



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

EXPERIMENTÁLNÍ METODY HODNOCENÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU

EVALUATION OF RIDE COMFORT BY EXPERIMENTAL METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV ROLEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN SUCHÝ

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Roleček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Experimentální metody hodnocení jízdního komfortu

v anglickém jazyce:

Evaluation of ride comfort by experimental methods

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce by měla být zaměřena na vypracování rešerše experimentálních metod hodnocení jízdního komfortu.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Charakteristika jízdního komfortu.
- 2) Možnosti hodnocení jízdního komfortu.
- 3) Způsoby experimentálního hodnocení jízdního komfortu silničními testy.
- 4) Rozbor charakteristických veličin pro dosažení maximálního jízdního komfortu.

Seznam odborné literatury:

- [1] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [2] SMETANA, C., a kol. Hluk a vibrace: měření a hodnocení, Praha: Sdělovací technika, 1998. 1. vyd. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [3] GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Suchý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje především testování vozidel z hlediska jízdního komfortu. Popisuje průběh testování a druhy zkoušek. Dále popisuje jednotlivé veličiny, které se na kvalitě jízdy podílí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jízdní komfort, hluk, vibrace, tepelná pohoda, měření, polygon, testovací areál, testování automobilů

ABSTRACT

Bachelor thesis focuses primarily on testing vehicles in terms of ride comfort. Describes the testing and the types of tests. It also describes the different variables that contribute to the quality of driving.

KEYWORDS

Ride comfort, noise, vibrations, thermal comfort, measurement, polygon, test area, automotive testing



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROLEČEK, J. *Experimentální metody hodnocení jízdního komfortu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Suchý.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Suchého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Jaroslav Roleček



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Suchému za trpělivost a ochotu při tvorbě práce.



OBSAH

Úvod.....	11
1 Charakteristika jízdního komfortu.....	13
1.1 Podvozek.....	13
1.1.1 Pevné nápravy.....	13
1.1.2 Nezávislé zavěšení.....	14
1.2 Možnosti hodnocení jízdního komfortu.....	15
1.2.1 Jízdní komfort.....	15
1.2.2 Experimentální metody určování jízdního komfortu.....	16
1.3 Rozbor charakteristických veličin pro dosažení maximálního jízdního komfortu.....	17
1.3.1 Hluk.....	17
1.3.2 Vibrace.....	21
1.3.3 Tepelná pohoda.....	26
2 Způsoby experimentálního hodnocení jízdního komfortu silničními testy.....	27
2.1 Areály pro provádění jízdních zkoušek.....	27
2.1.1 Druhy povrchů.....	27
2.1.2 Způsoby hodnocení jízdního komfortu.....	29
2.2 Zkušební areál tatra.....	30
2.3 Zkušební areál Volvo.....	31
3 Průběh experimentálního měření.....	33
3.1 Průběh zkoušek.....	33
3.2 Návrh průběhu jízdního testu.....	34
Závěr.....	35
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39
Seznam obrázků.....	40





ÚVOD

Už od doby, co spatřil svoje světlo světa první automobil, se začíná objevovat otázka pohodlí řidiče vozidla a ostatních cestujících. Pohodlí jízdy je takové prostředí v karosérii, které vyvolá co nejmenší únavu nervovou i svalovou, májí na něj vliv mechanické otřesy, hluk, jakost vzduchu, viditelnost, tepelná pohoda a řada dalších činitelů. Nejjednodušším, ale velmi významným měřítkem je frekvence vlastních kmitů karosérie. Pro lidský organismus jsou nejlépe snesitelné kmity o frekvenci 60 až 80 za minutu, poněvadž tento kmitočet odpovídá rytmu normální chůze. V dnešní době se zaměřujeme na pneumatické systémy odpružení. Je to výhodné především u nákladních automobilů, kde je veliký rozdíl mezi naloženým a prázdným vozidlem. Auta s klasickými ocelovými pružinami jsou dimenzována tak, aby snesla plné zatížení, ale když je auto bez zátěže, podvozek téměř nepracuje. Toto lze vyřešit pomocí pneumatických systémů, díky kterým je možné udržovat stále stejnou výšku podlahy od náprav a také je možné měnit tuhost pružin v závislosti na zatížení. Pohodlí je důležité především kvůli bezpečnosti jízdy. Řidič, který je během jízdy vyrušován nějakým nepříjemným faktorem se nedokáže plně soustředit na řízení vozidla. Dnes je tato problematika označována jako jízdní komfort a zabývá se jí celá řada vědních oborů. Vznikají různá testovací centra a testovací okruhy.





1 CHARAKTERISTIKA JÍZDNÍHO KOMFORTU

1.1 PODVOZEK

Podvozek automobilu má za úkol:

- udržovat stálý kontakt pneumatiky s vozovkou,
- udržovat stálou vertikální polohu automobilu, zatímco kola kopírují nerovnosti vozovky,
- reagovat na síly při rozjezdu, brzdění a zatáčení a na brzdící a hnací momenty,
- omezit naklánění automobilu, zabránit překlopení [2].

1.1.1 PEVNÉ NÁPRAVY

Obě kola na nápravě jsou vzájemně propojena pevným nosníkem, takže vertikální pohyb na jednom kole je přenášen na druhé. Používají se jako zadní nápravy u většiny nákladních aut a jako přední nápravy u těžkých vozidel, u kterých je požadována velká nosnost

VÝHODY

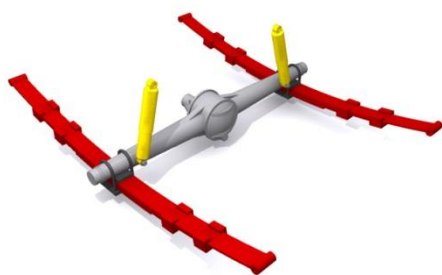
- náprava je pevná a tuhá
- jednoduchá konstrukce
- neustálý styk celého běhounu pneumatiky s vozovkou
- není potřeba seřizovat geometrii

NEVÝHODY

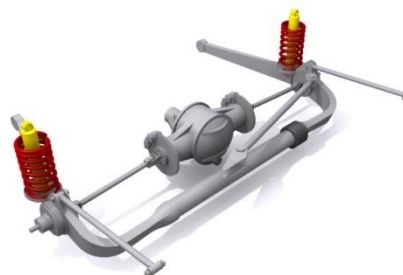
- velká váha neodpružených částí
- vibrace v důsledku gyroskopických sil působících mezi koly
- nižší bezpečnost jízdy

TYPY PEVNÉHO ZAVĚŠENÍ

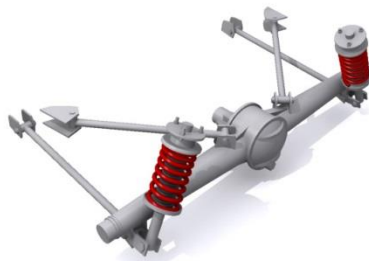
- Hotchkiss
- De Dion
- Čtyřprvkové zavěšení [2, 3, 4]



Obr. 1.1 Hotchkiss [4]



Obr. 1.2 De Dion [4]



Obr. 1.1 Čtyřprvkové zavěšení [4]

1.1.2 NEZÁVISLÉ ZAVĚŠENÍ

Umožňuje jednomu kolu pohybovat se ve vertikálním směru nezávisle na kole druhém. V dnešní době velice využívaný způsob zavěšení, najdeme ho téměř u všech typů automobilů.

VÝHODY

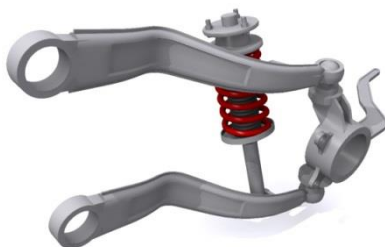
- poskytuje prostor pro motor mezi koly
- dobrá odolnost vůči vibracím
- dobrá stabilita
- nižší hmotnost neodpružených částí

NEVÝHODY

- komplikovaná konstrukce
- drahá údržba

TYPY NEZÁVISLÉHO ZAVĚŠENÍ

- Kliková náprava
- Lichoběžníková náprava
- Náprava MacPherson
- Víceprvkové zavěšení [2][3][4]



Obr. 1.2 Kliková náprava [4]



Obr. 1.3 Lichoběžníková náprava [4]



Obr. 1.4 MacPherson [4]



Obr. 1.5 Víceprvkové zavěšení [4]

1.2 MOŽNOSTI HODNOCENÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU

1.2.1 JÍZDNÍ KOMFORT

„Komfort pro uživatele (řidiče a spolucestující) znamená takové vnitřní vybavení automobilu, které jim poskytuje pohodlí při jízdě, neobtěžuje je nežádoucím hlukem, umožňuje lehkost a snadnost při nastupování a vystupování a poskytuje vrcholný estetický pocit.“ [5]

Jízdní komfort, nebo také kvalita jízdy, výrazně ovlivňuje soustředěnost řidiče a tím i schopnost dostatečně rychle reagovat na případný problém. Dobrý jízdní komfort zaručuje bezpečnou a klidnou jízdu. Opačný případ může vést až ke způsobení dopravní nehody. Základní kritéria, která určují jízdní komfort, jsou vibrace, hluk a tepelná pohoda. Při konstrukci automobilu se hledá kompromis mezi tuhým a měkkým podvozkem. Tuhý podvozek dovoluje nižší světlou výšku automobilu a zaručuje dobrou ovladatelnost. Zároveň však ve větší míře přenáší vibrace způsobené nerovností vozovky a tím snižuje jízdní komfort. Oproti tomu měkký podvozek, dobře kopíruje terén a více tlumí vibrace. Vyžaduje ale vyšší světlou výšku automobilu a tím i výše posazené těžiště a horší ovladatelnost především v zatáčkách. Výšku těžiště ovlivňuje také samotná výška automobilu. Čím nižší automobil, tím musí mít pasažér více natažené nohy [6].



1.2.2 EXPERIMENTÁLNÍ METODY URČOVÁNÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU

Experimentální zkoušení vozidel bývá z pravidla dvojího typu.

Testování vozidel:

- v reálných podmínkách – jízdní zkoušky
- v podmínkách uměle vytvořených – laboratorní zkoušky [7]

JÍZDNÍ ZKOUŠKY

Při jízdních zkouškách jsou vozidla testována v reálných podmínkách. Buď přímo v běžném silničním provozu, nebo na polygonech. Pod pojmem polygon si v tomto případě nepředstavíme mnohoúhelník, ale určitý komplex jízdních tratí určených k testování vozidel. Cílem tohoto areálu je co nejdříve nasimulovat podmínky, které jsou typické pro klasický silniční provoz. Jsou zde obsaženy například zatáčky, vlny, úseky s výtluky, hrubá dlažba, šterková cesta, zvlněná a nerovná vozovka, vyjeté koleje, nebo železniční přejezd. Polygony mají výhodu, že v průběhu testování nejsou ohrožováni ani omezováni další účastníci silničního provozu, což zaručuje vyšší bezpečnost a zároveň také vyšší kvalitu zkoušek. Jednotlivé testy lze provádět několikrát po sobě a tím zaručit věrohodnější výsledky. Nevýhodou jsou samozřejmě náklady spojené s výstavbou celého testovacího areálu. V dnešní době má každá automobilka svůj vlastní nebo pronajatý polygon. Bez tohoto areálu by nebylo možné dále vyvíjet a modernizovat automobily v dostatečné míře a kvalitě jako u konkurence [7, 8].

LABORATORNÍ ZKOUŠKY

Laboratorní zkoušky se provádějí v uměle vytvořených podmínkách ve zkušebnách většinou souběžně s jízdními testy. Zkušebny mají za úkol vytvořit takové prostředí, které odpovídá realitě. Dokáží věrně simulovat například povětrnostní podmínky, výkyvy teplot, cyklické zatížení jednotlivých součástí a další. Zkoušky se dělí na funkční, pevnostní a životnostní. Výhodou oproti jízdním testům je časová úspora, především u zkoušek životnosti. Při zkoušení se nastaví vyšší frekvence zatěžovacích cyklů, případně vyšší zatížení. Zkoušky, které by probíhaly několik let, tedy probíhají jen několik týdnů [7].

PODMÍNKY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK

Aby provedené zkoušky byly dostatečně kvalitní a jejich výsledky dostatečně věrné, musí se před samotným testováním stanovit testovací podmínky. Podle toho, jakou zkoušku a na jakém vozidle chceme provést, se před začátkem každého testování musí stanovit program zkoušky. Tento program obsahuje informace o tom co, kde, jak, proč a čím se bude testovat [7].



1.3 ROZBOR CHARAKTERISTICKÝCH VELIČIN PRO DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍHO JÍZDNÍHO KOMFORTU

Za hlavní činitele, které ovlivňují jízdní komfort, lze považovat hluk, vibrace a teplotu v kabině vozidla. Hluk a vibrace nelze v plné míře odstranit, ale pouze redukovat na přijatelnou hodnotu, protože vznikají všude tam, kde se něco pohybuje. Při běžném provozu automobilu by měly být vibrace a hluk dostatečně utlumeny, aby nerušily a jiným způsobem neovlivňovaly posádku. V dnešní době se toto daří dobře dodržovat díky různým tlumícím elementům a neprozvučným vrstvám. Co se týče tepelné pohody, tak ta v dnešní době není velkým problémem. Řidič i ostatní cestující by měli mít k dispozici dostatečné možnosti regulace klimatizace kabiny automobilu. Všechny tyto faktory jsou pro jízdní komfort důležité, protože jakýkoli rušivý podnět způsobí, že se řidič nesoustředí plně na řízení [6].

1.3.1 HLUK

Hluk by se dal popsat jako nežádoucí a obtěžující zvuk. Konkrétní definici není dost dobře možné stanovit, protože to, co se jednomu člověku jeví jako hluk, se jinému může zdát dokonce i jako příjemný a vyžadovaný zvuk. Aby bylo možné měřit zvukové hladiny a následně vyhodnocovat, zda se jedná o hluk, je potřeba objektivizovat měření. Všude tam, kde dochází k velkým změnám tlaku, neustálenému proudění nebo mechanickému kmitání vzniká hluk. V podstatě každý stroj, ve kterém se něco hýbe, lze považovat za zdroj hluku. Stejně tak automobil, který obsahuje hned několik dílčích zdrojů, jako jsou motor, pneumatiky, vzduch obtékající kolem vozu a všechny rotující součásti. Na motoru je to především výfuk a sání [9].

HLUK PNEUMATIK

Při rychlostech 50 až 120 km/h přispívají pneumatiky značným podílem k celkové hlučnosti ať už uvnitř vozidla, nebo v jeho okolí. Eliminace tohoto hluku by se dalo docílit použitím moderního povrchu vozovky se sníženou hlučností, v praxi se však stále využívá obyčejný povrch z důvodu finanční výhodnosti. Spíše se přistupuje ke snižování maximální rychlosti v úsecích, kde je potřeba snížit hlučnost. Další možností je použití tichých pneumatik, které ve srovnání s obyčejnou pneumatikou generují až třikrát méně hluku. Tišší pneumatiky jsou takové, které mají směrový běhoun bez otevřených prostor, jednotlivé bloky běhounu jsou umístěny nepravidelně, jsou úzké a vyrobeny z měkké směsi. Při styku pneumatiky s vozovkou se jednotlivé bloky dezénu rozvibrují a vyvolávají nepříjemný hluk. Čím členitější je povrch pneumatiky, tím hlasitější pneumatika. Dalším zdrojem hluku je vzduch, který obtéká pneumatiku. Dochází k víření proudu vzduchu mezi kolem a podběhem automobilu. Další hluk ve formě hlasitého pískotu může pneumatika vydávat, jestliže se nachází na hranici přilnavosti s vozovkou. Taková situace může nastat například při prudkém brždění, rozjíždění a průjezdu zatáčkou. V tomto okamžiku drhnoucí bloky dezénu o vozovku vyvolávají vibrace o vysokých frekvencích [10].

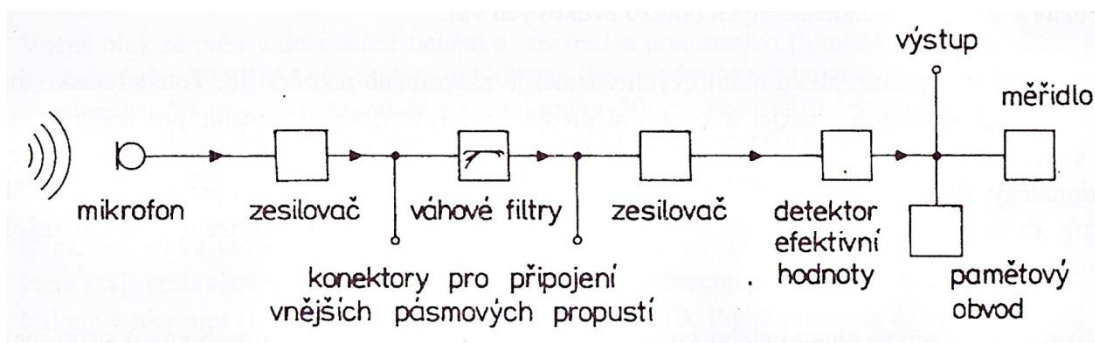


MĚŘENÍ HLUKU

Při vývoji a modernizaci vozidel je hluk jedním z parametrů, jehož tlumení se neustále vylepšuje. Aby bylo možné potvrdit, že se skutečně jedná o zlepšení, je zapotřebí provádět patřičná měření. V dnešní době jsou důležité především laboratorní zkoušky, které na rozdíl od jízdních zkoušek nepodléhají vnějším nežádoucím vlivům [11].

Laboratorní zkoušky

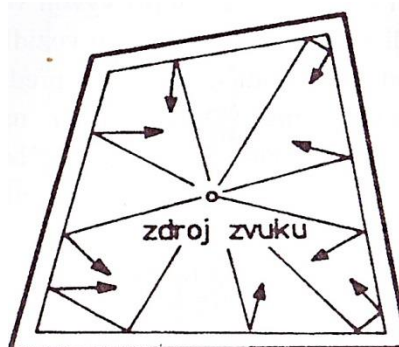
Zde probíhá měření pomocí zvukoměru (obr. 1.6), který se většinou skládá z mikrofону, zesilovače, frekvenčního filtru a detektoru, ze kterého jsou data vyhodnocována buď pomocí měřidla nebo zde může být připojen PC a další. Měření se provádí v tiché, nebo dozvukové komoře. Tichá komora (obr. 1.7) je místnost, která má stěny a strop pokryty prvky, které pohlcují zvuk (klínový tvar, materiál na bázi skelných vláken). Zde můžeme měřit hluk bez jakýchkoli nežádoucích zvuků. Dozvuková komora (obr. 1.8) je opak. Veškerý zvuk v této místnosti se od stěn, které jsou tvořeny tvrdým materiálem, odráží. Zde je možné měřit absolutní akustické zdroje hluku (motor, ventilátor, převodovka) [11, 12].



Obr. 1.6 Blokové schéma zvukoměru [11]



Obr. 1.7 Tichá komora [11]



Obr. 1.8 Dozvuková komora [11]



Jízdní zkoušky

Měření probíhá v dostatečně tichém a rozlehlém prostoru, na kterém je rovný a tvrdý (asfaltový nebo betonový) povrch. Měří se pouze za dobrých povětrnostních podmínek, to znamená, že nesmí foukat vítr a nesmí pršet. Jako měřicí přístroje se zde také používají zvukoměry. Nejčastěji používanými jsou integrující zvukoměry, které nám okamžitě ukážou hladinu zvuku na displeji [11, 12].

VELIČINY MĚŘENÍ HLUKU

Hluk ve své podstatě znamená mechanické kmitání v pružném prostředí. K jeho měření se používají zvukoměry. Hluk je určitá hladina zvuku, která už člověku vadí. Lidský sluchový orgán vnímá zvuk jako změnu akustického tlaku v rozsahu frekvencí kmitání 20 Hz až 20 000 Hz. Akustický tlak se dále, kvůli nepraktičnosti zápisu a kvůli tomu, že změna sluchového vnímání se děje na základě logaritmického zákona, přepočítává na logaritmickou hodnotu vzhledem k vztažné hodnotě. Tato hodnota se nazývá hladina akustického tlaku L_a [dB] a je dána vztahem:

$$L_a = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]} \quad (1)$$

p – naměřený akustický tlak

p_0 – vztažný akustický tlak ($p_0=2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

Další veličinou charakterizující zvuk je výkon kmitavého děje nebo také akustický výkon W [W], který je dán vztahem:

$$W = p \cdot v \cdot S \text{ [W]} \quad (2)$$

p – akustický tlak [Pa]

v – rychlost [m/s]

S – sledovaná plocha [m²]

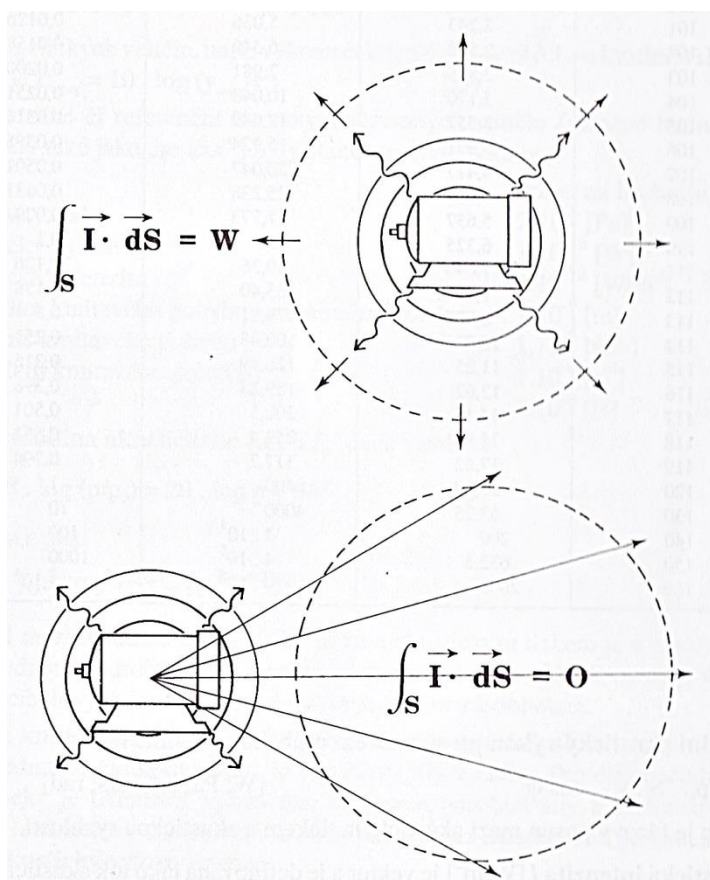
Následující veličinou je akustická intenzita I [W/m²], která je definována jako tok akustické energie plochou kolmou ke směru šíření této energie. Vztah mezi akustickým výkonem a intenzitou je následující:

$$W = \int_S I \cdot dS \text{ [W]} \quad (3)$$

Jestliže plochu S zvolíme tak, aby obepínala měřený objem V , pak se akustický výkon vypočte podle vztahu:

$$W = \oiint_S I \cdot dS \text{ [W]} \quad (4)$$

Tedy akustický výkon, který vznikne uvnitř uzavřené plochy S , získáme integrací přes tuto plochu a výkon, který vzniká vně této plochy, výsledky nijak neovlivňuje, jak je možné vidět na obrázku 1.9 [6, 12].



Obr. 1.9 Akustická intenzita procházející uzavřenou plochou, zdroj hluku je uvnitř (a), nebo vně (b) [12]

SROZUMITELNOST ŘEČI VE VOZIDLE

Srozumitelnost řeči je jedním z kritérií pro stanovení zvukové kvality při jízdě v automobilu. Je to schopnost řečového signálu bez zkreslení dojít od řečníka k posluchači v závislosti na jejich poloze. Negativní vliv na tuto schopnost má především hluk pozadí, který je způsoben hlukem motoru, pneumatik a obtékajícím vzduchem. V neposlední řadě také odrazivost ploch v daném prostředí, tuto vlastnost mají například skleněná okna automobilu. Naopak kladně přispívá ke srozumitelnosti pohltivost ploch, takové plochy jsou všechny čalouněné části interiéru automobilu. Pro určování srozumitelnosti se používají dvě základní metody, které se snaží objektivně měřit subjektivní charakteristiky. První je metoda Artikulačního indexu, která zkoumá hluk pozadí a následně vyhodnocuje srozumitelnost. Nevypovídá však nic o vzájemné poloze řečníka a posluchače. Druhou metodou je metoda RASTI, která dokáže přímo simulovat řečníka jako zdroj zvuku a posluchače jako senzor přeneseného signálu. V praxi se využívají obě metody najednou a následně se výsledky porovnávají [13].



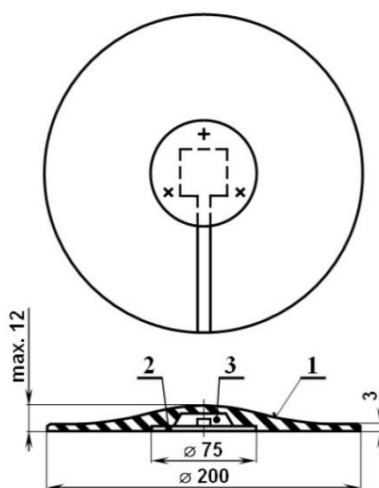
1.3.2 VIBRACE

Vibrace definujeme jako mechanické kmitání v pružném prostředí. U automobilu je původce vibrací především motor a nerovný povrch. Proto musí být kola a motor vzhledem k rámu uloženy pružně pomocí pružin a tlumičů, případně silentbloků (deformačních tlumičů vyrobených většinou z gumy). Spolu s koly je na pružinách a tlumičích někdy uložena i celá náprava, s motorem je pružně uložena také převodovka a výfukové potrubí. Obecně platí, že čím větší váha kmitajících částí, tím mohutnější vibrace jsou a je složitější zamezení jejich šíření. Aby docházelo k co nejmenšímu přenosu vibrací na člověka, používají se měkká a pohodlná sedadla, která jsou navíc uložena pružně. Pro vyjádření míry vibrací se dá použít výchylka, rychlost, zrychlení nebo ryv (puls). Dnes se převážně využívá veličiny zrychlení, protože je k dispozici velká škála akcelerometrů. Vibrace se dělí do dvou základních kategorií [5, 12]:

- Deterministické – jejich okamžitá hodnota je přesně dána časovým průběhem
 - periodické – přechodové
 - neperiodické – sinusové a vícesinusové
- Náhodné – okamžitá hodnota nelze určit z jejich časového průběhu
 - stacionární – silně a slabě samostacionární
 - nestacionární

MĚŘENÍ VIBRACÍ

Jako zástupce vibrací se označuje jejich zrychlení. Měří se ve třech osách, jejichž průsečík je v bodě, kde jsou vibrace přenášeny na lidské tělo. Do tohoto bodu je umístěn trojosý snímač zrychlení (akcelerometr), který je součástí polopružného disku o průměru 200mm s pevným jádrem o průměru 75mm a o tloušťce 3 až 12mm. Tento disk bývá buď volně položen, nebo mechanicky přichycen [14].



Obr. 1.10 Kotouč na měření vibrací (1 - disk, 2 - kovová deska pro upevnění snímače, 3 - dutina pro snímač) [14]



HODNOCENÍ VIBRACÍ

Nejčastěji mají vibrace náhodný charakter a skládají se z velkého rozsahu kmitočtů. Pokud měříme vliv na člověka, zajímají nás pouze nějaké oblasti. Pro hodnocení vibrací existuje několik metod, ty běžné využívají průměrování v čase a ve frekvenčních pásmech. Nejčastěji se používá metoda vážené efektivní hodnoty (RMS) zrychlení a_{ef} [$m \cdot s^{-2}$], pro kterou platí vztah:

$$a_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int_0^T [a_w(t)]^2 dt} \quad (5)$$

T_m – doba měření

$a_w(t)$ – okamžitá hodnota váženého zrychlení

Tato metoda však není vždy vhodná. O vhodnosti rozhoduje činitel výkmitu (crest factor), který je definován jako absolutní hodnota poměru nejvyšší okamžité špičkové hodnoty frekvenčně váženého zrychlení k jeho efektivní hodnotě. Pokud je tento činitel větší než 9, tak se musí použít metoda jiná. Vyšší činitel výkmitu je důsledkem náhodných rázů a přechodových vibrací. V tomto případě můžeme použít metodu hodnocení průběžné efektivní hodnoty, která bere v úvahu jenom krátký časový úsek. Velikost vibrací je potom rovna maximální hodnotě přechodových vibrací (MTVV) $a_{ef}(t_o)$ [$m \cdot s^{-2}$], která je dána vztahem:

$$a_{ef}(t_o) = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_o-\tau}^{t_o} [a_w(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

t_o – čas pozorování [s]

τ – doba integrace probíhajícího průměrování [s]

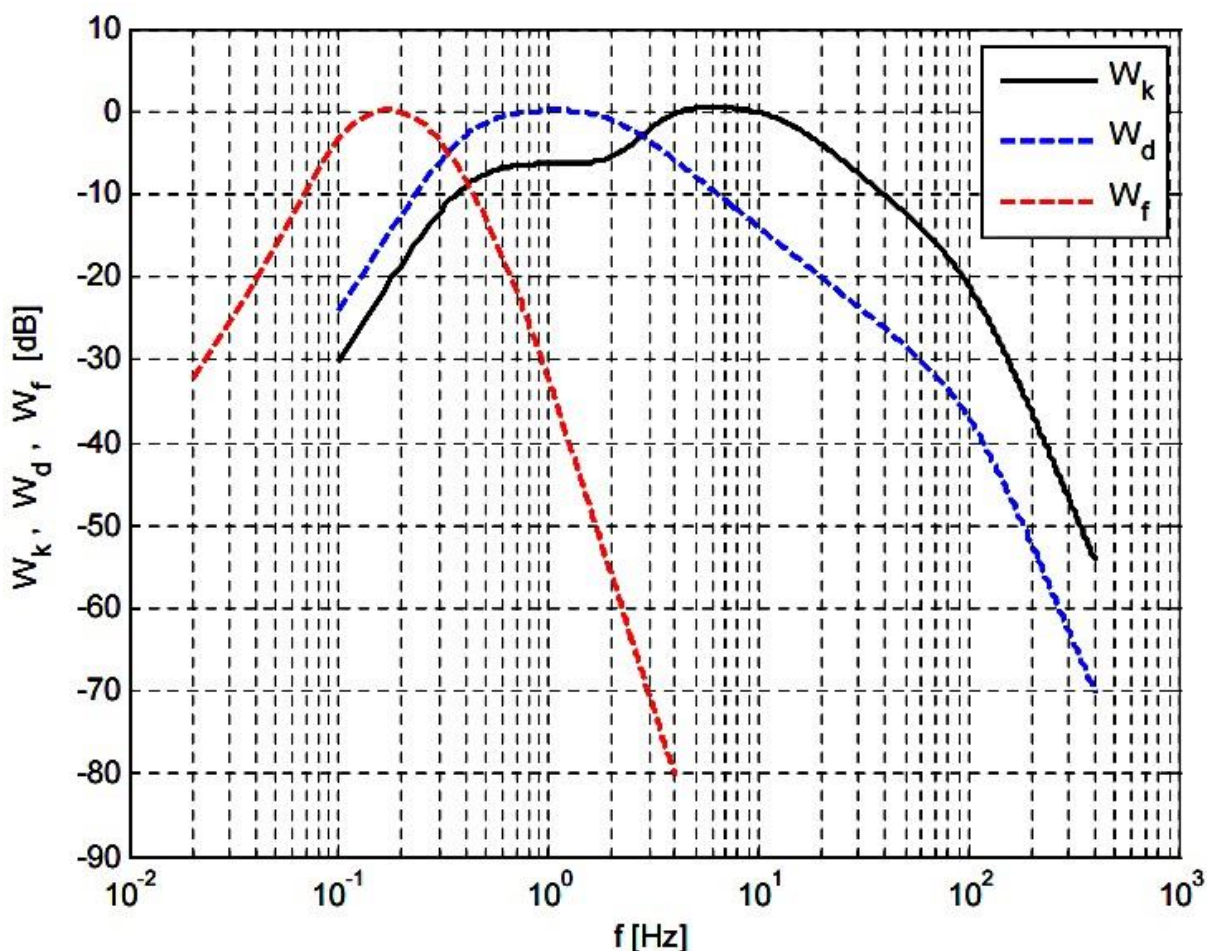
Z toho maximální hodnota přechodových vibrací je:

$$a_{MTVV} = \max[a_{ef}(t_o)] \quad (7)$$

Nebo je možné použít metodu čtvrté mocniny dávky vibrací, která místo druhé mocniny používá mocninu čtvrtou. Tato metoda je citlivější na špičky. Veličina získaná touto metodou se nazývá kvartová hodnota dávky vibrací (VDV), označuje se a_{VDV} [$m \cdot s^{1,75}$] a je dána vztahem:

$$a_{VDV} = \left[\int_0^{T_m} [a_w(t)]^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

Před začátkem integrování časového průběhu frekvenčně váženého zrychlení, se nejprve musí stanovit odpovídající frekvenční vážení. Tedy pro svislý směr a horizontální směry se použijí jiná frekvenční vážení. Ve svislém směru je lidský organismus nejvíce náchylný na účinek vibrací v rozsahu 4 až 8 Hz a ve vodorovném směru 1 až 2 Hz. Zvláštní vážení je pak přiděleno pro nízkofrekvenční vibrace způsobující nemoc z pohybu (kinetózu). Toto vážení je pro jednotlivé směry dáno křivkami zakreslenými v obrázku 1.11 [14].



Obr. 1.11 Křivky frekvenčního vážení: W_k - svislý směr, W_d - vodorovný směr, W_f - nízkofrekvenční vibrace [14]

Celková vážená hodnota zrychlení a_w se pak určí podle vztahu:

$$a_w = [\sum_{i=1}^N (W_i a_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

W_i – váhový součinitel i -tého třetinooktávového pásma

a_i – efektivní hodnota zrychlení v i -tém třetinooktávovém pásmu

Vibrace se dají také vyjádřit pomocí hladiny zrychlení vibrací L_v [dB], která je dána vztahem [14]:

$$L_v = 20 \cdot \log \frac{a_{ef}}{a_0} \quad (10)$$

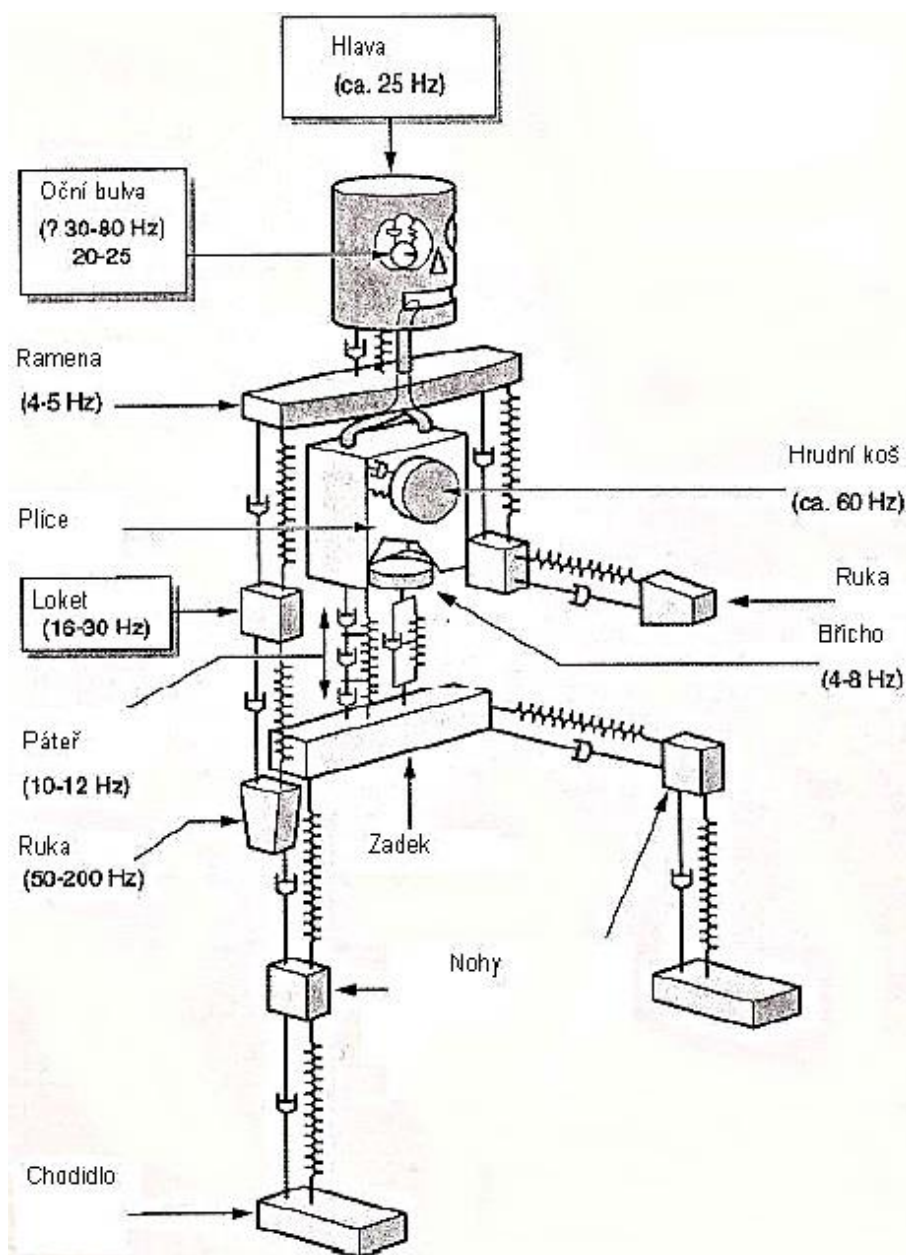
a_{ef} – efektivní hodnota zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

a_0 – referenční zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] ($a_0 = 10^{-6} m \cdot s^{-2}$)



ÚČINKY NA LIDSKÉ TĚLO

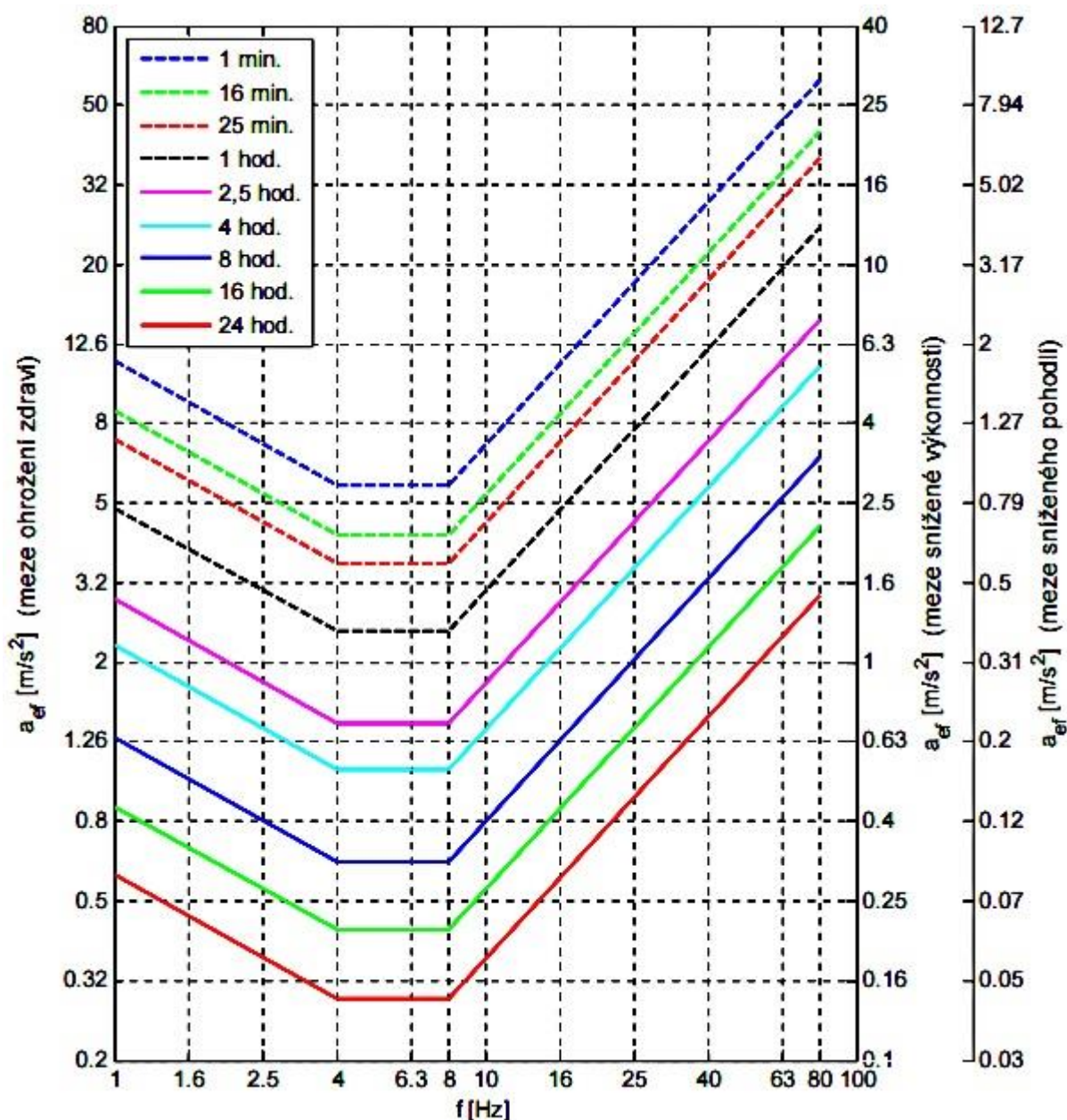
Na řidiče i ostatní cestující ve vozidle působí vibrace. Nejen, že je vnímáme jako rušivé, ale mohou být i zdraví škodlivé. Dochází především k únavě řidiče a ke zhoršení schopností při řízení. Při hodnocení účinku vibrací na lidské tělo nás zajímají vibrace, které jsou přenášeny buď ze sedadla nebo z podlahy, nebo z jiných částí, kterých se člověk dotýká, na lidské tělo. Dochází tak k rozkmitání některých částí, nebo celého těla. Lidské tělo lze brát jako kmitavou soustavu, ve které jsou orgány pružně navěšeny na kostru, kde každý kmitá vlastním kmitočtem o určité hodnotě. Nejhorší jsou proto vibrace, jejichž frekvence se shoduje s frekvencí nějaké části těla a dochází tak k rezonanci [5].



Obr. 1.12 Lidské tělo jako soustava kmitavých součástí [5]



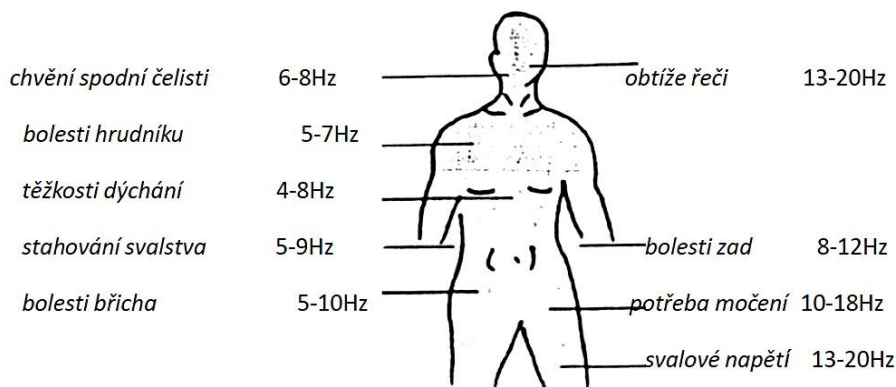
Dopad na člověka závisí na frekvenci, intenzitě, době a směru působení. Za hlavní se považují kmity ve směru svislém, které nejvíce působí na sedícího člověka. Nejlépe přijatelné jsou vibrace o frekvenci 1 Hz až 1,5 Hz, což odpovídá běžné chůzi. Srovnání, jak dlouho můžou na člověka působit vibrace o určité intenzitě a frekvenci, než dojde ke snížení pohodlí, snížené výkonnosti a k ohrožení zdraví člověka, je znázorněno v následujícím obrázku [5].



Obr. 1.13 Meze stejné doby působení efektivních hodnot zrychlení ve svislém směru na sedícího člověka v závislosti na frekvenci [14]



Dlouhodobé intenzivní působení vibrací o frekvenci odpovídající frekvenci nějakého orgánu může způsobit zdravotní problémy [5].



Obr. 1.14 Možné následky působení vibrací na lidské tělo [5]

1.3.3 TEPELNÁ POHODA

Další hledisko hodnocení jízdního komfortu je tepelná pohoda. Důležité je, aby uvnitř automobilu byl takový tepelný stav prostředí, který bude vyhovovat všem osobám nacházejícím se v tomto automobilu. Nesmí nijak rušit řidiče a neměl by být nepříjemný ani pro ostatní cestující. V dnešní době je toho dosahováno především pomocí klimatizace. Často se tepelná pohoda hodnotí pouze z hlediska teploty vzduchu, která se navíc většinou měří v jednom místě. S tepelným komfortem však souvisí několik dalších veličin, které je potřeba měřit a následně hodnotit [15].

VELIČINY MĚŘENÍ TEPELNÉ POHODY

Teplota vzduchu T [K] se měří pomocí teploměrů, které musí být kryty, aby na ně nepůsobilo žádné tepelné záření. Nejčastěji to jsou termoelektrická a odporová čidla, ale také třeba bimetalové teploměry (termostaty). Nejčastěji se měří v úrovni hlavy, břicha a kotníků cestujících. Můžeme také měřit v celém prostoru kabiny pomocí soustavy čidel komunikujících s počítačem. Toto měření se provádí pouze v laboratorních podmínkách a je možné ho následně vizualizovat.

Střední radiační teplota T_r [K] je veličina, která odpovídá tepelnému záření okolních ploch, které bylo při měření teploty vzduchu odstíněno. Měří se nepřímo pomocí kulového teploměru, dvoukulového radiometru nebo čidla konstantní teploty.

Rychlost proudění vzduchu w [$m \cdot s^{-1}$] je veličina, která snižuje pocitovou teplotu. Měří se pomocí termoanemometru, ultrazvukových nebo laserových anemometrů.

Relativní vlhkost vzduchu φ [%] udává poměr mezi skutečným množstvím vodních par ve vzduchu a maximální množstvím par, které by bylo ve vzduchu za stejných podmínek. Měří se pomocí psychrometru a jiných vlhkoměrů [15].



2 ZPŮSOBY EXPERIMENTÁLNÍHO HODNOCENÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU SILNIČNÍMI TESTY

2.1 AREÁLY PRO PROVÁDĚNÍ JÍZDNÍCH ZKOUŠEK

Takový areál má za úkol co nejlepším způsobem vytvořit jízdní podmínky odpovídající podmínkám, ve kterých se vozidlo bude v průběhu své činnosti pohybovat. Je to především povrch, po kterém automobily jezdí. Každá cesta se dá popsat pomocí jednotlivých sinusovek, které jsou různým způsobem poskládány a vytvářejí výsledný profil vozovky. Toto je možné vyjádřit pomocí vztahu:

$$z(x) = Z \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L}\right) \quad (11)$$

z – aktuální výška profilu

Z – amplituda

L – vlnová délka

x – délková souřadnice

Každá vozovka je ve skutečnosti jiná, a tak je snahou v testovacím areálu umístit co nejvíce různých povrchů pro optimální výsledky měření. Mezi nejčastěji využívané povrchy patří například asfaltová, dlážděná, sinusová rezonanční vozovka, bulžník, vozovka s výmoly, s hrboly nebo s poklapy kanálů. Auta přes tyto vozovky přejíždí různými rychlostmi a následně se provádí subjektivní a objektivní hodnocení jízdního komfortu z hlediska vibrací a hluku [16].

2.1.1 DRUHY POVRCHŮ

ASFALTOVÁ VOZOVKA

Typický asfaltový povrch, tak jak ho známe z běžných silnic. Jízda po tomto povrchu je relativně klidná a tichá, obzvláště při malých rychlostech. Proto se při testování na této vozovce volí vyšší rychlosti 60 a 80 km/h [17].



Obr. 2.1 Asfaltová vozovka [18]



DLÁŽDĚNÁ VOZOVKA

S tímto typem povrchu se v běžném provozu můžeme setkat na starých komunikacích, z dob, kdy ještě nebyly budovány asfaltové silnice. Dnes jsou to především centra měst a různé účelové plochy, například parkoviště. Patří sem například cesta dlážděná z kamenů opracovaných do tvaru malé krychle (pavé), nebo do tvaru velkých dlaždic ve tvaru hranolu (belgická dlažba). Ve všech případech se jedná o jednotlivé kameny zalité v betonu. Při jízdě po tomto povrchu vydávají pneumatiky poměrně velký hluk a přenáší na vozidlo velké vibrace. Po tomto povrchu se přejíždí rychlostmi 20,40 a 60 km/h [17].



Obr. 2.2 a - Pavé, b - Belgická dlažba [19]

BULIŽNÍK

Je to další typ dláždění a od předchozích se liší tím, že balvany jsou oblého tvaru. Mezi jejich vrcholky jsou tedy větší mezery. Po tomto povrchu se přejíždí pouze rychlostí 45 km/h [19].



Obr. 2.3 Buližník [19]



REZONANČNÍ VOZOVKA

Takovýto povrch v běžném provozu vzniká v místech, kde automobily často brzdí, například před křižovatkou nebo železničním přejezdem. Může vznikat také při nekvalitním provedení výstavby vozovky. Testy na této vozovce se provádějí při rychlosti 20 a 40 km/h. Auto jedoucí po tomto povrchu je vystavováno velice intenzivnímu působení vibracím i při nižších rychlostech, natož pak při rychlostech vyšších [17].



Obr. 2.4 Rezonanční vozovka [19]

2.1.2 ZPŮSOBY HODNOCENÍ JÍZDNÍHO KOMFORTU

SUBJEKTIVNÍ

Několik řidičů dané výšky a váhy postupně přejíždí testovaným vozidlem po jednotlivých površích a následně hodnotí podle vlastního pocitu, jak pro ně byla jízda pohodlná. Hodnotí působení vibrací na ruce, chodidla, kyčle, záda a na celé tělo. Tato metoda nám nepodá žádné reprodukovatelné výsledky a slouží proto především k porovnání s metodou objektivní [17].

OBJEKTIVNÍ

Toto měření probíhá pomocí snímačů. Na povrchu sedadla, v oblasti kde člověk sedí, je umístěn tříosý akcelerometr, který měří zrychlení vibrací ve třech osách a tříosý gyroskop, který měří natočení okolo tří os. Další akcelerometry jsou na sedadle v oblasti zad, na volantu a na podlaze v oblasti chodidel. Na volantu je snímač umístěn v místě, kde se předpokládá, že bude řidič volant držet. Pro přesnější měření je možné použití dvou snímačů, pro každou ruku jeden. Dále jsou umístěny dva mikrofony v oblasti lidských uší [17, 20].



Obr. 2.5 a - umístění akcelerometrů a gyroskopu [17], b – umístění dvou akcelerometrů na volantů [20]

Hodnoty z těchto snímačů jsou zaznamenávány v reálném čase a následně z nich jsou pomocí frekvenční analýzy vypočteny různé požadované veličiny. Je možné takto získat váženou efektivní hodnotu zrychlení a_{ef} [$m \cdot s^{-2}$], nebo hladinu zrychlení vibrací L_v [dB]. Ohledně hluku pak hladinu akustického tlaku L_a [dB], nebo třeba akustický výkon W [W] a další [20].

2.2 ZKUŠEBNÍ AREÁL TATRA

Testovací areál Tatra v Kopřivnici je největší centrum svého druhu ve střední Evropě. Nachází se zde polygon pro jízdní testy, specializovaná pracoviště a laboratoře. Testují se zde především nákladní a jiná speciální vozidla. Jízdní komfort se zde testuje na vozovkách typu pavé, buližník, belgická dlažba, panelová vozovka a zvlněná vozovka. Dále je tu krutová a ohybová vozovka, na kterých se testuje pevnost a životnost jednotlivých komponent. Provádí se zde také výjezdy do prudkých kopců se stoupáním až 65%, kde se hodnotí hlavně systémy, které mají zaručit stálou přilnavost pneumatiky k povrchu bez prokluzu. Co se týče laboratorních zkoušek, tak ty se zde provádějí v několika specializovaných pracovištích a laboratořích. Testy se zaměřují na zkoušení pevnosti a životnosti jednotlivých dílů automobilu, především podvozku, měření charakteristik motorů a měření hluku automobilu a funkčnosti tlumičů [19].



Obr. 2.6 Areál TATRA Kopřivnice [19]



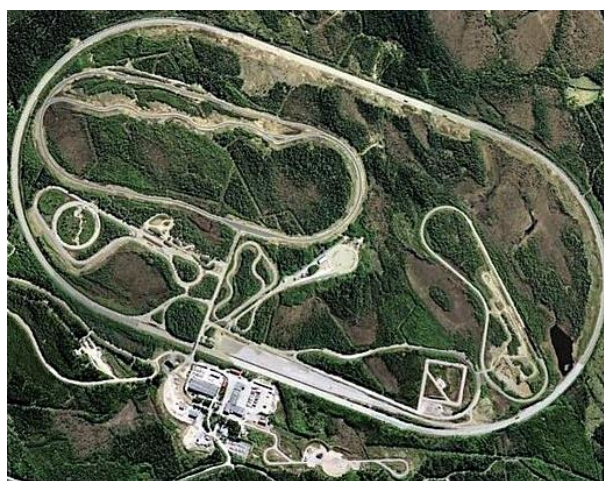
Jednotlivé testy jízdního komfortu, které se v tomto areálu provádějí, jsou uvedeny v následující tabulce.

Druh povrchu	Testovací rychlost [km·h ⁻¹]	Délka testovací dráhy [m]
Pavé	25	400
Belgická vozovka	15	400
Buližník	45	400
Panelová vozovka	35	450
Rezonanční vozovka (sinusová)	20	400

Tab. 1 Testy jízdního komfortu na polygonu TATRA [14]

2.3 ZKUŠEBNÍ AREÁL VOLVO

V jižní části Švédska se uprostřed hlubokých lesů nachází testovací areál značky Volvo. Někdy bývá přezdíván dokonce jako „peklo pro auta“. Nákladní a osobní vozy zde jsou testovány v mimořádně náročných podmínkách po velmi dlouhou dobu ještě před uvedením do sériové výroby. V areálu se nachází 15 testovacích tratí, mezi které patří úseky na testování pohodlí, rychlosti, různých pevnostních charakteristik nebo třeba nezpevněná prašná cesta. Je zde vysokorychlostní ovál dlouhý 6,2km na kterém se auta prohánějí rychlostí 250km/h. Dále je tu silnice, která simuluje jízdu v běžném provozu, nacházejí se zde různé poklapy od kanálů, výtluky, spoje vozovky. Terénní auta zde jezdí také po schodech. Velmi zajímavé je zkoušení odolnosti vůči korozi. To probíhá tak, že auto projíždí mlhou vytvořenou ze slané vody a následně po šterkové cestě. Důležitou roli v tomto areálu hrají testy bezpečnosti. Testuje se zde systém, který má zabránit srážce s chodcem, s jiným vozidlem, nebo například se zvěří [21, 22, 23].



Obr. 2.7 Testovací areál Volvo [24]

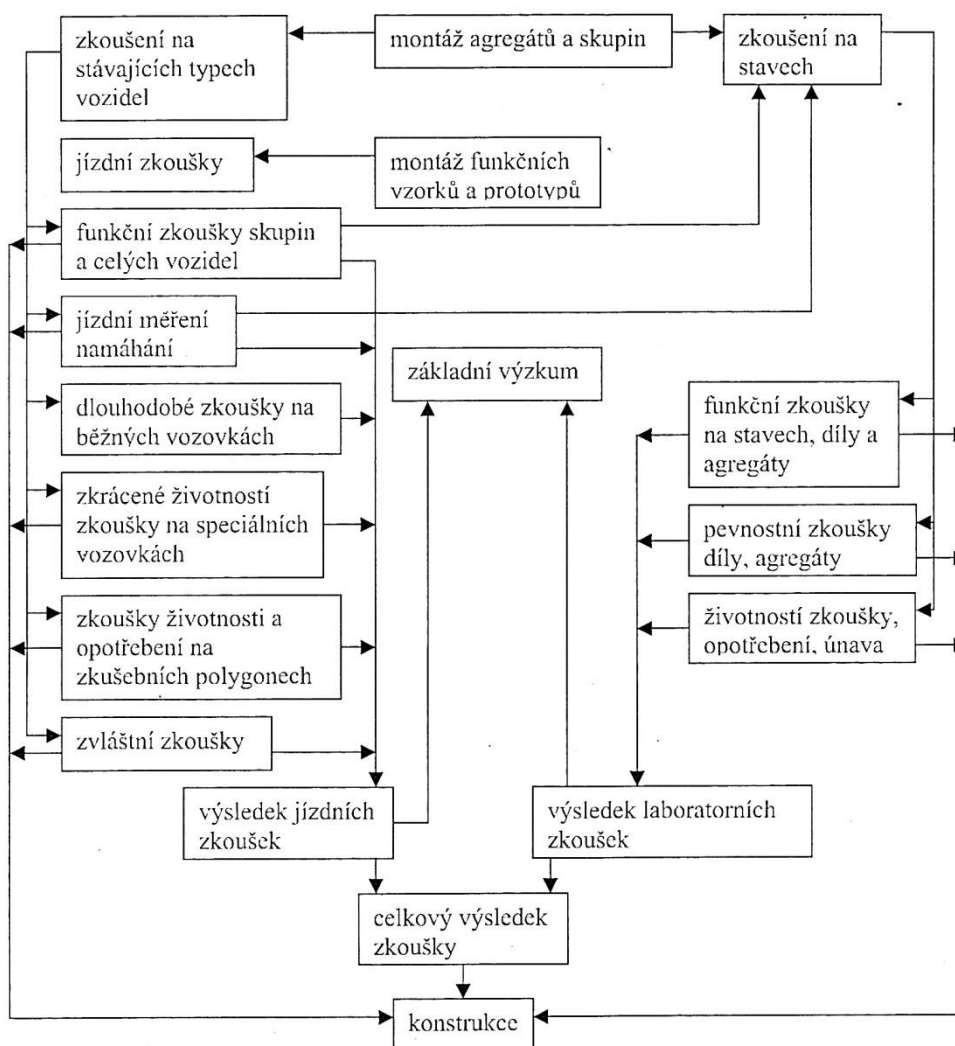




3 PRŮBĚH EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

3.1 PRŮBĚH ZKOUŠEK

Automobilové testy se dělí podle různých hledisek. Například podle způsobu provedení zkoušky, jízdní testy nebo laboratorní zkoušky, podle zkoušených objektů, jiné zkoušky se provádí u osobních automobilů, jiné u nákladních a jiné třeba u autobusů, nebo podle podmínek zkoušky atd. Laboratorní zkoušky, jak už bylo zmíněno dříve, probíhají souběžně s jízdními. Při jízdních zkouškách se testuje ovladatelnost, brzdy, rychlost, akcelerace, rozjezd ve stoupání, spotřeba, životnost, pohodlí jízdy, které zahrnuje i optimalizaci pružící soustavy a další. Zkoušky životnosti probíhají tak, že po ujetí určitého počtu kilometrů nebo vykonání určitého počtu manévrů se vozidlo rozebere na součásti, u kterých se následně hodnotí pevnost a míra únavového porušení. Mohou být buď dlouhodobé, v tomto případě vozidlo jezdí v reálných podmínkách, počet ujetých kilometrů a doba testu odpovídá skutečnosti, nebo krátkodobé, kde vozidlo jezdí po velmi špatném povrchu a například 1000 km najetých po tomto povrchu odpovídá 100000 km najetých v běžných podmínkách [12].



Obr. 3.1 Průběh automobilových testů [12]



Terénní vozidla jsou navíc testována mimo vozovku. Provádějí se zkoušky stoupavosti, průchodnosti terénem, nebo brodivosti. Tyto zkoušky se provádí i u nákladních nebo jiných speciálních vozidel, která jsou určena pro práci v terénu. Pro tyto účely jsou v areálech budována různě strmá stoupání, umělé vodní brody, úseky s pískem nebo bahnem. U vozidel, kde je velký rozdíl mezi prázdným a plně naloženým stavem, se provádějí zkoušky v obou těchto stavech. Například u autobusu, který veze 80 cestujících, z nich každý v průměru váží 75 kg, je rozdíl mezi prázdným a naloženým vozidlem 6 tun. U autobusů se navíc hodnotí jízdní komfort pro všechny cestující, vytápění nebo naopak klimatizace celého prostoru, hluk a vibrace v jednotlivých bodech celého prostoru vozidla [12, 25].

3.2 NÁVRH PRŮBĚHU JÍZDNÍHO TESTU

Každý automobil by měl být testován v takových podmínkách, pro které je určen. Osobní automobil bych testoval především na asfaltovém povrchu, po kterém jezdí nejčastěji. Testovací rychlosti bych volil 50 km/h a 90 km/h, protože jsou to nejběžnější rychlosti, kterými se v běžném provozu auta pohybují. Další při 130 km/h, aby bylo zjištěno, jak se vyvíjí jízdní komfort při vyšších rychlostech. Jakým způsobem narůstá hluk a vibrace. Ještě jedno měření při maximální rychlosti vozu, aby bylo možné vyloučit výskyt problémů i za této situace. Další testování by probíhalo na rozbité vozovce s výmoly, různými nerovnostmi, zvlněními a tak dále. S těmito povrchy se dnes také běžně setkáváme. Jezdí na nich pomaleji, a tomu by měla odpovídat testovací rychlost, například 20, 30 a 50 km/h. Stejně rychlosti bych volil i u dlážděného povrchu. Poslední test by probíhal na rezonanční vozovce, při rychlosti 20 a 40 km/h, kde lze dosáhnout nejintenzivnějších vibrací. Bylo by vhodné také provádět zkoušku při obutí různých typů pneumatik. Nižší a střední třídu pro běžné testy případně ještě pneumatiky vyšší třídy u sportovních vozidel. U autobusů a nákladních automobilů bych volil testy dvojí a to při prázdném vozidle a při zatížení. S tím, že prázdné vozidlo by provádělo zkoušky při vyšších rychlostech. Na asfaltovém povrchu by byla rychlost 50, 80 km/h a maximální rychlost vozidla. Na dlažbě a vozovce s výmoly pak rychlosti 20 a 40 km/h. Tyto rychlosti by byly stejné i při jízdě se zatížením. Na asfaltové vozovce rychlosti 20, 40 km/h, kde by do zkoušecí dráhy bylo zahrnuto i stoupání, ve kterém především tato vozidla jezdí pomalu. Dále pak rychlost 70 km/h a maximální rychlost vozidla.



ZÁVĚR

Jízdní komfort je jedna z problematik řešených při vývoji v oblasti automobilového průmyslu. Všechny automobilky, které chtějí být konkurenceschopné, musí mít buď vlastní, nebo pronajatý testovací areál, na kterém provádějí mimo jiné zkoušky jízdního komfortu. Každý člověk, který nastupuje do automobilu, od něj očekává určité pohodlí. Není to však jen o pocitu, jaký z jízdy máme, je to především o bezpečnosti a o lidském zdraví. Člověk, na kterého působí vnější nežádoucí vlivy, se nedokáže plně soustředit na řízení vozidla a dlouhodobé intenzivní působení mu může způsobit zdravotní problémy. Těmito vlivy jsou především vibrace a hluk, které jsou u automobilů způsobeny jízdou po nehladkém povrchu a také chodem motoru. Přenos vibrací je tlumen pomocí pružného uložení. Následná funkčnost tohoto tlumení a celkový jízdní komfort jsou hodnoceny pomocí experimentálních zkoušek, které se dělí na jízdní a laboratorní. Jízdní zkoušky se provádějí buď v běžném provozu, což má řadu omezení, nebo na speciálních tratích k těmto účelům vytvořených (polygony). Automobily zde projíždí po různých površích a měří se při nich hluk a vibrace. Další faktor ovlivňující jízdní komfort je tepelná pohoda. Ta je dnes ovlivňována především pomocí klimatizace. S testy jízdního komfortu souvisí také testy bezpečnosti vozidel. Jestliže člověk ví o autě, že je bezpečné, bude se za jeho volantem cítit mnohem lépe, než v autě, u kterého má o bezpečnosti pochyby. Pomocí moderních systémů a materiálů se daří udržovat bezpečnost a jízdní komfort na vysoké úrovni u většiny dnes vyráběných automobilů.





POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B. a ČUPERA, J. *Automobily (1): Podvozky*. Brno: Avid, spol. s r. o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7
- [2] GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, c1992, xxii, 495 p. ISBN 1560911999.
- [3] SAJDL, J. *Autolexicon: Zavěšení kol* [online]. 2011-05-19 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/zaveseni-kol/>
- [4] LONGHURST, Ch. *Carbibles: Suspension Bible* [online]. 2014 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.carbibles.com/suspension_bible.html
- [5] SCHOLZ. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Základy teorie vozidel a vozidlových motorů: Komfort* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1999>
- [6] PLÁNKA, J. *Jízdní komfort*. Brno: Vysoké učení technické v Brno, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vančura, Ph.D.
- [7] PANÁČEK, V. *Zkoušení vozidel*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, Ústav soudního inženýrství, 2012, 86 s. ISBN 978-80-214-4558-1.
- [8] DUŠÁKOVÁ, A. a KOLOMAZNÍK, P. UNIVERSITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA. *Výstavba testovacího polygonu Škoda auto a.s. a její vliv na životní prostředí* [online]. Pardubice [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/24_SP_01.PDF
- [9] KOPECKÝ, M. *Hlukové zkoušky motorových vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc..
- [10] WINTER, A. *OPONEO: Hluk pneumatik* [online]. 2013-11-13 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.oponeo.cz/clanek/hluk-pneumatik>
- [11] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001, viii, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [12] SMETANA, C. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [13] NĚMEČEK, P. *Metody měření srozumitelnosti* [online]. Praha, 2003. Dostupné z: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/KOKA03-Srozumitelnost.pdf>
- [14] KUPKA, L. Hodnocení vibrační působení na řidiče. *Perners Contacts*. 2012, Ročník 7, číslo 3. Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/27_2012/Kupka.pdf
- [15] ŠTĚTINA, J. VUT V BRNĚ ODBOR TERMOMECHANIKY A TECHNIKY PROSTŘEDÍ. *Zkoušení vozidel: Tepelný stav prostředí* [online]. Brno, 2003 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/vozidla/Ka05-01.htm>
- [16] FRIEDL, M. *Multibody model vozidla – hodnocení jízdního komfortu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Blažák, Ph.D.
- [17] KIM, M. S., KIM, K. W. a YOO, W.S. Method to objectively evaluate subjective ratings of ride comfort. *International Journal of Automotive Technology*. 2011, Ročník 12, číslo 6, s. 831–837
- [18] *He-do* [online]. ©2007 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.he-do.hu/en/lexikon.php>



- [19] TATRA: *Zkušební areál TATRA* [online]. ©2014 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/vas-tatra-partner/zkusebni-areal/>
- [20] LMS International: *Ride comfort* [online]. [cit. 2015-05-23] Dostupné z: http://www.dta.com.tr/pdf/lms_test_xpress/RideComfort.pdf
- [21] Smhboras: *SMHs Studiebesok pa Hallered* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.smhboras.se/photogallery/2013/130316/130316.htm>
- [22] Imakenews: *At Volvo Cars' Test Track, Hällered, the Car is Pushed to its Limit* [online]. 2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.imakenews.com/portlandvolvo/e_article001962691.cfm?x=b11,0,w
- [23] Dragoun, A. *Auto: Volvo: Do roku 2020 budeme vyrábět auta v nichž nikdo nezemře* [online]. 2009 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/volvo-do-roku-2020-budeme-vyrabet-auta-v-nichz-nikdo-nezemre-3700>
- [24] Sporthoj [online]. 2007 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.sporthoj.com/forum/showthread.php?169508-Gamla-racerbanor/page2>
- [25] Truckfocus: *Testování autobusů za severním polárním kruhem* [online] 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://truckfocus.cz/novinky/1026,testovani-autobusu-za-severnim-polarnim-kruhem?pid=372#testovani-autobusu-za-severnim-polarnim-kruhem>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

a_{ef}	$[m \cdot s^{-2}]$	efektivní hodnota zrychlení
a_i	$[m \cdot s^{-2}]$	efektivní hodnota zrychlení v i-tém třetinooktávovém pásmu
a_o	$[m \cdot s^{-2}]$	referenční zrychlení
a_{VDV}	$[m \cdot s^{1,75}]$	kvartová hodnota dávky vibrací
a_w	$[m \cdot s^{-2}]$	hodnota váženého zrychlení
l	$[^\circ]$	akustická intenzita
j	$[\%]$	relativní vlhkost vzduchu
L	$[m]$	vlnová délka
L_a	$[dB]$	hladina akustického tlaku
L_v	$[dB]$	hladina zrychlení vibrací
MTVV		maximum transient vibration value
p	$[Pa]$	akustický tlak
p_o	$[Pa]$	vztažný akustický tlak
RMS		root mean square
S	$[m^2]$	sledovaná plocha
T	$[K]$	teplota vzduchu
T_m	$[s]$	doba měření
t_o	$[s]$	čas pozorování
T_r	$[K]$	střední radiační teplota
v	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost
VDV		vibration dose value
W	$[W]$	akustický výkon
w	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění vzduchu
W_d	$[-]$	váhový součinitel ve vodorovném směru
W_f	$[-]$	váhový součinitel nízkofrekvenčních vibrací
W_i	$[-]$	váhový součinitel i-tého třetinooktávového pásma
W_k	$[-]$	váhový součinitel ve svislém směru
x	$[m]$	délková souřadnice
z	$[m]$	aktuální výška profilu
Z	$[m]$	amplituda
τ	$[s]$	doba integrace probíhajícího průměrování



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Čtyřprvkové zavěšení [4]	14
Obr. 1.2 Kliková náprava [4]	14
Obr. 1.3 Lichoběžníková náprava [4]	14
Obr. 1.4 MacPherson [4].....	15
Obr. 1.5 Víceprvkové zavěšení [4].....	15
Obr. 1.6 Blokové schéma zvukoměru [11]	18
Obr. 1.7 Tichá komora [11]	18
Obr. 1.8 Dozvuková komora [11]	18
Obr. 1.9 Akustická intenzita procházející uzavřenou plochou,	20
Obr. 1.10 Kotouč na měření vibrací (1 - disk, 2 - kovová deska pro	21
Obr. 1.11 Křivky frekvenčního vážení: W_k - svislý směr, W_d - vodorovný směr,	23
Obr. 1.12 Lidské tělo jako soustava kmitavých součástí [5].....	24
Obr. 1.13 Meze stejné doby působení efektivních hodnot zrychlení ve svislém směru na.....	25
Obr. 1.14 Možné následky působení vibrací na lidské tělo [5]	26
Obr. 2.1 Asfaltová vozovka [18]	27
Obr. 2.2 a - Pavé, b - Belgická dlažba [19]	28
Obr. 2.3 Bulžník [19]	28
Obr. 2.4 Rezonanční vozovka [19].....	29
Obr. 2.5 a - umístění akcelerometrů a gyroskopu [17], b – umístění dvou akcelerometrů na	30
Obr. 2.6 Areál TATRA Kopřivnice [19]	30
Obr. 2.7 Testovací areál Volvo [24]	31
Obr. 3.1 Průběh automobilových testů [12].....	33