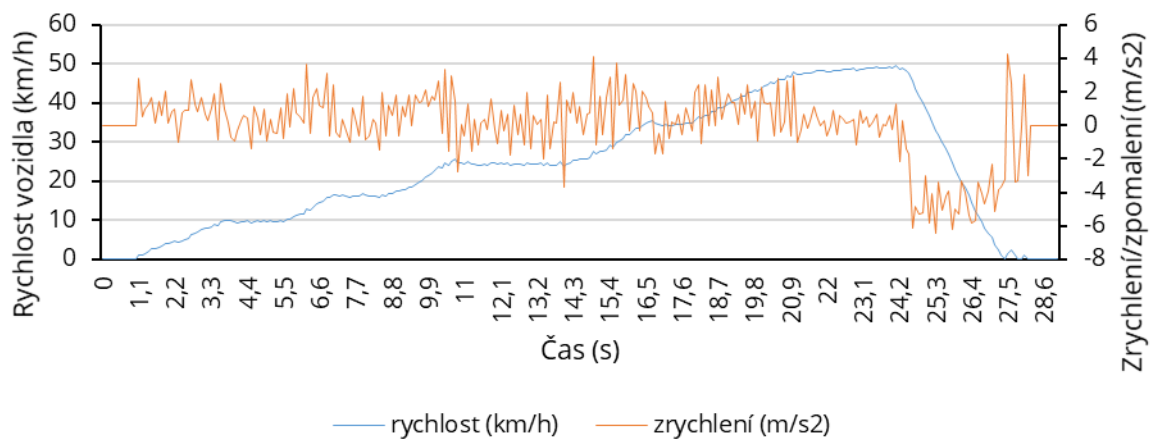
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 50 km/h
1. měření



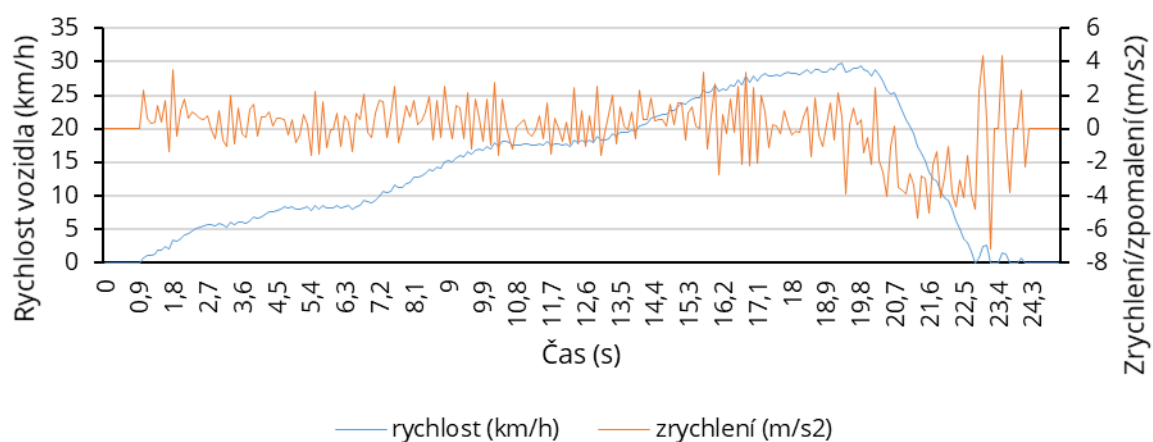
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



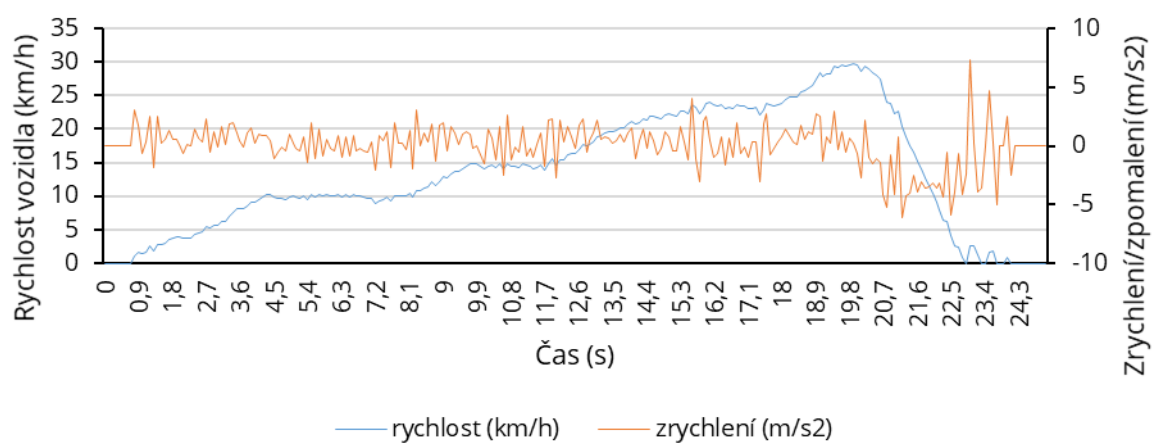
Zkušební jízda vozidla Tatra, částečně naložená, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



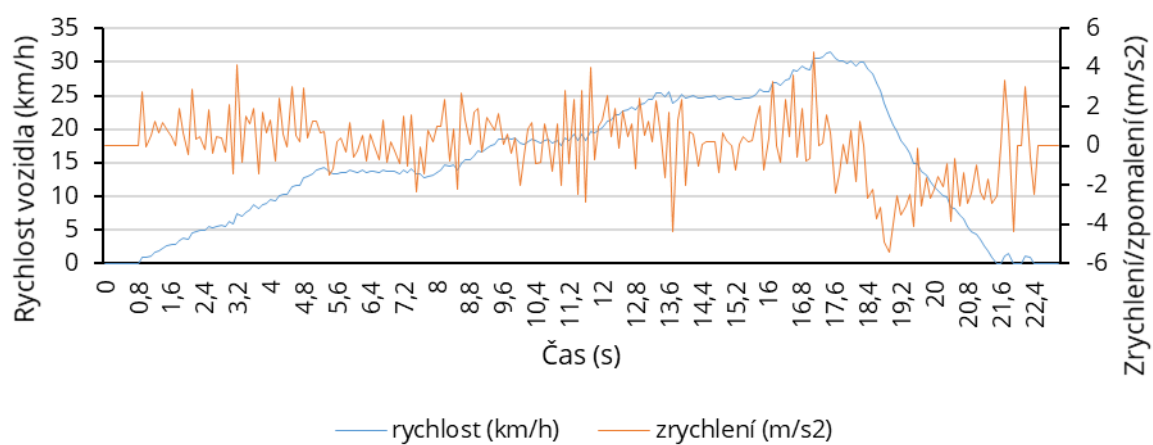
Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 30 km/h
1. měření



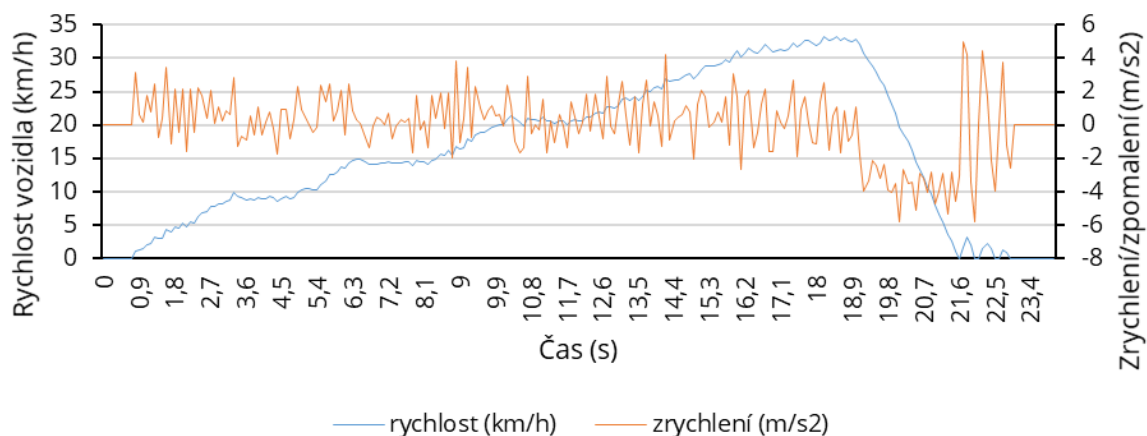
Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 30 km/h
2. měření



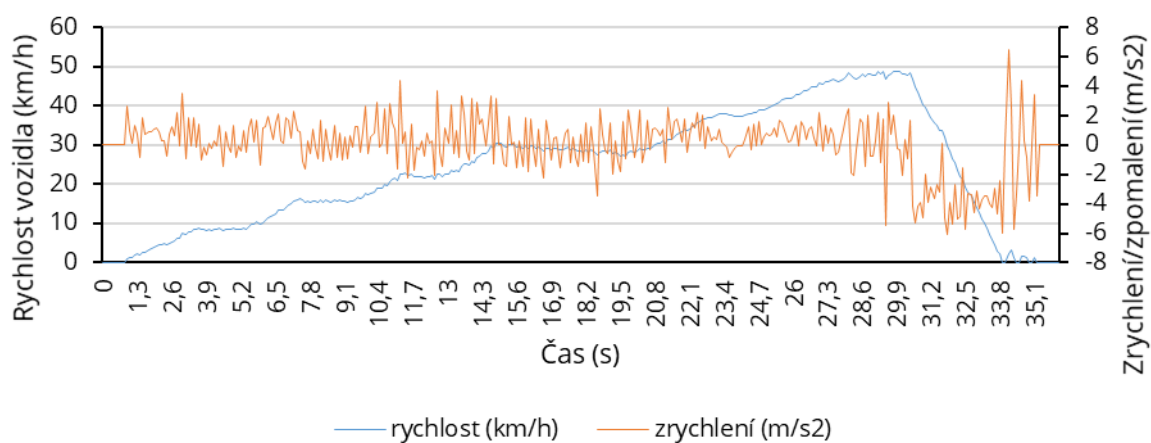
Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 30 km/h
3. měření



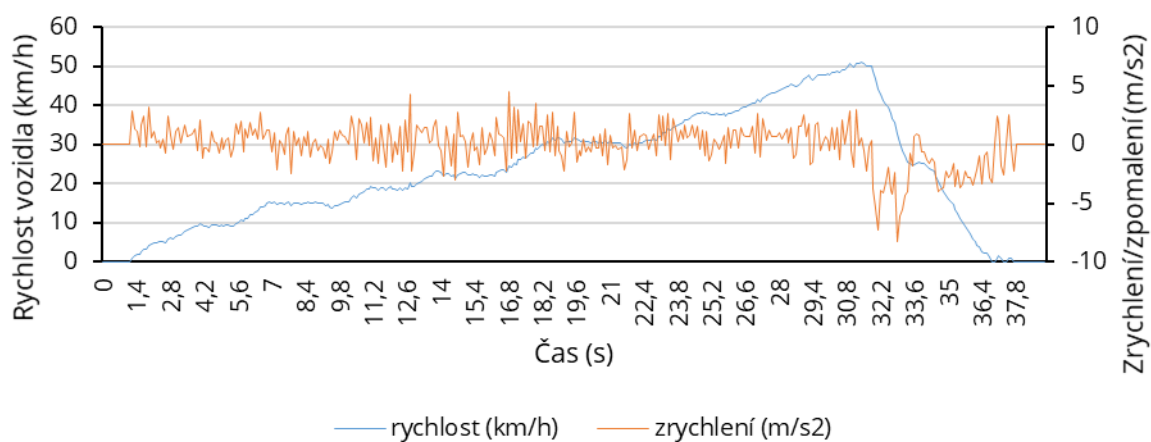
Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 30 km/h
4. měření



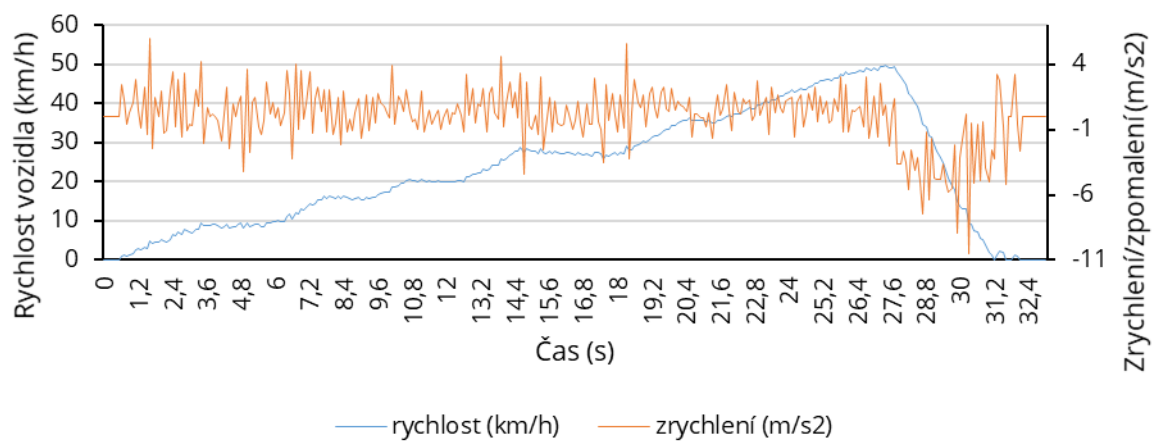
Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 50 km/h
1. měření



Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 50 km/h
2. měření



Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 50 km/h
3. měření



Zkušební jízda vozidla Tatra, přetížená, výchozí rychlost 50 km/h
4. měření

