

doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.
Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Ondřeje Kohla

s názvem

„Vzduchové tlumení sedadla řidiče“

Studijní obor: 2002V010 – Konstrukce strojů a zařízení

Škola: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Rozbor práce

Disertační práce (dále DisP) se zabývá návrhem pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením, který by měl nahradit v současné době běžně používaný systém s hydraulickým teleskopickým tlumičem kmitů. V DisP navrhovaný systém tlumení je založen na principu propojení alespoň dvou pneumatických pružin přes regulovatelný škrtkový prvek, čímž je dosaženo vzájemného fázového posunutí silového účinku pneumatických pružin v oblasti rezonance. Jelikož byl v průběhu řešení výše uvedených úkolů vytvořen funkční prototyp (vodící nůžkový mechanismus byl převzat od fy. Grammer) pružícího podstavce, bylo možné porovnat výsledky získané pomocí navržených teoretických (matematických) modelů dynamického systému s vybranými kinematickými veličinami naměřenými na reálném prototypu v laboratorních podmínkách.

Z porovnání systémů s hydraulickým a pneumatickým tlumením vyplynulo, že kromě minimalizace amplitud výchylek kmitů v rezonanční oblasti má pneumatický systém tlumení tu výhodu, že projevuje určitou samoregulační schopnost v nadrezonanční oblasti a nedochází tudíž k výraznému nárůstu amplitudy zrychlení sedadla řidiče při nárůstu budících frekvencí, což má příznivý vliv na zdraví řidiče (splnění požadavků hygienických norem na navrhovaný vibroizolační systém).

DisP je rozčleněna do následujících částí

- **Úvod** – V úvodu autor komentuje to, co je předmětem DisP a uvádí, že účinný vibroizolační systém sedadla řidiče má zásadní vliv na zdraví člověka. Správně navržený podstavec sedadla a jeho ergonomie významnou měrou přispívá k pracovní pohodě řidiče, snižuje jeho vyčerpání a únavu, což je velmi důležité pro zajištění bezpečnosti provozu a dopravy obzvláště např. u řidičů autobusů. Autor dále uvádí, že vibroizolační systémy se rozdělují na pasivní (není potřeba přivádět další energii) a aktivní. S přihlédnutím k vyšší jednoduchosti, ceně a osvědčení v praktickém provozu se výrobci sedadel a jejich podstavců zaměřují především na systémy pasivní. U pasivních vibroizolačních systémů je teoreticky možné přeladit jejich vlastní frekvence, či měnit parametry tlumení. Vzhledem ke konstrukční jednoduchosti se výrobci soustřeďují především na účinné tlumení systému s cílem utlumení kmitů v rezonančních oblastech. Problémy u hydraulických systémů tlumení jsou však s eliminací jejich účinků na systém v mimorezanančních oblastech, jelikož zde se tlumení projevuje nežádoucím způsobem.
- **Cíl** – Zde jsou stanoveny cíle DisP. Primárním cílem je navrhnout vzduchové tlumení sedadla řidiče pro vybraný model sedadlového podstavce, které by mělo eliminovat nevýhody tlumících systémů založených na hydraulickém principu.
- **Analýza stávajících vibroizolačních systémů** – V této poměrně rozsáhlé kapitole autor provádí analýzu jednotlivých částí vibroizolačních systémů sedadla. Jedná s především o vodící mechanismy (vybrán nejčastěji používaný nůžkový mechanismus), pružící prvky (vybrány pneumatické pružiny), tlumící prvky (vybrán pasivní pneumatický prvek), regulační prvky pro nastavení statické výšky sedáku a regulátory tuhosti pružícího systému.

- **Tlumicí systémy pružících podstavců sedadel řidiče** – V této kapitole autor rozebírá jednotlivé pružící systémy a konstatuje, že vzhledem ke složitosti a nákladům, nepřináší změna tuhosti pružícího podstavce (přeladění vlastních frekvencí systému) žádné výrazné efekty co se týče vibroizolační funkce. Z tohoto důvodu se vývoj zaměřuje především na účinné a zároveň pokud možno jednoduché tlumicí systémy. Autor se v DisP prioritně zaměřuje na aplikaci tzv. regulační pneumatické pružiny, která je společně s nosnou pružinou umístěna a zapojena tak, aby mezi silovými účinky pružin docházelo k fázovému posunu, který by bylo možné regulovat pomocí škrticího ventilu. Dále se autor zaměřuje na kinematický model vibroizolačního systému s hydraulickým tlumičem kmitů a uvádí jeho matematický model pomocí pohybových rovnic a tři možné způsoby jejich řešení, za předpokladu pneumatické pružiny a hydraulického tlumiče s linearizovanými parametry (parametr tuhosti a tlumení je konstantní). Z odvozeného vztahu (4.32), který vyjadřuje disipační energii, lze vyvodit, že pokud silová rovnováha, graficky znázorněná pomocí rotujících vektorů, obsahuje síly či jejich složky kolineární se směrem vektoru rychlosti, dochází k disipaci energie. Pokud by tomu takto nebylo, jednalo by se o soustavu netlumenou. Dále se autor zaměřuje na kinematický model vibroizolačního systému s pneumatickým tlumičem kmitů a zjištění jeho dynamických vlastností je provedeno obdobně, jako v předcházejícím případě. Jelikož soustava pneumaticky spojených vzduchových pružin představuje již silně nelineární systém, je potřeba pohybové rovnice řešit numericky. Opět je velmi názorně graficky znázorněna rovnováha sil pomocí rotujících vektorů, což umožňuje sledovat silové poměry při různém fázovém posunutí a tím i vliv tohoto posunutí na tlumení systému (složky dynamických vratných sil kolineární se směrem rychlosti konají disipační práci). Dále autor uvádí, že dynamické výpočty byly zpracovány pomocí nástroje MAPLE a provádí porovnání systémů s hydraulickým a pneumatickým tlumením.
- **Konstrukce prototypu sedadla se vzduchovým tlumením** – Jako vodící mechanismus byl zvolen nejčastěji používaný mechanismus nůžkový a tudíž bylo možné použít osvědčený pružící podstavec firmy Grammer. Z konstrukce byly odstraněny ty díly, které se ukázaly jako nepodstatné vzhledem k zajištění hlavní funkce navrhovaného podstavce. Nosná pneumatická pružina a opěrná deska zůstaly ponechány. Konstrukční úlohou je tedy návrh a volba typu pneumatických pružin, jejich umístění v podstavci a jejich propojení s podstavcem pomocí táhel s vazbami rotačního typu. Součástí konstrukčního návrhu je také návrh pneumatického obvodu s klíčovým prvkem (škrticí ventil), zajišťujícím regulaci tlumení na základě tlakové ztráty vznikající při přepouštění vzduchu mezi pružinami.
- **Měření kinematických veličin na prototypu sedadla se vzduchovým tlumením** – Měření probíhala v laboratoři TU Liberec. Prototyp sedačky byl pomocí kotvící desky připojen k řízenému lineárnímu hydromotoru s integrovaným snímačem polohy. Na pružícím podstavci bylo připevněno závaží o hmotnosti 70 kg (náhrada hmotnosti řidiče). Výhylnka horní části podstavce byla snímána laserovým snímačem. V DisP jsou uváděny výsledky provedené série měření. Intenzitu škrcení bylo možné nastavit pomocí škrticího ventilu s regulačním šroubem. V práci jsou uváděny přenosové charakteristiky výhylnky a zrychlení horní desky podstavce a průběhy tlaků v nosné a regulační pružině při různém nastaveném škrcení (v DisP pouze pro v4ot) a různých budících frekvencích.
- **Závěr** – V závěru práce autor hodnotí navržené konstrukční provedení pružícího podstavce a konstatuje, že výsledky simulací a testování vibroizolačního systému ukazují na to, že sedadlo se vzduchovým tlumením má lepší vibroizolační vlastnosti než sedadlo s tlumením hydraulickým a je tak možné lépe a snadněji splnit ty požadavky hygienických norem, které definují mezní zatížení člověka vibracemi.

Dosažení v DisP stanoveného cíle

Cílem DisP bylo navrhnout vibroizolační systém sedadla řidiče s pneumatickým tlumením pro vybraný model pružícího podstavce (podstavec firmy Grammer s nůžkovým vodícím mechanismem). Cílem práce bylo také porovnání vlastností tlumení nově navrhovaného pružícího podstavce s nejčastěji se vyskytujícím podstavcem stávajícím (využívajícím hydraulický teleskopický tlumič kmitů). Je možné konstatovat, že v DisP byly popsány používané systémy pružících podstavců sedadel a byly sestaveny matematické modely jak systému s hydraulickým, tak i systému s pneumatickým tlumením. Výsledky simulací byly získány pomocí nástroje MAPLE. Byl vytvořen konstrukční návrh podstavce sedadla řidiče a to především konstrukční řešení zavěšení pružin přes škrticí prvek. Bylo provedeno hodnocení vibroizolačního systému s pneumatickým spojením pružin na základě srovnání některých jeho vybraných vlastností se systémem využívajícím hydraulický tlumič vibrací. Posouzení bylo také provedeno na základě vyhodnocení ukazatelů stanovených prostřednictvím hygienických norem. Byla vytvořena konstrukční dokumentace a vyroben prototyp pružícího podstavce, na kterém byla v laboratorních podmínkách provedena řada ověřovacích zkoušek.

Cíle a sub-cíle disertační práce, které jsou uvedeny v kap. 2 DisP, považuji za splněné

Úroveň rozboru současného stavu v DisP řešené problematiky

Rozbor současného stavu řešené problematiky je v navrhované DisP uveden poměrně rozsáhlým a dle mého názoru vyčerpávajícím způsobem. Autor uvádí, že vibroizolační systém je především tvořen vodícím mechanismem, pružícími a tlumícími prvky, regulátory statické výšky sedadla řidiče a regulátory tuhosti odpružení. Z rešerše vodících mechanismů jednoznačně vyplývá, že nůžkový mechanismus je v současnosti nejvíce používán ve vodících mechanismech. Výhodou nůžkového mechanismu je poměrně stabilní vedení sedadla pouze ve vertikální ose a jeho nízká bloková výška (menší zástavbový prostor). Co se týče pružících elementů, jsou analyzovány kovové, pryžové a pneumatické pružiny a výsledkem je, že v navrhovaném provedení pružícího podstavce sedadla řidiče bude použito hadicové pneumatické pružiny jako pružiny hlavní (vysoká životnost, dostačující zdvih, nízké výrobní náklady, malý zástavbový prostor). V DisP jsou popsány jak semiaktivní, tak i pasivní tlumiče založené na hydraulickém nebo pneumatickém principu, či využití magnetické kapaliny u magnetoreologických tlumičů. Pro nově navrhovaný vibroizolační tlumič je navrhováno tlumení zajišťované pomocí regulační pneumatické pružiny se silovým účinkem působícím proti silovému účinku pružiny hlavní, čímž je dosaženo disipace energie prostřednictvím škrcení průtoku vzduchu mezi propojenými pružinami.

V DisP je ukázáno, že systém pneumatického tlumení má značný potenciál pro jeho nasazení ve vibroizolačních systémech sedadel řidiče a toto zjištění otevírá prostor pro bádání ve výše uvedené oblasti a tomuto také odpovídá v DisP řešená problematika.

Teoretický přínos disertační práce

V DisP byl matematicky namodelován jak vibroizolační systém sedadla řidiče s hydraulickým tlumičem kmitů, tak i systém s tlumičem pracujícím na pneumatickém principu. Na základě analýzy a porovnání výsledků plynoucích z obou těchto modelů lze vyvodit, že amplitudo frekvenční charakteristiky zrychlení kmitavého pohybu vykazují u pneumatického tlumení menší velikosti amplitud zrychlení v rezonanční oblasti a jejich minimální nárůst v oblasti nadrezonanční. Tento samoregulační efekt systému s pneumatickým tlumičem si autor vysvětluje tak, že při vyšší frekvenci kmitů se zvyšuje rychlost stlačeného vzduchu proudícího přes škrtící prvek a tím dochází k nárůstu průtokového odporu škrtícího ventilu. Nárůstem průtokového odporu dochází ke snížení tlumení systému, což je velice výhodné v nadrezonančních oblastech, a tím také ke sbližování frekvenčních charakteristik zrychlení. Prostřednictvím součinitele K vyjadřujícího míru zatížení sedícího člověka svislým zrychlením je ukázáno, že navrhovaný vibroizolační systém s pneumatických tlumení je ke zdraví člověka mnohem šetrnější, než systém s tlumením hydraulickým. V kapitole 4.2.3.4. je ukázáno, že disipaci energie u systému s pneumatickým tlumením je možné ovlivňovat změnou fázového posunu časových průběhů tlaků p_1 a p_2 stlačeného vzduchu v hlavní a regulační pružině. Změny fázového posunu se dosahuje změnou škrcení mezi pružinami. Velikost disipované energie lze stanovit numerickým výpočtem ploch hysterezních křivek závislosti vratných dynamických sil na relativní výchylce sedadla. V DisP je také ukázáno, že pro vhodně zvoleném škrcení zůstává disipovaná energie nízká v mimorezanančních oblastech a je téměř nezávislá na budící frekvenci, což je opět velice žádoucí. Vlastnosti navrženého pružícího podstavce byly také prakticky měřeny na vyrobeném prototypu v laboratorních podmínkách a v DisP byla prokázána jejich poměrně dobrá shoda s výsledky získanými pomocí simulací v prostředí MAPLE. Je tedy možné konstatovat, že simulační prostředky navržené v prostředí MAPLE mohou nalézt poměrně dobré využití v praxi při relativně rychlém navrhování obdobných vibroizolačních systémů a pro komparaci jejich vlastností.

Praktický přínos disertační práce

Praktickým přínosem DisP je jednak vytvoření simulačního prostředku v prostředí MAPLE a za druhé navržení konstrukčního řešení pružícího podstavce sedadla řidiče s pneumatickým tlumením. Pro dosažení dobrého tlumícího účinku je navrženo použití pneumatických pružin v diferenciálním zapojení a s vřazeným škrtícím ventilem. Regulační pružiny zavěšené ve vodícím mechanismu pružícího podstavce působí svými silovými účinky proti silovému účinku vyvozeného nosnou pružinou. Tímto se dosahuje proudění vzduchu přes škrtící prvek a tím fázového posunutí sil pneumatických pružin a jejich účinků na sedadlo řidiče, čímž se dosahuje potřebné disipace energie v rezonančních oblastech. V DisP je konstrukčně navržen pružící podstavec s dvojicí regulačních pružin umístěných uvnitř vodícího systému a výsledkem tohoto řešení je snížení zástavbové výšky podstavce a redukce dodatečného zatížení centrálního čepu nůžkového mechanismu. Jelikož při nízké hodnotě tlaku vzduchu uvnitř regulačních pružin může dojít ke změně polohy příruby pružiny a v důsledku toho k nežádoucí změně mechanického převodu, bylo navrženo uchycení regulačních pružin tzv. kvazilineárním vedením, které zajišťuje lineární pohyb středu příruby v celé délce zdvihu. Z výsledků matematického modelu vyplynulo, že hodnotu vlastní frekvence vibroizolačního systému (obr. 47) by mělo jít snadno měnit pomocí

škrtícího ventilu (dosažení změny polohy rezonančních oblastí). Z měření na prototypu však vyplynulo, že tento efekt není tak výrazný, jak se z počátku předpokládalo (obr. 77). Autor toto vysvětluje tím, že v numerickém řešení nebyly uvažovány pasivní odpory konstrukce podstavce a tlaková ztráta vzduchu vznikající pneumatickým odporem propojovacích hadic.

Závěrem je možné konstatovat, že výsledky DisP nabízí významnou možnost jejich využití průmyslovou sférou a to především pro navrhování podstavců sedadel řidiče s pneumatickým tlumícím systémem. Na základě metodiky lze také hodnotit a optimalizovat celkový konstrukční návrh vibroizolačního systému.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Zvolené metody a především navržené simulační prostředky (experimentálně ověřené), byly aplikovány vhodně a správně v návaznosti na logiku postupu vývoje, konstrukčního návrhu a optimalizace podstavce sedadla řidiče s pneumatickým tlumením.

Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru

Domnívám se, že autor je velmi dobře zorientován v řešené problematice, což plyne i z jím již dříve získaných jak teoretických, tak i praktických poznatků a zkušeností.

V daném oboru prokázal jednoznačně odpovídající znalosti, které využil k návrhu v DisP uváděných vlastních řešení.

Formální úroveň práce

DisP je systematicky zpracována. Její jazyková úroveň i grafické zpracování má velmi dobrou úroveň. V DisP jsou pouze drobné chyby především stylistického charakteru. Doporučoval bych uvádět význam barevných kódů křivek grafů přímo do legendy, anebo do titulků obrázků, což by jistě přispělo k lepší a rychlejší orientaci v jednotlivých graficky zobrazovaných charakteristikách.

Dotazy k obhajobě

1. Navrhované konstrukční řešení zavěšení regulačních pneumatických pružin do vodícího mechanismu se zdá být poněkud komplikované a s poměrně vysokým počtem rotačních vazeb. Vůle v rotačních vazbách mohou způsobovat problémy obzvláště u dynamicky namáhaných systémů (snížení životnosti, hluk, nepravidelný chod apod.). Bylo v průběhu experimentálních zkoušek zjišťováno chování tohoto konstrukčního řešení v čase?
2. V kap 7. (poslední odstavec) se mluví o tom, že i subjektivní pocit řidiče prokázal, že vzduchové tlumení má kvalitativně vyšší úroveň vibroizolačních schopností. Jak byl zjišťován subjektivní pocit řidiče u navrhovaného řešení?
3. V subkapitole 7.2 je uvedeno, že hodnotu vlastní frekvence kmitání sedadla lze snadno měnit škrcením průtoku stlačeného vzduchu, což vyplývá z výsledků teoretického modelu. Při měření na prototypu se však ukázalo, že tyto změny frekvenční polohy rezonanční oblasti nejsou tak výrazné. Je tedy možné regulace průtoku vzduchu mezi pružinami využít k posunutí rezonančních oblastí i prakticky?

Závěrečné vyjádření

Na základě výše uvedeného doporučuji disertační práci Ing. Ondřeje Kohla k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit disertantovi akademický titul

„doktor“.

doc. Ing. Václav Vaněk, Ph. D.

V Plzni dne 31. 5. 2017



Ing. Milan HORTEL, DrSc.
Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.
Akademie věd České republiky
Dolejškova 5, 182 00 Praha 8

O p o n e n t s k ý p o s u d e k

K posouzení předložená disertační práce

Ing. Ondřeje KOHLA:
„Vzduchové tlumení sedadla řidiče“

tvoří teoreticky a prakticky vysoce náročnou a rozsáhlou část odborné studie v oblasti lineární dynamiky lehké vysoce namáhané zejména mobilní – automobilní techniky.

Rozsáhlá disertační práce sestává ze dvou částí, z toho první část tvoří **vlastní disertaci** a druhá část je tvořena **samostatnou přílohou** se čtyřmi kapitolami, týkající se patentové rešerše, výpočtu sedadla s tlumičem, výpočtu sedadla se dvěma pružinami a 3D dokumentace podstavce sedadla se vzduchovým tlumením. Práce se zabývá problematikou konstrukčního a dynamického řešení pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením za účelem optimalizace jeho dynamických parametrů, jehož princip vznikl v rámci spolupráce Technické univerzity v Liberci a zahraniční firmy Grammer AG, Amberg, Spolková republika Německo.

V disertační práci studovaný systém nahrazuje v konstrukcích s pasívními pružícími podstavci sedadla řidiče dosud používané hydraulické teleskopické tlumiče kmitů a vyznačuje se tím, že do vodícího mechanismu podstavce jsou zabudovány alespoň dvě pneumatické pružiny, jejichž silové účinky se v rámci statické rovnováhy kompenzují – působí proti sobě.

Vzduchové tlumení se dosahuje penumatickým spojením obou pružin přes vhodně nastavený škrtkový prvek. Dynamické vlastnosti řešeného systému jsou identifikovány jak na základě výpočtů teoretických mechanických veličin, tak i na základě měření kinematických veličin v laboratorních podmínkách funkčního vzorku.

Výhoda – přednosti vzduchového tlumení je patrná zejména v minimalizaci amplitud výchylek kmitů sedadla v rezonanční oblasti a odstranění nežádoucího tlumení mimo tuto oblast, což se odráží na zlepšení ukazatelů hygienických norem.

Metodicky pojatá práce obsahuje sedm kapitol včetně úvodu, cíle a závěru disertační práce, přičemž tlumícím systémům s hydraulickými a vzduchovými tlumiči je věnována hlubší pozornost v kapitole čtvrté, kde úkolem vibroizolačního systému je minimalizace škodlivých vibrací přenášených na tělo obsluhy – řidiče.

Kapitola třetí tvoří rozsáhlou vynikající rešerši stávajících současných pasivních vibroizolačních systémů sedadel řidiče a sestává z vodicích mechanismů, pružících prvků, tlumících prvků a prvků regulačních.

Rozsáhlá kapitola čtvrtá je pak věnována tlumícím systémům pružících podstavců sedadel řidiče a to jak pro tlumící systémy s hydraulickým tlumičem kmitů, tak i se vzduchovým tlumením – viz nadpis – titul této disertační práce.

Systém vzduchového tlumení, který je hlavním předmětem disertační práce, vychází z myšlenky, že k nosné pneumatické pružině je připojena tzv. regulační pneumatická pružina, která je ve vodicím mechanismu zavěšena tak, že má silový účinek vzhledem k rovnováze sedadla právě opačný. V tomto zapojení je tedy stlačený vzduch nuceně přepravován mezi oběma pneumatickými pružinami, které se svými výslednými silovými účinky na sedadlo projevují obecně s fázovým posuvem.

Analytické řešení linearizovaných obou případů, tj. jak s hydraulickým, tak i vzduchovým tlumením, je vynikající přesto, že nejsou blíže definovány a uvedeny podmínky a skutečností se více přibližující hodnoty funkčních parametrů, jakož i sestavení pohybových rovnic za pomoci kinetických, potenciálních a disipativních funkcí prostřednictvím Lagrangeových rovnic či na odkazy – citace vlastní konkrétní literatury.

Numerický výpočet a srovnání obou systémů s pružícími podstavci s hydraulickým a vzduchovým tlumením a s vybranými parametry byly uskutečněny pomocí numerických metod s aplikací programu Maple na vysoké grafické úrovni.

V kapitole 4.1.2.2 „Rotující vektory“ byly uvedeny tři možné způsoby řešení pohybových rovnic odpruženého sedadla řidiče s pneumatickou pružinou a hydraulickým tlumičem s linearizovanými parametry. Rovnice (4.1) resp. (4.4) byly exkluzivně znázorněny pomocí rotujících vektorů, jejichž velikosti jsou amplitudami příslušných silových účinků. Odkazy obr. 30 až obr. 97 jsou označeny neurčitými symboly – výrazy „zdroj vlastní“, nikoliv konkrétním číslem z vlastní literatury.

Mezi numerickými kritérii hodnocení vlastností konstrukcí pružících podstavců byla prvořadá pozornost věnována amplitudo-frekvenčním charakteristikám výchylek a fázovým úhlům buzení a odezev, protože ty jsou podle vztahu (4.32) (práce síly na sedadlo řidiče) jedním z rozhodujících parametrů tlumících účinků systému.

Numerické výpočty amplitudo-frekvenčních charakteristik přinášejí základní pohledy do obou v disertaci sledovaných systémů. Ukazují na polohy rezonančních oblastí a na vlivy – účinky parametrů tlumení.

Amplitudo-frekvenční charakteristiky zrychlení kmitavého pohybu člověka mají mimořádný význam pro hodnocení kvality vibroizolace, viz např. obr.46.

Zajímavá je i energie disipovaná tlumícím systémem se vzduchovým tlumením, viz obr.55.

Konstrukce prototypu složitě sériově vyráběného podstavce sedadla firmy Grammer se vzduchovým tlumením jakož i měření veličin na prototypu sedadla se vzduchovým tlumením jsou rešeršní náplní páté a šesté kapitoly.

V rámci sérií měření v kapitole šesté na TU Liberec, následně pak zpracování v programu MS Excel 2010, byly získány např. charakteristiky výchylek a zrychlení, viz obr.76 a obr.77 i časové průběhy výchylek, zrychlení prototypu pružícího podstavce na obr.78, obr.79, jakož i časové průběhy přetlaků v pneumatických pružinách, viz obr.80 až obr.97.

Uskutečněná úspěšná analýza systému v disertační práci vznikla během několikaleté spolupráce mezi pracovištěm disertanta, tj. Katedry částí a mechanismů strojů TU v Liberci s firmou Grammer Amberg (SRN), kde se v zásadě jedná o vzduchové tlumení nové generace, které podle předložených teoretických simulací pomocí programu Maple, laboratorních zkoušek na zkušebním vzorku – originální systém pružícího podstavce – prokazují vynikající tlumicí vlastnosti oproti systémům – sedadlům s hydraulickým tlumením.

Závěr:

Disertační práce byla na základě rozsáhlejších hlubších teoretických a experimentálních prací – rozborů podobných soustav linearizována a tvoří tak další základ případného analytického přesnějšího nelineárního výzkumu těchto soustav metodou sukcesivních aproximací. Pod pojmem metoda sukcesivních aproximací zde budeme rozumět transformaci dané nelineární diferenciální okrajové úlohy na ekvivalentní úlohu integrodiferenciální s řešícími jádry ve tvarech rozštěpených Greenových rezolvent, kde jako nulté řešení – aproximace může být aplikováno lineární řešení této zde v disertační studii linearizované úlohy.

Po prostudování předložené rozsáhlé oborově aktuální teoreticko-experimentální disertační práce vlivu vzduchového tlumení na sedadlo řidiče, kde byl teoreticky analyzován, konstrukčně a laboratorně ověřen pružící podstavec sedadla řidiče se vzduchovým tlumením s kvalitativně vyšším vibroizolačním vlivem – účinkem, jsem dospěl k názoru, že studie splnila na vysoké úrovni svůj cíl, tj. byla definována teoretická východiska navrhovaného řešení, sestaveny mechanické modely a provedeno, byť jen v lineární oblasti, dynamické řešení s ohledem na optimalizační vlastnosti pružících a tlumících vlastností podstavce, včetně vyhodnocení vzduchového tlumení sedadla řidiče na základě ukazatelů hygienických norem, včetně porovnání s pružícím podstavcem s hydraulickým tlumením.

Disertant tím prokázal hluboké teoretické i experimentální znalosti z oblasti v disertaci řešené problematiky a proto **doporučuji** předloženou práci **k obhajobě**.



M. Hortel

Praha, 23.5.2017

Doc. Ing. Jaroslav KRÁTKÝ, Ph.D.,
Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní
Katedra konstruování strojů

Univerzitní 22
306 14 Plzeň

OPONENTNÍ POSUDEK

Disertační práce studijního oboru *Konstrukce strojů a zařízení*

Ing. Ondřej KOHL

Název práce :

„Vzduchové tlumení sedadla řidiče“

Škola : Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní

Řešená problematika disertační práce se týká dynamiky podstavce sedadla řidiče nákladních automobilů, traktorů a stavebních strojů.

Práce je rozčleněna do těchto částí:

- Úvodní, ve které je popsána zkoumaná problematika (dynamika podstavce sedadla) a tlumicí systémy. Stanovený cíl disertační práce je navrhnout tlumicí podstavec sedadla řidiče výše popsaných zařízení a analýza tlumících vlastností navrženého řešení.
- Rešerše stávajících pasívních vibroizolačních systémů sedadel, jejich vodících mechanismů, pružících a tlumících prvků a regulačních prvků
- Pro zvolený tlumicí systém je proveden návrh zavěšení pneumatických pružin a je proveden dynamický výpočet systému se vzduchovým tlumením.
- V další části je konstrukční návrh prototypu sedadla se vzduchovým tlumením.
- Měření veličin navrhovaného prototypu

Vyjádření k jednotlivým bodům disertační práce:

- **Dosažení v disertaci stanoveného cíle**

Cílem disertační práce bylo navrhnout tlumicí systém podložky sedadla výše uvedených vozidel. Základem konstrukčního řešení je ve volbě typu pružin, jejich umístění do vodícího nůžkového mechanismu a vzájemného propojení. Byly navrženy tři varianty poloh ve vodícím mechanismu s dvojicí pneumatických pružin, z nichž jedna je nosná a druhá regulační. Vlastnosti pneumatických pružin (zatěžovací charakteristika) uvedených v katalogu byly ověřeny měřením. Cíl stanovený v úvodu disertační práce považují za splněný.

- **Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky**

V úvodní části disertační práce jsou uvedeny stávající pasívní vibroizolační systémy sedadel, používané vodící mechanismy, pružící a tlumicí prvky. V rozboru současného

stavu jsem nezjistil žádné opomenutí. Jednotlivé části jsou uvedeny formou obrázků a doplněny stručným komentářem.

Pro tuto část mám pouze jeden dotaz. V úvodu této části je uvedeno, že hodnota vlastních frekvence vertikálního pohybu sedadla řidiče má být v rozsahu 1 – 2 Hz. Z čeho tento požadavek plyne?

- **Teoretický přínos disertační práce**

Disertační práce má poměrně obsáhlou teoretickou část, kterou tvoří dynamický model pružícího podstavce a jeho popis ve formě pohybové rovnice. Tento rozbor je proveden pro tlumící systémy s hydraulickým tlumičem a tlumícím systémem se vzduchovým tlumičem. Řešení odvozené pohybové rovnice je uvedené v grafické formě zobrazující síly působící na sedadlo s řidičem. Výsledkem numerického výpočtu jsou amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky.

Bylo by vhodné, např. v prezentaci disertační práce komentovat vstupní parametry pro řešení úlohy a souhrnné komentování výsledků řešení.

- **Praktický přínos disertační práce**

V disertační práci je konstatováno, že byl navržen a vyroben funkční vzorek. Tento funkční vzorek byl laboratorně ověřen a prokázal kvalitativně vyšší vibroizolační účinky. Velmi důležitá vlastnost je možnost regulací průtoku stlačeného vzduchu měnit hodnotu vlastní frekvence kmitání sedadla.

- **Vhodnost použitých metod řešení a způsob, jak byly použité metody aplikovány.**

Pro řešení daného úkolu byl aplikován klasický postup pro řešení technického problému. Byla provedena analýza problému, nastudován a prezentován současný stav v této problematice a stanoveny cíle, které mají být v disertační práci vyřešeny. Dále byly ukázány možné konstrukční varianty a proveden výběr řešení. Posloužila k tomu poměrně obsáhlá teoretická část.

- **Prokázání znalostí v oboru**

V problematice dynamiky, resp. kmitání a jeho tlumení prokázal doktorand potřebné znalosti. Popis jednotlivých prvků, jejich funkcí a funkčních závislostí byl základem k vytvoření této disertační práce. Doktorand čerpal z 35 publikací. Je autorem (spoluautorem) 16. vědeckých a odborných publikací.

- **Formální úroveň práce**

Disertační práce je sestavena systematicky. Je zde analýza problému, popis jednotlivých stavebních prvků a jejich vlastností a konstrukční návrh funkčního vzorku.

Určité připomínky mohou být k výběru konstrukční varianty. Schází mi porovnání jednotlivých variant z více hledisek a širší komentování grafických výstupů.

Vysoce hodnotím množství literatury, kterou doktorand prostudoval a použil při tvorbě disertační práce (35 použitých zdrojů). Publikační aktivity splňují požadavky.

K předložené disertační práci mám tyto dotazy:

- Jaké byly vstupní parametry pro řešení pohybových rovnic? Podle čeho byly zvoleny jejich hodnoty?

- Máte zkušenosti s dlouhodobou spolehlivostí pneumatických systémů?

Cílem disertační práce bylo vytvořit **technický systém umožňující tlumení sedadla řidiče těžkých vozidel**. Tento úkol byl splněn.

Na základě toho

doporučuji

předloženou práci **Ing. Ondřeje KOHLA** k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení k udělení akademického titulu Ph.D. ve studijním oboru Konstrukce strojů a zařízení.

V Plzni, dne 23. 5. 2017

Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.

