

**doc. Ing. Josef KOLAŘ, CSc.**  
**U 12 120**  
**FS ČVUT v Praze**

Oponentský posudek disertační práce na téma:

**„STANOVENÍ METODIKY SYSTÉMOVÉ INTEGRACE KOMPONENT KOLEJOVÉHO VOZIDLA K DOCÍLENÍ OPTIMÁLNÍHO PROSTŘEDÍ V JEHO INTERIÉRU“**

Doktorand: **Ing. Lukáš Málek**

Školící pracoviště: **U 12 120 - Ustav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel  
FS ČVUT v Praze**

Školitel: **Prof. Ing. Ladislav Rus, DrSc.**

### **Úvod:**

Dosavadní způsoby hodnocení jízdního komfortu kolejových vozidel podle normy ČSN EN 12 299 „Jízdní komfort pro cestující – měření a analýza“ vycházejí z hodnocení dynamiky jízdy vozidla po reálné trati a ve své podstatě zohledňují pouze mechanické vibrace vozidla, neboť hodnotí jízdní komfort vozidla pomocí indexu komfortu  $N_{MV}$ , stanového váhově pomocí hodnot zrychlení ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ) měřených na podlaze vozu. Norma nepostihuje vliv působení okolního prostředí (hluk, osvětlení, teplo), které působí za jízdy na posádku a na cestující.

Stanovení „Metodiky systémové integrace komponent návrhu kolejového vozidla k docílení optimálního prostředí v jeho interiéru“, dále v textu posudku jen „Metodika“, představuje nový přístup k více – parametrickému hodnocení komfortu cestujících.

Základní filozofií „Metodiky“ je hodnocení synergie systému ČLOVĚK – VOZIDLO – PROSTŘEDÍ, která zohledňuje vzájemnou provázanost tohoto systému na úrovni studovaných vlivů (vibrace, akustika, světelná a tepelná pohoda). Různá poloha jednotlivých cestujících v prostoru vozidla a jejich vzdálenost od „energetických zdrojů“ je základní příčinou odlišného vnímání působících vlivů prostředí jednotlivými cestujícími.

Navržená „metodika“ by měla vést projektanta kolejového vozidla ke komplexnějšímu porozumění působení dílčích vlivů prostředí (hluk, vibrace, světlo, teplo) na výsledné cestovní pohodlí cestujících. S navrženou „Metodikou“ lze stanovit míru „diskomfortu“, jednotlivých cestujících v různých částech interiéru vozidla a optimalizovat jeho hodnotu na přijatelnou úroveň.

Navržený systém hodnocení účinků vlivu okolního prostředí na cestujícího je založený na výpočtu celkové hladiny stresu, respektive míry „diskomfortu“, které je cestující ve vozidle při jízdě ve vozidle vystaven.

V následující části oponentního posudku disertační práce Ing. Lukáše Mála se vyjádřím k jednotlivým bodům hodnocení, daných mi osnovou, předepsanou oddělením vědy a výzkumu FS ČVUT.

## 1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cílem disertační práce je návrh metodiky hodnocení kvality návrhu interiéru kolejového vozidla s ohledem na dosažené výsledné cestovní pohodlí cestujícího, které bude cestující při jízdě vozidla vystaven. Dílčí, konkrétní cíle jsou blíže definovány v kapitole 6, předložené disertační práce na straně 155. Mají logickou a navazující strukturu a uspořádání směřující ke stanovení „Metodiky“.

Doktorand v „Metodice“ navrhl základní optimalizační parametry (poloha zdroje, vzdálenost od cestujícího, směr, intenzita, frekvence a doba expozice) a definoval přenosové funkce interakcí energií mezi člověkem a vnitřním prostředím kolejového vozidla.

Teoretická část disertační práce je rozpracována na 47 stranách sedmé kapitoly v 16 dílčích podkapitolách. Schéma dílčích kroků navržené „Metodiky“ je patrné z Obrázku 175 z Obrázku 176. Tato schémata popisují filozofii výpočtu potřebnou k metodickému vyhodnocení výsledné hladiny stresu, definované v části 7.14, které je cestující při jízdě v určitém místě ve vozidle vystaven.

Na základě analýzy časových průběhů vstupních dat je doktorandem navržen postup výpočtu celkové hladiny stresu, vyhodnocení hladiny expozice stresu, hladiny spektrální hustoty stresu, hladiny rovnoměrnosti stresu, hladiny plasticity stresu a hladiny tonality stresu.

Pro vyjádření intenzit, definovaných frekvenčních rozsahů elektromagnetického a mechanického vlnění v závislosti na rozmístění zdrojů, kritických komponent vozidla a orientaci pozorovatele v prostoru použil dekadické logaritmické funkce. Pro stanovení intenzity energetických toků v konkrétním bodě interiéru vozidla použít výpočet přímé cesty a nepřímé (jedenkrát odrážené cesty) od energetického zdroje. Zanedbání vlivu dvoj- a více násobných odrazů vlnění v interiéru vozidla považují pro vývoj základní „Metodiky“ za přijatelné zjednodušení.

K předloženému textu teoretické části mám následující připomínky a dotazy:

- *Energetické činitele – rovnice 59 – rovnice neodpovídá obr. 195, z něho by mělo platit:*

$$\begin{aligned} I_{IM} &= I_{RF} + I_{TR} + I_{AB} + I_{TP} \quad \text{a} \quad I_{TR} = I_{EM} + I_{TF} \\ \Rightarrow I_{IM} &= I_{RF} + I_{EM} + I_{TF} + I_{AB} + I_{TP} \quad \Rightarrow RF + EM + TF + AB + TP = 1 \end{aligned}$$

- *Kde je v prostoru umístěn bodový zdroj, jehož parametr směrovosti  $Q = 12,566$  a vyšší, viz Tabulka 30?*
- *Jak budou definovány požadované hladiny stresu v různých částech interiéru vozidla?*
- *Proč není v rovnici č.73 obecně uvažováno u jednotlivých dílčích vlivů s obecnými exponenty citlivosti  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , když jste v části 7.3 věnoval pozornost, viz rovnice 26?*
- *V textu teoretické přínosu disertační práce jsou opět drobné překlepy.*

Praktická část disertační práce popisuje algoritmy tvorby dílčích modelů a výpočetního programu navržené „Metodiky“. Tyto postupy jsou uvedeny na dalších 129 stranách sedmé kapitoly v sedmi podkapitolách, které nejprve dokumentují přípravu vstupů a stanovení preferencí jednotlivých problémů formou „Išikavových“ diagramů, návrh modelů člověka (figurína 3D Human CAD systému JACK&JILL), vozidla a tratě (vytvořen model příměstského vozidla v systému Simpack), návrh modelů vlivů okolního prostředí (hluk – v Simpacku, teplo, světlo). Dále návrh sestavení, výpočet a vyhodnocení přenosových funkcí a návrh optimalizace matematického modelu.

Jednotlivé, uvedené kroky tvorby dílčích modelů jsou v komentáři zdokumentovány formou diagramů, tabulek definujících parametry modelů, obrázků dokumentujících jednotlivé dílčí modely a grafy průběhů vypočítaných veličin, jejich intenzit. Podkapitola 7.22 dokumentuje sestavení a výpočet přenosových funkcí a jednotlivé výpočetní protokoly

hodnocených vlivů. Vypočítané výsledky simulací jsou uvedeny pro tři cestující, kteří jsou rozmístěny v interiéru vozidla. Praktická část je zakončena zobrazením vypočítaných celkových hladin stresu, SVH hladin stresu a celkové hladiny expozice stresu v posuzovaných místech interiéru vozidla.

Obrázky a protokoly, uvedené v této části disertační práce dokumentují komplexnost výpočetního modelu.

K předloženému textu praktické části mám následující připomínky:

- Na str. 217 doktorand zavedl pojem „diskomfort“. Obrázek 205 sice poskytuje základní schéma popisu příčin „diskomfortu“ jednotlivých vlivů, jeho vazbu na celkovou hladinu stresu ani stupnici „míry“ diskomfortu jsem v předložené práci nenašel, pouze je uveden odkaz na publikaci autora [5].
- V práci postrádám informaci, jakým softwarovým nástrojem jsou počítány účinky šíření tepla a vliv osvětlení interiéru vozidla. Jak byly vytvořeny obrázky 248, 249 a 251. Jde o výstupu z vlastního, autorem vyvinutého programu vytvořeného Excelu?
- V textu na str. 264 je uvedeno, citují: „Představu o komplexnosti modelu lze doplnit pomocí Přílohy P07 pro popis hluku, Přílohy P08 pro popis vibrací, Přílohy P09 pro popis světla a Přílohy P10 pro popis tepla“. K disertační práci měl být přiložen výpočetní program vytvořený doktorandem, který by umožnil oponentovi podrobnější kontrolu prováděných výpočtů a dosažených výsledků uvedených v přílohách P07 až P10 a V01 až V04. Kontrola výsledků uvedených v těchto přílohách je bez vytvořeného programu pro oponenta časově náročná.

Po prostudování textu předložené disertační práce i přes předchozí uvedené připomínky konstatuji, že stanovený cíl, tj. vytvořit základní návrh „Metodiky“ bylo splněn. Vytvořená „Metodika“, a výpočetní program má potenciál být, na základě nových poznatků získaných především z experimentů, dále rozvíjen, tak jak připouští doktorand v rámci osmé kapitoly disertační práce „Diskuze k výsledkům“.

## **2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky**

Rozbor současného stavu problematiky návrhu kolejové vozidla a jeho interiéru je v disertační práci proveden na 139 stranách v 5. kapitole, která je pro přehlednost rozdělena do osmi podkapitol. Konstatuji, že tato rozsáhlá rešerše dokumentuje v první části na cca 60 stranách a 86 obrázcích nejen vývoj v projektování jednotlivých typů kolejových vozidel a jejich komponent, ale i současný stav legislativních požadavků, které musí splňovat na moderní kolejová vozidla. V další části na cca 80 stranách a 80 obrázcích dokumentuje fyzikální prostředí kolejového vozidla a způsoby hodnocení jeho dílčích účinků na člověka.

**Z provedené rešerše vyplynulo, že problematika více-parametrického hodnocení „komfortu cestujících“ ve vazbě na účinky okolního prostředí není v oblasti vývoje kolejových vozidel takto systémově řešena.**

Předložená rešerše dokládá velké úsilí, které doktorand vynaložil při získání dílčích informací pro hodnocení problematiky systémové integrace komponent kolejových vozidel. Předloženou rešerší doktorand prokázal schopnost pracovat s různými informačními zdroji, nejen z oblasti techniky ale i z oblasti přírodních a lékařských věd.

V rešerši jsou občas drobné pravopisné chyby a překlepy a u některých obrázků chybí popisky (např. Obr. 142, 143 a 152  $W_k = ?$ ,  $W_d = ?$  a  $W_f = ?$ ). Některé legendy u převzatých obrázků zůstaly v angličtině nebo v němčině, chybí český překlad.

Tyto drobné chyby a opomenutí nesnižují fakt, že rešerše představuje velký zdroj technických informací, který lze využít i při výuce projektování moderních kolejových vozidel a velmi rozsáhle popisuje současný stav návrhu kolejových vozidel a jejich interiéru.

### **3. Teoretický přínos disertační práce**

Teoretický přínos disertační práce je v původním návrhu více-parametrické metodiky hodnocení komfortu cestujících, která spojuje zdánlivě odlišné „fyzikální světy“ mechanických vibrací, zvuku, světelného a tepelného záření a metody hodnocení jejich veličin. Tyto dílčí účinky okolního prostředí představují mechanické a elektromagnetické vlnění různých, časově proměnlivých intenzit působících na cestující a obsluhu vozidla. Dynamické procesy těchto dílčích vlnění vyvolávají subjektivní vjemy, které se pokusil doktorand v předložené práci objektivizovat, porozumět jim a ve vazbě na „lidský faktor“ je uplatnit v návrhu „Metodiky“ s cílem dosáhnout optimálního prostředí v interiéru vozidla, tj. dosáhnout co nejnižší míru „diskomfortu“.

Doktorand pro posouzení jednotlivých fyzikálních jevů navrhl jednotný matematický postup výpočtů s pomocí logaritmických funkcí, kterými dospěl k jednotné jednotce hladiny stresu vyjádřené v decibelech.

Celková hladina stresu  $\Delta L_{\text{celk}}$  představuje komplexní jednočíselné vyjádření pohody cestujícího v průběhu přepravy. Výpočet celkové hladiny stresu je uspořádán do tří navazujících sekvencí, popsanych v části 7.14, v nich jsou počítány: hladina intenzity stresu, hladiny spektrální hustoty stresu a hladina expozice stresu.

### **4. Praktický přínos disertační práce**

Praktický přínos disertační práce spočívá především ve vytvoření základní verze „Metodiky“ a výpočetního programu v prostředí tabulkového procesoru MS Excel. Tato „Metodika“ může již při počátečním návrhu kolejového vozidla pro přepravu osob významně přispět k rozvoji „analytického konstrukčního myšlení“ projektanta. Formou změny technických parametrů „zdrojů“ mu první fáze „Metodiky“ přináší komplexní porozumění působících vlivů na člověka při simulaci provozu navrhovaného kolejového vozidla.

Navržená „Metodika“, respektive vytvořený výpočetní postup či program, umožňuje projektantovi vozidla vyhodnotit nejen splnění konstrukčních požadavků vyplývajících z požadavků technických směrnic interoperability (TSI) ale i posoudit vliv okolního prostředí a plnění požadavků ergonomie a biomechaniky člověka již v úvodní fázi projektu vozidla na jeho „virtuálním“ modelu. V tom spatřují velký přínos pro projektování interiérů vozidel.

Pro uplatnění v praxi a snadnější propojení „Metodiky“ na dostupné programy pro tvorbu 3D konstrukčních modelů (např. Creo, Catia) a dynamických modelů kolejových vozidel (Simpack, Adams, pro modely poddajné skříně - Ansys) by bylo vhodné v druhé fázi vývoje vytvořenou „Metodiku“ přeprogramovat do systému Matlab.

### **5. Vhodnost použitých metod řešení**

Konstrukce kolejového vozidla určeného k přepravě osob vytváří uzavřené vnitřní prostředí a v něm se nachází „energetické zdroje“, které svými časově proměnlivými účinky působí na cestující. Pro analýzu vzájemné interakce VOZIDLO – PROSTŘEDÍ – CESTUJÍCÍ bylo nutné použít vhodné metody řešení dílčích problémů.

Pro geometrickou analýzu parametrů konstrukce kolejového vozidla doktorand využil dostupné 3D CAD systémy. Pro stanovení výpočtu mechanickým vibracím vhodně využil možnosti matematických 3D modelů vozidla (MBS modelů), které si vytvořil v systému Simpact. Pro analýzu šíření energie z „energetických zdrojů“ použil při návrhu „Metodiky“ metodu sledování přímých a jednou odražených cest běžně využívanou v matematickém modelování akustického a světelného prostředí.

Doktorand prokázal, že ji lze aplikovat i pro šíření účinků mechanických vibrací a šíření tepla v prostoru. K vyjádření vlivu dílčích energetických zdrojů na celkovou hladinu stresu využil výpočty formou „logaritmických“ funkcí. Tyto použité metody řešení dané problematiky považuji za vhodné.

## **6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány**

Po prostudování textu předložené disertační práce i přes předchozí uvedené připomínky konstatuji, že zvolené metody byly aplikovány vcelku správně (oponent neměl k dispozici vytvořený program a hodnoty vypočítaných výsledků nemohl oponent ověřit). Použití kalkulačky a MS Excelu na některé části výpočtu považuji za méně vhodné.

Pro větší využitelnost a aplikovatelnost navržené „Metodiky“ v praxi by bylo vhodné celý výpočetní program naprogramovat či vytvořit v Matlabu, aby navržená „Metodika“ měla potenciál dalšího upřesňování a rozšiřování, především na základě poznatků získaných z experimentů.

## **7. Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru**

Předloženou disertační prací prokázal doktorand nejen velmi dobré teoretické znalosti z konstruování kolejových vozidel, ale i praktické v aplikacích 3D CAD a dále i schopnost realizovat simulační výpočty na 3D modelech kolejových vozidel v Simpacku a dalších softwarech. Doktorand prokázal schopnost správně analyzovat dosažené výsledky.

Ing. Lukáš Málek od absolvování magisterského studia pracuje ve společnosti SIEMENS Mobility s.r.o. V této firmě se po celou dobu kombinovaného doktorského studia podílí na řešení řady úkolů souvisejících s vývojem interiérů kolejových vozidel, viz předložená „řešerše současného stavu dané problematiky“ a seznam publikací. Výsledky všech těchto úkolů pravidelně prezentoval na národních i mezinárodních konferencích.

## **8. Formální úroveň disertační práce**

Disertační práce je velmi rozsáhlá. Má vcelku logické členění a uspořádání, které na 382 stranách dokumentuje plnění cíle disertační práce. Práce je vyplněna 268 obrázky, dále je v ní zobrazeno 74 grafických výstupů, které však nejsou označeny a dokumentují dílčí výstupy z výpočetních protokolů jednotlivých přenosových cest. Disertační práce dále obsahuje deset příloh P1 až P10. Celkový počet stran „dokumentu“ tak činí 410. V kapitole „Reference“ je proveden odkaz na 12 prací, v nichž vystupuje jako autor či spoluautor a dále na 166 ostatních informačních zdrojů. Domnívám se, že doktorand dodržel pravidla citační etiky.

Grafická úroveň předložené práce hodnotím výborně, z pohledu jazykové úrovně je práce napsaná srozumitelně, avšak s drobnými gramatickými chybami či překlepy. To je však k vzhledem k rozsahu pochopitelné. Práce mohla být dále doplněna CD s vytvořenými výpočetním programem.

## **9. Závěrečné doporučení**

Předloženou disertační prací a seznamem publikací autora souvisejících s disertační prací doktorand prokázal nejen velmi dobré znalosti ze systémového navrhování kolejových vozidel a jejich interiérů, ale i dobré znalosti v oblastech akustiky, fotometrie, ergonomie, antropologie a fyziologie a psychologie člověka.

Rozsáhlým zpracováním disertační práce, která představuje zcela nový, inovativní, komplexní, vícekriteriální přístup k projektování kolejových vozidel doktorand prokázal schopnost samostatně zanalyzovat jednotlivé informační zdroje, vyhodnotit potřebné poznatky přesahující odbornost „Kolejových vozidel“ a vhodně zapracovat je do základné verze navržené „Metodiky“, která má potenciál dalšího vývoje a prosazení v odborné praxi.

I přes připomínky uvedené v posudku se domnívám, že předložená disertační práce splňuje podmínky tvůrčí vědecké práce a **doporučuji** ji k obhajobě.

V Praze dne 12. 1. 2021

doc. Ing. Josef Kolář, CSc.