



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin Morávek

Vliv zklidňovacích prvků na spotřebu paliva a emise

Bakalářská práce

2016



K616..... Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Martin Morávek

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Vliv zklidňovacích prků na spotřebu paliva a emise**

Název tématu (anglicky): The effect of traffic harmonization on fuel consumption
and emissions

Zásady pro vypracování

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

- Uved'te přehled systémů zklidňování dopravy uplatněné v dopravní infrastruktuře.
- Zvolte typický systém zklidnění.
- Uved'te přehled emisí a energií ovlivněných zklidňujícími prvky.
- Navrhněte metodu ověření vlivu systémů na energie a emise.
- Proved'te experiment vlivu zklidňujících prvků na emise.

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno, 2003. 432 s. ISBN 80-239-0024-2.

First, J.: Zkoušení automobilů a motocyklů, S&T CZ s.r.o, Praha, 2008, ISBN 978-80-254-1805-5

First, J.: Energetická analýza pozemní dopravy předpisy EHK/OSN

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří First**

Datum zadání bakalářské práce: **23. června 2015**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2016**

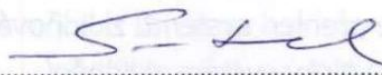
- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.

vedoucí

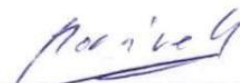
Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Martin Morávek

jméno a podpis studenta

V Praze dne.....23. června 2015

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování mé bakalářské práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Jiřímu Firstovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefu Míkovi Ph.D. za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu dosavadního studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne: 25. Srpna 2016

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Vliv zklidňovacích prvků na spotřebu paliva a emise

Bakalářská práce

Srpen 2016

Martin Morávek

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce „Vliv zklidňovacích prvků na spotřebu paliva a emise“ je analýza problémů, které přináší neplynulá jízda, způsobená výrazným snížením rychlosti. Teoretická část se zabývá popisem jednotlivých prvků zklidňování dopravy, dále rozbořem jednotlivých druhů emisí a energií. V praktické části byl proveden experiment, který poukazuje na rozdíly plynulé a neplynulé jízdy vozidla.

Klíčová slova

Zklidňování dopravy, emise, spotřeba paliva, příčný práh

Abstract

The subject of the bachelor thesis „The effect of traffic harmonization on fuel consumption and emissions“ is to analyze issues caused by driving at an inconstant speed due to significant speed reduction. The theoretical part describes individual decelerating elements, analysis of emissions and energy. In the practical part an experiment was made in order to point out difference between driving at a constant and inconstant speed.

Keywords

Traffic calming, emission, fuel consumption, speed humps

Obsah

1 Seznam použitých zkratk:	6
2 Úvod	7
3 Zklidňování dopravy	8
3.1 Prvky fyzické	9
3.1.1 <i>Zpomalovací prahy</i>	9
3.1.2 <i>Zvýšené křižovatkové plochy</i>	18
3.1.3 <i>Šikana</i>	18
3.1.4 <i>Zúžení vozovky</i>	18
3.1.5 <i>Miniokružní křižovatky</i>	19
3.1.6 <i>Zvýšené zastávkové plochy</i>	20
3.2 Prvky psychologické	20
3.2.1 <i>Brány</i>	21
3.2.2 <i>Optická psychologická brzda</i>	21
3.2.3 <i>Optické zvýraznění přechodu</i>	22
3.2.4 <i>Upozornění na kontrolu rychlosti</i>	22
3.2.5 <i>Odlišný kryt vozovky</i>	22
3.2.6 <i>Opakování a zvýraznění významu dopravního značení</i>	23
3.3 Prvky fyzicko-psychologické	23
4 Emise	24
4.1 Exhalace a částice	24
4.1.1 <i>Složení exhalací</i>	25
4.1.2 <i>Zkoušky exhalací</i>	26
4.1.3 <i>Emisní normy</i>	27
4.2 Hluk.....	29
4.2.1 <i>Veličiny a jednotky hluku</i>	29
4.2.2 <i>Základní vztahy a definice</i>	30
4.2.3 <i>Metoda měření vnějšího hluku jedoucích vozidel</i>	31
4.2.4 <i>Legislativa související s hlukem</i>	32
4.3 Vibrace	32
4.3.1 <i>Veličiny a jednotky vibrací</i>	33
4.3.2 <i>Vliv vibrací na lidské tělo</i>	33
4.3.3 <i>Legislativa související s vibracemi</i>	33
4.3.4 <i>Zařízení pro měření vibrací</i>	34
4.4 Elektromagnetické záření	35
4.4.1 <i>Metody měření elektromagnetických záření</i>	35
4.4.2 <i>Legislativa související s elektromagnetickým zářením vozidel</i>	35
4.5 Světlo	36

4.5.1	<i>Veličiny a jednotky světelné emise</i>	36
4.5.2	<i>Měření, kritéria a rizika světelných emisí</i>	37
4.6	<i>Nečistoty</i>	37
4.6.1	<i>Metody zkoušky emise nečistot</i>	38
4.6.2	<i>Legislativa související s emisí nečistot</i>	38
5	Energie	39
5.1	<i>Kinetická energie</i>	40
5.1.1	<i>Systémy přeměn na kinetickou energii</i>	40
5.1.2	<i>Princip přeměny chemické energie na energii kinetickou</i>	40
5.2	<i>Jízdní odpory</i>	41
5.2.1	<i>Odpor zrychlení</i>	41
5.2.2	<i>Odpor valení</i>	42
5.2.3	<i>Aerodynamický odpor</i>	43
5.2.4	<i>Odpor vnitřního tření</i>	44
5.3	<i>Spotřeba paliva</i>	44
5.4	<i>Zmařená energie</i>	45
5.4.1	<i>Decelerace</i>	45
5.4.2	<i>Akcelerace</i>	45
5.4.3	<i>Odpružení</i>	45
6	Experiment	47
6.1.1	<i>Metodika experimentu</i>	47
6.1.2	<i>Popis experimentu</i>	48
6.1.3	<i>Vyhodnocení experimentu</i>	51
7	Závěr	56
8	Použité zdroje	58
8.1	<i>Literatura</i>	58
8.2	<i>Internetové zdroje</i>	59
9	Seznam obrázků	61
10	Seznam tabulek	62
11	Seznam příloh	63

1 Seznam použitých zkratk:

3D	Trojrozměrný	
ČR	Česká republika	
ČSN	Česká technická norma	
EHK	Evropská hospodářská komise	
EHS	Evropské hospodářské společenství	
HTP	High Torque Performance	Vysoký krouticí moment (motoru)
IEC	Internacional Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	Internacional Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
IZS	Integrovaný záchraný systém	
LPG	Liquid Petroleum Gas	Zkapalněný ropný plyn
MHD	Městská hromadná doprava	
NEDC	New European Driving Cycle	Nový evropský měřicí cyklus
NG	Natural Gas	Zemní plyn
OSN	Organizace spojených národů	
PČ	Pevné částice	
RZ	Registrační značka	
Sb.	Sbírka zákonů	
SDZ	Svislé dopravní značení	
SSZ	Světelné signalizační zařízení	
TP	Technické předpisy	
USA	United States of America	Spojené státy americké
VDZ	Vodorovné dopravní značení	
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures	Mezinárodní standart pro měření emisí

2 Úvod

Zklidňování dopravy je v dnešní době populární dopravně-inženýrský nástroj pro zvýšení bezpečnosti účastníků provozu na pozemních komunikacích, snížení rychlosti a intenzit provozu. Mezi další cíle pak patří vytvoření lepších podmínek pro chodce a cyklisty, celkové zvýšení humanizace prostředí a odstranění nadřazenosti automobilové dopravy.

Zároveň se však v zájmu životního prostředí hledají cesty k eliminaci negativních vlivů dopravy, které přímo či nepřímo ovlivňují každého z nás. Jedním z mnoha řešení této problematiky je zajistit co nejvyšší plynulost dopravy.

Bohužel, není vždy možné zajistit plynulost jízdy společně s využitím zpomalovacích prvků dopravy a tak jsou řidiči často nuceni volit nepřiměřeně nízkou rychlost. Právě tato neplynulost jízdy s sebou přináší negativní dopady v podobě zvýšení emisí a spotřeby paliva. Cílem této bakalářské práce je uvést přehled prvků zklidňování dopravy a problémy vznikající s jejich užitím v dopravě. Simulací reálného chování řidičů poté v experimentu určit rozdíl ve spotřebě paliva a hluku, který vzniká při přejezdu zpomalovacího prahu oproti jízdě konstantní a vyšší rychlostí.

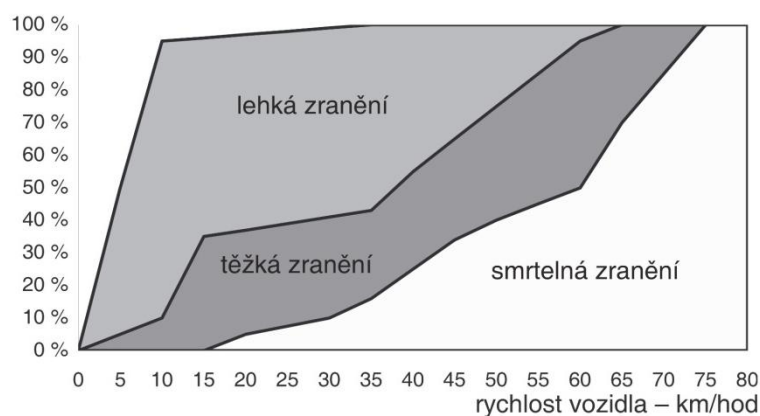
3 Zklidňování dopravy

Zklidňování dopravy je proces, zaměřený na ovlivnění silniční dopravy za účelem snížení rychlosti, zvýšení bezpečnosti, snížení intenzit, zvýšení humanizace prostředí, vytvoření lepších podmínek pro chodce a cyklisty, zlepšení životního stylu a odstranění nadřazenosti automobilové dopravy. Mezi zásady zklidňování dopravy patří optimalizace šířky jízdních pruhů, podpora pěší mobility, funkční rozdělení uličních a dopravních ploch, optické potlačování urychlujících podélných linií a podpora zeleně. [12]

V různých situacích (např. okolí škol a školek, přechodů pro chodce, okolí zastávek MHD, míst častého vzniku dopravních nehod, či v místech změn různých dopravních režimů) je nutné podpořit dodržování nízkých rychlostí vozidel. K tomuto účelu využíváme fyzické, psychologické, nebo fyzicko-psychologické prvky zpomalování dopravy.

Dle TP 132 dělíme prvky dopravního zklidňování na prvky ke snížení rychlosti a na prvky ke snížení intenzity dopravního proudu. Mezi prvky snížení intenzity dopravního proudu patří snížení poptávky po použití zklidňované komunikace, nebo snížení nabídky zklidňované komunikace. V této bakalářské práci se nadále budeme zabývat pouze prvky ke snížení rychlosti. Vhodnost jednotlivých zpomalovacích prvků v závislosti na způsobu využití komunikace a požadované rychlosti je znázorněna v tabulce č. 1.

Snížení rychlosti jízdy má vliv na četnost i závažnost nehod. S vyšší rychlostí roste brzdná dráha. Jako příklad uveďme rozdíl v brzdě dráze osobních vozidel při rychlosti 50 a 60 km/h, který činí 9 m, pro rychleji jedoucí vozidlo to pak znamená případný náráz do překážky v rychlosti 40 km/h. Problematika rychlosti vozidla a následky nehody jsou zobrazeny na obrázku č. 1.



Obrázek 1: Riziko a závažnost zranění chodců při dopravních nehodách v závislosti na rychlosti vozidla.

Zdroj: [8]

Tabulka 1: Doporučené použití různých typů prvků v závislosti na způsobu využití komunikace a požadované rychlosti.

Zdroj: [4]

Hlavní typy prvků		Způsob využití komunikace				Žádoucí rychlost (km.h ⁻¹)		
		B1, B2	B3	C1	C2, C3	50	40	≤ 30
		převážně dopravní	obslužně dopravní	dopravně obslužná	obslužná			
1	 Předsazené značení - varování	x	(x)			x	(x)	
2	 Brány	x	(x)			x	(x)	
3	 Zúžení vozovky vysazenými plochami	[x]	x	x	x		x	x
4	 Zúžení vozovky středním dělicím ostrůvkem	(x)	x	x	x	(x)	x	x
5	 Šikany		(x)	x	x		x	x
6	 Zvýšené plochy		(x)	x	x			x
7	 Šikany se zvýšenou plochou		[x]	(x)	x		x	x
8	 Příčné prahy		[x]	(x)	x	(x)	x	x
9	 Zúžení vozovky na 1 pruh			(x)	x		(x)	x
10	 Šikany se zúžením na 1 pruh			(x)	x		(x)	x
11	 Zúžení vozovky na 1 pruh se zvýšenou plochou			[x]	x		[x]	x
12	 Šikany se zúžením vozovky na 1 pruh a zvýšenou plochou			[x]	x		[x]	x
13	 Zúžení vozovky na 1 pruh s příčným prahem				x			x
14	 Šikany se zúžením vozovky na 1 pruh a příčným prahem				x			x

Poznámky :
x Doporučené použití,
(x) Používá se pouze v případech vysoké intenzity provozu motorové **nebo** pěší dopravy,
[x] Používá se pouze v případech vysoké intenzity provozu motorové **a zároveň** pěší dopravy,
□ U prvků č. 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13 a 14 je možná kombinace s přechodem pro pěší.

3.1 Prvky fyzické

Fyzické prvky slouží k naplnění zásad zklidňování dopravy. Tyto prvky vychýlí vozidlo buď v horizontálním směru nebo ve směru vertikálním, což vede ke snížení rychlosti vozidla v okolí těchto prvků, jinak hrozí poškození části automobilu, nepříjemný pocit z jízdy, případně až kolize s fyzickým prvkem.

3.1.1 Zpomalovací prahy

Zpomalovací prahy je možné použít na místních komunikacích funkční skupiny C (obslužné) a D1 (obytné zóny). Ve výjimečných případech je lze použít i na místních komunikacích funkční skupiny B (sběrné) a na průjezdných úsecích silnic II. a III. třídy. Přehled vhodného užití zpomalovacích prvků můžeme přehledně vidět v tabulce č. 2. Zpomalovací prahy se umísťují do míst, kde je nezbytné zdůraznění a dodržení nízké povolené rychlosti. Proto se umísťují zejména v místech vyššího výskytu dětí, před přechody pro chodce, na vjezdech do obytných a pěších zón, či do míst s častým výskytem dopravních nehod.

Tabulka 2: Vhodnost užití jednotlivých typů zpomalovacích prahů u jednotlivých funkčních skupin komunikace, či provozu MHD.

Zdroj: [11]

Typ zpomalovacího prahu nebo zvýšené plochy		Funkční skupina komunikace				Vhodnost při společném provozu s MHD	
		A	B	C	D	Kolejová MHD	Nekolejová MHD
Zpomalovací prahy a polštáře	Úzký práh	X	X	✓	✓	Jen je-li práh mimo tramvajový pás	X
	Široký práh	X	✓ ^{*)}	✓	✓		✓
	Široký práh integrovaný s přechodem pro chodce	X	✓ ^{*)}	✓	✓		✓
	Zpomalovací polštáře	X	✓ ^{*)}	✓	✓		✓
Zvýšené plochy	Zvýšená křižovatková plocha	X	✓ ^{*)}	✓	✓	X	✓
	Zastávka se zvýšeným jízdním pásem	X	✓ ^{*)}	✓	✓	✓	✓ ^{**)}

^{*)} ve zvlášť odůvodněných případech

^{**)} jen v případě zastavení nekolejových vozidel hromadné dopravy na tramvajovém pásu

Svým provedením působí zpomalovací prahy na řidiče opticky i akusticky. Účelem jejich využití je dosažení snížení rychlosti jízdy tak, aby při dodržení nejvyšší dovolené rychlosti nebylo přejetí prahu spojeno s výrazným snížením pohodlí pro cestující ve vozidle. [3] Avšak jak ukazují obrázky č. 3 a č. 7, tak řidiči při přejezdu jednotlivých typů prahů dosahují výrazně menší rychlosti, než jaká je maximální povolená rychlost.

Oproti většině dalších fyzických prvků, tvoří pro vozidlo horizontální překážku, tudíž je snížení rychlosti takřka nezbytné, pokud se řidič chce vyvarovat poškození vozidla, zejména pak citlivých částí podvozku, které při nepřiměřené volbě rychlosti, mohou být v kontaktu právě se zpomalovacím prahem nebo okolní vozovkou. Volba jízdní rychlosti v okolí prahu je dána hlavně povahou řidiče vozidla, dále je důležitým faktorem typ vozidla a opotřebení jeho částí, které se při příčné nerovnosti nejvíce namáhají, zejména pak tlumící soustava a nápravy vozidla. Bohužel, ani riziko poškození vozu, nedonutí některé rizikové řidiče k jízdě přiměřenou rychlostí.

Důvody pro zřizování zpomalovacích prahů:

- bezpečnější a komfortnější převedení pěší dopravy přes komunikaci v místě přechodu pro chodce
- zvýraznění charakteru dopravního režimu na komunikaci (např. Zóna 30)
- zdůraznění změny charakteru komunikace (např. vjezd do obytných zón)

- podpora dodržování nejvyšší dovolené rychlosti na určeném úseku komunikace (pomocí opakovaného použití zpomalovacích prahů). Doporučenou vzdálenost mezi jednotlivými prahy v závislosti na rychlosti názorně vidíme v tabulce č. 3.
- snížení rychlosti vozidel na vjezdu nebo výjezdu z parkoviště a jiných míst ležících mimo komunikaci [3]

Tabulka 3: Doporučená vzdálenost mezi prahy v závislosti na rychlosti.

Zdroj: [11]

Rychlost	Vzdálenost
[km.h ⁻¹]	[m]
50	160 - 240
40	80 - 160
30	30 – 80

Možné negativní dopady zpomalovacích prahů dle TP 85:

- zvýšení hladiny hluku
- zvýšení hladiny emisí (pozn. myšleno zřejmě exhalátů a pevných částic)
- zdroj vibrací
- problémy s odvodněním komunikace
- náročnější údržba komunikace
- vyšší opotřebením krytu vozovky vlivem dynamických účinků vozidel
- překážka pro cyklistickou dopravu
- překážka pro pěší [3]

Další negativní dopady zpomalovacích prahů, které již TP 85 neuvádí:

- zvýšená spotřeba paliva
- zvýšené opotřebením vozidla

Samotná konstrukce zpomalovacího prahu má výrazný vliv na rychlost v okolí prahu, případně při opakovaném užití i na rychlost mezi nimi.

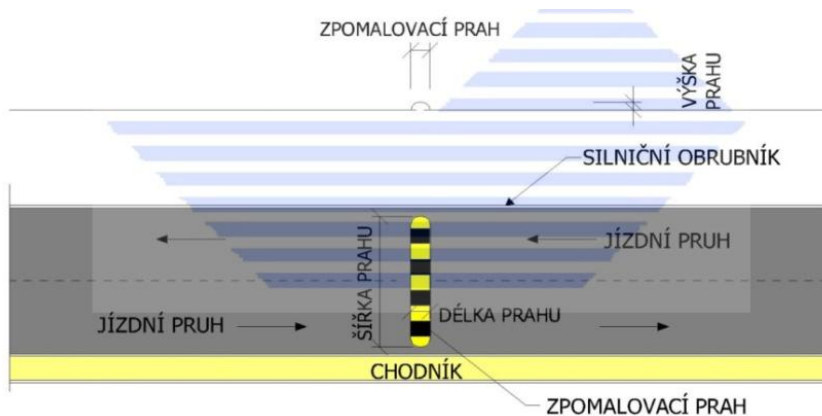
Příčné prahy se dělí dále dle tvaru a sklonu nájezdové rampy, podélného sklonu komunikace či délky a výšky prahu.

Zpomalovací práh nesmí tvořit neočekávanou překážku, je nutné na jeho existenci včas upozornit řidiče (vodorovným, případně svislým dopravním značením). Užití prahů jako zklidňujících prvků musí být realizováno tak, aby byly pro řidiče dobře a včas viditelné. Zpomalovací práh by měl mít takové barevné provedení povrchu, aby opticky nespíval s okolním povrchem komunikace. V případě dlouhých prahů ze zámkové dlažby se

doporučuje červená barva dlažby pro rampy prahu. U všech stavebně provedených zpomalovacích prahů je třeba doplnit vodorovné dopravní značky upozorňující na umělou nerovnost na vozovce. [3]

3.1.1.1 Krátké zpomalovací prahy

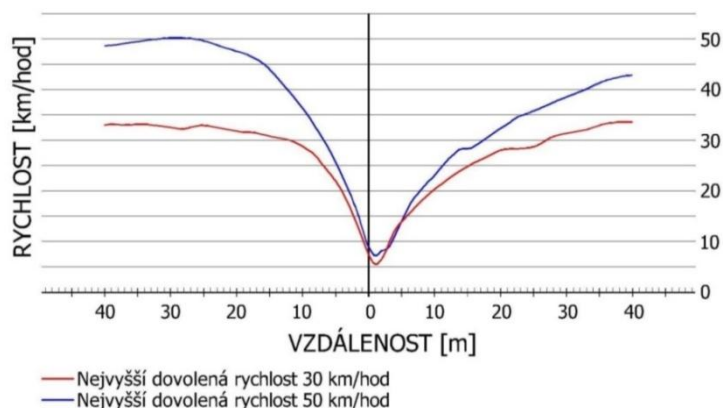
Krátké zpomalovací prahy jsou dle vyhlášky č. 30/2001 Sb., zařazeny do kategorie „dopravní značení“ a jsou definovány jako „krátký příčný práh“. Jsou tvořeny střídavou montáží žlutých a černých dílů, které jsou k vozovce umístěny pomocí šroubů a hmoždinek. Minimální délka prahu v obytné zástavbě je 1 m a výška, která je rozhodujícím parametrem pro požadovanou rychlost, je v rozmezí 30 až 80 mm. Mezi zpomalovacím prahem a obrubníkem se doporučuje ponechat odstup 0,5 až 1 m pro možný průjezd cyklistů a odvodnění komunikace. Schéma krátkého prahu je znázorněno na obrázku č. 2. Zároveň je vhodné vyvarovat se použití prahu pouze přes jeden jízdní pruh. Hrozí tak jeho objíždění a tím, snížení bezpečnosti ostatních účastníků provozu na pozemních komunikacích. Časté použití krátkého prahu je před přechodem pro chodce, při vjezdu do zón s odlišným dopravním režimem, v obytných a pěších zónách, nebo jako dočasné řešení před stavebním opatřením. Díky pořizovacím nákladům, které se pohybují okolo 1000 Kč/m, je četně používán. Právě díky četnosti užití a svým charakterem jej lze považovat za typický prvek zklidnění dopravy. [3] [8]



Obrázek 2: Schéma krátkého prahu.

Zdroj: [3]

Na obrázku č. 3, který zachycuje průměrné dosažené rychlosti v okolí prahu při realizovaných měřeních, vidíme, že řidiči krátký práh přejíždějí rychlostí mnohem menší, než je nevyšší povolená rychlost. Bohužel nejsou dostupné informace upřesňující průběh měření, výsledky tak mohou být ovlivněny například zastavením vozidla a umožněním chodcům přejít vozovku, což by při průměrování rychlostí výrazně zkreslilo výsledky měření.



Obrázek 3: Průměrný průběh rychlosti v okolí krátkého prahu.

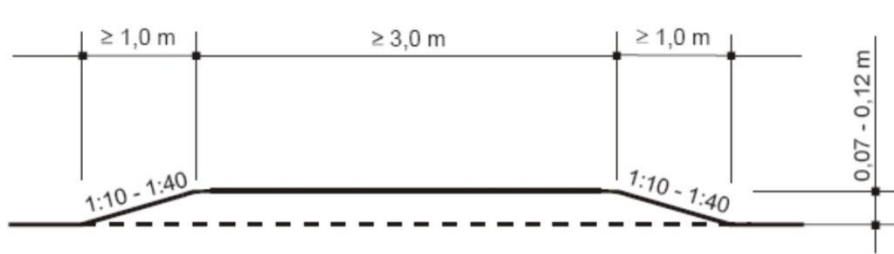
Zdroj: [3]

3.1.1.2 Dlouhé zpomalovací prahy

Dlouhé zpomalovací prahy jsou univerzálním nástrojem pro zklidnění dopravy, lze je přizpůsobit a vhodně zakomponovat do celého konceptu řešeného území.

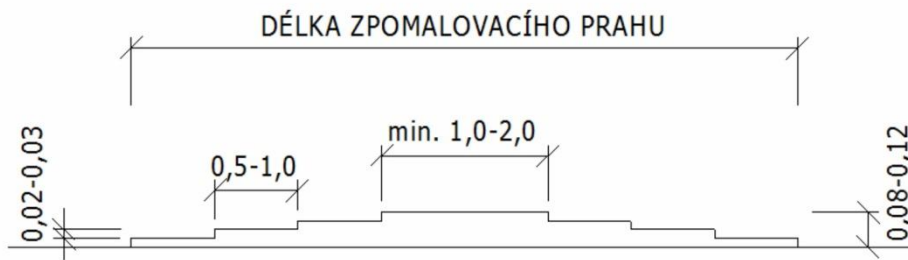
Jejich modifikace může mít podobu dlouhého zpomalovacího prahu (prostého), s integrovaným přechodem pro chodce nebo jako místo pro přecházení. Poslední dvě zmíněné modifikace musí být navrženy s ohledem na osoby s omezenou schopností pohybu a orientace. Dlouhé prahy se využívají zejména v obytných a pěších zónách a v zónách s dopravním omezením. Zejména v historických částech měst a obcí jsou architektonicky dlouhé zpomalovací pruhy (především stupňovité) vhodnější, neboť se se svojí konstrukcí, tvarem i zabarvením hodí do centra města více nežli žluto-černý krátký práh. [3] [8]

Dalším kritériem pro dělení dlouhých prahů je jejich geometrické řešení, podle něj můžeme dlouhé prahy rozdělit na prahy lichoběžníkové (obrázek č. 4), stupňovité (obrázek č. 5) a kruhové/vlnové (obrázek č. 6).



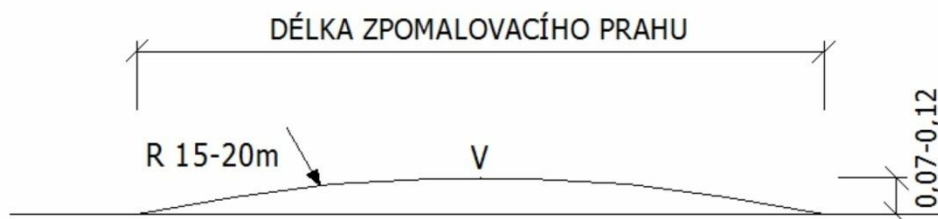
Obrázek 4: Schéma lichoběžníkového prahu.

Zdroj: [3]



Obrázek 5: Schéma stupňovitého prahu.

Zdroj: [3]



Obrázek 6: Schéma kruhového prahu.

Zdroj: [3]

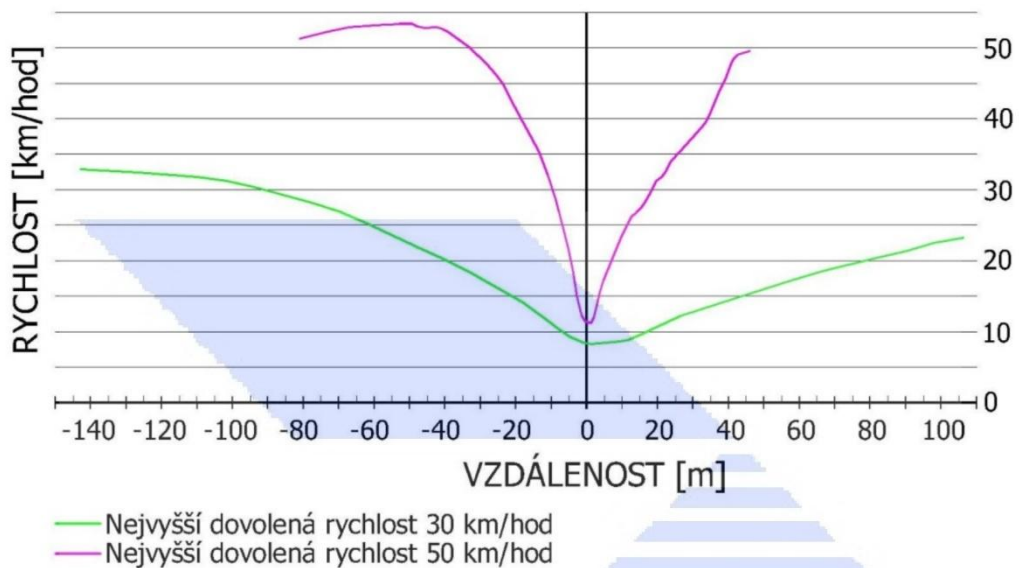
Délka prahu se liší dle jeho využití, dlouhé zpomalovací prahy dosahují délky od minimálně 3 do maximálně 15 m. Doporučená výška dlouhých prahů je v rozmezí od 75 do 150 mm. Největší vliv na rychlost však nemá výška prahu, ale sklon nájezdových ramp. Hodnota sklonu se měří od podélného sklonu komunikace, nikoliv od vodorovné roviny. Doporučené sklony nájezdových ramp v závislosti k maximální dovolené rychlosti vidíme v tabulce č. 4. Na obrázku č. 7 je pak zachycen průměrný průběh rychlostí v okolí prahu, získaných při realizovaných měřeních. Bohužel, nejsou dostupné bližší informace o typu prahu, ani o sklonech nájezdových ramp. Z diagramu je nicméně zřetelné, že průměrné rychlosti při přejezdu se pohybují okolo 10 km/h, což je podobně jako u krátkých prahů, výrazně méně, než jaká je v daném úseku nejvyšší povolená rychlost. [3] [11]

Tabulka 4: Sklon nájezdových ramp vzhledem k nejvyšší dovolené rychlosti vozidel.

Zdroj: [3]

Nejvyšší dovolená rychlost (km.h ⁻¹)	Sklon nájezdové rampy*
20, 30	1:10 – 1:20
40	1:20 – 1:30
50	1:30 – 1:40

*Pozn.: Měřeno od sklonu nivelety komunikace, nikoliv od vodorovné roviny.



Obrázek 7: Průměrný průběh rychlosti v okolí dlouhého prahu.

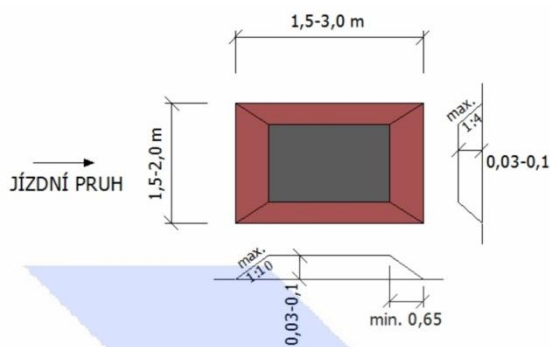
Zdroj: [3]

3.1.1.3 Zpomalovací polštáře

Zpomalovací polštáře jsou prvkem zpomalování dopravy, které mají podobný efekt jako krátké či dlouhé prahy, ale mají výhodu ve variabilitě svých geometrických rozměrů a použití. Jejich geometrické rozměry a umístění na vozovce mohou například zvýhodnit vozidla MHD, či cyklistickou dopravu. Zvýhodnění spočívá ve využití rozdílného rozchodu kol autobusů a osobních vozidel, u cyklistické dopravy pak výraznější odstup od obrubníku. Zpomalovací polštáře musí být umístěny na vozovce tak, aby se jim řidiči osobních automobilů nemohli úplně vyhnout.

Zpomalovací polštáře rozdělujeme dle tvaru na lichoběžníkové a kruhové. Lichoběžníkový tvar je možný provést stavebně či z plastových prefabrikátů. Jak je patrné z obrázku č. 8, výška takového polštáře je v rozmezí 30 až 100 mm, délka prahu je pak mezi 1,5 až 3 m. Šířka a odstup od obrubníku se liší v závislosti na oblasti použití a počtu použitých polštářů. Nájezdové úhly jsou pak shodné s dlouhými prahy

(viz tabulka č. 4), sklon bočních náběhů musí být maximálně 1:4. Možnosti použití lichoběžníkových polštářů je široké, lze je použít samostatně, v kombinaci se středním dělicím ostrůvkem nebo s využitím vysazených chodníkových ploch. Kruhové polštáře jsou prefabrikované plastové díly, které se upevňují k vozovce stejně jako krátké prahy. Jejich poloměr je minimálně 200 mm a výška se pohybuje mezi 30 a 60 mm, v závislosti na požadované rychlosti. Polštáře se většinou umísťují v ose kolmé na osu komunikace, v případě zvýšení efektivity lze tuto osu od původního směru vychýlit. [3]



Obrázek 8: Rozměry a schéma lichoběžníkového tvaru polštáře, používaného v jednom jízdním pruhu.

Zdroj: [3]

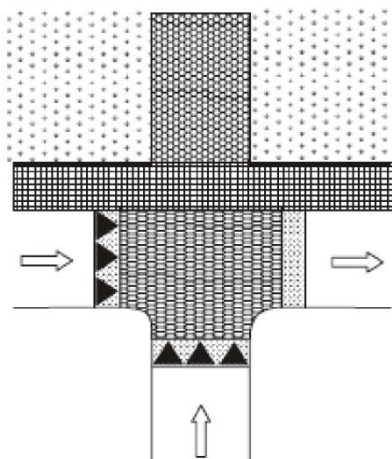
3.1.1.4 Actibump

Systém Aktivního Snižování Rychlosti (Actibump) představuje multifunkční, programovatelné a záznamové dopravní zařízení, vytvářející krátkou umělou nerovnost na vozovce v okamžiku přejezdu vozidla, a to pouze těm vozidlům, která překračují nejvyšší dovolenou rychlost. Principem funkčnosti Actibump je dynamické vytvoření umělé nerovnosti v okamžiku porušení dopravní předpisů a související psychologický efekt z jejího přejetí. Zároveň funguje i pozitivní psychologický efekt při opakovaném průjezdu zabezpečenou oblastí. [13]

systemy donutí většinu především místa znalých řidičů dodržovat povolenou rychlost. U řidičů a to zejména jednostopých vozidel a cyklistů, kteří nejsou plně seznámeni se zařízením Actibump v daném území, je systém vcelku bezúčelný a v jistých případech možná i nebezpečný.

3.1.2 Zvýšené křižovatkové plochy

Zvýšené plochy jsou zvláštním případem dlouhých zpomalovacích prahů. Výhodou oproti dlouhým prahům je, že rychlost není snížena bodově, ale v celém řešeném úseku křižovatky. Schéma zvýšené křižovatkové plochy vidíme na obrázku č. 10.



Obrázek 10: Příklad zvýšené křižovatkové plochy.

Zdroj: [11]

3.1.3 Šikana

Jedná se o příčné vychýlení jízdního pruhu, které nutí řidiče k opakované změně směru jízdy s malými poloměry a tím dosažením redukce rychlost vozidel. Vychýlení lze dosáhnout vysazením chodníkových ploch, či vložením středních dělicích ostrůvků. Šikana zároveň zamezuje přímému dlouhému rozhledu, který psychicky evokuje možnost jízdy vyšší rychlostí.

3.1.4 Zúžení vozovky

Jde o umělé zúžení komunikace, za účelem snížení rychlosti a intenzit motorových vozidel. Při návrhu je třeba brát v ohledu intenzitu dopravy v daném úseku, aby nedošlo k nežádoucím kongescím. Zúžení lze dosáhnout vložením středního dělicího ostrůvku, nebo oboustranným či jednostranným vysazením chodníkových ploch. Zúžením vozovky docílíme jednoho obousměrně pojížděného pruhu, nebo dvou pruhů menší šířky.

3.1.5 Miniokružní křižovatky

Miniokružní křižovatky mají podobnou charakteristiku jako okružní křižovatky s tím rozdílem, že jejich vnější průměr $D \leq 23$ m, jejich středový ostrůvek musí umožnit ojedinělý průjezd rozměrnějších vozidel. Tato větší vozidla pak miniokružní křižovatku projíždějí stejně jako křižovatku průsečnou a dávají přednost všem vozidlům, které křižovatkou projíždějí, nebo do ní vjíždějí. Středový ostrůvek bývá zpevněn dlažbou, která je vyšší než přilehlá vozovka, aby bylo zamezeno pojíždění středového ostrůvku osobními automobily. Miniokružní křižovatka se zřizuje zejména na komunikacích funkční skupiny C. Ve Velké Británii se budují miniokružní křižovatky i bez stavebních úprav, pouze za využití vodorovného dopravního řešení. Toto jednoduché a ekonomické řešení se však v Německu neosvědčilo. Obrovskou výhodou miniokružních křižovatek je zvýšení bezpečnosti. Dle výzkumu provedeného v USA dochází k snížení rizika dopravních nehod až o 73 %. Nutno konstatovat, že v USA se mimo jiné zřizuje i modifikované miniokružní křižovatky bez pojízdného středového ostrůvku. [14] [15]

Častá je i kombinace více prvků zklidňování dopravy. Na obrázku č. 11 můžeme vidět příklad použití miniokružní křižovatky, zvýšené křižovatkové plochy s integrovaným přechodem pro chodce a vysazené chodníkové plochy. Otázkou zůstává, zda má v tomto případě vůbec smysl kombinace zvýšené křižovatkové plochy a miniokružní křižovatky, když u samotné zvýšené křižovatkové plochy dochází k snížení rychlosti v celém úseku.

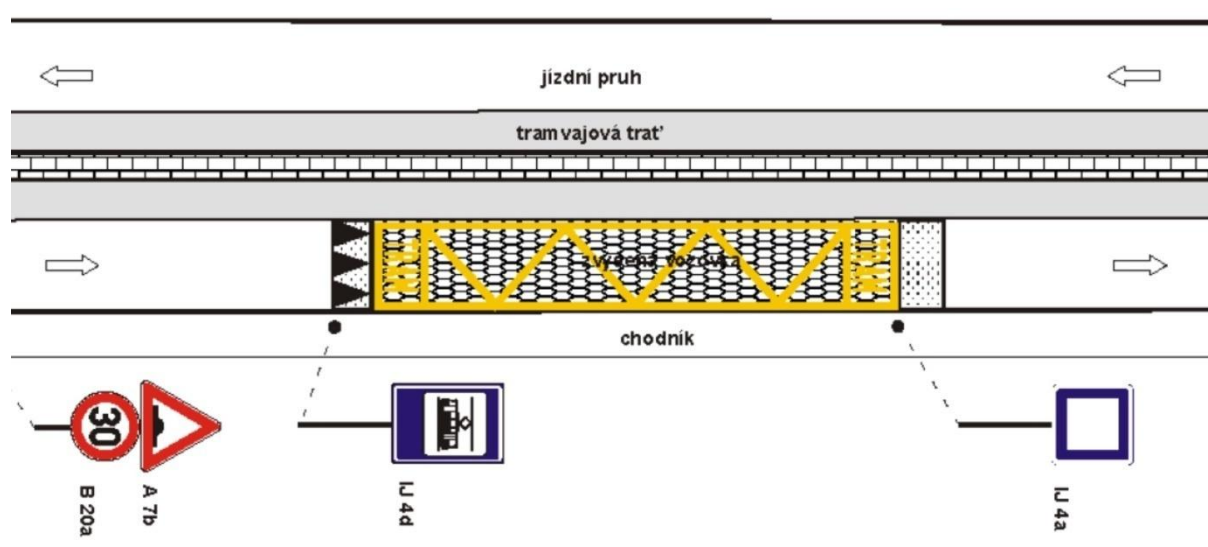


Obrázek 11: Kombinace více prvků zklidňování dopravy.

Zdroj: [autor, Pardubice, křižovatka ulic Gorkého a Československé armády]

3.1.6 Zvýšené zastávkové plochy

Zastávky se zvýšeným jízdním pásem je vhodné použít v místech, kde nahrazují zastávky s nástupištěm z úrovně vozovky jízdního pásu. Podmínkou pro jejich zřizování je umístění nezvýšeného tramvajového pásu na komunikaci, nebo v případech kdy není možná realizace zastávky s nástupním ostrůvkem. Zároveň je nutné brát ohled na intenzity dopravního proudu v řešeném úseku, zvýšené zastávkové plochy jsou vhodné pouze na méně zatížených komunikacích. Schéma zvýšené zastávkové plochy je uvedeno na obrázku č. 12.[11]



Obrázek 12: Schéma zvýšené zastávkové plochy.

Zdroj: [11]

3.2 Prvky psychologické

Jedná se o takové prvky, které mají za úkol donutit řidiče ke zvýšení pozornosti a ke snížení rychlosti. Toho lze například dosáhnout navozením pocitu rychlejší jízdy, než jakou řidič skutečně jede. Jako další vhodná varianta se jeví přivození pocitu rizika z rychlé jízdy. To může být zajištěno například naznačením výraznější perspektivy, nebo upozorněním na kontrolu rychlosti. Největší nevýhodou psychologických prvků je, že fyzicky nepřinutí řidiče zpomalit.

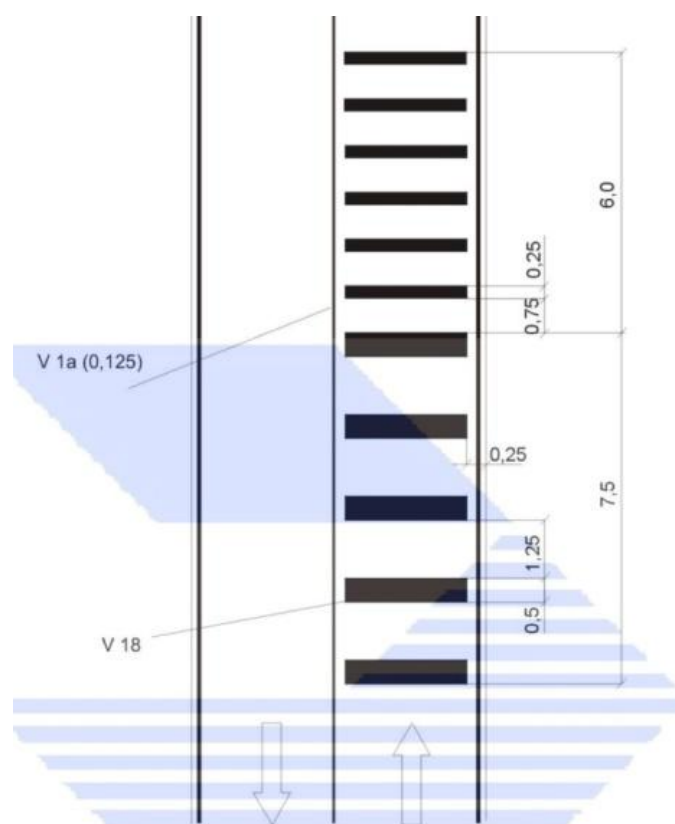
3.2.1 Brány

Brány mají psychologický efekt, který řidiče informuje o začátku či konci úseku s odlišným dopravním režimem. Fungují výrazně lépe, než samostatné svislé dopravní značení. Často dochází ke kombinaci s fyzickými prvky zklidňování dopravy. Zejména s využitím středového dělicího ostrůvku a následným vytvořením šikany buď pro oba pruhy, nebo minimálně pro vjezdový pruh. [4]

Konstrukce brány má významný vliv na dosažení požadované rychlosti. Kombinace brány a fyzických prvků, lze dosáhnout redukce rychlosti až o 15 km/h. Změnou povrchu vozovky, zejména pak odlišnou barvou či texturou, lze docílit snížení rychlosti na vjezdu až o 10 km/h. Pouhé svislé a vodorovné značení snižuje průměrně rychlost o 3 km/h. [17]

3.2.2 Optická psychologická brzda

Optická psychologická brzda je tvořena z řady příčných čar, u kterých se jejich rozestup postupně snižuje, až k rizikovému místu. Tato předem definovaná posloupnost příčných čar vyvolává v řidiči pocit rychlejší jízdy a předpokládá se jeho zpomalení. Konkrétně se jedná se o vodorovné dopravní značení V 18, které vidíme na obrázku č. 13. [4]



Obrázek 13: Příklad provedení značky č. V 18. Optická psychologická brzda.

Zdroj: [4]

3.2.3 Optické zvýraznění přechodu

Pomocí technologie Eurotherm lze dosáhnout 3D efektu zvýšené vozovky. Jak můžeme vidět na obrázku č.14, jedná se o optický klam, který se řidiči projeví ve vzdálenosti 10 až 15 m před přechodem pro chodce. Vyvolává iluzi dlouhého zpomalovacího prahu s integrovaným přechodem. Takový přechod má životnost 4 až 5 let, je odolný vůči mechanickým vlivům, ale například i proti soli. Nevýhodou je, že nepůsobí na místo znalé řidiče. Účinnost tohoto prvku zatím nebyla plně ověřena, nicméně první měření ukázala snížení rychlosti v průměru až o 7 km/h. [16]



Obrázek 14: Optické zvýraznění přechodu.

Zdroj: [16]

3.2.4 Upozornění na kontrolu rychlosti

Toto zařízení se skládá z měřicího zařízení rychlosti, které následně ukazuje aktuální rychlost na displej, případně se zobrazí pokyn „zpomal“, či „děkujeme, že dodržujete povolenou rychlost“. Takové zařízení se instaluje zejména v okolí škol a školek, nebo na další riziková místa, kde je řidiče nutné důrazně upozornit na dodržování povolené rychlosti. Další výhodou je i možný strach řidičů z represe kvůli překročení povolené rychlosti.

3.2.5 Odlišný kryt vozovky

Odlišný materiál, barva, vzor nebo textura vozovky se používají k optickému zvýraznění změny dopravního režimu. Nejčastější využití najdeme před přechodem pro chodce, kde VDZ či SDZ doplňuje právě odlišný kryt vozovky. [4]

3.2.6 Opakování a zvýraznění významu dopravního značení

Opakování dopravních značení, slouží ke zvýšení pozornosti řidiče a zdůraznění dopravního značení. Provádí se současným doplněním VDZ a SDZ, případně opakování těchto prvků. Zásady využití vychází z TP 133.

Pro zvýraznění významu se využívá větší rozměr dopravního značení, nebo využití retroreflexního žlutozeleného podkladu. Zásady využití vychází z TP 65.

3.3 Prvky fyzicko-psychologické

Fyzicko-psychologické prvky využívají úpravu krytu vozovky, aby lépe upozornili řidiče, nejčastěji akusticky či pomocí vibrací. Mezi tyto prvky patří například příčné zvýšené proužky (výška proužku je maximálně 15 mm), řádky z dlažebních kostek, vyfrézované drážky či proužky, nebo opticko-akustické brzdy, které využívají zdrsňovacích přísad v barvě. Tyto prvky řidič vnímá lépe než čistě optické prvky, neboť řidiče ovlivňují i akusticky. Stejně jak psychologické prvky však přímo řidiče zpomalit nedonutí. [4]

4 Emise

Pojem emise pochází z latinského slova e-mitto a v překladu znamená vysílat, vydávat, nebo vypouštět. Pojem emise se využívá v různých oborech, avšak v dopravě jej definujeme jako nežádoucí produkt dopravy, který má většinou škodlivý vliv na lidské zdraví a životní prostředí. Emise mohou být antropogenního původu (průmysl, doprava, energetika, zemědělství atd.), nebo přírodního původu (sopky, požáry, prašné bouře, rozptyl mořské soli). Dále lze emise rozdělit na primární a sekundární. Primární emise vychází ze zdroje přímo do ovzduší a při jejím vytvoření neprošla chemickou reakcí. Sekundární emise naopak chemickou reakcí prošla. V této bakalářské práci bude se nadále zabývat emisemi, které produkují silniční vozidla.

Množství nebo intenzitu emisí lze zjistit zkouškami, které mají různý význam podle toho, v jaké fázi výrobku jsou prováděny. Zkoušky prováděné při výzkumu, mají analytický charakter a jsou zaměřeny na odstranění zdrojů a příčin emisí. Při vývoji a výrobě jsou kvůli schválení k provozu prováděny zkoušky podle závazné legislativy. V provozu jsou pak zkoušky prováděny dle stanovené legislativy, jedná se hlavně o exhalace, v odůvodněných případech pak i hluk, či elektromagnetické záření. [1]

Silniční vozidla při svém provozu vydávají následující emise:

- exhaláty a částice
- hluk
- vibrace
- elektromagnetické záření
- světlo
- nečistoty
- jiné (teplo, atd.) [konstrukt]

V následujících kapitolách se seznámíme s jednotlivými druhy emisí.

4.1 Exhalace a částice

Vznik exhalátů a jejich následný dopad na životní prostředí, zejména pak znečištění ovzduší, má každoročně za následek až 6,5 miliónů úmrtí, což znamená čtvrtý největší rizikový faktor pro lidské zdraví (po vysokém tlaku, stravovacích problémech a kouření). Zdrojem exhalací je proces spalování motoru, jde o nedokonalé spálení paliva, přičemž vznikají výfukové plyny obsahující exhalace a pevné částice. Složení a množství exhalací závisí na typu i stavu spalovacího motoru a paliva, dále pak na užití zařízení pro snížení množství exhalací (např. katalyzátor, filtr pevných částic). [18] [1]

4.1.1 Složení exhalací

- Oxidy dusíku NO_x

Jedná se především o NO (oxid dusnatý) a NO₂ (oxid dusičitý), které vznikají oxidací vzdušného dusíku N₂ při vysoké teplotě hoření. Motorová vozidla měla v roce 2003 až 55 % podíl na světové tvorbě NO_x. Oxid dusičitý společně s oxidy síry mají vliv na tvorbu kyselých dešťů, které mají dále negativní vliv nejen na vegetaci, ale i stavby. Dále dochází i k okyselování vodních ploch a toků. Oxid dusičitý dále přispívá k tvorbě přízemního ozonu. Oxid dusnatý je pak jedním ze skleníkových plynů. Celkově jsou to látky se širokým spektrem negativních dopadů, jak na globální ekosystém, tak i na samotné lidské zdraví (dráždí zejména dýchací cesty a zhoršuje přenos kyslíku z plic do tkání). Oxidy dusíku jsou legislativně limitovány. [24]

- Oxidy uhlíku CO_x

Mezi oxidy uhlíku patří především oxid uhličitý (CO₂) a oxid uhelnatý CO. Vznikají nedokonalým spalováním uhlíkatých paliv. CO se váže na hemoglobin (krevní barvivo) mnohem rychleji než kyslík, který je tímto způsobem vytěšňován. CO je dokonce ve velmi vysoké koncentraci přímo jedovatý. CO₂ je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, není jedovatý, ale zvyšuje negativní účinky CO, dále se podílí na vzniku skleníkového efektu. Množství CO je přímo legislativně limitováno, množství CO₂ se dlouhodobě snižuje příznivější spotřebou paliva, nelze jej snížit řízením hoření. [26] [2]

- Oxid siřičitý SO₂

U spalování kapalných paliv je prakticky všechna síra přítomna v palivu oxidována na oxid siřičitý. Je podstatnou příčinou pro tvorbu Londýnského typu smogu, společně s NO₂ mají vliv na tvorbu kyselých dešťů. Oxid siřičitý dráždí dýchací cesty a výrazně ohrožuje osoby trpící astmatem. Přímou legislativou omezen není, je však snaha o nepřímé omezení cestou limitů chemického složení paliva. [25]

- HC

Uhlovodíky vznikají v průběhu spalování, pokud není dostatečný přísun kyslíku nebo je příliš chudá směs a obsah válce dostatečně neprohoří. Obsahují karcinogenní aromáty a další škodlivé látky. Podílejí se na vzniku přízemního ozonu. [7]

- Pevné částice

Jedná se částice s velikostí v řádu od několika nanometrů až po mikrometry. Velikost částic je důležitým údajem pro jejich riziko na lidské zdraví, do plicních sklípků totiž projdou až částice o rozměrech asi 1 μm , větší částice se postupně zachytávají v nosohltanu. Největším zdrojem pevných částic jsou vznětové motory, v poslední době jsou automobily s vznětovým motorem vybaveny filtrem pevných částic, který jejich množství emitovaného do ovzduší redukuje. Spolu se zpřísnujícími emisními normami se v budoucnu počítá i s využitím filtru pevných částic i u zážehových motorů. [18] [27]

4.1.2 Zkoušky exhalací

Legislativa pro měření exhalací

- Rozdělení zkoušek ve fázi výrobku bylo uvedeno na začátku kapitoly. Vozidla musí splňovat příslušné předpisy EHK/OSN, směrnice EHS, normy či vyhlášky Ministerstva dopravy ČR. Samotné měření mohou provádět pouze akreditované zkušebny.

Referenční palivo

- Pro objektivitu a srovnatelnost zkoušek se používá palivo o definovaných vlastnostech. Referenční paliva rozdělujeme dle EHK/OSN č. 83 – Emise škodlivin z motorů podle požadavků na palivo.
 - o Bezolovnatý benzín
 - o Motorová nafta
 - o LPG (zkapalněný ropný plyn)
 - o NG (zemní plyn)
 - o Etanol pro vznětové motory
- Zařízení pro měření exhalací
 - o Dynamometry

Dynamometr je víceúčelové zařízení, konstruované z jednoho či dvou válců. Pro zkoušky exhalací se využívají jako simulátory reálného zatížení motoru při provozu vozidla.
 - o Opacimetr

Jde o zařízení měřící kouřivost vznětových motorů. Princip měření je založen na absorpci světla. Na jednom konci trubice naplněné plynem je

zdroj světla, na druhém konci pak detektor, který detekuje intenzitu dopadajícího světla a tím analyzuje složení plynu uvnitř trubice.

- Analyzátor plynů
Sleduje se množství CO, CO₂, HC a NO₂. Metody analýzy plynů mohou být odlišné pro různé plyny, nicméně analyzátory bývají sdruženy do jednoho přístroje.
- Zařízení pro sběr, uchování a přemístění vzorků plynu
- Filtrace pro zachycení částic

Musí být vyroben z hydrofobního materiálu, inertního vůči komponentům výfukového plynu.

- Další zařízení a požadavky
Pro provoz a cejchování zařízení jsou nutné některé čisté plyny. Dále jsou nutná zařízení pro měření objemu, teploty, tlaku, absolutní vlhkosti a chladicí zařízení. Všechna tato zařízení podléhají určité třídě přesnosti, u plynů je pak požadována určitá čistota.

- Zkoušky exhalací

Mezi zkoušky exhalací patří zkoušky typu I, II, III, IV, V a VI, zkouška OBD, zkouška viditelných emisí a zkouška emisí vznětových motorů. Zkoušky jsou prováděny za rozdílných podmínek a sleduje odlišné množství či charakter emisních látek. Každá zkouška má svá kritéria příslušné legislativy a to zejména EHK/OSN. Kritéria jsou v čase dynamická, tedy zpřísňují se s časem. [1]

4.1.3 Emisní normy

Emisní normy jsou obecně limitní hodnoty výfukových exhalací. První emisní norma vznikla roku 1968 v Kalifornii, v Evropě začala platit první emisní norma dle EHK-15 v roce 1971. V roce 1992 se objevila první norma s označením EURO. Emisní normy EURO limitují obsah CO, HC, NO_x a pevných částic, přehled limitních hodnot pro jednotlivé exhaláty a jejich vývoj v čase je znázorněn v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Přehled emisních norem a jejich limitní hodnoty.

Zdroj: [19]

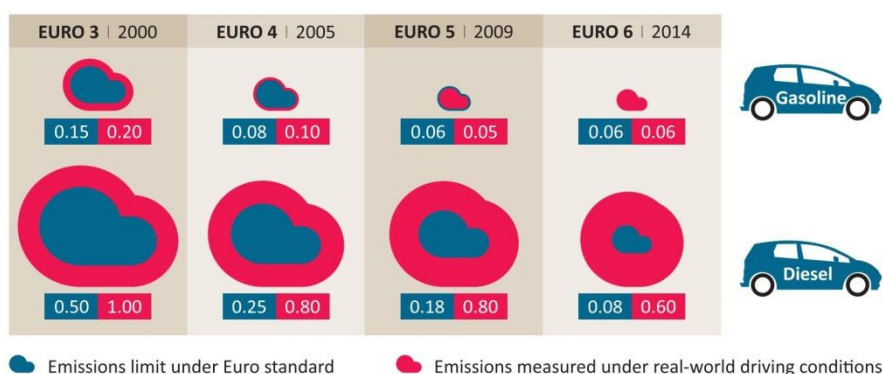
Rok/norma	CO		NO _x		HC + NO _x		HC	PČ	
	[g/km]		[g/km]		[g/km]		[g/km]		
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY

* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Na základě těchto norem se v ČR odvíjí ekologická daň. Většina západních zemí EU bere problematiku emisí vážněji a tak například zakazují vjezd do větších měst vozidlům splňující starší emisní normy nebo dotují provoz či koupi ekologických vozů. Problémem emisních norem je právě měřící cyklus (nyní se používá cyklus NEDC), který se značně liší od reálného chování řidičů, proto se do budoucna počítá s použitím nového cyklu WLTC, který by měl více odpovídat jízdě v reálném provozu. Hovoří se také o měření emisních hodnot přímo v provozu. Obecně je známo, že se reálná spotřeba paliva vozidel liší od té udávané výrobcem. Spotřeba paliva se vypočítává právě z naměřených emisí. Příkladem může být nedávná aféra Dieseltgate, kdy více výrobců automobilů přiznalo manipulaci s výsledky či průběhem laboratorních zkoušek. Jak vidíme na obrázku č. 15, redukování množství exhalací se vcelku daří, nikoli však tak, jak určují emisní normy. Ve výfukových plynech je obsaženo mnohem více prvků nebo sloučenin, než které byly výše uvedeny. Nejsou však prioritně škodlivé a tak prozatím nejsou limitovány. [1] [19]



Obrázek 15: Srovnání laboratorních a reálných hodnot exhalací dle Euro normy.

Zdroj: [18]

4.2 Hluk

Za hluk považujeme nežádoucí zvuk. Zvuk je mechanické vlnění, které se může šířit plynným, kapalným i pevným prostředím. V jakémkoliv prostředí mohou být tyto vlny podélné, v pevných látkách mohou být i příčné. Rychlost zvuku se odvíjí od prostředí, ve kterém se vlny šíří. Ve vzduchu při teplotě 20° C je rychlost zvuku přibližně 340 m.s⁻¹. Frekvence, kterou je schopen člověk vnímat, je přibližně 20 až 20 000 Hz, proto má smysl se z hlediska hygieny zabývat pouze tímto frekvenčním pásmem. [1] [6]

Zdrojem hluku v dopravních prostředcích bývá:

- spalování motorů
- pohyb mechanismů
- proudění vzduchu
- hluk při valení pneumatik

Z hlediska zkoušení vozidla jsou povinné zkoušky vnějšího hluku jedoucího vozidla a zkouška vnějšího hluku stojícího vozidla. Nepovinná zkouška je například zkouška vnitřního hluku vozidel. [1]

4.2.1 Veličiny a jednotky hluku

Zdroj zvuku vytváří vlnoplochy, kterými postupuje akustické vlnění. Vlnoplocha je v daném časovém okamžiku homogenní a její směr určuje akustický paprsek, který je na vlnoplochu kolmý. Zvuk se šíří podélným vlněním, při kterém dochází k vychylování hmotných bodů z jejich rovnovážné polohy. Výchyly hmotných bodů jsou obecně funkcí času a polohy hmotného bodu. Tento jev můžeme aproximovat na lineární oscilátor. Základní veličiny jsou uvedeny v tabulce č. 6. [6] [10]

Tabulka 6: Veličiny a jednotky zvuku.

Zdroj: [1]

Název	Označení	Jednotka
Hladina zvuku	L _A , L _B , L _C	Decibel [dB]
Hladina akustického tlaku		
Hlasitost	N	son
Akustický tlak	P	Pascal [Pa]
Akustická energie	W	Joule [J]
Akustický výkon	P (W)	Watt [W]
Intenzita zvuku	J (I)	Watt na metr čtvereční [W*m ⁻²]

4.2.2 Základní vztahy a definice

Pohybová rovnice lineárního oscilátoru

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + ky = 0$$

Časový průběh harmonického kmitání vyjádřený z pohybové rovnice

$$y = y_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad [\text{m}]$$

Kde:

y – výchylka [m]

y_0 – amplituda [m]

ω_0 – úhlová frekvence [s^{-1}]

t – čas [s]

φ_0 – fázový posun [-]

Vztah pro úhlovou frekvenci

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [\text{s}^{-1}]$$

Kde:

k – tuhost pružiny [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]

m – hmotnost [kg]

Frekvence (kmitočet), určuje počet kmitů za sekundu. Je dána vztahem

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad [\text{s}^{-1}]$$

Kde:

T – perioda [s]

Hladina akustického tlaku L , rozhodující pro hodnocení hluku je dána vztahem:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

Kde:

p – akustický tlak [Pa] (je rovnoměrný v čase a je závislý na vzdálenosti od zdroje akustických vln)

p_0 – referenční akustický tlak $20 \cdot 10^{-6}$ [Pa]

Zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB odpovídá desetinásobku akustického tlaku.

Hladina akustického výkonu L_p je dána vztahem:

$$L_p = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad [\text{dB (P)}]$$

Kde:

P - akustický výkon [W]

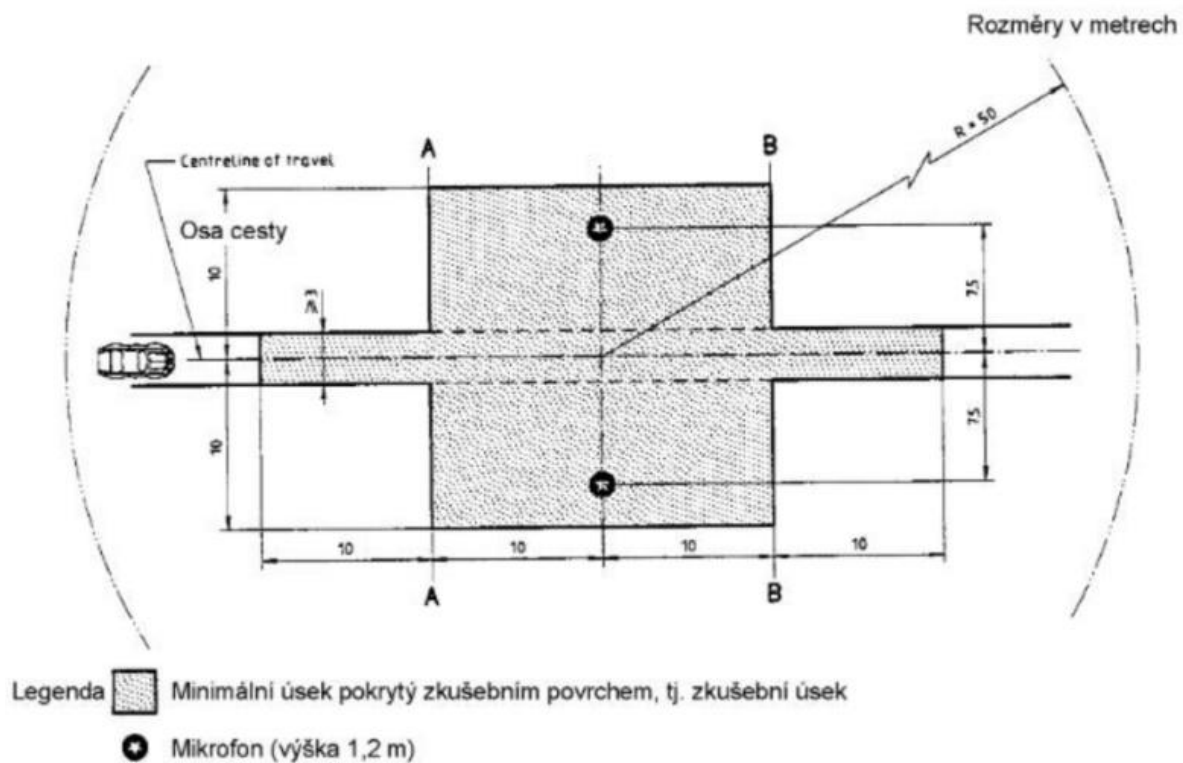
P_0 – referenční akustický výkon 10^{-12} [W]

Každému zvýšení intenzity o desetinásobek odpovídá nárůst hladiny zvuku o 10 dB.

Hladina hluku A, označena L_A , je hladina akustického tlaku hluku nebo zvuku zjištěná při použití váhového filtru A zvukoměru. Váhový filtr propouští určité spektrum, označuje se [dB (A)]. [1] [6] [10]

4.2.3 Metoda měření vnějšího hluku jedoucích vozidel

Zkušební místo pro měření hluku musí splňovat definované geometrické tvary, fyzikální vlastnosti povrchu a okolí místa. Zkušební místo vozidel je znázorněno na obrázku č. 16. Při měření se používá přesný zvukoměr (popis v publikaci č. 179 (1965) a č. 651 (1979) druhé vydání, Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC)). Při měření je možné použít zabudovaný rychloměr a otáčkoměr, přičemž nejvyšší povolená odchylka údajů je $\pm 2 \%$. Mikrofon zvukoměru je umístěn ve vzdálenosti $7,5 \pm 0,2$ m od osy dráhy vozidla a $1,2 \pm 0,1$ m nad zemí. Osa maximální citlivosti mikrofonu je vodorovná a kolmá na osu dráhy. Vozidlo se blíží konstantní rychlostí k referenční ose, která je vzdálená deset metrů od osy zvukoměru. Při přejetí této referenční osy, začne vůz plně akcelarovat až do chvíle, kdy je vzdálen 10 m od osy měřicího zařízení. Hluk je měřen po celou dobu akcelerace a je zaznamenávána jeho maximální hladina [dB]. Měření se provede z obou stran nejméně dvakrát. [1] [7] [21]



Obrázek 16: Schéma zkušební dráhy pro měření hluku.

Zdroj: [7]

4.2.4 Legislativa související s hlukem

- a) Předpisy EHK/OSN č.:
- 41 – Vnější hluk vozidel kategorie L
 - 51 – Hladiny hluku vozidel s min. 4 koly
 - 63 – Vnější hluk mopedů
 - 59 a 92 – Náhradní výfukové systémy

4.3 Vibrace

Jedná se mechanické kmitání tuhých těles. Vzniká pohybem pružného tělesa v prostředí, kde jeho jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy.

U dopravních prostředků jsou hlavními zdroji vibrací zejména:

- Nevyvážené hmoty rotujících částí (kola, hřídele, atd.)
- Nevyvážené hmoty posuvných částí (písty, ojnice)
- Nerovnost vozovky

[1]

4.3.1 Veličiny a jednotky vibrací

Deskriptorem pro hodnocení vibrací přenášených na člověka je průměrná (energeticky ekvivalentní) hladina zrychlení vibrací, která se podle způsobu a směru působení vibrací kmitočtově váží příslušným váhovým filtrem, zabudovaným ve vibrometru. [22]

Hladina zrychlení vibrací je určena vztahem:

$$L(a) = 20 \log \frac{a_{ef}}{a_0} \quad [\text{dB}]$$

Kde:

a_{ef} – efektivní hodnota zrychlení vibrací v měřeném místě [m.s^{-2}]

$a_0 = 10^{-6} \text{ m.s}^{-2}$

Pro harmonické kmitání platí:

$$a_{ef} = \frac{a_{\max}}{\sqrt{2}} \doteq 0,707 a_{\max} \quad [\text{m.s}^{-2}]$$

Kde:

a_{\max} – maximální amplituda zrychlení [m.s^{-2}]

Efektivní hodnota zrychlení určená z hladiny zrychlení $L(a)$:

$$a_{ef} = a_0 10^{\frac{L(a)}{20}} \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad [1] [10]$$

4.3.2 Vliv vibrací na lidské tělo

Vibrace mohou mít dlouhodobě negativní vliv na lidské zdraví. Celkové vibrace na člověka mohou být zdraví škodlivé už při frekvenci v rozmezí od 0,5 po 80 Hz. Vibrace přenášené na paže v rozmezí od 6,3 do 1250 Hz, mohou způsobit poruchy nervových spojení a poškození svalových vláken v horní části těla. Frekvence nižší jak 0,5 Hz mohou způsobit nevolnost. Odhaduje se, že 4 až 7 % všech zaměstnanců v severní Americe a Evropě je vystaveno potenciálně škodlivým vibracím přenášených celého těla. Vibrace lze eliminovat pomocí pružných materiálů (např. pryž) a tím zmírnit riziko poškození zdraví, zvýšit komfort uživatele a prodloužit životnost výrobku. Obecně se rozlišuje limity dle doby působení vibrací, druh práce a kontinuita působení. Použití zpomalovacích prvků nemá výrazný vliv na zvýšení. [1] [21]

4.3.3 Legislativa související s vibracemi

Vybraná legislativa týkající se vibrací. Legislativa týkající se měření konkrétně mechanického kmitání není uvedena.

Zákony

- 37/1977 sb.;46/1980 – Hygienický předpis Ministerstva zdravotnictvím

Normy

- ČSN EN 30 326-1 – Laboratorní metoda hodnocení vibrací vozidlových sedadel
- ISO 2631 – Hodnocení expozice člověka celkovými vibracemi
- ISO 8041:1984 – Vibrace působící na člověka; Měřicí přístroje
- ISO 10 326 – Vibrace sedadel [1]

4.3.4 Zařízení pro měření vibrací

- Zdrojem vibrací je nerovnost vozovky
Pro takové měření je potřebné místo s povrchem, které má nejmenší budící amplitudu a frekvenci svých nerovností. Na zkušebním polygonu jsou pak uměle vytvořené nerovnosti (paved road). Další možností je pak válcová zkušebna, vybavena uměle seřizovatelnými překážkami.
- Zdrojem vibrací jsou nevyvážené hmoty rotujících či posuvných částí vozidla.
V tomto případě je nutné vyloučit vibrace od nerovné vozovky. Využívají se tak válcové zkušebny, nebo dynamometry.
- Zkouška separátních vozidel.
Sedadlo vozidla je upevněno na pulzační stůl, který simuluje kmitání. Efektivní hodnota vibrací stolu je požadována za budící. Zkouška je prováděna podle ČSN EN 30 326-1 (ISO 10 326).
- Zkušební figuríny
Zkušební figuríny se používají pro snímání celkových vibrací přenášených na tělo. Figuríny jsou vybaveny tříosými akcelerometry v hlavě a v hrudníku.
- Impaktory
Mají podobné využití jako zkušební figuríny, používají se v případech, kdy zkoumáme pouze určitou část lidského těla. Vhodné použití impaktoru je například u snímání vibrací, přenášených na sedící osoby.
-Zařízení pro měření mechanického kmitání
Jedná se o soubor přístrojů, kterými měříme vibrace přenášené na osoby nebo konstrukci. Výstupem jsou fyzikální veličiny, které můžeme přímo porovnat s kritérii hodnocení. Obvyklou veličinou na výstupu je zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$], [g], [dB], dále pak například rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], amplituda [m] a frekvence [Hz]. [1]

4.4 Elektromagnetické záření

Elektromagnetickou vlnou označujeme oscilaci elektrického a magnetického pole ve tvaru postupné vlny. Všechny možné frekvence těchto vln tvoří spektrum, mezi něž patří i viditelná část (viz kapitola světlo). Při provozu vozidel také dochází k produkci elektromagnetického záření, jedná se o záření o vysoké frekvenci (30- 1000 MHz). Zdrojem tohoto záření při provozu automobilu mohou být elektronická zařízení ve vozidle, či například zapalování zážehových motorů. Problémy spojené s elektromagnetickým zářením jsou zejména ovlivňování jiných elektronických zařízení nebo rušení radiového a televizního signálu. U některých vlnových délek elektromagnetického vlnění je znám škodlivý účinek na lidské zdraví, nicméně se jedná o řádově menší vlnové délky (zároveň řádově větší frekvence) než emitují automobily. Vozidla jsou vybavena konstrukčními prvky, které elektromagnetické záření eliminují. Schopnost eliminovat vysílání či přijímání elektromagnetického záření se nazývá elektromagnetická kompatibilita. Tento typ emisí souvisí obecně se zklidňováním dopravy (zejména se snížením intenzit), zpomalování dopravy nemá tento typ emise značný vliv. [1] [10].

4.4.1 Metody měření elektromagnetických záření

Zkouška se provádí buď na otevřeném místě, nebo ve zkušební komoře.

Legislativou jsou pak stanovené limity pro elektromagnetické pole vyzařovaného vozidly nebo samostatnými jednotami.

- Měření širokopásmových emisí vozidel
- Měření úzkopásmových emisí vozidel
- Měření samostatných elektronických jednotek

[1]

4.4.2 Legislativa související s elektromagnetickým zářením vozidel

Předpisy EHK/OSN č.:

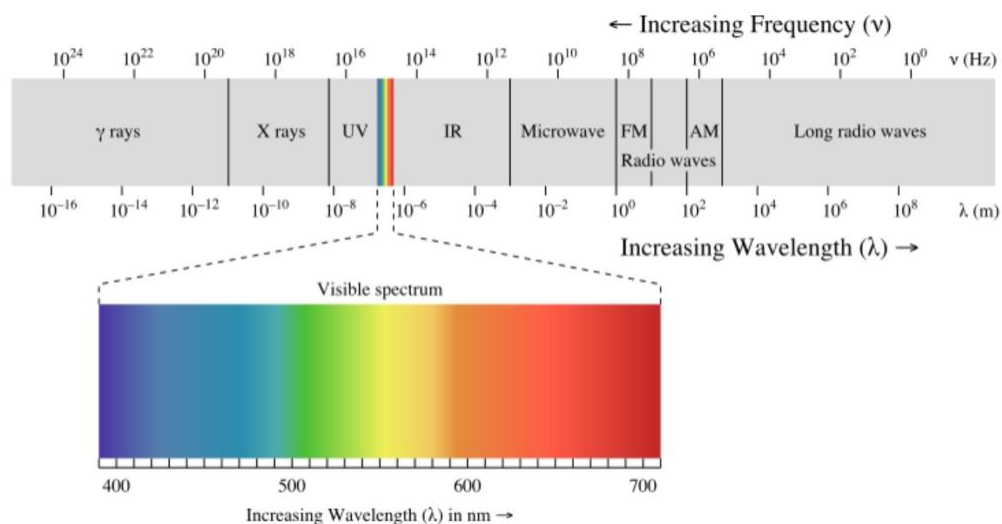
- 10 – Elektromagnetická kompatibilita

Směrnice EHS/ES č.:

- 72/254; 95/94 – Elektromagnetická kompatibilita vozidel kategorie M a N
- 97/24 (9) - Elektromagnetická kompatibilita vozidel kategorie L

4.5 Světlo

Světlo je viditelná část elektromagnetického záření, jeho vlnová délka je v rozsahu přibližně 380 – 760 nm. Tento rozsah elektromagnetického vlnění jak vidíme na obrázku č. 17, se nachází mezi infračerveným a ultrafialovým zářením. (Tomu odpovídá i relativní citlivost oka, která ukazuje, že lidské oko vnímá pouze světlo o kmitočtu 400 až 700 Hz) [1][10]



Obrázek 17: Spektrum elektromagnetického vlnění.

Zdroj: [23]

Světlo je z vozidla emitováno z těchto důvodů:

- Zajištění viditelnosti pro řidiče a posádku
- Signalizace pro ostatní účastníky dopravy

Zdroje emisí světla na vozidlech:

- Světlomety
- Osvětlení a světelná signalizace včetně odrazek

Nepříznivé projevy světelných emisí:

- Oslnění ostatních účastníků dopravy
- Zatížení prostředí nadměrným světlem

[1]

4.5.1 Veličiny a jednotky světelné emise

Svítivost I [cd]

Vyjadřuje světelný tok v kuželu, jehož vrchol je ve zdroji světla a jehož kuželovitost je definována steradiánem [sr]. To znamená, že stěna kuželu vytíná na vnitřním povrchu koule o poloměru 1 m plochu 1 m^2 .

Osvětlení E [lx]

Vyjadřuje celkový světelný výkon, který dopadá na jednotku plochy. Základní jednotkou je lux [lx], fyzikální rozměr luxu je [cd.sr.m²].

Světelný tok F [lm]

Vyjadřuje relativní výkon světla, vztažený k citlivosti lidského oka. Jednotkou je lumen [lm], jeho fyzikální rozměr je [cd.sr].

Odrazivost [cs.lux]

Vyjadřuje množství světla odraženého plochou. Jedná se o poměr I a E. [1]

4.5.2 Měření, kritéria a rizika světelných emisí

Pro měření světelných emisí se využívá buď temná komora s vnitřním povrchem, který neodráží světlo, nebo místo s fotometrickými stěnami. Jedná se o svislé stěny s vyznačenými charakteristickými body, jejichž geometrické polohy jsou stanoveny podle druhu světlometu. Samotné měření probíhá za předem stanovených podmínek (vzdálenost světlometů od fotometrické stěny, napětí na svorkách), na fotometrické stěně jsou umístěny měřiče osvětlení, či svítivosti, které samotné hodnoty zaznamenávají. Vlastní kritéria hodnocení světelných emisí mají světlometry a světelná signalizace vozidla. Kritéria světlometů, které jsou závislá na hodnotě osvětlení E [lx], dále dělíme na asymetrická a symetrická potkávací světla, symetrický světlomet mopedu a dálkové světlometry. Kritériem hodnocení emisí světelné signalizace je pak minimální a maximální hodnota svítivosti I [cd]. Riziko světelných emisí (zejména v noci) při použití zpomalovacích prvků v dopravě je spojeno především s možností oslnění protijedoucích vozidel při přejezdu příčných prahů vzhledem k horizontálnímu vychýlení vozidla. Problémem může být i vertikální vychýlení vozu (například za použití šikan), nebo rozsvícení brzdových světel, při kterém mohou být světelnými emisemi ovlivněny obyvatelé přilehlých budov. Většinou se však setkáváme s prvky zeleně, které tento jev eliminují. [1]

4.6 Nečistoty

Jedná se hlavně o emise způsobené rozstříkem, nebo rozhazováním vody, sněhu, bláta, kamením nebo sněhu jedoucím vozidlem. Dopravní prostředky musí být v souladu s příslušnou legislativou konstruovány tak, aby eliminovaly množství nečistot a chránily tak ostatní účastníky provozu i životní prostředí. Na složení a množství nečistot má vliv především dopravní infrastruktura a údržba komunikací. Při použití prvků zpomalení

dopravy hlavně pak příčných prahů, které komplikují údržbu (zejména pak v zimním období - odstraňování sněhu) či odvodnění komunikace, je na místě si uvést i tento typ emise. [1]

Systémy zabraňující emisi nečistot:

- Blatník
Jedná se o tuhou, nebo polotuhou část karoserie, částečně kryjící obvod kola i jeho boky. Blatníky zabraňují rozstříku nečistot.
- Boční kryt kola
Demontovatelné zařízení kryjící vnější bok kola
- Lapač nečistot
Jde o pružný komponent, montovaný vertikálně za kolem na dolní část rámu, blatníku, nebo plošiny pro náklad.
- Separátor voda-vzduch
Zařízením prochází voda i vzduch a cílem je eliminovat odstřík vody. Toto zařízení je vytvořené částí blatníku, nebo lapače.
- Absorpční zařízení
Toto zařízení absorbuje energii odstříkovaného proudu a tím snižuje odstřík a odraz vody. Je vytvořené částí blatníku, lapače, nebo bočního krytu. [1]

4.6.1 Metody zkoušky emise nečistot

Zkoušky systémů zabraňující emisi nečistot probíhají jak na vozidle, tak i laboratorně. Ke zkoušce samotné je zapotřebí zařízení pro rozstřík vody, dále pak vhodné místo, především vodorovná plocha se zpevněným povrchem, která umožní umístění měřeného vozidla a pohyb kolem něj. Zkoušky jsou nadále vyhodnoceny dle stanovených kritérií.

Zkoušeny a kontrolovány jsou:

- Geometrické charakteristiky systému
- Účinnost absorpčních komponent
- Účinnost separátoru voda-vzduch [1]

4.6.2 Legislativa související s emisí nečistot

Směrnice EHS/ES č.:

- 78/549; 94/78 – Kryty kol vozidel kategorie M₁
- 91/226 – Zařízení proti rozstříku vody vozidel kategorie N a O

5 Energie

Energie je fyzikální skalární veličina, která popisuje schopnost hmoty konat práci. Původ slova je z řeckého slova *energeia*, což v překladu znamená činnost nebo aktivita. Energii označujeme E , její jednotkou je Joule [J], definice joule zní: práce síly 1N na dráze 1 m, tedy $J=N.m$.

Energii rozeznáváme ve dvojitěm pojetí. Prvním je Newtonova fyzika, která stačí pro energetickou analýzu dopravy. Druhým pojetím je pak obecná teorie relativity, která své uplatnění nachází okrajově například u vodní dopravy, při energetické analýze atomové ponorky. Její další využití se pak nachází při výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách. V silniční dopravě lze elektrickou energii, takto vyrobenou, využít při dobíjení elektromobilů, či vozů s hybridní technologií. [2]

Rozdělení energie dle mechanismu působení:

- Mechanická
 - o Kinetická
 - o Potenciální
- Elektrická
- Magnetická
- Záření/vlnění
- Vnitřní (tepelná, jaderná, chemická)

Energie potřebná k uskutečnění dopravy představuje asi 1/3 celkové energetické náročnosti, která obecně s časem roste. Je proto nezbytné hledat řešení ke snížení energetické náročnosti. V dopravě pak najdeme tři faktory, mající vliv na energetickou potřebu.

- Faktory na straně dopravních prostředků
 - o Jízdní odpory
 - o Účinnost přeměny energií na kinetickou
 - o Rekuperace energie
 - o Kombinace systému
- Faktory na straně dopravní infrastruktury
 - o Jízdní odpory (stoupání, kvalita vozovek)
 - o Plynulost dopravy
 - o Dopravní zařízení a přechodové stavy

- Faktory na straně řízení a na straně sociální
 - o Logistika
 - o Dopravní právo
 - o Osvěta
 - o Bezpečnost

[2]

5.1 Kinetická energie

Pro dopravu je zásadní právě kinetická energie, všechny ostatní formy energií na ní musí být přeměněny. Značíme ji E_k a níže je uveden vztah mezi kinetickou energií, hmotností a rychlostí.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad [\text{J}]$$

Kde:

m – hmotnost [kg]

v – rychlost [m.s⁻¹]

Dále se můžeme setkat s vyjádřením kinetické energie pomocí hybnosti tělesa. A to dle vztahu:

$$E_k = \frac{p^2}{2m} \quad [\text{J}]$$

Kde:

p – hybnost tělesa ($p=m.v$) [kg.m.s⁻¹]

5.1.1 Systémy přeměn na kinetickou energii

K přeměně energií na energii kinetickou dochází za následujících podmínek:

- Proces přeměny je vždy ztrátový
- Účinnost přeměny η vyjadřuje ztráty z procesu přeměny
Vyjadřujeme jej buď v procentech [%], nebo jako číselný údaj v intervalu $\langle 0,1 \rangle$.
- K přeměně může docházet ve více stupních, celková účinnost se rovná součinu dílčích účinností dle vztahu: $\eta_c = \prod \eta_i$
- Konečným distributorem kinetické energie na kola, je motor.

5.1.2 Princip přeměny chemické energie na energii kinetickou

V silniční dopravě je stále nejvíce využíván spalovací motor s vnitřním spalováním, přerušovaným spalováním a čtyřdobým pracovním cyklem, dále si uvedeme základní princip zážehového motoru.

Přímočarý pohyb pístu způsobený expanzí směsi ve válci je pomocí klikové hřídele přeměněn na pohyb rotační, který je pomocí dalších mechanismů přenášen na kola vozidla. Samotný proces je rozdělen do čtyř následujících částí.

- Sání
Píst se pohybuje směrem k dolní úvratí, přičemž se do válce sacím ventilem nasává pracovní směs paliva se vzduchem.
- Komprese
Ventily jsou uzavřené, píst se pohybuje směrem k horní úvratí a tím se stlačuje směs paliva.
- Expanze
Expanze probíhá po zažehnutí směsi ve válci, dochází ke stlačení pístu až k dolní úvratí. Ventily jsou uzavřené.
- Výfuk
Výfukovým ventilem, který je v této fázi otevřený, odchází pohybem pístu k horní úvratí spálené palivo do výfukového systému.

Poslední dvě jmenované fáze mají za následek emisi exhalátů, hluku, vibrací či elektromagnetického záření.

5.2 Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly, působící proti směru zrychlení vozidla. Na jejich překonání je využita hnací síla motoru.

Celkový jízdní odpor O_c je dán dle vztahu:

$$O_c = \frac{O_f + O_v + O_s + O_z}{\eta} \quad [\text{N}]$$

Následně si jednotlivé odpory rozebereme.

5.2.1 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení (setrvačnosti) O_z , představuje síly, které působí na vozidlo při změně jeho rychlosti. V souladu s prvním Newtonovým zákonem, je tento odpor při rovnoměrném pohybu či klidu nulový. Tento odpor má při použití fyzických prvků zklidnění dopravy zásadní význam. Pro odpor zrychlení lze použít následující zjednodušený vztah:

$$O_z = \left(m + \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} r_{Ki}} \right) \ddot{x} = O_{Zp} + O_{Zr} \quad [\text{N}]$$

Kde:

O_{zp} – odpor zrychlení vozidla [N]

O_{zr} – odpor zrychlení rotujících částí vozidla [N]

m – hmotnost vozidla [kg]

J_k – moment setrvačnosti rotujících částí [kg.m²]

r_d – dynamický poloměr kol [m]

r_k – poloměr rotujících částí [m]

Pro výpočet O_{zr} pak platí:

$$O_{zr} = \sum \frac{J_{ki}}{r_{di} r_{ki}} \ddot{\varphi} \quad [\text{N}]$$

Kde:

$\ddot{\varphi}$ – úhlové zrychlení rotujících částí

Pro výpočet O_{zp} platí vztah:

$$O_{zp} = m\ddot{x} \quad [\text{N}]$$

Kde:

\ddot{x} - zrychlení vozidla

[2] [5]

5.2.2 Odpor valení

Označujeme jej O_f , vzniká deformací kola a dráhy, po které se kolo odvaluje. V důsledku této deformace, je svislá reakce kola Z_k posunuta o rameno e ve směru jízdy. Tím vzniká moment síly působící proti otáčení kola. Dále je nutné, definovat součinitel valivého odporu f_k , jde o bezrozměrnou veličinu, je závislý na více faktorech, např. huštění pneumatiky, teplotou prostředí, typem pneumatiky, rychlostí atd. Definován je následovně:

$$f_k = \frac{e}{r_d} \quad [-]$$

Kde:

e – excentricita, posunutí svislé reakce kola [m]

r_d – dynamický poloměr kola [m]

Odpor valení kola:

$$O_{fk} = Z_k \frac{e}{r_d} = Z_k f_k \quad [\text{N}]$$

Celkový odpor valení je pak dán součtem valivých odporů jednotlivých kol.

$$O_f = f \sum Z_{ki} = f G \cos \alpha \quad [\text{N}]$$

Kde:

G – tíha vozidla [N]

α – úhel podélného sklonu vozovky [2] [5] [10]

5.2.3 Aerodynamický odpor

Celkový aerodynamický odpor O_v je součtem dílčích odporů, které vozidlo při jízdě v atmosféře překonává. Největší složku představuje čelní odpor vozidla, dále pak odpor vzduchu rotujících kol a odpory vznikající průtokem chladícími a větracími systémy. Pro aerodynamický odpor platí následující vztah.

$$O_v = \frac{1}{2} \rho c_x S_x v_f^2 \quad [\text{N}]$$

Kde:

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

c_x – součinitel odporu vzduchu [-]

S_x – čelní plocha vozidla [m^2]

v – rychlost proudícího vzduchu (vektor rychlosti vozidla a rychlosti větru) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Aerodynamický odpor má jako jediný z odporů kvadratickou závislost na rychlosti vozidla. Značný vliv na výslednou dynamiku vozidla má tedy až ve vyšších rychlostech, při nízkých rychlostech, například při přejezdu příčného prahu, není tento odpor nikterak významný. [2] [5]

5.2.3.1 Odpor stoupání

Odpor stoupání O_s vzniká při jízdě v podélném sklonu vozovky, jde o vektorovou veličinu, jejíž směr určuje, zda vozovka stoupá či klesá, při jízdě po rovině je nulový. Velikost odporu stoupání je dána pouze tíhou vozidla a úhlem stoupání dle vztahu:

$$O_s = \pm G \sin \alpha \quad [\text{N}]$$

Kde:

G – tíha vozidla [N]

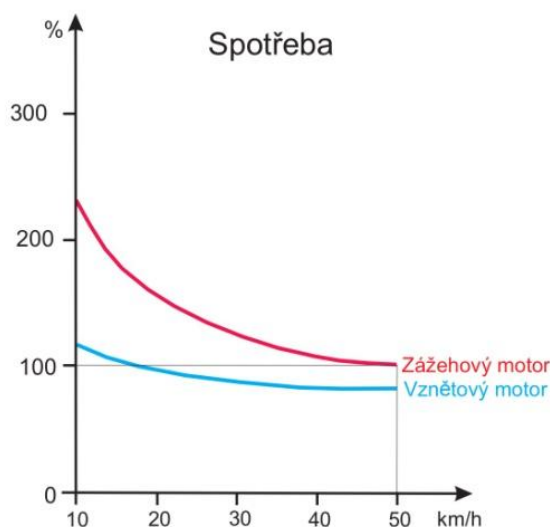
α – úhel podélného sklonu vozovky [2] [5] [10]

5.2.4 Odpor vnitřního tření

Vyjadřuje účinnost přenosu sil na vozidlo a účinnost mechanismů agregátu přeměny energie na kinetickou. Jde o rozsáhlý prvek, který je určen ztrátami prací mechanismů. Vyjadřujeme jej jako číslo v intervalu $<0,1>$, pro automobily a motocykly dosahuje hodnoty 0,8 až 0,98 (vysoká hodnota se vztahuje k elektromobilům, kde jsou přenosy sil řešeny odlišně). [2] [5]

5.3 Spotřeba paliva

Spotřeba paliva je důležitým ukazatelem hospodárnosti automobilu, pro některé spotřebitele je to zároveň jedním z hlavních ukazatelů ekonomické náročnosti provozu automobilu. Obvykle se spotřeba paliva udává v jednotkách $[l/100km]$. Množství spotřebovaného paliva je dáno především charakteristikou vozidla a stylem jízdy. Na obrázku č. 18 vidíme závislost spotřeby paliva na rychlosti a typu motoru v nízkých rychlostech, s vyšší rychlosti pak kvadraticky stoupá aerodynamický odpor a tím i celková spotřeba paliva.



Obrázek 18: Závislost spotřeby paliva na rychlosti a typu motoru.

Zdroj: [9]

Spotřebu paliva lze vypočítat i teoreticky, častěji se však využívá její praktické měření. Při teoretickém výpočtu se vychází ze znalosti úplné charakteristiky motoru, jízdních odporů a rychlosti vozidla. V našem případě jsme teoretický výpočet spotřeby paliva při experimentu nebyli schopni provést, neboť jsme limitováni neznalostí hodnoty O_{zr} – odpor zrychlení rotujících částí vozidla. A jelikož předpokládáme, že odpor zrychlení má největší vliv na výslednou spotřebu paliva při jízdě nekonstantní rychlostí (právě například přejezd příčného prahu), nemůžeme tento odpor zanedbat. [2] [5]

5.4 Zmařená energie

V případech použití zpomalovacích prvků v dopravě, nebo obecně jízdou s nekonstantní rychlostí vozidla, dochází k zbytečným přeměnám a ztrátám energií.

5.4.1 Decelerace

Pro snížení rychlosti vozidla využíváme brzdění, tím rozumíme záměrné snížení rychlosti vozidla, nebo zamezení rozjetí stojícího vozidla. Brzdění vozidla rozdělujeme podle účelu na provozní, odlehčovací, nouzové a parkovací. Právě první dvě zmiňované jsou využívány pro snížení rychlosti vozidla před zpomalovacími prvky. Mezi odlehčovací brzdění lze zařadit i brzdění motorem, které je vhodné využít pro mírné snížení rychlosti, například u zpomalovacích prvků s vertikálním vychýlením (šikany atd.). Pro větší snížení rychlosti se používají brzdy provozní, u nich je brzděného účinku dosaženo zpomalováním otáčejících se kol, toho je dosaženo zvyšováním odporu tření (mezi brzdovými destičkami a brzdovými kotouči). Právě tímto třením se mění kinetická energie vozidla na energii tepelnou. Pro využití takto dále nevyužitě energie se nabízí systém rekuperace energie.

5.4.2 Akcelerace

Po přejetí zpomalovacích prvků, které snižují rychlost pouze bodově (např. samostatný krátký příčný práh), je nutné opět dosáhnout požadované rychlosti. Hnací síla motoru tak musí přesáhnout jízdní odpory. V nízkých rychlostech, kterými bývají příčné prahy přejížděny, je největším odpor proti zrychlení. Právě nutnost akcelerace a využití hnací síly motoru vede k zvýšené spotřebě paliva, kdy se přeměňuje chemická energie paliva na energii kinetickou.

5.4.3 Odpružení

Při samotném přejezdu zpomalovacích prvků s horizontálním vychýlením, dochází k namáhání tlumící soustavy vozidla. Tato soustava je náchylná na opotřebení a to zejména při četném přejezdu nerovností, či při nevhodném způsobu jízdy. Tyto prvky eliminují síly přenášené na vozidlo nebo posádku vlivem nerovnosti vozovky a mají vliv na následující vlastnosti vozidla:

- Aktivní bezpečnost
Jedná se zejména o stabilitu a ovladatelnost, které jsou závislé na adhezi mezi pneumatikou a vozovkou.

- Hygiena
Sledují se zejména faktory ohrožující zdraví posádky, mezi ně patří vibrace a hluk.
- Životnost a spolehlivost

K nejčastějšímu principu funkce pasivní tlumící soustavy patří absorpce energie za pomoci průtoku kapaliny (nejčastěji oleje). Právě tento průtok kapaliny absorbuje značnou část kinetické energie, přičemž se mění kinetická energie (ze svislého směru pohybu vozidla) na energii tepelnou. V současné době již některé automobilky zkoumají možnosti rekuperaci této jinak zmařené energie.

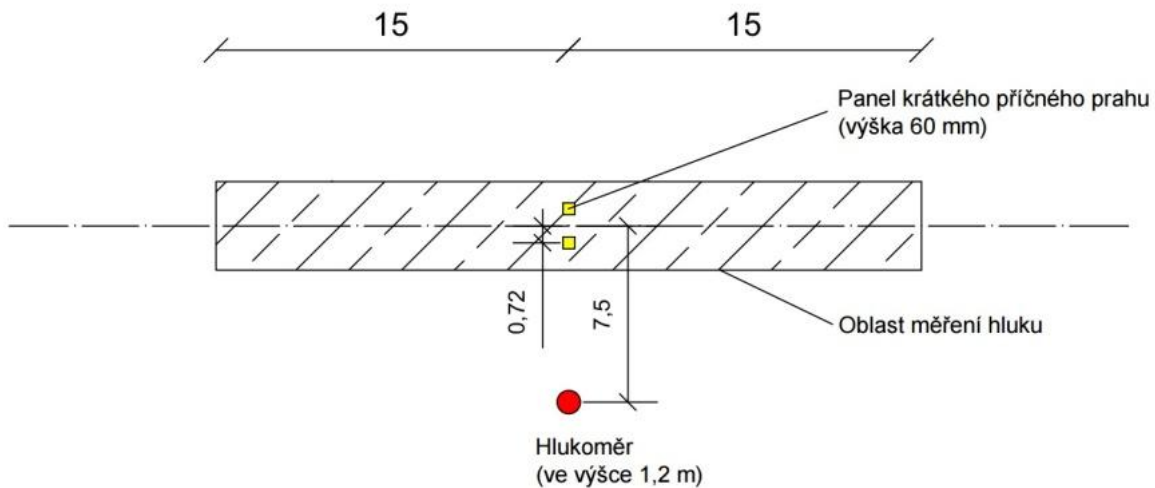
6 Experiment

V rámci praktické části této bakalářské práce byl proveden experiment na zjištění vlivu zpomalovacích prvků v dopravě na spotřebu paliva a emise. Tímto bych rád poděkoval všem, kteří se experimentu zúčastnili, či byli nápomocni při jeho realizaci.

6.1.1 Metodika experimentu

Při návrhu metodiky experimentu jsme byli omezeni našimi časovými a organizačními prostředky. Z těchto důvodů jsou námi naměřená data zatížena chybou měření, kterou jsme se snažili eliminovat v rámci našich možností.

Při experimentu jsme se soustředili na dva faktory, které mají dle našeho úsudku největší vliv při použití příčných prahů. Prvním z nich je hluk, který vzniká při akceleraci, samotném horizontálním vychýlení a v některých případech i deceleraci vozidla. S akcelerací vozidla je pak pojena zvýšená spotřeba paliva, která má následně vliv na množství exhalací. Další emise vznikající při přejezdu příčného prahu jsme již nesledovali. Hluk byl měřen přístrojem Norsonic Nor140, při jeho umístění jsme dbali na předpisy EHK 51 (popsané v kapitole 4.2.3 Metoda měření vnějšího hluku jedoucích vozidel). Hlukoměr byl umístěn 7,5 m od osy příčného prahu ve výšce 1,2 m nad povrchem vozovky. Sledována byla maximální hladina akustického tlaku [dB]. Detailní schéma místa pro měření vnějšího hluku při našem experimentu je znázorněno na obrázku č. 19. Množství spotřebovaného paliva jsme měřili doléváním benzínu přímo do nádrže vozidla na předem určenou hladinu. Jelikož je tato metoda měření spotřeby paliva zatížena značnou chybou, rozhodli jsme se samotné odměření paliva uskutečnit až po ujetí delší vzdálenosti, aby byla tato chyba eliminována. Samotné dolévání paliva probíhalo za stejných podmínek, na totožném místě a automobil byl ve všech případech stejně zatížen. Objem paliva byl měřen odměrným válcem.



Obrázek 19: Schéma zkušebního místa pro měření vnějšího hluku při experimentu.

Zdroj: [autor]

Samotný experiment byl rozdělen do dvou částí, v první části byl krátký příčný práh přejížděn, v druhé části byla simulována plynulá jízda s konstantní rychlostí bez přejezdu příčného prahu. V obou případech bylo však nutné se na konci trati zpomalit a otočit se do opačného směru, řidiči byli instruováni, aby se drželi stejné stopy jízdy při otáčení vozidla.

Experimentu se účastnilo celkem 6 řidičů, abychom se v experimentu co nejvíce přiblížili chování řidičů v reálném provozu, tak si jednotlivý řidič sami volili rychlost, zrychlení či převodový stupeň v okolí příčného prahu.

K přejetí příčného prahu docházelo každých 300 m, což odpovídá doporučené minimální vzdálenosti zpomalovacích prahů. V praxi se s podobnou četností rozmístění prahů můžeme setkat v některých případech i mimo zklidněné zóny,

6.1.2 Popis experimentu

Experiment probíhal na letišti v Tchořovicích. Naše testovací trať byla celkem 300 m dlouhá a bez převýšení. V polovině trati byly umístěny dva panely krátkého zpomalovacího prahu. Maximální rychlost byla stanovena na 40 km/h pro všechny zúčastněné řidiče. Při všech jízdách docházelo ke zpomalení při otáčení vozidla ke konci trati, kde řidiči zpomalili na předem domluvenou rychlost cca 20 km/h a následně zrychlili na 40 km/h. Kontrola rychlosti byla, stejně jako v reálném provozu, prováděna průběžně na zabudovaném rychloměru. Schéma dráhy včetně rychlostí v dílčích úsecích je znázorněno na obrázku č. 20.



Obrázek 20: Schéma dráhy.

Zdroj: [autor]

Klimatické a povětrnostní podmínky při experimentu:

- Venkovní teplota: 14 °C
- Atmosférický tlak: 1025 hPa
- Rychlost větru: 10-20 km/h
- Občasné mrholení

V první části experimentu byl na trati instalován krátký příčný práh o výšce 60 mm, který jednotliví řidiči přešli celkem devatenáctkrát a následně u prahu zastavili za účelem výměny řidičů. Celkově tak v každé části experimentu vozidlo ujelo cca 36 km, následně zastavilo na předem určeném místě a za pomoci odměrného válce a trychtýře jsme do nádrže dolili palivo na předem určenou hladinu. Samotné dolévání odměřeného paliva při experimentu je zachyceno na obrázku č. 21. Hluk se měřil při každém přejetí prahu a to cca 15 m před a za krátkým zpomalovacím prahem. Celkem tak máme pro každého řidiče 19 naměřených hodnot hladiny hluku.

V druhé části experimentu byl krátký zpomalovací práh odinstalován a simulovali jsme tak jízdu s konstantní rychlostí. Další průběh byl totožný s první částí, vyjma počtu naměřených hodnot maximální hladiny akustického tlaku. Vzhledem k vnějšímu zdroji hluku, který se v této části experimentu pohyboval v naší blízkosti a který by naměřené hodnoty značně zkreslil, jsme naměřili pouze 40 hodnot při jízdě s konstantní rychlostí. Nicméně u jízdy s konstantní rychlostí lze předpokládat podobné hodnoty hladiny hluku při všech měření. Zároveň vzhledem k lehkému mrholení nebylo možné dodržet podmínku suchého povrchu vozovky, která byla průběhu druhé části experimentu mokrá. Při všech jízdách byly ve vozidle dvě osoby, řidič a obsluha akcelerometru. Měření zrychlení probíhalo pro pozdější vyhodnocení a není součástí této bakalářské práce.



Obrázek 21: Dolévání odměřeného paliva při experimentu.

Zdroj: [autor]

6.1.2.1 Použité přístroje

Seznam přístrojů a pomůcek použitých při měření:

- Hlukoměr
Výrobce: Norsonic
Typ: Nor140
Váhový filtr: A
Přesnost: $\pm 0,2$ dB
Přístroj byl před použitím kalibrován dle pokynů výrobce
- Odměrný válec
Objem: 1 l
Dělení: 10 ml
Přesnost: ± 5 ml
- Dva panely příčného prahu
Výška prahu: 60 mm
- Pásové měřítko
- Přesnost: ± 10 mm
- Kanystř s benzínem a trychtýř
- Experiment probíhal na vozidle Škoda Fabia 1. generace, 1,2 HTP (zážehový motor), tento vůz patří mezi nejrozšířenější v ČR a proto bylo jeho použití v experimentu vhodné. Na vozidle byly zimní pneumatiky. [28]

6.1.3 Vyhodnocení experimentu

6.1.3.1 Spotřeba paliva a exhalace

Při měření spotřeby jsme po první části experimentu do nádrže dolili 4,25 l benzínu, po druhé části experimentu pak pouze 2,7 l. Jízda s přejezdem krátkého příčného prahu si tak vyžádala o 1,55 l benzínu více, než při jízdě konstantní rychlostí. V relativních hodnotách se jedná o 57 % paliva více při přejezdu prahu, než při jízdě plynulé. Konkrétní hodnoty můžeme vidět v tabulce č. 7.

Tabulka 7: Hodnoty spotřeby paliva při experimentu

	1. část - přejezd krátkého prahu	2. část - jízda konstantní rychlostí	rozdíl hodnot
Celkové množství spotřebovaného paliva [l], [l/36km]	4,25	2,7	1,55
Spotřeba paliva [l/100km]	11,81	7,5	4,31
Spotřeba paliva [%]	157	100	57

Ikdyž je naše měření spotřeby paliva pravděpodobně zatíženo značnou chybou měření, přiblížili jsme se výsledku Britské automobilové asociace, která srovnávala spotřebu paliva při jízdě konstantní rychlosti 30 mph (48 km/h), oproti jízdě přes zpomalovací prahy. Výsledkem této studie bylo zjištění vzrůstu spotřeby z původních 4,9 l/100km na 9,1 l/100km, to znamená nárůst spotřeby paliva o 85%. Při prostém snížení na 20 mph (32 km/h) došlo dle studie k vzrůstu spotřeby pouze o 10%. [31]

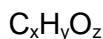
Se zvýšenou spotřebou paliva se pojí i zvýšené množství exhalací, konkrétně pak množství CO₂, které je přímo úměrné množství spotřebovaného paliva. Množství dalších exhalátů jsme vzhledem k metodice měření nebyli schopni změřit. Množství CO₂, které bylo při našem experimentu emitovány do ovzduší, můžeme vidět v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Hodnoty emitovaného CO₂ při experimentu

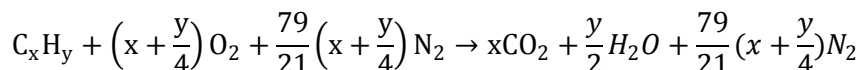
	1. část - přejezd krátkého prahu	2. část - jízda konstantní rychlostí	rozdíl hodnot
Celkové množství emitovaného CO ₂ při experimentu [g] [g/36km]	9435	5994	3441
Množství CO ₂ [g/km]	262	167	95
Množství CO ₂ [%]	157	100	57

6.1.3.2 Výpočet CO₂ ze spotřeby paliva

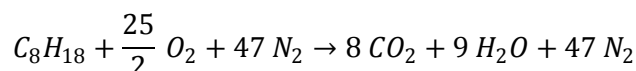
Dosud známá paliva (vyjma čistého vodíku) jsou sloučeniny více prvků, především pak uhlíku a vodíku. Označovány jsou následovně:



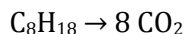
Při dokonalém spálení paliva lze množství CO₂ určit ze vztahu:



Pro náš výpočet množství CO₂ vzniklého při spálení jednoho litru benzínu, jsme uvažovali chemické označení benzínu jako: C₈H₁₈. Dosazením do výše zmíněného vzorce dostáváme:



- Pro zjednodušení výpočtu dále zanedbáme hodnoty N₂, jeho množství se při spalování nemění. Dále z výpočtu vypustíme hodnoty O₂ a H₂O, které pro nás nyní nejsou významné. Po úpravě:



- Po započtení molových hmotností dostáváme:

$$114 \text{ [g] } C_8H_{18} = 352 \text{ [g] } CO_2$$

$$1 \text{ [kg] } C_8H_{18} = 3,088 \text{ [kg] } CO_2$$

- Hustotu benzínu jsme uvažovali 0,7197 [kg.m⁻³], dále tedy platí:

$$1 \text{ [l] } C_8H_{18} = 2,22 \text{ [kg] } CO_2$$

Poznámka k výpočtu:

Různé zdroje uvádí různé hodnoty pro námi sledované veličiny, například hustota benzínu je závislá na více faktorech. Dále jsme při výpočtu uvažovali dokonalé spálení paliva, k němuž v praxi nedochází. Nicméně pro naše potřeby je tento výpočet postačující.

6.1.3.3 Hluk

Pro dosažení co nejmenší nejistoty výsledku byly některé naměřené hodnoty, které splňovaly kritéria hrubých chyb, odstraněny. Příčinou hrubé chyby při měření mohl být výše zmíněný externí zdroj hluku či námi nechtěně způsobený hluk v blízkosti hlukoměru.

Jak je uvedeno v tabulce č. 9, průměrné naměřené hodnoty se pro jednotlivé řidiče při přejezdu prahu liší. Důvodem je odlišná hodnota rychlosti, zrychlení či jiný převodový stupeň. V tabulce č. 10, je pak celkové porovnání průměru hodnot hluku při jízdě přes příčný práh a při jízdě konstantní rychlostí.

Tabulka 9: Porovnání jednotlivých řidičů při přejezdu příčného prahu s jízdou konstantní rychlostí.

Vypočtené hodnoty	Část experimentu						
	První - s přejezdem příčného prahu						Druhá - bez přejezdu příčného prahu
	řidič 1	řidič 2	řidič 3	řidič 4	řidič 5	řidič 6	všechny jízdy
průměr [dB]	63,2	64,7	61,4	63,6	62,3	61,5	67,7
směrodatná odchylka [dB]	1,6	1,7	1,7	1,6	2	1,6	1,2

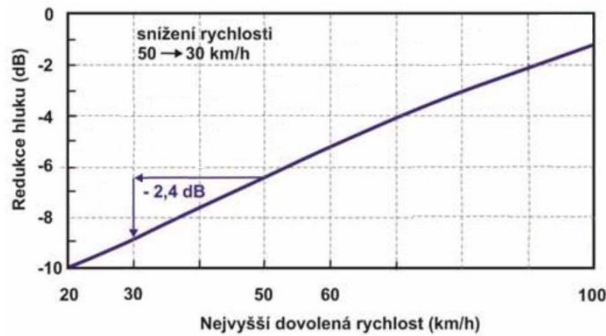
Tabulka 10: Porovnání zprůměrovaných hodnot všech jízd přes příčný práh s jízdou konstantní rychlostí.

Vypočtené hodnoty	Část experimentu	
	První - s přejezdem příčného prahu	Druhá - bez přejezdu příčného prahu
průměr [dB]	62,8	67,7
směrodatná odchylka [dB]	2,1	1,2

Celkově jsou však naměřené hodnoty hluku nižší při přejezdu příčného prahu, než při jízdě konstantní rychlostí. Při našem experimentu klesl vnější hluk vozidel při přejezdu příčného prahu rychlostí cca 10 km/h o 4,9 dB oproti jízdě konstantní rychlostí cca 40 km/h. Zde jsou uvedeny pravděpodobné příčiny:

- Vyšší aerodynamický hluk
- Vyšší hluk motoru a převodové skříně (možná nevhodná volba převodového stupně při dané rychlosti)
- Rozdílný hluk při valení pneumatik (v závislosti na odlišné rychlosti)
- Vozovka byla při druhé části experimentu mokrá

Obecnou závislost hluku na nejvyšší dovolené rychlosti vidíme na obrázku č. 22, avšak tato závislost se vztahuje pouze k jízdě konstantní rychlostí. Rozdíl námi takto naměřených hodnot lze přisuzovat právě mokré vozovce v druhé části měření. Samotná kritéria pro zkušební místo měření vnějšího hluku uvádějí, aby byl povrch dráhy suchý. Změna povrchu vozovky tak mohl značně zkreslit samotné měření.



Obrázek 22: Závislost redukce hluku na nejvyšší dovolené rychlosti.

Zdroj: [9] - upraveno

Dalším problémem je samotné subjektivní vnímání hluku. Při jízdě konstantní rychlostí byl sice naměřený hluk vyšší, ale vzhledem ke svému téměř monotónnímu (konstantnímu) průběhu nám při experimentu nepřišel tolik rušivý. Oproti tomu se při přejezdu příčného prahu ozývalo více druhů zvuků, nejdříve vzdálený hluk konstantní jízdy, dále v některých případech i brzdění (vlivem opotřebovaných brzd), samotný přejezd prahu (práce tlumící soustavy) a následně akcelerace vozidla a s tím spojené zvyšování otáček motoru. Právě tato různorodost hluku nám přišla subjektivně více rušivá.

6.1.3.4 Statistické vyhodnocení hluku

Při statistickém vyhodnocení jsme uvažovali naměřené hodnoty s normálním rozdělením.

Naším cílem byl oboustranný odhad intervalu spolehlivosti. Při výpočtu jsme vycházeli z následujícího vztahu:

$$P\left(\bar{x} - u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

Kde:

\bar{x} - střední hodnota výběrového souboru

u – pravděpodobnostní kvantil ($u_{0,95}=1,645$)

α – hladina významnosti (uvažovali jsme hodnotu 0,1)

σ – směrodatná odchylka

n – počet naměřených hodnot

μ - průměr základního souboru

[29] [30]

Po dosažení hodnot z první části experimentu (s přejížděním krátkého příčného prahu) získáváme:

$$P\left(62,8 - 1,645 \frac{2,1}{\sqrt{99}} < \mu < 62,8 + 1,645 \frac{2,1}{\sqrt{99}}\right) = 0,9$$

$$62,5 < \mu < 63,1$$

Dosažením hodnot z druhé části experimentu (bez přejíždění krátkého příčného prahu) vychází vztah následovně:

$$P\left(67,7 - 1,645 \frac{1,2}{\sqrt{34}} < \mu < 67,7 + 1,645 \frac{1,2}{\sqrt{34}}\right) = 0,9$$

$$67,4 < \mu < 68,0$$

S pravděpodobností 90% byla průměrná hladina hluku v našem experimentu při přejezdu zpomalovacího prahu v intervalu $\langle 62,5; 63,1 \rangle$ dB a při jízdě konstantní rychlostí pak $\langle 67,4; 68,0 \rangle$.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce byla charakteristika problematiky vlivu zklidňování dopravy na emise a spotřebu paliva. Pojem zklidnění dopravy je soubor více procesů, mezi něž patří i zpomalování dopravy. Právě při zpomalení dopravy dochází k neplynulé jízdě, která sebou přináší riziko zvýšení emisí a spotřeby paliva.

V první části této práce byly charakterizovány jednotlivé prvky vedoucí ke snížení rychlosti. Za nejúčinnější považuji prvky fyzické, které ale nutí řidiče nepřiměřeně zpomalit a to často na rychlost nižší než je nejvyšší povolená rychlost v daném úseku komunikace. Vzhledem k četnosti, efektivitě a ekonomické nenáročnosti krátkých zpomalovacích prahů, které ani nevyžadují složité stavební úpravy, je považuji za typický prvek zpomalení dopravy. Při neplynulé jízdě dochází k přeměnám a ztrátám energií, které jsou v této práci konkrétně rozebrány. Právě okolnosti spojené se ztrátami energií jsou příčinou námi sledovaných hodnot, jako je spotřeba paliva a hluk. Doprava má však více negativních produktů, nazývané obecně pojmem emise. V této práci je uveden jejich přehled, metodika měření a legislativa s nimi spojená. Množství či intenzita některých emisí jsou úměrné rychlosti nebo zrychlení vozidla a právě na ty, vzhledem k nekonstantní a nízké rychlosti při přejezdu fyzických zpomalovacích prvků, bylo měření zaměřeno.

Byl proveden experiment, při kterém se prokázal výrazný a negativní dopad na spotřebu paliva při použití fyzických zpomalovacích prvků, konkrétně krátkého zpomalovacího prahu. Při přejezdech krátkého zpomalovacího prahu bylo dosaženo, oproti jízdě konstantní rychlostí, nárůstu spotřeby o 57 %. Při měření hluku byla naopak hodnota vnějšího hluku vozidla v průměru o 4,9 dB nižší při přejezdu krátkého zpomalovacího prahu než při jízdě vyšší a konstantní rychlostí. To ale může být z velké části zapříčiněno i chybným měřením, popsáním výše.

Textová část této bakalářské práce byla zpracována v programu MS Word, hodnoty z měření byly zpracovány v programu MS Excel, obrázky a grafy byly zpracovány v programu Autodesk AutoCAD 2012.

Zpomalování dopravy je efektivním nástrojem zejména pro zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích, nicméně sebou přináší rizika v podobě emisí, které mají přímo či nepřímo vliv na zdraví lidí. Zejména pak exhaláty a pevné částice, které mají prokazatelně negativní vliv na lidské zdraví i na životní prostředí. Právě množství tohoto typu emisí je závislé na stylu jízdy řidiče a to včetně plynulosti jízdy (kterou prvky zpomalování dopravy neumožňují).

Je proto nutné dále hledat řešení, které zaručí bezpečný provoz na pozemních komunikacích a zároveň nebude výrazně zvyšovat množství či intenzitu emisí. Řešením je například i pouhá legislativní úprava, která nyní nezohledňuje překračování nejvyšší povolené rychlosti v rizikových místech, ale pouze v extravilánu a intravilánu. Při použití zpomalovacích prahů je nezbytné zvážit jejich negativní vlastnosti a dodržet jejich geometrické tvary tak, aby umožnily jízdu nejvyšší povolenou rychlostí a nenutily řidiče zpomalovat více než je nutné. Dále je nutné zohlednit technický stav vozovky v bezprostředním okolí zpomalovacího prahu, při výrazně nevhodném stavu povrchu vozovky (výmoly, vystouplé kanály atd.) je použití zpomalovacích prahů takřka zbytečné a pro některé typy vozidel možná až nebezpečné. Navíc zde dochází ještě k většímu zpomalení, než je nutné. Výrobci automobilů stále vyvíjejí možnosti vedoucí ke snížení emisí, je nezbytné v tomto vývoji i nadále pokračovat. Zároveň by bylo vhodné hledat a zdokonalovat možnosti rekuperace energií, které se při přejezdech zpomalovacích prahů či obecně neplynulé jízdě současně dále nevyužívají.

8 Použité zdroje

8.1 Literatura

- [1] Zkoušení automobilů a motocyklů – FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5
- [2] FIRST, Jiří. Energetická analýza pozemní dopravy. Praha: 2014. Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-05664-6
- [3] TP 85 *Zpomalovací prahy*. ZDZ spol. s.r.o. a VUT v Brně. [online]. Brno: 2013. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2085.pdf>
- [4] TP 132 *Zásady návrhu dopravního zklidňování na místních komunikacích*. ČVUT v Praze – Stavební fakulta. [online]. Praha: 2000. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20132.pdf>
- [5] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. Brno: 2003. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství. ISBN 80-239-0024-2
- [6] MALÁ, Zuzana, Danuše NOVÁKOVÁ a Tomáš VÍTŮ. *Fyzika I. 3.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04220-5.
- [7] Předpis EHK č. 51 Vnější hluk vozidel kategorií M a N. Ženeva: Organizace spojených národů 1985. 22s
- [8] SLABÝ, Petr Jak zklidnit dopravu v obcích. Brno: Nadace partnerství 2004. ISBN 80-239-3594-1.[online] Dostupné z: http://www.frydekmostek.cz/prilohy/Texty/108857/1264081263_20060324_jak_zklidnit_dopravu.pdf
- [9] TP 218 Navrhování zón 30. CDV, v.v.i. [online]. 2010 Dostupné z: http://www.cyklokonference.cz/cms_soubory/rubriky/142.pdf
- [10] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.

8.2 Internetové zdroje

- [11] Provoz a projektování pozemních komunikací – cvičení č. 8 [online] 2016
[cit. 16.05.2016] Dostupné z:
[http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12ppmk/\(B\)%20Cviceni/12PPMK%20Cv08.pdf](http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12ppmk/(B)%20Cviceni/12PPMK%20Cv08.pdf)
- [12] Provoz a projektování pozemních komunikací – přednáška č. 5 [online] 2015
[cit. 16.05.2016] Dostupné z:
[http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12ppmk/\(A\)%20Prednasky/12PPMK%20P05.pdf](http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12ppmk/(A)%20Prednasky/12PPMK%20P05.pdf)
- [13] Systém aktivního snižování rychlosti [online] 2016 [cit. 30.06.2016] Dostupné z:
http://www.actibump.cz/assets/actibump_info.pdf
- [14] Miniokružní křižovatky [online] 2016 [cit. 02.07.2016] Dostupné z:
<http://www.dopravniinzenyrstvi.cz/clanky/mini-okruzni-krizovatky-mini-kreisverkehre/>
- [15] Traffic circles (okružní křižovatky) [online] 2016 [cit. 30.06.2016] Dostupné z:
<http://trafficalming.org/measures/traffic-circles/>
- [16] Použití tzv. 3D přechodů. *BESIP* [online] [cit. 03.07.2016]. Dostupné z:
<http://www.ibesip.cz/cz/aktivity/archiv-kampani/bezpecna-obec/dopravniinzenyrstvi/vzorova-reseni-v-oblasti-dopravniho-inzenyrstvi/pouziti-tzv-3d-prechodu>
- [17] Speeding (překračování rychlosti) [online] [cit. 25.6.2015] Dostupné z:
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pdf/speeding.pdf
- [18] Energy and Air Pollution (Spotřeba energie a znečištění ovzduší) [online] 2016
[cit. 14.07.2016] Dostupné z:
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
- [19] Emisní norma EURO [online] 2016 [cit. 15.07.2016] Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [20] Health effects of mechanical vibrafon (vliv vibrací na lidské zdraví) [online] 2016
[cit. 16.07.2016] Dostupné z:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.606.5000&rep=rep1&type=pdf>
- [21] Forced Vibrations & Resonance (vynucené vibrace a rezonance) [online]
[cit. 13.07.2016] Dostupné z:
<http://physicsnet.co.uk/a-level-physics-as-a2/further-mechanics/forced-vibrations-resonance/>

- [22] Vibrace přenášené na člověka [online] [cit. 16. 07. 2016] Dostupné z:
<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/vibrace-prenasene-na-cloveka>
- [23] Electromagnetic radiation (Elektromagnetické záření) 2016 [online] [cit 17.07.2016]
Dostupné z:
http://chem.libretexts.org/Core/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Fundamentals/Electromagnetic_Radiation
- [24] Oxidy dusíku [online] [cit. 20.07.2016] Dostupné z:
http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf
- [25] Oxidy síry [online] [cit. 20.07.2016] Dostupné z:
http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_siry.pdf
- [26] Oxid uhelnatý [online] [cit. 20.07.2016] Dostupné z:
http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf
- [27] Emise výfukových plynů [online] [cit. 20.07.2016] Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu>
- [28] Vozový park v ČR stárne. Typické auto je Škoda Fabia [online] 2016 [cit. 08.08.2016] Dostupné z:
http://auto.idnes.cz/statistiky-z-registru-aut-d0d-automoto.aspx?c=A120802_132853_automoto_fdv
- [29] Statické zjišťování [online] [cit. 20.08.2015] Dostupné z:
<http://ekofun.cz/admin/media/video/soubory/statistika/Statistick%C3%A9%20zji%C5%A1%C5%A5ov%C3%A1n%C3%AD%201.pdf>
- [30] Statistika, Tabulky [online] 2016 [cit. 20.08.2015] Dostupné z:
<http://statistika.vse.cz/download/materialy/tabulky.pdf>
- [31] Zpomalovací prahy ničí auta, spočítala pojišťovna. [online] 2016 [cit. 14.08.2016]
Dostupné z: http://auto.idnes.cz/zpomalovaci-prahy-nici-auta-spocitala-pojistovna-fv4-automoto.aspx?c=A100114_164208_automoto_fdv

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Riziko a závažnost zranění chodců při dopravních nehodách v závislosti na rychlosti vozidla.	8
Obrázek 2: Schéma krátkého prahu.	12
Obrázek 3: Průměrný průběh rychlosti v okolí krátkého prahu.	13
Obrázek 4: Schéma lichoběžníkového prahu.	13
Obrázek 5: Schéma stupňovitého prahu.	14
Obrázek 6: Schéma kruhového prahu.	14
Obrázek 7: Průměrný průběh rychlosti v okolí dlouhého prahu.	15
Obrázek 8: Rozměry a schéma lichoběžníkového tvaru polštáře, používaného v jednom jízdním pruhu.	16
Obrázek 9: Schéma systému Actibump.	17
Obrázek 10: Příklad zvýšené křižovatkové plochy.	18
Obrázek 11: Kombinace více prvků zklidňování dopravy.	19
Obrázek 12: Schéma zvýšené zastávkové plochy.	20
Obrázek 13: Příklad provedení značky č. V 18. Optická psychologická brzda.	21
Obrázek 14: Optické zvýraznění přechodu.	22
Obrázek 15: Srovnání laboratorních a reálných hodnot exhalací dle Euro normy.	28
Obrázek 16: Schéma zkušební dráhy pro měření hluku.	32
Obrázek 17: Spektrum elektromagnetického vlnění.	36
Obrázek 18: Závislost spotřeby paliva na rychlosti a typu motoru.	44
Obrázek 19: Schéma zkušebního místa pro měření vnějšího hluku při experimentu.	48
Obrázek 20: Schéma dráhy.	49
Obrázek 21: Dolévání odměřeného paliva při experimentu.	50
Obrázek 22: Závislost redukce hluku na nejvyšší dovolené rychlosti.	54

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Doporučené použití různých typů prvků v závislosti na způsobu využití komunikace a požadované rychlosti.	9
Tabulka 2: Vhodnost užití jednotlivých typů zpomalovacích prahů u jednotlivých funkčních skupin komunikace, či provozu MHD.	10
Tabulka 3: Doporučená vzdálenost mezi prahy v závislosti na rychlosti.	11
Tabulka 4: Sklon nájezdových ramp vzhledem k nejvyšší dovolené rychlosti vozidel.	15
Tabulka 5: Přehled emisních norem a jejich limitní hodnoty.	28
Tabulka 6: Veličiny a jednotky zvuku.	29
Tabulka 7: Hodnoty spotřeby paliva při experimentu	51
Tabulka 8: Hodnoty emitovaného CO ₂ při experimentu	51
Tabulka 9: Porovnání jednotlivých řidičů při přejezdu příčného prahu s jízdou konstantní rychlostí.	53
Tabulka 10: Porovnání zprůměrovaných hodnot všech jízd přes příčný práh s jízdou konstantní rychlostí.	53

11 Seznam příloh

Příloha je nahrána na přiloženém CD disku.

Příloha 1: Naměřené hodnoty akustického tlaku při experimentu